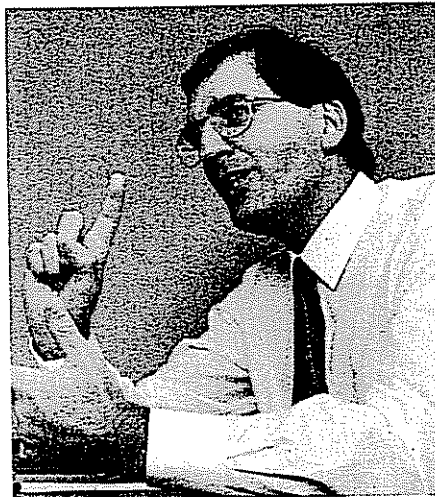


- 2 Editorial**
Philippe Roch, Direktor des BUWAL
- 3 Thesen und Forderungen zur Umweltentwicklung**
Alexander J.B. Zehnder
- 6 Risikokommunikation: Das Beispiel von Klimaveränderungen**
Claudia Pahl-Wostl, Carlo C. Jaeger
- 9 Wieviel Stress ertragen Lebewesen und Ökosysteme?**
Herbert Güttinger
- 12 Die Bedeutung der physiographischen Faktoren für Fließgewässerökosysteme**
Tom Gonser
- 17 Erste Schritte zu einer nachhaltigen regionalen Ressourcenwirtschaft**
Peter Baccini
- 19 Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern**
Renata Behra, Giulio P. Genoni, Laura Sigg
- 22 Möglichkeiten und Grenzen biotechnologischer Umweltsanierungen**
J. R. van der Meer
- 26 Wasch- und Reinigungsmittel: Vom reaktiven zum präventiven Umweltschutz**
Walter Giger, Alfredo C. Alder, Pilar Fernández und Eva Molnar
- 30 Umweltschutz in Entwicklungsländern: Eine Überlebensfrage**
Roland Schertenleib
- 33 Stickstoffhaushalt in der Schweiz – Wegweiser zum Umweltmanagement**
Ueli Bundi
- 36 Vom Umweltschutz zum Umweltmanagement und die Konsequenzen für die EAWAG**
Ueli Bundi
- 38 EAWAG-Intern**
 - Wird das «Auto der Zukunft» in der Schweiz entwickelt?
 - Professurberufungen
 - Zwei Ehrungen für Jürg Hoigné
- 42 EAWAG-Publikationen**

Wissenschaft muss Fragen und Zweifel formulieren



Prozesses zu werden. Der Umweltschutz vereint alle wissenschaftlichen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Kräfte, um eine Zivilisation der Harmonie zwischen der Menschheit und der Natur, zwischen den Menschen aller Gegenden dieser Welt, zwischen der Gegenwart und der Zukunft zu schaffen.

Diese Aufgabe verpflichtet alle Menschen, aus ihrem gewohnten Rahmen auszubrechen, um am schönsten Projekt mitzuwirken, das uns je aufgetragen wurde.

Liebe Leserinnen und Leser

Der Umweltschutz hat sich bis heute im Wesentlichen an zwei Grundsätzen orientiert: Gefahren sollen sichtbar gemacht werden, und mittels verbindlicher Normen sollen Schäden vermindert werden. Mit dem technischen Fortschritt und dem Anstieg des Konsums stösst dieses binäre System jedoch zunehmend an seine Grenzen und bietet zugleich Anlass zu Kritik, die in wirtschaftlich schwierigen Zeiten zunehmend härter ausfällt.

Die Konferenz für Umwelt und Entwicklung vom Juni 1992 in Rio prägte einen dritten Grundsatz, jenen der nachhaltigen Entwicklung. Damit wird insbesondere die Notwendigkeit einer Einbindung des Umweltschutzes in die Strategien der Wirtschaft betont.

Zwar sind wir noch weit von diesem Ziel entfernt; doch es hat sich eine Dynamik entwickelt, die Hoffnung verspricht. Sie erlaubt es, wirtschaftliche und politische Kräfte so zu nutzen, dass jedes von uns erarbeitete Projekt getragen ist von der nachhaltigen Nutzung der Ressourcen, von der Verminderung der Schadstoffe auf ein Niveau, das für die Ökosysteme und die menschliche Gesundheit erträglich ist und vom Respekt für das Leben in seiner ganzen Vielfalt.

Damit hat der Umweltschutz seine Rolle des Widerstandes verlassen, um zum Motor eines weltweiten

Die Wissenschaft hat sich, dank ihrer Geheimsprache und einer ausufernden Interpretation der Forschungsfreiheit, bisher zu stark schützen können. Sie muss ihren Elfenbeinturm verlassen, ihre Feststellungen übersetzen, aber auch ihre Fragen und Zweifel formulieren, und zwar in einer klaren Sprache, damit alle von uns und insbesondere diejenigen mit Entscheidungsbefugnis ihre Mitverantwortung für eine nachhaltige Entwicklung nicht mehr abstreiten können.

Die EAWAG bietet für diese Notwendigkeit einen fruchtbaren Boden.

Philippe Roch
Direktor des Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft (BUWAL)

EAWAG



Die EAWAG NEWS sind das Informationsbulletin der EAWAG

Herausgeberin
Vertrieb und © by: EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Tel. +41-1-823 55 11
Fax +41-1-823 53 98

Redaktion
Diana Hornung, EAWAG

Copyright
Abdruck, auch auszugsweise, ist unter Benachrichtigung der Herausgeberin und der Autorinnen und mit Quellenangabe «Abdruck aus den EAWAG NEWS 36 D, 1994» gestattet

Erscheinungsweise
zweimal jährlich in deutsch, englisch und französisch

Layout
Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Gedruckt
auf Original-Umweltschutzpapier

Abonnemente
NeuabonnentInnen willkommen! Bestelltaion auf der letzten Seite

Legende zum Titelbild
Fluss aus der Vogelperspektive
Luftaufnahme eines Fließgewässers mit Schwemmebene und charakteristischer aquatischer und terrestrischer Lebensraumvielfalt (s. Beitrag von Tom Gonser auf Seite 12)

Alexander J.B. Zehnder

Thesen und Forderungen zur Umweltentwicklung

Wir leben heute in einem Zeitalter, welches grundlegende Änderungen im Verhältnis und im Zusammenwirken von Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft erfordert. Über die Gründe dieser Veränderungen und die Schritte, die unternommen werden müssen, um die Probleme unserer Zukunft meistern zu können, wird intensiv nachgedacht. Zweifellos haben die sozialen und ökonomischen Turbulenzen und politischen Umwälzungen der vergangenen Jahrzehnte zu diesen Veränderungen beigetragen. Die Probleme, die auf uns zukommen, stehen vor allem im Zusammenhang mit dem grossen Ressourcenverbrauch in den Industrieländern einerseits und der Bevölkerungsexplosion der kommenden Jahre andererseits. Die Sorge um Nachhaltigkeit, d.h. um den Erhalt der natürlichen Ressourcen und der Umwelt, steht dabei im Mittelpunkt.

« Wir können die Ressourcen nicht ins Museum stellen, wir müssen lernen, mit ihnen so umzugehen, dass sie uns und unseren Nachfahren nach Gebrauch wieder zur Verfügung stehen. »

Erdbevölkerung im nächsten Jahrhundert

Das Wachstum der Erdbevölkerung in diesem Jahrhundert ist so spektakulär, dass es einer der offensichtlichsten Aspekte der modernen Geschichte ist. Was wir heute sehen, ist die Kulmination einer Entwicklung, welche schon seit Jahrhunderten im Gange ist. Wir können sicher davon ausgehen, dass dieses Phänomen nicht für immer im gleichen Masse weitergehen wird. Für die nächsten hundert Jahre jedoch ist die Bevölkerungswoge eine Quelle grosser Sorge. Es ist nicht nur das Wachstum, welches uns beschäftigt, sondern das Wie und Wo des Wachstums (Fig. 1). Die stärksten Zunahmen finden wir in den weniger entwickelten Regionen dieser Erde, vor allem in Südasien, Afrika, Ostasien und Lateinamerika. In Europa, inkl. Staaten der ehemaligen Sowjetunion und Nordamerika, stagniert das Bevölkerungswachstum. Diese Asymmetrie wird mit steigender Besorgnis betrachtet:

- Das rapide Wachstum in den armen Ländern ist Bedrohung für ihre eigene Entwicklung und das globale Allgemeinwohl.
- Die grossen Unterschiede im Einkommen und der Bevölkerungsdichte führen zu politischen Turbulenzen und Gewalt, mit dem Resultat einer steigenden, internationalen und transkontinentalen Migration.

Es besteht eine grosse Sorge, dass die kommenden Jahre uns neue und grössere Migrationswellen bringen werden. Gewisse Länder befürchten, ihre geistige Elite zu verlieren, andere, durch weniger Ausgebildete überrannt zu werden. Demographische Veränderungen bringen sich im allgemeinen selbst wieder ins Gleichgewicht, aber leider nur mit einer gewissen Verzögerung. So sind die Mädchen, die im nächsten Jahrhundert selbst Kinder auf die Welt bringen werden, schon geboren. Die Resultate aktiver Familienplanung werden sich erst in einer oder zwei

Generationen zeigen. Inzwischen wächst die Bevölkerung unaufhaltsam. Die Grösse der Bevölkerung ist nur sehr bedingt eine politische Variable, welche nach Gurdünken durch Regierungen verändert werden kann. Regierungen und mit ihnen auch die Wirtschaft und die Wissenschaft sollten sich nicht nur auf die Begrenzung des Bevölkerungswachstums konzentrieren, sondern vor allem darauf, Konzepte und Technologien zu entwickeln, welche es erlauben werden, weniger entwickelte Regionen zu fördern und industrialisieren, gleichzeitig den Wunsch einer wachsenden Anzahl Menschen nach Individualität, Mobilität, mehr persönlicher Sicherheit und Komfort mit dem Schutz der Umwelt und der Erhaltung der Ressourcen – Stichwort: Nachhaltigkeit – zu kombinieren.

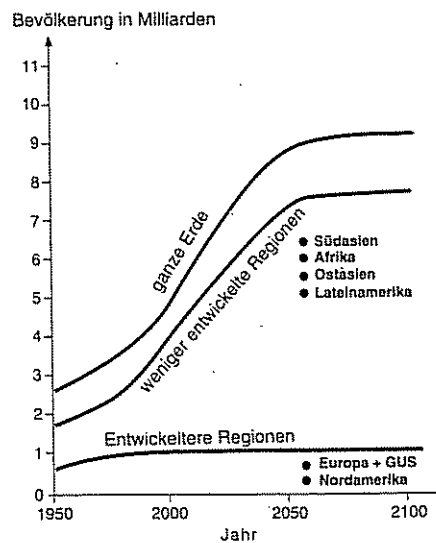


Fig. 1
Prognose der Bevölkerungsentwicklung im nächsten Jahrtausend.
Daten aus The World Bank (1992).

Vom Umweltschutz ...

Zu lange haben wir vor dem Ausmass der aufziehenden Schwierigkeiten kapituliert und haben viel zu wenig nach innovativen Lösungen gesucht. Zwei Hauptgründe sind für diese relative Untätigkeit verantwortlich.

Erstens haben wir angenommen, dass wir ausschliesslich in globalen Begriffen zu denken haben. Die demographischen und ökologischen Veränderungen müssen zwar weltweit gelöst werden, nur fehlen uns bis heute

die Instrumente, um globale Lösungen zu erarbeiten. Die Gründe dafür sind zahlreich. Die Definition von globalen Problemen ist zwar relativ leicht, die Lösung dieser Probleme ist aber unendlich komplex. Konzertierte Aktionen wären ideal. Kurzfristige partikuläre und nationale Interessen stehen denen aber im Wege. Die Umweltkonferenz in Rio hat zwar deutliche Zeichen gesetzt, die Umsetzung in die Praxis findet, wenn schon überhaupt, nur sehr zaghafte statt und zwar nur dort, wo sie relativ schmerzlos ist. Die Zeit drängt, wir können nicht mehr auf einen weltweiten Konsens warten. Was wir machen können, ist die Quellen der globalen Probleme lokal und regional anzupacken. Auf diesem Niveau sind Lösungen möglich, und jeder Betroffene kann seinen persönlichen Beitrag leisten und sich damit identifizieren. Lokale und regionale Lösungen erhöhen das persönliche Verantwortungsgefühl.

Zweitens ist der Gedanke noch weit verbreitet, dass Ökologie und Ökonomie unvereinbar wären. Seit über 20 Jahren gibt es in der Ökopolitik eine klare Trennlinie. Auf der einen Seite steht die Umweltlobby mit den Forderungen nach Verschmutzungs-beseitigung und Ökosystemschutz, und zwar um jeden Preis. Für sie vergewaltigt die Wirtschaft die Umwelt um der Profite willen und ist in erster Linie für alle Umweltschäden verantwortlich. Auf der anderen Seite stehen Wirtschaftsleute, aber auch andere, die Vorschriften zum Schutze der Umwelt ökonomisch als wachstumshindernd betrachten. In ihren Augen verschlingt der Umweltschutz unnötig viel Mittel, welche der Wirtschaft nachher fehlen. In den späten 80er Jahren haben weitsichtige Vertretende beider Lager begonnen, die Trennlinie zu überschreiten und diese Stück für Stück zu löschen. Beide Seiten entdeckten, dass solide Wirtschaftlichkeit und solider Umweltschutz sich nicht ausschließen. Unter Ausnützung eines freien Marktes ist es ohne weiteres möglich, zugleich die Verschmutzung zu minimieren, den Umweltschutz zu maximieren und ökonomisches Wachstum zuzulassen. Neueste Entwicklungen u.a. in der Automobilindustrie zeigen, dass die erfindungsreiche Verbindung

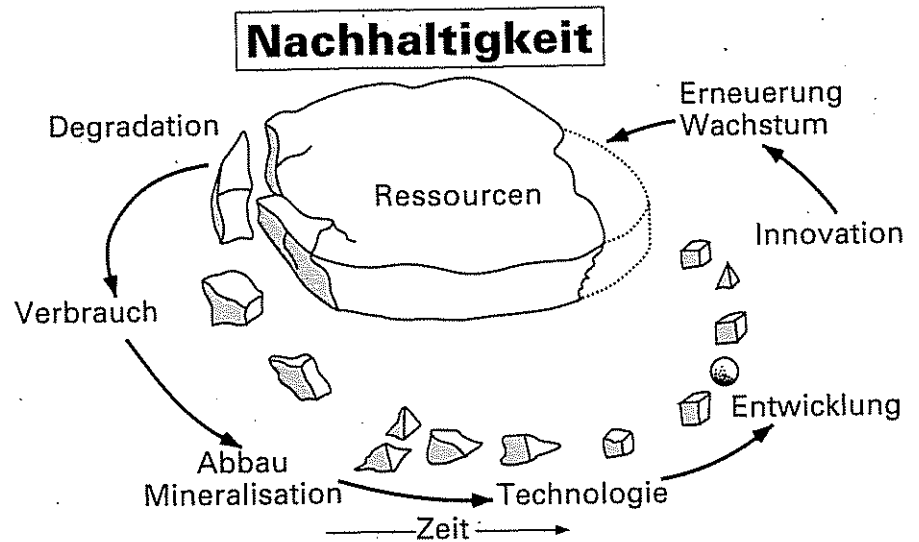


Fig. 2 Schematische Darstellung von Nachhaltigkeit als Fließgleichgewicht in der Zeit. Das Total der Ressourcen bleibt konstant. Verbrauchte und degradierte Ressourcen werden durch Technologie, Entwicklung und Innovation ersetzt und erlauben Erneuerung, resp. Wachstum.

von Ökonomie und Ökologie zu Produkten mit interessanten Absatzmärkten führen kann (sehr sparsame Motoren, Neuentwicklungen im Zusammenhang mit dem Gesetz in Kalifornien, dass dort ab 1998 2% der Fahrzeuge keine fossilen Brennstoffe mehr verbrauchen dürfen, usw.). Ökologie ist also keine ökonomische Bremse. Im Gegenteil, es wird immer deutlicher, dass Ökologie ein Katalysator für Innovationen, Entwicklungsmöglichkeiten und wirtschaftlichen Aufschwung sein kann.

Die heute erst schwach sichtbaren Synergien zwischen freiem Markt und Umweltschutz sind zum Teil auf die Enttäuschungen der letzten Jahre mit den Umweltschutzgesetzgebungen in verschiedenen Ländern zurückzuführen. Die Gesetzgebungen haben nicht immer das von ihnen erwartete Resultat gebracht. Sie waren zu stark auf Befehl oder Kontrolle ausgerichtet. Eine solche Ausrichtung ist zweifellos in einer ersten Phase nötig und reduziert die Verschmutzung, verhindert aber wegen ihrer Unbeweglichkeit oft Innovationen, welche für die Lösung zukünftiger Aufgaben dann fehlen.

... zum Umweltmanagement

Die Reaktionen auf (demographische) Probleme sind im allgemeinen defensiv. Schutz ist die erste Reaktion. Wahrscheinlich ist Schutz als primäre Reaktion auch richtig. Aber beim

Schutz sollte es nicht bleiben. Aus der Defensive müssen wir in die Offensive. Wir können die Ressourcen nicht ins Museum stellen, wir müssen lernen, mit ihnen so umzugehen, dass sie uns und unseren Nachfahren nach Gebrauch wieder zur Verfügung stehen. In diesem Sinne ist Nachhaltigkeit kein statischer Prozess. Die Definition von Nachhaltigkeit im Brundtland-Rapport ist weder statisch noch dynamisch. Die Interpretation ist offen. Standen bis heute beim Umweltschutz vor allem Schadensbegrenzung und Schadensverminderung im Vordergrund, verlangt die Zukunft von uns, unnötigen Schäden vorzubeugen und Ressourcen zu bewirtschaften. Wichtig ist, dass die Menge an Ressourcen nicht unwiderruflich kleiner wird. Es ist klar, dass gewisse Ressourcen endgültig verbraucht werden. Nachhaltigkeit verlangt nicht das Erhalten einer spezifischen Ressource, sondern ihr Ersetzen durch eine mindestens gleichwertige. Schematisch kann Nachhaltigkeit als ein Total an Ressourcen betrachtet werden, das sich durch die Zeit bewegt und in seinem Umfang in einem Fließgleichgewicht konstant bleibt (Fig. 2). Die menschlichen Aktivitäten werden einen Teil der Ressourcen aufbrauchen. Dieser Verbrauch muss und kann nicht völlig verhindert werden, nur dessen Exzesse (welche heute speziell in den Industrieländern noch unnötig gross sind). Die verbrauchten Ressourcen

müssen durch Innovation wieder in gleichwertige überführt werden. Ein solches Modell lässt sowohl Verbrauch als auch Entwicklung und Wachstum zu. Der Umfang und die Geschwindigkeit eines möglichen Wachstums hängen einesteils vom Verbrauch, andernteils von Neuerungen in Technologie und Innovation, d.h. unserer eigenen Phantasie ab. Der hier dargestellte Prozess ist eigentlich derjenige aller natürlichen Zyklen der Elemente, indem Umbau (Mineralisation) und Neueinbau der Elemente in komplexe Moleküle nebeneinander stattfindet. Nachhaltigkeit wäre darum auch zu definieren als geschlossener Zyklus aller Ressourcen. Wir müssen lernen, als Menschheit in diesen Zyklus zurückzukehren, heute zwar unter erschwerten Bedingungen, da das Wachstum der Menschheit fortwährend diesen Ressourcenzyklus aus dem Gleichgewicht bringt. Einer Explosion der Bevölkerung müssen wir eine Explosion der Innovationen gegenüberstellen, um den Ressourcenzyklus möglichst schnell wieder zu schliessen.

Aber wie?

Bis hierher ist es nicht schwer, mit mir einzugehen. Aber welche Schritte müssen unternommen werden, um zu einer effektiven Ressourcenbewirtschaftung zu kommen? Drei Forderungen, respektive Thesen, möchte ich hier aufstellen, welche es uns erlauben werden, den Schritt vom Umweltschutz zum Umweltmanagement zu unternehmen.

These 1
Umwelt- und Ressourcenmanagement müssen in den Mittelpunkt unserer Entscheidungen rücken und nicht wie bisher als notwendiges Übel betrachtet werden.

Unsere Entscheidungen werden in dem Masse besser, wie wir Verfahren entwickeln, die Preise so zu regulieren, dass sie die effektiven Kosten einer Verschmutzung oder den Verbrauch einer bestimmten Ressource richtig wiedergeben. Die Wissenschaft ist gefordert, hierfür die richtigen Kriterien und Methoden zu erarbeiten. Mit den Umweltverträglichkeitsprüfungen und Ökobilanzen für Stoffe

und Produkte sind wir in der Schweiz auf dem richtigen Weg. Noch klarere innovative und ökonomische Anreize sind aber nötig, sonst bleiben diese Prüfungen ein notwendiges Übel. Progressive Gebührenerhebungen für Ressourcenverbrauch und direkte Rückführung der Mittel (staatsquotenneutral) zur Stimulierung von Innovationen zur Verbrauchsreduzierung oder Entwicklung von Alternativen wären klare Wegbereiter für eine ökologische Ökonomie.

These 2
Für den eigenen Gebrauch von Ressourcen und den Eingriff in die direkte Umwelt trägt jeder Mensch persönlich die Verantwortung.

Umweltschutz und in vermehrtem Masse auch Umweltmanagement ist sehr oft das «Problem des andern». Wollen wir erfolgreiches Umweltmanagement betreiben, muss jeder von uns Fragen zur Umwelt, insbesondere zum Ressourcenverbrauch zu seinem eigenen Problem machen. Eine gezielte und koordinierte Ausbildungs-, Informations- und Abgabepolitik ist für die Bewusstseinsbildung unabdingbar.

These 3
Als Bewohner dieses Landes müssen wir alle, eine jede und ein jeder von uns, im Laufe der kommenden Jahre (Zeithorizont 30 Jahre) den heutigen Ressourcenverbrauch durchschnittlich auf ein Drittel reduzieren.

Diese letzte Forderung beinhaltet die Quantifizierung der ersten zwei Forderungen. Der Zeithorizont ist lang genug, um Produktionsreife technischer Entwicklungen auf den verschiedensten Gebieten zu erlauben. Eine koordinierte Gebühren-/Innovationsstimulierungspolitik wird es ermöglichen, dieses Ziel zu erreichen. Viele Entwicklungen und Verbesserungen der letzten 20 Jahre haben gezeigt, dass eine solche Forderung zu erfüllen ist. Lesen Sie dazu auch die Beiträge der Herren Baccini und Schertenleib in dieser Ausgabe.

Was bleibt?

Mit dem Einlösen dieser drei Forderungen bleibt immer noch das Problem des Massstabes und der Verteilung der

Ressourcen zwischen den verschiedenen Menschen dieser Erde. Die Frage, wie gross eine ökologische, globale Ökonomie werden kann, ist vor allem im Hinblick auf die Industrialisierung der weniger entwickelten Regionen dieser Erde ebenfalls noch unbeantwortet.

Das Bevölkerungswachstum ist vor allem in Regionen mit wenig Boden- (Nahrungsmittel-) und Landressourcen konzentriert. Der zunehmende Nahrungsmittelbedarf kann lokal nur noch für eine relativ kurze Zeit (einige Jahre bis wenige Jahrzehnte) sichergestellt werden. Diese Sicherstellung geschieht schon heute auf Kosten der Bodenqualität. Es wird angenommen, dass in den letzten 40 Jahren bereits 11% des kultivierbaren Bodens zerstört wurden. Das Tempo der Zerstörung nimmt mit dem Bevölkerungswachstum und der Industrialisierung zu. In der näheren Zukunft müssen die weniger bevölkerten Industrienationen für die starkbevölkerten Gebiete dieser Erde einen erheblichen Teil der Nahrungsmittel produzieren. Diese müssen grösstenteils quer durch und zwischen Kontinenten zu den Verbrauchern und Verbraucherinnen gebracht werden. Über die dazu nötigen Energie- und Transportkosten (und zusätzlichen Ressourcenverbrauch) gibt es heute nur Schätzungen.

Wasser ist eine Schlüsselressource. Süsswasser ist auf der Erde in genügender Menge vorhanden, aber die Verteilung und die Qualität entsprechen oft nicht den Bedürfnissen. Ökonomisches Wachstum der weniger entwickelten Regionen erhöht zwangsläufig den Wasserverbrauch und erzeugt so noch mehr Druck auf die Ressource Wasser.

Der Motor der heutigen, immer stärker werdenden transkontinentalen Migration ist der natürliche Wunsch der Menschen, zu Wohlstand (lies Ressourcen) zu kommen. Auf die Dauer können aber die Menschenmassen nicht zu den Ressourcen gebracht werden. Die Ressourcen oder deren Produkte müssen in Zukunft vermehrt über Kontinente zu den Verbrauchern transportiert werden. Wie wir das Problem dieser Ressourcenverteilung lösen werden, ist eine zusätzliche sehr wichtige Herausforderung.

Die biologischen Ressourcen sind ein Spezialfall in der hier geführten Diskussion. Organismen haben sich über Jahrmilliarden durch Evolution und Selektion entwickelt. Diese beiden Prozesse haben eine riesengrosse Vielfalt von genetischen Kombinationen geschaffen. Die Biologie hat sich optimiert und ein Netzwerk an Systemen für Adaptationen, Evolution und effiziente Selektion entwickelt. Das Ausrotten von Arten – und damit die Verringerung der biologischen Diversität – kann zu unwiderruflichen Schäden dieses Netzwerkes führen, potentielle biologische Ressourcen vernichten und seriöse, ökologische Ungleichgewichte zur Folge haben.

Beitrag der EAWAG

Die Umsetzung der drei Forderungen in die Praxis ist eine Herausforderung an uns alle und verlangt Dynamik, Innovativität und intensives Zusammenwirken von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Die EAWAG

nimmt diese Herausforderung an und will ihren Beitrag zur Umsetzung leisten. Für die erste Forderung will die EAWAG helfen, Konzepte zu entwickeln für eine ökologische Ökonomie. Bei der zweiten Forderung sieht die EAWAG ihre Beiträge vor allem in der Ausbildung und Information. Bei der dritten Forderung möchten wir einen Beitrag leisten zum grundlegenden

Verständnis der natürlichen Prozesse und ökologischen Zusammenhänge. Aufgrund dieses Verständnisses möchten wir Anstösse geben für die Entwicklung neuer Konzepte, gesellschaftlicher Strukturen und Technologien. Wie wir uns unseren Beitrag in ausgewählten Bereichen konkret vorstellen, lesen Sie in den folgenden Beiträgen dieser EAWAG news.

Folgende Literatur gibt weitere Hintergrundinformationen zu den Fragen, welche in diesem Beitrag angesprochen werden:

- Alper, J. 1993. Protecting the environment with the power of the market. *Science* 260:1884–1885.
- Brown, L.R. et al. 1990. State of the World. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. Unwin Paperbacks, London.
- Göran, O. 1992. The population concern. *Ambio* 21:6–9.
- Gore, A. 1992. Earth in the Balance. Earthscan Publications Ltd., London.
- Lincoln, D.W. 1993. Reproductive health, population growth, economic development and environmental change. In *Environmental Change and Human Health*. Wiley, Chichester (Ciba Foundation Symposium 175) p. 197–214.
- Malone, T.F. 1993. Ferment and change: science, technology and society. *Environ. Sci. Technol.* 27:1026–1031.
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling, and W.G. Sombroek. 1990. World map of status of human-induced soil degradation: An explanatory note. Rev. 2d. ed. Wageningen, The Netherlands, International Soil Reference and Information Center.
- The World Bank. 1992. World Development Report 1992: Development and the Environment, Oxford University Press, Oxford.
- World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future, (The Brundtland Report). Oxford University Press, Oxford.

Claudia Pahl-Wostl und Carlo C. Jaeger

Risikokommunikation:

Das Beispiel von Klimaveränderungen

Im Umgang mit komplexen Umweltsystemen sind bedeutende Unsicherheiten unvermeidbar. Das erfordert neue Formen des Dialogs zwischen Wissenschaft und Gesellschaft.

Die Klimakonvention von Rio 1992 verlangt eine Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgase auf einem Niveau, das keine Gefahr für das Klimasystem der Erde darstellt. Dieses Ziel soll nicht erst dann erreicht werden, wenn die Menschheit schon grosse Klimakatastrophen verursacht hat, sondern in einem zeitlichen Rahmen, der die natürliche Anpassung der Ökosysteme an eine anthropogene Klimaveränderung nicht überfordert. Auf dieser Grundlage soll die Kontinuität der Nahrungsmittelproduktion ebenso wie eine umweltgerechte wirtschaftliche Weiterentwicklung gewährleistet werden. Damit wird ein Grenzwert für Emissionen von Treib-

hausgasen postuliert, ohne dass dieser quantitativ bestimmt würde. Die Wissenschaft ist aufgefordert, die dynamische Kausalkette: Gesellschaft → Treibhausgase → Klima → Ökosysteme → Gesellschaft mitsamt den relevanten Rückkoppelungen modellmässig zu erfassen und zu quantifizieren.

Ist das Verhalten vernetzter Systeme vorhersagbar?

Was dies bei Prognosen hinsichtlich dem Unsicherheitsausmass konkret bedeutet, ist in Fig. 1 schematisch dargestellt.

Ausgangslage ist ein Szenario mit einer vorgegebenen Menge an Treib-

hausgasen. Ziel ist eine Prognose der Auswirkungen der zu erwartenden Effekte auf Klima, Ökosysteme und Gesellschaft. Die vereinfachte Darstellung soll veranschaulichen, dass die Unsicherheiten innerhalb einer Kausalkette sich bei jedem Schritt multiplizieren und daher zunehmen. Zusätz-

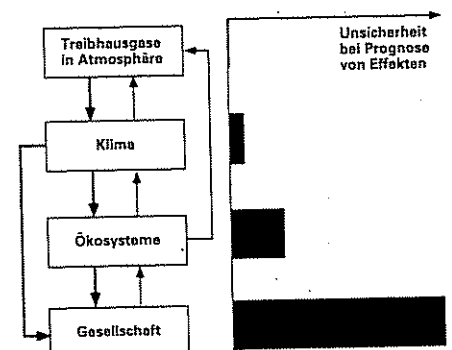


Fig. 1 Kaskade von Unsicherheiten innerhalb einer Kausalkette

lich ist angedeutet, dass die Unsicherheiten in den Systemen selbst in der Sequenz Klima → Ökosysteme → Gesellschaft zunehmen, wenn wir von mehr physikalisch bestimmten Systemen, zu biologischen Systemen, und schliesslich zu menschlichen Systemen gehen. Es soll betont werden, dass diese Darstellung noch nicht die angedeuteten Rückkopplungen zwischen den Systemen berücksichtigt. Die Schlussfolgerung drängt sich auf, dass bei der Synthese von einzelnen Aussagen, die unter speziellen Voraussetzungen erhalten wurden, eine gesicherte Gesamtaussage im vernetzten (*nicht-linearen*) System zunehmend problematisch wird. Die dabei auftretenden Unsicherheiten sind verschiedener Natur. Abgesehen von dem unzureichenden Kenntnisstand, der sich mit intensiver Forschung verbessern lässt, gibt die dynamische Natur der zu untersuchenden Systeme Anlass zu Fragen und zum Nachdenken.

Vernetzung garantiert nicht für Kontinuität

Als Beitrag zur Forschung in diesem Bereich werden in der Abteilung Umweltphysik der EAWAG Umweltarchive (Seesedimente und Eisbohrkerne aus Grönland) untersucht. Dabei zeigt sich, dass Veränderungen sowohl des Klimas als auch von Ökosystemen nicht kontinuierlich, sondern eher sprunghaft erfolgen. Eine anschauliche Darstellung dieses Sachverhalts ergibt der abrupte Wechsel vom oxidischen zum anoxischen Zustand von Seesedimenten. Dies wird in Fig. 2 an dem Farbumschlag von hell nach schwarz in einem Sedimentkern des Baldeggensees deutlich.

Solche sprunghaften Änderungen sind ein generelles Charakteristikum nicht-linearer Systeme. Sie setzen dem Prognosehorizont für die jeweiligen Systeme oft enge Grenzen. Ein lehrreiches Beispiel ist die Schwierigkeit, das Wetter im Alpenraum nur schon über einige Tage vorherzusagen. Das Aufkommen und Zusammenbrechen von Föhnlagen stellt dabei eine sprunghafte Änderung dar, deren Möglichkeit den Prognosehorizont drastisch einschränkt. Derartige Einschränkungen von Prognosehorizonten angesichts

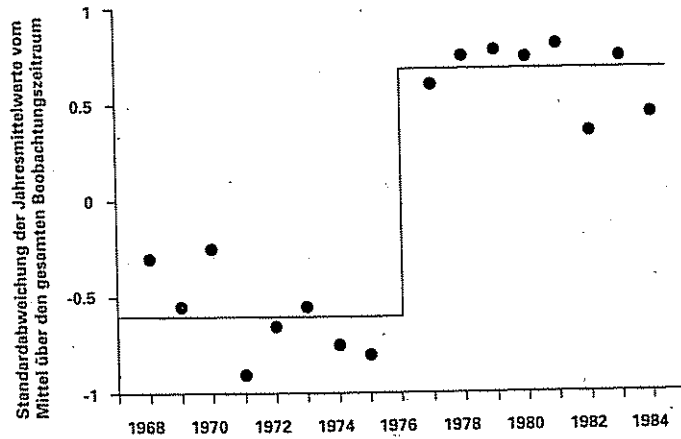


Fig. 3 Sprunghafte Klimaveränderung in der Region des Nordpazifik, die durch einen Sammelindex 40 klimarelevanter Umweltvariablen nachgewiesen wurde (nach Kerr, 1992, Science, 255: 1508).

drohender Klimaveränderungen werden im Projekt «CLEAR – Climate and Environment in Alpine Regions» des Schweizerischen Schwerpunktprogramms Umwelt untersucht. Die EAWAG ist an diesem Projekt massgeblich beteiligt.

Mehr Wissen – Mehr Entscheide?

Für die Abschätzung von Prognosehorizonten für die zukünftige Klimaentwicklung sind Forschungsergebnisse bedenkenswert, wonach wichtige Zustände der Weltmeere ebenfalls

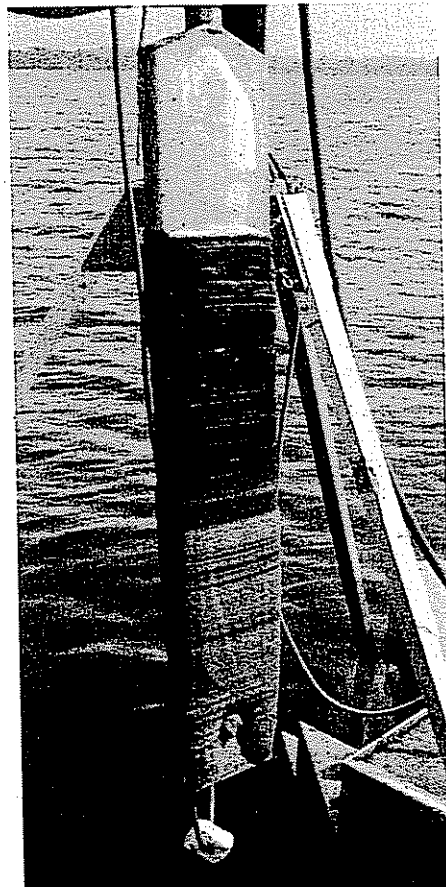


Fig. 2 Sedimentkern aus dem Baldeggensee

sprunghafte Änderungen erfahren (Fig. 3). Die Weltmeere spielen für die längerfristige Klimaentwicklung, und besonders für deren regionale Differenzierung, eine äusserst wichtige Rolle. Ein besseres Verständnis dieser Rolle wird umfassende Messprogramme ebenso wie anspruchsvolle mathematische Modellierungen erfordern. Dabei ist jedoch damit zu rechnen, dass der Erkenntnisfortschritt nicht so sehr zu einer Ausweitung des Prognosehorizonts führen wird, als vielmehr – ähnlich wie in der Meteorologie – zu einem besseren Verständnis dafür, weshalb der Prognosehorizont relativ eng begrenzt bleibt.

Das heisst keineswegs, dass wissenschaftliche Ergebnisse zur Klimaproblematik keine politisch wichtigen Aussagen ermöglichen. Untersuchungen an Eisbohrkernen aus Grönland zeigen, dass das globale Klima der letzten Jahrtausende im Vergleich zu früheren Klimaepochen relativ stabil ist. Die Zunahme von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre könnte das ändern. Dabei wäre mit einer Häufung von nicht weiter prognostizierbaren Extremereignissen zu rechnen. Es lässt sich also mit Sicherheit eine globale Bedrohung feststellen, während konkrete regionale Entwicklungen weitgehend offen sind.

Solche Ergebnisse passen schlecht zum traditionellen Bild der Wissenschaft als Vermittlerin von gesichertem Wissen als Grundlage umweltpolitischer Massnahmen. Es ist fraglich, ob in dieser Situation die Kommunikationsstruktur zwischen Wissenschaft und Politik, die sich in anderen Bereichen eingespielt hat, unverändert übernommen werden kann. Diese

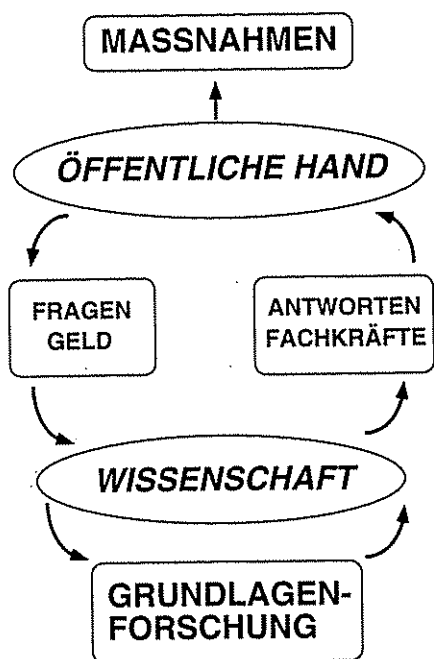


Fig. 4
Herkömmliche Kommunikation Wissenschaft-Politik

Struktur lässt sich mit dem Schema gemäss Fig. 4 umreissen.

Die Rolle der Wissenschaft, z.B. in der Klimapolitik

Die öffentliche Hand finanziert die Wissenschaft und unterbreitet ihr Fragen. Eine solche Frage lautet etwa: Bis zu welchen Konzentrationen ist ein bestimmter Stoff für Menschen und andere Lebewesen unschädlich? Die Wissenschaft erarbeitet Antworten auf diese Fragen und bildet Fachkräfte aus, die in der Lage sind, diese Antworten zu verstehen und in der Praxis umzusetzen. Dabei greift die Wissenschaft auf das Wissenskapital zurück, das im Rahmen der Grundlagenforschung laufend gepflegt und ausgeweitet wird. Aufgrund der wissenschaftlichen Antworten, welche die politischen Behörden auf ihre Fragen erhalten, beschliessen sie dann Massnahmen zur Lösung der auftauchenden Probleme. Ein wichtiges Beispiel stellen die Grenzwerte dar, die weite Bereiche der Umweltpolitik prägen.

Im Bereich der Klimapolitik scheint ein solches Vorgehen wenig erfolgversprechend. Die Vorstellung, dass aufgrund wissenschaftlicher Ergebnisse festgelegt werden kann, wie sich die globalen Emissionen von Treibhausgasen in Zukunft maximal entwickeln dürfen, scheint wenig plausibel. Und

noch viel weniger ist abzusehen, wie sich aufgrund wissenschaftlicher Ergebnisse nationale Grenzwerte für derartige Emissionen festlegen liessen.

Die Wissenschaft wird sich in Zukunft vermehrt einem offenen gesellschaftlichen Dialog über innovative Antworten auf die Gefahren anthropogener Klimaveränderungen stellen müssen. Die Ziele der Klimakonvention können nicht erreicht werden, indem in einem *top-down* Prozess globale Emissionsgrenzwerte aufgrund wissenschaftlicher Ergebnisse quantitativ festgelegt werden, um dann in nationalen Politiken umgesetzt zu werden. Es braucht einen ergänzenden *bottom-up* Prozess, in dem technologische und soziale Innovationen zur Reduktion von Treibhausgasen entwickelt und auf ihre Tragfähigkeit geprüft werden. Dabei wird die Wissenschaft nicht nur Antworten auf Fragen erarbeiten, die von der Umweltpolitik gestellt werden. Vielmehr wird sie auch vermehrt Antworten, die in der Umweltpolitik auf aktuelle Probleme gegeben werden, kritisch prüfen und allenfalls Fragen aufwerfen, die nicht wissenschaftlich, sondern nur politisch zu beantworten sind.

Impulse müssen aus den Regionen kommen

Neuere Beiträge zur Innovationsforschung betonen, dass Innovationen in der heutigen Welt oft in regionalen Milieus entstehen, in denen Know-How zu bestimmten Problemfeldern so gesammelt wird, dass daraus kollektive Lernprozesse entstehen. Wichtige Beispiele stellen das kalifornische Silicon-Valley, verschiedene Regionen in Mittelitalien und Süddeutschland, aber auch die Uhrenregion im Schweizer Jura dar. Eine bewusste Orientierung an derartigen regionalen Milieus dürfte ein wichtiges Merkmal einer innovationsorientierten Umweltpolitik darstellen (Fig. 5).

In einem solchen Rahmen lassen sich Ansätze einer nachhaltigen Regionalentwicklung (NRE) entwickeln. Im Hinblick auf Klimaveränderungen muss eine NRE drei Kriterien erfüllen:

- Sie strebt durchschnittliche Pro-Kopf-Emissionen von Treibhausgas-



Fig. 5
Innovationsorientierte Kommunikation von Wissenschaft und Politik

sen an, die auf die Menschheit verallgemeinert werden können;

- Sie ist unter den heutigen wirtschaftlichen Verhältnissen konkurrenzfähig;
- Sie hat einen internationalen Beispieleffekt, durch den sie zu einer dauerhaften Reduktion der global-wirksamen Treibhausgasemissionen beiträgt.

Im Forschungsbereich Humanökologie der EAWAG werden Möglichkeiten einer NRE am Beispiel neuer Verkehrsmittel (Stichwort Swatchmobil) und einer weniger mobilitätsintensiven Siedlungsweise (Stichwort dezentrale Arbeitsplätze) untersucht. Dabei wird der möglichen Rolle von CO₂- und/oder Energiesteuern besondere Beachtung geschenkt. Durch die Eröffnung eines Dialogs zwischen Wissenschaft und relevanten gesellschaftlichen Gruppen kann im Bewusstsein der bestehenden Unsicherheiten eine regionale Auseinandersetzung mit globalen Umweltproblemen ermöglicht und die Fähigkeit zu innovativem Handeln gefördert werden.

Herbert Güttinger

Wieviel Stress ertragen Lebewesen und Ökosysteme?

Ökotoxikologische Betrachtungen

Gestresste Lebewelt

Mit Stress wird in der Krankheitslehre eine Belastung eines Organismus durch äussere und innere Reize bezeichnet, die das normale Mass übersteigt. Der Begriff umfasst auch die Gesamtheit aller dabei auftretenden, körpereigenen, unspezifischen Anpassungs- und Schutzreaktionen. Beispiele für Reize sind: Hitze, Kälte, Überanstrengung, Sauerstoffmangel, Nahrungsmangel, Infektionen, operative Eingriffe und seelische Erregungen. Es werden drei Stadien des Stresses unterschieden: 1. die sofort auftretende kurzfristige Alarmphase, 2. die darauffolgende Abwehrphase und 3. eine Reparationsphase mit auftretendem Adaptationssyndrom. Diese Definition von Stress lässt sich sinngemäss auch für den Teil der Biosphäre verwenden, der nicht der Gattung *homo* angehört.

Im Umweltschutz interessieren vor allem die durch menschliche Aktivitäten verursachten äusseren Reize; sie müssen reduziert werden, wenn sie das «normale Mass» überschreiten. Doch was ist normal? Nehmen wir den einfachsten und endgültigsten Effekt: den Tod eines Individuums und das Aussterben einer Art. Im Laufe der Evolution haben sich in 3–4 Milliarden Jahren über 5 Millionen verschiedene Mikroorganismen-, Pflanzen- und Tierarten entwickelt. Während dieses sehr langsamen Prozesses sind auch ohne das Zutun des Menschen viele Arten wieder ausgestorben, sei es durch Katastrophen oder infolge sukzessiver Verdrängung durch erfolgreichere Spezies. Die Evolution ist ein dynamischer Vorgang, bei dem Wachstum, Vermehrung und Veränderung der Lebewesen durch äussere Kräfte begrenzt wird. Dabei findet eine Selektion der Arten statt. Den natürlichen

limitierenden Faktoren hat der Mensch in den letzten Jahrzehnten Störfaktoren beigelegt, die an Mächtigkeit, Vielfalt und Variabilität die Möglichkeiten der Arten zur Anpassung bei weitem übersteigen (Fig. 1): die Effekte sind denn auch unübersehbar – nach Schätzungen von Fachleuten werden heute global mehrere 1000 Arten pro Jahr unwiderruflich ausgerottet [1]. Betroffen sind vor allem höher entwickelte Organismen mit langer Generationszeit und komplexem Genom. Einfachere Organismen haben bessere Chancen, sich anpassen zu können.

Mindestens kurzfristig hat das Ökosystem Erde diese unglaubliche, irreversible Vernichtung von genetischer Information verkraftet. Ob es der Mensch als «höheres» Lebewesen je-

doch erträgt, plötzlich alleine mit Insekten, Algen, Bakterien und Pilzen auf der Erde zu sitzen, wissen wir nicht. Immer mehr Menschen haben aber angesichts des negativen Trends ein ungutes Gefühl und immer mehr Menschen unterstützen den Schutz der Arten als eine dringliche nationale und globale Aufgabe. Sie erachten den Stress der Artenausrottung als nicht mehr tolerierbar. Um ihn zu vermindern, müssen die Lebensansprüche der bedrohten Arten besser erfüllt und dürfen keine weiteren Arten bedroht werden. Lebensräume, Nahrung, chemische, physikalische sowie biologische Randbedingungen müssen ihren Anforderungen genügen. Die Grenzen der ökologischen Nischen der Arten dürfen durch menschliche Aktivitäten nicht übertreten werden.

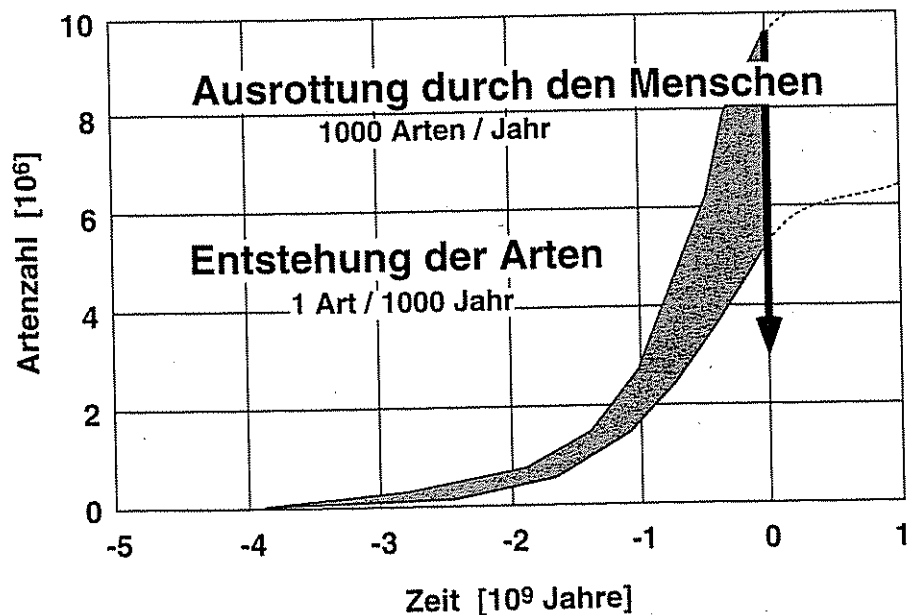


Fig. 1 Entstehung und Ausrottung der Arten. Die Entwicklung der Arten basiert auf den Angaben zum ersten Auftreten von Leben in der Erdgeschichte und auf Schätzungen der heute lebenden Artenzahl [1]. Die menschlich bedingte Ausrottungsrate ist als Trend eingezeichnet und nicht in ihrem quantitativen Ausmass. Die angegebenen Raten sind nur als Grössenordnungen zu betrachten. Die Geschwindigkeit der heutigen Ausrottung von Arten übertrifft diejenigen auch der grössten Katastrophen der Evolutionsgeschichte um Grössenordnungen.

Ökologische Nischen und limitierende Faktoren

Betrachten wir eine ökologische Nische einmal etwas genauer: Nach der Definition von Hutchinson [2] ist sie ein multidimensionaler Raum aller Faktoren, welche eine Art beeinflussen (Fig. 2). Für jeden einzelnen Faktor gibt es einen Bereich, in dem die Art existieren kann. Die Grenzen sind

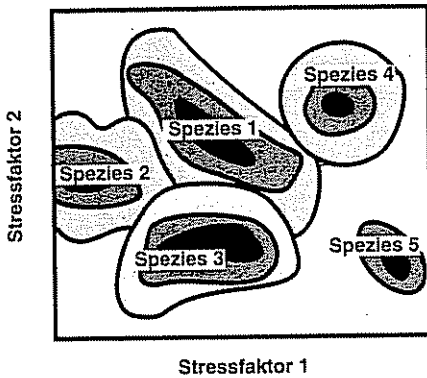


Fig. 2
Ökologische Nischen
Darstellung der ökologischen Nischen einiger Arten bezüglich zweier Einflussfaktoren. Die zweidimensionale Darstellung stellt eine starke Vereinfachung der effektiv vieldimensionalen Nische einer Art dar.

sanfte Übergänge zwischen optimalen Lebensbedingungen über Gesundheitsschädigungen bis hin zu akuter Lethalität. In einer eindimensionalen Darstellung kann eine ökologische Nische auch als Dosis-Wirkungsbeziehung betrachtet werden (Fig. 3). Für Nährstoffe und essentielle Spurenelemente gilt, dass sie bei niedrigen Konzentrationen/Dosen schädigend wirken, ein Optimum in mittleren Konzentrationen erreichen und mit höheren Konzentrationen giftig werden. Toxische Substanzen wirken auf Einzelorganismen definitionsgemäss nur in negativem Sinn. Sie limitieren Wachstum und Vermehrung.

Höhere Stufen der biologischen Organisation, wie Populationen, ganze Biozönosen oder Ökosysteme dürfen aber nicht nur als Summe der einzelnen Arten behandelt werden, sondern verlangen eine gesamtheitliche Betrachtungsweise. Zum Beispiel muss berücksichtigt werden, dass es innerhalb von Population einer Art unterschiedlich sensitive Lebensstadien und genetische Varietäten gibt. Damit eine

Population weiterbestehen kann, genügt das Überleben der einzelnen Individuen nicht, es muss auch eine Fortpflanzung stattfinden können. Die grössten Differenzen in Stressreaktionen sind aber auf Unterschiede der Sensitivität der verschiedenen Arten zurückzuführen. Stress bedeutet auf der Ebene der Biozönose daher praktisch immer eine Verschiebung der quantitativen Beziehungen und Wechselwirkungen der Arten [3]. Solche quantitativen Änderungen können im Laufe der Zeit auch zu qualitativen Veränderungen des Artengefüges führen. Auf der noch höheren Stufe der Ökosysteme beeinflussen auch deren biogeochemischer und physikalischer Zustand das Schicksal, die Verfügbarkeit und Wirkung eines Giftes. Die primäre Wirkung von Stress auf der Ebene der Moleküle pflanzt sich also via Individuum und Population auf die Struktur und Funktion ganzer Biozönosen und Ökosysteme fort. Schon kleinste Störungen können die Richtung der Evolution verändern und für gewisse Arten langfristig limitierend wirken. Solche Zusammenhänge sind

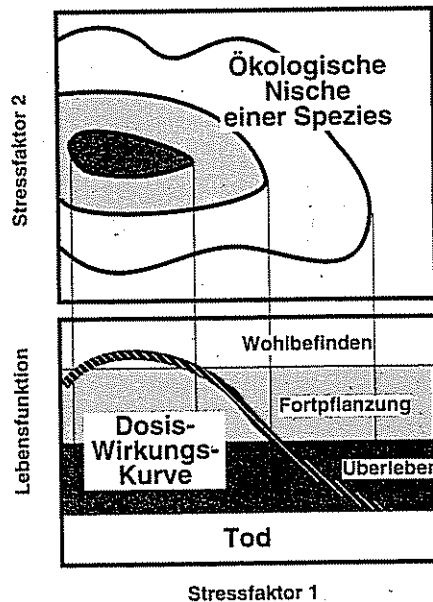


Fig. 3
Beziehung der ökologischen Nische zur Dosis-Wirkungskurve
Die Projektion der zweidimensionalen Darstellung einer Nische zeigt die Beziehung eines einzelnen Faktors zu einer Lebensfunktion (Wachstum, Vermehrung, Veränderung). Der Übergang von schädlich zu unschädlich verläuft fließend. Grenzwerte müssen willkürlich im Hinblick auf einen bestimmten Effekt (meist Tod des Individuums) festgelegt werden.

allerdings heute noch kaum quantifizierbar und die Abschätzung von Toleranzgrenzen muss pragmatisch erfolgen. Dabei ist das kurzfristige Überleben der Population der empfindlichsten Art einer Biozönose eine Minimalforderung. Wenigstens sie optimal zu erfüllen, ist eine wichtige Aufgabe der Ökotoxikologie.

Ein Mass für Giftigkeit

Vor ihrer Inverkehrsetzung müssen also Chemikalien (und andere Stressfaktoren) auf ihre potentiellen Schädigung und ihre Umweltverträglichkeit überprüft werden. Experimentell untersuchen lässt sich natürlich nur, ob ein Stress eine bestimmte Wirkung hat, bzw., ob diese Wirkung unter bestimmten Bedingungen nicht beobachtet werden kann. Das heisst, es kann nie mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein negativer Effekt irgendwann und irgendwo auftritt. Generelle Unschädlichkeit, bzw. Umweltverträglichkeit lässt sich also ebensowenig beweisen wie generelle Unschuld. Giftigkeit (oder Toxizität) ist eine nicht quantifizierbare Grösse.

Statt angesichts dieser Tatsachen in Resignation zu verfallen und alles zu verbieten oder einfach abzuwarten bis etwas passiert, haben die meisten Länder pragmatische Lösungen eingeführt. Mittels standardisierter ökotoxikologischer Tests [4] müssen neue Stoffe auf ihre toxischen Eigenschaften hin geprüft werden. Stellvertretend für alle anderen werden dabei ausgewählte Labororganismen auf ihre Empfindlichkeit gegenüber den Testsubstanzen geprüft. Bei aquatischen Systemen sind dies vor allem bestimmte Fische, Daphnien und Algen. Untersuchungen über das Abbauverhalten und die Bioakkumulation ergänzen das Bild. Ermittelt werden die Konzentrationen, bei der ein definierter Effekt nach einer vorbestimmten Zeit auftritt. Die gebräuchlichsten Werte sind: die Konzentration, bei der innerhalb von 48h 50% die Testorganismen sterben (LC₅₀[48h], *lethal concentration*, Fig. 4), die Konzentration, bei der nach 96h ein 50%-iger Effekt zu beobachten ist (EC₅₀[96h], *effect concentration*), die Konzentration, bei der ein bestimmter Effekt gerade nicht mehr

beobachtet wird (NOEC, *no observed effect concentration*). Toxizitätsdaten dieser Art liegen immer auf der unsicheren Seite. Sie geben Grössenordnungen an, bei denen gewisse (meist unerwünschte) Effekte auftreten. Grenzwerte und Qualitätsziele müssen also tiefer angesetzt werden, um die Effekte mit Sicherheit ausschliessen zu können. Wie gross Sicherheitsfaktoren angesetzt werden müssen, hängt von den politisch festzulegenden Anforderungen und den zur Verfügung stehenden Testdaten ab [5].

Aufgabe der Wissenschaft ist es, die Aussagekraft von «Toxizitäts»-Kennzahlen zu erhöhen und eine sinnvolle Interpretation bezüglich der politischen Ziele zu unterstützen. Dabei soll sowohl die Irrtumswahrscheinlichkeit bei der Einstufung von Stoffen wie auch die Zahl der benötigten Versuchstiere vermindert werden. Wichtige Faktoren der Unsicherheit sind: unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Spezies und verschiedener Lebensstadien, unsichere Extrapolation von Kurz- auf Langzeiteffekte, ungenügende Kenntnisse über synergistische Effekte von Stoffgemischen, mangelhaftes Wissen über indirekte Wirkungen, fehlende Kenntnisse über die Beziehung von Effekten auf einzelne Individuen zu denen auf höheren Stufen der biologischen Hierarchie, generell schlechte Übertragbarkeit

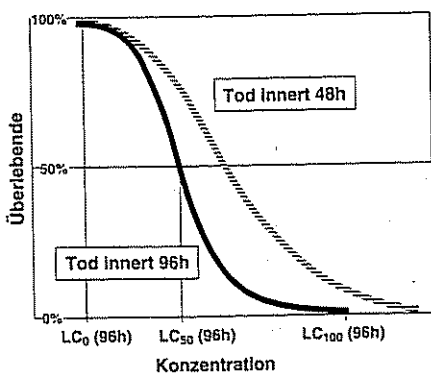


Fig. 4
Typische Toxizitätskurve
Eingezeichnet sind einige charakteristische Kennzahlen der Ökotoxikologie: LC₅₀(48h) (lethal concentration = Konzentration, bei der innerhalb von 48h 50% der Testorganismen sterben). Idealziel des ökotoxikologischen Testens wäre es, einen Wert zu finden, unterhalb dem kein negativer Effekt mehr feststellbar ist. Ein solcher Wert kann aber experimentell nicht direkt ermittelt werden.

von Labor- auf Feldsituationen. Kriterien zur politischen Festlegung ökotoxikologischer Anforderungen sind im Bereich der Ökologie zu suchen. Sie betreffen von der Gesundheit eines Einzelorganismus bis hin zur Integrität ganzer Ökosysteme alle Stufen der Organisation.

Wieviel Stress ertragen Lebewesen und Ökosysteme also?

Man ist versucht zu antworten: Keinen! Diese Antwort ist falsch und unbefriedigend! Es gilt, was Philip Theophrastus Bombastus v. Hohenheim, genannt Paracelsus, im 16. Jahrhundert lehrte: *Wenn ihr jedes Gift recht auslegen wollt, was ist das nit Gift ist? Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis macht's, dass ein Ding kein Gift sei.* Es gilt aber auch, was Darwin in seiner Evolutionslehre feststellte: Die Entwicklung der Arten ist ein Wechselspiel von Wachstum, Vermehrung, Veränderung und Selektion durch äussere Kräfte – ein andauernder *struggle for life* verbunden mit *survival of the fittest*. Stress für die Schwachen! Ein gewisses Mass an Stress scheint also nicht nur erträglich, sondern sogar notwendig zu sein. Er forciert die laufende Anpassung an eine sich verändernde Umwelt.

Eine zweite Antwortmöglichkeit ist: Soviel, wie ohne menschliche Präsenz und Aktivität vorhanden wäre [6]. Auch unbefriedigend! Einerseits ist es nur beschränkt möglich, die Situation auf der Erde ohne den Menschen zu rekonstruieren und andererseits würde die konsequente Realisierung Menschen von der Erde ausschliessen. Trotzdem liefert dieser Ansatz aber wertvolle Anhaltspunkte bezüglich der Tolerierbarkeit von Belastungen.

Die Frage lässt sich nicht generell und nicht absolut beantworten! Sie muss für jeden Faktor einzeln und bewusst gestellt und aus gesamtheitlicher Sicht beantwortet werden. Nutzen und Schaden einer Substanz sind von Fall zu Fall gegeneinander abzuwägen. Die Randbedingungen des Einsatzes eines Stoffes sind festzulegen und das Schicksal und die Wirkung ist zu kontrollieren. Irreversibilität und Ausmass eines Schadens im Verhältnis zu realen Grössenordnungen

(Menge, räumliche und zeitliche Ausdehnung, Geschwindigkeit) sind zu berücksichtigen.

Die Vielschichtigkeit der Problematik kann am Beispiel des Alkohols veranschaulicht werden. In kleinen Mengen genossen kann er sich bei erwachsenen Menschen positiv auf Psyche und Kreislauf auswirken. Langfristiger Genuss hingegen führt meist zu Gesundheitsschäden. In hohen Konzentrationen wirkt er, äusserlich angewendet, desinfizierend. Der Konsum grosser Dosen kann akut tödlich sein. Es wäre also nicht sinnvoll, Alkohol generell zu verbieten, ist aber sicher angebracht, besonders kritische Bereiche, wie Alkohol für Kinder oder Fahrzeuglenker, zu regeln.

Die Grenze der Erträglichkeit von (chemischem) Stress liegt zwischen der natürlichen Hintergrundkonzentration und den experimentell ermittel-

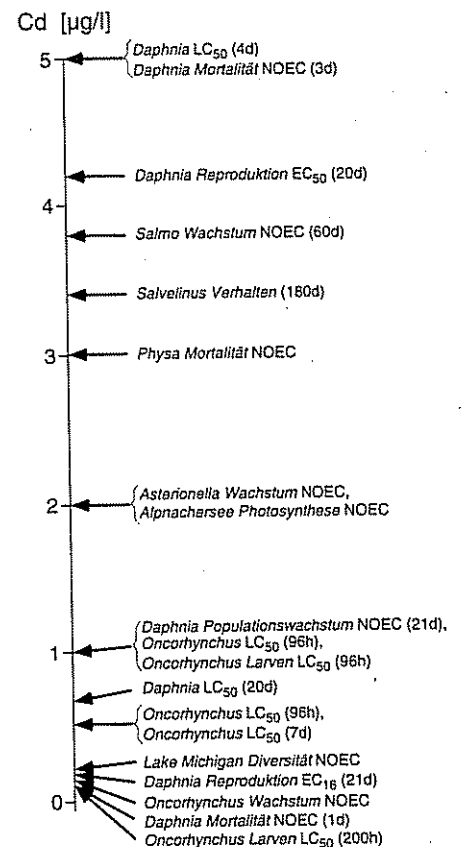


Fig. 5
Graphische Darstellung der Ökotoxizität von Cadmium [10].

Für viele Stoffe wurde eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt, die je nach Versuchsanordnung zu verschiedenen Resultaten führten. Bei der Bewertung eines Stoffes muss eine Auswahl aus der Fülle von Toxizitätsdaten getroffen werden, die bezüglich des betrachteten Problems relevant ist.

ten Toxizitätswerten [5]. Der Bereich ist sehr eng und nur für wenige Stressfaktoren genügend gut bekannt. Er muss durch experimentelle Untersuchungen zur Wirkung und durch verbesserte Möglichkeiten zur Rekonstruktion natürlicher Zustände für jeden einzelnen Faktor eingegrenzt werden [7]. Als Anhaltspunkt für die Beurteilung von Stress kann die natürliche Variationsbreite sowohl der Belastung wie auch der Effekte dienen. Irreversible Schädigungen wie die Ausrottung von Arten oder Klimaveränderungen sollten vermieden oder möglichst hinausgezögert werden. Dazu müssen aber nicht nur die Ansprüche der Arten (ihre ökologischen Nischen und limitierenden Faktoren) besser bekannt sein und erfüllt werden, sondern auch Möglichkeiten für alternative Handlungsweisen aufgezeigt werden.

Die besondere Herausforderung liegt darin, zukünftige Probleme noch vor ihrer Entstehung zu erkennen und zu verhindern. Die Entwicklung darf nicht mehr länger dem Zufall überlassen werden, wir müssen unseren

Planeten managen [8, 9]. Das bedeutet, dass wir für jede menschliche Aktivität bewusst entscheiden müssen, ob deren Konsequenzen erträglich sind oder nicht. Bei der Beurteilung muss das vorhandene Wissen gesamtheitlich betrachtet und einbezogen werden. Die in Fig. 5 dargestellten Toxizitätsdaten illustrieren die Vielfalt der untersuchten Effekte und der Effektkonzentrationen. Statt nach einem einheitlichen Mass für «Toxizität» zu suchen, müssen kausale Beziehungen zwischen Ursachen und Wirkungen quantifiziert werden. Ihre Interpretation soll gezielt erfolgen (siehe auch [5]) und auch Produktionsdaten, Expositionsanalysen und Charakteristiken der empfangenden Ökosysteme mitberücksichtigen.

Dank

Ich möchte an dieser Stelle Renata Behra und Alexander J.B. Zehnder für ihre hilfreichen Kommentare sowie Heidi Bolliger für das Zeichnen der Figuren danken.

- [1] Wilson E.O. (1989): Threats to Biodiversity. Scientific American 261, 3 (Special Issue Managing Planet Earth):60–66.
- [2] Arthur W. (1987): The Niche in Competition and Evolution. John Wiley & Sons Chichester. pp. 175.
- [3] Lampert W. (1992): Der Stand der aquatischen Ökotoxikologie – aus der Sicht eines Ökologen. In DFG (1992) Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen. Rundgespräche und Kolloquien. VCH Weinheim: 146–161.
- [4] OECD Guidelines for Testing of Chemicals. Paris.
- [5] Behra R., Genoni G., Sigg L. (1993a): Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern. EAWAG news (dieses Heft).
- [6] Baccini P. (1993): Erste Schritte zu einer nachhaltigen regionalen Ressourcenbewirtschaftung. EAWAG news (dieses Heft)
- [7] Guetinger H. (1993): Combined interpretation of biological and chemical field data to evaluate ecotoxicity of chemical substances. The Science of the Total Environment, 134. in press.
- [8] Cairns J. Jr. and Todd V. Crawford ed. (1991): Integrated Environmental Management. Lewis Publishers. pp. 214.
- [9] Clark W.C. (1989): Managing Planet Earth. Scientific American 261, 3 (Special Issue Managing Planet Earth):18–26.
- [10] Behra R., Genoni G., Sigg L. (1993b): Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern. Schriftenreihe BUWAL (im Druck)

Tom Gonser

Die Bedeutung der physiographischen Faktoren für Fließgewässerökosysteme

Flusslandschaften waren früher die mit Abstand artenreichsten Gebiete in unseren Breiten. Sie bildeten ein umfangreiches Netzwerk von Korridoren, entlang derer der grösste Teil unserer einheimischen Fauna und Flora einen regen Austausch vollzog und von denen aus gestörte Gebiete schnell wiederbesiedelt werden konnten. Es waren die Zonen des höchsten natürlichen Stofftransportes und Stoffumsatzes. Zudem weisen natürliche Fließgewässerökosysteme samt Umland im Vergleich zu terrestrischen Systemen eine ausgesprochene Stabilität gegenüber Klimaänderungen auf.

Strukturierung der Fließgewässer und ihre Wechselwirkungen mit der Umgebung

Entscheidend für die ökologischen Funktionen von Fließgewässern und für ihre Systemeigenschaften als Ganzes ist ihre Strukturierung. Sie werden

geprägt durch Faktoren wie Gefälle, Breite, Korngrössenzusammensetzung und Aktivität der Sedimente, Abflussregime, Beschaffenheit der Ufer samt ihrer Vegetation, Kontakt zum Grundwasser und die Möglichkeit, selbst eine strukturierende Aktivität zu entfalten. Auf diese Faktoren hat der

Mensch durch strukturelle Manipulationen stark eingewirkt und damit drastische Änderungen der Gewässer-eigenschaften hervorgerufen. Es stellen sich die Fragen: Welche ökologischen Funktionen haben wir durch die Strukturveränderungen verloren? Welche gestalterischen Massnahmen sollen und müssen wir ergreifen, damit die natürlichen Gewässerfunktionen ausreichend gewährleistet sind?

Die Ausbildung der strukturellen Eigenschaften wird bestimmt durch die geologisch/geomorphologische Entwicklung des gesamten Einzugsgebiets, an der das Fließgewässer aktiv beteiligt ist. Die «Einbettung» des Fließgewässers in die Landschaft und

seine Wechselwirkungen mit der Umgebung sind von so überragender Bedeutung, dass Fließgewässer mehr als alle anderen Ökosysteme durch ihre «Ränder», d.h. ihre Übergänge zu anderen Bereichen, charakterisiert werden. Übergänge zu anderen Ökosystemen, bzw. Habitaten, werden allgemein als Ökotope bezeichnet.

Prinzipiell sind drei verschiedene Situationen zu unterscheiden [1]:

- 1) Das Wasser fließt unmittelbar auf einer impermeablen Schicht.
- 2) Liegen darüber (z.B. dem Muttergestein) Geröllablagerungen, so ist unter der Flusssohle ein Lückensystem ausgebildet, das als hyporheisches Interstitial (gr. «unter dem Fließenden») bezeichnet wird. Sind die Sedimentablagerungen nur von geringem Umfang, wird das hyporheische Interstitial nur von Flusswasser durchströmt.

- 3) In breiteren Tälern und in Ebenen liegt das Fließgewässer über gewöhnlich umfangreichen Sedimentablagerungen (sog. Alluvion), in denen ein Grundwasserkörper ausgebildet ist. Unter diesen Bedingungen stellt die hyporheische Zone eine Mischungs-, bzw. Übergangszone, zwischen dem Fließgewässer und einer Grundwasserzone dar.

Im Längsverlauf (Fig. 1a) besteht in der Regel ein Wechsel zwischen diesen Situationen [2]. In montanen¹ Quellgebieten sind alle drei Bedingungen häufig auf relativ kurzen Strecken hintereinander ausgebildet. Die kleinen Alluvionen sind mit groben Schottern aufgefüllte Becken, die gut durchströmt werden und einen wesentlich Teil ihres Wassers unterirdisch durch Zustrom aus groben Schotterabhängen erhalten. Durchläuft das Fließgewässer enge Täler und Schluchten, wo das Muttergestein ansteht, ist kein Grundwasserkörper ausgebildet. Weiter flussabwärts in Regionen mit niedrigerem Gefälle bilden sich grosse Alluvione mit feinkörnigerem Sediment aus. Typisch für alluviale Fließstrecken ist die laterale Verzahnung mit dem Umland (Fig. 1c) und Wechselwirkungen mit dem darunterliegenden Grundwasserkörper. Im Längsver-

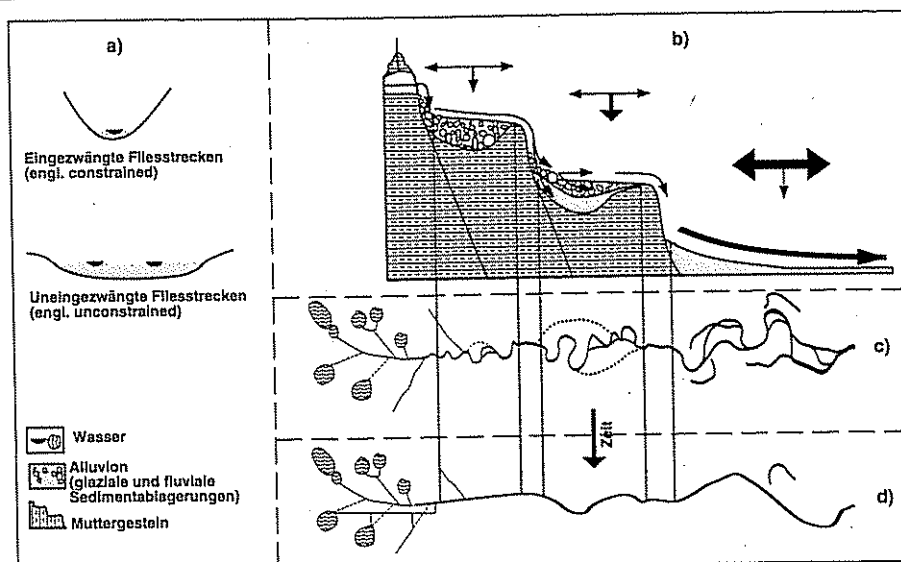


Fig. 1 Schematische Längs- und Querschnittsdarstellung eines Fließgewässers. a) «eingezwängtes» und «nicht eingezwängtes» Querprofil, b) Längsprofil, c) natürlicher Oberflächenverlauf des Fließgewässers, d) Oberflächenverlauf des Fließgewässers in Folge von Verbauung (angepasst von [2]).

lauf lassen sich anhand der Querprofile (Fig. 1a) zwei deutlich verschiedene Fließstrecken unterscheiden:

- 1) «Eingezwängte» (engl. constrained) Fließstrecken, bei denen das Fließgewässer durch ein enges Tal fließt.
- 2) «Uneingezwängte» (engl. unconstrained) Fließstrecken, bei denen das Fließgewässer auf einem Alluvion fließt und die Möglichkeit der lateralen Ausdehnung sowie der Kontakt zu einem Grundwasserkörper besteht.

Fließgewässer gestern und heute

Die alluvialen, uneingezwängten Fließstrecken sind in ihrem ursprünglichen Zustand von grösster biologischer Bedeutung. Hier wird eine umfangreiche aquatische und terrestrische Habitatvielfalt ausgebildet und es findet eine hohe Stoffretention und hoher Stoffumsatz statt [2]. Es sind die «biological hot spots». In den eingezwängten Fließstrecken dagegen, findet nur eine relativ geringe Wechselwirkung mit dem Umland, geringe Stoffretention und niedrige Stoffumsätze statt.

In der Schweiz sind durch die Verbauungen der Fließgewässer die alluvialen Fließstrecken mit wenigen Ausnahmen vollständig in eingezwängte Fließstrecken umgewandelt worden (Fig. 1d). Unterhalb von

1500 m ü. M. gibt es nur noch einzelne biologisch wirksame uneingezwängte Fließstrecken, wie z.B. der Rhein bei Rhäzüns und Mastrils, die Rhone oberhalb von Sierre und die Maggia zwischen Bignasco und Avegno. Diese Fließstrecken sind jedoch alle stark dem Einfluss der hydroelektrischen Nutzung unterworfen. Angesichts dieser drastischen und gründlichen strukturellen und hydrologischen Beeinträchtigungen der Fließgewässer stellen sich die Fragen: Welche Faktoren halten eine hohe Biodiversität aufrecht? Welche Faktoren wirken auf die Energie- und Nährstoffhaushalte?

Zeitlich-räumliche Strukturvielfalt

Wegen der Bedeutung der Übergänge zu anderen Bereichen können Fließgewässer konzeptuell als vierdimensionale Systeme dargestellt werden [3]. Sie zeigen Veränderungen im Längsverlauf, laterale Übergänge zum terrestrischen Bereich (aquatisch-terrestrisches Ökoton) und vertikale Übergänge zum Grundwasserkörper (Oberflächen-Grundwasser-Ökoton). Diese drei räumlichen Komponenten unterliegen unterschiedlichen zeitlichen Variabilitäten.

Das aquatisch-terrestrische Ökoton wird vor allem durch das Abflussregime geprägt. Die Lebensgemeinschaften im Bereich zwischen Hoch-

¹ montan für: hügelige und bergige Landschaften.

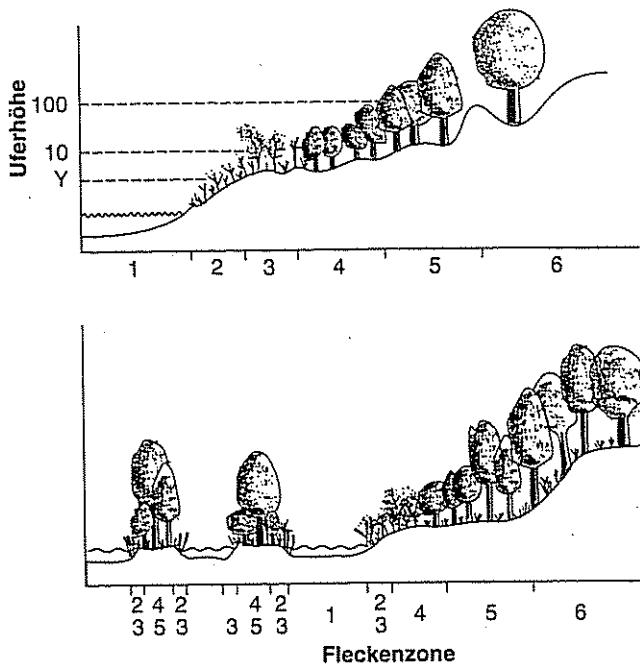


Fig. 3
 Die Varialzone als dynamisches Ökoton «Flecken» (engl. patches) unterschiedlicher Sukzessionsstadien und ihre Grenzen ändern sich kontinuierlich in Zeit und Raum. Gestrichelte Linien zeigen ökologisch wichtige Wasserstände an: y = jährliche, 10 = 10-jährige, 100 = 100-jährige Ereignisse. Numerierte Fleckenzonen zeigen deutlich unterscheidbare biotische Zusammensetzungen an (Fig. aus [4])

und Niedrigwasserständen (sog. Varialzone) werden in ihrem Sukzessionsverlauf ständig gestört und verjüngt. Dadurch entsteht ein kompliziertes Mosaik aus Flecken (engl. patches) unterschiedlicher Sukzessionsstadien und Artenzusammensetzung [4] (Fig. 3). Es liegt eine enge Verzahnung zwischen aquatischen und terrestrischen Arealen vor, wodurch sich beide in der Ausbildung ihrer Strukturen und Funktionen mit schwankendem Wasserstand gegenseitig stark beeinflussen und eine sehr

heterogen gestaltete Landschaft erzeugt wird (Titelbild, Fig. 2 u. 3). Hervorzuheben ist die Tatsache, dass diese strukturelle Vielfalt nicht dauerhaft, bzw. «fixiert» ist, sondern eine sehr hohe zeitliche Dynamik aufweist. Diejenigen Bereiche, die häufig überflutet werden, also einer hohen Störungsfrequenz ausgesetzt sind, werden von Pioniergesellschaften besiedelt. Dabei handelt es sich in erster Linie um Tiere und Pflanzen mit hohen Reproduktionsraten, die gestörte Areale schnell wiederbesiedeln können



Fig. 2
 Alluviales Fließgewässer mit Schwemmebene und typischem Mosaik von «Flecken» unterschiedlicher Sukzessionsstadien und Habitaten auf Grund aquatisch-terrestrischer Wechselwirkungen.

und an Extremstandorten überlebensfähig sind. Im Gegensatz dazu werden Bereiche, die nur selten überflutet werden, also einer geringeren Störungsfrequenz unterliegen, vor allem von konkurrenzstarken (kompetitiven) Arten dominiert. In einer alluvialen Varialzone liegt eine Mischung von Arealen unterschiedlichster Störungsfrequenz vor. Für die Aufrechterhaltung der Biodiversität ist demnach nicht nur die strukturelle Heterogenität an sich wichtig, sondern auch die Dynamik dieser Heterogenität (Fig. 4). Die Abflussdynamik wirkt auf analoge Weise im Fließgewässer selbst auf die Ausbildung sehr komplexer Mosaik aus Flecken unterschiedlichster Makrozoobenthosgesellschaften [5].

Die Vegetation in der Varialzone kann die Strömung hemmen, und hat daher auch auf den Stoffhaushalt Auswirkungen: driftendes organisches Material wird aufgefangen. Die Wurzeln der Pflanzen stabilisieren die Böden gegen Erosion. Baumstämme, Äste und Wurzeln, die im Fluss liegen, bilden ein Netzwerk, das driftendes Material aus dem Wasser herausfiltriert, und sie sind für die Ausbildung von tiefen Kolken verantwortlich, die bei Niedrigwasser als Sedimentationsareale und als Unterstände für Fische wirken. Die Retention in periodisch überfluteten Bereichen ist wesentlich höher als in permanent überfluteten Zonen [6]. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die mit der Abflussdynamik zusammenhängende laterale Wechselwirkung alluvialer Fließgewässer mit dem Umland für ihr hohes Retentionsvermögen und für die hohe Artenvielfalt von Flusslandschaften verantwortlich ist.

Die Bedeutung des Kontakts zum Grundwasser

Untergrund und Lebewesen

Aus der Beobachtung, dass der Wasserstand von Brunnen in Alluvionen intermontaner Schwemmebenen häufig mit dem Wasserstand des zugehörigen Fließgewässers korreliert, wird auf eine hydrologische Verbindung zwischen dem Fließgewässer und dem Grundwasserkörper des Alluvions geschlossen. Diese Verbindung ist jedoch nicht als kontinuierlicher,

gleichmässiger Übergang, sondern als ein Netzwerk von «Adern» und als Mosaik aus Linsen unterschiedlicher Korngrössenzusammensetzung aufzufassen. Die durch die sortierende Wirkung der Strömung erzeugten grobkörnigen Flussläufe werden im Laufe der Genese des Alluvions aufgebrochen und/oder zugeschüttet. Hierdurch werden im Untergrund Zonen ganz unterschiedlicher Porosität erzeugt. Werden die alten, grobkörnigen, gut durchströmten Flussbette (sog. Paleokanäle) gezielt angebohrt, können aus ihnen nicht selten Fließwasserorganismen herausgepumpt werden und bis zu einigen Kilometern vom Flusslauf entfernt angetroffen werden [7]. In solchen Paleokanälen und weniger porösen Zonen sind ausserdem echte Grundwasserorganismen zu finden. Es liegt hier eine «Mischbiozönose» vor aus Organismen, die von der Stromsohle einwandern (epigäisch) und echten Grundwasserorganismen, die in die hyporheische Zone vordringen (hypogäisch). Diese lebt vom Biofilm der Steine, wo Mikroorganismen gelöstes organisches Material umsetzen, und sie kann in besonders porösen Alluvionen von höherer Biomasse sein als die des Benthals. Somit ist das Fließgewässer nicht nur hydrologisch mit dem Grundwasserkörper verbunden, sondern auch biologisch. Das hyporheische Interstitial alluvialer Fließgewässer ist daher ein kompliziertes Oberflächen-Grundwasser-Ökoton, dessen Ausdehnung vor allem von der Porosität der Sedimentablagerungen

abhängig ist, die Stoff- und Energiezufuhr von den hydrogeologischen Wechselwirkungen determiniert werden und die Zusammensetzung der Biozönosen auf der aktiven Einwanderungsfähigkeit der einzelnen Taxa beruht.

In Strömungsrichtung

Longitudinal weisen Fließgewässer einerseits starke strukturelle Veränderungen und Diskontinuitäten auf in Abhängigkeit von den geologischen Formationen, die sie durchfliessen. Andererseits sind innerhalb einer Fließstrecke, bzw. eines Alluvions, charakteristische longitudinale Verbindungen mit dem Umland und dem Untergrund vorhanden. Entlang einer natürlichen Fließstrecke ist normalerweise eine Furt-Kolk-Sequenz (engl. riffle-pool-sequence) anzutreffen. Die Stromsohle und das hyporheische Interstitial werden insbesondere in den Furten vom Flusswasser durchströmt (Fig. 5). Fließgewässer, die in alluvialen Ablagerungen mäandrieren, weisen häufig typische Infiltrationszonen am oberen Bereich des Mäanders und Exfiltrationszonen im Auslauf des Mäanders auf. Durch diese Bedingungen werden Partikelfrachten zurückgehalten und das Flusswasser passiert das von einem mikrobiellen Biofilm überzogene Lückensystem, wobei gelöste Nährstoffe aufgenommen und umgesetzt werden können.

Bei Eintritt des Fließgewässers in ein alluviales Becken findet vorwiegend eine Infiltration ins Grundwasser statt, während an dessen unter-

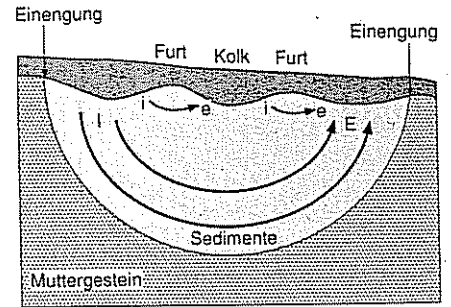


Fig. 5 Schematische Darstellung von gross- und kleinräumigen In- und Exfiltrationszonen in der Furt-Kolk-Sequenz einer intermontanen Schwemmebene. I, i = Infiltrationszonen E, e = Exfiltrationszonen.

ren Ende, wo sich das Tal wieder verengt, vorwiegend Exfiltration aus dem Grundwasser zu beobachten ist (Fig. 5). Durch die Oberflächen-Grundwasser-Wechselwirkungen tritt Wasser mit einem anderen Temperaturregime und anderer Nährstoffzusammensetzung an die Oberfläche. Besonders im Sommer können hierdurch auf einem Alluvion die unterschiedlichsten Wassertemperaturen gemessen werden.

Wahrung vielfältiger aquatischer Lebensräume: Fazit

Das Zusammenspiel in der Ausbildung und Dynamik dieser Ökotope führt dazu, dass Variationszonen sehr vielfältige aquatische Lebensräume aufweisen, nämlich in Form von Alt- und Nebenarmen, aufstossender Quellen, Quellbäche, grundwasserbeeinflusster Senken und einer reich strukturierten Flussmorphologie (Fig. 6). Um diesen

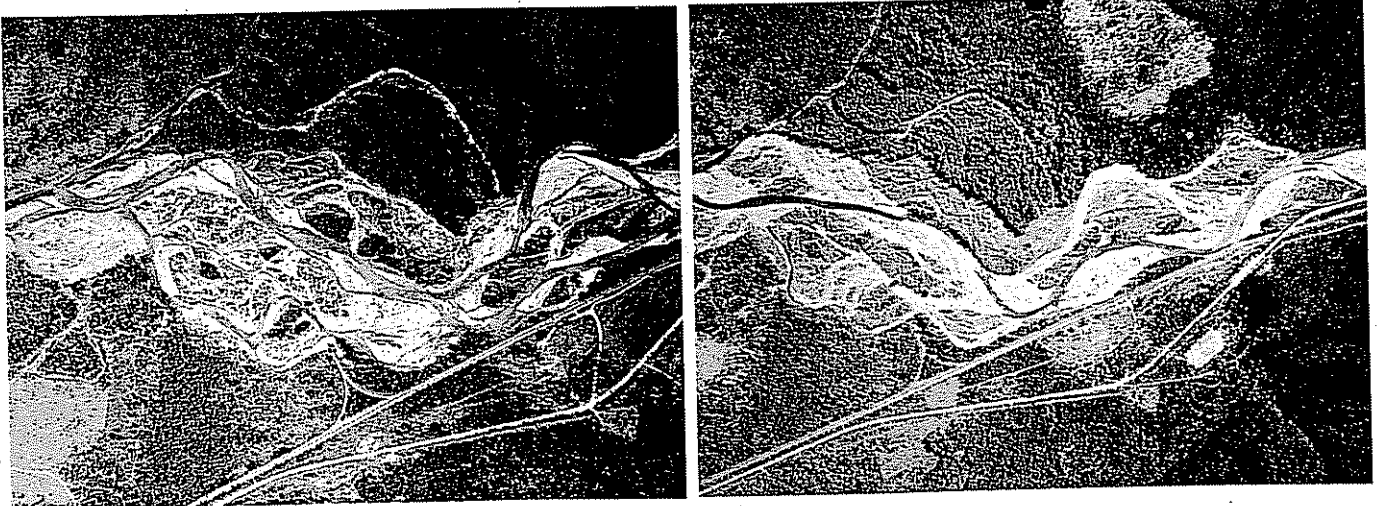


Fig. 4 Zwei Luftaufnahmen einer alluvialen Schwemmebene im Abstand von 11 Jahren.

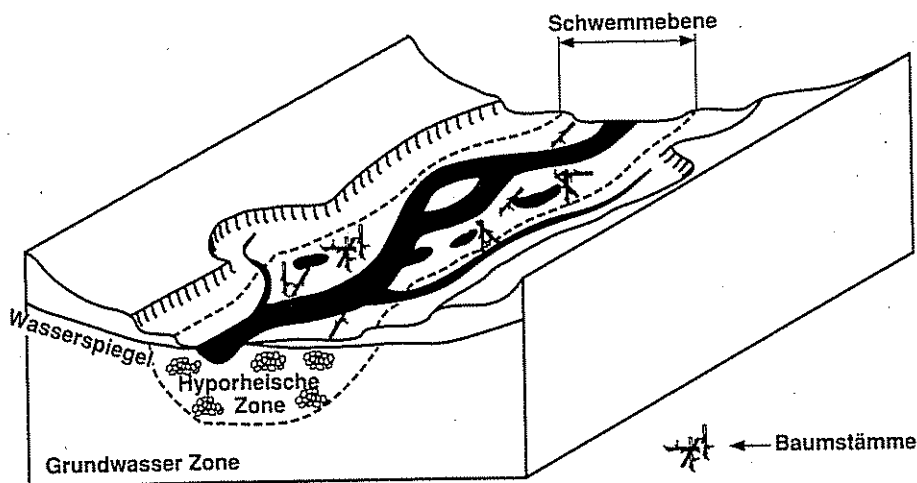


Fig. 6 Untereinheiten des fluvialen Hydrosystems kühler Fließgewässersegmente, die in hügeligen bis bergigen Landschaften liegen (Rhithronsegmente, Forellen- und Äschenregionen)

Erkenntnissen über die aquatisch-terrestrischen Wechselwirkungen und die der Ausdehnung und funktionalen Bedeutung des Oberflächen-Grundwasser-Ökotonen Rechnung zu tragen, muss unser Verständnis der Fließgewässer im wahrsten Sinne des Wortes enorm erweitert werden.

Durch die Verbauungen der alluvialen Fließstrecken sind deren Rückhaltevermögen für Wasser, Fest- und Nährstoffe, ihr interner Stoffumsatz, ihre Ausbildung einer aquatischen Habitatvielfalt, ihre Wechselwirkung mit dem Grundwasserkörper, die Ausbildung von Feucht- und Trockenstandorten für Pflanzen und die natürlicherweise vorliegende intensive gegenseitige Beeinflussung von aquatischen und terrestrischen Bereichen auf ein Minimum reduziert worden. Insbesondere die Bedeutung der Aktivität des Fließgewässers für die Ausbildung von semiaquatischen und terrestrischen Habitaten ist bei der Verbauung der Fließgewässer nicht berücksichtigt worden, was durch das weitgehende Fehlen biologisch wirksamer Variationszonen zum Ausdruck kommt.

Ein ökologisch begründetes Management der Fließgewässer muss folgendes anstreben:

- Schaffung eines hohen Grades der Verbundenheit, bzw. Verzahnung mit den terrestrischen und Grundwasser-Teilsystemen.
- Gewährleistung der Ausbildung einer biologisch wirksamen Variationszone.

- Zeitlich-räumliche Strukturheterogenität als Grundlage für sowohl hohe Biodiversität als auch hohe Erholungskapazität nach Störungsereignissen. Möglichst eine Eigenstrukturierung durch das Fließgewässer selber gewährleisten.
- Gewährleistung und Schutz von Alt- und Nebenarmen, aufstossender Quellen und grundwasserbeeinflussten Senken.
- Gewährleistung eines signifikanten (natürlichen) Eintrags von grossen Holzteilen als strukturierende Elemente.
- Schutz der Sedimentpermeabilität.

Das Management kann jedoch nicht auf die Fließgewässer allein gerichtet sein, sondern muss die Wirkung von Strukturveränderungen im Einzugsgebiet mitberücksichtigen [8], [9]. Die künftige Entwicklung der Fließgewässer muss daraufhin ausgerichtet werden, die Ökotope als Funktionsglieder, in die das Fließgewässer natürlicherweise eingebettet ist, wiederherzustellen [10] und damit die Wechselwirkungen mit Umland und dem Grundwasserkörper zu gewährleisten. Hierbei muss insbesondere die strukturierende Funktion der Abflussdynamik berücksichtigt werden. Insgesamt müssen wir sowohl in der Forschung als auch im Management weg von einer Sicht des Fließgewässers als eine weitgehend vom Umland und vom Grundwasser getrennte Abflussröhre und hin zu einer Betrachtungsweise des Fließgewässers als ein mit den angrenzenden Bereichen eng verbundener und intensiv verwobener Be-

standteil eines hydrologischen Kontinuums [11].

Danksagung

Besonders danken möchte ich Dr. Jack A. Stanford für die anregenden Diskussionen, die zur Entwicklung dieses Vortrags beigetragen haben.

- [1] White, D.S. (1993), Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 61-69
- [2] Stanford, J.A. & J.V. Ward (1993), An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 48-60
- [3] Ward, J.V. (1989), The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 8: 2-8
- [4] Naiman, R.J., H. Decamps, J. Pastor & C.A. Johnston (1988), The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 7(4): 289-306
- [5] Pringle, C.M., R.J. Naiman, G. Bretschko, J.R. Karr, M.W. Oswood, J.R. Webster, R.L. Welcomme & M.J. Winterbourn (1988), Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 7(4): 503-524
- [6] Bretschko, G. & H. Moser (1993), Transport and retention of matter in riparian ecotones. *Hydrobiologia* 251: 95-101
- [7] Stanford, J.A. & J.V. Ward (1988), The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature* 335: 64-66
- [8] Turner, M. G. (1989), Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 20: 171-197
- [9] Holland, M.M. (1993), Management of land/inland water ecotones: needs for regional approaches to achieve sustainable ecological systems. *Hydrobiologia* 251: 331-340, 1993
- [10] Holland, M.M., M.P. Risser & R.J. Naiman (eds.) (1991), *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments.* Chapman & Hall, New York
- [11] Bencala, K. (1993), A Perspective on stream-catchment connections. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 44-47

Peter Baccini

Erste Schritte zu einer nachhaltigen regionalen Ressourcenwirtschaft

Was heisst «nachhaltig regional wirtschaften» ?

Die Begriffe «Regionale Ressourcenwirtschaft» und «Nachhaltige Entwicklung» sind Worthülsen, die mehr vage Zielvorstellungen als präzise Handlungsanweisungen beinhalten. Die erst wenige Jahrzehnte alte Umweltpolitik bietet dagegen reiches Erfahrungsmaterial, welches für die ersten Schritte in Richtung der unter diesen Begriffen verstandenen Zielsetzungen genutzt werden kann.

Die Worthülse «Nachhaltige Entwicklung» wurde anlässlich der Konferenz von Rio de Janeiro 1992 (UNCED) dazu verwendet, folgenden Inhalt zu verpacken. Es handelt sich um

- einen globalen Plan, Entwicklungs- und Umweltfragen gleichermaßen und miteinander anzugehen (Agenda 21),
- einen dringenden Auftrag an die erste Welt – die zur Zeit 80% der wichtigsten nicht erneuerbaren Ressourcen benötigt – ihren eigenen Ressourcenbedarf zu reduzieren,
- ein Hilfsprogramm für die Entwicklungsländer, ihre Ressourcen nachhaltig zu nutzen.

Für die Ressourcenwirtschaft souveräner Gesellschaften, also auf regionaler

Ebene, bedeutet der Übergang zur Nachhaltigkeit die Einführung von «Verhaltensregeln», welche wie folgt zusammengefasst werden können (nach Donella und Dennis Meadows, Herman Daly, u.a.):

- Nichterneuerbare Ressourcen durch erneuerbare ersetzen
- Gleiche oder mehr Aktivitäten mit weniger Energie und weniger Materie durchführen
- den Zeithorizont auf mehrere Generationen erweitern
- die Reaktionszeiten verkürzen
- Qualitätsstandards für die Umwelt hoch halten
- nächste Schritte tun, ohne die sicheren Lösungen zu kennen, jedoch kleine Schritte tun, damit sich Fehler nicht gravierend für das Ganze auswirken

Nachhaltige regionale Ressourcenbewirtschaftung heisst, in der eigenen Gesellschaft, im eigenen «Haus» zu beginnen, diese Verhaltensregeln einzuführen.

Was leisten Raumplanung und Umweltschutz?

Zuerst stellt sich aber die Frage, ob nicht schon die bestehenden Regelungen zur Ressourcennutzung ausrei-

chen. In der schweizerischen Gesetzgebung sind zum Beispiel Raumplanungsgesetz und Umweltschutzgesetz mögliche Instrumente, um das Nachhaltigkeitsprinzip anzuwenden.

Die Zielsetzung des Raumplanungsgesetzes lautet (RPG 1979, Art.1):

«Bund, Kantone und Gemeinden sorgen dafür, dass der Boden haushälterisch genutzt wird. Sie stimmen ihre raumwirksamen Tätigkeiten aufeinander ab und verwirklichen eine auf die erwünschte Entwicklung des Landes ausgerichtete Ordnung der Besiedlung. Sie achten dabei auf die natürlichen Gegebenheiten, sowie auf die Bedürfnisse von Bevölkerung und Wirtschaft.»

Anders formuliert: Voraussetzung für die haushälterische Nutzung des Bodens ist das Wissen um die «erwünschte Entwicklung des Landes», ein gesellschaftspolitischer Prozess mit besonderer Berücksichtigung von «Natur», «Bevölkerung» und «Wirtschaft». Betrachtet man die Ausgangslage für die schweizerische Raumplanung zu Beginn der neunziger Jahre (Quellen: Bundesamt für Statistik, Raumplanungsbericht des Bundesrates 1987, [1,2]), so stellt man fest (Tab. 1):

1) Die Waldfläche ist bis heute tabu.

Das Forstgesetz von 1905 gibt dem Wald eine Sonderstellung und erlaubt nur eine Ausmarchung zwischen landwirtschaftlichem Boden und Siedlungsfläche.

2) Falls der Grad der Eigenversorgung mit Nahrungsmitteln erhöht oder nur gehalten werden soll (heute bei rund 65%), so muss

- der Flächenertrag weiter gesteigert (oder/und)
- das Ernährungsverhalten («Bedürfnisse») geändert (oder/und)
- Waldfläche in landwirtschaftliche Fläche umgewandelt werden

3) Das Wachstum des Siedlungsgebietes bedeutete bisher eben auch:

Bereich	Fläche (km ²)	Anteil (%)
Massgebliche Gesamtfläche (ohne Gebirge, Alpen, Wald, Gewässer)	13'500	100
Landwirtschaft	10'000	74
Siedlungsgebiet	2'400	18
Bauzonenreserve	1'100	8

Tab.1
Die «räumliche Ausgangslage» in der Schweiz (Beginn der 90er Jahre)

Wachstumsraten der Siedlungsflächen (in m² pro Person und Jahr):
1950–1990: 30 km²/Jahr → 5
1990–2030: 20 km²/Jahr → 3

Typische Nutzung im Mittelland (rechts)

	Anteil Fläche	Anteil «Naturnah»
Landwirtschaft	55%	4–5%
Wald	30%	1–2%
Siedlung	13%	
«Unproduktiv»	2%	

- wachsender Ressourcenbedarf pro Person (Ausnahmen: Heizenergie- und Wasserverbrauch wegen Effizienzsteigerung),
 - wachsende Emissionen (pro Volumen),
 - wachsende Reinigungstechnik («Umweltechnik»).
- 4) *Wohnen und Transportieren* sind die Schlüsselaktivitäten:
- Sie benötigen die meiste Energie (>80%).
 - Sie enthalten das grösste Ressourcenpotential.

Im *Umweltschutzgesetz* sagt der Zweckartikel (USG 1983, Art.1):

- 1 Dieses Gesetz soll Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre *Lebensgemeinschaften* und *Lebensräume* gegen schädliche oder lästige Einwirkungen *schützen* und die *Fruchtbarkeit des Bodens erhalten*.
- 2 Im Sinne der *Vorsorge* sind Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, *frühzeitig zu begrenzen*.

Das USG enthält bereits Nachhaltigkeitsprinzipien, einmal die Forderung nach Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, die aus naturwissenschaftlicher Sicht sehr schwierig zu definieren ist, und das Vorsorgeprinzip, welches bis heute nicht oder nur sehr zaghaft eingesetzt wird. Aus regionalen Stoffwechseluntersuchungen (Brunner et al. 1991) wissen wir, dass bis heute mit den aus dem USG abgeleiteten Verordnungen weder Boden noch Grundwasser nachhaltig geschützt werden kann. Zusammengefasst können folgende Schlüsse formuliert werden:

- 1) *Raumplanung und Umweltschutz* konnten und können die *anthropogenen Ressourcenflüsse*
 - wohl «kanalisieren»,
 - in ihrer Wachstumsrate verkleinern,
 - auf hohem Niveau stabilisieren,
 - aber nicht reduzieren.

Sie sind *nicht ausreichend*, um die *angestrebte Ressourceneffizienz einzuleiten*.

- 2) Die bisher praktizierte *Strategie der Grenzwert-Setzung* in den Verordnungen zum USG erlauben de facto ein *langsames «Auffüllen» von Böden, Oberflächen- und Grundwässern («Späterkennung»)*. Sie *widerspricht dem Vorsorgeprinzip*.

3) Es gibt einfachere und schwierigere Teilbereiche, um das Prinzip der «Nachhaltigkeit» anzuwenden.

Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft: ein relativ einfaches Beispiel

Die Hauptaufgabe in der Abfallwirtschaft ist die Herstellung umweltverträglicher Produkte (Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft 1986). Eine Schlüsselqualität ist die Endlagerqualität, welche vereinfacht folgendes bedeutet:

- *nachhaltig deponieren*, also keine Altlasten für kommende Generationen
- die Behandlung gemischter Abfälle wird teurer, weil sie technisch aufwendig ist. Dadurch wird die Wiederverwertung separat gesammelter Güter konkurrenzfähig

Was ist zu deponieren? In der Schweiz sind dies pro Person und Jahr:

- *Schlacken aus thermischen Anlagen: 100–150 kg*
 - *Rückstände der Rauchgasreinigung: 10–15 kg*
 - *Anorganische Fraktionen aus sortierten Bauabfällen: 200–700 kg*
- Deren Quantität und Qualität sind noch schwierig einzustufen (bezüglich Verwendung als Rohstoff oder als anthropogenes Sediment)

Die Grössenordnung der finanziellen Aufwendungen (ca. 200 sfr./t deponiertes Material, inklusive sämtliche Vorbehandlungen) beläuft sich auf rund 10^2 sfr./Einwohner und Jahr. Dieser Betrag liegt bei rund 1% des mittleren persönlich verfügbaren Einkommens pro Person und Jahr.

Die Erfahrungen bis heute zeigen, dass LRV und TVA 91 schrittweise Verbesserungen bewirken. Hingegen

sind Rückfälle festzustellen, weil entgegen den Nachhaltigkeitsprinzipien neue dogmatische Forderungen an die Abfallwirtschaft gerichtet werden. Sie soll auch noch sozialverträglich und wirtschaftsverträglich sein.

Wesentlich anspruchsvoller ist der Bereich Landwirtschaft

Im 7. Landwirtschaftsbericht des Bundesrates wird mit dem Begriff der «*multifunktionalen Landwirtschaft*» ein Ziel vorgegeben, welches sowohl

- Nahrungsmittelversorgung mit konkurrenzfähigen Preisen als auch
- umweltschonende Produktion und
- Landschaftsgestaltung verlangen.

Schon aus Tab.1 wird deutlich, dass praktisch nur noch Kulturlandschaften zu betreuen und auch umzugestalten sind. Stärkere «gemeinwirtschaftliche Leistungen» sind gefragt, die auch von der Gesellschaft bezahlt werden sollen, d.h. landwirtschaftlicher Boden würde schrittweise wieder zur Allmend, zu «unserem Boden». Nachhaltig Boden nutzen bedeutet auch, dass die *ökologische Qualität der Pedosphäre* hoch gehalten wird (USG 1983). Eine wichtige Voraussetzung dazu ist eine *ausgeglichene Stoffbilanz*, die heute noch nicht gegeben ist, obwohl sie das neu revidierte Gewässerschutzgesetz bezüglich der Nährstoffe verlangt.

Aus Tab. 2 wird deutlich, dass eine breitere stoffliche und zeitliche Betrachtung notwendig ist. Der Vollzug wäre «wirtschaftlich tragbar», weil die Finanzierung einer solchen Landwirtschaft etwa 10^3 sfr. pro Person und Jahr betragen würde, also die Grössenordnung, welche schon über Subventionen eingesetzt wird.

	P	Cu	Zn	Pb
Speicherung	20	0.2–0.8	1–4	0.1–0.5
Beiträge in%				
• Düngung	90	50	45	10
• Klärschlamm	8	25	15	45
• Deposition	2	25	40	45
Dauer bis feststellbare Zunahme (Jahre)	20–60	10–50	20–90	20–60

Tab. 2
Quantifizierung von stofflichen Veränderungen in landwirtschaftlichen Böden (nach Baccini und von Steiger 1993)
Jährliche Nettozunahmen in kg/ha-Jahr

Die jährlichen relativen *Stickstoffverluste* an Wasser und Luft betragen 50–80%. Dies entspricht etwa *9 kg Stickstoff pro Person und Jahr* und ist in der *gleichen Grössenordnung* wie der Flux von *Stickstoffoxiden* aus den Verbrennungsprozessen.

Das dritte und anspruchsvollste Beispiel betrifft die Bauwirtschaft

Das *Bauwerk* bestimmt durch seine Struktur des Wohnens und Arbeitens und der Art des Transportierens von Personen und Gütern sowie die Art und Menge des *Energiehaushaltes* eine Volkswirtschaft. Es widerspiegelt und enthält *wesentliche kulturelle Werte* der Gesellschaft. Im Bauwerk Schweiz (Gebäude und Verkehrswege) steckt ein Wiederbeschaffungswert von rund *300'000 sfr./Person*. Die *mittlere Lebensdauer* des Bauwerkes liegt zwischen *50–100 Jahren*. Zu Beginn der 90er Jahre liegt das jährliche Bauvolumen bei rund *50 Milliarden sfr.*

Die *jährliche Veränderung* des Bauwerkes in Richtung effizienterer Ressourcen und Energienutzung liegt also

bei rund *2–3% des gesamten Bauvolumens*. Wenn wir in 30–50 Jahren den Energieverbrauch um ein Mehrfaches verringern wollen, so müssen wir *heute beginnen*, das Bauwerk Schweiz umzugestalten. Dieser Aufwand liegt bei *10⁴ sfr. pro Person und Jahr*, oder in der gleichen Grössenordnung wie das *Pro-Kopf-Einkommen*. Eine solche Aufgabe wurde überhaupt noch nicht ernsthaft diskutiert, geschweige denn in Angriff genommen. Es fehlt auch, im Vergleich zu den vorhergehenden Beispielen, eine langfristige Zielsetzung für das Bauwerk. An diesem Beispiel zeigt sich erst, was «Nachhaltigkeit» bedeuten kann, wenn es sowohl die ökonomischen Hauptbereiche unserer Gesellschaft, als auch unsere (materialisierten) Grundwerte trifft, die teilweise in der Verfassung festgeschrieben sind.

Schlussfolgerungen

Die ersten Erfahrungen mit Raumplanung und Umweltschutz zeigen, dass wir in wirtschaftlich weniger wichtigen Bereichen, die aber regionalökologisch von grosser Bedeutung sind wie

z.B. die *Landwirtschaft* bezüglich *Pedosphäre* (und Teile der *Biosphäre*) und die *Abfallwirtschaft* bezüglich *Ressourceneffizienz* und «*Altlastenvermeidung*», in den neunziger Jahren bereits *erfolgreich operieren könnten*, ohne *grundsätzlich neue Rahmenbedingungen zu schaffen*. Voraussetzung dafür ist der feste politische Wille, *Vorsorge- und Verursacherprinzip konsequent durchzusetzen*.

Will man die *Schlüsselgrösse Energie* und die *Massengüter* (Wasser, Steine, Metalle) «nachhaltig» bewirtschaften, so ist *eine grundsätzliche Neuorientierung der gesamten Gesellschaftsentwicklung mit ihrem Bauwerk unumgänglich*. *Dazu brauchen wir eine neue Verfassung, in der das Ziel der nachhaltigen Entwicklung festgeschrieben wird*.

- [1] Baccini P., von Steiger B 1993, Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen, Z.Pflanzenernähr-Bodenk., 156, 45–54
- [2] Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G. 1993, METAPOLIS, NFP 25 Stadt und Verkehr, Bd. 34A

Renata Behra, Giulio P. Genoni, Laura Sigg

Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern

Die Einleitung und die Konzentration von Metallen in Fließgewässern wird in der Verordnung über Abwassereinleitungen (1975) reglementiert. Darin werden Qualitätsziele formuliert, die den Konzentrationen entsprechen, die eingehalten werden sollten, um Organismen und Ökosysteme zu schützen. Die Revision dieser Verordnung hat eine Überarbeitung dieser Qualitätszielen veranlasst.

Folgende Metalle wurden betrachtet: Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Selen (Se), Silber (Ag), Zink (Zn) und organische Zinnverbindungen (Sn). Die Qualitätsziele wurden unter Berücksichtigung der Ökotoxizität und der natürlich vorkommenden Konzentrationen der Elementen festgelegt. Hier wird der verwendete Ansatz am Beispiel der Qualitätsziele für Kupfer

erläutert. Der Vergleich der neu erarbeiteten Qualitätszielen mit Konzentrationen von Metallen in mittelbelasteten Fließgewässern erlaubt eine Beurteilung der aktuellen Metallbelastung in der Schweiz.

Ökotoxikologische Werte

Ausgangspunkt der Beurteilung der Umweltgefährdung durch Metalle war eine Literaturstudie über die Toxizität

der verschiedenen Elemente für aquatische Organismen, Populationen und Ökosysteme. Betrachtet wurden weitgehend heimische, aber auch aus ökologischer Sicht mit ihnen vergleichbare Arten und Ökosysteme. Aus diesen Daten wurden ökotoxikologische Werte (öW) hergeleitet, die den Konzentrationen entsprechen, unterhalb welcher keine toxische Wirkungen auftreten sollten. Dabei wurden Faktoren zur Übertragung der vor allem aus Laborexperimenten ermittelten Daten über chronische und akute Toxizität auf die Situation in der Umwelt verwendet. Unsicherheiten über diese Werte sind mit den verwendeten Extrapolationsfaktoren verbunden. Diese werden allgemein

bei ökotoxikologischen Beurteilungen eingeführt, um das Problem der vielen ungelösten Fragen der Extrapolation zu überbrücken [1]. Wenn es sich bei den untersuchten Wirkungen um akut toxische (z.B. die 48 Std. LC_{50} Werte in Tabelle 1) handelt, so wird mit einem grossen Extrapolationsfaktor gerechnet. Ein niedriger Faktor wird hingegen bei subakut oder chronisch wirkende Konzentrationen angewandt. Es ist einer der grossen Mängel in der Ökotoxikologie, dass solche Extrapolationsfaktoren arbiträr sind. Aus den verschiedenen analysierten Toxizitätsdaten lassen sich für jedes Metall unterschiedliche öW berechnen. Für die Gegenüberstellung zu den chemischen Daten haben wir jeweils mehrere von den tiefsten öW ausgewählt. In Tab. 1 sind die für die Angabe der öW für Cu betrachteten Studien zusammengestellt. Bei verschiedenen Organismen treten sublethale bis lethale Wirkungen im $\mu\text{g/l}$ -Bereich auf. Die tiefsten öW liegen im Bereich von 0.05–2 $\mu\text{g/l}$. (Die vollständigen ökotoxikologischen Daten mit Referenzen werden in [2] veröffentlicht).

Konzentrationen von Metallen in unbelasteten Gewässern

Zur Definition von Qualitätszielen in Fließgewässern wurden neben den öW auch Konzentrationen in unbelasteten Gewässern als Referenzen für geogene (natürlich vorkommende) Konzentrationen herangezogen. Dazu wurden aus der Literatur und aus Untersuchungen an der EAWAG Konzentrationswerte für die verschiedenen Elemente zusammengestellt [2]. Da die Qualitätsziele für gelöste Kon-

zentrationen gelten, wurden vorwiegend Werte in filtrierten Proben berücksichtigt. Aus der Literatur wurden Untersuchungen ausgewählt, bei denen auf eine sehr sorgfältige Probenahme und Analytik geachtet wurde. In der Tab. 2 sind die Konzentrationen von Cu in einigen repräsentativen Gewässern aufgeführt. Einige Werte sind aus grossen, wenig belasteten Flüssen. Mit schweizerischen Fließgewässern vergleichbar ist zum Beispiel die Rhône in Frankreich sowie verschiedene Flüsse an der Ostküste der USA. Für schweizerische Verhältnisse können die Konzentrationen, die in Seen (Zürichsee, Greifensee) und an Seeausflüssen gemessen wurden, als repräsentativ für wenig belastete Gewässer herangezogen werden. Die durch neuere Messungen ermittelten Konzentrationen entsprechen dem Konzentrationsbereich, der schon früher auch im Alpnachersee gemessen wurde [3]. Messungen in wenig belasteten Fließgewässern (Oberlauf von Flüssen) in der Schweiz werden kaum durchgeführt. Für Cu liegen die Konzentrationen zwischen 0.3–1.5 $\mu\text{g/l}$. Aus der Zusammenstellung der chemischen Daten ist generell ersichtlich, dass geogene Konzentrationen für viele Elemente sehr tief liegen (d.h. im Bereich von ng/l bis wenigen $\mu\text{g/l}$; [2, 3]).

Qualitätsziel und Speziierung

Hinsichtlich den ökologischen Zielsetzungen sollten Qualitätsziele auf die tiefsten öW basieren, aber nicht unterhalb von natürlich vorkommenden Konzentrationen liegen. Die Gegenüberstellung der ökotoxikologischen

und chemischen Daten für Cu zeigt, dass die errechneten öW (0.05–2 $\mu\text{g/l}$, aus Tab. 1) den Bereich der geogenen Konzentrationen (0.3–1.5 $\mu\text{g/l}$, aus Tab. 2) überlappen. Das Resultat ist einerseits mit den erwähnten Unsicherheiten bei der Abschätzung der öW, andererseits aber auch mit der unterschiedlichen Speziierung des Metalles in Labor-Toxizitätstests und in natürlichen Gewässern verbunden. Dieser letztere Aspekt soll im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen biologischen Effekten und den chemischen Formen der Metalle kurz diskutiert werden.

Metalle kommen in den Gewässern in Sedimenten, gebunden an suspendierten Partikeln oder in Lösung in verschiedenen Formen vor. Da Qualitätsziele als gelöste Konzentrationen gelten, werden hier nur die Erscheinungsformen, die sogenannten Spezies der Metalle in Lösung betrachtet. Neben der freien Aquo-Metall-Ion Spezies kommen Metalle als anorganische Komplexe oder komplexiert an natürlich oder nicht natürlich vorkommenden organischen Liganden vor. Die totale Konzentration des Metalles in Lösung entspricht der Summe aller Spezies und der Anteil jeder Erscheinungsform hängt von der chemischen Zusammensetzung des wässrigen Mediums ab.

Weil die biologische Reaktivität der Metalle im Zusammenhang mit der freien Metall-Ion Aktivität und nicht mit den Aktivitäten der komplexierten Metall-Formen steht [4], sind für eine Beurteilung der Umweltgefährdung durch Metalle die total gelösten Konzentrationen nur beschränkt aussagekräftig. Bei gleicher totaler Konzentra-

Wirksame Cu-Konzentration $\mu\text{g/l}$	Effekte	EF	öW $\mu\text{g/l}$
1	Grünalge, Hemmung der Photosynthese	1	1
6.4	Röhrenwurm, 48-Std LC_{50}	100	0.05
4–6	Wasserfloh, 48-Std LC_{50}	100	0.05
2–10	Regenbogenforelle, Larven, Infektion	1	2–10
ab 2	Regenbogenforelle, Wachstumshemmung	1	ab 2
0.1–10	Regenbogenforelle, Vermeidungsverhalten	1	0.1–10

Tab. 1
Ausgewählte Toxizitätsdaten und daraus abgeleitete ökotoxikologische Werte (öW) für Kupfer. Wirksame Konzentration: gelöst ($\mu\text{g/l}$); EF: Extrapolationsfaktor; LC_{50} : Ermittelte Konzentration, bei der während der angegebenen Prüfzeit 50% der untersuchten Organismen sterben.

Gewässer	Cu gelöst $\mu\text{g/l}$
St. Lawrence	0.6–1.1
Mississippi	1.5
Amazonas	1.5
Flüsse Ostküste USA	1
Rhône (Frankreich)	0.4–1.2
Zürichsee	0.4–0.8
Greifensee	0.3–1
Alpnachersee	0.6–1.1

Tab. 2
Ausgewählte Daten über Cu-Konzentrationen in unbelasteten Gewässern (gelöst total, $\mu\text{g/l}$).

tion eines Metalles kann seine biologische Wirkung je nach Grösse des Anteils an freien Metall-Ionen verschieden sein.

Konzentrationen von Metallen in mittelbelasteten Gewässern

Im Fall von Cu zeigt sich, dass bei gleicher totaler Konzentration der Anteil an freien Metall-Ionen in natürlichen Gewässern ($Cu^{2+}/Cu_{\text{gelöst total}} \approx 10^{-5}-10^{-7}$; [6, 7]) um mehreren Zehnerpotenzen kleiner als in Laborsystemen ist ($Cu^{2+}/Cu_{\text{gelöst total}} \approx 0.01-0.8$). In Gewässern sind natürliche organische Komplexbildner für Kupfer vorhanden; in Toxizitätstests werden hingegen häufig keine organische Komplexbildner zugesetzt.

Die Gegenüberstellung der ökotoxikologischen und chemischen Daten in Abhängigkeit der geschätzten gelösten

freien Cu Konzentration zeigt, dass der Bereich der öW erwartungsgemäss höher als der Bereich der geogenen Konzentrationen liegt (Fig. 1). Nach Berücksichtigung der unterschiedlichen Spezierung wurde das Qualitätsziel an der oberen Grenze des geogenen Konzentrationsbereichs festgelegt. In Abhängigkeit Konzentration an Cu total gelöst beträgt das Qualitätsziel für Cu 2 µg/l.

Auf gleiche Art wurden auch für die anderen Metalle, die in der aktuellen Verordnung reglementiert sind, deren Qualitätsziele überarbeitet. Zusätzlich sind auch Werte für Selen (Se) und organische Zinnverbindungen (Sn) angegeben worden. Selen könnte in Zukunft wegen Einsatz in der Landwirtschaft zu einem Problem werden. Organische Zinnverbindungen gehören zu den toxischsten Metallverbindungen. Die neu hergeleiteten Qualitätsziele sind mit den aktuellen Qualitätszielen in Tab. 3 zusammengestellt. Daraus geht hervor, dass mit der Ausnahme von Arsen für alle Elemente, und insbesondere für Cadmium, Quecksilber und Silber die Qualitätsziele gegenüber der Verordnung von 1975 zum Schutz aquatischer Organismen und Ökosysteme wesentlich herabzusetzen sind. Seitens der EAWAG wurden Herabsetzungen der Qualitätsziele für einige Metalle schon früher empfohlen [3, 5].

Eine Beurteilung der aktuellen Metall-Belastung schweizerischer Gewässer durch Betrachtung der vorherrschenden Konzentrationen zeigt (siehe Fig. 2), dass die vorgeschlagenen Qualitätsziele für As, Pb, Cr, Se und Ni in den meisten Fällen nicht

Element	QZ 1975 µg/l	vorgeschlagene QZ µg/l
As	10	10
Pb	50	1
Cd	5	0.05
Cr(III)	50	2
Cr(VI)	10	(III+VI)
Co	50	10
Cu	10	2
Ni	50	5
Hg anorg	1	0.01
Hg org	-	(org+anorg)
Se(IV+VI)	-	1
Ag	10	0.1
Zn	200	5
Sn org	-	0.002 (TBT+TPT)

Tab. 3 Vergleich aktueller und vorgeschlagener Qualitätsziele (QZ), (gelöst total, µg/l). TBT: Tributylzinn; TPT: Triphenylzinn.

überschritten werden. Für Hg sind wenige Daten über gelösten Konzentrationen vorhanden. Es ist nicht eindeutig zu beurteilen, ob die Konzentrationen in Fließgewässern unter den vorgeschlagenen Qualitätsziele liegen. Für Cd, Cu und Zn sind die Qualitätsziele in kleineren, stark mit Abwasser belasteten Flüssen heute überschritten. Dies ist auch für organische Sn-Verbindungen in einigen Gewässern der Fall. Für Zink und Kupfer dürften die diffusen Quellen (aus Leitungen usw.) überwiegen. Zahlen für Abläufe von Abwasserreinigungsanlagen zeigen, dass in den meisten Fällen keine sehr hohen Konzentrationen vorkommen [1].

Angesichts der vielen möglichen Immissionsquellen, sind einheitliche Massnahmen nach festgestellten Überschreitungen der Qualitätsziele nicht zu empfehlen. Deutliche Überschreitungen sollten zunächst eingehende Untersuchungen auslösen, um die Quellen dieser Metalle im betreffenden Einzugsgebiet abzuklären bzw. um festzustellen, ob eine Reduktion der Emissionen in die Gewässer möglich ist. Falls diffuse Quellen überwiegen, dürften Reduktionen nur langfristig erreichbar sein. Bei nachweisbaren Punktquellen müssten entsprechende Massnahmen getroffen werden. Es besteht jedoch die Meinung, dass Probleme mit erhöhten

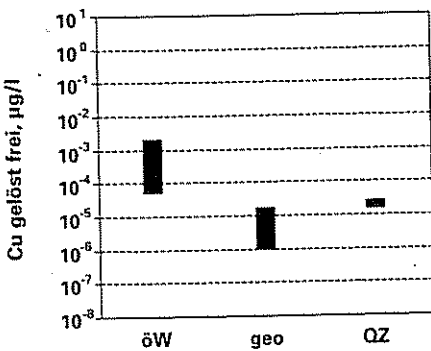


Fig. 1 Gegenüberstellung ökotoxikologischer Werte (öW) und Konzentrationen in unbelasteten Gewässern (geo), und daraus abgeleiteter Qualitätsziele (gelöst total, µg/l) für Cu, in Abhängigkeit der geschätzten gelösten freien Cu-Konzentration. Das angenommene Verhältnis von $Cu_{\text{gelöst frei}}$ zu $Cu_{\text{gelöst total}}$ beträgt 10^{-2} für die öW und 10^{-5} für die chemischen Daten.

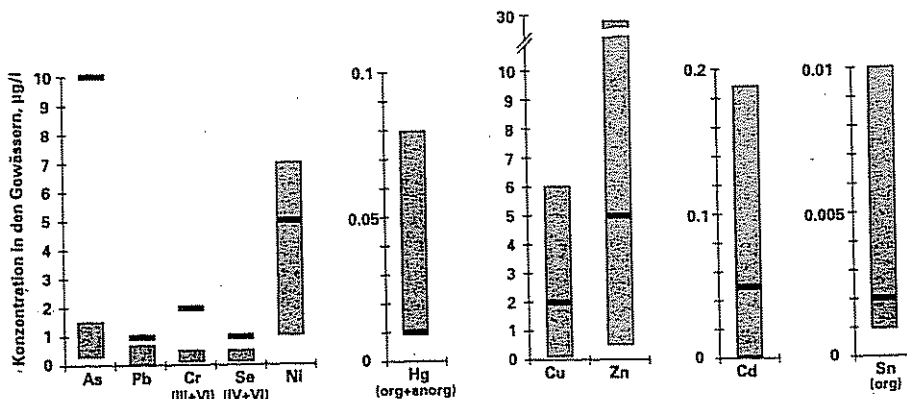


Fig. 2 Vergleich Konzentrationen in mittelbelasteten Gewässern (gelöst total, µg/l) und Empfehlungen für neue QZ (gelöst total, µg/l). Bei Hg gelten die Konzentrationen für gelöstes und partikuläres Quecksilber.

J. R. van der Meer

Möglichkeiten und Grenzen biotechnologischer Umweltsanierungen

Mikroorganismen als Schadstoffabbauer

Mikroorganismen, das heisst Lebewesen wie Bakterien, Pilze, usw., spielen in den verschiedenen Elementkreisläufen aller Ökosysteme der Erde eine äusserst wichtige Rolle. Mittels Oxidation bzw. Reduktion überführen sie Stickstoff-, Phosphor- und Schwefelverbindungen von der einen Form in die andere, z.B. Ammonium in Nitrat, und Nitrat in Luftstickstoff. Im Kohlenstoffkreislauf tragen Mikroorganismen den grössten Teil der Oxidation organischer Substanzen zu Kohlendioxid bei. Solche Mineralisationsprozesse erhalten das delikate Gleichgewicht zwischen der Bildung organischer Verbindungen durch grüne Pflanzen aus Luftkohlendioxid und deren Abbau.

Für den Abbau organischer Verbindungen werden von den Mikroorganismen die unterschiedlichsten Reaktionswege beschritten.

Die Abbautätigkeit der Mikroorganismen kann je nach ökologischer Nische, in der sie sich einfinden, unerwünscht sein (z.B. bei krankheits-erregenden Mikroorganismen). Der Nutzen der Mikroorganismen überwiegt jedoch bei weitem die Schäden, und ihre Verwendung in biotechnologischen Prozessen ist vielfältig (z.B. in der Lebensmittelindustrie, in der Produktion von Feinchemikalien oder Pharmazeutika). Mikrobielle Prozesse eignen sich auch für den Abbau von Fäkalien oder organischen Haushaltsabfällen und werden in speziell entwickelten Kläranlagen zur Behandlung von Abwasser eingesetzt. Es ist von grösstem Interesse, zu untersuchen, welche Umweltschadstoffe und toxischen Verbindungen von Mikroorganismen abgebaut oder wenigstens zu unschädlichen Restprodukten umgewandelt werden können. Die Möglichkeiten und Grenzen, mikrobielle Abbauprozesse bei Umweltsanierungen

einzusetzen, werden in diesem Artikel diskutiert.

Schadstoffe in der Umwelt

Umweltschadstoffe werden sowohl in Lebewesen als auch in allen Umweltkompartimenten (Boden, Gewässer, Grundwasser und Luft) angetroffen. Die grosse Vielfalt der Schadstoffe, deren Konzentrationen und Verteilung in der Umwelt stellen an die Anwendung mikrobiologischer Prozesse hohe Anforderungen. Die Konzentrationen und Mengen sind abhängig von der Verunreinigungsquelle und können je nach Standort unterschiedliche Grössenordnungen annehmen. Industrielle Abwässer, «Spills» (Überlauf, Verschüttungen) und «Leaks» (Leck- und Sickerverluste) führen lokal oft zu sehr hohen Konzentrationen an Schadstoffen. Einmal in der Umwelt angelangt, verteilen sich diese Schadstoffe gemäss physikalisch-chemischen Faktoren und Distributionsprozessen über die verschiedenen Kompartimente. Deshalb findet man sie schliesslich in niederen, chronischen Konzentrationen (weniger als 1 µg pro Liter) fast überall. Von Bedeutung für die Mikroorganismen ist allerdings nur diejenige Konzentration von Schadstoffen, welche sich in der wässrigen Phase befindet. Zu tiefe Konzentrationen können auf den Ablauf mikrobieller Abbauprozesse limitierend sein, falls die Mikroorganismen nicht genügend Energie und Kohlenstoff aus dem Schadstoffabbau gewinnen können. Auf der anderen Seite führen zu hohe Konzentrationen zu toxischen Effekten.

Die Diversität der Schadstoffe führt zu unterschiedlichen Abbaumöglichkeiten für Mikroorganismen. Organische Verbindungen werden im Prinzip als Nahrungs- und Energiequelle genutzt, wobei die Kohlenstoff-, Stickstoff-, Phosphor- und Schwefelbe-

standteile dieser Verbindungen im Stoffwechselkreislauf der Mikroorganismen verwendet werden können. Andere Substituenten wie Chlor- oder Fluoratome werden dagegen von der Zelle nicht genutzt und deshalb ausgeschieden. Es ist klar, dass nicht alle organischen Verbindungen mit derselben Geschwindigkeit oder Leichtigkeit von den Mikroorganismen abgebaut werden können. Ein Vergleich zwischen dem Abbau organischer Verbindungen mit oder ohne Halogensubstituenten zeigt, dass im allgemeinen nicht nur weniger Mikroorganismen in der Lage sind die halogenierten Schadstoffe zu verwenden, sondern dass deren Abbau auch mit einer niedrigeren Geschwindigkeit abläuft.

Eine wichtige Gruppe von Umweltschadstoffen sind anorganische Verbindungen, insbesondere Schwermetalle. Bei empfindlichen Organismen treten nach der Aufnahme von Schwermetallen relativ rasch chronische oder akute toxische Effekte auf. In vielen mikrobiellen Populationen sind aber Resistenzmechanismen gegen die Toxizität der Schwermetalle ziemlich weit verbreitet. Solche Mechanismen ermöglichen den Mikroorganismen, die Metallionen in weniger giftige Formen umzuwandeln, oder diese direkt aus der Zelle auszuscheiden. Über die Möglichkeiten, mikrobielle Prozesse zur Entgiftung oder Entfernung von Schwermetallionen aus wässrigen Lösungen anzuwenden, ist momentan zu wenig bekannt. Deshalb wird in diesem Beitrag vor allem der Abbau organischer Schadstoffe betrachtet.

Mikrobielle Schadstoffabbauwege

Für den erfolgreichen Einsatz mikrobieller Prozesse in der Umwelttechnologie ist es unentbehrlich, die verschiedenen mikrobiellen Reaktionswege, welche beim Abbau organischer

Schadstoffe beschriftet werden, zu kennen. Das mikrobielle Potential, organische Schadstoffe umzuwandeln, ist enorm. Die interessantesten Umwandlungsreaktionen sind solche, die zu einem vollständigen Abbau der schädlichen Verbindungen führen. Im allgemeinen eignen sich dafür die Stoffwechselwege der Sauerstoff benutzenden (aeroben) Bakterien am besten. In Fig. 1 wird ein Überblick über enzymatische Abbauschritte verschiedener aromatischer Schadstoffe gegeben, welche in aeroben Bakterien bisher gefunden wurden. Die Enzyme, welche die für den Schadstoffabbau wichtigsten Umwandlungsreaktionen katalysieren, sind die Dioxygenasen und Monooxygenasen (Fig. 1). Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass die meisten dieser Oxygenaseenzyme biochemisch und genetisch miteinander verwandt sind und sich erst im Laufe der Evolution zur einer solchen Vielfalt entwickelt haben. Ähnliche aerobe Enzyme wurden übrigens auch in Bakterien gefunden, die aliphatische Verbindungen (langlebige, ohne Ringe) abbauen können.

Obwohl Stoffwechselreaktionen, die in Anwesenheit von Sauerstoff ablaufen, zum vollständigen Abbau vieler

aromatischer und aliphatischer Schadstoffe führen können, sind sie weniger geeignet für die Umwandlung hochchlorierter Verbindungen. Es zeigte sich dagegen, dass bestimmte Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff leben (anaerobe Mikroorganismen), Reaktionen katalysieren können, in denen hochchlorierte Verbindungen schrittweise zu weniger chlorierten umgesetzt werden. Ein solcher anaerober Prozess wurde z.B. im Labor angewendet, um mit Hilfe von mikrobiellen Mischkulturen Tetrachlorethylen vollständig zu Ethan abzubauen. Weniger stark chlorierte Verbindungen können wiederum auch von aeroben Bakterien verwendet werden. Im Moment wird deshalb in verschiedenen Forschungslaboratorien versucht, mittels einer Kopplung anaerober und aerober Prozesse polychlorierte Biphenyle abzubauen (Fig. 2).

Dank der Fortschritte in der Genetik wissen wir heute sehr viel über die erblichen Informationen, welche es den Bakterien ermöglichen, organische Schadstoffe abzubauen. Es zeigte sich z.B., dass Bakterien ihr enormes Potential an Stoffwechselwegen zum Abbau xenobiotischer Substanzen im Laufe der Evolution entwickelt haben,

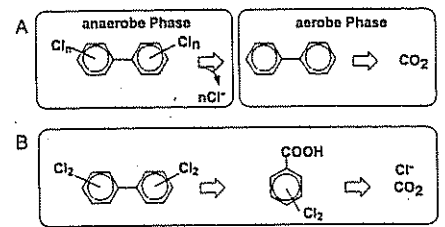


Fig. 2 Vorschläge für den Abbau polychlorierter Biphenyle

A: Abbau in zwei Stufen; in der ersten Stufe wird die Aktivität anaerober Mikroorganismen benutzt um die Chloratome von den polychlorierten Biphenyle zu entfernen. In der zweiten nachfolgenden Stufe wird die nichtchlorierte Verbindung unter aeroben Bedingungen vollständig abgebaut.

B: Abbau in einem Prozess, für den spezifische aerobe Mikroorganismen entwickelt wurden. In diesen Mikroorganismen sind zwei verschiedene Abbaupfade kombiniert, welche den vollständigen Abbau chlorierter Biphenyle (mit bis zu vier Chloratomen) ermöglichen.

und dass noch immer neue Stoffwechselwege entstehen. Verschiedene genetische Mechanismen erlauben es den Bakterien, ihren Stoffwechsel relativ schnell (z.B. in einigen Jahren) an neuartige Verbindungen anzupassen. Es ist aber auch möglich, gezielt Mikroorganismen mit ganz bestimmten Abbaueigenschaften im Labor zu konstruieren.

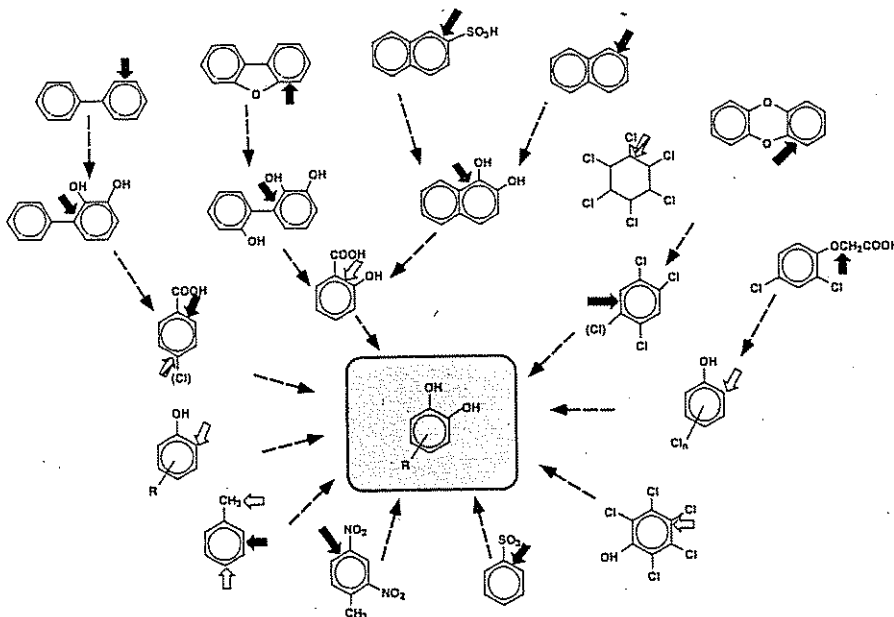


Fig. 1 Schematische Darstellung der wichtigsten enzymatischen Schritte des Abbaus verschiedener aromatischer Schadstoffe unter aeroben Bedingungen

Die verschiedenen Abbaupfade führen alle zum gleichen Typ von Zwischenprodukten, hier mit grau unterlegt. Pfeile an den Molekülen zeigen die Stellen, an denen die enzymatische Reaktion stattfindet. Schwarze gefärbte Pfeile: Enzyme vom Typ Dioxygenase; weiße Pfeile: Typ Monooxygenase; sonstige Pfeile: übrige Enzymtypen. Gestrichelte Pfeile stellen den Abbaupfad einer Verbindung dar, der mehrere Einzelenzym Schritte umfassen kann. (Fig. verfasst gemäss Referenz [2].)

Faktoren, welche die mikrobielle Aktivität beeinflussen

Schadstoffe in der Natur werden, selbst wenn die geeigneten Bakterien vorhanden sind, oft nicht mit der erwünschten Geschwindigkeit abgebaut. Der Stoffwechsel der Bakterien wird nämlich stark durch die in der Umwelt herrschenden Bedingungen beeinflusst. Die Optimierung solcher Bedingungen ist deshalb eine wichtige Strategie bei der biotechnologischen Sanierung verunreinigter Stellen. Natürlich kann die Steuerung mikrobiologischer Abbauprozesse durch die Anwendung geschlossener Systeme wie Bioreaktoren zusätzlich optimiert werden.

Einfache physikalisch-chemische Faktoren, wie z.B. Temperatur, pH oder Salzkonzentration, beeinflussen die mikrobielle Aktivität in hohem Masse. Die metabolische Aktivität der meisten Bakterienstämme ist nur in einem relativ schmalen Temperaturbe-

reich optimal. Dieses Temperaturoptimum kann sich zwischen den einzelnen Bakterienarten stark unterscheiden. Im Normalfall bewegen sich diese Optima im Bereich zwischen 5°C bis 100°C. Es ist deshalb sehr wichtig, Bakterien bei der Temperatur zu selektionieren, bei der nachher die Biosysteme betrieben werden sollen (Fig. 3). Im allgemeinen laufen mikrobielle Prozesse bei tiefen Temperaturen langsamer ab. Biologische Abbauprozesse dauern deshalb bei relativ niedrigen Temperaturen, wie sie z.B. im Grundwasser nordeuropäischer Regionen vorherrschen (ca. 10°C) viel länger.

Das Wachstumsverhalten von Mikroorganismen unter umweltrelevanten Bedingungen wird von verschiedenen biologischen und physiologischen Faktoren bestimmt. In natürlichen Systemen werden Bakterienpopulationen von Protozoen gefressen und dadurch in ihrer Anzahl beschränkt. Wie bereits erwähnt, ist die Wachstumsphysiologie Schadstoffe abbauender Bakterien abhängig von der Konzentration dieser Verbindungen. Eine relativ hohe Konzentration wirkt, solange sie nicht toxisch ist, fördernd auf das bakterielle Wachstum. Eine zu niedrige Konzentration der Schadstoffe kann dagegen zur Folge haben, dass die Verbindungen von den Bakterien nicht als Substrat genutzt werden. Restkonzentrationen der Schadstoffe

werden deshalb häufig nur noch sehr langsam mikrobiologisch abgebaut. Unter natürlichen Bedingungen sind zudem noch viele andere organische Verbindungen anwesend, die den Mikroorganismen ebenso als Nahrung dienen können. Wie solch komplexe Mischungen verschiedener Schadstoffe und sonstiger Nährstoffe die mikrobielle Physiologie beeinflussen können, ist ein zentrales Thema der Forschung an der Abteilung Mikrobiologie.

Unter Umweltbedingungen befinden sich Mikroorganismen meistens in der Gegenwart von Oberflächenmaterial, wie Sandkörner oder Tonteilchen. Häufig adsorbieren die Zellen an diese Oberflächen, was ihre Physiologie (z.B. Substrataufnahme) beeinflusst und sie vor Predation (selber vertilgt zu werden) schützen kann. Die adsorbierten Zellen sind für die Substrataufnahme auf Diffusionsprozesse angewiesen, durch welche die Substratmoleküle aus der wässrigen Phase zu den Zellen transportiert werden. Mikroorganismen sind wahrscheinlich nicht in der Lage, adsorbierte Moleküle direkt von der Oberfläche aufzunehmen. Adsorption kann für die Aktivität der Mikroorganismen folgende Konsequenzen haben: bei gut löslichen Verbindungen diffundieren weniger Substratmoleküle zu den adsorbierten Mikroorganismen als wenn diese in freilebendem Zustand wären. Bei Ver-

bindungen, die stark an eine Oberfläche adsorbieren oder die sich sogar im Festkörpermateriale lösen, ist deren Konzentration in der wässrigen Phase tief. Sowohl der Transport innerhalb des Festkörpers als auch die Desorptionsgeschwindigkeit von der Festkörperoberfläche in die wässrige Phase limitieren die Abbaugeschwindigkeit dieser Stoffe.

Die ständig wechselnden Umweltbedingungen auf Mikroebene (z.B. plötzlich auftretende Wassermengen, worin sich viele Nährstoffe lösen können) stellen für die Mikroorganismen Stressbedingungen dar. Wie sich Stress auf die Physiologie der Mikroorganismen auswirkt, ist ebenfalls ein aktuelles Forschungsthema an der Abteilung für Mikrobiologie. Um Mikroorganismen in biotechnischen Systemen sinnvoll einsetzen zu können, sind Kenntnisse über deren Stressanfälligkeit, z.B. gegen Schockbelastungen, toxische Verbindungen oder Temperaturwechsel, äusserst wichtig.

Anwendung des mikrobiologischen Abbaupotentials in umweltbiotechnologischen Prozessen

Eine Reihe verschiedener Methoden, um das mikrobiologische Abbaupotential sinnvoll zu nutzen, steht schon heute zur Verfügung (Fig. 4). So werden z.B. seit Jahrzehnten Abwasserreinigungsanlagen (ARA) betrieben, um Haushalts- und Industrieabwässer zu reinigen. In erster Linie trifft man hier nicht auf einzelne spezialisierte Mikroorganismen, sondern auf Mischkulturen, die sich, abhängig vom verwendeten Prozess, unter aeroben oder anaeroben Bedingungen entwickelt haben. Verschiedene Trägermaterialien, wie z.B. Sand oder Polyurethan, werden in diversen Systemen verwendet, um die Mikroorganismen zurückzuhalten. In anderen Systemen befinden sich die mikrobiellen Zellen in freilebendem Zustand und aggregieren manchmal zu Flocken. Am Anfang war der Abbau organischer Verbindungen die wichtigste Aufgabe von Abwasserreinigungsanlagen. Seit einiger Zeit beschäftigt sich die Forschung und Entwicklung auch mit der Stickstoff- und Phosphatelimination. Für die Reinigung industrieller Abwässer

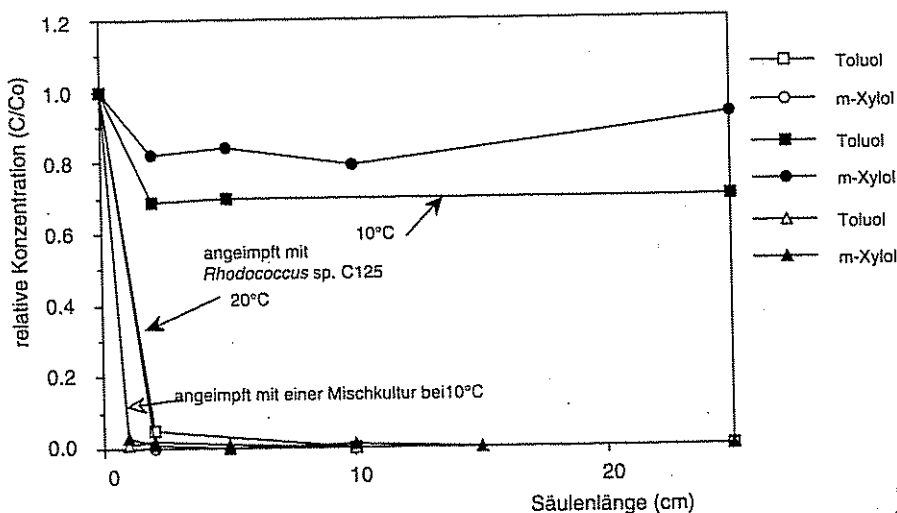


Fig. 3
Folgen einer Temperaturveränderung für die Aktivität von Toluol und Xylol abbauenden Bakterien
Die Grafik zeigt die starke Abnahme der Abbaugeschwindigkeit des Bakteriums *Rhodococcus*, wenn die Temperatur von 20°C auf 10°C erniedrigt wird. Bakterien hingegen, die bei einer Temperatur von 10°C aus Umweltproben angereichert wurden, erhalten ihre Aktivität unter diesen Umständen viel besser aufrecht als *Rhodococcus*. (Fig. übernommen aus [1].)

sind allerdings weitere Anstrengungen nötig, um auch toxische Verbindungen abzubauen zu können. Eine wichtige Voraussetzung für deren erfolgreiche Behandlung ist eine getrennte Sammlung der Abwässer. Diese Strategie ermöglicht den optimalen Einsatz spezialisierter Mikroorganismen, welche nur einzelne bestimmte Schadstoffe vollständig abbauen können. Gelangen dagegen viele verschiedene Schadstoffe gemischt in eine Kläranlage, kann sich deren Gesamtheit toxisch auf diese Spezialisten auswirken.

Auch für die Umweltbereiche Boden und Grundwasser werden heutzutage biotechnologische Methoden angewendet, um Schadstoffe zu entfernen. Mengenmässig ist deren Einsatz aber noch gering. So wird z.B. zur Zeit in den Niederlanden nur 1% des jährlich zur Sanierung angebotenen Bodens biologisch gereinigt. Die übrigen Mengen werden physikalisch-chemisch behandelt (durch Erhitzung oder Extraktion der Schadstoffe). Der grösste Teil wird jedoch nur deponiert. Verschmutzte Böden und Grundwässer stellen die höchsten Anforderungen an die verschiedenen Reinigungstechniken. An Orten, wo die Verschmutzung stark und räumlich beschränkt ist und eine gewisse Gefahr für die Volksgesundheit darstellt, wird die Verunreinigung meistens wegtransportiert. Handelt es sich dabei um verschmutzten Boden, wird ein Teil ausgekoffert und durch saubere Erde ersetzt. Bei Grundwasser wird dieses häufig heraufgepumpt und in speziellen Anlagen behandelt. Als biotechnologische Bodenreinigungsmethoden für solch akute Fälle werden u. a. *Landfarming*,

Kompostierung oder Reaktorbehandlung angewendet. Die meisten dieser Prozesse dauern jedoch relativ lang (oft einige Jahre), wenn ein fast vollständiger Abbau der Schadstoffe erreicht werden soll (Fig. 4). Durch bessere Mischung, Durchlüftung oder höhere Temperaturen kann der Abbauprozess einigermassen optimiert werden. Bei Verunreinigungen mit Ölprodukten sind solche Methoden z.B. erfolgreich angewendet worden.

Stark verunreinigtes Grundwasser kann, wenn einmal heraufgepumpt, ähnlich gereinigt werden wie andere Abwässer. Wegen der Sorptionsgleichgewichte zwischen den Schadstoffen im Grundwasser und denen an der Bodenoberfläche werden jedoch, nachdem das verschmutzte Grundwasser weggepumpt worden ist, Verunreinigungen vom Boden ins zurückbleibende Wasser «nachgeliefert». Deshalb muss bei der Reinigung von Grundwasser oft während längerer Zeit Wasser zugeführt und abgepumpt werden. Das heraufgepumpte Wasser wird in Bioreaktoren gereinigt und eventuell nachträglich belüftet sowie mit Nährstoffen versetzt. Nach einer solchen Behandlung wird das Wasser wieder in den Boden hineingebracht. Dieser Kreislauf wird solange betrieben, bis die Schadstoffkonzentrationen im Wasser die gewünschte Werte annehmen. Im Moment wird diese Art biotechnologischer Prozessführung erfolgreich bei Grundwasserverunreinigungen mit Toluol, Xylol oder Trichlorethylen eingesetzt.

Eine biologische Reinigung des Bodens oder des Grundwassers kann auch spontan ablaufen. Manchmal

sind jedoch die Bedingungen für den optimalen Verlauf natürlicher Abbauprozesse schlecht. Verunreinigungen treten oft in unterschiedlich hohen Konzentrationen oder in einer physikalischen Form auf (z.B. unlösliche Feststoffe), welche den mikrobiologischen Abbau erschwert. Methoden, um die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe zu verbessern, z.B. Mischen des verschmutzten Materials, oder die Zugabe von Nährstoffen und Belüftung sind nützlich, um die mikrobiologische Aktivität zu erhöhen.

Ziele und Voraussichten

Die Vorteile, Mikroorganismen als Schadstoffabbauer einzusetzen, sind augenfällig und die Anwendung mikrobieller Prozesse hat sich in der Praxis schon längst bewährt. Entscheidend für den Einsatz mikrobieller Reinigungstechniken im Umweltbereich sind im Moment die Grenzwerte, welche bei Sanierungsmassnahmen erreicht werden sollen. Um die Konzentration von Schadstoffen unter die gesetzten Grenzwerte zu bringen, brauchen biologische Methoden im Vergleich mit anderen meistens mehr Zeit und sind deshalb weniger kosteneffizient. Beim *Landfarming* wurde z.B. festgestellt, dass für den Abbau der ersten 90 Prozent der Schadstoffe zirka ein halbes Jahr reichte, aber für die restlichen 10 Prozent noch einmal ein bis zwei Jahre nötig waren (Fig. 4).

Sollten alle Stellen mit ernsthafter Boden- oder Grundwasserverunreinigung so intensiv behandelt werden, dass die betreffenden Grenzwerte nicht länger überschritten werden, wäre der Arbeitsaufwand enorm und die Kosten astronomisch. Für zukünftige Entscheidungen über die Anwendung bestimmter Techniken müssen wir uns deshalb darüber klar werden, ob wir eher wieder einen natürlichen Zustand eines Systems (so wie die Grenzwerte jetzt definiert sind) erreichen wollen oder uns zufrieden geben

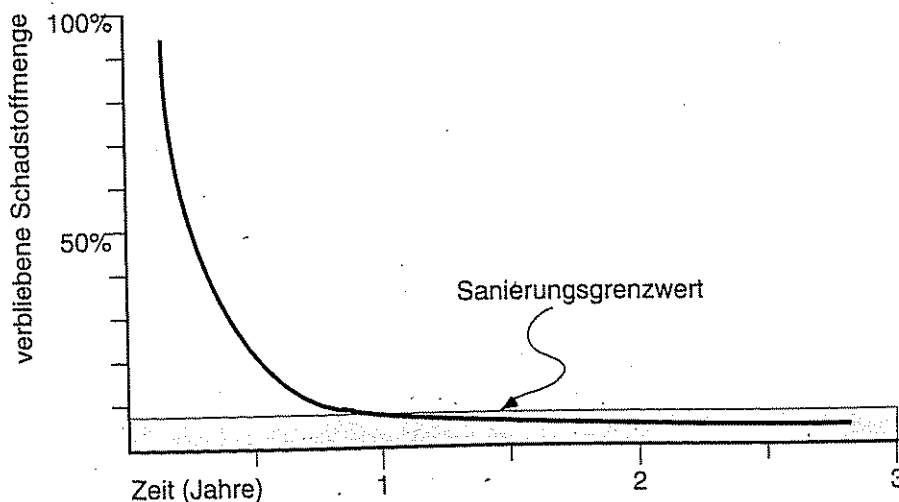


Fig. 4
Verlauf der Konzentration eines Schadstoffes in einem typischen mikrobiologischen Abbauprozess. Obwohl 90 Prozent des Schadstoffes innerhalb kurzer Zeit abgebaut werden kann, dauert es viel länger bis die Konzentration unter den Grenzwert fällt.

mit dem, was heute (bio-)technisch oder wirtschaftlich realisierbar ist. Für die Praxis bedeutet das, dass eine grosse Anzahl verunreinigter Stellen mehr oder weniger den natürlichen Reinigungsprozessen überlassen werden, auch wenn diese relativ lang dauern. In solchen Fällen werden zusätzliche Massnahmen getroffen, um die Verunreinigungen wenigstens einzudämmen und somit ihre Verbreitung zu verhindern. Ausserdem können die mikrobiellen Prozesse intensiv stimuliert werden.

Mikrobielle Prozesse werden zukünftig vor allem dazu eingesetzt werden, bereits dem Eintrag von Schadstoffen in die Umwelt entgegenzuwirken. In industriellen Anlagen könnten somit biotechnologische Abbauprozesse eine wichtige Rolle bei der Reinigung spezifischer Abwässer spielen. Dafür wäre aber eine direkte

Kopplung der einzelnen chemischen Prozesse mit einer biologischen Reinigungsstufe nötig. Die biologischen Verfahren würden so optimal und die Mikroorganismen, welche für die Spezialreinigung notwendig sind, könnten spezifisch angereichert, selektioniert oder gentechnisch konstruiert werden. In den Vereinigten Staaten z.B. existieren bereits Firmen, die auf diese Weise sogenannte Biokatalysatoren (das heisst, die Mikroorganismen und die dazugehörige Prozessführung) für eine Reihe von industriellen Schadstoffen, wie z.B. Phenol, Chlorbenzole, Toluol oder Anilin entwickeln. Kenntnisse über biologisch katalysierte Reaktionen spielen aber auch eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuer, umweltverträglicheren industriellen Syntheseprozessen, und können so zu innovativen Umweltmanagementkonzepten führen.

Danksagung

Ich danke Barbara Baumann und Hauke Harms für die kritische Bearbeitung der deutschen Fassung.

- [1] van der Meer, J. R., T. N. P. Bosma, W. P. de Bruin, H. Harms, C. Holliger, H. H. M. Rijnaarts, M. E. Tros, G. Schraa, and A. J. B. Zehnder. (1993) Versatility of soil column experiments to study biodegradation of halogenated compounds under environmental conditions. *Biodegradation* 3:265-284.
- [2] van der Meer, J. R. Genetic adaptation of bacteria to chlorinated aromatic compounds. *FEMS Microbiol. Rev.*, in press.
- [3] Förstner, U. *Umweltschutztechnik: eine Einführung*. Berlin, Springer Verlag, 1990.
- [4] Arendt, F., Annokée, G. J., Bosman, R., van den Brink, W. J. (Eds.). *Contaminated Soil '93*. Dordrecht, Kluwer Publ., 1993.
- [5] Mason, C. A., Sticher, P., Hamer, G. (1992) Mikroben als Umweltsanierer. Über das Überleben und die Erhaltung der Aktivität von Bakterien im Rahmen von Reinigungsprogrammen für die Umwelt. *Mitteilungen der EAWAG*, 33: 11-19.

Walter Giger, Alfredo C. Alder, Pilar Fernández und Eva Molnar

Wasch- und Reinigungsmittel: Vom reaktiven zum präventiven Umweltschutz

Einleitung

Der Einsatz von Chemikalien als Wasch- und Reinigungsmittel ist aus der heutigen Zivilisation nur schwerlich mehr wegzudenken. Grosse Mengen solcher Detergentien werden für die Textilreinigung eingesetzt. Aber auch für die Reinigung von festen Oberflächen (Geschirrspülung, Raumpflege, usw.) und für die Körperpflege werden chemische Produkte eingesetzt, die sehr komplex und unterschiedlich zusammengesetzt sind. Neben natürlichen Stoffen (Seife) werden in grossem Masse technisch-synthetische Chemikalien verwendet. Der Einsatz der Detergentien erfolgt meistens zusammen mit Wasser, so dass die verwendeten chemischen Stoffe über-

wiegend ins Abwasser eingetragen werden. Demzufolge haben die Beurteilung des Verhaltens dieser Stoffe in der Abwasserreinigung im engeren und ihres Umweltverhaltens im weiteren Sinne eine grosse Bedeutung. Fig. 1 zeigt die Entwicklung des jährlichen Detergentienverbrauchs. Seit 1940 hat der Jahresverbrauch pro Person von ca. 10 kg auf ungefähr 25 kg stetig zugenommen. Seit etwa 1989/90 lässt sich aber eine Trendwende feststellen: Die Gesamtverbrauchsmengen nehmen leicht ab. Dieser Rückgang wird mindestens teilweise durch neu entwickelte Kompaktwaschmittel verursacht. Im europäischen Vergleich liegt die Schweiz 1991 knapp über dem Durchschnitt und an sechster Stelle in einer Rangliste, die

vom meistverbrauchenden Spanien (35 kg/Kopf) bis zu dem waschmittel-sparsamsten Schweden (12 kg/Kopf) reicht.

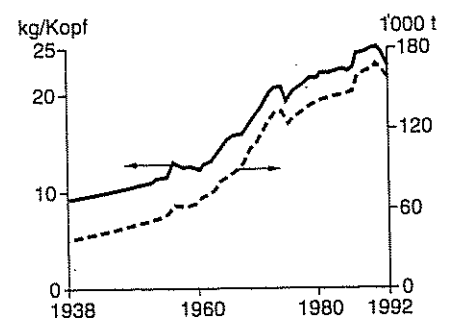


Fig. 1 Verbrauchsmengen für Detergentien in der Schweiz (nach Angaben des Verbandes der Schweizerischen Seifen- und Waschmittelindustrie, SWI)

Die vier Generationen der Detergentien-Umweltprobleme

Die durch Detergentienchemikalien verursachten Umweltprobleme bzw. damit verknüpften Beurteilungskonzepte und Umweltschutzmassnahmen lassen sich in vier Generationen einteilen, die stichwortartig in der Tabelle 1 aufgeführt sind. Die Generation I ist charakterisiert durch das Auftreten von Schaumbildungen in Abwasser und Gewässern, die durch die schwer abbaubaren Tenside des verzweigten Alkylbenzolsulfonat-Typs verursacht wurden. In den 60er Jahren war das Ausmass dieser Umwelteffekte am grössten. Freiwillige Umstellungen der Detergentienproduzenten und gesetzliche Vorschriften über die Abbaubarkeit der synthetischen Tenside führten zu einer Beseitigung der Schaumproblematik. Als Ersatzsubstanz wurde das lineare Alkylbenzolsulfonat (LAS) eingeführt, das heute immer noch eine zentrale Rolle als anionische waschaktive Substanz spielt. In der zweiten Generation bewirkte das in den Detergentien enthaltene Triphosphat einen Beitrag zur Überdüngung der Gewässer. Wiederum spielten dieselben Mechanismen der möglichen Massnahmen bis hin zum Phosphatverbot, das in der Schweiz durch die Stoffverordnung 1986 eingeführt worden ist. In Europa und weltweit sind viele unter-

schiedliche Lösungen getroffen worden. Ein wichtiger Teil dieser beiden Generationen war die umweltanalytische Beobachtung der eingesetzten Ersatzstoffe. Insbesondere der Phosphatersatzstoff Nitrilotriacetat (NTA) wurde ausführlich überprüft [3]. Im Laufe neuerer Untersuchungen wurde offensichtlich, dass ein anderer organischer Komplexbildner, nämlich Ethylendiamintetraacetat (EDTA) bezüglich seiner Umweltverträglichkeit als kritischer einzustufen ist. Letzterer wird heute in Wasch- und Reinigungsmitteln *nicht mehr* verwendet, was leider des öfters von Umweltschutzstellen nicht zur Kenntnis genommen worden ist.

In der Phase III wurden das Auftreten von giftigen Abbauzwischenprodukten der Tenside in gereinigtem Abwasser und vor allem im Faulschlamm entdeckt [2]. Weitere Anreicherungen von Detergentienchemikalien im Faulschlamm und die schlechte anaerobe Abbaubarkeit des LAS wurden erkannt. Insbesondere für LAS ergaben sich daraus hohe Gehalte im Faulschlamm (ca. 1–10 g pro kg Trokenschlamm).

In der Phase IV, die dem heutigen Stand entspricht, kommen neben der Komponentenbeurteilung gesamtheitliche Überlegungen zum Zuge. Angestrebt werden Ökobilanzen, wobei in der englischsprachigen Literatur über Detergentien häufig der Begriff «life cycle analysis» verwendet wird. Bei den Waschmitteln beginnt sich die Kombination von Basiswaschmitteln mit Enthärtern und Bleichmitteln (sog. Baukastensystem) durchzusetzen. Die Zielsetzung ist, Chemikalien möglichst nur einzusetzen, wenn diese auch wirklich benötigt werden. Bleichmittel sollen nur verwendet werden, falls sie effektiv notwendig sind. Gefordert wird auch der Einsatz von wasserenthärtenden Waschautomaten, ohne dass sich aber bis anhin ein durchschlagender Erfolg eingestellt hätte.

Die vier beschriebenen Generationen unterscheiden sich dadurch, dass in den Generationen I und II auf in der Umwelt beobachtete Auswirkungen reagiert wurde, während in der Generation III umweltanalytische Messungen von Restkonzentrationen die Grundlage für Massnahmen bzw.

Überlegungen bildeten. Die heutige vierte Generation ihrerseits ist charakterisiert durch die Bestrebung, möglichen Umweltproblemen der Detergentienchemikalien im vorsorgenden Sinne durch präventive Massnahmen zu begegnen.

Heutige Situation: Akteure/Methoden/Massnahmen

In der heutigen Zeit werden die sich im Zusammenhang mit Umweltchemikalien abspielenden Vorgänge durch das Zusammenspiel von beteiligten Personen und Institutionen (hier als Akteure bezeichnet) beschrieben, die bestimmte Methoden anwenden und schliesslich gewisse Massnahmen vorschlagen bzw. durchführen (Fig. 2, 3, 4). Zu den Akteuren (Fig. 2) gehören einerseits die chemische Industriefirmen, die entweder Rohstoffe oder fertige Detergentienprodukte herstellen und verkaufen. Auf der anderen Seite stehen die Verbraucherinnen und Verbraucher, die diese Produkte einsetzen. Dazwischen angesiedelt sind Umweltschutzbehörden sowie Handel und Verkauf.

Auf verschiedenen Ebenen kann die wissenschaftliche Forschung und Entwicklung eingreifen. Einerseits verfügen die Produzenten über leistungsfähige Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, die die Umweltaspekte der Produkte untersuchen. Die EMPA in St. Gallen und die EAWAG gehören zu der leider kleinen Zahl von unabhängigen Forschungsinstitutionen, die sich mit der Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Detergentien befassen. Eine wichtige Rolle spielen auch eine Reihe von Umweltschutz- und Verbraucherorganisationen, die sich in ihrer Öffentlichkeitsarbeit mit Wasch- und Reinigungsmitteln befassen. Seit kürzerer Zeit gibt es auch private Beratungsfirmen, die vor allem die Grossverbraucher der Detergentien betreuen.

Alle diese Akteure beeinflussen sich gegenseitig in unterschiedlich starkem Masse und bilden zusammen ein vernetztes System. Zur Anwendung kommen die in Fig. 3 aufgeführten Methoden. Die Produktbeurteilung, die weitgehend eine Komponentenbeurteilung ist, stützt sich ab auf

Detergentien-Umweltprobleme

GENERATION I

Schwer abbaubare Tenside
→ Schaumbildungen

GENERATION II

Phosphat → Beitrag zur Überdüngung der Gewässer

GENERATION III

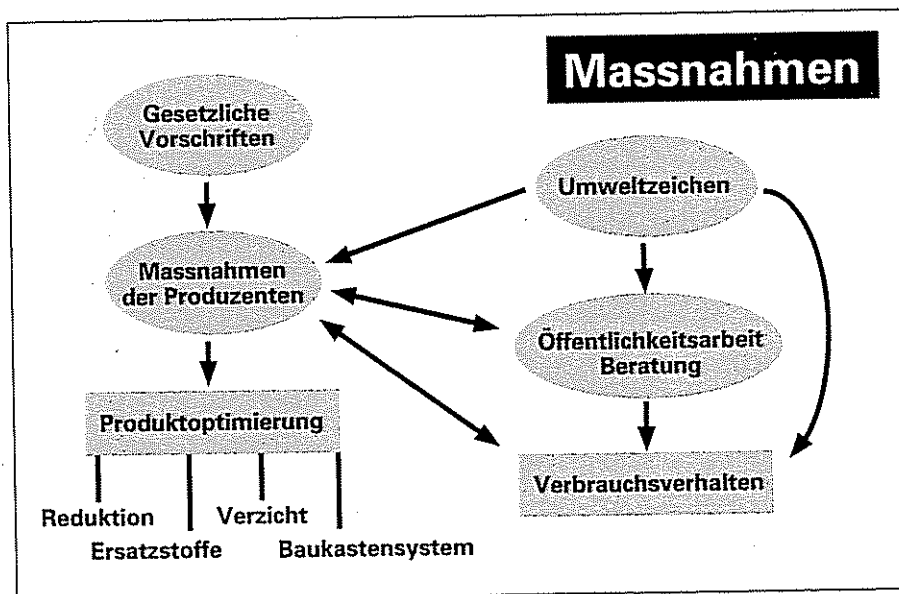
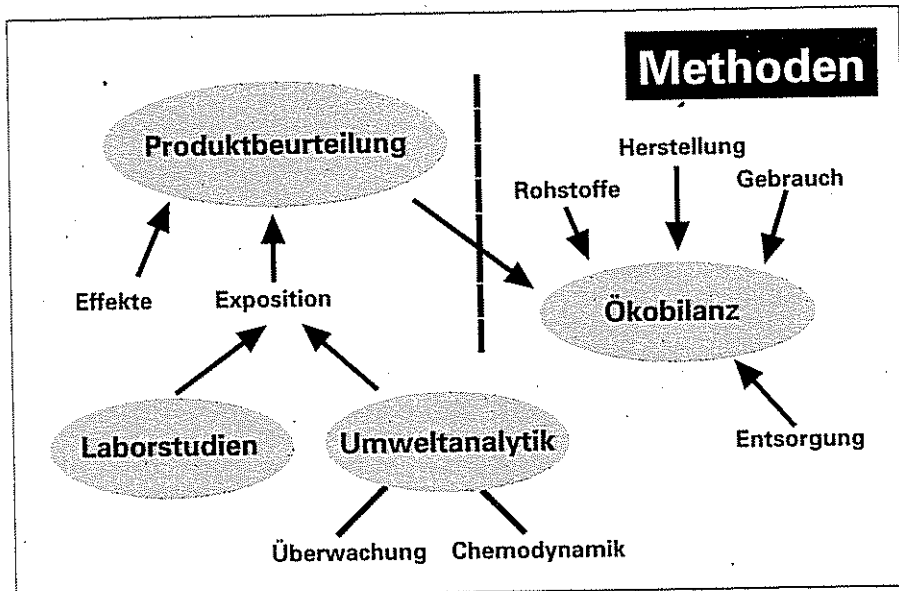
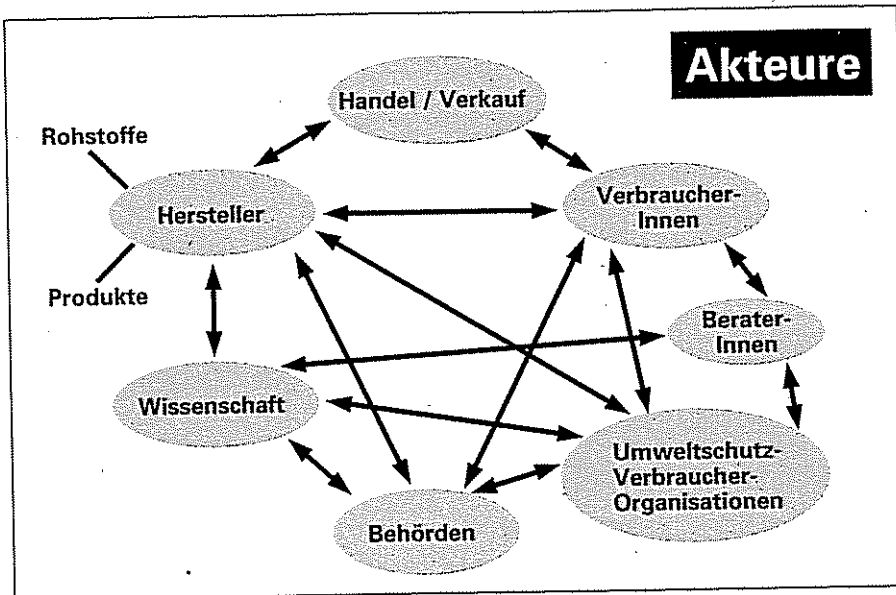
- Persistente Metaboliten
- Anreicherung im Klärschlamm (Nonylphenol, LAS)
- Phosphat-Ersatzstoffe (NTA, Citrat, Polycarboxylate, Phosphonate)
- EDTA

GENERATION IV

Vorsorge-Massnahmen:

- optimale Inhaltsstoffe
- bewusste Verwendung
- Umweltzeichen
- Ökobilanzen

Tab. 1
Die vier Generationen der Detergentien-Umweltprobleme



Laborstudien und umweltanalytische Untersuchungen über das Umweltverhalten der einzelnen Chemikalien. Daraus ergeben sich Angaben über die sogenannte Exposition, d.h. die Belastung der Umwelt durch die betreffenden Stoffe. In Kombination mit der Abschätzung möglicher ökotoxikologischer Effekte gelangt man zu einer Produktbeurteilung im klassischen Sinne. Die neuen Entwicklungen gehen in die Richtung der Erarbeitung sogenannter Ökobilanzen, in der auch Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Gebrauch und Entsorgung miteinbezogen werden. Beispielsweise unternimmt gegenwärtig ein prominenter Detergentienproduzent grosse Anstrengungen, um seine Tenside auf nachwachsender, natürlicher Rohstoffbasis herzustellen. Ein anderes Beispiel gibt ein schweizerischer Tensidhersteller, der seine Produktion von der Schweiz teilweise nach Belgien verlegt hat, um zu vermeiden, dass ein risikoreicher Ausgangsstoff über grosse Distanzen transportiert werden muss. Die EMPA St. Gallen gilt als international bekannte Institution für die Aufstellung solcher Ökobilanzen.

Die möglichen Massnahmen (Fig. 4) umfassen Massnahmen der Produzenten, Änderungen des Verbraucherverhalten und gesetzliche Vorschriften. Die Massnahmen der Hersteller sind Produktoptimierungen und wirken damit direkt an der Quelle einer möglichen Umweltbelastung. Es können Reduktion bis Verzicht auf gewisse Komponenten eingeführt werden, wobei immer möglich Probleme der Ersatzstoffe beachtet werden müssen. Von grosser Bedeutung ist die Entwicklung neuartiger Waschmethoden im Sinne des oben erwähnten Baukastensystems.

Eine neuere Entwicklung ist die Einführung eines Umweltzeichens für Waschmittel. In Deutschland wurde 1993 erstmals ein sogenannter 'Blauer Engel' für ein Waschmittel vergeben [4]. Die Kriterien, die für den blauen Engel erfüllt sein müssen sind in der Tab. 2 aufgeführt. Ähnliche Anforderungen sind in dem Vorschlag für ein Umweltzeichen (ecolabel) der Europäischen Union enthalten, über den gegenwärtig in Brüssel beraten wird. Die aufgestellten Forderungen sind vergleichs-

Fig. 2, 3, und 4
Akteure, Methoden und Massnahmen, die die Detergentien-Umweltproblematik beeinflussen bzw. kennzeichnen

Umweltzeichen für Waschmittel

- Baukastensystem
 - Grundwaschmittel – Enthärter
 - Bleichmittel
- Inhaltsstoffe
 - nicht zugelassene Komponenten
 - keine wassergefährdende Stoffe
 - aerobe und anaerobe Abbaubarkeit
 - geringe Toxizität
 - keine Bioakkumulation
 - keine stabile Abbauprodukte
- Ergiebigkeit und Dosierung
- Verbraucherinformation
- Verpackungsmaterial
- Gebrauchstauglichkeit

Tab. 2

Kriterien für die Vergabe des Umweltzeichens für Waschmittel in Deutschland (BMU, 1993)

weise streng, weil ganz bewusst über die gesetzlichen Vorschriften hinausgegangen wird, um einen Anreiz für umweltschonendere Produkte zu schaffen. Insbesondere die Erfüllung der anaeroben Abbaubarkeit bringt grössere Probleme für die zur Zeit wichtigste waschaktive Substanz, das LAS.

Kationische Tenside in Weichspülmitteln

In diesem Abschnitt wird als Fallbeispiel über Resultate von Untersuchungen berichtet, die zur Zeit in der Abteilung Chemie der EAWAG durchgeführt werden. Zielprodukte sind die sogenannten Weichspülmittel, die verwendet werden, um den Textilien einen möglichst weichen Griff zu geben. In der Schweiz wurden diese Produkte in den letzten Jahren in leicht zunehmendem Masse eingesetzt (Jahresverbrauch ca. 12'000 Tonnen bzw. 1,8 kg pro Kopf). Wichtigster Wirkstoff in den Weichspülmitteln war bis 1991 das kationische Tensid DSDMAC, das ab 1991 nicht mehr verwendet wird, und damit in der Folge auch nicht mehr in den Weichspülmitteln enthalten sein wird. Fig. 5 zeigt die chemischen Formeln für das DSDMAC und zwei zur Zeit eingesetzte Ersatzstoffe, die beide quaternäre Diester mit hydrolysierbaren Esterbindungen sind. Die Zielsetzung der EAWAG-Studien war die umweltanalytische Bestimmung der

DSDMAC-Gehalte in Faulschlammproben, um damit eine Kontrolle des freiwilligen Verzichtes auf diese Substanz durchzuführen. Die Tatsache, dass sich DSDMAC aufgrund grosser Affinität zu Oberflächen und anaeroben Persistenz im Faulschlamm anreichert, kann ausgenutzt werden, um Änderungen der Einsatzmengen zu überprüfen.

In einem ersten Projektteil wurde eine spezifische quantitative Bestimmungsmethode für DSDMAC in Schlammproben entwickelt. Hierfür mussten spezielle Extraktions-, Trenn- und Nachweisverfahren eingesetzt werden. Die Einzelheiten zu dieser Methodik werden an anderer Stelle beschrieben [1]. In Fig. 6 sind die Ergebnisse von 14 Kläranlagen im Kanton Zürich dargestellt. Während die DSDMAC-Gehalte im Februar noch durchschnittlich 3,5 g/kg Trockenschlamm betragen, wurden im November 1992 noch 0,7 g/kg gemessen. Laufende Untersuchungen weisen auf noch tiefere Werte für 1993 hin. Der analytisch feststellbare Rückgang der DSDMAC-Gehalte im Faulschlamm um

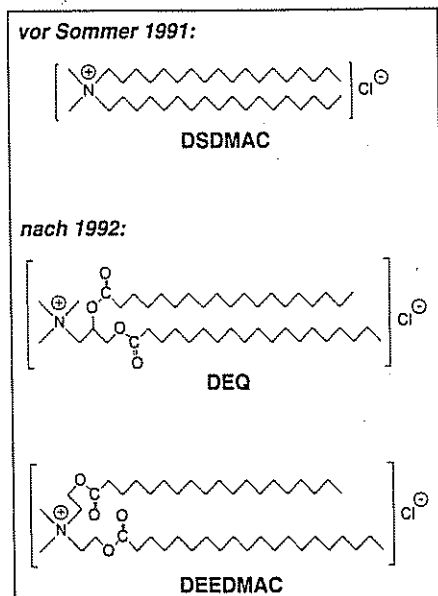


Fig. 5
Strukturformeln von kationischen Tensiden in Weichspülmitteln
Aufgrund der Klärschlamm-anreicherung und der Toxizität auf aquatische Organismen wurde in der Schweiz DSDMAC (Distearyldimethylammoniumchlorid) in der zweiten Hälfte von 1991 durch besser abbaubare Wirksubstanzen, die sogenannten Esterquats, ersetzt. Typische Ersatzprodukte sind DEQ (ein quaternärer Diesterylester von 2,3-Dihydroxypropyl-trimethylammoniumchlorid) und DEEDMAC (Distearyldiethoxyesterdimethylammoniumchlorid)

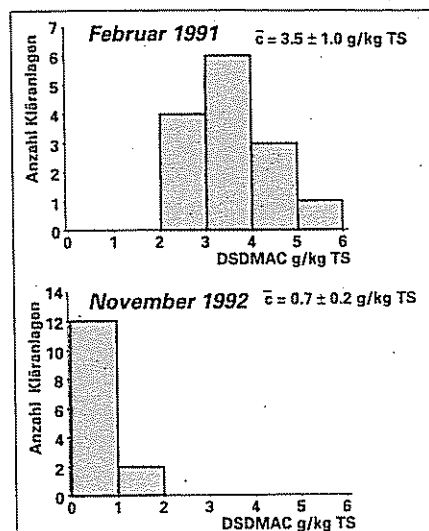


Fig. 6
Häufigkeitsverteilung der DSDMAC Konzentrationen in Faulschlämmen aus 14 verschiedenen mechanisch-biologischen Kläranlagen im Kanton Zürich. Die Probenahme erfolgte vor (Februar 1991) und nach (November 1992) dem Ersatz des DSDMAC.

etwa 80% kann auf den erfolgten Ersatz der Wirksubstanz zurückgeführt werden. Diese Werte widerspiegeln deutlich die Auswirkungen des freiwilligen Verzichtes der Produzenten. In einer nächsten Phase sollen unter Umständen die Ersatzstoffe überprüft werden. Hierfür muss möglicherweise die analytische Methodik wieder angepasst werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die EAWAG durch ihre umweltanalytischen Aktivitäten eine in ihrer Wirksamkeit nicht zu unterschätzende Kontrollfunktion ausübt.

- [1] Fernández P., Alder A. C. and Giger W. (1994). Determination of Cationic Surfactants in Sewage Sludges by Supercritical Extraction and HPLC, Publikation in Vorbereitung.
- [2] Giger W. (1989). Organische Verunreinigungen im Klärschlamm: Herkunft und Verhalten in der Umwelt. *Mitteilungen der EAWAG* 28D, 8–11.
- [3] Giger W., Schaffner C., Kari F.G., Ponusz H., Reichert P. und Wanner O. (1991). Auftreten und Verhalten von NTA und EDTA in schweizerischen Flüssen. *Mitteilungen der EAWAG* 32D, 27–31.
- [4] Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Jury Umweltzeichen, Grundlage für Umweltzeichenvergabe, Pressemitteilung, Bonn, 10.3.1993.

Roland Schertenleib

Umweltschutz in Entwicklungsländern: Eine Überlebensfrage

In den Entwicklungsländern stehen unterschiedliche Umweltprobleme im Vordergrund als im sog. entwickelten Norden

Im industrialisierten Norden stehen in der Umweltdiskussion weitgehend ökologische Probleme regionaler und globaler Natur im Vordergrund. Es handelt sich dabei nicht um akute und für den normalen Bürger direkt wahrnehmbare Gesundheitsprobleme. Wesentlich anders wird die ganze Umweltproblematik wahrgenommen von der Bevölkerung in den sog. Entwicklungsländern (EL). Die Mehrheit der rund 4 Milliarden Leute in der 3. Welt ist nach wie vor konfrontiert mit akut lebensbedrohenden und direkt wahrnehmbaren Problemen der direkten Umwelt (living environment).

Zu diesen akuten Umweltproblemen gehört beispielsweise die Tatsache, dass über eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu qualitativ und quantitativ genügendem Trinkwasser haben. Die Wasserquellen sind entweder stark verschmutzt oder die Wasserquellen befinden sich in so grosser Entfernung, dass im Haushalt pro Tag praktisch nur wenige Liter Wasser zur Verfügung stehen. (Um eine genügende persönliche Hygiene betreiben zu können sind mindestens 20-40 Liter pro Person und Tag erforderlich). Auf der Entsorgungsseite sieht die Situation noch prekärer aus: über 1,7 Milliarden Menschen sind praktisch ohne hygienische Fäkalienentsorgung [1].

Weitere akute Umweltprobleme entstehen dadurch, dass typischerweise in den Städten der 3. Welt nur ein kleiner Teil der kommunalen festen Abfälle eingesammelt wird. Dadurch entstehen innerhalb der Städte eine grosse Anzahl kleiner Abfalldeponien. Besonderen Anziehungspunkt bilden dabei die Entwässerungskanäle und Bachübergänge. Es kommt dazu, dass

auch jener Teil des Abfalles, der an sich eingesammelt wird, dort abgelagert wird, wo es physisch und mit minimalsten finanziellen Aufwand möglich ist. Geordnete und einigermaßen umweltverträgliche Abfalldeponien sind praktisch nicht vorhanden [2].

Diese direkt wahrnehmbaren Umweltprobleme sind nicht nur ästhetischer Natur sondern stellen vorallem eine grosse Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung dar. Dabei sind die armen Bevölkerungsschichten am meisten betroffen. Fig 1 zeigt, dass in den EL die Infektions- und Parasitenkrankheiten weitaus an der Spitze der Todesursachen stehen. Der grösste Anteil dieser Infektionskrankheiten stehen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit ungenügender WV bzw. Fäkalien- und Abfallentsorgung. Jährlich sterben in den Entwicklungsländern über 8 Millionen Menschen an den Folgen von verschmutztem Trinkwasser und mangelnder Hygiene, der grösste Teil davon sind Kinder. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Krankheits- bzw. Todesfälle einer Auswahl von Infektionskrankheiten, die in direktem oder indirektem Zusammenhang stehen mit ungenügender WV bzw. Fäkalienentsorgung. Die WHO schätzt, dass rund 80% aller Krankheiten weltweit mit ungenügender WV bzw. Fäkalienentsorgung in Zusammenhang stehen.

Krankheiten	Krankheitsfälle (in Mio./Jahr)	Todesfälle (in 1000/Jahr)
allg. Durchfallerkrankungen	3-5'000	4-5'000
Typhus	1	25
Spulwurmkrankheit	800-1000	20
Peitschenwurmkrankheit	500	WENIGE
Hakenwurmkrankheit	7-9000	50-60
Trachoma	6-9	
Bilharziose	200	200
Medinawurmkrankheit	>10	
Elephantiasis	80	
Malaria	800	1200
Flussblindheit	18	20-50

Quelle: WHO Geneva, 1992. Our Planet, Our Earth: Report of the WHO Commission on Health and Environment

Tab. 1 Beispiele von Infektionskrankheiten im Zusammenhang mit ungenügender Wasser- versorgung bzw. Fäkalienentsorgung [3]

Unter diesen Umständen ist es kaum verwunderlich, dass bei breiten Bevölkerungsschichten in den EL das unmittelbare Überleben im Vordergrund steht und die Sorgen des industrialisierten Nordens über ökologische und/oder globale Umweltprobleme auf relativ wenig Verständnis stossen.

Die ökologischen Umweltprobleme gewinnen auch in den Entwicklungsländern immer mehr an Bedeutung

Trotzdem muss man feststellen, dass objektiv gesehen auch in den EL - vorallem in den sich rasch industrialisierenden Ländern in Asien und Lateinamerika - die ökologischen Probleme immer mehr an Bedeutung zunehmen. So verschlechtert sich beispielsweise die Wasserqualität in verschiedenen Flüssen in EL zusehends (Fig 2). Dies ist eine direkte Folge davon, dass zum Beispiel in Lateinamerika weniger als 5% des Abwassers vor dessen Einleitung in einen Vorfluter gereinigt wird.

Diese Verschlechterung der Qualität der Oberflächengewässer hat nicht

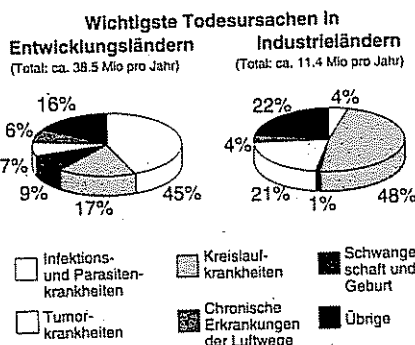


Fig. 1 Wichtigste Todesursachen in Entwicklungsländern bzw. Industrieländern [3]

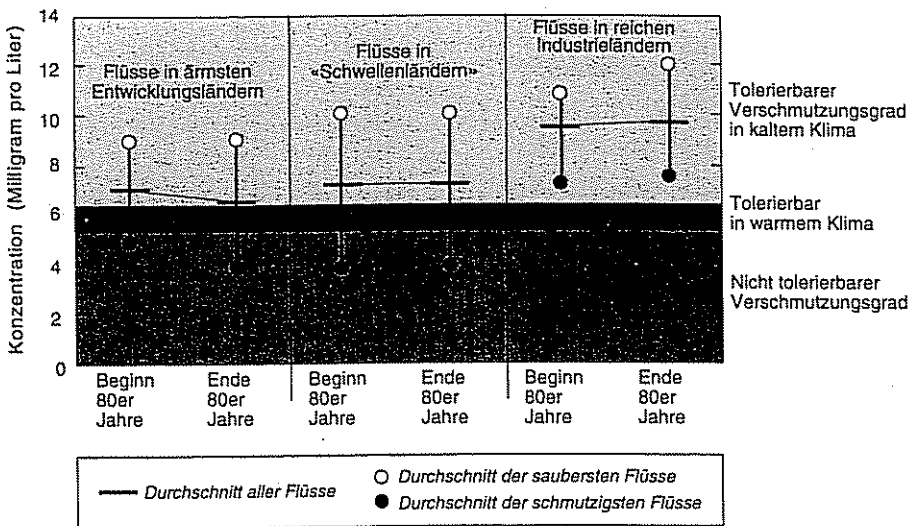


Fig. 2 Entwicklung der Sauerstoffkonzentrationen in Flüssen von Industrie- bzw. Entwicklungsländern [4]

«nur» ökologische, sondern z.T. auch handfeste wirtschaftliche Auswirkungen. Die ständig zunehmende Verschmutzung der Oberflächengewässer – vor allem durch Industrieabwasser – ist einer der Hauptgründe, weshalb die spezifischen Kosten für zukünftige Wasserversorgungen in manchen Städten der 3. Welt um das 2 bis 3-fache über den heutigen liegen werden (Fig 3). Ein Beispiel dafür bildet die Wasserversorgung der Stadt Shanghai, welche die Wasserfassung alle paar Jahre um einige Kilometer flussaufwärts verlegen werden muss, um das Rohwasser überhaupt noch mit einigermaßen vertretbarem Aufwand zu Trinkwasser aufbereiten zu können. In anderen Städten wie Dakar, Jakarta, Lima, Manila, Bangkok führt die Über-

nutzung des Grundwassers zu einer Infiltration von Meerwasser und zu einem Anstieg des Salzgehaltes im Grundwasser, so dass vermehrt stark verschmutztes Oberflächenwasser zu Trinkwasser aufbereitet werden muss [5].

Konsequenterweise müsste deshalb auch in den Städten der 3. Welt die Abwasserreinigung mit gleicher Priorität vorangetrieben werden wie die Trinkwasseraufbereitung. Dies ist aber aus ökonomischen Gründen meist nicht möglich, vor allem wenn man bedenkt, dass in den rasch industrialisierenden EL die verschiedenartigen Gewässerschutzprobleme heute praktisch gleichzeitig auftreten. Im Gegensatz dazu sind in den heutigen Industrieländern die Probleme zeitlich gestaffelt aufgetreten, so dass jedes Problem einzeln angepackt werden konnte (Fig. 4).

Die Ursachen für die globalen Umweltprobleme liegen weitgehend im industrialisierten Norden

Sowohl die akut auftretenden Umweltprobleme mit direkten Gesundheitskonsequenzen wie auch diejenigen eher ökologischer Natur zeigen sich am deutlichsten in den grossen städtischen Agglomerationen der 3. Welt. Dies ist zweifellos eine der negativen Konsequenzen des starken Bevölkerungswachstums und vor allem der rasant fortschreitenden Urbanisierung. Im Jahre 2025 wird fast die Hälfte der

Weltbevölkerung (d.h. ca. 4 Milliarden Menschen) in städtischen Gebieten von EL leben. 17 von diesen städtischen Agglomerationen werden eine Bevölkerung von über 10 Millionen aufweisen und in Asien allein werden mehr als 52 Städte mehr als 4 Millionen Einwohner und Einwohnerinnen zählen [6;7].

Trotzdem muss ganz klar festgehalten werden, dass trotz des starken Bevölkerungswachstums und trotz der dramatischen Urbanisierung in der 3. Welt die Ursachen für die globalen Umweltprobleme heute – und sicher noch für viele Jahre – weitestgehend im industrialisierten Norden liegen. Entscheidend ist nämlich nicht, wieviele Menschen in einer bestimmten Gegend oder auch auf der ganzen Welt leben, sondern wie sie leben. Vergleicht man den Energie- bzw. Ressourcenverbrauch in den Industrieländern mit demjenigen in den Entwicklungsländern, stellt man fest, dass der jährliche Geburtenzuwachs im industrialisierten Norden von 0,5 Prozent unter ökologischen Gesichtspunkten (Rohstoff- und Energieverbrauch) rund zwei- bis dreimal gravierender ist als das Bevölkerungswachstum von rund 1,7 Prozent in den Entwicklungsländern (Fig.5) [8].

Schlussfolgerungen

Während die akuten Umweltprobleme in den Entwicklungsländern weitge-

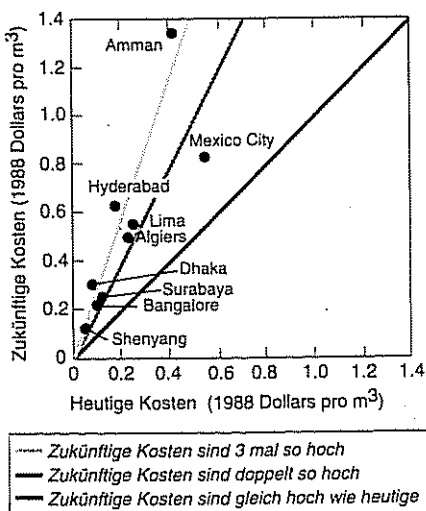


Fig. 3 Kosten zukünftiger städtischer Wasserversorgungen im Vergleich zu heutigen Kosten [4]

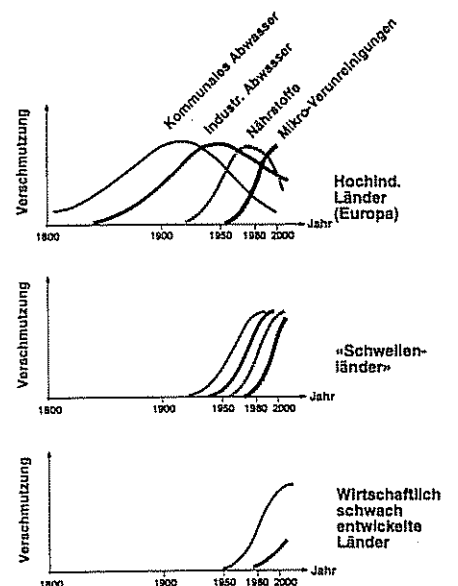


Fig. 4 Zeitliche Abfolge der Gewässerverschmutzung in verschiedenen Ländertypen [5]

hend Folgen der Armut und der ökonomischen Unterentwicklung sind, stehen die ökologischen Umweltprobleme im Norden primär im Zusammenhang mit einer ökonomischen «Über- oder Fehlentwicklung».

Im Süden sind es einerseits die ärmsten Bevölkerungsschichten, welche am meisten unter den schlechten Umweltbedingungen leiden und andererseits haben Umweltschutzmassnahmen in EL aus ökonomischen Gründen eine tiefe Priorität. Die Probleme des kurzfristigen Überlebens stehen weiterhin im Vordergrund. Das starke Bevölkerungswachstum steht damit in direktem Zusammenhang. Historisch gesehen war ein Rückgang des Bevölkerungswachstums immer eine Folge der ökonomischen Entwicklung und nicht umgekehrt. Dies bedeutet, dass der Lebensstandard auf das Bevölkerungswachstum einen entscheidenden Einfluss hat.

Im Gegensatz dazu, zeichnet sich der industrialisierte Norden aus durch eine starke Ressourcenverschwendung. Unter Berücksichtigung globaler Zusammenhänge führt dies dazu, dass der Ressourcenverbrauch in den Industrieländern die ökologische Tragfähigkeit der Erde und damit auch der EL gefährdet: Die Industriestaaten haben – im Unterschied zur Mehrheit der Entwicklungsländer – ihren «Umweltkredit» bereits aufgebraucht, da sie überdurchschnittlich viele Umweltressourcen verbraucht haben (gemessen

an der Bevölkerung oder gemessen an der Landfläche).

Dass in den Industrieländern der Ressourcenverbrauch eingeschränkt wird, ist genauso vordringlich, wie dass das Bevölkerungswachstum in den armen Ländern des Südens verlangsamt wird.

Beitrag der EAWAG

Als Eidg. Forschungsanstalt beschäftigt sich die EAWAG vorwiegend mit Umweltproblemen des industrialisierten Nordens, insbesondere der Schweiz. Gleichzeitig beschäftigt sich ein kleiner Forschungsbereich innerhalb der EAWAG («Siedlungshygiene in EL») aber auch mit den spezifischen Problemen der Wasserversorgung, der Abwasser- und Abfallentsorgung sowie des Gewässerschutzes in EL. Dabei geht es primär um die Frage, welche Massnahmen und Technologien bei unterschiedlichen ökonomischen, sozio-kulturellen und physischen Randbedingungen am besten angepasst (nachhaltig) sind.

In den vergangenen Jahrzehnten ist es trotz grossen internationalen Anstrengungen im Wassersektor nicht gelungen, den Versorgungsgrad in den unterentwickelten Regionen wesentlich zu steigern. In der Folge wurden zu Beginn der 90er Jahre neue Ansätze und Schwerpunkte in der Entwicklungszusammenarbeit formuliert, bei deren Entwicklung die EAWAG wesentlich mitbeteiligt war. Mit der Forderung: «some for all rather than more for some» wird das Schwergewicht heute auf die dauernde Verfügbarkeit von ausreichenden Mengen sauberen Wassers für alle Menschen gelegt. Massnahmen der Siedlungshygiene werden auf eine grösstmögliche räumliche Ausdehnung angelegt. Als wichtigste Leitsätze für die Umsetzung gelten: [9]

- Schutz der Gesundheit und der Umwelt mittels integraler Bewirtschaftung der Wasserressourcen und der flüssigen und festen Abfälle;
- Institutionelle Reformen zur Förderung eines integralen Ansatzes – einschliesslich Änderungen in den Verfahrensweisen, Gewohnheiten und im Verhalten – sowie die volle Mitbestimmung der Frauen in allen

Bereichen der Institutionen des Sektors;

- Betrieb von Anlagen durch lokale Gemeinschaften und Förderung von Massnahmen zur Stärkung der lokalen Institutionen in der Planung und Durchführung nachhaltiger Wasser- und Siedlungshygiene-Programme;
- Verbesserte Nutzung und Verwaltung der bestehenden Anlagen durch die Anwendung betriebswirtschaftlicher Grundsätze und durch einen konsequenten Einsatz von angepassten Technologien.
- Die Ressourcen Wasser und Boden sollen auf dem tiefstmöglichen institutionellen Niveau verwaltet werden.
- Wasser hat einen wirtschaftlichen Wert in all seinen Nutzungsformen und muss daher als ökonomisches Gut behandelt werden.

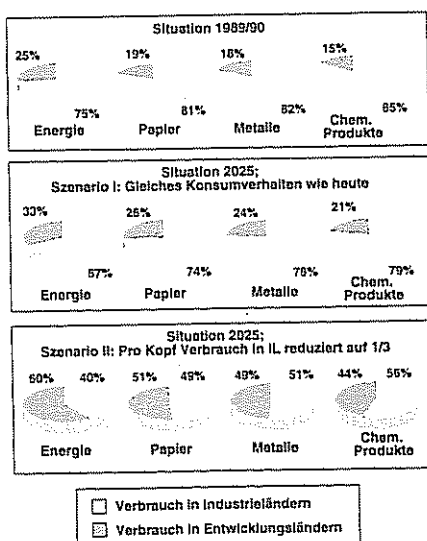


Fig. 5 Vergleich des Ressourcenverbrauches in Industrie- bzw. Entwicklungsländern

- [1] WHO. The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade; End of decade review. Geneva, 1992
- [2] Schertenleib R. und Meyer W. Municipal Solid Waste Management in Developing Countries: Problems and Issues; Need for future Research. IRCWD News No. 26, 1992
- [3] WHO. Our planet, our health. Geneva, 1992
- [4] The World Bank. World Development Report 1992: Oxford University Press, 1992
- [5] Schertenleib R. Flüsse als Objekte vielfältiger Nutzung in Entwicklungsländern. EAWAG news 32D, 1991
- [6] UNCHS/Habitat. Urbanization and sustainable development in the third world: an unrecognized issue. Nairobi, 1989
- [7] UN/ESCAP. State of the Environment in Asia and the Pacific 1990. Bangkok, 1992
- [8] Sachs Ignacy. Transition strategies for the 21st century. Nature & Resources, Vol. 28, Number 1, 1992
- [9] DEH Fachdienst Wasser. Sektorpolitik Wasserversorgung und Siedlungshygiene. Bern, 1993

Ueli Bundi

Stickstoffhaushalt in der Schweiz

Wegweiser zum Umweltmanagement

Die Stickstoffproblematik erfordert Strategien, welche die intensive Vernetzung verschiedenster Umweltprozesse und menschlicher Aktivitäten berücksichtigt. Wichtigste Verursacher von Umweltproblemen mit Stickstoff sind die Landwirtschaft und die Verbrennungsprozesse inklusive dem motorisierten Verkehr. Ein vordringlicher Handlungsbedarf besteht in der Landwirtschaft. Davon sind viele weitere Belange der Umwelt, der Wirtschaft, der sozialen Situation und der Politik betroffen. Eine allgemeine Neuorientierung der Landwirtschaft erweist sich als unumgänglich.

Probleme und Handlungs- erfordernisse

Stickstoff spielt im Umweltgeschehen eine Schlüsselrolle. Er tritt in verschiedenen Formen auf und ist sowohl lebenswichtiger Nährstoff als auch Schadstoff. Seine Umsätze und Konzentrationen in der Umwelt werden durch menschliche Aktivitäten stark erhöht. Das führt zu vielfältigen Problemen in Wasser, Boden und Luft, und damit für Mensch, Tiere, Pflanzen und Ökosysteme. Diese Probleme werden in [1] und [3] eingehend dargestellt.

Ursachen und Manifestationen liegen bei den meisten Stickstoffproblemen örtlich nah beieinander. Für die Problemlösungen braucht es deshalb lokale und regionale Ansätze. Diese sollen im nationalen und allenfalls internationalen Rahmen nach gemeinsamen Prinzipien entwickelt werden. Die Schweiz muss sich aber nicht nur mit den Stickstoffproblemen im eigenen Land auseinandersetzen. Im Rahmen internationaler Übereinkommen ist sie auch gefordert, den Stickstoffexport via Rhein zum Schutz der Nordsee massgeblich zu reduzieren.

Die verschiedenartigen Probleme mit Stickstoff haben gemeinsame Ursachen, so in der Landwirtschaft, in der Mobilität und im Wasserkomfort. Sie sind via komplexe natürliche und anthropogene Prozesse eng miteinander verknüpft. Abhilfemassnahmen sind in allen Ursachenbereichen nötig. Zur Optimierung der Wirkung und zur Vermeidung kontraproduktiver Ef-

fekte müssen die Massnahmen in der Landwirtschaft, bei den Verbrennungsprozessen, beim Verkehr und in der Abwasserreinigung gut aufeinander abgestimmt werden. Dabei sind viele weitere Umweltbelange, die vom Stickstoffmanagement mitbetroffen sind, zu berücksichtigen.

Stickstoffhaushalt in der Schweiz 1990

In Fig. 1 ist der Stickstoffhaushalt in der Schweiz dargestellt [1]. Aufgeführt sind die wichtigsten Flüsse zwischen *Anthroposphäre* (Bevölkerung, Haushalte, Industrie und Gewerbe, Verkehr, Siedlungsflächen), *Atmosphäre*, *Pedosphäre* (Land- und alpwirtschaftliche Nutzflächen, Wald, unproduktive Flä-

chen, Nutztiere) und *Hydrosphäre* (Oberflächengewässer, Grundwasser). Dabei wird nicht nach den verschiedenen Stickstoffverbindungen differenziert.

Die wichtigsten treibenden Kräfte für die gegenwärtigen Stickstoffverfrachtungen in der Umwelt sind die Dünger- und Futtermittelimporte in die Schweiz (insgesamt 95'000 Tonnen Stickstoff pro Jahr), die Art und Weise der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung, der motorisierte Verkehr sowie die Wassernutzung in den Haushalten (Stichwort Wasserklosetts). Diese bewirken hohe Stickstoffeinträge in den Boden, das Wasser und die Luft. Dadurch werden komplizierte natürliche Prozesse angekurbelt, die ihrerseits die Verfrachtungen zwischen den Sphären massiv erhöhen.

So ermöglichen die Mineraldüngerimporte eine gesteigerte landwirtschaftliche Produktivität. Es lassen sich beispielsweise mehr Futtermittel produzieren, und die Viehdichte kann erhöht werden. Die Kehrseite der Medaille zeigt sich in grösserem Hofdüngeranfall, stärkerer Ammoniakbelastung der Luft und erhöhter Nitrat-

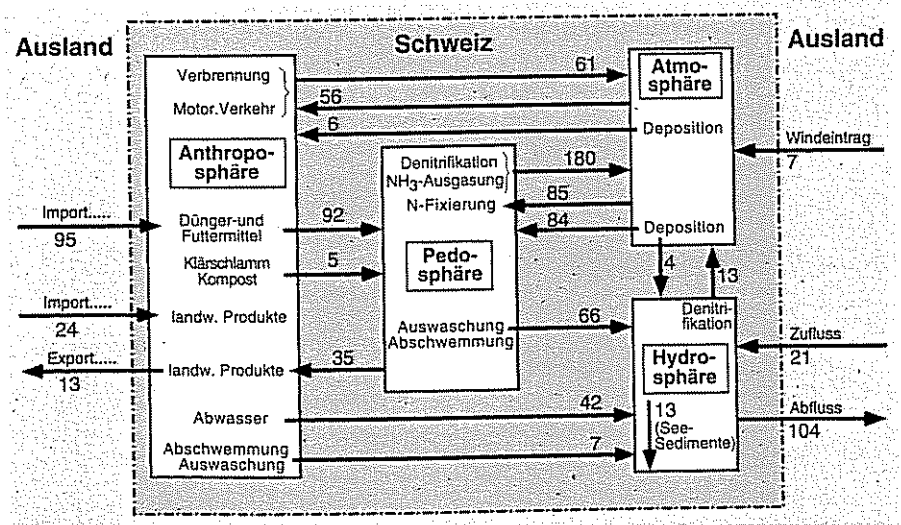


Fig. 1
Stickstoffhaushalt in der Schweiz 1990

Angaben in 1000t Stickstoff pro Jahr der wichtigsten Ursachen für N-Flüsse. Zurückführend auf Datenunsicherheiten bestehen bei den einzelnen Sphären Bilanzdifferenzen, die allerdings unerheblich sind.

Ursachenbereich	Reduktionspotential ¹⁾		Kosten/Nutzen-Wirksamkeit in Fr./kg vermiedener N-Eintrag	Zeitdauer ²⁾ der Wirksamwerdung in Jahren
	in kt N/J	in % der Gesamtbelastung		
Verbrennung/Verkehr ³⁾	6	5%	80 - 4'000	5 - 15
Abwasser-Reinigung	25	21%	15 - 25	5 - 15
Landwirtschaft ³⁾	30	25%	5 - 100 ⁴⁾	10 - 20

Fig. 2
Gesamtschweizerische Potentiale zur Reduktion der Stickstoffbelastung der Hydrosphäre

- Die Gesamtbelastung der Hydrosphäre Schweiz aus dem nationalen Einzugsgebiet beträgt 119 kt N/J
- Berücksichtigt ist die Realisierungsdauer der Massnahmen und die Reaktionsträgkeit des Bodens. Vorausgesetzt wird, dass die nötigen Vollzugsinstrumente schon existieren oder innert 1-3 Jahren geschaffen werden.
- Die Massnahmen in den Bereichen Landwirtschaft und Verbrennung/Verkehr reduzieren den Nitrateintrag ins Grundwasser und haben viele weitere Umweltnutzen.
- Diese Kosten implizieren Einkommensneutralität der getroffenen Massnahmen unter den heutigen Produktpreisbedingungen.

auswaschung aus dem Boden ins Grundwasser. Die Düngerimporte, zum Nutzen der landwirtschaftlichen Produktion getätigt, werden somit grösstenteils zu Umweltbelastungen mit erheblichen volkswirtschaftlichen Folgekosten.

Im schweizerischen Einzugsgebiet gelangen *jährlich 119'000 Tonnen Stickstoff* in die Gewässer. Davon stammen

- 38% aus der Landwirtschaft
- 35% aus dem Abwasser
- 8% aus Verbrennungsprozessen (Motorfahrzeuge, Industrie, Heizungen)
- 2% aus diversen kleineren Quellen
- 17% aus natürlichen Quellen

Die heutige Stickstoffbelastung der Gewässer macht somit in der Schweiz rund das Sechsfache der ursprünglichen aus. Von Region zu Region bestehen allerdings grosse Unterschiede. Mit dem Wasser werden jährlich 104'000 Tonnen Stickstoff aus der Schweiz, inklusive dem ausländischen Einzugsgebiet der Grenzgewässer, ins Ausland exportiert, davon 81'000 Tonnen mit dem Rhein.

Dass die Schweiz heute unter einer massiv erhöhten Stickstoffbelastung leidet, zeigt eine gleichzeitige Betrachtung der *Atmosphäre*. Jährlich werden 254'000 Tonnen Stickstoff in die Luft emittiert, davon 135'000 Tonnen in schädlichen Verbindungen. Die Ver-

brennungsprozesse liefern 56'000 Tonnen Stickoxid-Stickstoff. Die Landwirtschaft trägt mit 47'000 Tonnen Ammoniak- und 20'000 Tonnen Lachgas-Stickstoff zur Luftbelastung bei. Weitere Emittenten und natürliche Prozesse sind für den Rest von 12'000 Tonnen Ammoniak- und Lachgas-Stickstoff verantwortlich.

Nutzen und Kosten von Abhilfemassnahmen

Bei der Wahl der Massnahmen zur Reduktion der schädlichen Stickstoffflüsse muss ein optimaler Mitteleinsatz angestrebt werden. Dabei gilt es, sowohl die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Stickstoffverbindungen als auch die Wechselwirkungen zwischen Wasser, Boden und Luft bestmöglich in Rechnung zu stellen. In einer Studie der Eidgenössischen Gewässerschutzkommission [1] wurden verschiedene Massnahmenpakete untersucht:

Für die *Verminderung der Stickoxidemissionen* bestehen in der Schweiz breitgefächerte Absichten. Es handelt sich um die im *bundesrätlichen Luftreinhaltekonzept* [2] von 1986 postulierte Massnahmen, später hinzugekommene Ergänzungen sowie um Extramassnahmen der Kantone. Viele der Massnahmen wurden bereits reali-

siert oder sollen in den kommenden Jahren realisiert werden. Wesentliche Fortschritte könnten durch wirtschaftliche Anreize zur Reduktion des Brenn- und Treibstoffverbrauchs, wie seit einiger Zeit politisch diskutiert, erzielt werden.

Im Bereich der *Abwasserreinigung* stehen verschiedene Konzeptionen für die Stickstoffentfernung aus dem Abwasser zur Wahl. Diese umfassen im wesentlichen verschiedene Ausbaupotentiale auf biologische Denitrifikation (nach vorgängiger Nitrifikation). Einbezogen wurde die Ausstattung aller Kläranlagen mit mehr als 10'000 angeschlossenen Einwohnerwerten mit teilweiser oder vollständiger Denitrifikation.

Zur Reduktion der Stickstoffemissionen aus der *Landwirtschaft* bieten sich einerseits agrartechnische Massnahmen an und andererseits solche, die auf eine Nutzungsextensivierung abzielen. Im einzelnen handelt es sich um verbesserte Stalltechniken und Düngungspraktiken, angepasste Fruchtfolgen, das Vermeiden von Brache, die Reduktion der Viehdichte, integrierte oder biologische Produktionsweisen sowie die Stilllegung landwirtschaftlicher Nutzflächen und Schaffung ökologischer Ausgleichsflächen (Fig. 3).

Betrachtet man nun die *Stickstoffbelastung der Hydrosphäre*, so ergeben sich für die verschiedenen Ursachenbereiche die in Fig. 2 zusammengestellten Entlastungspotentiale und Kosten/Nutzen-Wirksamkeiten.

Abwasserreinigung kontra Agrarmassnahmen

Die Angaben in Fig. 2 bedürfen einer zusätzlichen Interpretation und Bewertung. Insbesondere müssen alle Umwelteffekte der Massnahmen, nicht nur die pauschalierte Stickstoffentlastung der Hydrosphäre, einbezogen werden. Das kann am besten anhand eines Vergleiches illustriert werden:

Durch zusätzliche Verfahrensschritte in den *Kläranlagen* kann der Stickstoffeintrag in die Fliessgewässer und Seen bei einem jährlichen Aufwand von etwa *450 Millionen Franken* (Betriebs- und Kapitalkosten) um jährlich 25'000 Tonnen reduziert werden. Der Nutzen dieser Massnahme ist aller-

dings beschränkt. Das Grundwasser, das in erster Linie unter Stickstoffproblemen leidet, wird nur geringfügig entlastet. Ausserdem ist auch nicht ausreichend belegt, dass der Eintrag von Stickstoff für die Nordsee tatsächlich ein so grosses Problem ist, dass die hohen Kosten eines raschen Ausbaus der Abwasserreinigung gerechtfertigt wären.

Mit jährlichen volkswirtschaftlichen Aufwendungen von etwa 500 Millionen Franken in der Landwirtschaft lässt sich die Stickstoffbelastung der Gewässer um rund 20'000 Tonnen pro Jahr reduzieren. Davon profitiert zuerst das Grundwasser; es kann ein wesentlicher Beitrag zur Entschärfung seiner Nitratbelastung geleistet werden. Gleichzeitig wird die Belastung der Luft mit schädlichem Ammoniak-Stickstoff aus der Landwirtschaft um etwa 15'000 Tonnen pro Jahr verringert (eine analoge Reduktion der Stickoxide aus den Verbrennungsprozessen hätte volkswirtschaftliche Kosten von jährlich einigen Milliarden Franken zur Folge). Darüber hinaus wirken sich diese Massnahmen günstig aus auf Oberflächengewässer, Natur und Boden.

Zur Reduktion der immer noch steigenden Nitratbelastung des Grundwassers sind Änderungen in der land-

wirtschaftlichen Bodennutzung sogar unabdingbar. Wichtige Fortschritte lassen sich hier durch konsequente Umsetzung der bestehenden Gesetzgebung (Gewässerschutz-, Umweltschutz- und Landwirtschaftsgesetz) erzielen. Paradebeispiel ist die *ausgeglichene Düngerbilanz*, die einen entscheidenden Schritt darstellt, vorausgesetzt, Vollzug und Kontrolle sind sichergestellt.

Neuorientierung der Landwirtschaft

Die Gegenüberstellung zeigt, dass in der Landwirtschaft ein *vordringlicher Handlungsbedarf* besteht zur Lösung von Umweltproblemen mit Stickstoff. Davon sind viele weitere Belange der Umwelt, aber auch der Wirtschaft, der sozialen Situation und der Politik betroffen. Damit stösst man auf die heute intensiv diskutierten Fragen um die Ökologisierung und wirtschaftliche Neuausrichtung der Landwirtschaft. In Fig. 3 sind wichtige Elemente dieser Neuorientierung, wie sie sich aus der Stickstoffanalyse ergeben, zusammengestellt.

Eine weitgehende Realisierung der aufgeführten Massnahmen hätte, immer unter Vorgabe von Einkommensneutralität auf dem heutigen Produkte-

preisniveau, volkswirtschaftliche Kosten von bis zu jährlich anderthalb Milliarden Franken zur Folge. Diese werden allerdings durch vielfältige Umweltnutzen und damit einhergehend, durch Einsparungen bei der Behebung von Umweltschäden und bei der Überschussverwertung stark relativiert.

Die Kompensation der Mehraufwendungen und Einkommenseinbussen kann, entsprechend bestehenden politischen Ansätzen, teilweise via *Direktzahlungen* erfolgen. Dabei erweist sich deren *strikte Anbindung an ökologische Leistungen* aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht als absolutes Muss.

Parallel dazu wäre der in der Landwirtschaft bestehende *Vollzugswirrwarr* abzubauen. Ein *koordinierter Vollzug* der Massnahmen zum Gewässer-, Boden- und Naturschutz sowie zur Luftreinhaltung bildet die unabdingbare Voraussetzung für einen akzeptierbaren und effizienten Umweltschutz in der Landwirtschaft.

Gesamtstrategie

Eine zweckmässige Gesamtstrategie steht unter der Maxime, den Mitteleinsatz zur Lösung der Umweltprobleme mit Stickstoff unter Berücksichtigung weiterer Umweltbelange zu optimieren. Innert 5–10 Jahren sollten diejenigen Massnahmen ergriffen werden, die nötig sind, um die anthropogene Stickstoffbelastung des Grundwassers (Nitrat) und der Luft (Stickoxide, Ammoniak) um 50% zu reduzieren. Folgende Stossrichtungen sind zu verfolgen:

1. Ökologisierung Landwirtschaft

- unter Einsatz marktwirtschaftlicher Anreize, die teilweise auch wirtschaftlich-soziale Härten abfedern sollen
- unter betriebsweiser Koordination der verschiedenartigen Umweltanliegen

2. Luftreinhaltkonzept weiterentwickeln und konsequent umsetzen

- unter Einsatz marktwirtschaftlicher Anreize zur Reduktion des Brenn- und Treibstoffverbrauchs

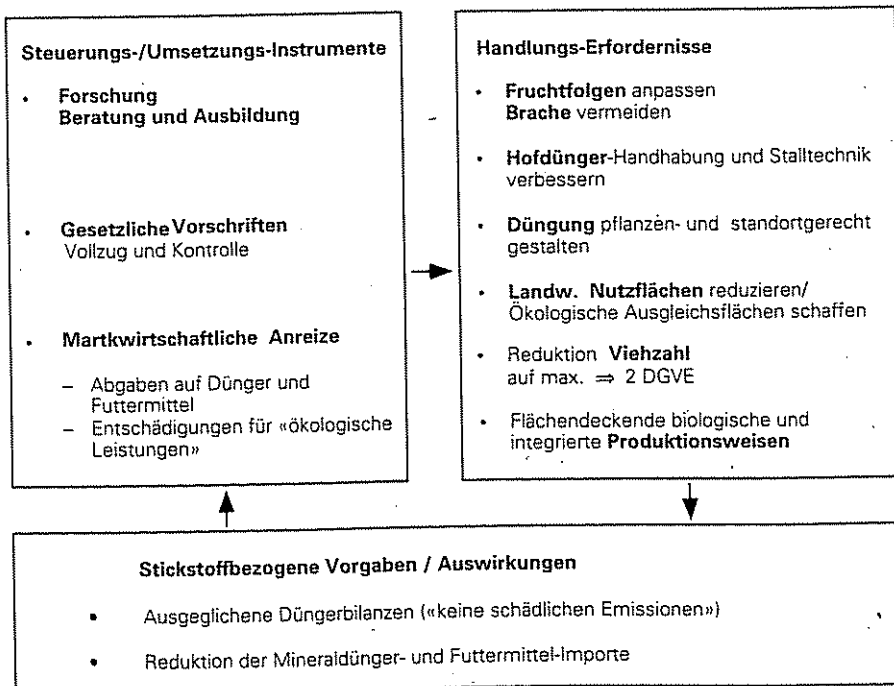


Fig. 3
Massnahmen zur Neuorientierung der Landwirtschaft aus Optik der Stickstoff-Umweltproblematik

3. Kläranlagen ökologisch-verfahrenstechnisch-ökonomisch optimieren

- innert der nächsten 20 Jahre
- unter Einsatz marktwirtschaftlicher Anreize (Abwasserabgaben)

Der Handlungsschwerpunkt Landwirtschaft wird im vorhergehenden Abschnitt erläutert. Was die Kläranlagen betrifft, sollten diese, entgegen der international favorisierten Linie, nicht mit hohem Investitionsaufwand innert kurzer Frist zur Stickstoffelimination ausgebaut werden. Die Weiterentwicklung der Abwasserreinigung nach ökologischen, verfahrenstechnischen und ökonomischen Gesichtspunkten erfordert Zeit und wird vernünftigerweise im normalen Erneuerungsrythmus der Anlagen vollzogen. Weiterhin unbestritten ist jedoch die im Luftrein-

haltekonzept des Bundesrates angestrebte *Reduktion der Stickoxidemissionen*. Zusätzlich zur Verbesserung der lufthygienischen Situation lässt sich damit auch ein erheblicher Nutzen für den Gewässer-, Boden- und Naturschutz erzielen.

Bei Ausschöpfung aller unter den heutigen gesellschaftlichen Randbedingungen denkbaren Möglichkeiten könnte die Stickstoffbelastung der Umwelt in Teilbereichen (Luft/NO_x, Grundwasser) bis um zwei Drittel gesenkt werden.; die Belastung der Oberflächengewässer liesse sich bis zum Jahr 2010 um rund 50% reduzieren. Daraus ergäben sich volkswirtschaftliche Kosten von über zwei Milliarden Franken pro Jahr. Noch weitergehende Reduktionen würden fundamentale Umorientierungen bei

der Wassernutzung, beim Verkehrs- und Konsumverhalten sowie in der Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung erfordern.

Schliesslich bleibt zu vermerken, dass die Schweiz wesentliche Beiträge zum *Schutz der Nordsee* erbringen wird, wenn es ihr gelingt, ihren eigenen Stickstoffhaushalt ins Lot zu bringen.

- [1] Eidg. Gewässerschutzkommission, BUNDI U. und D. Leu et al., Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz – Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung, Schriftenreihe Umweltschutz, BUWAL Bern, November 1993
- [2] Luftreinhaltekonzept des Bundesrates, Bern, 10. September 1986
- [3] EAWAG news 30, Stickstoff in Wasser und Luft – Implikationen für den Gewässerschutz, Dübendorf, Dezember 1990

Ueli BUNDI

Vom Umweltschutz zum Umweltmanagement

und die Konsequenzen für die EAWAG

Umweltmanagement ist systembezogenes Handeln, dessen Zielrichtung durch Nachhaltigkeitskriterien bestimmt wird. Dabei kann es um einen gesamtheitlichen Schutz von Ökosystemen oder um die umweltverträgliche Ausgestaltung von Technologien oder ganzen Aktivitätsbereichen gehen. Die EAWAG richtet ihre Tätigkeit auf die Erfordernisse des Umweltmanagements aus und setzt sich für die schrittweise Reduktion der Ressourcenbeanspruchung und der Umweltbelastung ein.

Umweltmanagement – nichts Neues, aber ...

Der Titel dieses Beitrages, zugleich Titel des Infotages 1993 der EAWAG, ist *rhetorisch*. Damit soll die Notwendigkeit neuer Denk- und Handlungsweisen ausgedrückt werden. In Tat und Wahrheit ist Umweltschutz immer ein wichtiges Ziel des Umweltmanagements, umgekehrt enthält der herkömmliche Umweltschutz zunehmend auch Elemente des Umweltmanagements.

Als Beispiel können die ab den 70er Jahren entwickelten *Strategien*

zur *Seensanierung* angeführt werden. Diese Strategien basieren auf einer modellhaften Erfassung der seinterne Prozesse, welche erlauben, die Belastbarkeit individueller Seen mit Phosphor unter Vorgabe eines Zustandszieles herzuleiten. Für die Reduktion der jeweiligen, zu hohen Phosphorbelastung werden sodann Massnahmen bezüglich der verschiedenen Quellen von Phosphor postuliert. Vor diesem Hintergrund wurden vielerorts die Kläranlagen zur weitestgehenden Phosphorelimination aus dem Abwasser ausgebaut, 1986 in der Schweiz das Verbot phosphathaltiger

Waschmittel ausgesprochen und Massnahmen zur Reduktion der landwirtschaftlichen Phosphoreinträge gefordert.

Dieses «Umwelt-Management» hat allerdings *Grenzen*: Die Abwasserreinigung bedarf eines hohen Einsatzes an technischen, materiellen und finanziellen Mitteln, wie er wohl nur in Überfluggesellschaften möglich ist; die unabdingbaren Massnahmen in der Landwirtschaft konnten nur in höchst bescheidenem Umfang realisiert werden; und weitere für die Seenökologie wichtige Belange, wie etwa die Bewahrung naturnaher Flachwasser- und Uferzonen, wurden gar nicht erst einbezogen. Die Strategien zur Seensanierung sind somit, obwohl für ihre Zeit vorbildlich, zu sektoriell und nur teilweise auf die technischen, wirtschaftlichen und verhaltensmässigen Problemursachen ausgerichtet. Dass dem so ist, liegt

wohl vor allem im gesellschaftlichen Unvermögen, die Interessenkonflikte bei der Ressourcenbeanspruchung in ihren Ursachen zu verstehen und anzugehen.

Umweltmanagement pragmatisch umschrieben

«Umweltmanagement» im modernen Verständnis heisst «*systembezogenes Handeln*». Dieses hat verschiedene Facetten, von denen einige kurz dargelegt sind:

Die Massnahmen zum Schutz einzelner oder gegenseitig verbundener Umweltgüter werden *ökologisch-ökonomisch optimiert*. Das heisst, man ergreift jene Massnahmen, welche die günstigsten Umweltnutzen/Kosten-Relationen aufweisen; auf wenig relevante, aufwendige Verbesserungen wird verzichtet. Damit kann mit gegebenen Mitteln der grösstmögliche Umweltnutzen erzielt werden. Angesichts der Grenzen technisch-kurativer Massnahmen treten dabei *ursachenbezogene, präventive Massnahmen* in den Vordergrund. Solche sind allerdings kaum je «isoliert» realisierbar; sie haben meistens einen Rattenschwanz von Konsequenzen unterschiedlichster Art: Letztlich erweist es sich als unausweichlich, *ganze Wirtschaftszweige und Aktivitätsbereiche umweltverträglich zu gestalten*. Massgebend dafür, ob dies überhaupt möglich ist, sind oft wirtschaftliche, soziale und kulturelle Belange. Ohne *Einbezug der gesellschaftlichen Zusammenhänge* scheinen tragfähige Fortschritte nicht denkbar.

Bei diesem neuen, umfassenden Handeln ist die Zielrichtung durch *Nachhaltigkeitskriterien* bestimmt. Wiewohl es heute Definitionen für Nachhaltigkeit gibt, müsste wohl eher von Nachhaltigkeitsbestreben gesprochen werden, das sich als «nach bestimmten Grundsätzen orientiertes Tasten» versteht: Es gilt, den Verbrauch von natürlichen Ressourcen zu reduzieren, Stoffkreisläufe «zu schliessen», ökologische Netzwerke zu gewährleisten und bei alledem soziale und wirtschaftliche Einbrüche zu umgehen.

In dieser Sichtweise kommt eine Abkehr von einer einseitigen Ausrich-

tung auf Naturbewahrung zum Ausdruck. Der Mensch ist Teil der Natur und prägt sie durch sein Tun unausweichlich. Man hat sich damit abzufinden, dass es unberührte Natur, ausser in Nationalparks, nicht geben kann. Die neue Devise lautet «*Umweltgestaltung*».

Diese allgemeinen Betrachtungen werden im Artikel «Stickstoffhaushalt in der Schweiz – Wegweiser zum Umweltmanagement» zumindest teilweise konkret untermauert.

Konsequenzen für die EAWAG

Das Umweltmanagement stellt für die EAWAG eine Herausforderung dar, der sie sich in Forschung, Lehre und Beratung stellen will (siehe dazu den Artikel von Alexander J.B. Zehnder «Thesen zur Umweltentwicklung»).

Die EAWAG wird sich in den kommenden Jahren für die schrittweise Reduktion der Ressourcenbeanspruchung und der Umweltbelastung einsetzen. Damit will sie Entwicklungen unterstützen, welche auf die langfristige Sicherung einer hohen Lebensqualität ausgerichtet sind.

Sie ist bestrebt,

- national und international wirksame Beiträge zur Entwicklung wissenschaftlich fundierter *Umweltschutz- und Entwicklungskonzepte* auf lokaler, regionaler und globaler Ebene zu leisten und
- bei Problemlösungen neben innovativen, naturwissenschaftlich-technischen Ansätzen vermehrt auch *gesellschaftliche Aspekte* zu berücksichtigen.

Diese Absichten finden ihren Ausdruck in der 1993 erfolgten Ansiedlung einer Gruppe für Humanökologie an der EAWAG (siehe dazu EAWAG news 35), in der Tätigkeitsausrichtung der Fachbereiche und speziell im Forschungs-Schwerpunkt der EAWAG.

Der *Forschungs-Schwerpunkt 1993–1997* trägt den Titel «*Nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung am Beispiel Gewässer und anthropogener Sedimente*». Darin sollen regionale Bewirtschaftungskonzepte für die Gewässer-Netzwerke, das Grundwasser, Abfalldeponien, schadstoffbelastete Böden und Sedimente entwickelt werden. Das Erarbeiten technologischer

Expertise, speziell im Bereich der Altlastensanierung, spielt bei diesem Unterfangen eine wichtige Rolle. Schliesslich sollen Unterlagen für insgesamt nachhaltige Regionalentwicklungen gewonnen werden, indem die Erkenntnisse aus den Teilbereichen gegenseitig verknüpft werden. Zur erfolgreichen Realisierung der Absichten ist eine intensive Zusammenarbeit mit externen Partnern aus Wirtschaft, Behörden und Privatwirtschaft unabdingbar. Dieser Forschungs-Schwerpunkt wird in den EAWAG news 35 eingehend umschrieben.

Daneben sind weitere Projekte im Gang oder geplant, in denen wissenschaftliche Grundlagen, Methoden, Technologien und Konzepte des Umweltmanagements erarbeitet werden. Hervorzuheben ist das geplante Vorhaben, *umweltgerechte Technologien in Verbindung mit neuen Siedlungs- und Regionalstrukturen* zu entwickeln. Dabei sollen Lösungen für langfristig tragfähige (ökologisch und ökonomisch) Ver- und Entsorgungssysteme konzipiert und erprobt werden.

Im speziellen wird es darum gehen

- Visionen für eine Siedlungs- und Regionalentwicklung zu entwerfen, in denen die nachhaltige Ressourcennutzung integrierter Bestandteil ist (Zeithorizont 30–50 Jahre),
- integrale Systeme der Siedlungswasserwirtschaft, unter Zusammenführung der Belange der Gewässer sowie der Ver- und Entsorgung, zu entwickeln und
- eine ressourcenschonende Feststoffwirtschaft in Siedlungen zu konzipieren.

Mit den hier aufgeführten und weiteren Beiträgen zum *Umweltmanagement* verfolgt die EAWAG zwei unterschiedliche, gegenseitig aber stark verbundene Zielrichtungen: Einerseits will sie mithelfen, *regionalwirksame Probleme* der Ressourcennutzung und der Umweltbeeinträchtigung zu bewältigen; andererseits wirkt sie darauf hin, dass in der Schweiz auf regionalem und nationalem Niveau Beiträge zum *Management globaler Umweltprobleme* erarbeitet werden.

Bernhard Truffer, Gregor Dürrenberger und Silvia Rothen

Wird das «Auto der Zukunft» in der Schweiz entwickelt?

Anmerkungen zum Supercars-Workshop der EAWAG vom 20./21. September 1993

Veranstaltungen

Gibt es ökologisch sinnvolle Alternativen zum heutigen Automobil und wie können sie realisiert werden? Diese Fragen standen im Mittelpunkt eines internationalen Workshops, welcher am 20. und 21. September 1993 von der Gruppe Humanökologie der EAWAG organisiert wurde. Als wichtigste Erkenntnis ergab sich, dass Autos mit einem Treibstoffverbrauch von einem Liter auf 100 km technisch realisierbar sind und dass in der Schweiz ein konkurrenzfähiges Know-how vorhanden ist.

Klima, Mobilität und innovative Milieus

Die Veränderung der Atmosphäre durch menschliche Emissionen hat in den letzten Jahrzehnten massiv zugenommen, so dass mit einer Veränderung des Klimasystems gerechnet werden muss. Der motorisierte Personenverkehr ist eine der wichtigsten Emissionsquellen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen. In der Schweiz wird an verschiedenen Stellen an Alternativen zum heutigen Automobil gearbeitet. Einer der interessantesten Ansätze entstand im Zusammenhang mit der Entwicklung von Elektromobilen. Ein Pioniermilieu, gebildet aus Leichtbauunternehmen, ökologisch interessierten Ingenieuren und motivierten Studenten, hat in den letzten Jahren ein beachtliches Know-how in der Konstruktion von Leichtbaufahrzeugen erarbeitet. Heute existiert eine ganze Reihe von zukunftsweisenden Fahrzeugkonzepten. Neben der Prototypentwicklung zählt die Schweiz aber auch nachfrageseitig zu einem der interessantesten Standorte: etwa ein Drittel aller weltweit eingesetzten Elektromobile rollen auf hiesigen Strassen.

Der Workshop

Im Rahmen eines Forschungsprojektes (s. Kasten) untersucht die

Gruppe Humanökologie der EAWAG die Probleme und Potentiale von Leichtmobilen, die sich aus dem aktuellen Erfahrungsstand in der Schweiz ergeben. Um diese Problematik klarer umreissen zu können, wurde ein zweitägiger Workshop organisiert. Auslöser für diese Veranstaltung war ein Kontakt mit dem amerikanischen Energieexperten Amory B. Lovins (Forschungsdirektor am Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado, USA). Er befasst sich seit Jahren mit Konzepten energie- und schadstoffeffizienter Fahrzeuge – sogenannter Supercars.

Drei Fragestellungen standen im Zentrum des Workshops:

- Welche technischen Konzepte versprechen das höchste Sparpotential in Bezug auf Energieverbrauch und Schadstoffausstoss (inklusive CO₂) und wie ist der Wissenstand im Schweizer Pioniermilieu einzuschätzen?
- Welche Schwierigkeiten ergeben sich für eine industrielle Umsetzung dieser Fahrzeugkonzepte?
- Wie könnte sich ein künftiger Markt für energie- und schadstoffeffiziente Fahrzeuge entwickeln und welche Förderstrategien sind prioritär zu verfolgen?

Für die Schweiz lassen sich diese drei Problembereiche in der Frage

zusammenfassen, ob eine industrielle Option im Bereich neuer energieeffizienter Fahrzeuge besteht.

Etwa 50 Experten aus dem In- und Ausland wurden eingeladen, um diese Fragen zu erörtern. Im Zentrum der Veranstaltung standen Entwickler von Leichtbaufahrzeugen aus der Schweiz, den USA, aus Frankreich und Skandinavien. Vertreter der Schweizer Industrie, von Finanzinstituten und Bundesämtern wurden eingeladen, um die Relevanz der industriellen Option herauszuarbeiten. Der Teilnehmerkreis wurde auch auf WissenschaftlerInnen, VertreterInnen der Umweltorganisationen sowie Medien erweitert.

Der erste Tag des Workshops war den technischen und produktionspezifischen Aspekten gewidmet. Hier kamen vor allem die Entwickler, die amerikanischen Gäste und die Finanzinstitute zu Wort. Am zweiten Tag wurden schweremässig Marktaspekte und Förderstrategien diskutiert. Im Sinne eines Rahmenprogramms wurden zwischen den Hauptblöcken des Workshops einige Schweizer Leichtbaufahrzeuge vorgeführt.

Die Erkenntnisse aus dem Workshop wurden über verschiedene Kanäle einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Das Schweizer Fernsehen produzierte einen kurzen Beitrag und in verschiedenen Zeitungen erschienen Artikel über den Workshop. Am Abend des 2. Tages hielten Amory Lovins und Paul MacCready (Ingenieur für Leichtbaufahrzeuge und Berater für General Motors, USA) einen öffentlichen Vortrag an der ETH.

Die wichtigsten Erkenntnisse

Weiche Antworten ergaben sich auf die erwähnten Fragen?

Leichtbauweise

Die TeilnehmerInnen des Workshops waren sich einig, dass energie- und schadstoffeffiziente Fahrzeuge nur durch konsequente Leichtbauweise und spezifische Konstruktionsprinzipien sinnvoll realisiert werden können. Bezüglich des optimalen Antriebs scheint sich eine relativ liberale Haltung durchzusetzen. So können effiziente Fahrzeuge mit reinen Elektromotoren oder mit reinen Explosionsmotoren ausgerüstet sein. Die genaue Ausgestaltung des Antriebs hat auf den jeweiligen Einsatzbereich Rücksicht zu nehmen. Am vielversprechendsten scheinen aber mittelfristig Hybridkonzepte zu sein, die Elektro- und Explosionsmotoren in einer intelligenten Weise kombinieren. Alles in allem sind Fahrzeuge mit einem Treibstoffverbrauch unter 1 Liter/100 km längerfristig durchaus realisierbar. Der Stand des Know-hows im Schweizer Pioniermilieu kann sich dabei mit der Weltspitze messen, ja spielt sogar eine Vorreiterrolle.

Wer baut?

Die industrielle Umsetzung der technischen Konzepte steckt noch in den Kinderschuhen. Ein Kapitalbedarf von mehreren hundert Millionen Franken wurde von allen Beteiligten als realistisch erachtet, um eine grössere Serien-

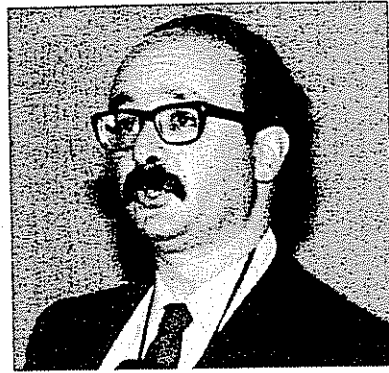


Paul MacCready, Ingenieur für Leichtbaufahrzeuge und Berater für General Motors, USA

produktion zu starten. Von Seiten der Banken wurde betont, dass es in der Schweiz eher schwierig ist, für industrielle Projekte solche Summen auf dem Kapitalmarkt zu organisieren. Damit scheint ein Alleingang der Schweizer Entwicklerfirmen eher unwahrscheinlich. Vordergründig ideale Partner für eine industrielle Umsetzung wären Firmen der Automobilindustrie. Konsequenter Leichtbau würde jedoch einen grundlegenden Wandel der industriellen Tradition dieser Branche erfordern. Im Workshop wurde allgemein eher bezweifelt, dass die Automobilindustrie für diesen Wandel bereit ist. Ein Schulterchluss zwischen Pioniermilieu und Schweizer Industrie scheint dagegen eine interessante Alternative darzustellen. Das relevante industrielle Know-how ist in der Schweiz durchaus vorhanden.

Erster Grossversuch

Die Chancen einer industriellen Umsetzung energieeffizienter



Amory Lovins, Energieexperte und Forschungsdirektor am Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado, USA

Fahrzeuge hängen entscheidend von den Marktaussichten ab. Die Entwicklung des Marktes ist jedoch von vielen Randbedingungen bestimmt, die nur schwer vorherzusagen sind. Das Förderprogramm «Leichtelektromobile» des Bundesamtes für Energiewirtschaft beschreitet dabei einen vielversprechenden Weg: In einer mittelgrossen Schweizer Stadt sollen Leichtmobile durch eine regional konzentrierte Förderaktion einen relevanten Anteil – etwa 10% – des Fahrzeugbestandes erreichen. Dieser «Grossversuch» wird wichtige Hinweise auf die Marktdynamik liefern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in der Schweiz ein durchaus ernstzunehmendes Potential für die Produktion und Vermarktung von schadstoff- und energieeffizienten Fahrzeugen existiert. Dies ergibt sich zum einen aus dem hohen technischen Wissensstand des Pioniermilieus, aber auch aus der Existenz potentieller industrieller Partner und dem Vorhandensein eines Initialmarktes, der für die frühe Phasen der Marktentwicklung von Bedeutung ist.

Aktuelle Relevanz des Themas

Es geht nun darum diese Option einer Realisierung näherzubringen. Einige Tage nach dem Workshop hat der amerikanische Präsident Bill Clinton bekannt gegeben, dass die drei grossen Automobilfirmen der USA in den nächsten zehn

Die wahrgenommenen Risiken einer globalen Klimaveränderung haben international in den letzten Jahren zu verstärkten Forschungsbemühungen geführt. In der Schweiz befassen sich 20 Forschungsprojekte im Rahmen des Schwerpunktprogramms Umwelt des Schweizerischen Nationalfonds mit der Klimaproblematik. Diese Projekte reichen von der Atmosphärenphysik über die Ökosystem-Modellierungen bis zu sozialwissenschaftlichen Fragestellungen und werden untereinander unter der Bezeichnung CLEAR (Climate and Environment in Alpine Regions) koordiniert. Die Gruppe Humanökologie der EAWAG untersucht im Rahmen eines sozialwissenschaftlichen Einzelprojektes gesellschaftliche Innovationsprozesse, die zu einer Verminderung der anthropogenen Produktion von Klimagasen beitragen können.

Jahren mit staatlicher Unterstützung die Entwicklung eines Dreiliter-Autos vorantreiben werden. Nach den Erkenntnissen aus dem Workshop ist es durchaus möglich Fahrzeuge mit einem bedeutend geringeren Treibstoffverbrauch herzustellen. Die Schweiz könnte hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Konstruktion eines Supercars allein genügt aber nicht. Lovins rechnet mit einem weiteren Zerfall des Ölpreises. Gegen das Problem der überbordenden Mobilität hat er eine Antwort: «Negakilometer» und «Negacars», d.h. Verkehrssparen mittels Kostenwahrheit und diverser fiskalischer Instrumente.

Die Rolle der EAWAG

Welche Rolle kann nun die Forschung und speziell die EAWAG in diesen Prozessen spielen? Sicher gehört es zu unseren Aufgaben, öffentliche Plattformen zu schaffen, um umweltrelevante Entwicklungen aufzuzeigen und zu diskutieren. Um diese Rolle wahrnehmen zu können, ist es jedoch unabdingbar, dass theoretische Konzepte und empirische Daten erarbeitet werden, die den übrigen Akteuren nicht oder nur in beschränkter Masse zur Verfügung stehen. Die Gruppe Humanökologie wird sich in diesem Sinne auf zwei Ebenen weiter engagieren: Einerseits soll die Relevanz

der industriellen Option vertieft untersucht werden. Andererseits hat es sich erwiesen, dass die Abschätzung und Skizzierung eines künftigen Marktes von grundlegender Bedeutung sind. In einer breitangelegten theoretischen und empirischen Studie werden wir deshalb die Dynamik dieses entstehenden Marktes untersuchen. Der Workshop hat gezeigt, dass für diese Arbeit ein grosses Interesse besteht.

Grottker und Schilling – Professoren in Deutschland und Norwegen

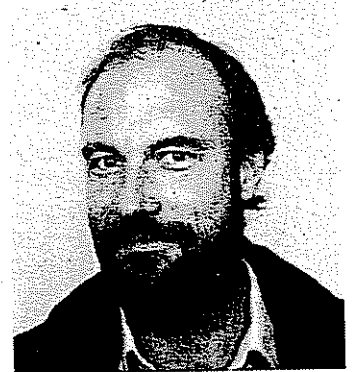
Im Sommer 1993 sind zwei Mitarbeiter aus der Gruppe Siedlungshydrologie des Forschungsbereichs Ingenieurwissenschaften ausgetreten, um neue Herausforderungen in Deutschland und in Norwegen anzunehmen: Dr. Matthias Grottker ist auf den 1.8.93 zum Professor an der Fachhochschule in Lübeck/D ernannt worden und Dr. Wolfgang Schilling ist auf den 1.10.1993 als Professor am *Department of Hydraulic and Environmental Engineering* der Norwegischen Technischen Hochschule in Trondheim gewählt worden.

Matthias Grottker kam im Sommer 1990 an die EAWAG und war während seiner Anstellung an der EAWAG vorwiegend mit der Bearbeitung von verschiedenen Teilprojekten in Rahmen der Studie «Integrierte Siedlungsentwässerung» in Fehraltorf beschäftigt. Er hat darin die Verantwortung für das gesamte Messsystem in Fehraltorf übernommen und weitgehend auch selber betreut. Daneben hat er im Rahmen des Projek-



Matthias Grottker
Fachbereich Bauwesen
Fachhochschule Lübeck
Stephensonstrasse 3
D-23562 Lübeck

tes das Teilprojekt Schmutzwasserspeicher bearbeitet und zeitweise auch die Problematik der Regenwasser-Versickerung untersucht. Zusammen mit Wolfgang Schilling hat er im 1992 und 1993 internationale Workshops für junge WissenschaftlerInnen organisiert, als Referent an EAWAG-Fortbildungs-Kursen zur «Siedlungshydrologie» mitgewirkt und an der Ingenieurschule Zürich



Wolfgang Schilling
Institut for Vassbygging
NTH (Norges Tekniske Hogskole)
S.P. Andersens vei 5
N-7034 Trondheim

Hydraulik für Bauingenieure unterrichtet.

Wolfgang Schilling kam im Herbst 1988 an die EAWAG und war während seiner Anstellung an der EAWAG mit vielseitigen Aufgaben in der Gruppe Siedlungshydrologie beschäftigt. Er hat sich v.a. am Aufbau und an der Leitung der Gruppe Siedlungshydrologie und daneben an der Vorbereitung und Leitung des Forschungspro-

jektet „Integrierte Siedlungsentwässerung“ beteiligt. Im Rahmen dieser Studie hat er auch seinen Joker, die Abfluss-Steuerung in der Kanalisation, bearbeitet. Als Lehrbeauftragter an der ETHZ hat Wolfgang Schilling verschiedene Unterrichtsveranstaltungen für Bau-, Kultur- und Umweltinge-

nieure betreut und mit Erfolg die angehenden Fachleute für die Belange der modernen Siedlungsentwässerung motiviert.

Zwei ausgezeichnete Fachleute und liebe Kollegen haben unsere Gruppe formal verlassen, in Wirklichkeit hoffen wir beiderseits, im intensiven fachlichen und persön-

lichen Kontakt unsere Beziehungen auch in der Zukunft aufrechterhalten zu können. Wir wünschen beiden Kollegen viel Erfolg und Befriedigung am neuen Arbeitsort.

Zwei Ehrungen für Jürg Hoigné

Ehrenmitglied der International Ozone Association

Anlässlich des 11. Ozonweltkongresses im August 1993 in USA wurde Prof. Jürg Hoigné zum Ehrenmitglied der International Ozone Association ernannt, in Anerkennung seiner hervorragenden Beiträge zur Förderung der Ziele der Vereinigung.

Harvey M. Rosen Memorial Award

Jürg Hoigné und Susan Masten wurden für ihre gemeinsame Arbeit „Comparison of Ozone and



Hydroxyl Radical-Induced Oxidation of Chlorinated Hydrocarbons (Solvents) in Water“ der

Harvey M. Rosen Memorial Award verliehen. Der Preis anerkennt die von den Editoren bestqualifizierte Publikation des Journal Ozone Science and Engineering in der Periode 1991–1992.

Susan Masten ist heute Assistenzprofessorin am Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University, USA und hat 1988 den Teil ihrer Dissertation an der EAWAG als ehemalige Doktorandin der Harvard Universität unter der Leitung von Jürg Hoigné durchgeführt.

Fortsetzung von Seite 21

Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern

Metallkonzentrationen in den Gewässern nicht durch Massnahmen bei den Kläranlagen behandelt werden sollten.

Der Ansatz zur Festlegung von Qualitätszielen besteht aus einer Abschätzung der Umweltgefährdung durch Metalle. Dazu beruhen die Angaben nicht nur auf wissenschaftlichen Erkenntnissen sondern auch auf Vermutungen. Darum sollten Qualitätsziele nicht als Garantie gegen langfristige Einwirkungen geringer Metallkonzentrationen auf die Umwelt betrachtet werden. Es ist notwendig, gesetzliche Anforderungen auch in Zukunft laufend zu überarbeiten und anzupassen.

Zuletzt sei erwähnt, dass für eine langfristige Bewältigung von Umweltproblemen parallel zur Begrenzung von Schadstoffen auch weiterhin Vermeidungsstrategien zu entwickeln sind. Darum sollten

aktuelle Konzentrationen in belasteten Gewässern, auch wenn sie unterhalb der ökotoxikologisch begründeten Werte liegen, nicht oder nur wenig erhöht werden dürfen.

- [1] Behra R., Genoni G. P. und Sigg L. Wissenschaftliche Grundlagen für die Festlegung der Qualitätsziele für Metalle und Metalloide in Fließgewässern. Gas, Wasser, Abwasser (1993), im Druck.
- [2] Behra R., Genoni G. P. und Sigg L. Revision of the Swiss Ordinance for Wastewater Discharge: Scientific Basis for Water Quality Criteria for Metals and Metalloids in Running Waters. EAWAG Schriftenreihe, in Vorbereitung.
- [3] Gächter R. Untersuchungen über die Beeinflussung der planktischen Photosynthese durch anorganische Metallsalze im eutrophen Alpnachersee und der mesotrophen Horwer Bucht. Schw. Z. Hydrol. 38, 97–119 (1976).
- [4] Sigg L. Schwermetalle in Fließgewässern. Mitteilungen der EAWAG 32, 32–35 (1991).
- [5] Frausto da Silva J. J. R. und Williams R. J. P. The biological chemistry of the elements. Clarendon Press, Oxford, 1991.
- [6] Gächter R. MELMEX, an experimental heavy metal pollution study: Goals, experimental design and major findings. Schw. Z. Hydrol. 41, 169–176 (1979).
- [7] Xue H. and Sigg L. Free cupric ion concentration and Cu(II) speciation in a eutrophic lake. Limnol. Oceanogr. 38, 1200–1213 (1993).
- [8] Östreich A. Freie Kupferionen in schweizer Fließgewässern. Diplomarbeit EAWAG 1993.

Separata können bei der Bibliothek EAWAG bezogen werden

EAWAG-Publikationen

- 1723
Lukac, Maja, Aegerter, Rita, Influence of trace Metals on Growth and Toxin Production of *Microcystis Aeruginosa*. *Toxicon*, 31, 293-305 (1993)
- 1745
Kohler, H.-P.E., Schmid, A., van der Maarel, M.: Metabolism of 2,2'-Dihydroxybiphenyl by *Pseudomonas* sp. Strain HBP1: Production and Consumption of 2,2',3-Trihydroxybiphenyl. *J. Bacteriol.* 175, 1621-1628 (1993)
- 1746
Kerr, J.A.: Strengths of Chemical Bonds. In: «Handbook of Chemistry and Physics. 74th Edition». David R. Lide, (Ed.) CRC Press, Boca Raton 1993.
- 1747
Zuo, Y., Hoigné, J.: Evidence for Photochemical Formation of H₂O₂ and Oxidation of SO₂ in Authentic Fog Water. *Science* 260, 71-73 (1993)
- 1748
Auling, G., Busse, H.-J., Egli, T., El-Banna, T., Stackebrandt, E.: Description of the Gram-Negative, Obligately Aerobic, Nitrotriacetate (NTA)-Utilizing Bacteria as *Chelatobacter heintzii*, gen.nov., sp. nov., and *Chelatococcus asaccharovorans*, gen.nov., sp.nov. *System. Appl. Microbiol.* 16, 104-112 (1993)
- 1749
Wilberg, Elvira, El-Banna, T., Auling, G., Egli, T.: Serological Studies on Nitrotri-acetic Acid (NTA)-Utilizing Bacteria: Distribution of *Chelatobacter heintzii* and *Chelatococcus asaccharovorans* in Sewage Treatment Plants and Aquatic Ecosystems. *System. Appl. Microbiol.* 16, 147-152 (1993)
- 1750
Kohler, H.-P.E., van der Maarel, M.J.E.C., Kohler-Staub, Doris: Selection of *Pseudomonas* sp. Strain HBP1 Prp for Metabolism of 2-Propylphenol and Elucidation of the Degradative Pathway. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 860-866 (1993)
- 1751
Gujer, W., Kappeler, J.: Modelling the Competition of Filamentous and Floc-forming Bacteria in Activated Sludge Plants. In: «Prevention and Control of Bulking Activated Sludge». D. Jenkins, R. Ramadori, L. Cingolani. (Eds.), Perugia 1993; 55-68.
- 1752
von Gunten, U., von Gunten, H.R., Hoigné, J.: The Bromate Issue: Is Potassium-40 Really an Alternative Explanation for the Carcinogenicity of Potassium Bromate? *Ozone News* 21, 20-21 (1993)
- 1753
Pollinger, Utsa, Ambühl, H., Bürgi, H.-R.: A New Method for Processing Clay-rich Unconsolidated Sediments for Paleocological Investigations. *J. Paleolimnology* 7, 95-101 (1992)
- 1754
Pollinger, Utsa, Bürgi, H.-R., Ambühl, H.: The Cysts of *Ceratium hirundinella*: Their Dynamics and Role within a Eutrophic (Lake Sempach, Switzerland). *Aquatic Sciences* 55, 10-18 (1993)
- 1755
Breedveld, M. W., Canter Cremers, H. C. J. C., Batlec, M., Posthumus, M. A., Zevenhuizen, L.P.T.M., Wijffelman, C. A., Zehnder, A. J. B.: Polysaccharide synthesis in Relation to Nodulation Behavior of *Rhizobium leguminosarum*. *J. Bacteriology* 175, 750-757 (1993)
- 1756
van der Meer, J. R., Bosma, T. N. P., de Bruin, W. P., Harms, H., Holliger, C., Rijnaarts, H. H. M., Tros, Marijke E., Schraa, G., Zehnder, A. J. B.: Versatility of Soil Column Experiments to Study Biodegradation of Halogenated Compounds Under Environmental Conditions. *Biodegradation* 3, 265-284 (1993)
- 1757
Zehnder, A. J. B.: How Long Will the Soil Feed Us?. In: «Integrated Soil and Sediment Research: a Basis for Proper Protection». H.J.P. Eijsackers, T. Hamers (Eds.) Kluwer Academic Publ., Dordrecht 1993; 755-756.
- 1758
Zehnder, A. J. B.: River Rhine: From Sewer to the Spring of Life. In: «Ciba Foundation Symposium 175». Wiley, New York 1993; 42-58.
- 1759
Uetz, T., Egli, T.: Characterization of an Inducible, Membrane-bound Iminodiacetate Dehydrogenase from *Chelatobacter heintzii* ATCC 29600. *Biodegradation* 3, 423-434 (1993)
- 1760
Ahel M., Giger, W.: Aqueous Solubility of Alkylphenols and Alkylphenol Polyethoxylates. *Chemosphere* 26, 1461-1470 (1993)
- 1761
Ahel, M., Giger, W.: Partitioning of Alkylphenols and Alkylphenol Polyethoxylates Between Water and Organic Solvents. *Chemosphere* 26, 1471-1478 (1993)
- 1762
Wehrli, B.: Chemie am Seegrund. Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich 138, 69-79 (1993)
- 1763
Bundi, U.: Grundsätze der Gewässerentwicklung - neue Ansätze im Gewässerschutzgesetz. Vgl. Umwelt-Information 2/93, 3-9 (1993)
- 1764
von Piechowski, M., Nauser, T., Hoigné, J., Bühler, R. E.: O₂ Decay Catalyzed by Cu²⁺ and Cu⁺ Ions in Aqueous Solutions: A Pulse Radiolysis Study for Atmospheric Chemistry. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 97, 762-771 (1993)
- 1765
Bonting, C. F. C., Kortstee, G. J. J., Boecketein, A., Zehnder, A. J. B.: The Elemental Composition Dynamic of Large Polyphosphate Granules in *Acinobacter* Strain 210A. *Arch. Microbiol.* 159, 428-434 (1993)
- 1766
Bosshart, U., Ebnetter, J., Freitag, A., Hungerbühler, E., Kutil, H., Mörgele, B., Oschwald, R., Siegrist, H.R.: Stickstoffentfernung aus dem Schlammwasser von Kläranlagen. *Schriftenreihe Umwelt* 195, (1993)
- 1767
Uehlinger, U., Meyer, Elisabeth: Die Wirkung eines geschleibeführenden Hochwassers auf die benthische Biozö-

- nose in einem voralpinen Fluss. In: «DGL Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V. Jahrestagung 1992 in Konstanz» 1992; 407–411.
- 1768
van der Maarel, M. J. E. C., Kohler, H.-P. E.: Degradation of 2-sec-butylphenol: 3-sec-butylcatechol, 2-hydroxy-6-oxo-7-methylnona-2,4-dienoxic acid, and 2-methylbutyric acid as intermediates. *Bio-degradation* 4, 81–89 (1993)
- 1769
Stumm W.: Aquatic Colloids as Chemical Reactants: Surface Structure and Reactivity. *Colloids & Surfaces A: Physico-chem. Engineering Aspects* 73, 1–18 (1993)
- 1770
Akeret B.: Zur Biologie von *Chaoborus flavicans*, *Leptodora kintii* und *Bythotrephes longimanus* unter dem Einfluss interner Restaurierungsmassnahmen in drei Schweizer Seen. Diss. ETHZ Nr. 10137, 1993.
- 1771
Ammann, M.: Das durch Wasserkraftnutzung veränderte Abflussregime eines alpinen Fließgewässers und dessen Auswirkungen auf das Makrobenthos. Diss. ETHZ Nr. 10106, 1993.
- 1772
Höhener, P., Gächter, R.: Prediction of Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) Concentrations in Deep, Seasonally Stratified Lakes Based on Rates of DIN Input and N Removal Processes. *Aquatic Sciences* 55, 112–131 (1993)
- 1773
Eberhard, J., Müller, Claudia, Stocker, D. W., Kerr, J. A.: The Photo-Oxidation of Diethyl Ether in Smog Chamber Experiments Simulating Tropospheric Conditions: Product Studies and Proposed Mechanism. *Int. J. Chem. Kinetics* 25, 639–649 (1993)
- 1774
Deng, Yiwei, Stumm, W.: Kinetics of Redox Cycling of Iron Coupled with Fulvic Acid. *Aquatic Sciences* 55, 103–111 (1993)
- 1775
Boller, M.: Filter Mechanisms in Roughing Filters. *J. Water SRT – Aqua* 42, 174–185 (1993)
- 1776
Wieland, E., Santschi, P. H., Höhener, P., Sturm, M.: Scavenging of Chernobyl ^{137}Cs and Natural ^{210}Pb in Lake Sempach, Switzerland. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 2959–2979 (1993)
- 1777
Pahl-Wostl, Claudia.: Food Webs and Ecological Networks Across Temporal and Spatial Scales. *Oikos* 66, 415–432 (1993)
- 1778
Jaeger, C., Dürrenberger, G., Kastenholz, H., Truffer, B.: Determinants of Environmental Action with Regard to Climatic Change. *Climatic Change* 23, 193–211 (1993)
- 1779
Livingstone, D. M., Imboden, D. M.: The Non-Linear Influence of Wind-Speed Variability on Gas Transfer in Lakes. *Tellus* 45B, 275–295 (1993)
- 1780
Pahl-Wostl, Claudia.: The Influence of a Hierarchy in Time Scales on the Dynamics of, and the Coexistence within, Ensembles of Predator-Prey Pair. *Theor. Population Biology* 43, 184–216 (1993)
- 1781
Jaeger, C.: Sustainable Regional Development: A Path for the Greenhouse Marathon. In: «Advances in Human Ecology». Vol.2. Jai Press Inc., 1993; 163–190.
- 1782
Uehlinger, U.: Primary Production and Respiration in the Outlet of an Eutrophic Lake (River Glatt, Switzerland). *Arch. Hydrobiol.* 128, 39–55 (1993)
- 1783
Faber, F., Egli, T., Harder, W.: Transient Repression of the Synthesis of OmpF and Aspartate Transcarbamoylase in *Escherichia coli* K12 as a Response to Pollutant Stress. *FEMS Microbiol. Lett.* 111, 189–196 (1993)
- 1784
Huggenberger, P.: Kleinwasserkraftwerke für die Umwelt. *Tages-Anzeiger* 22.9.1993, S. 84
- 1785
Bundi, U.: Umweltprobleme mit Stickstoff. *Neue Zürcher Zeitung* Nr. 231, 5.10.1993, S. 23
- 1786
Peeters, F., Wüest, A., Imboden D.M.: Comparison of the Results of Tracer Experiments in Lakes with Predictions Base on Horizontal Mixing Models. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 69–74 (1993)
- 1787
Livingstone, D. M.: Temporal Structure in the Deep-Water Temperature of Four Swiss Lakes: A Short-Term Climatic Change Indicator? *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 75–81 (1993)
- 1788
Bürgi, H. R., Elser, J. J., Richards, R. C., Goldman, C. R.: Zooplankton Patchiness in Lake Tahoe and Castel Lake USA. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 378–382 (1993)
- 1789
Akeret, B.: Lunar Periodicity of the Emergence of *Chaoborus flavicans*. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 625–626 (1993)
- 1790
Hajdas-Skowronek Irena: Extension of the Radiocarbon Calibration Curve by AMS Dating of Laminated Sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar. Diss. ETHZ Nr. 10157, 1993.
- 1791
Kappeler, J., Gujer, W.: Influence of Operating Problems in Wastewater Treatment Plants on the Interactions Between Sewers, Treatment Plant and Receiving Water. *Water Sci. Technol.* 27, 199–203 (1993)
- 1792
Boller, M. A., Eugster, J.: Upflow Anaerobic Filtration of a Sugar Containing Wastewater. *Water Sci. Technol.* 28, 125–134 (1993)
- 1793
Holliger, C., Pierik, A. J., Reijerse, E. J., Hagen, W. R.: A Spectroelectrochemical Study of Factor F_{430} Nickel(II/I) from Methanogenic Bacteria in Aqueous Solution. *J. Am. Chem. Soc.* 115, 5651–5656 (1993)
- 1794
Holliger, C., Schraa, G., Stams, A. J. M., Zehnder, A. J. B.: A Highly Purified Enrichment Culture Couples the Reductive Dechlorination of Tetrachloroethene to Growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 2991–2997 (1993)
- 1795
van Cappellen, P., Charlet, L., Stumm, W., Wersin, P.: A Surface Complexation Model of the Carbonate Mineral-Aqueous Solution Interface. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 3505–3518 (1993)

- 1796
Huggenberger, P., Meier, E.: Anwendung des Georadars in der Hydrogeologie. *Wasser Energie Luft* 85, 119-123 (1993)
- 1797
Hoigné, J., Bader, H.: Kinetics of Reactions of Chlorine Dioxide (OCIO) in Water - I: Rate Constants for Inorganic and Organic Compounds. *Water Res.* 28, 45-55 (1993)
- 1798
Tratnyek, P. G., Hoigné, J.: Kinetics of Reactions of Chlorine Dioxide (OCIO) in Water - II. Quantitative Structure-Activity Relationships for Phenolic Compounds. *Water Res.* 28, 57-66 (1993)
- 1799
Mason, C. A., Egli, T.: Dynamics of Microbial Growth in the Decelerating and Stationary Phase of Batch Culture. In: «Starvation in Bacteria». Staffan Kjelleberg, (Ed.) Plenum Press, New York 1993; 81-102.
- 1801
van Veen, H. W., Abee, T., Kortstee, G. J. J., Konings, W. N., Zehnder, A. J. B.: Mechanism and Energetics of the Secondary Phosphate Transport System of *Acinetobacter johnsonii* 210A. *J. Biol. Chem.* 268, 19377-19383 (1993)
- 1802
Breedveld, M. W., Zevenhuizen, L. P. T. M., Cremers, H. C. J. C., Zehnder, A. J. B.: Influence of Growth Conditions on Production of Capsular and Extracellular Polysaccharides by *Thizobium leguminosarum*. *Antonie van Leeuwenhoek* 64, 1-8 (1993)
- 1803
Bonting, C. F. C., Kortstee, G. J. J., Zehnder, A. J. B.: Properties of Polyphosphatase of *Acinetobacter johnsonii* 210A. *Antonie van Leeuwenhoek* 64, 75-81 (1993)
- 1804
Rijnaarts, H.H.M., Norde W, Bouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.: Bacterial Adhesion under Static and Dynamic Conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 3255-3265 (1993)
- 1805
Lotter, A. F., Birks, H. J. B.: The Impact of the Laacher See Tephra on Terrestrial and Aquatic Ecosystems in the Black Forest, Southern Germany. *J. Quaternary Sci.* 8, 263-276 (1993)
- 1806
von Gunten, U., Zobrist, J.: Biogeochemical Changes in Groundwater-Infiltration Systems: Column Studies. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 3895-3906 (1993)
- 1807
Sedlak, D. L., Hoigné, J.: The Role of Copper and Oxalate in the Redox Cycling of Iron in Atmospheric Waters. *Atmospheric Environment* 27A, 2173-2185 (1993)
- 1808
Kuhn, Annette, Sigg, Laura: Arsenic Cycling in Eutrophic Lake Greifen, Switzerland: Influence of Seasonal Redox Processes. *Limnol. Oceanogr.* 38, 1052-1059 (1993)
- 1809
Hart, K. M., McDow, St. R., Giger, W., Steiner, D., Burtscher, H.: The Correlation Between In-Situ, Real-Time Aerosol Photoemission Intensity and Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentration in Combustion Aerosols. *Water Air & Soil Poll.* 68, 75-90 (1993)
- 1810
Hart, K. M., Tremp, J., Giger, W.: The Occurrence and the Fate of Organic Pollutants in the Atmosphere. *Water Air & Soil Poll.* 68, 91-112 (1993)
- 1811
Tremp, J., Mattrel, P., Fingler, S., Giger, W.: Phenols and Nitrophenols as Tropospheric Pollutants: Emissions from Automobile Exhausts and Phase Transfer in the Atmosphere. *Water Air & Soil Poll.* 68, 113-123 (1993)
- 1812
Raab, D., Stumm, W.: Effect of Acid Deposition on the Displacement of Al(III) in Soils. *Water Air & Soil Poll.* 68, 199-212 (1993)
- 1813
Ochs, M., Brunner, I., Stumm, W., Cosovic, Bozena: Effects of Root Exudates and Humic Substances on Weathering Kinetics. *Water Air & Soil Poll.* 68, 213-229 (1993)
- 1814
Zobrist, J., Wersin, P., Jaques, C., Sigg, Laura, Stumm, W.: Dry Deposition Measurements Using Water as a Receptor: A Chemical Approach. *Water Air & Soil Poll.* 71, 111-130 (1993)

BESTELLTALON

- Ich wünsche die EAWAG NEWS in der folgenden Sprache regelmässig zu erhalten
- deutsch französisch englisch

- Ich gebe eine Adressänderung bekannt

(bisherige Adresse)

- Bitte schicken Sie mir die Publikationen (Nr.)

Meine Adresse



EAWAG
Bibliothek
8600 Dübendorf
Schweiz