



2 Stoffflüsse verstehen – Stoffflüsse lenken

Thomas Lichtensteiger

3 Systemmodelle und Simulationsprogramme im Umweltmanagement

Hans-Peter Bader und Ruth Scheidegger

6 Produktdesign in der thermischen Abfallbehandlung

Christoph Zeltner und Thomas Lichtensteiger

9 Bedeutung der Einträge von Kupfer in die Gewässer

Laura Sigg und MitarbeiterInnen

12 Chemikalien aus Wasch- und Reinigungsmitteln in Schweizer Flüssen

Walter Giger und MitarbeiterInnen

15 Spurenstoffe zur Analyse von Wasserkreisläufen

Werner Aeschbach-Hertig, Markus Hofer und Rolf Kipfer

18 Wassernutzung und Nahrungsmittelproduktion – eine internationale Arbeitsteilung

Alexander J.B. Zehnder

21 Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft

Tove A. Larsen

24 Wie kann ein Grossverteiler zur effizienten Ressourcennutzung beitragen?

Mireille Faist und Susanne Kytzia

27 EAWAG-Intern

26 Einweihung der neuen Werkstätten

27 PEAK-Programm 1999

26 Ehrungen und Habilitationen

29 Staatssekretär Charles Kleiber zu Besuch

29 Querprojekt: Ökostrom aus Wasserkraft

30 Neuer IAD-Präsident

31 Einfluss elektromagnetischer Felder auf Kristallisationsvorgänge

31 Otto Jaag-Preis 1998

31 Publikationen (2376–2520), Bücher

Stoffflüsse verstehen – Stoffflüsse lenken



Lenkungsmaßnahmen beitragen und wie sich künftige Szenarien oder bereits getroffene Massnahmen bezüglich ihrer *Wirkung* überprüfen lassen. Die Beispiele zeigen ein breites Spektrum von Betrachtungsebenen und Zusammenarbeitsformen. Verschiedene Projekte wurden zusammen mit Unternehmen der Wirtschaft und der Öffentlichen Dienste durchgeführt. Solche *Partnerschaften* mit Akteuren auch ausserhalb des Wissenschaftsbereichs sind für die Forschung der EAWAG sehr wichtig. Sie ermöglichen es, *die Handlungsrelevanz der Forschung zu verstärken* und so teilzuhaben an innovativen gesellschaftlichen Prozessen.

Mit der vorliegenden news-Ausgabe möchten wir die Tagungsbeiträge einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen.

Wo liegen die Einflussmöglichkeiten eines Druckereibetriebs? Wie kann die thermische Abfallbehandlung beitragen zu einer verbesserten Ressourceneffizienz? Welchen Einfluss haben Dachausbauten auf die Gewässer? Wie lassen sich Auswirkungen von Änderungen bei der Zusammensetzung von Reinigungsmitteln erfassen? Wie hängen Ernährung und Nahrungsmittelproduktion zusammen mit der Verfügbarkeit und der Bewirtschaftung von Energie, Nährstoffen und Wasser? Welchen Einfluss hat dabei ein Nahrungsmittelgrossverteiler, welchen Einfluss haben Sie? Lesen sie selbst, wie Forschende der EAWAG an solche Fragestellungen herangehen.

Dr. Thomas Lichtensteiger
Leiter der Forschungsgruppe «Petrologie», Abteilung Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik, EAWAG

Nachhaltigkeit setzt einen bewussteren Umgang mit Stoff- und Energieflüssen voraus. Es stellt sich die Frage nach dem *Handlungsspielraum* für künftige Generationen. Wie kann der Mensch seine Aktivitäten wie «Reinigen», «sich Ernähren», «Transportieren», «Wohnen», «Arbeiten» künftig gestalten, sodass Stoffe sparsamer und umweltschonender fliessen und weniger Energie gebraucht wird? Wo liegen *Schlüsselprozesse* vor? Um diese Fragen zu beantworten, sind Kenntnisse über die jeweils tangierten *Systeme* erforderlich. Für die Forschung ist das eine grosse Herausforderung. Die EAWAG arbeitet an der Entwicklung von Werkzeugen zur Erfassung von Systemzusammenhängen und zum *Verständnis von Stoffflüssen und ihrer Wirkungsweisen*. Die Systemgrenzen variieren je nach Fragestellung von lokal über regional bis global.

Sofern wir Systemzusammenhänge und Prozesse ausreichend verstehen, können geeignete Massnahmen zur Bewirtschaftung und *Lenkung* der Stoffe evaluiert und abgewogen werden. Weil Lenkung immer in der Anthroposphäre erfolgt, braucht es dazu auch Kenntnisse über den Stoffwechsel innerhalb der Siedlungen: die klassische Ökosystemforschung wird mit Systembetrachtungen der Anthroposphäre kombiniert.

Im Rahmen der jährlichen Informationsveranstaltung wurde an aktuellen Fallbeispielen dargelegt, in welcher Weise EAWAG-Projekte zur Evaluation von



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 46 D, 1999» gestattet

Erscheinungsweise
zweimal jährlich in Deutsch, Englisch und Französisch

Fotografien
Ohne besondere Angaben: Diana Hornung oder unbekannt

Satz, Bild und Layout
Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Gedruckt
auf Umweltschutzpapier

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

ISSN 1420-3979

Legende zum Titelbild
Um Stoffflüsse in erwünschte Bahnen lenken zu können, muss man sie zuerst verstehen. Auch die Wellen des kleinen Tropfens werden etwas bewirken, an Rändern, die wir noch nicht wahrnehmen.
Momentaufnahme von R. Bramaz (Effektiv fallender Tropfen, mit Infrarotschaltung nach dem Stroboskopblitz eingefroren)

Hans-Peter Bader* und Ruth Scheidegger*

Systemmodelle und Simulationsprogramme im Umweltmanagement



Hans-Peter Bader*



Ruth Scheidegger*

* In Zusammenarbeit mit Reto Burtel¹, Willy Frey¹, Ruedi Lisibach¹, Markus Real², Patrick Plüss, Susanne Kytzia und Peter Baccini.

¹ NZZ Zürich

² Alpha Real AG, Zürich

Markus Real ist Inhaber der Firma Alpha Real AG und ausgewiesener Experte in Photovoltaikanlagen.

Das Angebot an Modellen und Simulations-Programmen im Umweltmanagement ist sprunghaft gewachsen. Ausgehend von Datenmodellen für die Beschreibung und Bewertung von Produkten und Betrieben sowie Modellen für Ökosysteme geht der Trend in Richtung regionales Umweltmanagement. Die Möglichkeiten eines solchen Ansatzes, der Stoffflussanalyse, werden an zwei Beispielen gezeigt: dem Betrieb «Druckerei NZZ» und der Entwicklung von Photovoltaikanlagen in der Schweiz im grösseren Stil.

Umweltmanagement umfasst Strategien, Massnahmen und Controlling einer organisatorischen Einheit (wirtschaftliches oder öffentliches Unternehmen von Kommune bis Nation) mit dem Ziel, die für die Erfüllung ihrer Aufgaben notwendigen Tätigkeiten möglichst «umweltverträglich» zu gestalten. Das Kriterium für «umweltverträglich» reicht von der Erfüllung der gesetzlichen Vorschriften im Umweltschutz (legal compliance) bis zum anspruchsvolleren Ziel der «nachhaltigen Entwicklung», welche auch Beschränkungen in der Ressourcennutzung beinhaltet.

Innert weniger Jahre ist Umweltmanagement zu einem breit verwendeten Begriff geworden. Um es betreiben zu können, braucht es in erster Linie ein Verständnis über das Umweltsystem (naturwissenschaftlich, ökonomisch und politisch verstanden), in welchem die Organisation eingebunden ist. Systemverständnis lässt sich mit Hilfe mathematischer Modelle entwickeln, die das Verhalten dieser Systeme simulieren können.

Im Folgenden sollen, ausgehend von einer Typologie von Umweltsimulationsmodellen, die Charakteristiken unterschiedlicher Ansätze kurz analysiert werden. Anschliessend wird ein Ansatz vertieft behandelt (Stoffhaushaltsansatz) und an folgenden Beispielen illustriert:

- Betriebliches Umweltmanagement der «Druckerei NZZ»
- Entwicklung von Photovoltaikanlagen in der Schweiz.

Simulationen im Umweltmanagement

Fig. 1 zeigt eine grobe Klassifizierung von Modellen für Umweltsysteme nach Anwendungsgebieten [1]. Diese Klassifizierung erhebt natürlich nicht den Anspruch, vollständig zu sein, ist aber historisch begründet.

Historisch entwickelten sich nämlich Modelle völlig unabhängig voneinander in folgenden zwei Anwendungsgebieten:

• natürliche Systeme (Ökosysteme)

Diese Modelle basieren auf naturwissenschaftlichen Zusammenhängen und reichen von einfachen Populationsmodellen bis zu Modellen für komplizierte Ökosysteme (z.B. Waldentwicklungsmodelle). Ihr Ziel ist die Systemidentifikation und das Systemverständnis.

• ökonomisch orientierte anthropogene Systeme

Bekannte Vertreter sind Ökobilanzierungsmodelle und Input-Output-Modelle für die Beschreibung von Produkten, Betrieben und regionalen Volkswirtschaften. Sie bauen auf grossen Datensätzen auf und erlauben meistens Bewertungen und eventuell Trendanalysen.

Bei beiden Modellklassen wird, wie in Fig. 1 angedeutet, *lokales* Umweltmanagement betrieben. Die Entwicklung der letzten Jahre geht zunehmend zu *regionalem* Umweltmanagement hin.

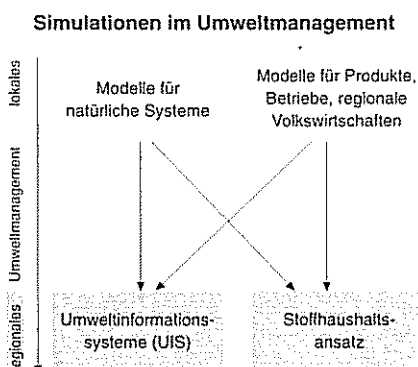


Fig. 1
Grobe Klassifizierung der Modelle im Umweltmanagement.

Solche Modelle müssen in der Lage sein, alle Subsysteme einer Region (z.B. Betriebe, Haushalte, Ökosysteme) inkl. deren Wechselwirkungen zu beschreiben.

Die bekanntesten Beispiele in diese Richtung stellen die Umweltinformationssysteme (UIS) dar. Grundlage dieser Systeme ist eine gemeinsame Datenbank für alle möglichen Daten einer Region (Luft-, Wasser-, Boden-Lärm-, Siedlungsdaten etc.). Damit sind sehr genaue Ist-Zustandsanalysen und Trendanalysen möglich. Simulationsrechnungen sind erst in Teilbereichen möglich (z.B. Schadstoffausbreitung). Komplementär dazu wurde in den letzten Jahren der Stoffhaushaltsansatz entwickelt [2]. Im Vergleich zu UIS versucht er, aufgrund einer viel größeren Systembeschreibung die wichtigsten Eigenschaften eines Systems herauszufinden. Meistens beschränkt man sich dabei auf den Stoff- und Energiehaushalt. Erweiterungen in Richtung Berücksichtigung ökonomischer Aspekte sind in Bearbeitung [3]. Aufgrund dieser Beschränkungen ist der Aufwand bei Untersuchungen mit dem Stoffhaushaltsansatz auch um Größenordnungen kleiner als bei UIS und zwar sowohl zeitmässig wie auch geldmässig [1].

Der Stoffhaushaltsansatz

Die Methode ist detailliert in [2] beschrieben. Sie besteht aus folgenden Schritten:

- *Systemanalyse*: Dabei wird festgelegt, welche Prozesse und Flüsse relevant sind für die Fragestellungen.
- *Datenauswertung*: Darunter fallen Verwaltung, Visualisierung und Auswertung von gemessenen oder geschätzten Daten.
- *Modellrechnungen*: Der Kern von Modellrechnungen ist der *Modellansatz*. Dabei werden die Eigenschaften des Systems mathematisch formuliert. Wichtige Anwendungen sind Szenarien oder Prognoserechnungen. Dabei kann simuliert werden, wie sich ein System unter bestimmten Bedingungen verhält.

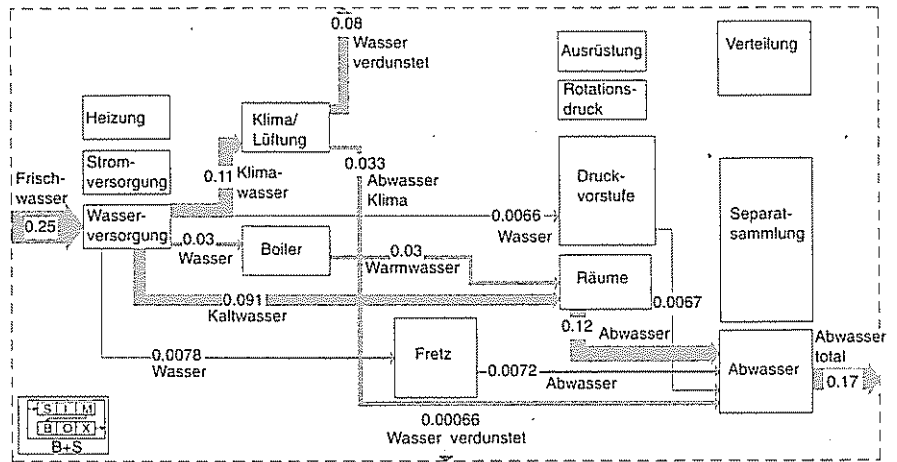


Fig. 2 Wasserflüsse der Druckerei Schlieren in Litern pro Zeitung für 1996.

Sowohl Datenauswertung wie Modellrechnungen können eingesetzt werden, um Optionen für die Lenkung von Stoffflüssen aufzuzeigen. Für beide Bereiche kann das an der EAWAG entwickelte Programm SIMBOX verwendet werden.

Illustration am Betrieb «Druckerei NZZ»

Betriebe sind wichtige Komponenten in der Kette menschlicher Aktivitäten. Hier ist eine Lenkung von Stoffflüssen sehr wirksam und zwar nach vorne (Ressourcenverbrauch) und nach hinten (Umwelteinwirkungen).

In einem gemeinsamen Projekt der NZZ und der EAWAG wurde 1996 eine Stoffbuchhaltung für die NZZ-Druckerei durchgeführt [4]. Im Rahmen der ISO 14001 Zertifizierung diente sie dazu, Umweltleistungen sichtbar zu machen (sie ist aber für ISO 14001 nicht unbedingt nötig). Die Stoffbuchhaltung ist aber Grundlage für das *innerbetriebliche Umweltmanagement*, wo versucht wird, den Ressourcenverbrauch zu optimieren und die Umweltleistungen zu verbessern.

Stoffflüsse sichtbar machen: Figur 2 zeigt den ersten Schritt der Stoffbuchhaltung: das vereinfachte System der Druckerei Schlieren. Die 5 Kolonnen von Boxen bedeuten von links nach rechts:

- Energieträger und Wasser,
- Boiler und Klimaanlage,
- Tochtergesellschaft Fretz,
- Druckerei & Entsorgung und
- Zeitungsauslieferung.

In einem 2. Schritt wurden die Daten für die entsprechenden *Material- und*

Energieflüsse erfasst und mit SIMBOX visualisiert. In Fig. 2 ist ebenfalls der Wasserfluss für 1996 in Liter pro Zeitung zu sehen.

Die Beiträge Brauchwasser (Kantine und Toilette) sowie Klimawasser sind etwa von derselben Grössenordnung, währenddem das Prozesswasser ca. 1 Grössenordnung kleiner ist. Als Vergleich: Der gesamte Wasserverbrauch für den Druck einer Zeitung von 2.5 dl liegt im Promillebereich des täglichen Wasserverbrauchs einer Person in der Schweiz.

Stoffflüsse lenken: Durch Vergleich der Wasserflüsse in Fig. 2 mit Vergleichs-, resp. Referenzwerten, ergriff die NZZ technische Massnahmen. Dadurch konnte der Verbrauch 1997 um ca. 17% gegenüber 1996 gesenkt werden.

Eine andere Möglichkeit Stoffflüsse zu lenken bieten Simulationsrechnungen. Szenariorechnungen erlauben Varianten durchzuspielen im Hinblick auf betriebliche Veränderungen (etwa: wie verändern sich die Energie- und Stoffflüsse beim Ersatz der Druckmaschinen).

Schliesslich ermöglicht die Erweiterung des Systems den Einbezug der Zulieferer und Abnehmer [5]. Das ist der erste Schritt vom innerbetrieblichen zum regionalen Umweltmanagement. Ein Beispiel dazu ist die Berücksichtigung der ganzen Papierherstellung.

Entwicklung Photovoltaikanlagen

Diese Studie wurde im Rahmen einer Dissertation von Markus Real durch-

«Eine wichtige Erkenntnis bei der Einführung der betrieblichen Stoffbuchhaltung war, dass bei der Zeitungsproduktion die in Zeitungspapier enthaltene graue Energie mit Abstand den grössten Einfluss auf die Umwelt hat. Obwohl der Einsatz von altpapierhaltigem Zeitungspapier auf unserer Anlage als technisch nicht möglich galt, konnte nach intensiver Zusammenarbeit mit den Papierherstellern der Anteil Altpapier schrittweise auf über 50% gesteigert und der Anteil der grauen Energie entsprechend vermindert werden.» (Ergänzung von René Burlet, NZZ, am Infotag vom 11.9.98)



geführt [6]. Seine Problemstellung umfasste unter anderen folgende Fragen:

◦ Könnte Photovoltaik in der Schweiz eine wesentliche erneuerbare Energiequelle werden?

◦ Sind die durch den Aufbau von Photovoltaikanlagen im grösseren Stil verursachten Energie- und Materialflüsse wesentlich?

Seine Systemanalyse berücksichtigt die Produktion von Deckglas und Photovoltaikzellen, die Montage sowie die elektrische Energieverteilung.

Modellansatz

Er beinhaltet Annahmen über wichtige Grössen wie die

◦ Entwicklung der verfügbaren Sonnenzellenfläche: Grundlage sind sorgfältige Studien über die verfügbare Fläche, deren Orientierung usw. Figur 3A zeigt die angenommene zeitliche Entwicklung der Sonnenzellenfläche pro Kopf.

◦ Technologieeigenschaften: Materialverbrauch, Energieverbrauch, Lebensdauer, Wirkungsgrad, Recyclinggrad.

Alle Annahmen basieren auf Extrapolationen des heutigen Standes der

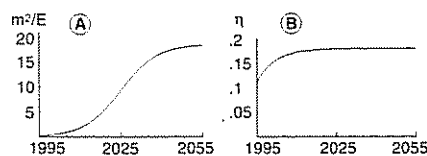


Fig. 3
Annahmen über die zeitliche Entwicklung der Sonnenzellenflächen (A) und des Wirkungsgrades η (B). Zum Vergleich der Flächenbedarf pro Kopf in der Schweiz: Stausee 18 m^2 und Fenster 18 m^2 .

Technik in die Zukunft. Sie sind gut abgestützt. Exemplarisch ist in Fig. 3B der Wirkungsgrad für kristalline Solarzellen dargestellt. Er stellt einen Durchschnitt über die verschiedenen verfügbaren Techniken dar.

Das von Real [6] betrachtete dynamische System mit dem Modellansatz führt auf ein

System von ca. 70 gekoppelten Integro-Differentialgleichungen. Sie wurden mit SIMBOX für verschiedenste Szenarien gelöst. Als Beispiel eines Resultates zeigt Figur 4 die Entwicklung der verschiedenen Beiträge zur elektrischen Energie in der Schweiz. Die Annahmen für die verschiedenen Beiträge sind:

- Wasserkraft: schwache Zunahme
- Wind + Biomasse: basierend auf realisierbaren Annahmen
- Solarenergie: wie oben beschrieben
- Fossil: Energieerzeugung via Brennstoffzellen
- Kernkraft: gemäss heutigen Betriebsbewilligungen

Interpretation

Wenn die Photovoltaikanlagen in der oben diskutierten Weise ausgebaut würden, wäre in der Schweiz ein Übergang zu erneuerbarer elektrischer Energieproduktion in ca. 60 Jahren möglich und zwar etwa auf dem heutigen Stand. Schnellere Ausbaueiten würden den Aufbau von nur kurzzeitig nutzbaren Produktionsüberkapazitäten bedeuten [6].

Schlussfolgerungen

Der erste Schritt im Umweltmanagement ist ein Verständnis des Systems und zwar aller wesentlicher Komponenten. Dazu können Modelle und Simulationsprogramme einen Beitrag leisten. Dies wurde für den Stoffhaushaltsansatz an Beispielen aufgezeigt. Diese Studien und viele andere ([7]–[9]) zeigen nämlich:

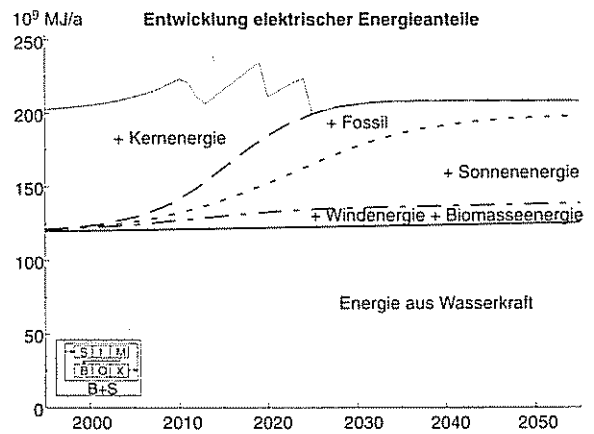


Fig. 4
Beiträge der unterschiedlichen Energiequellen zur schweizerischen Stromproduktion in 10^9 MJ/Jahr .

◦ Der Stoffhaushaltsansatz ist in der Lage, Stoffflüsse aufzuzeigen und Optionen für deren Lenkung zu simulieren.

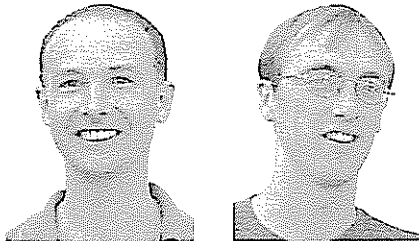
◦ Für betriebliches Umweltmanagement genügen oft stationäre Modelle, regionales Umweltmanagement verlangt hingegen dynamische Modelle.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Sinnvoll eingesetzte Modelle sind geeignete Werkzeuge im Umweltmanagement.

- [1] Bader H.-P., Baccini P. (1997): System-Modelle und Simulations-Programme im Umweltmanagement – Eine kritische Analyse zum Stande der Technik. GAIA 5, No. 6, 263–275.
- [2] Baccini P., Bader H.-P. (1996): Regionaler Stoffhaushalt, Erfassung, Bewertung und Steuerung. Heidelberg (Spektrum, Akademischer Verlag).
- [3] Kytzia S. (1998): Wie kann man Stoffhaushaltssysteme mit ökonomischen Daten verknüpfen? In: Ressourcen im Bau, 69–79, Zürich (vdf).
- [4] Kytzia S. (1996): Umweltmanagement in Unternehmen. Der Einsatz der betrieblichen Stoffbuchhaltung am Beispiel der Neuen Zürcher Zeitung AG. EAWAG Jahresbericht.
- [5] Faist M. (1996): Stoffhaushaltsmodell für die regionale Papierbewirtschaftung. Diplomarbeit.
- [6] Real M.: A methodology for evaluating the metabolism in the large scale introduction of renewable energy systems. Dissertation eingereicht Herbst 1998.
- [7] Müller D.B.: Physiologische Modelle der Holzbewirtschaftung in der Entwicklung von Strategien für eine nachhaltige Regionalentwicklung urbaner Systeme. Dissertation eingereicht Herbst 1998.
- [8] Binder C., Bader H.-P., Baccini P.: Metabolic Concepts and Dynamic Models for Monitoring Materials in developing Countries. In Vorbereitung.
- [9] Zeltner C., Bader H.-P., Scheidegger R., Baccini P.: Methode zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Metallen, am Beispiel des Kupfers in den USA. Eingereicht in Geowissenschaften.

Christoph Zeltner und Thomas Lichtensteiger

Produktedesign in der thermischen Abfallbehandlung



Thomas Lichtensteiger

Christoph Zeltner

Die Rostofentechnologie heutiger Müllverbrennungsanlagen erlaubt eine gezielte Schadstofflenkung. Bezüglich der Ressourcenlenkung sind ihre Möglichkeiten begrenzt. Derzeit werden neue Verfahren entwickelt, die sich besser zur Rohstofflenkung eignen. Wie ermöglichen Systemkenntnisse ein Produktedesign mit effizienter Nutzung der Reaktionspotentiale?

Motivation

«No Müll – just Schrott» lautet der Slogan der Schweizer Stahlindustrie (Fig. 1). Die Sekundärressource «Schrott» deckt 100% des Eisenbedarfs der Branche. Zur Herstellung hochwertiger Produkte können nicht irgendwelche Zufallsprodukte als Ressourcen eingesetzt werden. Gefragt sind konstante Qualitäten mit spezifischen Eigenschaften. Für viele Sekundärressourcen ist ein eigentliches Produktedesign erforderlich [1]. Für die Abfallwirtschaft ist das eine neue Herausforderung.

In den Verfahrensketten vom Erz zum metallischen Werkstoff sind *Schmelzverfahren* zentral. Im Gegensatz zur Versorgung werden bei der Entsorgung heute noch wenig Schmelzprozesse eingesetzt. Die thermische Behandlung der Siedlungsabfälle erfolgt in der Schweiz derzeit in Müllverbrennungsanlagen (MVA) mit Rostöfen. Ein wesentlicher Effekt der Rostfeuerung liegt darin, dass sich die verbleibenden Rückstände bei der Ablagerung in Monodeponien um Größenordnungen günstiger verhalten als deponierter Siedlungsabfall [2, 3]. Die heutige Rostofentechnologie ermöglicht somit eine gezielte *Schadstofflenkung*. Zudem werden organische Stoffe energetisch genutzt. Die meisten anorganischen Stoffe bleiben aber einer hochwertigen Nutzung verschlossen. Das gilt beispielsweise für Kupfer. Aus der Sicht der *Ressourcenlenkung* ist das zu bedauern, da die zu behandelnden Abfälle wichtige Träger für Kupfer wie auch für andere Wertstoffe sind: Die Momentaufnahme für das Jahr 1990



Fig. 1 Informationskampagne der Schweizer Stahlindustrie. Das Plakat bringt zum Ausdruck, dass für hochwertige Produkte definierte Materialqualitäten gefragt sind und nicht irgendwelche Zufallsprodukte.

von Fig. 2 basiert auf einer *dynamischen SIMBOX-Modellrechnung* [5]. Sie zeigt am Beispiel der USA, dass bereits mehr Kupfer in Deponien gelagert ist oder sich noch in Bauwerken bzw. in mobilen Gütern befindet als abbauwürdige Primärvorkommen vorhanden sind: Die Vorräte bei den Primärvorkommen liegen bei ca. 350 kg pro Kopf. In den Bereichen «Konsum» und «Deponie» lagern pro Kopf insgesamt ca. 450 kg. Der jährliche Zuwachs in die Deponie aus dem Bereich «Entsorgung» liegt bei 3 kg pro Kopf und Jahr. Eine neue Generation von thermischen Abfallbehandlungsverfahren

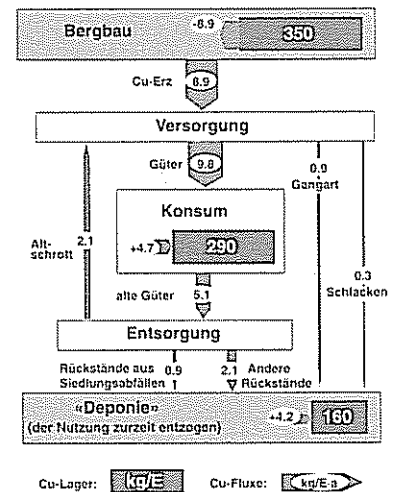


Fig. 2 Lagerbestände und Fluxe der Ressource Kupfer vom Bergbau bis zur Entsorgung (Daten der USA). Momentaufnahme für das Jahr 1990, basierend auf einer dynamischen Modellierung mit SIMBOX [5]. Rund 1 kg pro Einwohner (E) und Jahr (a) werden über den Siedlungsabfall in die Deponie eingetragen. Für die Ressourcenbewirtschaftung ist das ein relevanter Beitrag.

GENESE HSR-VERFAHREN

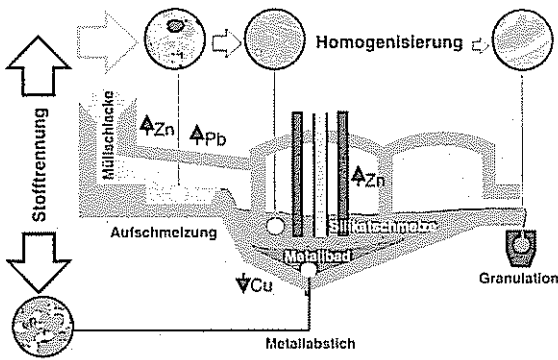


Fig. 3 Längsschnitt durch ein Schmelzverfahren zur Behandlung von Siedlungsabfall nach metallurgischen Prinzipien (HSR = Holderbank-Schmelz-Redox). Die Anlage ist in dieser Variante zur Nachbehandlung von Müllschlacken aus Rostfeuerungsanlagen ausgelegt. Die Genese des Materialstroms führt zu einer zunehmenden Homogenisierung und zu einer Auftrennung in eine kupferreiche Metallschmelze und eine gereinigte Silikatschmelze. Flüchtige Stoffe wie Zink und Blei werden über den Gaspfad abgetrennt. In der Schmelzbehandlung bilden sich Metalltröpfchen, die sich absetzen und so das Metallbad ansteigen lassen. Die silikatische Schmelze fließt kontinuierlich in ein Wasserbad ab und granuliert. Das Metallbad wird wie bei metallurgischen Prozessen von Zeit zu Zeit «abgestochen».

soll solche Ressourcenpotentiale besser nutzen. Die bereits in konventionellen Anlagen erprobte Abtrennung von Stoffen über die Gasphase wird mit Schmelzprozessen kombiniert, wie sie in der Metallurgie eingesetzt werden. Aus der Schmelze entmischen sich silikatische und metallische Produkte. 80% der behandelten Rückstände gelangen in das silikatische Schmelzprodukt. Für dieses wird eine Gesteinsähnlichkeit angestrebt mit spezifischen Eigenschaften für eine hochwertige Nutzung im Baubereich [4]. Das schwerflüchtige Kupfer wird über die metallischen Schmelzprodukte abgetrennt und kann so der weiteren Verhüttung zugeführt werden.

Partnerschaft

Die Untersuchungen zum Produktdesign erfolgen in Zusammenarbeit der EAWAG mit Anlagenherstellern und der Zementindustrie. Das Interesse der Zementindustrie besteht in der Weiterverarbeitung des silikatischen Granulats (Zumahlstoff bzw. Zusatzstoff für Zement und Beton). Für die EAWAG waren die folgenden Kriterien für die Wahl der Forschungspartner ausschlaggebend: Zielsetzung, Entwicklungsstand, Zugang zur Anlage und gegenseitige Komplementarität der verglichenen Systeme (z.B. mit oder ohne mechanische Trennschritte).

Ansatz

Es werden drei Pilotanlagen mit unterschiedlichen neuen Verfahren verglichen. Die Prozesse werden im Kontext geogener und metallurgischer Schmelzprozesse betrachtet. Dazu wird die Genese der Schmelzprodukte mit

einem petrologischen Ansatz ermittelt. Dabei wird auf die Prozesse der Homogenisierung und der Stofftrennung fokussiert. Im petrologischen Ansatz werden Methoden aus Geologie, Werkstoffkunde und Chemie mit dem Instrument der Stoffflussanalyse kombiniert. Experimentell ermittelte Daten werden zusammen mit mikroskopischen Untersuchungen sowie mit thermodynamischen und kinetischen Überlegungen zu einem Bild der ablaufenden chemisch-physikalischen Prozesse zusammengefügt.

Die Genese der Schmelzprodukte führt über vier Stufen: Schüttgutbehandlung, Aufschmelzphase, Schmelzbehandlung und Austrag. Fig. 3 zeigt das HSR-Verfahren der Firmen Von Roll Umwelttechnik AG und Holderbank Management und Beratung AG. Die Darstellung bezieht sich auf den Stand der Pilotanlage. Diese war zur Nachbehandlung von Rostfeuerungs-schlacke und MVA-Filterstäuben ausgelegt. D.h. in diesem Fall erfolgt die Schüttgutbehandlung im Wesentlichen in der MVA. Die Aufschmelzphase geschieht unter oxidativen Bedingungen im ersten Reaktorteil, die

Schmelzbehandlung unter reduktiven Bedingungen im zweiten und dritten Reaktorteil.

Es stellt sich die Frage, in welcher Phase idealerweise welche Reaktionen ablaufen sollten und wie sich diese erfassen und steuern lassen. Dabei kann unterschieden werden in Reaktionen, die förderlich oder wesentlich sind und in störende Reaktionen. Daneben gibt es auch indifferente Reaktionen (Fig. 4).

Resultate

Die Genese der Schmelzprodukte ist geprägt durch zunehmende Stofftrennung und zunehmende Homogenität (Fig. 3).

Die Ergebnisse zeigen, dass es für die Homogenisierung genügt, wenn Sauerstoffzufuhr, Aufenthaltszeiten und Temperaturen genügend hoch sind. Die untersuchten Silikatschmelzen sind homogener als metallurgische Schlacken. Oft sind sie auch homogener als geogene Magmaschmelzen.

Eine differenziertere Behandlung ist für eine optimale Stofftrennung nötig. Hier gilt es, die im Siedlungsabfall enthaltenen Reaktionspotentiale zu nutzen. Die gewählte Systematik der förderlichen, indifferente oder störenden Reaktionen ist dabei sehr hilfreich: Aus Fig. 5 wird ersichtlich, welche Evidenzen die mikroskopische Betrachtungsweise zum Verhalten von Kupfer liefert: In den Metall- und in den Silikatprodukten treten sowohl Kupfermetall als auch Kupfersulfide als eigenständige Phasen auf. Die Art der Ausbildung von Kupferphasen im Silikatprodukt ist auf den Verlauf des Entmischungsprozesses zurückzuführen: Bei einer schnellen Abkühlung der Silikatschmelze (Granulation im

Verständnis der Wirkungsweise bestimmter Inhaltsstoffe oder Reaktionen

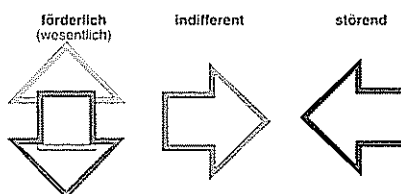


Fig. 4 Die Genese des Materialstroms lässt sich einteilen in förderliche, indifferente und störende Reaktionen bezogen auf die Aspekte «Homogenisierung» und «Stofftrennung». Dies gibt die Basis für weitere Lenkungsmaßnahmen.

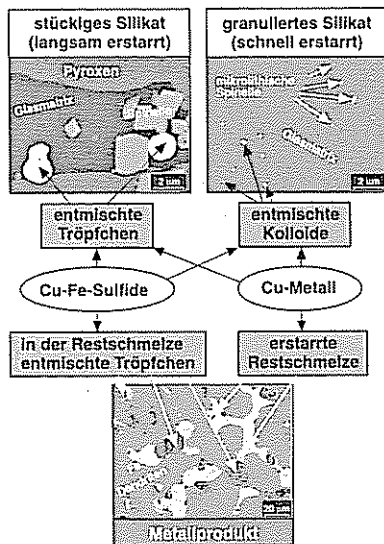


Fig. 5
Kupferreiche Phasen im Metallprodukt (unten) und in unterschiedlich abgekühlten Silikatprodukten im Rasterelektronenmikroskop. Die sehr kleinen Kolloide und Mikrolithe sind nachgezeichnet. Mikroskopische Gefügeuntersuchungen an langsam erstarrten Silikatprodukten lassen erkennen, ob Kupfer in der Silikatschmelze oxidisch oder sulfidisch vorliegt. Daraus lassen sich spezifische Optimierungsmassnahmen ableiten.

Wasserbad) verbleibt nur wenig Zeit für den Entmischungsvorgang, so dass dieser nur unvollständig abläuft. In den glasigen Granulaten scheiden sich zonenweise Kolloide aus, welche zu schlierenartigen Verfärbungen führen. Die Kolloide sind sehr klein (unter 1 µm) und daher schwierig einzeln zu analysieren. Wird die Silikatschmelze anstelle der Granulation im Wasserbad in eine Giessform abgefüllt, so dauert die Abkühlung länger und es bleibt mehr Zeit für die Entmischung der in der Silikatschmelze gelösten Kupferspezies. In diesem Fall bilden sich Tröpfchen, die etwa zehnmal grösser sind als die Kolloide. Ihre Zusammensetzung kann nun im Rasterelektronenmikroskop analysiert werden. Das Kupfergleichgewicht zwischen Metall- und Silikatschmelze lässt sich thermodynamisch modellieren, sofern zudem die Elementgehalte der Kupferphasen im Metallprodukt, Temperatur und Sauerstoffpartialdruck bekannt sind. Letzterer berechnet sich aus dem Verhältnis Fe(II):Fe(III) der Silikatschmelze. Somit können die limitierenden Faktoren der Kupferabtrennung während der Schmelzbehandlung evaluiert

werden. Es zeigt sich, dass bei den meisten untersuchten Proben Kupfer mehrheitlich sulfidisch vorliegt. Der Schwefel ist störend für die Kupferabtrennung: Je mehr davon vorhanden ist, desto mehr beeinflussen neben Kupfermetall und Kupferoxiden auch Kupfersulfide das Gleichgewicht. Ist die Temperatur im Reduktionsreaktor sehr hoch und ist der Sauerstoffpartialdruck besonders tief, so ist die Löslichkeit der Kupfersulfide in der Silikatschmelze erhöht. Da für die Kupferoxid-Reduktion und auch für das Abdampfen von Zink solche Bedingungen ausgesprochen förderlich wären, liegt hier ein Zielkonflikt vor.

Trotz der erwähnten Limitierungen ist die Abtrennung von Kupfer weitergehend als in Schlacken der Kupfermetallurgie. Würde es gelingen, den Schwefel vorgängig besser abzutrennen, liesse sich das Kupfer besser im Metallbad anreichern.

Stofftrennung und Homogenisierung sollen aufeinander abgestimmt erfolgen. Die Homogenisierungsprozesse wirken auf die Stofftrennung fördernd, können aber bezüglich einiger Aspekte stören: je homogener, desto besser sind die Prozesse verfahrenstechnisch beeinflussbar, aber eine zu schnell ablaufende Homogenisierung bewirkt, dass wenige förderliche und viele indifferente und störende Prozesse erfolgen (z.B. unerwünschte Bildung von Zinksilikaten oder Metallsulfiden). Für eine ausführlichere Darstellung muss auf [6] verwiesen werden. Neben dem HSR-Verfahren werden dort auch das Thermoselect-Verfahren und das Siemens-Schmelzbrenn-Verfahren einbezogen.

Konsequenzen

Schmelzprozesse verändern Entsorgungssysteme grundlegend. Es stellt sich die Frage, welche Rolle sie übernehmen sollen. Schmelzprozesse mit Stofftrennung sind primär dort am Platz, wo Materialströme zu behandeln sind, welche relevante Träger von Wertstoffen sind. Mechanische Trennprozesse werden damit nicht überflüssig.

Auch in der Metallurgie haben mechanische Trenn- und Zerkleinerungsprozesse einen festen Platz.

Die Umgestaltung unserer Entsorgungssysteme verlangt langfristige Sichtweisen von den Anlagenherstellern und auch von den übrigen Akteuren. Schmelzverfahren sind komplexe Verfahren mit hohen Anforderungen an Regeltechnik, Feuerfestmaterialien und Sicherheit. Der vorgestellte Ansatz kann dazu beitragen, Verbesserungspotentiale zu erkennen und anzugehen. Die Forschung auf den industriellen Anlagen muss weiter gehen. Die erwähnten Hersteller haben derzeit grosstechnische Anlagen im Bau oder in der Inbetriebnahme.

Von einer verbesserten Ressourcenlenkung können wir dann sprechen, wenn die stofflichen Potentiale der verschiedenen Abfallfraktionen besser genutzt werden. Es sollen mehr förderliche und weniger störende Prozesse ablaufen. Es ist durchaus denkbar, dass in einer anfänglich auf Siedlungsabfall ausgerichteten Anlage, in einer späteren Phase Fraktionen mit noch grösseren Schwermetallgehalten mitbehandelt werden. Die Stofftrennungspotentiale des Siedlungsabfalls könnten damit noch effizienter genutzt werden.

- [1] Lichtensteiger T., Hrsg. (1998): Ressourcen im Bau – Aspekte einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich
- [2] Belevi H., Baccini P. (1991): Long-term Assessment of Leachates from Municipal Solid Waste Landfills and Bottom Ash Monofills. Journal of Resource Management and Technology, Vol. 19, No. 2, 68–73.
- [3] Baccini P., Gamper B., Hrsg. (1994): Deposition fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft – Endlager-Qualität am Beispiel Müllschlacke. Vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich.
- [4] Lichtensteiger T. (1997): Produkte der thermischen Abfallbehandlung als mineralische Zusatzstoffe in Zement und Beton – Ein Beispiel für Produktdesign in der Abfallwirtschaft. Müll und Abfall, 29. Jahrgang, Heft 2, 80–84.
- [5] Zeltner Ch., Bader H.-P., Scheidegger R., Baccini P. (in Vorb.): Methode zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Metallen, am Beispiel des Kupfers in den USA.
- [6] Zeltner Ch. (1998): Petrologische Evaluation der thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen über Schmelzprozesse. Diss. EAWAG/ETH. ETH Nr. 12 688.

Laura Sigg, Renata Behra, Markus Boller, Rik Eggen, Werner Meier,
Barbara Sulzberger und Hanbin Xue

Bedeutung der Einträge von Kupfer in die Gewässer



Laura Sigg

Führt Kupfer aus Hausdächern und Dachrinnen zu Problemen in den Gewässern und in den Böden? Sind die Emissionen aus diesen Quellen überhaupt relevant? Diese und andere Fragen zur Bedeutung der Kupfereinträge in die Gewässer werden gegenwärtig vom Bauwesen und den Umweltfachleuten kontrovers diskutiert.

In dieser Übersicht legen wir verschiedene Aspekte zu den Stoffflüssen von Kupfer in der Umwelt, zum Schicksal von Kupfer in den Gewässern und zu seinen ökotoxikologischen Effekten im Zusammenhang dar.

Stoffflüsse von Kupfer

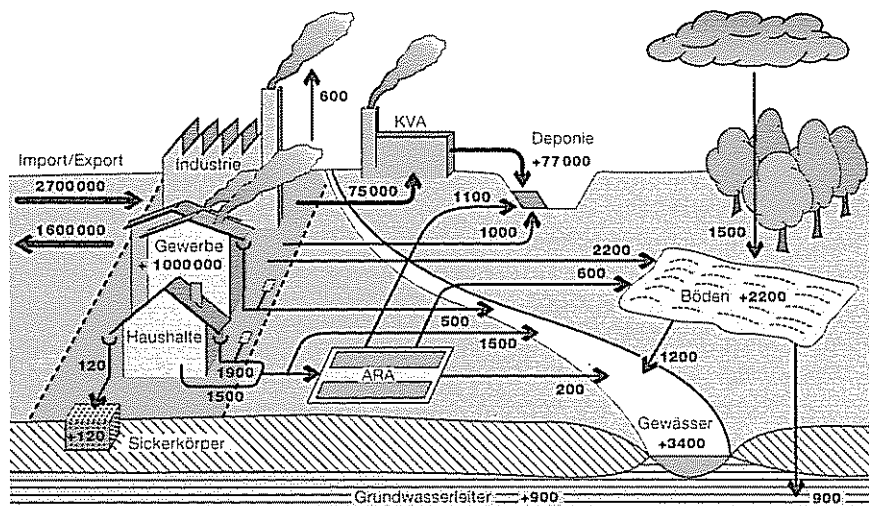
Zu den wichtigen Emissionsquellen von Kupfer in die Umwelt, vor allem in die Böden und Gewässer, gehören

- die an Gebäudehüllen und in Hausinstallationen verwendeten Kupferbestandteile,
- die in der Landwirtschaft in Düngern und Pestiziden (z.B. Fungizide) eingesetzten Kupferverbindungen,
- das in Klärschlamm enthaltene Kupfer und
- der Kupferabrieb aus dem Strassen- und Schienenverkehr [1–3].

Am Beispiel des Einzugsgebietes Töss wurden die Kupferflüsse einer Region aufgrund von Erfahrungswerten

aus anderen Regionen berechnet ([3], Fig. 1). Am meisten Kupfer wird beim Import und Export von Kupfer in die Region, bei der Anreicherung in Gewerbe und Haushalten und bei den auf Deponien abgelagerten Mengen umgesetzt. Diese grossen Stoffflüsse müssen für die Bewirtschaftung von Kupfer als begrenzte Ressource berücksichtigt werden. In Bezug auf Wasser und Boden sind aber vorwiegend die im Vergleich mit der Gesamtbilanz relativ geringen *diffusen* Einträge in die Umwelt von grosser Bedeutung, da diese zur Akkumulation in Böden und Sedimenten sowie zu erhöhten Gehalten in den Gewässern führen. Auf die beträchtliche Akkumulation von Kupfer in landwirtschaftlichen Böden soll hier lediglich hingewiesen werden [1]. Die Kupferbelastung der Töss setzte sich bei dieser Bilanz vor allem aus den Abschwemmungen aus landwirtschaftlichen Böden, aus den Kläranlagenabflüssen und Regenentlastungen, und aus Direkteinleitungen von Meteorwasser zusammen. Die Meteorwasser aus Strassen und Dächern lieferten wesentliche Anteile des Kupfers im kanalisierten Abwasser (ca. 56%) und im unkontrollierten Abwasser. Zudem dürfte ein beträchtlicher Anteil des Kupfers in den häuslichen Abwässern aus den Hausinstallationen stammen [2].

Fig. 1
Wichtigste Kupferflüsse im Einzugsgebiet der Töss in kg/Jahr (Fläche: 430 km², Bevölkerung: 180 000 EinwohnerInnen [3]).



Konzentrationen und Spezierung in den Gewässern

In Tab. 1 sind einige typische Konzentrationen von «gelöstem» (<0.45 µm) und gesamtem Kupfer in schweizerischen Gewässern zusammengestellt.

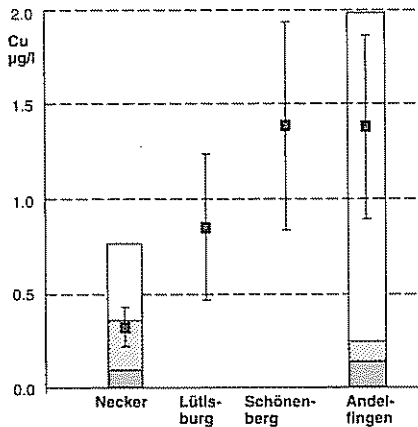


Fig. 2
Konzentrationen und Verteilung von Kupfer an vier Stellen entlang der Thur.
Die Punkte stellen die Mittelwerte der bei 4 Probenahmen gemessenen gelösten Kupferkonzentrationen dar. Die Balken bei Necker und Andelfingen zeigen die Verteilung von Kupfer auf gelöste (Molekulargewicht <10000, weiss), kolloidale (MG >10000, <0.45 µm, schraffiert) und partikuläre (>0.45 µm, dunkel) Spezies.

Die gemessenen Konzentrationen in diesen Gewässern sind mit typischen Hintergrundkonzentrationen (ca. 0.2–1 µg/l) und mit dem neu vorgeschlagenen und ökotoxikologisch begründeten Qualitätsziel von 2 µg Cu/l (gelöst) zu vergleichen [4]. In Seen werden tiefe Cu-Konzentrationen gemessen. Erhöhte Cu-Konzentrationen werden aber in einigen kleineren Fließgewässern beobachtet, wobei je nach Gewässer verschiedene Quellen von Bedeutung sind (nämlich landwirtschaftliche Einträge bei der Kleinen Aa, metallverarbeitende Betriebe bei der Birs und diffuse Einträge aus Abwässern und Landwirtschaft bei

Gewässer	Cu gelöst	Cu gesamt
Greifensee	0.5–1.0	
Rhein-Rekingen	0.1–0.7	0.4–1.6
Rhein-Village-Neuf	0.5–1.6	0.9–2
Kleine Aa	2–4	
Birs	2–6	4–11
Thur-Andelfingen	1.5–2.0	2.0–2.5
Glatt		3–6

Tab. 1
Gelöste und gesamte Kupfer-Konzentrationen in µg/l.
(Stichproben; bei Glatt Jahresmittelwerte)

der Thur und der Glatt). Am Beispiel der Thur zeigt sich die Erhöhung der Kupferkonzentrationen an drei verschiedenen Stellen entlang des Flusses (Fig. 2), im Vergleich zur ersten unbelasteten Stelle am Necker (Seitenbach). In der Glatt zeigen die Jahresmittelwerte von Kupfer (total) im Zeitraum von 1975–1997 keinen eindeutigen zeitlichen Trend [5]. In diesem Fall stammt Kupfer vor allem aus den häuslichen Abwässern, wobei die Entwicklung der Kupfer-Hausinstallationen und der Ausbau der Kläranlagen sich hier ausgleichen dürften. Im Rhein unterhalb von Basel hingegen haben die Kupferjahresmittelwerte im gleichen Zeitraum abgenommen, wobei die aktuellen Werte (Cu_{total}) bei 1.5 µg/l liegen. Im Rhein dürfte die Sanierung von Punktquellen für diese Abnahme eine grössere Rolle gespielt haben.

Im Hinblick auf die ökotoxikologischen Auswirkungen genügt es aber nicht, die gelösten oder totalen Konzentrationen von Kupfer zu kennen. Entscheidend für die Auswirkungen sind die verschiedenen chemischen Formen von Kupfer (Spezierung). Für Effekte auf aquatische Organismen wird meistens angenommen, dass die freien Kupferaquationen massgebend sind, d.h. Kupferionen, die nur an Wassermoleküle gebunden sind. Kupfer wird in Lösung stark durch organische Komplexbildner gebunden. In natürlichen Gewässern sind die Komplexbildner grösstenteils natürlicher Herkunft (Huminsäuren und Fulvinsäuren) sowie andere Liganden biologischer Herkunft, umfassen aber auch synthetisch hergestellte Komplexbildner (z.B. EDTA). Experimentell wird einerseits zwischen Kupfer in verschiedenen Grössenklassen unterschieden (gelöst, kolloidal, partikulär, Fig. 2). Bei Trockenwetter und geringen Schwebstoffkonzentrationen liegt Kupfer grösstenteils in gelöster Form vor. Andererseits wurde gezeigt, dass Kupfer in Lösung in natürlichen Gewässern typischerweise an starke organische Komplexbildner gebunden ist und dass nur ein sehr geringer Anteil in Form von Aquationen vorliegt [6]. So ist in den

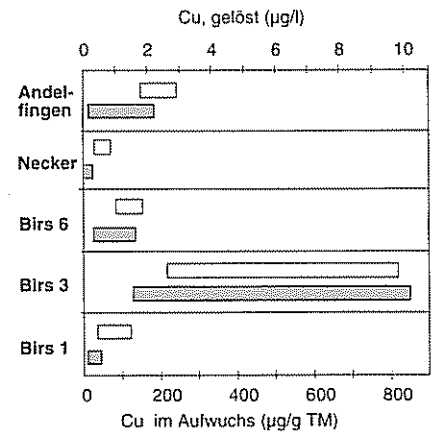


Fig. 3
Kupfergehalte im Aufwuchs (µg/g Trocken-gewicht, untere Skala, schraffierte Balken) im Vergleich zu gelösten Konzentrationen im Wasser (µg/l, obere Skala, weisse Balken) an verschiedenen Stellen der Birs und der Thur.

Beispielen von Fig. 2 das Verhältnis $[Cu^{2+}]/[Cu]_{Gesamt} \approx 10^{-6} - 10^{-7}$, wobei $[Cu^{2+}]$ die Konzentration der freien Kupferaquationen und $[Cu]_{Gesamt}$ die gelöste Konzentration darstellt. Die Einwirkung von Licht auf organische Cu-Komplexe kann zur Reduktion von Cu(II) zu Cu(I) und zur Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (Radikale) führen, die ihrerseits z.B. die Erbsubstanz der Zellen angreifen können, wie im nächsten Abschnitt dargelegt wird. In partikulärer Form kann Kupfer adsorbiert an verschiedenen Arten von Partikeln oder ausgefällt (z.B. als Sulfid) vorkommen.

Ökotoxikologische Auswirkungen von Kupfer

Kupfer ist für die Organismen lebensnotwendig (essentiell), in erhöhten Mengen ist es jedoch toxisch. Schwierigkeiten bestehen bei der Beurteilung der Auswirkungen kleiner Konzentrationen in der Umwelt.

Die Empfindlichkeit verschiedener Algenarten gegenüber Kupfer ist sehr unterschiedlich. Untersuchungen des Algenwachstums in Abhängigkeit der Konzentration der freien Kupferaquationen zeigen, dass schon geringe Konzentrationen (z.B. 10^{-10} M Cu^{2+})

zur Inhibierung des Wachstums empfindlicher Arten führen [7].

Die Aufnahme von Kupfer kann im Aufwuchs (auf Steinen gewachsene Gemeinschaft von Mikroorganismen) an belasteten Stellen in Gewässern nachgewiesen werden (Fig. 3). An unbelasteten Stellen in der Birs und im Necker (Thur-Gebiet) werden tiefe Kupfergehalte im Aufwuchs beobachtet. Geringe Erhöhungen der Cu-Konzentrationen in Gewässern widerspiegeln sich in erhöhter Aufnahme im Aufwuchs und über einen grösseren Bereich variierenden Cu-Gehalten.

Über die Auswirkungen von Kupfer auf natürliche Algengemeinschaften gaben Experimente Auskunft, bei denen Kupfer zu natürlichem Flusswasser (Glatt-Oberlauf) zugegeben und die Artenzusammensetzung in Aquarien quantifiziert wurde (Fig. 4, [8]). Erwartungsgemäss fanden grössere Verschiebungen in der Artenzusammensetzung bei höheren Kupferkonzentrationen statt. Tolerante Arten, wie z.B. *Oocystis nephrocytioides*, nahmen überhand. Bemerkenswert waren die Auswirkungen geringer Erhöhungen der Kupferkonzentrationen, im Bereich der aktuellen Werte in Fließgewässern (vgl. Tab. 1), die zum Verschwinden empfindlicher Arten, insbesondere von Blaualgen führten.

Verschiedene molekulare Mechanismen können zu schädlichen Auswirkungen von Kupfer führen. Noch wenig bekannt sind die Mechanismen, durch welche Kupfer in Kombination mit reaktiven organischen Stoffen wirkt. Als Beispiel wurde die Wirkung von Kupfer zusammen mit Brenzkatechin auf den Abbau von DNS (Desoxyribonucleinsäure, Erbsubstanz

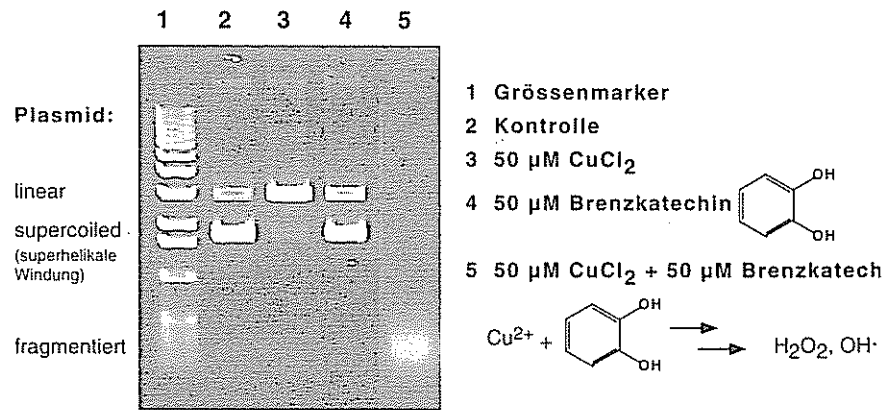


Fig. 5

Abbau von DNS unter dem Einfluss von Kupfer und Brenzkatechin.

Auf dem abgebildeten Gel ist in der Kontrolle (2) die Plasmid-DNS in den Formen zu sehen, wie sie aus Zellen isoliert wurde. Unter dem Einfluss von Cu allein (3) oder Brenzkatechin allein (4) ist keine Veränderung sichtbar. Bei der Kombination von Cu und Brenzkatechin (5) wird die DNS fragmentiert [9].

der Zellen) untersucht [9]. Die Reaktion von Kupfer mit Brenzkatechin führt zur Bildung reaktiver Sauerstoffspezies, nämlich Wasserstoffperoxid und wahrscheinlich OH-Radikale. Diese hochreaktiven Spezies führen *in vitro* zum Abbau einer bakteriellen Plasmid-DNS, d.h. die DNS wird durch diese Reaktionen fragmentiert (Fig. 5), während Kupfer oder Brenzkatechin allein zu keinen erkennbaren Schäden führen.

Schlussfolgerungen

Die angeführten Beispiele zeigen, dass die anthropogen bedingten Einträge von Kupfer in die Gewässer zu messbaren Konzentrationen, und diese erhöhten Kupferkonzentrationen ihrerseits zu Veränderungen in den natürlichen Lebensgemeinschaften führen.

Die diffusen Einträge von Kupfer in die Gewässer (und auch in die Böden) sollten daher möglichst niedrig ausfallen. Kupfer wird häufig in langlebigen Produkten verwendet, die noch über

viele Jahre Kupfer abgeben werden. Zumindest sollten sich die Einträge nicht erhöhen, d.h. Kupferanwendungen an Gebäudehüllen, die der Verwitterung ausgesetzt sind, sowie auch in der Landwirtschaft, sollten kritisch überprüft werden.

Cu in Aquarien, µM +	0	0.05	0.1	0.5	1	5
µg/l +	0	3	6.3	32	63	315
<i>Oocystis nephrocytioides</i>	○	○	○	○	○	○
<i>Scenedesmus</i> spp.	○	○	○	○	-	-
<i>Oscillatoria</i> sp.	○	○	-	-	-	-

Fig. 4

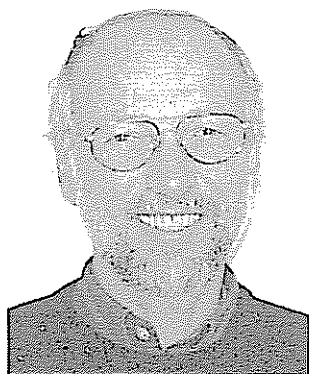
Veränderungen einer natürlichen Algengemeinschaft bei Zugabe von Kupfer. Die Kreise geben die relative Häufigkeit von drei Algenarten bei den zugegebenen Cu-Konzentrationen an [8].

- [1] Von Arx, U. (1998): Kupfer in der Schweiz (Standortbestimmung). Bericht BUWAL, Bern.
- [2] Boller, M. (1998): Diffuse Kupferbelastungen der Umwelt.
- [3] Meier, W.K., Bader, H.P., Henseler, G., Krebs, P., Reichert, P., Scheidegger, R. (1998): Regionale Stoffbewirtschaftung im Spannungsfeld von Nachhaltigkeit und Gesellschaft, GAIA, in Vorbereitung.
- [4] Behra, R., Genoni, G.P., Sigg, L. (1993): Wissenschaftliche Grundlagen für die Festlegung der Qualitätsziele für Metalle und Metalloide in Fließgewässern. Gas, Wasser, Abwasser, 73, 942-951.
- [5] LHG, Landeshydrologie und -geologie: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz.
- [6] Xue, H., Oestreich, A., Kistler, D., Sigg, L. (1996): Free cupric ion concentrations and Cu complexation in selected Swiss lakes and rivers. Aquatic Sciences, 58, 69-87.
- [7] Knauer, K., Behra, R., Sigg, L. (1997): Effects of free Cu²⁺ and Zn²⁺ on growth and metal accumulation in freshwater algae. Env. Toxicol. Chem., 16, 220-229.
- [8] Soldo, D., Behra, R. (1998): Long-term effects of copper on the structure and the tolerance of freshwater periphyton communities to copper, zinc, nickel and silver. Aquatic Toxicology, submitted.
- [9] Schweigert, N.A., Belkin, S., Morgenthaler, P., Zehnder, A.J.B., Eggen, R.I.L. (1998): Combinations of chlorocatechols and heavy metals cause DNA degradation *in vitro* but must not result in increased mutation rates *in vivo*. Submitted to: Environmental and Molecular Mutagenesis.

Walter Giger, Eva Molnar, Slavica Ibric, Claudia Ruprecht,
Marijan Ahel, Christian Schaffner und Jean-Marc Stoll

Chemikalien aus Wasch- und Reinigungsmitteln in Schweizer Flüssen

Etwas bleibt immer zurück



Walter Giger

Chemikalien aus Wasch- und Reinigungsmitteln gelangen via kommunale und industrielle Abwasser teilweise auch in die Gewässer. Die Konzentrationen von optischen Aufhellern in Schweizer Flüssen ergeben Hinweise auf unterschiedliche Einträge und ermöglichen eine Beurteilung der Stoffflüsse in der Schweiz. Für die nichtionischen, reinigungsaktiven Substanzen des Nonylphenolpolyethoxylat-Typs und deren Abbauzwischenprodukte stellt sich die Frage, ob die Massnahmen der Eidgenössischen Stoffverordnung von 1986 genügen.

Wasch- und Reinigungsmittel (Detergentien) werden in grossen Mengen in Haushaltsprodukten sowie in Industrie und Gewerbe eingesetzt. Der jährliche Verbrauch in der Schweiz betrug 1996 ca. 145 000 Tonnen beziehungsweise 20 kg pro Kopf [1]. Diese Chemikalien werden fast hundertprozentig über die häuslichen und gewerblichen Abwässer entsorgt, und kleine Anteile gelangen aus den kommunalen Kläranlagen in die Gewässer. Die heutigen Detergentienprodukte sind relativ komplex zusammengesetzte Substanzgemische mit bis zu 20 Komponenten. Die einzelnen Inhaltsstoffe zeigen unterschiedliches Verhalten bei der Abwasserreinigung und in den Gewässern [2]. Die moderne chemische Analytik kann die meisten Detergentienchemikalien selektiv und empfindlich nachweisen und quantitativ messen [3]. In diesem Artikel berichten wir über (a) optische Aufheller und (b) nichtionische waschaktive Substanzen (Tenside) des Nonylphenolpolyethoxylat-Typs. Diese beiden Substanzgruppen wurden an der EAWAG in mehreren Doktorarbeiten in einem umfassenden Sinne untersucht [4, 5, 6, 7]. Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte umfassten die Bereitstellung analytischer Methoden, Labor- und Feldstudien sowie den Einsatz mathematischer Simulationsrechnungen.

Optische Aufheller aus Waschmitteln

Weisser als weiss –
auch in den Gewässern

Viele Waschmittel enthalten in kleinen Mengen (ca. 0.1%) sogenannte optische Aufheller, die durch ihre Lichtabstrahlung den Textilien eine weissere Farbe geben. Die zwei wichtigsten optischen Aufheller sind DAS (ein Diaminostilben) und DSBP (ein Distyrylbiphenyl). Frühere Arbeiten [5, 6] ergaben Methoden für die Abwasser- und Klärschlammanalytik sowie Kenntnisse über das Verhalten dieser Stoffe in Kläranlagen und über den Verlauf des photochemischen Abbaus.

Als Voraussetzung für die Gewässeruntersuchungen musste eine quantitative Messmethode für die Bestimmung von Spurenkonzentrationen der optischen Aufheller entwickelt werden [7]. Dabei wurden die optischen Aufheller aus wässrigen und festen Proben angereichert und anschliessend mit Umkehrphasen-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) gemessen.

In unseren Untersuchungen im Greifensee wurden das Auftreten in den Sedimenten und das dynamische Verhalten der optischen Aufheller in Wasserproben aus zehn Messstellen an sechs schweizerischen Flüssen während eines Jahres studiert. Die gefundenen

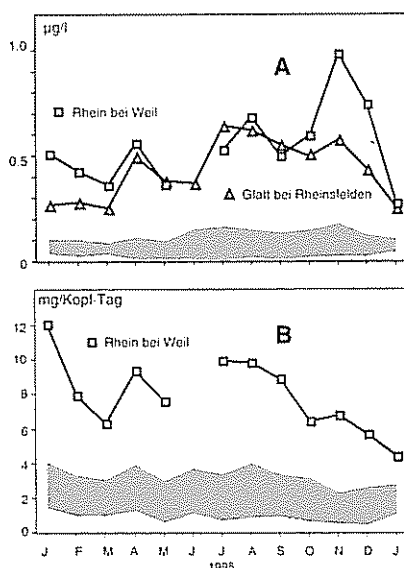


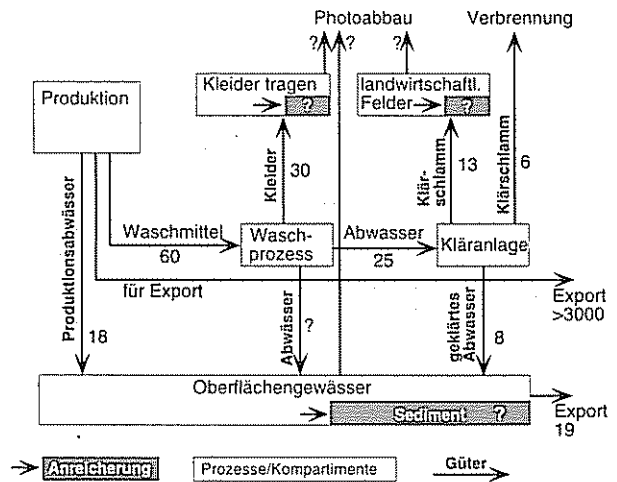
Fig. 1
Im Jahre 1995 an NADUF-Messstationen gefundene Konzentrationen (A) und Frachten (B) des optischen Aufhellers DAS. Die Werte für die nicht eingezeichneten Stationen befinden sich im grauen Band. Dazu gehören: Rhein bei Diepoldsau und Reckingen, Thur bei Andelfingen, Aare bei Bern und Hagneck, Saane bei Güttingen und Rhone bei Chancy.

Konzentrationen lagen in der Regel zwischen 10 und 120 ng/l, mit Extremwerten von bis zu 1000 ng/l. Die abflussproportionale Entnahme von zweiwöchigen Sammelproben erfolgte an den Messstationen des nationalen Programmes für die analytische Daueruntersuchung der schweizerischen Fließgewässer (NADUF). Fig. 1 zeigt die für DAS gefundenen Ergebnisse als Konzentrationen (ng/l) und als Frachten (mg/Kopf und Tag). Erhöhte Konzentrationswerte zeigen die beiden Stationen Rheinsfelden (Glatt, ZH) und Weil (Rhein unterhalb von Basel). Nach der Umrechnung zu Frachten bzw. Stoffflüssen ergibt sich nur noch für die Station Weil eine spezielle Situation, die durch den Eintrag von Industrieabwasser aus einem Chemiebetrieb in Grenzach am Rhein verursacht wird. Dort wird der optische Aufheller DAS hergestellt, und eine kleine Menge dieses Produktes geht über das industrielle Abwasser verloren. An der Station Porte du Scex in der Rhone ergab sich eine ähnliche Situation für den anderen optischen Aufheller DSBP, der in Monthey im Kanton Wallis hergestellt wird. Somit kann aus den Ergebnissen dieser Umweltmonitoring-Untersuchung auf den Standort der betreffenden Produktionsanlagen geschlossen werden. Die optischen Aufheller sind im Prinzip *molekulare Indikatoren* für den Eintrag der Abwässer aus den entsprechenden Produktionsbetrieben.

Stoffflussanalyse für die Region Schweiz

Die Kenntnis der Konzentrationen in den Flüssen und der Abflusswerte an den einzelnen Messstationen ermöglicht die Durchführung einer Stoffflussanalyse mit Systembegrenzung durch die Landesgrenzen. Die Ergebnisse sind in vereinfachter Form in Fig. 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass 13% der in Haushalten verbrauchten optischen Aufheller in die Flüsse gelangen. Dies entspricht einer Menge von 8 t/Jahr bei einem Verbrauch von 60 t im Jahr 1995. Bei der Produktion der optischen Aufheller werden zusätzlich gewisse Anteile ins Abwasser eingetra-

Fig. 2
Stoffflüsse für optische Aufheller in der Schweiz. Die für 1995 abgeschätzten Stoffflüsse sind in Jahrestonnen angegeben.



gen, obwohl die technischen Synthesen mit Blick auf möglichst kleine Abwasserbelastungen optimiert worden sind. Die relativ grosse Menge von 17 t/Jahr entspricht 0.5% der Jahresproduktion. Solche Stoffflussanalysen erlauben es, die verschiedenen Ein- und Austräge in einem grösseren System miteinander in Beziehung zu setzen. Da die beiden optischen Aufheller im Einzugsgebiet der Schweizer Gewässer produziert werden, entsteht eine besondere Situation bezüglich dem Verhältnis zwischen Industrieeintrag und Eintrag aus der Verwendung im Haushalt.

Nonylphenol-Verbindungen: Auswirkungen der schweizerischen Stoffverordnung von 1986

Nichtionische Tenside im kommunalen Abwasser

Von 1980 bis 1984 erfolgten an der EAWAG Untersuchungen über die als nichtionische Tenside verwendeten Nonylphenolpolyethoxylate (NPnEO) und die aus deren Bioabbau resultierenden Zwischenprodukte (Metaboliten) Nonylphenol (NP), Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) und Nonylphenoldiethoxylat (NP2EO) [4, 9, 10]. Die Ergebnisse dieser Studien waren mitverantwortlich, dass in der 1986 in Kraft gesetzten Eidgenössischen Verordnung für umweltgefährdende Stoffe (Stoff-VO) der Einsatz der NPnEO-Tenside in Textilwaschmitteln untersagt wurde. Im weiteren verzichteten die Hersteller auf die Verwendung der NPnEO-Tenside in Publikumsreinigungsmitteln. In den Arbeiten von 1997/98 sollte überprüft

werden, wie sich die Massnahmen der Behörden und der herstellenden Industrie auf die Restkonzentrationen der Nonylphenolverbindungen in der aquatischen Umwelt auswirken.

Die analytische Methodik für die Bestimmung der NPnEO-Tenside sowie der abgeleiteten Metaboliten in Abwasser- und Flusswasserproben beruht auf einer Festphasenextraktion mit anschliessender Normalphasen-HPLC und Fluoreszenzdetektion. Im kommunalen Abwasser können die NPnEO-Tenside auch 1998 immer noch im Konzentrationsbereich von 0.1 bis 0.2 mg/l nachgewiesen werden (Fig. 3A). Im Vergleich zur Belastung um 1983 ergibt sich eine Reduktion um einen Faktor 5–10. Der in Fig. 3A gezeigte Wochengang im mechanisch-biologisch gereinigten Abwasser der Kläranlage Zürich-Glatt lässt einen klaren Rückgang am Sonntag (19. Okt.) erkennen, was auf einen substantiellen gewerblich/industriellen Eintrag hinweist.

Zur Zeit ist unklar, wo die festgestellten NPnEO-Tenside herkommen, da gemäss Industrieangaben im Jahre 1997 nur noch 23 t NPnEO in gewerblichen Produkten eingesetzt wurden, im Vergleich beispielsweise zu den insgesamt 3450 t an LAS-Tensiden (den wichtigsten anionischen waschaktiven Substanzen). Im Raum der Europäischen Union wird andererseits eine jährliche Verbrauchsmenge von 65 000 Tonnen angegeben, wobei ein grosser Teil für sogenannte nichtabwasserrelevante Anwendungen eingesetzt wird. Die hier vorgestellten Ergebnisse sollen mithelfen, die Einträge

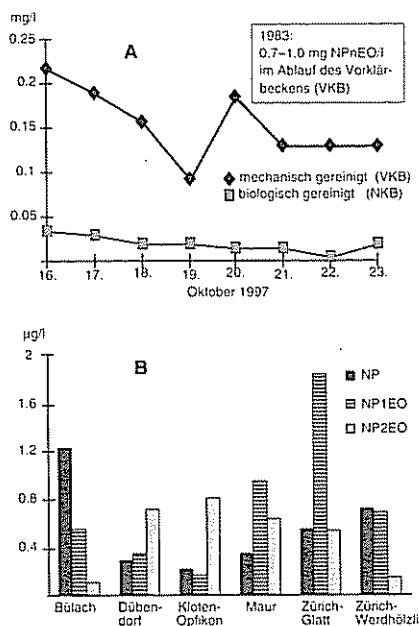


Fig. 3
(A) Konzentrationen der Nonylphenolpolyethoxylat-Tenside in mechanisch gereinigtem Abwasser der Stadt Zürich.
(B) Konzentrationen von Nonylphenol (NP), Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) und Nonylphenoldiethoxylat (NP2EO) in Abläufen aus Kläranlagen des Kantons Zürich.

von NPnEO-Tensiden in kommunalen Abwässern besser zu erkennen und unter Umständen weitergehende Massnahmen vorzuschlagen, um diese Belastungen herabzusetzen. Es soll abgeklärt werden, ob in gewissen Abwässern auch erhöhte Werte (sogenannte Hot Spots) festzustellen sind. Beispielsweise ergab sich im Abwasser einer Ostschweizer Gemeinde ein hoher Wert von 0.4 mg NPnEO/L, der auf einen grossen Abwasseranteil aus der textilverarbeitenden Industrie zurückgeführt werden kann.

Giftige Abbauprodukte in gereinigtem Abwasser und in den Flüssen

Die in den frühen 80er Jahren durchgeführten Untersuchungen haben bereits ergeben, dass in den Kläranlagenabläufen und in den Gewässern hauptsächlich Zwischenprodukte des biologischen Abbaus der NPnEO-Tenside festgestellt werden [4, 9, 10]. Zu diesen Metaboliten gehören die schlechter wasserlöslichen, lipophilen NP, NP1EO und NP2EO. Wichtig ist, dass diese lipophilen Abbauprodukte wesentlich giftiger sind als die als

reinigungsaaktive Substanzen eingesetzten NPnEO-Tenside. Vor kurzem ist zudem festgestellt worden, dass die lipophilen Metaboliten, vor allem das nichtethoxylierte Nonylphenol, ähnlich wie weibliche Sexualhormone wirken, d.h. östrogen aktiv sind.

Die Fig. 3B zeigt die in den Abläufen der Kläranlagen im Kanton Zürich gefundenen Konzentrationswerte für NP, NP1EO und NP2EO. In Kläranlagen in der Ostschweiz wurden zum Teil sogar höhere Werte gefunden (Maximalkonzentration für Nonylphenol: 2.4 µg/l) und zwar in denjenigen Kläranlagen, die durch Abwasser aus der Textilindustrie belastet sind. Ebenfalls konnte festgestellt werden, dass im Winter bei tiefen Temperaturen generell erhöhte Konzentrationen zu finden sind. Diese Tatsache kann durch den bei tieferen Temperaturen langsamer ablaufenden Bioabbau erklärt werden.

Fig. 4 zeigt die Konzentrationswerte für NP, NP1EO und NP2EO in Wochensammelproben aus der Glatt bei Rheinsfelden. Es fällt auf, dass im Winter signifikant erhöhte NP-Konzentrationen auftraten, bis zu einer maximalen Nonylphenolkonzentration von 0.45 µg/l. Die Messstation bei Andelfingen an der Thur ergab ein teilweise anderes Bild mit einer maximalen NP2EO-Konzentration von 2.5 µg/l im Februar 1998. Von den drei NADUF-Stellen am Rhein zeigten zwei (Diepoldsau und Rekingen) ausgeprägte Wintermaxima für Nonylphenol, während bei Weil am Rhein unterhalb von Basel keine jahreszeitlichen Unterschiede auftraten.

Zum Vergleich sind in der Fig. 4 auch die 1983/84 in der Glatt gefundenen Konzentrationen angegeben. Daraus folgt, dass die Belastung der Glatt durch NP, NP1EO und NP2EO substantiell reduziert worden ist. Dazu ist zu bemerken, dass in den letzten zehn Jahren auch zwei wichtige Kläranlagen ausgebaut worden sind, und sich somit eine bessere Entfernung der organischen Abwasserinhaltsstoffe ergibt.

Der heute in der Risikobeurteilung von Umweltchemikalien verwendete PNEC-Wert (predicted no effect

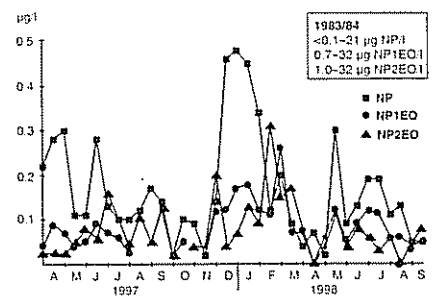


Fig. 4
NP, NP1EO und NP2EO-Konzentration in den Wochensammelproben von der NADUF-Messstelle bei Rheinsfelden an der Glatt (Kanton Zürich).

concentration; Konzentration, bei der keine Schadefekte erwartet werden) liegt für Nonylphenol bei 0.7 µg/l. Demzufolge wurden 1997/98 in der Glatt NP-Konzentrationen gefunden, die zwischen 20 und 60% des PNEC-Wertes liegen. Zur Zeit wird in der Schweiz und international diskutiert, ob die Verwendung der NPnEO-Tenside noch weiter reduziert werden soll.

- [1] Verband der Schweizerischen Seifen- und Waschmittelindustrie (SWI), Jahresbericht 1997.
- [2] 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 Treatment. *Chimia* 51, 922-928.
- [3] Suter M. J.-E., 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, 871-877.
- [4] Ahel M (1987): Biogeochemical Behaviour of Alkylphenol Polyethoxylate Surfactants in the Aquatic Environment, Ph. D. Thesis, University of Zagreb.
- [5] Poiger T. (1994). Behavior and Fate of Detergent-derived Fluorescent Whitening Agents in Sewage Treatment. ETH-Diss. Nr. 10 832.
- [6] Kramer J.B. (1996). Photodegradation of Fluorescent Whitening Agents in Sunlit Natural Waters. ETH-Diss. Nr. 11 934.
- [7] Stoll J.-M. (1997). Fluorescent Whitening Agents in Natural Waters. ETH-Diss. Nr. 12 355.
- [8] Stoll J.-M. A., Giger W. (1998): Mass Balance for Detergent-Derived Fluorescent Whitening Agents in Surface Waters of Switzerland. *Water Research* 32, 2041-2050.
- [9] Ahel M., Giger W., Koch M. (1994): Behaviour of Alkylphenol Polyethoxylate Surfactants in the Aquatic Environment - I. Occurrence and Transformation in Sewage Treatment. *Water Research* 28, 1131-1142.
- [10] Ahel M., Giger W., Schaffner C. (1994): Behaviour of Alkylphenol Polyethoxylate Surfactants in the Aquatic Environment - II. Occurrence and Transformation in Rivers. *Water Research* 28, 1143-1152.

Werner Aeschbach-Hertig, Markus Hofer und Rolf Kipfer

Spurenstoffe zur Analyse von Wasserkreisläufen



Werner Aeschbach-Hertig

Wie rasch kann verschmutztes Wasser zu Trinkwasserfassungen vordringen? Wie schnell erneuern sich Grundwasserreserven? Ausgewählte Umwelttracer liefern Antworten auf solche Fragen und damit Grundlagen für ein rationales, nachhaltiges Management von Wasserressourcen.

Die Zeitdimension in aquatischen Systemen

Wie rasch wird sauerstoffarmes, nährstoffreiches Tiefenwasser in einem See durch frisches Wasser ersetzt? Ist das Grundwasser länger als die aus hygienischer Sicht erforderlichen 10 Tage im Boden unterwegs, bevor es gefasst wird? Wann wurde ein Schadstoff ins Grundwasser eingetragen? Wie rasch wird er abgebaut? Wie lange wird es dauern, bis er bei der nächsten Trinkwasserfassung ankommen wird? Bei all diesen Fragen geht es um Wasser- und Stofftransport in natürlichen aquatischen Systemen, und immer fehlt uns zu ihrer Beantwortung eine Zeitinformation. In den Teilen des Wasserkreislaufes, die der direkten Beobachtung entzogen sind – dem Tiefenwasser von Seen und Ozeanen und dem Grundwasser – sind die Wasseraustauschraten oder Wasseraufenthaltszeiten oft nicht bekannt.

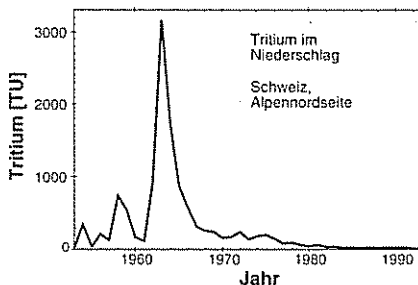


Fig. 1 Zeitlicher Verlauf der Tritiumkonzentrationen im Niederschlag. Der «Bombenpeak» in den frühen 60er Jahren diente den Hydrologen lange Zeit als Marker. Heute muss meist das Zerfallsprodukt ^3He mitgemessen werden, um Wasser zu datieren.

1 TU (tritium unit) entspricht einem $^3\text{H}/\text{H}$ -Verhältnis von 10^{-18} (pro TU sind das nur 6.7×10^7 Atome ^3H pro Liter, der Baikalsee mit $23\,000\text{ km}^3$ z.B. enthält nur 150 g Tritium).

Umwelttracer zur Datierung von Wasser

Wir brauchen deshalb Methoden zur Zeitmessung in aquatischen Systemen. Solche Methoden beruhen auf sogenannten «Umwelttracern». Das sind Spurenstoffe, die wir nicht absichtlich dem Wasser zugeben, sondern die bereits in der Umwelt vorhanden sind. Die Zeitinformation folgt aus ihrem zeitabhängigen Verhalten, z.B. einem zeitlich variablen Eintrag oder einem radioaktiven Zerfall. Da Umwelttracer meist aus der Atmosphäre in die Gewässer eingetragen werden, definiert der Kontakt mit der Luft den Nullpunkt der Zeitmessung. Als Resultat

erhalten wir ein «Wasseralter», welches der Aufenthaltszeit des Wassers unter der Oberfläche, also in von der Atmosphäre abgeschlossenen Systemen, entspricht. Der in der Hydrologie bekannteste Datierungstracer ist das Tritium (^3H). Tritium wurde in einem Puls anfangs der 60er Jahre über die Niederschläge in die Oberflächengewässer eingetragen (Fig. 1). Ursache dieses sogenannten «Bombenpeaks» waren oberirdische Kernwaffentests. Die daraus resultierende globale Umweltverschmutzung dient seither als Markierung des Regenwassers aus jener Zeit. Heute ist jedoch die Eintragskurve so stark abgeflacht, dass für viele Anwendungen das Tritium nicht mehr ausreicht. Es gibt jedoch die Möglichkeit, auch das Tritium-Zerfallsprodukt ^3He zu messen und damit eine neue, auch heute noch sehr aussagekräftige Methode zu erhalten. Die kombinierte $^3\text{H}/^3\text{He}$ Methode erlaubt zuverlässige Datierungen im Bereich von Wochen bis zu mehreren Jahrzehnten.

Eine breite Palette von Methoden

Neben der $^3\text{H}/^3\text{He}$ Methode [1, 2] steht heute an der EAWAG [3] und kooperierenden Hochschulinstituten [4] eine ganze Palette von Tracermethoden zur Verfügung. Zum Datieren eignen sich verschiedene Edelgasisotope, und zwar für Bereiche von Tagen [5] bis zu Jahrtausenden. Für junge Wässer werden auch anthropogene Spurengase wie die FCKW [6] oder das SF_6 verwendet, für lange Zeitskalen eignen sich die Radioisotope ^{14}C und ^{36}Cl . Andere Spurenstoffe liefern keine Zeitinformation,

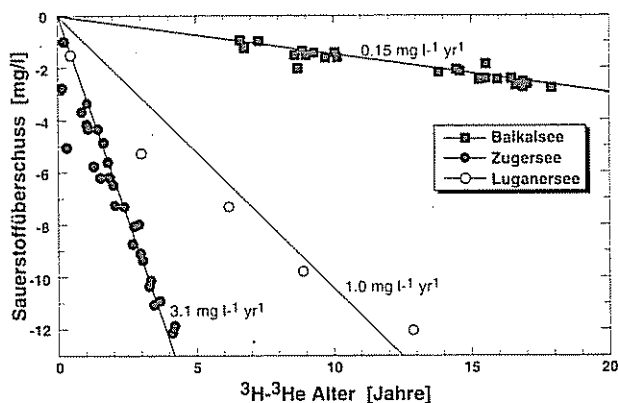


Fig. 2 Sauerstoffzehrung dreier Seen im Vergleich. Aufgezeichnet ist der abgebaute Sauerstoff als Funktion des $^3\text{H}/^3\text{He}$ -Wasseralters.

sondern dienen zur Unterscheidung von Wässern unterschiedlicher Herkunft und damit zur Bestimmung von Mischungsanteilen. Das einfachste Beispiel ist die elektrische Leitfähigkeit. Bor-Isotope dienen als Marker von anthropogenen Quellen [3]. Die stabilen Isotope Deuterium und ^{18}O ebenso wie die Edelgase können etwas über die Bedingungen bei der Infiltration aussagen [7].

Beispiel Sauerstoffzehrung

Die Überdüngung von Seen führt zu beschleunigtem Sauerstoffabbau im Tiefenwasser. Nur durch Mischung mit Oberflächenwasser wird Sauerstoff nachgeliefert. Je länger das Tiefenwasser isoliert bleibt, je grösser also das Wasseralter, desto mehr Sauerstoff verschwindet. Im wenig belasteten sibirischen Baikalsee finden wir trotz grosser Tiefe (1600 m) und hohen Wasseralters (18 Jahre) immer ausreichend Sauerstoff. Nicht mehr als 3 mg/l sind gezehrt worden (Fig. 2). Ganz anders im Zugersee, wo schon bei einem Wasseralter von 4 Jahren der gesamte Sauerstoffvorrat von 12 mg/l gezehrt ist. Die Zehrungsrate ist 20 mal grösser als im Baikalsee. Auch im Luganersee gibt es unterhalb 100 m Tiefe keinen Sauerstoff mehr, aber dort ist auch die Aufenthaltszeit mit 12 Jahren schon erstaunlich hoch. Das Hauptproblem des Luganersees ist weniger die hohe Zehrungsrate, sondern eher die schwache Durchmischung [1].

Auch im Grundwasser nimmt der Sauerstoff mit zunehmender Aufenthaltszeit ab. Im Linsental, einem Abschnitt des Tössales bei Winterthur, infiltriert mit Sauerstoff gesättigtes Flusswasser. Im Grundwasser

unmittelbar unter der Fluss-Sohle, das noch sehr jung ist (weniger als 100 Tage), sind bereits 2–3 mg O_2/l verschwunden [8]. Danach nimmt der Sauerstoffgehalt nur noch langsam mit zunehmendem Alter ab. Der Sauerstoff wird somit vorwiegend bei der Infiltration des Flusswassers in die Fluss-Sohle gezehrt, wo sich die grösste biologische Aktivität abspielt.

Vertikale Schichtung in Grundwasserleitern

Im Linsental wird Trinkwasser für die Stadt Winterthur aus dem Grundwasser gepumpt. Könnte diese Nutzung durch die geplante Renaturierung beeinträchtigt werden? Die Pumpstationen beziehen das Wasser aus etwa 10 m Tiefe (Fig. 3). Daneben gibt es tiefere Bohrlöcher, sowie eine Gruppe von flachen Bohrungen nahe am Fluss, die zum Studium der Fluss-

infiltration erstellt wurden. Bei Beprobungen im November 1996 und 1997 betrug das mittlere $^3\text{H}/^3\text{He}$ -Alter in den flachen Brunnen 80 bzw. 30 Tage. In den tiefen Bohrungen und den Pumpstationen war das Alter durchwegs hoch und lag zwischen 270 und 940 Tagen [8]. Hier scheint eine grossräumige Grundwasserzirkulation vorzuherrschen, während die lokale Flussinfiltration nur den obersten Teil des Aquifers beeinflusst. Demnach sind Änderungen des Flusslaufes keine grosse Bedrohung für die Fassungen, solange diese in genügender Tiefe angelegt sind.

Eine starke vertikale Schichtung des Grundwassers fanden wir auch im Bleniotal aufgrund der Indikatoren Leitfähigkeit und Wasseralter. Besonders deutlich zu beobachten war sie in einem über die Tiefe von 10 m verfilterten Bohrloch neben einem Seitenbach des Hauptflusses Brenno. Im oberen Teil fliesst junges, frisches Wasser mit einer niedrigen Leitfähigkeit zu, im unteren Teil altes Wasser mit einer hohen Leitfähigkeit. Ein Vergleich der Leitfähigkeiten mit den Werten in den Flüssen lässt vermuten, dass das obere Wasser lokales Infiltrat aus dem Seitenbach ist. Das tiefere Grundwasser stammt möglicherweise aus dem Brenno, aber von einer Stelle deutlich weiter

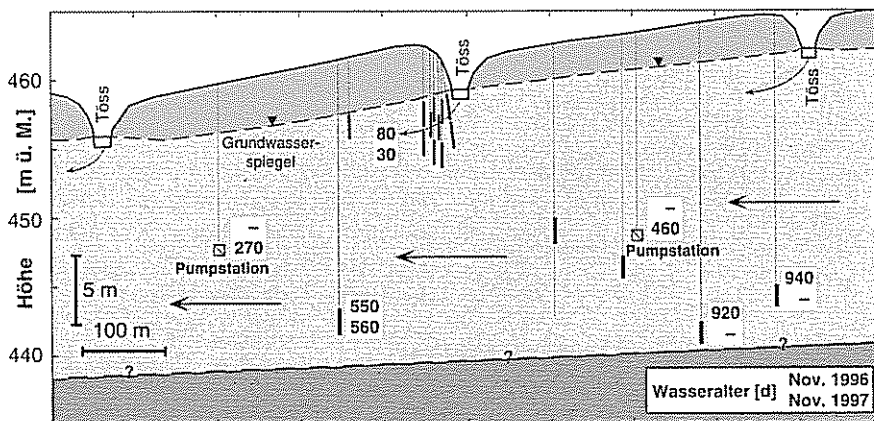


Fig. 3 Überhöhter Längsschnitt durch zwei Flusschlaufen im Linsental. Vertikale Linien stellen Bohrungen mit ihren Filterstrecken (fett) dar. Die Pumpstationen beziehen Wasser aus etwa 10 m Tiefe. Die im November 1996 und 1997 gemessenen $^3\text{H}/^3\text{He}$ -Alter zeigen eine vorwiegend vertikale Altersstruktur auf. Junges Flussinfiltrat findet sich nur in den flachen Bohrungen des Versuchsfeldes (die angegebenen Alter sind hier Mittelwerte über mehrere Bohrlöcher).

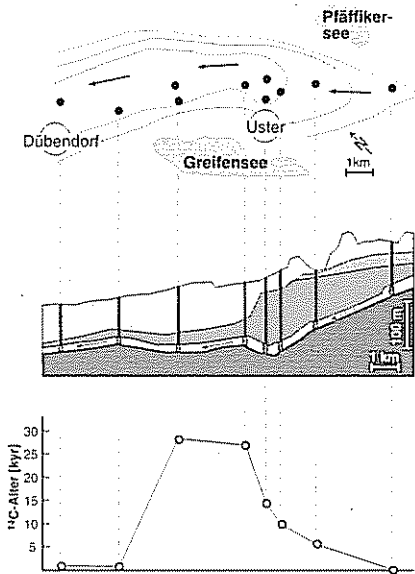


Fig. 4
Karte und Längsschnitt durch das obere Glattal, sowie Verlauf der ^{14}C -Alter. Die Alter steigen in dem durch eine dicke Tonschicht abgedichteten Aquifer auf gegen 30 000 Jahre an. Durch eine Trinkwasserfassung bei Dübendorf wurde der unterste Teil des Systems gestört, dort wird heute wieder viel jüngerer Wasser gepumpt.

oben im Tal, und hat daher bereits eine hohe Verweilzeit im Boden hinter sich.

Umwelttracer als Werkzeug im Grundwasserschutz

Solche Resultate zeigen die Relevanz der Umwelttracer für Fragen des Grundwasserschutzes auf. Das mittleren Wasseralter des in Fassungen gewonnenen Trinkwassers liefert Hinweise auf das effektiv relevante Einzugsgebiet und auf die Gefährdung der Fassung in Bezug auf Verschmutzungen. Liegt das mittlere Wasseralter in einem Brunnen im Bereich von Wochen oder wenigen Monaten, so dürfte ein Grossteil des Wassers aus der unmittelbaren Umgebung stammen. Mithin erscheinen strenge Massnahmen in einer eng gezogenen Schutzzone notwendig. Liegt hingegen das Wasseralter im Bereich von Jahren, was nach unseren Erfahrungen öfter als erwartet der Fall ist, sollte möglicherweise ein grösseres Gebiet, bis hin zum gesamten Zuströmbereich, einen gewissen Schutz erfahren. Dafür gewähren grosse Wasseralter eine Frist für Interventionen, so dass gemässigte Schutzmassnahmen ausreichen dürften. Eine bessere Kenntnis von

Grundwasseraufenthaltszeiten würde so zu einem angemessenen Qualitätsmanagement dieser lebenswichtigen Ressource beitragen. Bei Traceruntersuchungen an bestehenden Trinkwasserfassungen würde man vielleicht die eine oder andere Überraschung erleben, wie im Glattal, wo vorübergehend unwissentlich Grundwasser gefördert wurde, das in der letzten Eiszeit infiltriert war. Hier gibt es einen in etwa 100 m Tiefe gelegenen Aquifer, der von einer dicken, undurchlässigen Tonschicht bedeckt ist (Fig. 4). Tracerdaten – in diesem Fall vor allem ^{14}C -Aktivitäten – zeigen eindeutig, dass das Wasser ein Alter von fast 30 000 Jahren erreicht, bevor es in Dübendorf gepumpt wird [7].

Durch das Pumpen veränderten sich offenbar die Fliessbedingungen derart, dass heute wieder jüngerer Wasser angezogen wird, vermutlich aus einem oberen Aquifer durch die hier dünne Deckschicht. Früher hatte das geförderte Wasser kein Tritium und keinen Sauerstoff, heute jedoch schon. Somit wird nicht einfach ein altes Vorkommen leergepumpt, sondern durch nachfliessendes junges Wasser bildete sich ein neuer Gleichgewichtszustand, der langfristig aufrechterhalten werden kann.

Nachhaltige Nutzung von Grundwasserreserven

Ein wichtiges Problem stellt die nachhaltige Nutzung von alten Grundwasserreserven in ariden Gebieten dar, wo kaum junges Wasser nachfliesst und wo alte Grundwasservorkommen oft die einzige zuverlässige Wasserreserve bilden. In solchen Gebieten soll vermehrt mit Tracermethoden und Fliessmodellen die Neubildungsrate und damit die für eine nachhaltige Bewirtschaftung zur Verfügung stehende Wassermenge bestimmt werden. Ein Beispiel stammt aus Botswana, wo sich die Hauptstadt Gaborone über eine Pipeline mit Wasser aus einem weit entfernten Reservoir versorgt. Ein Grundwassergebiet entlang der Pipeline soll als Notvorrat dienen. Wasser-

überschüsse will man infiltrieren lassen und im Aquifer speichern. Bei Wassermangel soll Grundwasser abgepumpt und in die Pipeline geleitet werden. Die Frage ist, wie rasch der Vorrat erneuert werden kann. FCKW-Messungen zeigen, dass das Grundwasser mindestens 35 Jahre alt ist. Die Erneuerung läuft also sehr langsam und der Aquifer kann nur begrenzt als Speicher dienen.

Fazit

Umwelttracer ermöglichen das Messen von Wasseraltern im Sinne von Aufenthaltszeiten unter der Oberfläche und die Quantifizierung von Stoff- und Wasserflüssen in aquatischen Systemen. Damit liefern diese Tracermethoden ein Werkzeug für ein rationales und nachhaltiges Management von Wasserressourcen.

- [1] Aeschbach-Hertig, W., (1994): Helium und Tritium als Tracer für physikalische Prozesse in Seen. Diss. ETH Nr. 10714, ETH Zürich.
- [2] Aeschbach-Hertig, W., Schlosser, P., Stute, M., Simpson, H.J., Ludin, A. und Clark, J.F. (1998): A $^3\text{H}/^3\text{He}$ study of ground water flow in a fractured bedrock aquifer. *Ground Water*, 36: 661–670.
- [3] Hofer, M., Aeschbach-Hertig, W., Beyerle, U., Haderlein, S.B., Hoehn, E., Hofstetter, T.B., Johnson, A., Kipfer, R., Ulrich, A. und Imboden D.M., (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in groundwater systems. *Chimia*, 51: 941–946.
- [4] Loosli, H.H. und Oeschger H., (1978): Argon-39, carbon-14 and krypton-85 measurements in groundwater samples. In: *Isotope Hydrology*. Neuberger, IAEA, pp. 931–947.
- [5] Hoehn, E. und von Gunten, H.R. (1989): Radon in groundwater: A tool to assess infiltration from surface waters to aquifers. *Water Resour. Res.*, 25: 1795–1803.
- [6] Hofer, M. und Imboden, D.M. (1998): Simultaneous determination of CFC-11, CFC-12, N_2 and Ar in water. *Anal. Chem.*, 70: 724–729.
- [7] Beyerle, U., Purtschert, R., Aeschbach-Hertig, W., Imboden, D.M., Loosli, H.H., Wieler, R. und Kipfer, R. (1998): Climate and groundwater recharge during the last glaciation in an ice-covered region. *Science*, 282:731–734
- [8] Beyerle, U., Aeschbach-Hertig, W., Hofer, M., Imboden, D.M., Baur, H. und Kipfer, R. (1998): Infiltration of river water to a shallow aquifer investigated with $^3\text{H}/^3\text{He}$, noble gases and CFCs. submitted to *J. Hydrol.*

Alexander J.B. Zehnder

Wassernutzung und Nahrungsmittelproduktion – eine internationale Arbeitsteilung?



Alexander J.B. Zehnder

Die Nahrungsmittelproduktion verschlingt den grössten Teil des genutzten Süsswassers. Wassermangel kompensieren die Länder mit Nahrungsmittelimporten. Die rasante demographische Entwicklung in den kommenden Jahrzehnten, vor allem in Ländern mit beschränkten Wasserressourcen, wird die Nachfrage nach Grundnahrungsmitteln substantiell erhöhen. Durch die direkte Verknüpfung von Wasser mit Nahrungsmittelproduktion wird Wasser in den nächsten Jahren zu einem der wichtigsten treibenden ökonomischen Faktoren.

Wasserbedarf

Zur Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse Trinken, Hygiene, Wohnen und Essen (2500–3000 kcal pro Tag) sowie auch für gewerbliche und industrielle Aktivitäten verbraucht heute eine Person in einem industrialisierten Land zwischen 1400 und 1800 Kubikmeter (m^3) Süsswasser pro Jahr. Mit Effizienzsteigerungen, vor allem in der Landwirtschaft, würden 1000 m^3 genügen; drei viertel dieser Menge wird für die Nahrungsmittelproduktion benötigt [1].

Israel mit nur 566 m^3 pro Person und Jahr kompensiert den Wassermangel durch Nahrungsmittelimporte. Umgerechnet entspricht dieser Import jährlich 828 m^3 virtuelles Wasser pro Kopf (Tab. 1). Ähnliches gilt auch für andere Länder des südlichen Mittelmeerraumes (Tab. 2).

Nahrungsmittelproduktion

Weltweit gehören sechs Länder zu den wichtigsten Nahrungsmittel-Nettoexporteuren (Tab. 3, S. 20). Ein Netto-Exportland importiert keine grösseren Mengen eines Nahrungsmittels, um dafür ein anderes zu exportieren. «Nicht-netto»-Exporteure, wie z.B. die Beneluxstaaten, importieren substantielle Mengen Getreide und Soja für die Tierhaltung und exportieren dafür Fleisch. Das virtuelle Wasser, das weltweit für die fünf in Tab. 3 aufgeführten Nahrungsmittel jährlich exportiert wird, entspricht 380.3 km^3 .

Nahrungsmittel enthalten auch Nährstoffe wie Stickstoff (N) und Phosphor (P). Bei Soja sind dies im Durchschnitt 64.5 g N und 6.5 g P pro kg Trockengewicht, bei Getreide 23.2 g N und 4.7 g P, bei Hülsenfrüchten etwa gleich viel wie bei Soja, bei Fleisch 123.4 g N und 6.6 g P pro kg Frischgewicht und bei Milch 42 g N und 8 g P pro kg Vollmilch [4]. Die exportierten Nahrungsmittel in Tab. 3 enthalten entsprechend 10.7 Mio. t Stickstoff und 1.6 Mio. t Phosphor. Bei

	m^3 Wasser/cap/a
Süsswasser	
Erneuerbar (Regen)	392
Fossiles Grundwasser	25
Zuflüsse aus dem Ausland	89
Entsorgung und Recycling	60
Total Süsswasser	566
Virtuelles Wasser	
3.8 10^5 t Weizen	661
0.6 10^5 t Soja	107
0.05 10^5 t Fleisch	45
0.08 10^5 t Milchprodukte	15
Total virtuelles Wasser	828
Gesamte Menge Wasser	1394

Die jeweilige Menge des virtuellen Wassers wurde mit den Annahmen in [1] berechnet: Zur Produktion von 1 kg Weizen, Soja, Hülsenfrüchten oder Milchprodukten wird im Minimum 1 m^3 Wasser benötigt, für 1 kg Fleisch 5 m^3 .

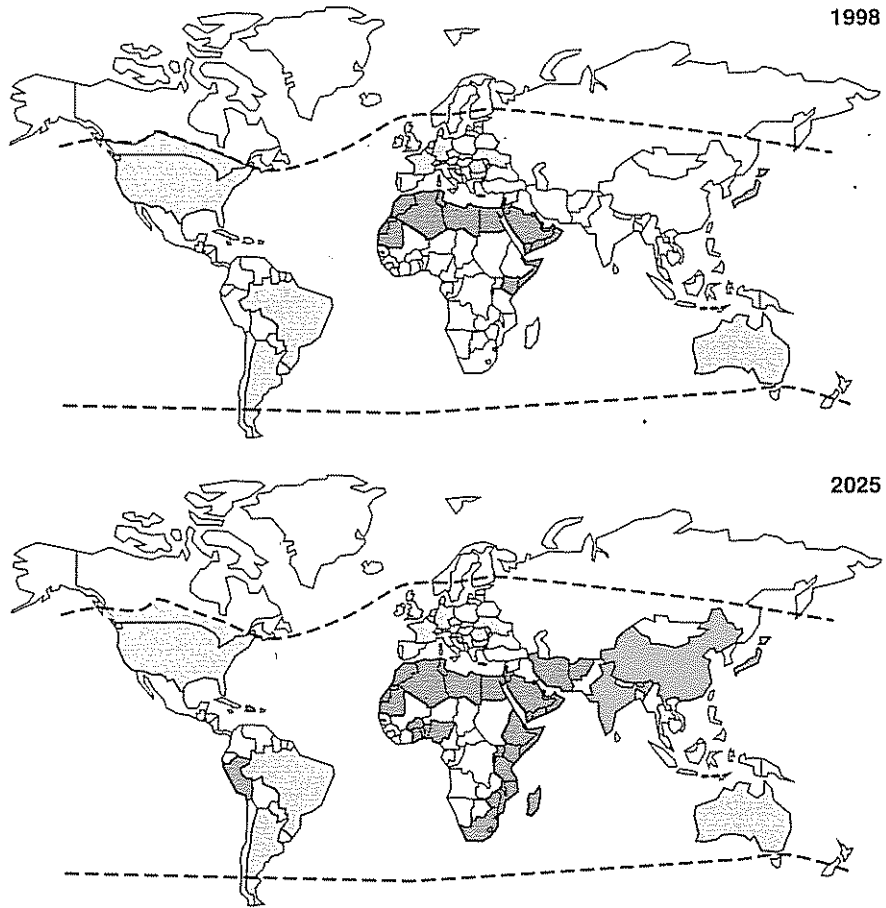
Tab. 1

Wasserverfügbarkeit in Israel in m^3 Wasser pro Person (cap) und Jahr (a). Die Zahlen sind Mittelwerte der Jahre 1992–96, berechnet zum Teil aus [6] und mit einer Bevölkerung von ca. 5.7 Mio., für 1995.

Wasserhaushalt

In der Schweiz stehen jeder Person jährlich etwa 1800 m^3 Wasser zur Verfügung. Diese Menge ergibt sich aus der Menge Regen (rund 6400 m^3) plus der Zuflüsse aus den umliegenden Ländern (etwa 1100 m^3) minus dem Abfluss durch die grossen Flüsse wie Rhein, Rhône, Ticino und Inn (etwa 5700 m^3). In Deutschland und Holland verfügt jede Person ebenfalls über etwa 1800 m^3 Wasser jährlich. Diese Menge errechnet sich wie folgt: Deutschland: Regen -1200 m^3 , Zuflüsse -1300 m^3 , Abflüsse -700 m^3 ; Holland: Regen -700 m^3 , Zuflüsse -5300 m^3 , Abflüsse -4200 m^3 . Sowohl Deutschland als auch Holland sind für eine ausreichende Süsswasserversorgung auf die Zuflüsse aus anderen Ländern angewiesen [2, 3].

Düngungspraktiken, wie sie in der Schweiz angewandt werden, enthalten die Nahrungsmittel nur ein Viertel des in der Landwirtschaft eingesetzten Stickstoffs (inkl. Deposition und natürliche N-Fixierung) und rund 30% des Phosphors [5], d.h. weltweit ist für die Produktion der Nahrungsmittelexporte etwa 47 Mio. t Stickstoff und 5.5 Mio. t Phosphor in der Form von Dünger (jeder Art) notwendig. Für die Kunstdüngerproduktion werden heute etwa 120 Mio. t Stickstoff industriell fixiert. Etwas mehr als ein Drittel davon werden also für die Nahrungsmittelexporte verwendet. Denitrifikation (29%), Ammoniakverflüchtigung (26%) und Nitratauswaschung (22%) sind für die Stickstoffverluste verantwortlich, der Überschuss an Phosphor wird im Boden angereichert [5].



- Nahrungsmittelproduktion mit nördlicher und südlicher Grenze
- Wasser, Boden, Klima erlauben substantielle Nahrungsmittelproduktion für den Export.
- ▒ Wasser für ausreichende eigene Nahrungsmittelproduktion fehlt.
- Nur genügend Wasser, falls alle Flüsse vollständig gestaut werden und kein Wasser ins Meer fließt.
- Genügend Wasser für eigene Nahrungsmittelproduktion.

Fig. 1 Wasser als limitierender Faktor für die Nahrungsmittelproduktion. Aktuelle und potentielle Nahrungsmittelexporteure und -importeure, heute (oben) und im Jahr 2025 (unten).

Ein Blick in die Zukunft

Die demographische Entwicklung wird in den kommenden Jahren die Anzahl Länder mit weniger als 1000 m³ Süßwasser pro Person und Jahr erhöhen. Davon werden vor allem afrikanische Länder sowie Afghanistan, Iran, Peru und Haiti betroffen sein. Beim heutigen Abfluss der grossen Flüsse wie Ganges, Jangtse usw. wird auch in grossen Teilen Indiens und Chinas Wassermangel entstehen (Fig. 1). Der Bau von Staudämmen kann hier gewisse Verbesserungen bringen. Kaum einer dieser Flüsse kann aber zu 100% genutzt werden. Dies wäre für einen ausgeglichenen Wasserhaushalt notwendig.

Die Zahl der Länder und Gebiete, die über genügend Wasser, fruchtbaren Boden und ein günstiges Klima verfügen, wird in den kommenden 25 Jahren kaum zunehmen (Fig. 1). In

diesen Ländern ist ein Paradigmenwechsel vonnöten. Im nächsten Jahrhundert wird eine ihrer Aufgaben darin bestehen, landwirtschaftliche Produkte für den Export zu produzieren. Demzufolge müssen auch die westeuropäischen Länder vermehrt Landwirtschaft betreiben, und in Osteuropa ist Intensivierung wichtig.

Für eine gesunde Wirtschaft muss aber auch in den Wassermangelgebieten Import und Export von Gütern in einem finanziellen Gleichgewicht stehen. Israel ist ein gutes Beispiel, wie mit importierten Nahrungsmitteln die Wasserknappheit vermindert und trotzdem eine relativ gesunde Marktwirtschaft betrieben werden kann. Der Tourismus ist gut entwickelt, Israel

	Marokko	Algerien	Tunesien	Libyen	Ägypten	Israel
Erneuerbare Wasserquellen	1100	515	463	110	28	392
Fossiles Grundwasser	n	16	40	770	22	25
Zuflüsse aus dem Ausland	n	15	102	n	880	89
Entsorgung und Recycling	<1	2	3	28	4	60
Total Süßwasser	1100	548	605	908	934	566
Virtuelles Wasser in Nahrungsmitteln	163	305	257	619	175	828
Gesamte Menge Wasser	1273	853	862	1527	1109	1394

Tab. 2 Vorhandenes Wasser und virtuelles importiertes Wasser in Ländern der südlichen Mittelmeerregion. Die Zahlen entsprechen m³ Wasser pro Person und Jahr und sind Mittelwerte der Jahre 1992–96, Bevölkerungsstand 1995. Berechnet aus [2, 3, 6].

Produzenten Nahrungsmittel	Argentinien	Australien	Dänemark	Frankreich	Kanada	USA	Total 6 Haupt- produzenten	Rest der Welt	Welt total
Soja	2.6	*	*	*	0.5	21.3	23.9	7.6	31.5
Getreide	12.4	14.4	2.0	29.9	24.4	90.8	173.9	67.5	241.4
Hülsenfrüchte	0.2	0.5	0.1	1.0	1.0	0.5	3.3	3.8	7.1
Fleisch	0.4	1.3	1.3	1.7	0.6	2.6	7.9	10	17.9
Milchprodukte	0.1	0.4	0.2	1.7	0.1	0.3	2.8	8.0	10.8

* Australien, Dänemark und Frankreich importieren Soja und zwar 0.07, 0.1 und 0.6 Mio. t per Jahr.

Tab. 3
Jährlicher Nahrungsmittel-
export (Mio. t).
Durchschnitte der Jahre
1992–1996 [6].

produziert Industriegüter und landwirtschaftliche Produkte von geringem Volumen und guten Preisen (sogenannte *cash crops*). Falls Länder mit Wasserknappheit hochwertige Exportgüter herstellen können, ist die gesamtwirtschaftliche Auswirkung des Wassermangels weniger eine Bedrohung als aufgrund einer Analyse der Wasserverfügbarkeit angenommen werden müsste.

Konsequenzen für die Zukunft

Die strikte Verbindung zwischen Nahrungsmittelproduktion und Wasserverfügbarkeit wird Wasser zum treibenden ökonomischen Faktor machen. Die rasante demographische Entwicklung in Ländern mit knappen Wasserressourcen wird die globalen Nahrungsmittelexporte mindestens vervierfachen. Bei den heutigen Getreidepreisen wäre das gesamte Handels-

volumen rund 300 Milliarden US\$. Dies entspricht dem gegenwärtigen Umfang des globalen Erdölmarktes.

Die Nahrungsmittel- und Nährstoffexporte werden die Nährstoffkreisläufe weiter öffnen und ankurbeln mit den entsprechenden Umweltfolgen (vor allem Eutrophierung) sowohl bei den Produzenten wie auch bei den Konsumenten. Schutz- und Managementmassnahmen müssen flankierend verstärkt werden.

Fehlende Nahrungsmittel verstärken die wirtschaftliche und politische Abhängigkeit. Die Nahrungsmittelexporteure (mit wenigen Ausnahmen identisch mit den Industrieländern) sind gefordert, Länder mit Wassermangel in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung in den kommenden Jahren verstärkt zu unterstützen. Ansonsten wird sich der Migrationsdruck in die Länder mit genügend Wasser und Nahrungsmittel erhöhen. Gegenüber Ländern, die hin-

sichtlich Wasser, Bodenbeschaffenheit, natürlicher Ressourcen, klimatischen Bedingungen und Industrialisierung weniger gut ausgestattet sind, wird sich die internationale Gemeinschaft solidarisch zeigen müssen.

- [1] Zehnder, A.J.B. (1997). Wasser, ein knappes Gut? EAWAG news 43D, 3–4.
- [2] The World Resources Institute (1998): World Resources 1998–1999. Oxford University Press.
- [3] Gleick, P.H., Editor (1993): Water in crisis. A guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press.
- [4] Kobler, R. (1998): Persönliche Mitteilung.
- [5] Braun, M. Hurni, P. und Spiess, E. (1994): Phosphor und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrilkulturchemie und Umwelthygiene, CH-3097 Liebefeld-Bern, Nummer 18.
- [6] Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1998): FAOSTAT Statistics Database, online information service, September 1998.

Einweihung der neuen Werkstätten

Die Werkstätten der EAWAG befanden sich früher in der Tüffenwies in Zürich-Altstetten, 12 km vom Hauptgebäude entfernt. Am 18. Juni 1998 fand in den renovierten Räumen im sogenannten Nordost-Gebäude des EMPA- und EAWAG-Areals, nur noch 5 Gehminuten von der EAWAG, ein Apéro statt, um allen Mitarbeitenden den Ort und die Angebote der Werkstätten zu zeigen.

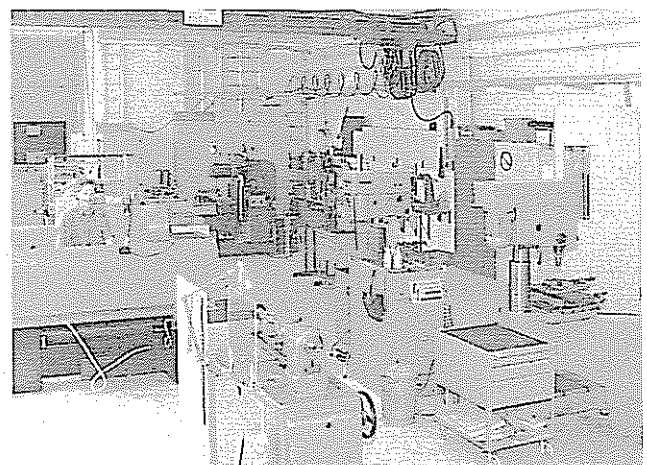
Bereits 1937 errichtete die damals «Beratungsstelle der ETH für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung» genannte EAWAG auf dem Areal der Kläranlage Werdhölzli ein Versuchsfeld. Im Jahre 1953 erhielt die Anstalt in der Tüffenwies ein Areal für die Versuchsstation mit Werkstätten, Büro- und Laborräumen, einer Versuchshalle (180 m²), sowie Aussenanlagen: einer Versuchskläranlage, einem Rinnensystem für Vorflutversuche und andern, wechselnden Einrichtungen.

Die grosse Distanz zwischen dem Hauptsitz und der Versuchsstation ist stets als Nachteil empfunden worden, deshalb fiel vor mehreren Jahren der Entscheid, die ganze Versuchsstation nach Dübendorf zu holen.

Mit diesem Umzug wurde das Ende einer lange dauernden Planungsgeschichte mit diversen Umwegen und Sackgassen eingeleitet. Die Versuchshalle mit den Nebeneinrichtungen folgt voraussichtlich noch bis Ende 1999. Ihr Standort ist auf dem Areal der ehemaligen Tankanlage der EMPA am Chriesbach vorgesehen.

Die Mitarbeiter der Werkstätten freuen sich auf einen regen Kontakt mit ihrer Kundschaft, bereit, die vielseitigen Wünsche zu erfüllen.

Hans Burkhälter



Den Tag der offenen Tür feierten die Mitarbeiter mit zum Teil neuen Maschinen und einem gut organisierten Lager.

Tove A. Larsen

Nährstoffkreisläufe in der Siedlungswasserwirtschaft

Technische Möglichkeiten von Eliminations- und Recyclingverfahren



Tove A. Larsen

Das 19. Jahrhundert erfand die Siedlungshygiene, das 20. Jahrhundert den Gewässerschutz. Welche Anforderungen wird das 21. Jahrhundert an die Siedlungswasserwirtschaft stellen? Die nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung, wie sie in Rio 1992 postuliert wurde, ist eine mögliche Antwort. Die Nährstoffe stellen eine dieser Ressourcen dar.

Umweltrelevante Nährstoffemissionen in der Schweiz

Mit dem Begriff «Nährstoffe» bezeichnen wir aus der Sicht der Umwelt die Elemente Stickstoff (N) und Phosphor (P), weil sie übermässiges Wachstum in den Ökosystemen verursachen. In Fig. 1 sind die wichtigsten *umweltrelevanten* Emissionen (d.h. ohne die gasförmige Form, N_2) in der Schweiz dargestellt. Die atmosphärischen Emissionen sind eher im Verruf wegen ihrer Wirkungen als Luftschadstoffe, sind aber auch für die Eutrophierung terrestrischer Ökosysteme mitverantwortlich.

Die umweltrelevanten N- und P-Emissionen aus der Siedlungswasserwirtschaft gehen alle nur in die Gewässer. Es gibt keine Emissionen in die Atmosphäre: Ammoniak (NH_3) wird aus dem verdünnten Abwasser

nicht freigesetzt, und es konnte gezeigt werden, dass Lachgasemissionen (N_2O) keine Rolle spielen [3].

Der in die Gewässer emittierte Stickstoff wird als Nitrat (NO_3^-) zusammengefasst. Die Emissionen aus Landwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft sind in derselben Grössenordnung, wobei Nitrat aus der Landwirtschaft vorwiegend ins Grundwasser und derjenige aus der Siedlungswasserwirtschaft in die Oberflächengewässer gelangt. Den Massnahmen in der Landwirtschaft werden die grössere Priorität eingeräumt, weil sie einerseits kostengünstiger und andererseits für Gewässer, Grundwasser und Atmosphäre wirkungsvoller sind [1].

Nährstoffflüsse in der Kläranlage

In Figur 2 ist die Verteilung von N und P in den Verfahrensstufen einer typischen Kläranlage dargestellt. Drei Massenströme werden unterschieden: Abwasser, Abluft und Klärschlamm.

In der biologischen Stufe werden infolge des Abbaus von organischen Stoffen typischerweise 25% des N und 40% des P in die Biomasse eingebaut. Je nach Art der Schlammbehandlung kann von den 25% N mehr als die Hälfte wieder freigesetzt und mit dem Faulwasser zurückgeführt werden. Der wieder freigesetzte Phosphor dagegen wird durch Fällungsreaktionen im konzentrierten Faulschlamm zurückbehalten [4].

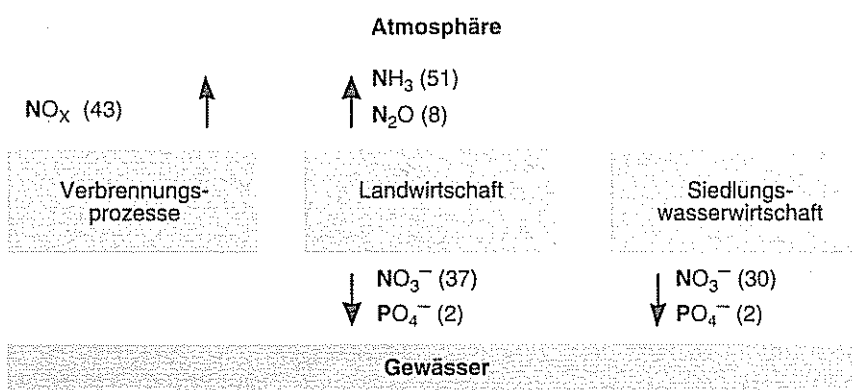


Fig. 1
Umweltrelevante Emissionen von N und P, Schweiz 1994. Zahlen in kt N, bzw. P, pro Jahr [1, 2].

Nährstoffflüsse auf der Kläranlage

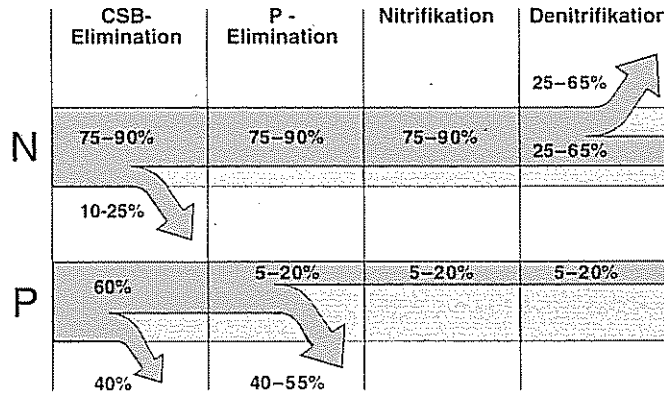


Fig. 2 Nährstoffflüsse auf einer typischen Kläranlage. Die Pfeile geben die Verteilung der Nährstoffe in Klärschlamm (↓), Abluft (↑) und Abwasser (nach rechts) an.

Bei der chemischen P-Elimination können durch Zugabe von Eisen- oder Aluminiumsalzen 80–95% des Phosphors im Schlamm aufkonzentriert werden. Bei strengen Einleitbedingungen ist eine Filtration nötig, die zusätzliche Kosten verursacht. Eine biologische N-Elimination (Denitrifikation) von 30–40% ist oft ohne grosse Investitionen möglich (z.B. in einer kleinen, vorgeschalteten Denitrifikationszone), während die weitergehende Denitrifikation eine wesentliche Vergrößerung der Becken voraussetzt. Auch hier steigen die Kosten überproportional zum Eliminationsgrad an.

Trends in der Nährstoffelimination

In der Schweiz wird heute vor allem die Denitrifikation und die biologische Phosphorelimination diskutiert. Eine Reduktion der Stickstoffemission (des Wertes vom Jahre 1995) von 2 kt/Jahr ist bis 2005 vorgesehen. Ein neues und erfolgversprechendes Verfahren zur Stickstoffelimination im Faulwasser wird an der EAWAG untersucht [5]. Das Verfahren funktioniert mit ammoniumreichem Abwasser, das gleichzeitig arm an organischen Stoffen ist, vermutlich nach dem folgenden Prinzip: Die Hälfte des NH_4^+ wird zu NO_2^- oxidiert, nachher wird unter anaeroben Bedingungen NH_4^+ mit NO_2^- oxidiert. Das Produkt dieser Oxidation ist reines N_2 . Damit wird die Denitrifikationsleistung der Anlage erhöht, und zwar um ca. 15% des Stickstoffes bezogen auf den Zulauf. Der grosse Vorteil des Prozesses ist, dass kein organischer Stoff für die Denitrifikation benötigt und eine mögliche Überlastung der Nitrifikation durch konzentrierte Faulwasserzugabe vermieden wird.

Die biologische P-Elimination eignet sich wegen der aufwendigen Betriebsführung vor allem für grössere Anlagen. Handelt es sich um nitrifizierende Anlagen, braucht es aus verfahrenstechnischen Gründen auch eine Denitrifikation – und als Folge davon zusätzliches Beckenvolumen. Die EAWAG führt im Moment Versuche zur biologischen Phosphorelimination

im Hinblick auf die Optimierung von nitrifizierenden und denitrifizierenden Anlagen durch.

Nährstoffrecycling: eine neue Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft?

Eine naheliegende Alternative zur Nährstoffelimination ist das Recycling in der Landwirtschaft. Dafür können folgende Argumente ins Feld geführt werden:

- Die Phosphorreserven sind begrenzt (Die Reserven werden auf einige hundert Jahren geschätzt).
- Die Qualität der Phosphorreserven nimmt ab (die Schwermetallkonzentrationen und die Gewinnungskosten steigen).
- Wenn man – früher oder später – sowieso Phosphor recyceln muss, könnte es sich auch ökonomisch lohnen, andere Nährstoffe (d.h. vor allem Stickstoff und Kalium, das in gleich grossen Mengen wie Phosphor vorkommt) zu recyceln.
- Stoffströme minimieren entspricht einem allgemeinen Bedürfnis, weniger anthropogene Eingriffe in die Umwelt zu tätigen – und gleichzeitig dem Konzept der ökologischen Landwirtschaft.

Spielen aber die Nährstoffe aus der Siedlungswasserwirtschaft überhaupt eine Rolle für die Landwirtschaft? In Tab. 1 ist für N und P eine Bilanz der Schweizer Landwirtschaft aufgeführt (nur Importe und Exporte – der interne Kreislauf des Hofdüngers ist nicht aufgeführt).

Die Nährstoffe des Exports «Lebensmittel» landen zum grössten Teil wieder in der Siedlungswasserwirtschaft. Man

sieht, dass diese Nährstoffe durchaus einen beachtlichen Teil des Mineraldüngers ersetzen könnten. Durch die hohen Verluste (N) und die massive Speicherung (P) wird die Interpretation jedoch komplizierter. Die heutige Landwirtschaftspolitik hat zum Ziel, die Nährstoffverluste zu minimieren, und strebt deswegen generell kleinere Importe an [1]. Beim Phosphor ist klar, dass die Importe mindestens gleich gross sein müssen wie die Exporte; d.h. global gesehen wird es immer einen Bedarf nach Phosphordünger geben (Verwitterungsprozesse werden bei dieser Überlegung vernachlässigt).

Den Export an Stickstoff (via Nahrungsmittel) könnte man theoretisch durch biologische N-Fixierung ersetzen, wobei hier nicht diskutiert werden soll, ob dies aus landwirtschaftlichen Überlegungen erwünscht ist.

Technische Möglichkeiten des Nährstoffrecyclings

Nährstoffrecycling aus der Siedlungswasserwirtschaft beschränkt sich heute

		Phosphor [kt./Jahr]	Stickstoff [kt./Jahr]
Import	Futtermittel	6	25
	Mineraldünger	17	70
	Abfalldünger	2	5
	Deposition	1	36
	N-Fixierung		45
Export	Lebensmittel	7	41
	Verluste	2	141
Speicherung		17	

Tab. 1 N- und P-Bilanz der Schweizer Landwirtschaft [5].

fast ausschliesslich auf den Phosphor. In den konventionellen Verfahren (z.B. der Fällung mit Eisensalzen) wird der Phosphor im Schlamm aufkonzentriert, während neue Verfahren eine separate Ausfällung des Phosphors als Kristalle anstreben [6]. Fällungsprodukte sind Calciumphosphate oder $MgNH_4PO_4$. Diese Verfahren sind chemikalienintensiv und es ist deswegen noch unklar, ob sie je finanziell konkurrenzfähig sein werden (dies gilt jedoch nicht für die ähnlichen Verfahren zur Faulwasserbehandlung, die schon heute als konkurrenzfähig gelten).

Nährstoffabtrennung an der Quelle

Wollen wir nicht nur Phosphor, sondern auch die übrigen Nährstoffe aus der Siedlungswasserwirtschaft recyceln, sind nur Verfahren an der Quelle realistisch. Diskutiert werden im Moment zwei Ansätze in diese Richtung: *Separate Vakuumentwässerung der Toiletten* oder eine *getrennte Erfassung von Urin*, der den grössten Teil der anthropogenen Nährstoffe enthält (aus dem Stoffwechsel finden sich im Urin 90% des Stickstoffes, 50–60% des Phosphors und fast 100% des Kaliums wieder).

Die separate Vakuumentwässerung wird in Lübeck erprobt [7]. In semi-

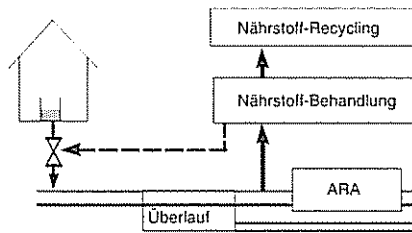


Fig. 3
Speicherung von Urin im Haus und Transport durch das Kanalsystem während der Nacht. Nach [9]

dezentralen Anlagen wird durch ein Vakuumsystem das WC-Abwasser gesammelt und in einem anaeroben Verfahren ausgefäulert. Es wird bei diesem Verfahren wenig Wasser gebraucht und aus dem Faulungsprozess entsteht neben Dünger auch Biogas. Der Vorteil ist der grosse Anteil an Nährstoffen, der dadurch recycelt werden kann, der Nachteil vor allem der Bedarf an jeweiliger neuer Infrastruktur.

Die separate Erfassung von Urin benötigt im Prinzip nur eine sogenannte «No-mix» Toilette (ein Exemplar kann an der EAWAG bewundert und benützt werden) und einen Behälter zur Speicherung des abgetrennten Urins. Die Speicher müssen geleert und der Urin einer Nutzung oder Reinigung zugeführt werden. Die Behandlung des restlichen Abwassers reduziert sich dann auf einfache Verfahren zur Elimination der organischen Stoffe. In Skandinavien, vor allem in Schweden, wird das Prinzip intensiv erforscht [8] und der Urin direkt in der Landwirtschaft genutzt. Ein Vorschlag zum Transport des Urins ist an der EAWAG erarbeitet worden [9] und in Fig. 3 dargestellt. Es geht darum, den Urin zeitlich vom restlichen Abwasser zu trennen: Die Entleerung der Speicher erfolgt in der Nacht. Unklar dabei – und daher zu erforschen – ist, welche möglicherweise toxischen Stoffe im Urin (Antibiotika, Hormone, etc.) enthalten sind, und ob Ammoniak ausgasst, wie es aus der Landwirtschaft bekannt ist (Fig. 1). Verfahrenstechnisch eröffnet die separate Urinableitung viele Möglichkeiten: Ist z.B. in kleinen Gemeinden die Aufarbeitung als Dünger im Winter nicht wirtschaftlich, sind Eliminationsverfahren in der konzentrierten Lösung wahrscheinlich günstiger als die Nährstoffelimination

im verdünnten Abwasser. Auch in einer Übergangszeit, wenn erst in wenigen Wohnungen das System eingeführt ist, kann sich das System vorteilhaft auf den Betrieb der Kläranlagen auswirken. Der Ausgleich von Spitzen in den stickstoffhaltigen Abwässern und eine Entschärfung der Mischwasserentlastungen wären die wichtigsten Vorteile.

Schlussfolgerung

Die technische Entwicklung der Nährstoffelimination in der Siedlungswasserwirtschaft ist bei weitem noch nicht abgeschlossen. Ein neuer Aspekt ist das Nährstoffrecycling, das bezüglich Phosphor technisch schon weit entwickelt ist. Massnahmen an der Quelle bringen neue Möglichkeiten und Freiheitsgrade, benötigen aber noch einiges an Forschung, bevor sie «marktreif» sind.

Infotag Teilnehmerfrage



«Unser Urin ist ja inzwischen auch alles andere als ein Naturprodukt – wir nehmen jede Menge Arzneimittel und sonstige biozide Substanzen zu uns. Kann man sowas unbesehen zu Dünger verarbeiten?» (Werner Kanz, Kanton Aargau)

Tove Larsen: «Nein, unbesehen nicht! Heute lässt man aber «unbesehen» solchen Urin durch die Kläranlage oder während Regenereignissen sogar ungereinigt ins Fliessgewässer fließen. Mit einer gezielten Verarbeitung zu Dünger erwarten wir in Zukunft weniger Probleme mit diesen Stoffen. Es bleibt uns aber noch, diesen Sachverhalt nachzuweisen!»

- [1] Buwal (1996): Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 273.
- [2] Siegrist, H. und Boller, M. (1996): Auswirkungen des Phosphatverbots auf die Abwasserreinigung, EAWAG news 42D.
- [3] Mengis, M. und von Schultess, R. (1995): Lachgasemissionen von Kläranlagen und Seen, EAWAG news 40D.
- [4] Wild, D. (1997): Nährstoffflüsse in Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination. Dissertation ETH-Nr. 12 197.
- [5] Koch, G. und Siegrist, H. (1998): Separate biologische Faulwasserbehandlung – Nitrifikation und Denitrifikation. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Verbandsbericht Nr. 522.
- [5] Braun, M., Hurni, P. und Spiess, E. (1994): Phosphor- und Stickstoffüberflüsse in der Landwirtschaft und Paralandwirtschaft. Schriftenreihe der FAC, Liebefeld.
- [6] Brett, S., Guy, J., Morse, G.K. and Lester, J.N. (1997): Phosphorus removal and recovery technologies. Centre Européen D'Études des Polyphosphates E.V.
- [7] Otterpohl, R., Grottker, M. and Lange, J. (1996): Sustainable water and waste management in urban areas. Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 3–4, pp. 121–133.
- [8] Hanaeus, J., Hellström, D., Johansson, E. (1997): A Study of a Urine Separation System in an Ecological Village in Northern Sweden. Wat.Sci.Tech. 35 (9), 153–160.
- [9] Larsen, T.A. und Gujer, W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 3–4, pp. 87–94.

Mireille Faist und Susanne Kytzia

Wie kann ein Grossverteiler zur effizienten Ressourcennutzung beitragen?



Susanne Kytzia mit Tochter Julia und Mireille Faist.

Schweizer Grossverteiler haben in den vergangenen Jahren zahlreiche Initiativen gestartet, um ihr Produktsortiment umweltfreundlicher zu gestalten. Mit Programmen wie COOP Naturaplan, M-Sano oder M-Bio beeinflussen sie die landwirtschaftliche Produktion und können sich gleichzeitig erfolgreich am Markt profilieren. Heute stellt sich für die langfristige Unternehmensentwicklung die Frage, wieviel bisher für die Umwelt erreicht wurde und wo die Handlungsschwerpunkte für die Zukunft gesetzt werden sollten.

Einfluss des Grossverteilers

Noch vor 100 Jahren wurde die Ernährung der Bevölkerung hauptsächlich durch die regionale landwirtschaftliche Produktion bestimmt. Über lokale Märkte hatten die KonsumentInnen direkten Kontakt zu den ProduzentInnen. Heute hingegen stellt der Handel ein überregional erzeugtes und saisonunabhängiges Warenangebot zur Verfügung. Durch diese Schlüsselposition kann er in zwei Richtungen Einfluss nehmen (vgl. Fig. 1). Er beeinflusst durch seine Beschaffungspolitik die Produktion und die Verarbeitung von Nahrungsmitteln (in der ökologisch orientierten Betriebswirtschaftslehre als PULL-Strategie bezeichnet [1]). Auf der Verkaufseite bestimmt der Zugang zum Vertriebsnetz und seine Reichweite den Markterfolg eines Produktes. Somit kann der Handel über sein Produktsortiment das Konsumentenverhalten beeinflussen (ebenda als PUSH-Strategie bezeichnet).

In der Schweiz wird diese Schlüsselrolle des Handels durch die Struktur

der Nahrungsmittelbranche verstärkt [2]. Die beiden Grossverteiler Migros und COOP teilen sich über 40% des Marktes. Durch ihre genossenschaftliche Struktur können sie je bis zu 1.5 Millionen Haushalte in der Schweiz direkt mit unternehmensspezifischen Informationen versorgen. Zu beiden Unternehmensgruppen gehören zahlreiche Unternehmen der Nahrungsmittelverarbeitung (z.B. JOWA Back- und Teigwaren oder Konservenfabrik Bischoffzell). Dieser hohe Grad an Rückwärtsintegration zeigt sich insbesondere bei der Migros durch den grossen Anteil der Eigenmarken am Produktsortiment im Nahrungsmittelbereich (90%).

Initiativen zur nachhaltigen Entwicklung

Grossverteiler in der Schweiz haben in der jüngeren Vergangenheit begonnen, ihre Rolle als Mittler zwischen ProduzentInnen und KonsumentInnen aktiv zugunsten eines ökologischen Wirtschaftens wahrzunehmen. Im Nahrungsmittelbereich fördert man in Programmen wie M-Sano oder COOP Natura-Plan bestimmte Produktionsstandards in der Landwirtschaft. Bei den KonsumentInnen stiess in den letzten Jahren vor allem COOP Natura-Plan auf eine positive Resonanz. In städtischen Gebieten erreichen Produkte dieses Programms heute einen Anteil von 10% des gesamten Früchte- und Gemüse-Umsatzes.

Dieser Artikel ist im Tagungsband des «Kolloquium zur Entwicklung umweltgerechter Produkte», 3. und 4. November 1998 in Darmstadt erschienen, das im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 392 «Entwicklung umweltgerechter Produkte – Methoden, Arbeitsmittel und Instrumente» stattgefunden hat.

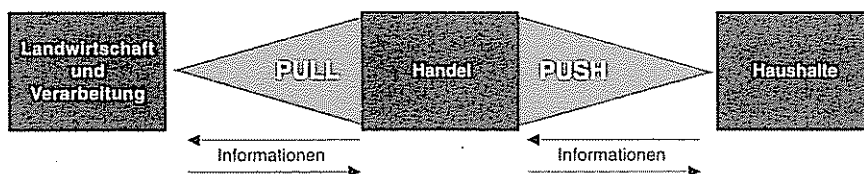


Fig. 1 Durch seine Position als Mittel zwischen Produzenten (Landwirtschaft und Nahrungsmittelverarbeitung) und Konsumenten (Haushalte) kann der Handel in beide Richtungen Einfluss nehmen (Abbildung nach Hausen, 1988).

Ebenso positiv reagierten KonsumentInnen auf die Anstrengungen der Migros, Produktverpackungen umweltfreundlicher zu gestalten. So konnte sich beispielsweise zu Beginn der neunziger Jahre der Milchschlauchbeutel gegenüber der materialintensiveren Tetra Pak-Variante durchsetzen. Diese am Markt deutlich sichtbaren Veränderungen werden innerhalb der verschiedenen Betriebe der Nahrungsmittelverarbeitung und -verteilung durch verschiedene technisch-organisatorische Umweltschutzmassnahmen begleitet.

Bislang fehlt Grossverteilern wie Migros und COOP jedoch ein Instrument, um den ökologischen Nutzen – oder Schaden – derartiger Initiativen zu beurteilen. Ohne Kenntnis des Gesamtsystems kann man beispielsweise nicht sagen, ob die Programme im Landwirtschaftsbereich wirksamer sind als die Optimierung der Produktverpackungen. Ein Grossverteiler kann auch nicht beurteilen, ob Erfolge seiner ökologisch orientierten Initiativen durch neue ressourcenintensive Produkte für andere Zielgruppen kompensiert werden.

An dieser Stelle setzt ein laufendes Forschungsprojekt an der EAWAG an, das in Form eines «Werkstattberichts» hier vorgestellt wird. In Zusammenarbeit mit der Migros wird untersucht, wie und in welchem Ausmass ein Grossverteiler zur effizienten Ressourcennutzung im Bereich *Ernähren* beitragen kann.

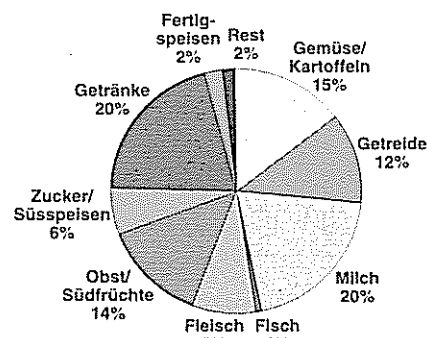


Fig. 2 Zusammensetzung des Produktsortiments im Fallbeispiel. Pro Jahr werden 150 000 Tonnen Nahrungsmittel umgesetzt (Quelle: eigene Erhebung).

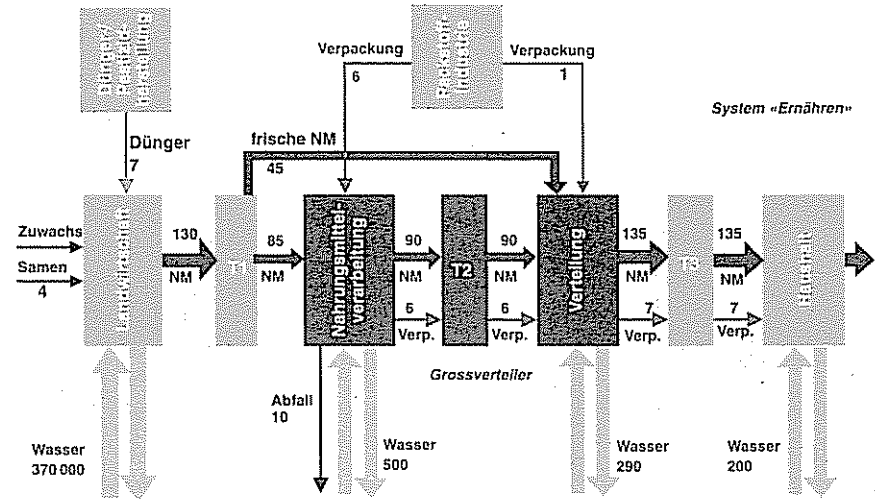


Fig. 3 Vereinfachte Darstellung des Güterhaushalts des Systems «Ernähren» im Fallbeispiel in 1000 Tonnen pro Jahr. Ausgehend vom Güterumsatz der betrachteten Regionalgenossenschaft werden die korrespondierenden Güterflüsse der anderen Prozesse entlang des Lebensweges der Nahrungsmittel mit Hilfe von Literaturdaten und ergänzenden eigenen Erhebungen geschätzt. Folgende Abkürzungen werden verwendet: T1, T2 und T3 für Transportprozesse; NM für Nahrungsmittelflüsse; Verp. für Verpackungsmaterialien.

Fallbeispiel

Eine Genossenschaft der Migros stellte ihre Daten für diese Untersuchung (und sich als Partnerunternehmen) zur Verfügung. Sie versorgt ein Gebiet von rund 760 000 EinwohnerInnen im Schweizer Mittelland und erbringt ca. 10% des gesamtschweizerischen Umsatzes der Migros.

Die verkauften Nahrungsmittelmengen des Jahres 1996 bilden den Ausgangspunkt einer Güter- und Energieflussanalyse nach [3] (Fig. 2). Sie umfasst Produktion, Verarbeitung, Transport, Verteilung und Konsum dieser Nahrungsmittel. Die Werte zum Energie-, Wasser- und Bodenverbrauch dienen als Indikatoren der erzielten ökologischen Verbesserung.

Fig. 3 zeigt das Stoffhaushaltssystem «Ernähren», das durch die Tätigkeit der Migros Genossenschaft mitbestimmt wird. Die Migros Genossenschaft wird im Prozess «Verteilung» beschrieben. Dieser Prozess umfasst das Verteilzentrum und die Filialen. Die Gesamtaktivität der Migros Gemeinschaft schliesst darüber hinaus den überwiegenden Teil der Nahrungsmittelverarbeitung und die Transporte von Verarbeitung zu Verteilung mit ein. Rund zwei Drittel der verkauften Nahrungsmittel sind verarbeitet; ein Drittel gelangt als Frischwaren direkt von den Produzenten in die Verteilung.

Die landwirtschaftliche Produktion erfolgt je nach Herkunft der verkauften Produkte im In- oder Ausland, was sich vor allem im Transportprozess zur Verarbeitung bzw. Verteilung niederschlägt. Am Ende des Weges der verschiedenen Produkte steht ihr Transport in die privaten Haushalte und die anschliessende Lagerung, die Verarbeitung und der Verbrauch.

Auf der Grundlage einer ersten Aufnahme des Ist-Zustands dieses Systems können folgende Thesen formuliert werden:

1. These: Die Zusammensetzung des Warenkorbs ist massgebend (PUSH- und PULL-Strategie).

Der Prozess «Landwirtschaft» dominiert die Nutzung von Boden und Wasser im System: die anderen Prozesse beanspruchen zusammen nur ein Zehntel des Bodens und ein Hundertstel der gesamten Wassermenge. Eine der Ursachen ist der hohe Wasser- und Bodenverbrauch der Fleisch- und Milchproduktion. Diese Nahrungsmittelgruppe ist auch beim Energieverbrauch Hauptverursacher mit einem Anteil von 40% (vgl. Fig. 4). Eine Verringerung des Konsums von Fleisch- und Milchprodukten führt daher zu einer bedeutenden Reduktion des Ressourcenverbrauchs.

Aber auch innerhalb einer einzelnen Nahrungsmittelgruppe variiert der

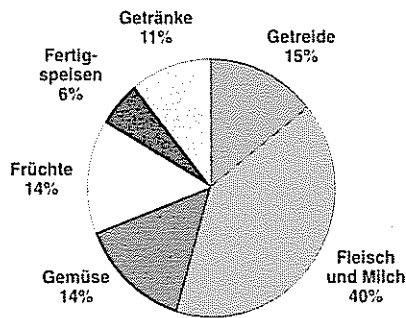


Fig. 4
Aufteilung des Energieaufwandes nach Nahrungsmittelkategorien. Insgesamt werden im gesamten Lebensweg der Nahrungsmittel, die in der Regionalgenossenschaft im Fallbeispiel umgesetzt werden, 1200 Terajoule pro Jahr verbraucht (Quelle: eigene Berechnungen).

Energieverbrauch von Produkt zu Produkt stark. Durch einen erhöhten Energieverbrauch gekennzeichnet sind:

- tiefgekühlte Produkte (z.B. Gemüse und Früchte),
- Produkte mit einem hohen Verarbeitungsgrad (z.B. Pommes Chips),
- Produkte, die über weite Strecken transportiert werden (z.B. Südfrüchte).

Eine gezielte Veränderung des Warenkorbes führt daher zu massgeblichen Einsparungen im Energiebereich, die sich auf alle Prozesse des Systems auswirken.

2. These: Eine Verbrauchssenkung durch Einflussnahme auf Zulieferer (PULL-Strategie) ist primär beim Energieverbrauch möglich.

Schon ohne eine grundlegende Veränderung des Warenkorbes wäre eine Reduktion des Bedarfs an Wasser und Boden möglich, nämlich vor allem durch eine Intensivierung der Landwirtschaft. Dass dies zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen würde, scheint zweifelhaft, da diese Massnahme die bestehenden Umweltprobleme konventioneller Landwirtschaft eher verstärkt, wie Schadstoffeintrag, Erosion und Bodenverdichtung.

Beim Energieverbrauch hingegen bieten verschiedene Prozesse Ansatzpunkte zu Verbrauchssenkungen (vgl. Fig. 5). Die Landwirtschaft beispielsweise verursacht 33% des Gesamtenergieverbrauchs; 23% entfallen dabei auf die Dünger- und Pestizidproduktion und nur 10% auf den Anbau. Durch eine Extensivierung der Landwirtschaft könnte der Energiebedarf reduziert werden.

Nahrungsmittelverarbeitung und Verpackungsindustrie verbrauchen insgesamt ein Viertel der Gesamtenergie des Systems, wozu beide Prozesse in gleichem Ausmass beitragen. Durch Entwicklung neuer Produkte und Verfahren könnte dieser Verbrauch gesenkt werden. Produktinnovationen in der Verarbeitung wirken dabei nicht nur auf den Verarbeitungsprozess selbst, sondern können auch den Energieverbrauch von Verteilung und privaten Haushalten reduzieren (z.B. Ersatz von Tiefkühlung durch andere Formen der Konservierung).

3. These: Private Haushalte müssen ihr Verhalten ändern (PUSH-Strategie).

Die privaten Haushalte verursachen durch Kühlen und Kochen 17% des Gesamtenergieverbrauchs. Durch den Transport der Nahrungsmittel zu den Haushalten kommen nochmals 4% hinzu, für die in der Regel die privaten Haushalte selbst verantwortlich sind. Eine Veränderung der Gewohnheiten des Einkaufs und der Lagerung von Nahrungsmitteln oder auch Innovationen in der Haushaltstechnik könnten hier zu einer signifikanten Verbesserung des Energieverbrauchs beitragen.

4. These: Der Grossverteiler selbst ist gefordert (betriebliches Umweltmanagement).

Die Genossenschaft selbst verbraucht mit Verteilzentrum und Filialen rund 15% der Gesamtenergiemenge. Durch den hohen Grad an Rückwärtsintegration liegen jedoch auch zahlreiche Verarbeitungsprozesse im direkten Einflussbereich des Grossverteilers. In einer so erweiterten Betrachtung kann er eigentlich bis zu 30% des Gesamtenergieverbrauchs direkt beeinflussen.

Fazit

Für zukünftige Handlungsstrategien eines Grossverteilers sind folgende Aspekte wichtig:

- Die Ernährungskultur ist bedeutender als die technisch-organisatorische Optimierung einzelner Prozesse. Das Handeln des Grossverteilers hängt eng mit Verhaltensänderungen der

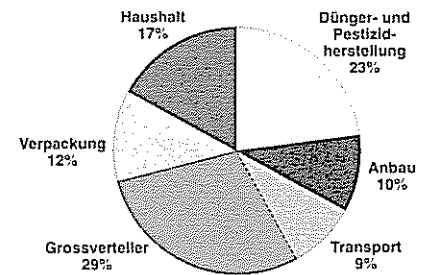


Fig. 5
Aufteilung des Energieaufwandes nach Prozessen entlang des Lebenswegs der Nahrungsmittel. Der Prozess «Grossverteiler» umfasst alle Prozesse der Nahrungsmittelverarbeitung und -verteilung sowie die dazwischenliegenden Transporte. Die Transporte von Landwirtschaft zur Verarbeitung und zwischen Verteilung und Haushalten werden ebenfalls zusammengefasst. (Quelle: eigene Berechnungen).

Bevölkerung zusammen. Durch Produktinnovationen in der Verarbeitung, Sortimentspolitik und Kundeninformationen kann er seinen Einfluss wahrnehmen.

- Der Grossverteiler kann primär beim Energieverbrauch Einfluss nehmen. Bezüglich Boden und Wasser hingegen besteht beim Hauptverursacher «Landwirtschaft» ein Zielkonflikt zwischen Verbrauchsmengenreduktion und Qualitätserhaltung.

• Der Grossverteiler kann im Energiebereich das ganze System beeinflussen. Auf 30% des Energiebedarfs kann er direkt einwirken, da Nahrungsmittelverarbeitung und -verteilung zusammengenommen die wesentlichen Energieverbraucher des Systems sind. Gehören beide Prozesse – wie im gewählten Fallbeispiel – zur gleichen Unternehmensgruppe, so kann diese als Gesamtheit einen wichtigen Beitrag leisten.

[1] Vgl. Hansen, U. (1988). Ökologisches Marketing im Handel. In: Brandt, A. et al. (Hrsg.), Ökologisches Marketing. Frankfurt/Main.

[2] Vgl. Belz, F. (1994). Ökologischer Strukturwandel in der Schweizer Lebensmittelbranche. In: Dyllick, T. et al. (Hrsg.), Ökologischer Strukturwandel in Schweizer Branchen. Bern/Stuttgart.

[3] Baccini, P. und Brunner, P. (1996). Metabolism of the Anthroposphere. Berlin/Heidelberg/New York; und Baccini, P. und Bader, H.-P., Regionaler Stoffhaushalt, Heidelberg/Berlin.

PEAK Programm 1999

- 16.–19.3.99 **Taxonomie und Ökologie aquatischer Organismen, Teil 2: Hydracarina (A9/99)**
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 MitarbeiterInnen der EAWAG und ETH, insbesondere aber auch MitarbeiterInnen von Ökobüros, kantonalen Ämtern und Umweltschutzorganisationen eingeladen.
Morphologische Grundmerkmale aquatischer Milben (hauptsächlich Hydrachnidia, echte Süswassermilben) sowie der wichtigsten Gattungen europäischer Still-, Quell- und Fließgewässer. Bestimmungsarbeiten anhand einer Vergleichsammlung europäischer Hydrachnidia-Gattungen.
Reinhard Gerecke (Tübingen), Klement Tockner
- 23.–25.6.99 **Siedlungshygiene in Entwicklungsländern: Abfallwirtschaft (V19/99)**
Probleme der Abfallentsorgung städtischer Regionen. Erfahrungen, Lehren und Lösungsvorschläge aus der Praxis.
Roland Schertenleib, Christian Zurbrügg
- 24.–26.8.99 **«Natürliche» Tracer in der Umwelt: Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten (B8/99)**
Einführung in die Theorie und Methodik der Nutzung radioaktiver und chemischer Tracer zum Verständnis von Umweltphänomenen (Transportprozesse, Altersbestimmung, etc.).
* *Werner Aeschbach, Jürg Beer, Rolf Kipfer*
- 30.8.–1.9.99 **Stoffflüsse in Fließgewässern (6.–8.9.99) (V9/99, Wiederholung von V9/96)**
Datenerfassung (Probenahme und Untersuchung), Auswertung und Interpretation der Daten im Zusammenhang mit den wichtigen chemischen, physikalischen und biologischen Prozessen.
René Gächter, Jürg Zobrist
- 15.–17.9.99 **Taxonomie und Ökologie aquatischer Organismen Teil 3: Chironomidae (A10/99)**
Einführung in die Taxonomie, Biologie, Anatomie und Morphologie der Chironomidae, Übersicht über die Literatur, über Sammel- und Konservierungstechniken. Bestimmungsarbeiten mit Beispielen aus den wichtigsten Familien.
Berthold Janecek (Univ. Wien), Klement Tockner
- 14.9.99 **Infotag 1999 zum Thema Grundwasser**
Theresa Büsser et al.
- 27.–28.9.99 **System Identification and Modelling with AQUASIM (B7/99, Wiederholung des Kurses B7/98)**
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. The course will be given in English.
Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner
- 29.–30.9.99 **Modelling of Lakes and Reservoirs with AQUASIM (V20/99)**
Usage of AQUASIM for the simulation of stratification, turbulence, substance transport, reaction and conversion processes in lakes and reservoirs. The course will be given in English.
Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner, Alfred Wüest

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>

Internationale Tagungswoche

7.–12.3.1999: Environmental Endocrine Disrupting Chemicals

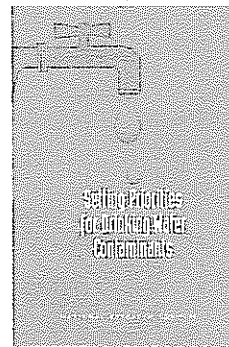
Im Laufe dieser Tagung werden 30 Vortragende aus der Schweiz, Europa, USA und Kanada das Thema der «Umwelthormone» diskutieren. Im Vordergrund stehen Wirkungen auf Fische und andere aquatische Lebewesen. Neben Diskussionen über in vitro-Testmethoden und molekulare Mechanismen werden einige spezifische Fallbeispiele behandelt, zu denen Alkylphenole, Bisphenol-A, Phthalate und Phytoöstrogene gehören. Umweltchemische und ökotoxikologische Aspekte dieser Chemikalien werden erörtert. Die TeilnehmerInnen können auch Posterbeiträge präsentieren.

Ort: ETH-Konferenzzentrum Centro Stefano Franscini, Monte Verità bei Ascona
Auskunft: Prof. Walter Giger oder Dr. Karl Fent
Programm: <http://www.eawag.ch/courses/EEDC.html>
Anmeldeschluss: 5. Februar 1999

Neue Broschüre

«Setting Priorities for Drinking Water Contaminants»

Verfasst durch die Kommission für Trinkwasserverunreinigungen (Committee on Drinking Water Contaminants) der amerikanischen National Academy of Science. Walter Giger, EAWAG, ist Mitglied dieser Kommission. Die Broschüre wurde von der U.S. amerikanischen Umweltschutzbehörde (USEPA) in Auftrag gegeben und steht im Zusammenhang mit dem neuen amerikanischen Trinkwassergesetz (Drinking Water Act). Noch dieses Jahr wird eine weitere Broschüre erscheinen zum Thema «Emerging Drinking Water Contaminants».



Dokortitel ehrenhalber für Prof. Zehnder

Prof. Dr. Alexander Zehnder, Professor an der ETH Zürich für Umweltbiotechnologie und Direktor der EAWAG, erhielt in Anerkennung seiner Leistungen in Umweltwissenschaften und deren Einsatz für die Gesellschaft den Dokortitel ehrenhalber der Universität von Nancy (Université Henri Poincaré) in Frankreich.



Hoher Preis für Prof. Stumm

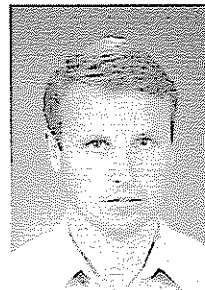
Die Internationale Geochemische Gesellschaft für «lifetime achievement» verlieh **Werner Stumm**, emeritierter Professor ETH und ehemaliger Direktor der EAWAG (1970–92), ihre höchste Auszeichnung, die Goldschmidt-Medaille.

Die Ausgabe vom 1.10.1998 von *Environmental Science and Technology* ist eine Spezialnummer zu Ehren von Werner Stumm, dem «Vater» von «Aquatischer Chemie». Das gleichnamige Buch wurde 1970 erstmals gedruckt. Zusammen mit den Überarbeitungen von 1981 und 1996 wurde es über 40 000 Mal verkauft.



Habilitationen

Mit Verfügung vom 8. Juli 1998 wurde Dr. **Hasan Belevi**, EAWAG-Mitarbeiter im Forschungsbereich Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik, die *Venia legendi* ab 1. Oktober 1998 erteilt. Als Privatdozent ist er der Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung der ETH Zürich mit dem Lehrgebiet Umweltingenieurwissenschaften in Entsorgungssystemen zugeteilt. Seine Habilitationsschrift trägt den Titel «Environmental Engineering of Municipal Solid Waste Incineration».



Dr. **Peter Huggenberger**, ehemaliger EAWAG Mitarbeiter, jetzt Kantonsgeologe im Kanton Baselstadt, habilitierte sich an der Universität Basel im Bereich «Angewandte und Umwelt-Geologie». Er hielt am 11. Dezember 1998 dazu einen Vortrag «Flusskiese – Archive landschaftsgestaltender Ereignisse».

Im vergangenen Sommersemester wurde **Barbara Sulzberger** von der Universität Bern die *Venia Docendi* verliehen, und zwar auf Antrag der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern.

Der Titel ihrer Habilitationsschrift lautet: «*Environmental Photochemistry, with Special Emphasis on Iron and on Surface Reactions*». Ab diesem Wintersemester wird sie im Rahmen von ca. zwei Wochenstunden an der Universität Bern eine Vorlesung halten. Barbara Sulzberger hat sich an der Universität Bern habilitiert – und nicht wie näher liegend an der ETHZ –, da sie in Bern eine Bedürfnis für Vorlesungen im Bereich der Umweltchemie, insbesondere der Um-



weltphotochemie, gesehen hat. Die EAWAG-Direktion hat sie in ihrem Anliegen, sich an der Universität Bern zu habilitieren, sehr unterstützt.

Seit ihrer Anstellung an der EAWAG (1986) betreibt Barbara Sulzberger mit ihren MitarbeiterInnen Forschung auf dem Gebiet der Umweltphotochemie. Dabei interessiert sie insbesondere der Einfluss von Sonnenlicht auf Nährstoffkreisläufe, bisher vor allem auf den Eisen- und Kohlenstoffkreislauf.

Während eines Sabbaturlaubes an der Woods Hole Oceanographic Institution, USA (in den Wintern 94 und 94/95) wurde ihr Interesse für die marine Umweltphotochemie geweckt, u.a. an der Rolle von Eisen als limitierender Nährstoff in gewissen Oberflächengewässern, z.B. in den sog. «high nutrient, low chlorophyll»-Meeresgegenden. Was Umweltsysteme betrifft, so beschäftigt sie sich zunehmend mit der Kopplung von Flüssen mit Seen und Meeren und mit Küstengewässern. Sie war u.a. am europäischen* Programm EROS (European River Ocean Systems) mitbeteiligt.

Barbara Sulzberger ist überzeugt, dass erstklassige Forschung auf dem Gebiet der Umweltphotochemie nur durch Verbindung von soliden Kenntnissen von photochemischen Prozessen mit Kenntnissen über Umweltsysteme gelingt. Sie setzt sich dafür ein, dass die Umweltphotochemie auch von den «klassischen» PhotochemikerInnen anerkannt wird. 1992 und 1993 war sie Präsidentin der «Schweizerischen Gesellschaft für Photochemie und Photophysik». In dieser Funktion hat sie im Oktober 1993 einen «International Workshop on Environmental Photochemistry» in Adelboden organisiert.

Barbara Sulzberger hat an der Universität Bern Chemie studiert. Während der Dissertation an der

Staatssekretär Charles Kleiber zu Besuch



Der seit 1. Okt. 1997 amtierende Staatssekretär und Direktor der Gruppe für Wissenschaft und Forschung, Charles Kleiber, hat am 30. Juni 1998 die EAWAG besucht. Gemeinsam mit ETH-Ratspräsident Francis Waldvogel setzte sich der hohe Besuch am Forschungszentrum für Limnologie in Kastanienbaum und am Hauptsitz in Dübendorf über Ziele, Aufgaben und Arbeitsweise der EAWAG ins Bild. An einem Apéro in der Eingangshalle hatten die MitarbeiterInnen dann noch Gelegenheit, gemeinsam mit den Besuchern ein Glas Wein oder Saft zu trinken.

Herr Kleiber erhielt auf seinem Rundgang durch die Laborräume auf Französisch gehaltene Erläuterungen zu ausgewählten natur-, ingenieur- und sozialwissenschaftlichen Arbeiten. In Kastanienbaum kamen Arbeiten rund um Fische, Seen und Fließgewässern sowie das Querprojekt Ökostrom zur Sprache.

Universität Bern führte sie experimentelle Studien zur photochemischen Umwandlung und Speicherung der Sonnenenergie durch. Im Rahmen eines Postdokorates hat sie Untersuchungen unter Verwendung von zeitaufgelöster Spektroskopie (Flash-Photolyse) durchgeführt, und zwar an «The Royal Institution of Great Britain» unter der Leitung des Nobelpreisträgers Lord George Porter.

Christine Bratrich, Bernhard Truffer und Bernhard Wehrli*

Ökostrom aus Wasserkraft

Ziel des Projekts «Ökostrom» ist die Entwicklung eines Ökolabels zur Förderung umweltfreundlich gewonnener Elektrizität, wofür umweltbewusste KundInnen freiwillig einen geringen Aufpreis zahlen. Was aber im Bereich der Energiegewinnung als ökologisch unbedenklich gelten kann, ist nicht immer klar.

Vor allem bei der Wasserkraftnutzung zeigt sich ein Dilemma zwischen der emissionsfreien Produktionsweise und den zum Teil massiven Folgen für die lokalen Ökosysteme. Dieser Konflikt macht eine glaubwürdige Zertifizierung von «Ökostrom aus Wasserkraft» notwendig. Das EAWAG-Projekt «Ökostrom» entwickelt dazu ein wissenschaftlich fundiertes Verfahren.

Grüne Wasserkraft?

Angesichts des hohen Ausbaugrades der Schweizerischen Wasserkraft kommt eine starke Ausweitung der Wasserkraftnutzung über den Fördereffekt der Ökostromtarife kaum in Frage. Die EAWAG konzentriert sich daher auf die ökologische Aufwertung bestehender Anlagen. In rund 20 Einzelprojekten untersuchen WissenschaftlerInnen aus unterschiedlichsten Fachdisziplinen, wie ein *Zertifizierungsverfahren* für Ökostrom-Kraftwerke aussehen soll. Es soll die Einhaltung allgemeiner, ökologischer Basisanforderungen garantieren (s. Kasten S. 30) und zugleich eine lokal angepasste Aufwertung der betroffenen Einzugs-

gebiete ermöglichen. Die ökologischen Massnahmen sollen dabei über einen erhöhten Verkaufspreis von Ökostrom getragen werden.

Transdisziplinäre Forschung

Um ökologisch wirksam zu werden, ist die Idee «Ökostrom aus Wasserkraft» auch umzusetzen. Eine solche Umsetzung kann aber nur dann glaubwürdig und damit erfolgreich sein, wenn sie von den wichtigsten InteressenvertreterInnen der Wirtschaft, der Behörden und der Umweltorganisationen mitgetragen wird. Für das Projekt «Ökostrom» bedeutet dies, dass es neben der naturwissenschaftlichen Forschung auch sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet und einen engen Kontakt zu den Interessengruppen der Praxis unterhält. Das Projekt Ökostrom ist ausserdem an der Entstehung eines privatrechtlichen Vereins beteiligt, mit dem die unabhängige Verwaltung und Vergabe eines allgemeinen Ökolabels für Strom garantiert werden soll.

Aktueller Stand der Forschungsarbeiten

Am 1. April 1998 wurde das Projekt Ökostrom offiziell gestartet. Vier thematische Gruppen bearbeiten folgende Teilprojekte:

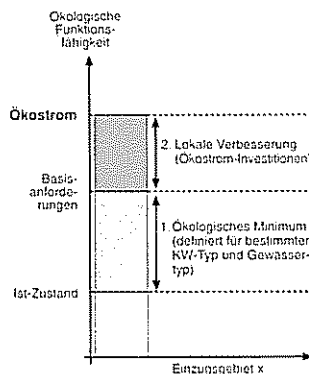
- Die *Bewertungs-Gruppe* erarbeitet das Konzept und den Verfahrensablauf für die Zertifizierung «grüner Wasserkraftanlagen».
- Die *Restwasser-Gruppe* konzentriert sich auf die Ermittlung ökologisch begründeter Mindestwasserregelungen.
- Im Zentrum der *Aue-Gruppe* steht die Frage, wieviel Wasser eine

* Im EAWAG-Ökostrom-Projekt arbeiten ferner mit (in alph. Reihenfolge): Gianluca Ambrosini, Lisbeth Bieri, Jürg Bloesch, Matthias Brunke, Ueli Bundi, Gabriele Carraro, Moreno Celio, Christian Dinkel, Gregor Dürrenberger, Barbara Fassnacht, Andreas Frutiger, Rene Gächter, Mark Gessner, Tom Gonser, Erwin Grüder, Estelle Grüter, Eduard Hoehn, Markus Hofer, Doris Hohmann, Klaus Jorde, Bernd Kiefer, Rolf Kipfer, Susanne Kytzia, Fabio Losa, Antonin Mares, Vijay Matta, Werner Meier, Beat Müller, Armin Peter, Tom Ravens, Peter Reichert, Roman Rudel, Mathias Schneider, Michael Schurter, Lorenzo Sonognini, Sarah Strauss, Michael Sturm, Francisco Vazquez, Walter Wagner, Rolf Wüestenthalten, Kornelia Zepp, Alois Zwysig.

ÖKOLOGISCHES FORSCHUNGSZENTRUM

Klassifizierung grüner Wasserkraft

Das Zertifizierungsverfahren definiert als «Ökostrom-Kraftwerke» alle Kraftwerke, die erstens sogenannte allgemeine Ökostrom-Basisanforderungen erfüllen und zweitens einen festen Betrag pro verkaufte Kilowattstunde Ökostrom in die Sanierung ihrer Gewässereinzugsgebiete investieren («Ökostrom-Investitionen»).



1. Ökostrom-Basisanforderungen

- beschreiben allgemeine und wissenschaftlich begründete Grundanforderungen an Ökostromkraftwerke.
- sind spezifisch für verschiedene Kraftwerk- und Gewässertypen formuliert.
- gewährleisten bestimmte ökologische Basisfunktionen in den genutzten Gewässern und ihrer Umgebung
- bilden die Grundlagen für eine überregional einheitliche Zertifizierung von Ökostromkraftwerken.

2. Ökostrom-Investitionen gewährleisten

- eine ökologische Aufwertung, die individuell auf die wichtigsten Probleme innerhalb eines bestimmten Einzugsgebietes ausgerichtet ist.
- maximale Transparenz gegenüber den umweltbewussten Kunden und Kundinnen da der Aufpreis, den sie zahlen, direkt der ökologischen Aufwertung des Einzugsgebietes zugutekommt.

Aue braucht, um eine ausreichende, ökologische Funktionsfähigkeit zu garantieren.

• Die *Gruppe Markt und Politik* erforscht betriebswirtschaftliche und energiepolitische Grundlagen für eine erfolgreiche Markteinführung des Produkts Ökostrom.

Die Forschungsaktivitäten reichen dabei von der Konzeptentwicklung des Zertifizierungsverfahrens über Markterhebungen bis hin zu fisch- und benthosbiologischen Untersuchungen; von chemischen, sedimentologischen und morphologischen Erhebungen über Abfluss-, Grundwasser- und Habitat-Simulationen bis hin zu Untersuchungen der alpinen Auevegetation.

Die empirischen Arbeiten konzentrieren sich im Rahmen einer Fallstudie auf das Einzugsgebiet des Brenno im Kanton Tessin.

Trotz der vielfältigen Untersuchungen unterstützen alle Teilergebnisse – und das ist das Neue an diesem Querprojekt – nicht nur die eigenen Forschungsinhalte, sondern wirken aktiv an der Entwicklung des Bewertungsverfahrens mit. Dieses Zertifizierungsverfahren ist in vier Schritten aufgebaut.

1. Es beschreibt die Basisanforderungen an ein Ökostrom-Kraftwerk und gibt einen Systemüberblick über die grössten Verbesserungspotentiale in den betroffenen Einzugsgebieten.

2. Es enthält eine ausführlichere Detailstudie, die lokale Verbesserungsmaßnahmen ihrer ökologischen Wirkung und ihren Kosten entsprechend bewertet.

3. Es legt die zu ergreifenden Verbesserungsmaßnahmen im Rahmen eines Konsensfindungsverfahrens fest, das die wichtigsten lokalen InteressenvertreterInnen einschliesst.

4. Die eigentliche Zertifizierung erfolgt dann durch eine unabhängige Institution.

Die Arbeitsgruppen können zurzeit folgende Ergebnisse vorlegen:

- den Prototyp des Zertifizierungsverfahrens,
- einen morphologischen und fischbiologischen Systemüberblick, der Hinweise auf die ökologischen Verbesserungspotentiale im Einzugsgebiet des Brenno gibt,
- benthisches und fischbiologische Daten, die eine Anwendung von Simulationsmodellen zur Ermittlung ökologisch begründeter Restwasserregelungen ermöglichen,

- Grundwasserdaten, die aufzeigen, dass Teile der Brenno-Auen mehr durch Hangwasser und seitliche Zuflüsse gespeist werden als durch den vom Kraftwerk beeinflussten Hauptfluss.

- Marktanalysen, die unterstreichen, dass aus Sicht der KundInnen vor allem der Glaubwürdigkeit des Labels eine zentrale Bedeutung zukommt. Ein Marktpotential von 15 bis 20% dürfte erreichbar sein, sofern ein professionelles Marketing für Ökostrom betrieben wird.

Ausblick: weitere Aktivitäten

Im nächsten Jahr wird das Bewertungsverfahren weiter ausgebaut und verifiziert werden. Neben der Verfahrensentwicklung für alpine Speicheranlagen wird die Übertragung auf andere Kraftwerk- und Gewässertypen vorbereitet.

Die Zertifizierung erster alpiner Speicheranlagen ist für Anfang 2000 geplant.

Neuer IAD-Präsident

Im April 1998 wurde **Jürg Bloesch** zum Präsidenten der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung (IAD), einer selbständigen Sektion der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie (SIL), gewählt. Er war bisher IAD-Landesvertreter der Schweiz. In stiller Wahl wurde Dr. Pius Stadelmann, Amt für Umweltschutz Kanton Luzern, von den schweizerischen SIL-Mitgliedern als Nachfolger zum IAD-Landesvertreter bestimmt.

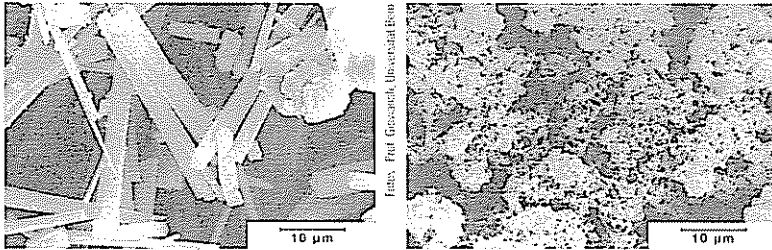


Einfluss elektromagnetischer Felder auf Kristallisationsvorgänge

Im Auftrag des BUWAL wurde im Rahmen einer Doktorarbeit untersucht, ob es gelingt, elektromagnetische Felder so zu erzeugen

und einzusetzen, dass dadurch die Bildung mineralischer Ablagerungen (wie z.B. Kalk) in Leitungssystemen verhindert werden kann

(siehe Publikation Nr. 2377 und Dissertation ETHZ Nr. 12 644). Es wurden drei Fallstudien in stark übersättigten Systemen (in einer Trinkwasserversorgung mit hartem Wasser und in den Schlammbehandlungen zweier Kläranlagen) durchgeführt. Anhand der Resultate der ARA Worblental sowie der Trinkwasser-Fallstudie konnte nachgewiesen werden, dass geeignete, für diese Anwendungen weiterentwickelte elektromagnetische Felder in der Lage sind, die Bildung von Ablagerungen zu verhindern.



Rasterelektronenmikroskopaufnahmen aus dem Kühlrohr der Kältekompressoren bei einer 200-fachen Vergrößerung: Die Abbildungen links (Referenz) zeigt schöne Aragonitnadeln, die Abbildung rechts (unter Feldeinfluss entstandene Ablagerung) zeigt keine erkennbaren kristallinen Strukturen.

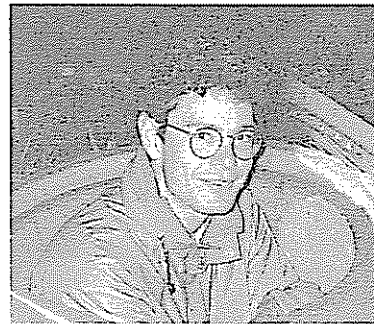
Otto Jaag-Preis 1998

Für die Dissertation mit dem Titel *Occurrence and behavior of pesticides during storm water infiltration* erhielt **Thomas Bucheli** den Otto Jaag-Gewässerschutz-Preis 1998.

Die Resultate seiner Detektivarbeit über die Transportwege von Pestiziden aus der Atmosphäre über die Dächer ins Grundwasser oder ins Abwasser stellen einen

wichtigen Beitrag zur qualitativen Beurteilung der Meteorwasser-versickerung dar. Beispielsweise hat er u.a. ein als Wurzelschutz in Bitumen eingesetztes Herbizid entdeckt, welches etwa 50% der Gewässerbelastung des Greifensees ausmacht.

Seine Arbeiten sind in der Dissertation und in verschiedenen



analytischen und umweltchemischen Zeitschriften publiziert.

Separata bitte mit Talon auf der letzten Seite bestellen

Publikationen

2376 **Zehnder, A.J.B.** (1997): Is water the first resource to control demographic development? In: «Food & water: a question of survival». Forum Engelberg, 8th Conf. 18.–21.3.1997, vdf, Zürich, pp. 85–98.

2377 **Müller Dick, R., Wehrli, B., Siegrist, H.** (1997): Elektromagnetische Wasserbehandlung. EAWAG, Kastanienbaum, August 1997, 3 S.

2378 **Borner, S., Büsser, T., Eggen, R., Frutiger, A., Müller, R., Müller, S., Peter, A., Wasmer, H.R.** (1998): Die Bekämpfung des Roten Sumpfkrebse (*Procambarus clarkii*) im Schübelweiher und Rumensee (Kanton Zürich). Auswertung der Massnahmen 1997. EAWAG, Dübendorf, März 1998, 22 S.

2379 **Jaeger, C.C., Barker, T., Edenhofer, O., Faucheux, S., Hourcade, J.-C.,**

Kasemir, B., O'Conner, M., Parry, M., Peters, I., Ravetz, J., Rotmnas, J. (1997): Procedural leadership in climate policy: a European task. *Global. Environ. Change* 7, No. 3, 195–203.

2380 **Hartmann, A., Alder, A.C., Koller, T., Widmer, R.M.** (1987): Identification of fluoroquinolone antibiotics as the main source of *umuC* genotoxicity in native hospital wastewater. *Environ. Toxicol. & Chem.* 17, No. 3, 377–382.

2381 **Ward, J.V., Voelz, N.J.** (1998): Altitudinal distribution patterns of surfacewater and groundwater faunas. In: «Adv. in river bottom ecology», G. Bretschko, J. Helesic (Eds.). Backhuys Publ., Leiden, pp. 135–142.

2382 **Wehrli, B., Lotter, A.F., Schaller, T., Sturm, M.** (1997): High-resolution varve

studies in Baldeggersee (Switzerland): project overview and limnological background data. *Aquatic Sci.* 59, 285–294.

2383 **Lotter, A.F., Renberg, I., Hansson, H., Stöckli, R., Sturm, M.** (1997): A remote controlled freeze corer sampling unconsolidated surface sediments. *Aquatic Sci.* 59, 295–303.

2384 **Lotter, A.F., Sturm, M., Teranes, J.L., Wehrli, B.** (1997): Varve formation since 1885 and high-resolution varve analyses in hypertrophic Baldeggersee (Switzerland). *Aquatic Sci.* 59, 304–325.

2385 **Schaller, T., Moor, H.C., Wehrli, B.** (1997): Reconstructing the iron cycle from the horizontal distribution of metals in sediment of Baldeggersee. *Aquatic Sci.* 59, 326–344.

- 2386 **Schaller, T., Moor, H.C., Wehrli, B.** (1997): Sedimentary profiles of Fe, Mn, V, Cr, As, and Mo as indicators of benthic redox conditions in Baldeggersee. *Aquatic Sci.* 59, 345–361.
- 2387 **Lotter, A.F., Birks, H.J.B.** (1997): The separation of the influence of nutrients and climate on the varve time-series of Baldeggersee, Switzerland. *Aquatic Sci.* 59, 362–375.
- 2388 **Hofer, M., Imboden, D.M.** (1998): Simultaneous determination of CFC-11, CFC-12, N₂, and Ar in Water. *Anal. Chem.* 70, No. 4, 724–729.
- 2389 **Hohmann, R., Kipfer, R., Peeters, F., Piepke, G., Imboden, D.M., Shima-raev, M.N.** (1997): Processes of deep-water renewal in Lake Baikal. *Limnol. Oceanogr.* 42, No. 5, 841–855.
- 2390 **Hunkeler, D., Hoehn, E., Hühener, P., Zeyer, J.** (1997): ²²²Rn as a partitioning tracer to detect diesel fuel contamination in aquifers: laboratory study and field observations. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 3180–3187.
- 2391 **Fankhauser, R.** (1997): Measurement properties of tipping bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation. *Water Sci. Tech.* 36, No. 8/9, 7–12.
- 2392 **Jancarkova, I., Larsen, T.A., Gujer, W.** (1997): Distribution of nitrifying bacteria in a shallow stream. *Water Sci. Tech.* 36, No. 8/9, 161–166.
- 2393 **Mikkelsen, P.S., Häfliger, M., Ochs, M., Jacobsen, P., Tjell, J.C., Boller, M.** (1997): Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stormwater – a case study. *Water Sci. Tech.* 36, No. 8/9, 325–330.
- 2394 **Baumann, B., van der Meer, J.R., Snozzi, M., Zehnder, A.J.B.** (1997): Inhibition of denitrification activity but not of mRNA induction in *Paracoccus denitrificans* by nitrite at a suboptimal pH. *Antonie van Leeuwenhoek* 72, 193–189.
- 2395 **Naegeli, M.W., Uehlinger, U.** (1997): Contribution of the hyporheic zone to ecosystem metabolism in a prealpine gravel-bed river. *J. North. Amer. Benthol. Soc.* 16, No. 4, 794–804.
- 2396 **Livingstone, D.M.** (1997): An example of the simultaneous occurrence of climate-driven «sawtooth» deep-water warming/cooling episodes in several Swiss lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26, 822–828.
- 2397 **Livingstone, D.M.** (1997): Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface temperatures. *Climatic Change* 37, 407–439.
- 2398 **Robinson, C.T., Minshall, G.W.** (1998): Regional assessment of wadable streams in Idaho, USA. *Great Basin Naturalist* 58, No. 1, 54–65.
- 2399 **Minshall, G.W., Robinson, C.T.** (1998): Macroinvertebrate community structure in relation of lotic habitat heterogeneity. *Arch. Hydrobiol.* 141, No. 2, 129–151.
- 2400 **Stumm, W.** (1997): Discussion on «a mechanistic description of Ni and Zn sorption on Na-montmorillonite» (Part 1 and Part 2). *J. Contam. Hydrol.* 28, 3–4.
- 2401 **Harms, H.** (1998): Bioavailability of dioxin-like compounds for microbial degradation. In: «Biodegradation of dioxins and furans», R.-M. Wittich (Ed.). Springer Verlag, Berlin and R.G. Landes Bioscience, Austin, pp. 135–163.
- 2402 **Eisenmann, H., Traunspurger, W., Meyer, E.I.** (1998): Community structure of selected micro- and meiobenthic organisms in sediment chambers from a prealpine river (Necker, Switzerland). In: «Adv. in river bottom ecology», G. Bretschko, J. Helesic (Eds.). Backhuys Publ., Leiden, pp. 155–162.
- 2403 **Bucheli, T.D.** (1997): Occurrence and behavior of pesticides during storm water infiltration. *Diss. ETHZ No. 12 414*, Zürich.
- 2404 **Purtschert, I.** (1997): Populationsdynamik bei Methanoleinsatz in denitrifizierenden Kläranlagen. *Diss. ETHZ Nr. 12 492*, Zürich.
- 2405 **Arnold, C.G.** (1998): Triorganotin compounds in natural waters and sediments: aqueous speciation and sorption mechanisms. *Diss. ETHZ No. 12 542*, Zürich.
- 2406 **Zipper, C.** (1998): Microbial degradation and environmental fate of chiral phenoxyalkanoic acid herbicides. *Diss. ETHZ No. 12 543*, Zürich.
- 2407 **Büssenschütt, M.** (1998): Pattern and performance. On the self-organized behavior in ecosystems. *Diss. ETHZ No. 12 393*, Zürich.
- 2408 **Jucker, B.A.** (1998): Polymer interactions and bacterial adhesion. *Diss. ETHZ No. 12 447*, Zürich.
- 2409 **Leveau, J.H.J.** (1998): Bacterial genetics of catabolic adaption to chloro-aromatic compounds. *Diss. ETHZ No. 12 536*, Zürich.
- 2410 **Durner, R.A.** (1998): Feast and starvation accumulation of bioplastic in *Pseudomonas oleovorans*. *Diss. ETHZ No. 12 691*, Zürich.
- 2411 **Frutiger, A., Gammeter, S.** (1998): Faunistics and altitudinal distribution of net-winged midges (Diptera Blephariceridae) in Switzerland and Liechtenstein. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 71, 115–124.
- 2412 **Hoigné, J.** (1998): Chemistry of aqueous ozone and transformation of pollutants by ozonation and advanced oxidation processes. In «The Handbook of Environmental Chemistry», Vol. 3 «Quality and treatment of drinking water II», J. Hrubec (Ed.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 83–141.
- 2413 **Mookerji, N., Heller, C., Meng, H.J., Bürgi, H.R., Müller, R.** (1998): Diel and seasonal patterns of food intake and prey selection by *Coregonus* sp. in re-oligotrophicated Lake Lucerne, Switzerland. *J. Fish Biol.* 52, 443–457.
- 2414 **Eicher, C., Krejci, V.** (1998): A new rainfall data system for urban hydrology in Switzerland. *Atmospher. Res.* 42, 177–198.
- 2415 **Frutiger, A.** (1998): Walking on suckers – new insights into the locomotory behavior of larval net-winged midges (Diptera Blephariceridae). *J. North Amer. Benthol. Soc.* 17, No. 1, 104–120.
- 2416 **Bloesch, J., Peter, A., Frauenlob, G.** (1998): Effects of technical impacts on alpine stream benthos and fish, and restoration proposals. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26, 1193–1200.
- 2417 **Xue, H., Sigg, L.** (1998): Cadmium speciation and complexation by natural organic ligands in fresh water. *Anal. Chim. Acta* 363, 249–259.
- 2418 **Fäh, D., Rüttener, E., Noack, T., Kruspan, P.** (1997): Microzonation of the city of Basel. *J. Seismol.* 1, 87–102.
- 2419 **Noack, P., Kruspan, P., Fäh, D., Rüttener, E.** (1997): A detailed rating scheme for seismic microzonation based on geo-

- logical and geotechnical data and numerical modelling applied to the city of Basel. Ecl. Geol. Helv. 90, 433–448.
- 2420 **Siegrist, H., Reithaar, S., Lais, P.** (1998): Nitrogen loss in a nitrifying rotating contactor treating ammonium rich leachate without organic carbon. Water Sci. Tech. 17, No. 4/5, 589–591.
- 2421 **Tockner, K., Schiemer, F., Ward, J.V.** (1998): Conservation by restoration the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. Aquatic Conserv. Marine & Freshwater Ecosyst. 8, 71–86.
- 2422 **Spaak, P.** (1997): Hybridization in the *Daphnia galeata* complex. Are hybrids locally produced? Hydrobiologia 360, 127–133.
- 2423 **Spaak, P., Ringelberg, J.** (1997): Differential behaviour and shifts in genotype composition during the beginning of a seasonal period for diel vertical migration. Hydrobiologia 360, 177–185.
- 2424 **Livingstone, D.M., Lotter, A.F.** (1998): The relationship between air and water temperatures in lakes of the Swiss Plateau. A case study with palaeolimnological implications. J. Palaeolimnol. 19, 191–198.
- 2425 **Goudsmit, G.-H., Peeters, F., Gloor, M., Wüest, A.** (1997): Boundary versus internal diapycnal mixing in stratified natural waters. J. Geophys. Res. 102, No. C13, 27 903–27 914.
- 2426 **Kanz, C., Nölke, M., Fleischmann, T., Kohler, H.-P.E., Giger, W.** (1998): Separation of chiral biodegradation intermediates of linear alkylbenzenesulfonates by capillary electrophoresis. Anal. Chem. 70, No. 5, 913–917.
- 2427 **Holliger, C., Hahn, D., Harmsen, H., Ludwig, W., Schumacher, W., Tindall, B., Vazquez, V., Weiss, N., Zehnder, A.J.B.** (1998): *Dehalobacter restrictus* gen. nov. and sp. nov., a strictly anaerobic bacterium that reductively dechlorinates tetra- and trichloroethene in an anaerobic respiration. Arch. Microbiol. 169, 313–321.
- 2428 **Lendenmann, U., Egli, T.** (1998): Kinetic models for the growth of *Escherichia coli* with mixtures of sugars under carbon-limited conditions. Biotechnol. & Bioengng. 59, No. 1, 99–107.
- 2429 **Leveau, J.H.J., Zehnder, A.J.B., van der Meer, J.R.** (1998): The *tfdK* gene product facilitates uptake of 2,4-dichlorophenoxyacetate by *Ralstonia eutropha* JMP134 (pJP4). J. Bacteriol. 180, No. 8, 2237–2243.
- 2430 **Ravatt, R., Zehnder, A.J.B., van der Meer, J.R.** (1998): Low-frequency horizontal transfer of an element containing the chlorocatechol degradation genes from *Pseudomonas* sp. Strain B13 to *Pseudomonas putida* F1 and to indigenous bacteria in laboratory-scale activated-sludge microcosms. Appl. Environ. Microbiol. 64, No. 6, 2126–2132.
- 2431 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B., Bernasconi, S.** (1997): Nitrogen elimination in two deep eutrophic lakes. Limnol. Oceanogr. 42, No. 7, 1530–1543.
- 2432 **Minshall, G.W., Robinson, C.T., Lawrence, D.E.** (1997): Postfire responses of lotic ecosystems in Yellowstone National Park, U.S.A. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54, 2509–2525.
- 2433 **Eggleston, C.M., Hug, S., Stumm, W., Sulzberger, B., dos Santos Afonso, M.** (1998): Surface complexation of sulfate by hematite surfaces FTIR and STM observations. Geochim. Cosmochim. Acta 62, No. 4, 585–593.
- 2434 **Suske, W.A., Kohler, H.-P.E., Held, M., Wubbolts, G., Schmid, A.** (1997): 2-hydroxybiphenyl 3-monooxygenase, a novel member of the group of FAD-containing aromatic hydroxylases. In Flavins and Flavoproteins 1996», K.J. Stevenson et al. (Eds.), Univ. of Calgary Press, Calgary, pp. 383–386.
- 2435 **Nozhevnikova, A.N., Holliger, C., Ammann, A., Zehnder, A.J.B.** (1997): Methanogenesis in sediments from deep lakes at different temperatures (2–70 °C). Water Sci. Tech. 36, No. 6/7, 57–64.
- 2436 **Bürgi, H.R., Jolidon, C.** (1998): 10 Jahre Seesänerung Hallwilersee. Die Reaktion des Planktons. Wasser, Energie, Luft 90, H. 5/6, 109–116.
- 2437 **Siegrist, H.** (1998): Optimierungsmassnahmen bei stark belasteten Belebungsanlagen. Einführung in die Tagung. 208. VSA Mitgl.Vers., 14.5.1998 in Zürich, S. 2–3.
- 2438 **Maurer, M.** (1998): Nitrifikation und Denitrifikation im Wirbelbettverfahren. 208. VSA Mitgl.Vers., 14.5.1998 in Zürich, S. 6–17.
- 2439 **Koch, G., Siegrist, H.** (1998): Separate biologische Faulwasserbehandlung – Nitrifikation und Denitrifikation. 208. VSA Mitgl.Vers., 14.5.1998 in Zürich, S. 34–48.
- 2440 **Spaak, P., Hoekstra, J.R.** (1997): Fish predation on a *Daphnia* hybrid complex a factor explaining species coexistence? Limnol. Oceanogr. 42, No. 4, 753–762.
- 2441 **Spaak, P., Boersma, M.** (1997): Tail spine length in the *Daphnia galeata* complex costs and benefits of induction by fish. Aquatic Ecology 31, 89–98.
- 2442 **Arnold, C.G., Berg, M., Müller, S.R., Dommann, U., Schwarzenbach, R.P.** (1998): Determination of organotin compounds in water, sediments, and sewage sludge using perdeuterated internal standards, accelerated solvent extraction, and large-volume-injection GS/MS. Anal. Chem. 70, No. 14, 3094–3101.
- 2443 **Rügge, K., Hofstetter, T.B., Haderlein, S.B., Bjerg, P.L., Knudsen, S., Zraunig, C., Mosbæk, H., Christensen, T.H.** (1998): Characterization of predominant reductants in anaerobic leachate-contaminated aquifer by nitroaromatic probe compounds. Environ. Sci. & Technol. 32, No. 1, 23–31.
- 2444 **Kirsten M., Schulz-Dobrick, B., Lichtensteiger, T., Johnson, C.A.** (1998): Speciation of Cr in leachates of a MWSI bottom landfill. Environ. Sci. & Technol. 32, No. 10, 1398–1403.
- 2445 **Gächter, R., Ngatiah, J.M., Stamm, C.** (1998): Transport of phosphate from soil to surface waters by preferential flow. Environ. Sci. & Technol. 32, No. 13, 1865–1869.
- 2446 **Stoll, J.-M.A., Ulrich, M.M., Giger, W.** (1998): Dynamic behavior of fluorescent whitening agents in Greifensee field measurements combined with mathematical modeling of sedimentation and photolysis. Environ. Sci. & Technol. 32, No. 13, 1875–1881.
- 2447 **Albrecht, A., Reiser, R., Lück, A., Stoll, J.-M.A., Giger, W.** (1998): Radiocesium dating of sediments from lakes and reservoirs of different hydrological regimes. Environ. Sci. & Technol. 32, No. 13, 1882–1887.
- 2448 **Goss, K.-U., Schwarzenbach, R.P.** (1998): Gas/solid and gas/liquid partitioning of organic compounds critical evaluation of

the interpretation of equilibrium constants. *Environ. Sci. & Technol.* 32, No. 14, 2025–2032.

2449 **Zipper, C., Suter, M.J.-F., Haderlein, S.B., Gruhl, M., Kohler, H.-P.E.** (1998): Changes in the enantiomeric ratio of (*R*)- to (*S*)-mecoprop indicate *in situ* biodegradation of this chiral herbicide in a polluted aquifer. *Environ. Sci. & Technol.* 32, No. 14, 2070–2076.

2450 **Simoni, S.F., Harms, H., Bosma, T.N.P., Zehnder, A.J.B.** (1998): Population heterogeneity affects transport of bacteria through sand columns at low flow rates. *Environ. Sci. & Technol.* 32, No. 14, 2100–2105.

2451 **Jans, U., Hoigné, J.** (1998): Activated carbon and carbon black catalyzed transformation of aqueous ozone into OH-radicals. *Ozone Sci. & Engng.* 20, 67–90.

2452 **Müller, B., Wehrli, B.** (1998): Anwendung von chemischen Sensoren in Sediment-Porenwasser. In «Mikrobiologische Charakterisierung aquatischer Sedimente – Methodensammlung», A. Remde, P. Tippmann (Bearb.), Verein. Allg. & Angew. Mikrobiol. (Hg.). R. Oldenbourg Verlag München, Wien, S. 232–244.

2453 **Schwenk, K., Spaak, P.** (1997): Ecology and genetics of interspecific hybridization in *Daphnia*. In «Evolutionary ecology of freshwater animals». Birkhäuser Verlag, Basel, S. 199–229.

2454 **Uehlinger, U., Zah, R., Bürgi, H.R.** (1998): The Val Roseg project. Temporal and spatial patterns of benthic algae in an Alpine stream ecosystem influenced by glacier runoff. In «Hydrology, water resources and ecology in headwaters», K. Kovar, U. Tappeiner, N.E. Peters, R.G. Craig (Eds.). IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 419–424.

2455 **Ward, J.V., Burgherr, P., Gessner, M.O., Malard, F., Robinson, C.T., Tockner, K., Uehlinger, U., Zah, R.** (1998): The Val Roseg project. Habitat heterogeneity and connectivity gradients in a glacial flood-plain system. In «Hydrology, water resources and ecology in headwaters», K. Kovar, U. Tappeiner, N.E. Peters, R.G. Craig (Eds.). IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 425–432.

2456 **Känel, B., Matthäi, C.D., Uehlinger, U.** (1998): Disturbance by aquatic plant management in streams effects by benthic invertebrates. *Regulated Rivers Res. & Management* 14, 341–356.

2457 **Uehlinger, U., Nägeli, W.** (1998): Ecosystem metabolism, disturbance, and stability in a prealpine gravel bed river. *J. North. Amer. Benthol. Soc.* 17, No. 2, 165–178.

2458 **Weissmahr, K.W., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1998): Complex formation of soil minerals with nitroaromatic explosives and other *p*-acceptors. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.* 62, No. 2, 369–378.

2459 **Hohmann, R., Hofer, M., Kipfer, R., Peeters, F., Imboden, D.M., Baur, H., Shimaraev, M.N.** (1998): Distribution of helium and tritium in Lake Baikal. *J. Geophys. Res.* 103, No. C6, 12 823–12 838.

2460 **Méndez-Alvarez, S., Eggen, R.I.L.** (1998): A rapid microwave method to extract plasmid DNA from *Saccharomyces cerevisiae* suitable for the transformation of *Escherichia coli*. *Biotechnol. Techniques* 12, No. 8, 605–606.

2461 **Zipper, C., Bunk, M., Zehnder, A.J.B., Kohler, H.-P.E.** (1998): Enantioselective uptake and degradation of the chiral herbicide dichlorprop [(*RS*)-2-(2,4-Dichlorophenoxy)propanoic acid] by *Sphingomonas herbicidovorans* MH. *J. Bacteriol.* 180, No. 13, 3368–3374.

2462 **Fesch, C., Simon, W., Haderlein, S.B., Reichert, P., Schwarzenbach, R.P.** (1998): Nonlinear sorption and nonequilibrium solute transport in aggregated porous media experiments, process identification and modeling. *J. Contaminant Hydrology* 31, No. 3/4, 373–407.

2463 **Qian, J., Xue, H.B., Sigg, L., Albrecht, A.** (1998): Complexation of cobalt by natural ligands in freshwater. *Environ. Sci. & Technol.* 32, No. 14, 2043–2060.

2464 **Boller, M.** (1998): Membranverfahren bereit für den grosstechnischen Einsatz. *Kommunalmagazin* 15, Nr. 7/8, 23–28.

2465 **Boller, M.** (1998): Wasserversorgung im Spannungsfeld von Erhaltung und Erneuerung. *Gas, Wasser, Abwasser* 78, Nr. 6, 441–446.

2466 **Tschui, M., Boller, M.** (1997): Abwasserreinigung mit submersen Festbettreaktoren. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, Nr. 11, 769–781.

2467 **Bundi, U.** (1997): Qualité des eaux en Suisse développement historique et nouveaux besoins du fait des conditions

marginales modifiées. Journée scientifique du Groupe Générale des Eaux «La qualité pourquoi, comment, jusqu'ou?», Paris, 27 Novembre 1997, p. 27–30.

2468 **Bundi, U.** (1996): Boden mit Schäden leben – neue Schäden vermeiden. *VGL-Information* Nr. 4, 3.

2469 **Bundi, U.** (1997): Umfassende Strategien für den Gewässerschutz. *VGL-Information* Nr. 4, 6–8.

2470 **Bundi, U.** (1997): Verursacherprinzip für einen besseren Umweltschutz. *VGL-Information* Nr. 2, 2–3.

2471 **Bundi, U.** (1998): Modulares Konzept zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. *VSA Verbandsbericht* Nr. 519, 296. Mitgl.versamml. vom 6.3.1998 in Bern, S. 4–16.

2472 **Casey, W.H., Ludwig, C., Holmén, B.** (1998): Toward understanding the rates of reactions at mineral surfaces. *Proc. of the Rome Seminar on environmental geochemistry*, L. Marini, G. Ottonello (Eds.), Pacini Editore, Pisa, pp. 103–119.

2473 **Poiger, T., Field, J.A., Field, T.M., Siegrist, H., Giger, W.** (1998): Behavior of fluorescent whitening agents during swage treatment. *Water Res.* 32, No. 6, 1939–1947.

2474 **Stoll, J.-M.A., Giger, W.** (1998): Mass balance for detergent-derived fluorescent whitening agents in surface waters of Switzerland. *Water Res.* 32, No. 7, 2041–2050.

2475 **Jucker, B.A., Harms, H., Zehnder, A.J.B.** (1998): Polymer interactions between five gram-negative bacteria and glass investigated using LPS micelles and vesicles as model systems. *Colloids & Surfaces Bio-interfaces* 11, No. 1/2, 33–45.

2476 **Power, M., van der Meer, J.R., Tchelet, R., Egli, T., Eggen, R.** (1998): Molecular-based methods can contribute to assessments of toxicological risks and bioremediation strategies. *J. Microbiol. Methods* 32, No. 2, 107–119.

2477 **Pahl-Wostl, C.** (1997): Dynamic structure of a food web model comparison with a food chain model. *Ecolog. Modelling* 100, No. 1/3, 103–123.

2478 **Müller, R., Bia, M.M.** (1998): Adaptive management of whitefish stocks in lakes undergoing re-oligotrophication the



fication of stream drift. Arch. Hydrobiol. 143, No. 1, 1-19.

2510 **Casey, W.H., Ludwig, C., Holmén, B.** (1998): Toward understanding the rates of reactions at mineral surfaces. Proc. of the Rome Seminar on Environ. Geochemistry, Castelnovo di Porto, May 22-26, 1996. Pacini Editore, Ospedaletto, pp. 103-119.

2511 **Stamm, C., Flühler, H., Gächter, R., Leuenberger, J., Wunderli, H.** (1998): Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. J. Environ. Quality 27, No. 3, 515-522.

2512 **Boiler, M.** (1998) Kupfer: langfristig drohen irreversible Schäden. VGL-Information Nr. 3, 19-21.

2513 **Ravatt, R., Studer, S., Springael, D., Zehnder, A.J.B., van der Meer, J.R.** (1998): Chromosomal integration, tandem amplification, and deamplification in *Pseudomonas putida* F1 of a 105-kilobase genetic element containing the chlorocatechol degradative genes from *Pseudomonas* sp. strain B13. J. Bacteriol. 180, No. 17, 4360-4369.

2514 **Gaspard, S., Vazquez, F., Holliger, C.** (1998): Localization and solubilization of the iron(III) reductase of *Geobacter sulfur-reducens*. Appl. Environ. Microbiol. 64, No. 9, 3188-3194.

2515 **Eisenmann, H., Harms, H., Meckenstock, R., Meyer, E.I., Zehner, A.J.B.** (1998): Grazing of a *Tetrahymena* sp. on adhered bacteria in percolated columns monitored by *in situ* hybridization with fluo-

rescent oligonucleotide probes. Appl. Environ. Microbiol. 64, 1264-1269.

2516 **van Niel, E.W.J., Appeldoorn, K.J., Zehnder, A.J.B., Kortstee, G.J.J.** (1998): Inhibition of anaerobic phosphate release by nitric oxide in activated sludge. Appl. Environ. Microbiol. 64, No. 8, 2925-2930.

2517 **Piňar, G., Kovárová, K., Egli, T., Ramos, J.L.** (1998): Influence of carbon source on nitrate removal by nitrate-tolerant *Klebsiella oxytoca* CECT 4460 in batch and chemostat cultures. Appl. Environ. Microbiol. 64, No. 8, 2970-2976.

2518 **Kovárová, K., Egli, T.** (1998): Growth kinetics of suspended microbial cells: from single-substrate-controlled growth to mixed-substrate-kinetics. Microbiol. & molecular Biol. Rev. 62, No. 3, 646-666.

2519 **Fesch, C., Haderlein, S. Fesch, C., Haderlein, S.B.** (1998): Competitive sorption and multiple-species subsurface transport of nitroaromatic explosives: implications for their mobility at contaminated sites. In: «Groundwater Quality: Remediation and Protection», M. Herbert, K. Kovar (eds.), (IAHS publication; No. 250, Wallingford, pp. 27-34.

2520 **Schwarzenbach, R.P., Haderlein, S.B., Müller, S.R., Ulrich, M.M.** (1998): Assessing the dynamic behavior of organic contaminants in natural waters. In: «Perspectives in Environmental Chemistry», D.L. Macalady (Ed.), Oxford Univ. Press., Oxford, pp. 138-166.

Schriftenreihe der EAWAG

Stumm, W. (1998): Corrosion of metals in aquatic systems: an introduction. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 12, Dübendorf- Zürich, 39 pp., ISBN 3-906484-18-1.

Albrecht, A. (1998): The behavior of nuclear reactor derived metallic radionuclides in the aquatic system of Switzerland. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 13, Dübendorf, XVIII + 105 pp., ISBN 3-906484-19-X.

Burckhardt-Gammeter, S., Fankhauser, R., Gujer, W. (1998): Regendaten für die Siedlungshydrologie. Entwicklung eines Regensimulators für die Extrapolation von 1-Minuten Daten für die Anwendung in der Siedlungshydrologie. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 14, Dübendorf, III + 52 S. ISBN 3-906484-20-3.

Publikationen

(Sie müssen ausserhalb der EAWAG bestellt werden; Preis in Schweizer Franken ohne Versandkosten.)

Lichtensteiger, T. (Hrsg.) (1998): Ressourcen im Bau. Aspekte einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung im Bauwesen. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 138 S., ISBN 3-7281-2638-1, (Fr. 49.-).

Baccini, P. und Oswald, F. (Hrsg.) (1998): Netzstadt: Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 300 S., ISBN 3-7281-2627-6, broschiert, (Fr. 58.-).

BESTELLTALON

46 D

Bitte schicken Sie mir die

EAWAG news in deutsch englisch französisch
 Publikationsnummern

Bemerkungen

Dies ist eine Adressänderung (alte Adresse)

Datum _____

Anrede _____

Name/Vorname _____

Funktion _____


Firma/Organisation _____

Strasse und Nummer _____

Land, PLZ, Stadt _____

Telefon _____

Telefax _____



EAWAG
Bibliothek
CH-8600 Dübendorf