

2 Nachhaltiger Gewässerschutz und die EAWAG

Ueli Bundi

3 Gewässer – Spiegel der Regionalentwicklung

Walter Wagner

6 Regenwasser auf neuen Wegen

Markus Boller

12 Auswirkungen von Altdeponien auf das Grundwasser

Annette Johnson und Eduard Hoehn

18 Töss als Lebensraum

Armin Peter und Tom Gonser

21 Das Linsental – Trinkwasserressource und Lebensraum

Eduard Hoehn

23 Partizipative Prozesse: Eine Herausforderung für die Wissenschaft?

Andrea Rüede, Gregor Dürrenberger, Tove A. Larsen und Claudia Pahl-Wostl

26 Regional nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung

Tove A. Larsen

28 EAWAG intern

17 Die EAWAG verliert ein Vorzeigeprojekt

25 Sondernummer der CHIMIA: «Chemistry at EAWAG»

25 Ökotoxikologie: Lehrbuch

28 Ökostrom – ein neues Querprojekt im Zeichen des Paradigmawechsels an der EAWAG

29 Wie aus Urin ANS (Anthropogene Nährstoffe) werden

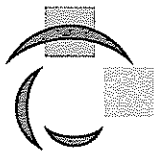
29 Rasterelektronenmikroskop geht in Betrieb

30 Bernhard Wehrli wird ausserordentlicher Professor

30 SGHL-Preis an Oliver Heiri

31 Publikationen (2220–2271)

Nachhaltiger Gewässerschutz und die EAWAG



EAWAG

**EAWAG news –
Informationsbulletin der EAWAG**

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

Redaktion
Diana Hornung, EAWAG

Copyright
Abdruck, auch auszugsweise, ist unter Be-
nachrichtigung der Herausgeberin und mit
Quellenangabe «Abdruck aus den EAWAG
news 44 D, 1998» gestattet

Erscheinungsweise
zweimal jährlich in deutsch, englisch und
französisch

Fotograf/in
Ohne besondere Angaben: Diana Hornung
oder unbekannt

Satz, Bild und Layout
Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Gedruckt
auf Umweltschutzpapier

Abonnemente und Adressänderungen
NeuabonnentInnen willkommen! Bitte Bestel-
leton auf der letzten Seite beachten.

ISSN 1420-3979

Legende zum Titelbild

Nachhaltige Regionalentwicklung
Wesensmässig verschiedene Teile müssen
zusammengefügt werden: in der gewählten
Region der Töss wurde in verschiedenen
Disziplinen mit den uns zur Verfügung stehen-
den Mitteln und Akteuren gearbeitet.
Von oben links im Uhrzeigersinn: Linsental vor
Winterthur; Tössoberlauf bei Fischenthal;
Probenahme für Töss-Grundwasser (s. Beitrag
Johnson und Höhn); Brunnen in Pfungen; der
Strömer, ein geschützter Fisch (s. Beitrag Peter
und Gonser).

Die massive Verunreinigung der Gewässer wurde in den letzten Jahrzehnten rückgängig gemacht. Das ist ein grosser Erfolg. Andere Probleme bleiben aber ungelöst, und neue sind entstanden. Wichtige sind: die Ausmerzung vieler Gewässer durch Eindolungen; die Verödung der Gewässerlebensräume durch Verbauungen; die Belastung der Umwelt mit Chemikalien und die Ankurbelung der natürlichen Stoffkreisläufe durch Landwirtschaft, Siedlungen und Verkehr; die hohen Kosten und die Ressourcenintensität der heutigen Siedlungswasserwirtschaft; der Konflikt zwischen der Wasserkraftnutzung und den ökologischen Funktionen der Gewässer.

Diese Probleme sind nicht durch einfach fassbare Ursachen bestimmt. Zu einem guten Teil sind sie die Folge unserer Lebens- und Wirtschaftsweisen schlechthin. Aber auch historisch gewachsene Defizite, wie die Kompartimentalisierung des Umweltschutzes in den Gesetzen und im Vollzug und der Mangel an präventiven Massnahmen, tragen zu den Problemen bei.

Bei der weiteren Entwicklung des Gewässer- und Umweltschutzes hin zu mehr Nachhaltigkeit wird es im wesentlichen darum gehen,
• die verschiedenartigen Belange des Gewässer- und Umweltschutzes in Politik, Gesetzen und Vollzug zu koordinieren und verstärkt in die menschlichen Aktivitätsbereiche (Wohnen, Verkehr, Landwirtschaft, usw.) zu integrieren,
• die dabei verfolgten Stossrichtungen auf allen Ebenen in partizipativen Ver-

fahren unter Einbezug der Bevölkerung und Interessengruppen zu entwickeln
• und dabei anzustreben, die Effizienz der Massnahmen und des Vollzugs zu maximieren.

Die Wissenschaft soll weiterhin die in der Umwelt ablaufenden Vorgänge und deren Veränderungen durch menschliche Eingriffe erforschen. Ihre grössten Herausforderungen liegen aber darin, neuartige Formen, disziplinenübergreifender Forschung zu erproben und sich aktiv in den gesellschaftlichen Prozess der nachhaltigen Entwicklung einzubringen. Es gilt, die Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt in all ihren ökologischen, gesundheitlichen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Aspekten zu erforschen. Ökoeffiziente und sozialverträgliche Technologien und Wirtschaftsweisen sollen in partnerschaftlicher Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis entwickelt werden. Und die Wissenschaft muss den Dialog mit der Öffentlichkeit entscheidend stärken, um so die nötigen Impulse für ihre Tätigkeit zu erhalten und den gesellschaftlichen Wandel mitprägen zu können.

Ziel des Forschungsschwerpunktes «Nachhaltige regionale Ressourcenbewirtschaftung» war es, gesamtheitliche Ansätze für das Verständnis und das Management der Oberflächen- und Grundwassergewässer, des Grundwassers und der Altlasten zu erarbeiten. Bei solch einem Vorhaben ergeben sich vielfältige Schwierigkeiten – wissenschaftlich-strukturelle, methodische und menschliche. Die Ansprüche waren in manchen Belangen zurückzustecken. Es wurden aber neue Kooperationen und Allianzen eingegangen, die zu breiter abgestützten Resultaten führten. Daraus ergaben sich wichtige Impulse für den unwiderruflichen Prozess hin zu einem neuen Verständnis der wissenschaftlichen Tätigkeit an der EAWAG.

Ueli Bändli

Ueli Bändli, Vizedirektor

Walter Wagner

Gewässer – Spiegel der Regionalentwicklung



Walter Wagner

Die Region Töss hat sich in den letzten Jahrzehnten stark entwickelt: Die Bevölkerung nahm seit 1950 um über 60% zu. Die Regionalentwicklung führte u.a. zu vielfältigen Veränderungen der Struktur und Qualität der natürlichen Gewässer. Folglich können diese ihre Rolle als Trinkwasserressource und als Lebensraum heute und in Zukunft nicht mehr im vollen Umfang erfüllen – eine nachhaltige Nutzung ist dadurch in Frage gestellt.

Jährlich gelangen etwa 540 Millionen Kubikmeter Wasser in Form von Niederschlägen ins 430 km² grosse Einzugsgebiet der Töss. Davon verdunsten rund zwei Fünftel wieder. Die verbleibende Wassermenge durchfliesst die Region und wird auf ihrem Weg – bis sie bei der Tössegg in den Rhein fließt – vielfältig genutzt.

Das Wasser bildet für viele Pflanzen und Tiere zentrales Element ihres Lebensraumes, wird aber auch vom Menschen vielfältig genutzt: als Trinkwasser, zur Energieproduktion, als Transportmedium für Abfallstoffe usw. Die verschiedenen Nutzungsansprüche von Natur und Mensch stellen unterschiedliche Anforderungen an Wasser und Gewässer, beispielsweise bezüglich Qualität, Menge und jahreszeitlicher Verteilung. Daneben bestehen für den Menschen auch Schutzansprüche. Hochwasserschäden sind soweit mög-

lich und sinnvoll zu vermeiden. Vielfach sind die verschiedenen Anforderungen ans Wasser gegenläufig, was zu Interessens- bzw. Nutzungskonflikten führen kann.

Die in der Region ansässigen Leute sind aber nicht nur auf die Nutzung des Wassers angewiesen; sie beeinflussen und verändern auch die natürlichen Wasserflüsse und die Wasserqualität durch viele ihrer Aktivitäten. Die Gewässer sind somit ein wichtiger Faktor für die zukünftige, aber auch ein Spiegel der vergangenen Regionalentwicklung.

Am Beispiel der Region Töss (Fig. 1) hat die EAWAG untersucht, wie der Umgang mit den regionalen Wasserressourcen nachhaltig gestaltet werden kann.

Entwicklung seit 1950	
Bevölkerung	1,6 x
Trinkwasserverbrauch	1,8 x
Siedlungsfläche	2,6 x
Siedlungsfläche pro Person	1,6 x
Energieverbrauch	4,9 x
Energieverbrauch pro Person	3,1 x
Landwirtschaftliche Produktivität	1,8 x
Getreideertrag pro ha	1,6 x
Motorisierter Verkehr	14,5 x
Haushaltabfälle der Stadt Winterthur	4,2 x
Haushaltabfälle pro Person	2,6 x

Tab. 1
Faktoren der Regionalentwicklung im Einzugsgebiet der Töss 1950–1993.

Faktoren der Regionalentwicklung

Eine wesentliche Grundlage für die nachhaltige Wassernutzung und Gewässergestaltung sind Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen den menschlichen Aktivitäten und dem Gewässerzustand. Die Region Töss erlebte in den letzten 50 Jahren eine starke Wachstumsphase (Tab. 1), welche an den Gewässern nicht spurlos vorbeigegangen ist.

Der Raumbedarf der wachsenden Bevölkerung für Siedlungen, Strassen und Landwirtschaft sowie der zunehmend verbesserte Hochwasserschutz führten zu einer fast vollständigen Begradigung und Kanalisierung der grösseren Flüsse und Bäche der Region. Die Töss zeigt auf drei Vierteln ihrer

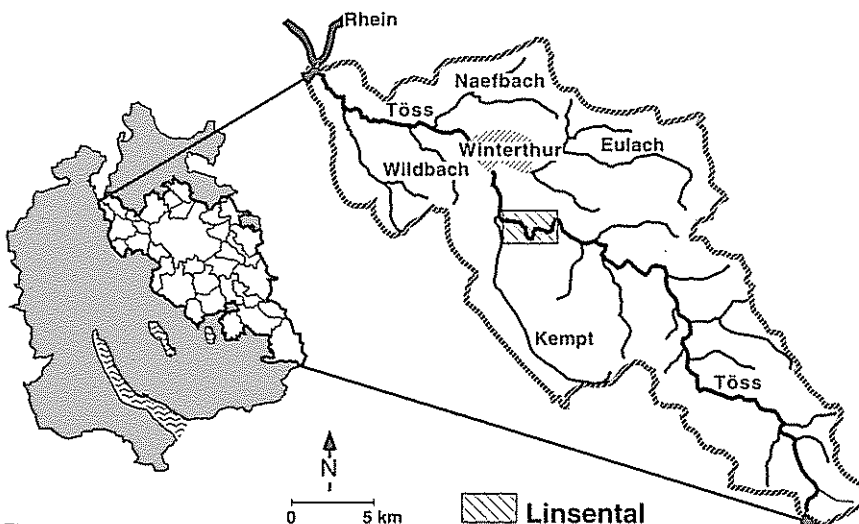


Fig. 1
Das Einzugsgebiet der Töss ist 430 km² gross. Darin leben 180 000 Personen in vielen relativ kleinen Gemeinden und wenigen Städten. Die Region Töss ist typisch für das Schweizer Mittelland.

Fließstrecke keine Breitenvariabilität mehr. Ihre Sohle wurde durch 568 künstliche Abstürze stabilisiert. In stark besiedelten Gebieten sind viele Bäche ganz verschwunden, bei Oberwinterthur über 60% [1].

Wie sich die Siedlungsentwicklung auf die natürliche Wasserbilanz auswirkt, zeigt Fig. 2 am Beispiel der Gemeinde Embrach. Durch das Bevölkerungswachstum und die Zunahme der pro Person beanspruchten Fläche hat sich die Siedlungsfläche auf Kosten der Landwirtschaftsfläche seit 1952 verfünffacht. Parallel zur Bevölkerungszahl nahm auch der Trinkwasserbedarf zu. Abwasser und gefasstes Niederschlagswasser, zusammen knapp $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, werden heute direkt zur Kläranlage Rorbach geleitet. Damit wird der natürliche ober- und unterirdische Gebietsabfluss um fast 20% vermindert.

Durch Zunahme der Luftschadstoffemissionen, des Dünger- und Chemikalieneinsatzes in der Landwirtschaft sowie der Menge und der Schadstoffbelastung von Abwässern und Abfällen verschlechterte sich auch die Qualität der Gewässer, insbesondere in den Siebziger- und Achtzigerjahren. Seither konnte zwar die Gewässerqualität vielerorts durch geeignete Massnahmen wieder verbessert werden.

Nach wie vor kritisch sind aber beispielsweise der diffuse Eintrag von Stickstoffverbindungen sowie die möglichen ökotoxischen Wirkungen von Chemikalien, die in die Gewässer gelangen.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche hat in der Region in den letzten Jahrzehnten leicht abgenommen. Der landwirtschaftliche Ertrag stieg jedoch durch eine veränderte Nutzung der verbleibenden Flächen seit 1955 stetig an [2]. So nahm der Anteil der Ackerflächen an der gesamten Landwirtschaftsfläche, insbesondere durch den vermehrten Anbau von Mais, auf Kosten der Naturwiesen zu (Fig. 3). Allein diese Nutzungsänderungen der Landwirtschaftsfläche haben zu einer Erhöhung der Nitratauswaschung [3] von 1965 bis 1985 um ca. 15% ge-

Wasserbilanz einer Gemeinde (Niederschlag minus Verdunstung)
in Mio m^3 pro Jahr

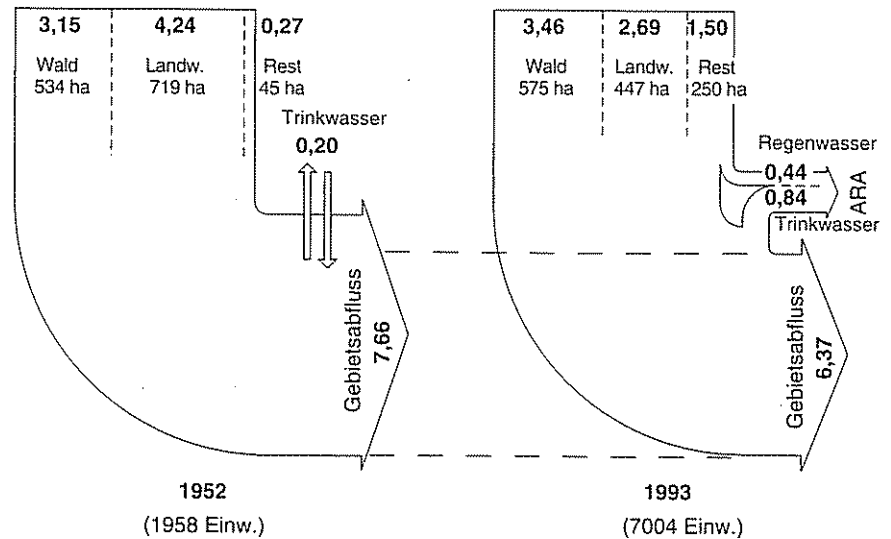


Fig. 2
Veränderung der Wasserbilanz der Gemeinde Embrach über die letzten 4 Jahrzehnte. Die Siedlungsfläche (Rest) nimmt um mehr als das Fünffache zu. Die Siedlungsentwässerung führt zu einer Verminderung des natürlichen Gebietsabflusses um knapp 17%.

führt. Die Intensivierung der Landwirtschaft erforderte überdies den Einsatz von zunehmenden Mengen an Kunstdüngern und Pflanzenschutzmitteln.

Gewässerzustand: Wesentliche Defizite

Der Zustand der Gewässer, wie er sich heute als Folge dieser Entwicklungen und der jetzigen Nutzung präsentiert, ist in vielen Belangen unzureichend, d.h., verschiedene Anforderungen an die Ressource Wasser können in Zukunft nur beschränkt erfüllt werden. Verschiedene Indikatoren weisen auf heutige und zukünftige Problembereiche hin, die die Nutzung der Gewässer durch Mensch und Natur in Frage stellen (Tab. 2).

Übernutzung von Grundwässern

Natürliche Grundwasservorkommen werden in der Region in doppelter Hinsicht geschmälert: für die Wasserversorgung wird Grundwasser entnommen, gleichzeitig wird durch Versiegelung der Oberfläche der natürliche Zufluss vermindert.

Dadurch weisen lokale Grundwasservorkommen keine ausgeglichene Zu- und Abflussbilanz mehr auf. Die

Grundwassermenge nimmt stetig ab. Diese Tendenz widerspricht den Grundsätzen einer nachhaltigen Nutzung. Einerseits ist dadurch eine ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit Wasser längerfristig gefährdet. Andererseits haben Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes direkte ökologische Konsequenzen, beispielsweise dadurch, dass Bäche vermehrt trockenfallen [4].

Im Einzugsgebiet der Töss wurde und wird Grundwasser in dieser Art übernutzt. Das Eulach-Grundwasser im Bereich von Winterthur zeigte bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts einen stetigen Pegelrückgang. Um die zunehmende Grundwassernutzung und Bodenversiegelung zu kompensieren, wird

Problembereiche	Indikatoren
Grundwasser-Quantität	Lokal sinkende Grundwasserspiegel
Grundwasser-Qualität	Zunehmende Nitrat- und Chlorid-Konzentrationen
Qualität der Oberflächengewässer	Nitrat- und DOC-Konzentrationen verbreitet im Bereich oder über dem Qualitätsziel
Qualität der aquatischen Lebensräume	Schwindende Artenvielfalt

Tab. 2
Analyse des regionalen Gewässerzustandes

u.a. seit 1965 Grundwasser aus dem Tösstal ins Eulachtal gepumpt und in einem Schluckbrunnen versickert. Damit konnte der Grundwasserspiegel stabilisiert werden. Auch im weniger dicht besiedelten Gebiet des oberen Kempttals, im Bereich der Gemeinde Fehraltorf, sind sinkende Grundwasserspiegel festgestellt worden [4].

Probleme der Wasserqualität

Bei der Wasserqualität, beurteilt aufgrund konventioneller Indikatoren wie Nitrat oder organischer Belastung (DOC), zeichnet sich in den letzten Jahren eine erfreuliche Trendwende ab, indem die Schadstoffkonzentrationen nicht mehr stetig zunehmen und in Einzelfällen bereits rückläufig sind. Trotzdem liegen die Nitrat- und DOC-Gehalte immer noch in vielen Gebieten im Bereich oder über den entsprechenden Qualitätszielen.

Zudem zeichnen sich in vielen Gewässern Qualitätsprobleme ab, die auf ökotoxische Effekte von Chemikalien in geringen Konzentrationen (Spurenstoffe) zurückzuführen sind (siehe EAWAG news 40, S. 8ff). In der Töss konnten zwar bisher keine solchen Effekte nachgewiesen werden. Trotzdem ist auch aus qualitativer Sicht die Wassernutzung für die Zukunft noch lange nicht gesichert.

Auswirkungen auf die Biodiversität

Die Qualität der aquatischen Lebensräume hat sich in der Region durch die menschlichen Aktivitäten erheblich verändert. Kantonale Erhebungen zeigen, dass viele Tier- und Pflanzenarten ausgestorben oder von Aussterben bedroht sind [5]. Diese Situation ist in den natürlicherweise artenreichen Lebensräumen in und um die Gewässer besonders ausgeprägt. Es ist nicht mehr für alle natürlich vorkommenden Arten möglich, sich selbständig erhaltende Populationen aufrechtzuerhalten. So finden sich zum Beispiel in der Töss, oberhalb des ersten grösseren künstlichen Aufstiegshindernisses, nur

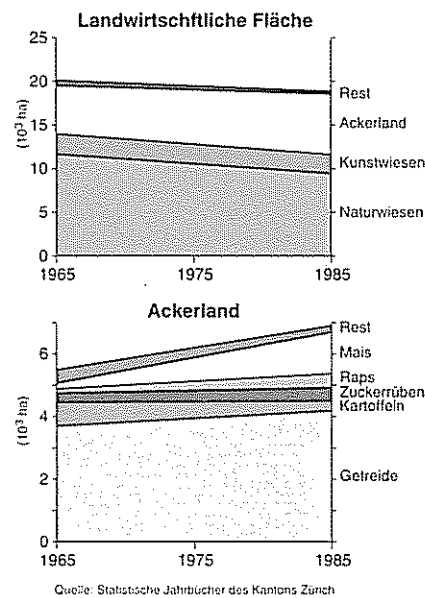


Fig. 3
Die landwirtschaftliche Nutzung in der Region Töss. Während die gesamte Landwirtschaftsfläche leicht abnimmt, nimmt der Anteil des Ackerlandes zu.

noch wenige der natürlicherweise zu erwartenden Fischarten (vgl. Beitrag Peter ab Seite 18).

Voraussetzungen für ein nachhaltiges Wassermanagement

Diese Probleme sind kaum auf einen einzelnen Grund zurückzuführen, sondern sind die Folge verschiedener regionaler Entwicklungen und Aktivitäten. Um die Wassernutzung in Zukunft zu sichern, genügt es nicht, Einzelprobleme durch «end-of-pipe»-Massnahmen anzugehen. Solche können zwar lokal Verbesserungen bewirken. Vielfach ergeben sich aber unerwünschte Nebeneffekte in anderen Bereichen. Solche rein technisierende Massnahmen sind zudem oft äusserst kosten- und energieintensiv, sodass sie in einer ganzheitlichen Beurteilung kaum als nachhaltig gelten können. Ein eindrückliches Beispiel dafür, wie komplex Problemlösungen sein können, zeigt sich beim Umgang mit schadstoffbelasteten Dachabwässern (vgl. Beitrag Boller ab Seite 6).

Um die regionale Wassernutzung nachhaltig zu gestalten, sind Massnahmen an der Quelle notwendig. Eine Grundvoraussetzung dafür, sind Kenntnisse über die Triebkräfte der gesellschaftlichen Entwicklung, welche die Art und Weise der Wassernutzung

bestimmen. Die wichtigsten diesbezüglichen Triebkräfte in der Region Töss waren in der Vergangenheit das Bevölkerungswachstum sowie die starke Zunahme der wirtschaftlichen Produktivität, der Mobilität und des Raum- und Ressourcenbedarfs.

Das übergeordnete Ziel ist es, ganze Aktivitätsbereiche wie Landwirtschaft, Verkehr oder Energiewirtschaft gleichzeitig nachhaltig zu gestalten. Dazu müssen neben naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen auch gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Aspekte bei der Problemlösung berücksichtigt werden, die einen intensiven Dialog zwischen Wissenschaft, Behörden, Wirtschaft und Bevölkerung erfordern. Im Rahmen der Untersuchungen der Region Töss hat die EAWAG versucht, diese Aspekte mitzubedenken und Interessenskonflikte nicht nur aus rein naturwissenschaftlich-technischer Sicht anzugehen. Auf die Methoden und die gemachten Erfahrungen geht Andrea Rüede in ihrem Beitrag ab Seite 23 ein.

Entscheidungen und Massnahmen müssen die gesellschaftlichen Wertvorstellungen ebenso berücksichtigen wie die wissenschaftlichen Fakten. Mit dieser erweiterten Optik hat die EAWAG für sie bisher ungewohnte Wege beschritten. Der Austausch über die Disziplinengrenzen hinweg und mit den regionalen Akteuren hat zahlreiche Lernprozesse ausgelöst. Solche Lernprozesse sind aber notwendig, um dem Ziel eines nachhaltigen Wassermanagements auf lokaler, regionaler und globaler Ebene näherzukommen.

- [1] Brändli, R.: Die Veränderungen des Zürcherischen Gewässernetzes seit dem 19. Jh., Diplomarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich (1990).
- [2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), (1994): Zur Lage der Umwelt in der Schweiz: Umweltbericht 1993, Bern.
- [3] Braun, M. et al. (1994): Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und in der Para-Landwirtschaft, Schriftenreihe der FAC Liebefeld, Nr. 18, Liebefeld-Bern.
- [4] Krejci, V. et al. (1994): Integrierte Siedlungs-entwässerung. Fallstudie Fehraltorf. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 8, Dübendorf.
- [5] Regierungsrat des Kantons Zürich (1992): Naturschutz-Gesamtkonzept (Entwurf).

Markus Boller*

Regenwasser auf neuen Wegen



Markus Boller

* in Zusammenarbeit mit Adrian Ammann, Irene Brunner, Thomas Bucheli, Jack Engster, Stefan Haderlein, Martin Häfliger, Edi Hoehn, David Kistler, Daniel Kobler, Sabine Koch, Yael Mason, Werner Meier, Peter Steen Mikkelsen, Vincent Mottier, Michael Ochs, Stephan Müller, Andrea Rüede, Laura Sigg, Christian Singeisen, Michele Steiner, Andreas Voegelin und Jürg Zobrist.

Die Siedlungswasserwirtschaft der Zukunft fordert im Sinne der nachhaltigen Wassernutzung kleine Wasserkreisläufe. Die Abflüsse von befestigten Oberflächen sollen nicht mehr in die öffentliche Kanalisation eingeleitet, sondern womöglich versickert werden. Diese Forderung ist auch im schweizerischen Gewässerschutzgesetz enthalten.

Von der Einführung einer neuen Entwässerungsstrategie werden zahlreiche Vorteile erwartet, so zum Beispiel eine Zunahme der Grundwasserspeisung, eine Abnahme der hydraulischen Belastung von Kanälen und Kläranlagen sowie eine Verminderung der Regenwasserentlastungen und der Spitzenabflüsse. Am Beispiel des Einzugsgebietes der Töss wurde die wasserwirtschaftliche Bedeutung der Meteorwasserversickerung nun in konkreter Umgebung quantifiziert. Dies erlaubt eine Präzisierung der allgemein formulierten positiven Aspekte der Versickerung von Dach- und Strassenabflüssen. In verschiedenen Projekten der EAWAG wurde die Qualität von Regenwasserabflüssen untersucht, sowie Transport und Schicksal kritischer Inhaltsstoffe unter Annahme alternativer Entwässerungskonzepte studiert. Die aus quantitativer Sicht positiv zu wertende Massnahme der Meteorwasserversickerung erweist sich – wie alle andern Möglichkeiten der Regenwasserentsorgung – unter Beachtung der Qualität der Abflüsse als bislang nicht nachhaltig.

Wieviel Regenwasser kann künstlich versickert werden?

Mit durchschnittlich 1400 mm Jahresniederschlag fallen jährlich 540 Mio. m³ Wasser auf das Einzugsgebiet der Töss. Davon fliessen ca. 200 Mio. m³ oberflächlich ab, wobei der Abfluss von den befestigten Flächen des Töss als lediglich ca. 34 Mio. m³ (6,3%) beträgt. 20 Mio. m³ entfallen auf Strassen-, 10 Mio. m³ auf Dachabflüsse, der Rest auf Regenwasser von Flächen wie Parkplätze, Zufahrten, Höfe, etc.

Heute gelangen von den Oberflächenabflüssen 14 Mio. m³ über die öffentliche Mischwasserkanalisation in die Kläranlagen oder werden bei grösseren Regenereignissen über Spezialbauwerke in die Bäche und Flüsse entlastet. Künftig wird nun angestrebt, einen möglichst grossen Anteil dieser 14 Mio. m³ und der heute unkontrolliert abfliessenden 20 Mio. m³ umzulenken und in Versickerungsanlagen dem Grundwasser zuzuführen. Wieviel von diesen Oberflächenabflüssen tatsächlich versickert werden kann, hängt von Faktoren wie Bodendurchlässigkeit, Hangneigung und Grundwasserschutz zonen ab. In einem Raster von 100x100 m wurden diese Parameter mit Hilfe geographischer Informationssysteme ermittelt. Die Informationen wurden einander überlagert und resultierten in einer Versickerungskarte des Töss als, aus der die geographische Lage der zur Versickerung geeigneten Gebiete hervorgeht. Lediglich 10% der Oberfläche konnten als gut, weitere 18% als mässig geeignet identifiziert werden. Häufig decken sich jedoch gute Versickerungseignung und überbaute Flächen in den Talböden, was das Versickerungspotential erhöht.

Wieviel von den Oberflächenabflüssen versickert werden kann, hängt davon ab, in welchem Masse es gelingt, die Oberflächenabflüsse an Versickerungsanlagen anzuschliessen. Den Berechnungen zum Versickerungspotential wurden darum unterschiedliche Szenarien, die ansteigende Anschlussgrade vorsehen, zugrundegelegt. Tabelle 1 zeigt die Berechnungsannahmen mit entsprechenden versickerbaren jährlichen Oberflächenabflüssen.

Szenario	Angeschlossene Oberflächen	Versickerbare Abflussmengen Mio. m ³ /Jahr
1	50% Dachflächen 20% Zufahrten, Parking	1,8
2	100% Dachflächen 50% Zufahrten, Parking	4,2
3	100% Dachflächen 80% Zufahrten, Parking 50% Strassen	9,1
4	100% Dachflächen 100% Zufahrten, Parking 100% Strassen	15,0

Tab. 1
Versickerbare Regenwasserabflüsse befestigter Flächen im Töss

Szenario 4 wird als nicht praktikabel beurteilt und folglich nicht diskutiert. Die wasserwirtschaftliche Bedeutung der versickerbaren Wassermengen wird durch Vergleiche mit relevanten Wasserumsätzen im Tösstal deutlich. Dabei erweisen sich selbst unter Szenario 3 die von Siedlungen und Strassen abfliessenden versickerbaren Niederschlagsmengen mit 3% des Gesamtgebietsabflusses als sehr bescheiden. Erst im Vergleich mit Wasserflüssen im Siedlungsbereich wie Trinkwasserverbrauch und Abwasserproduktion werden die versickerbaren Abflussmengen zu signifikanten Beiträgen am zivilisatorischen Wasserkreislauf. Fig. 1 zeigt für die Szenarien 1 bis 3 die versickerbaren Abflüsse von befestigten Flächen in einzelnen Teilgebieten sowie im gesamten Tösstal als Prozente des Trinkwasserverbrauchs. Die Resultate zeigen, dass im Tösseinzugsgebiet bestenfalls etwa die Hälfte des für Trinkwasserzwecke dem Boden entnommene Wasser durch künstliche Versickerung ersetzt werden könnte. Zu betonen bleibt, dass der aus wasserwirtschaftlicher Sicht erhebliche Beitrag zur Grundwasseranreicherung nur bei konsequenter Realisierung aller technisch machbaren Versickerungsmöglichkeiten erreicht werden kann.

Da nur bei Neu- und Umbauten eine Versickerung der Meteorwässer realisiert werden kann, wird sich die Verwirklichung der weitgehenden Ableitung in Versickerungsanlagen über Jahrzehnte erstrecken. Die Abkoppelung der Regenwasserabflüsse von öffentlichen Abwassersystemen wird je nach Einzugsgebiet hydraulische Entlastungen im Bereich der Kanalisatio-

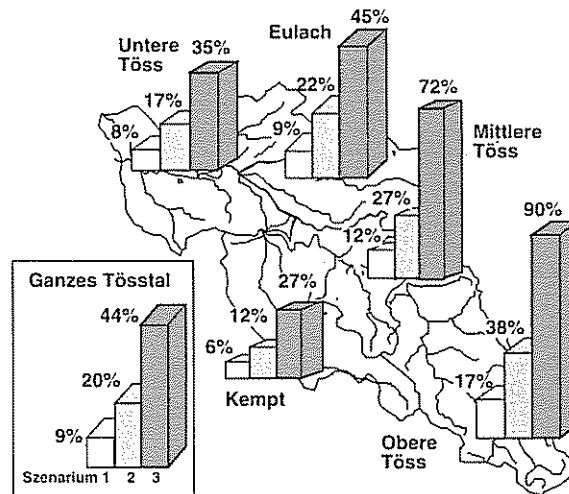


Fig. 1 Versickerbare Meteorwassermengen im Vergleich zum Trinkwasserverbrauch im Tösstal für die Szenarien gemäss Tabelle 1.

nen bis zu 60% der heutigen Belastungen ermöglichen und entsprechend zu einer Verringerung der Kanalüberläufe und zur Verbesserung der Abwasserreinigung führen. Kosteneinsparungen werden sich nur langfristig im Zuge von Sanierungsarbeiten an Kanalnetzen und Kläranlagen ergeben.

Verschmutzung der Oberflächenabflüsse

Bei der praktischen Umsetzung der Meteorwasserversickerung wird vorausgesetzt, dass Niederschlagsabflüsse wenig oder nicht verschmutzt sind und allfällige Schadstoffe im Boden zurückgehalten werden. Das Verschmutzungspotential für Grundwasser wurde deshalb als sehr gering eingestuft. Eingehende Untersuchungen von Dach- und Strassenabflüssen haben jedoch gezeigt, dass Inhaltsstoffe von derartigen Oberflächenabflüssen einer starken Dynamik unterliegen, indem zu Beginn eines Regens gegenüber der Stoffgehalte des Regenwassers enorme Konzentrationsüberhöhungen (first-flush-Effekt) auftreten. Die EAWAG hat diesbezüglich Untersuchungen an

verschiedenen Dächern durchgeführt, die den first-flush für zahlreiche Substanzen dokumentiert. Während einer Serie saisonal unterschiedlicher Regenfälle wurden abflussproportionale Proben der Abflüsse eines Ziegeldaches, eines geneigten Glasfaserdaches und eines Kiesflachdaches in der Stadt Zürich mit je ca. 100 m² Oberfläche erhoben. Fig. 2 zeigt die drei untersuchten Dacharten. Weitere Untersuchungen erfolgten in den Abflüssen einer 5000 m² grossen Kombination verschiedener Flachdächer in Winterthur. Die Ergebnisse weisen grundsätzlich darauf hin, dass die Inhaltsstoffe in Dachabflüssen spezifisch sind für

- die in der Trocken- und Nassdeposition akkumulierten Stoffe
- die Baumaterialien in Kontakt mit dem Regenwasser
- die Bauart eines Daches.

Abschwemmung der Trocken- und Nassdeposition

Abschätzungen zu den Jahresfrachten der untersuchten Qualitätsparameter weisen nach, dass die Nassdeposition nur leicht höher als die Trockendeponi-



Fig. 2 Untersuchte Dachtypen: Ziegeldach (Werdinsel),



Glasfaserdach (Tüffenwies),



Kiesflachdach (Tüffenwies).

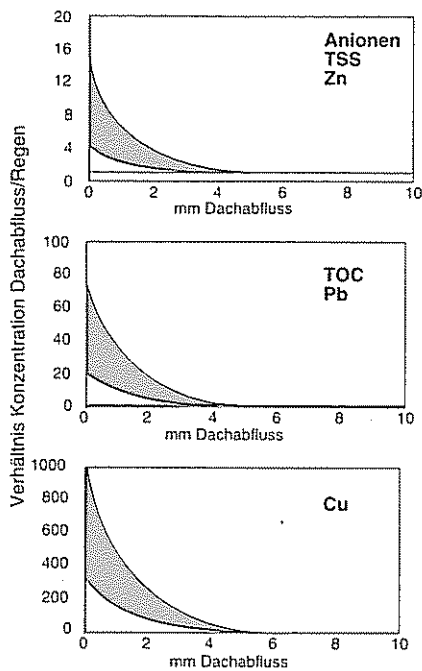


Fig. 3 Klassierung der first-flush-Effekte verschiedener Substanzen in Dachabflüssen.

sition ist. Dem Regen vorangehende Trockenperioden tragen deshalb entscheidend zur Anreicherung der Stoffe im Dachabfluss bei. Die Aufzeichnung der Stoffkonzentrationen in Abhängigkeit der abgeflossenen Regenmenge (1 mm Abfluss = 1 l/m²) erlaubt eine zusammenfassende Charakterisierung der Inhaltsstoffe. Fig. 3 zeigt die typischen first-flush-Effekte mit Konzentrationsüberhöhungen im Bereich bis zum 10fachen der Regenkonzentrationen wie sie für verschiedene Anionen (Cl⁻, SO₄²⁻, NO³⁻), suspendierte Stoffe, Zink und Atrazin, typisch sind. TOC und Blei repräsentieren eine zweite Stoffklasse mit bis zu 100fachen Überhöhungen, die neben gelösten Anteilen die Abschwemmung von partikulärem und kolloidalem Material beinhaltet.

Als einziger Stoff zeigt Kupfer Anfangskonzentrationen, die bis zum 1000fachen über den Gehalten des Regenwassers liegen und damit den starken Einfluss der Baumaterialien belegen.

Einfluss von Baumaterialien

Die enormen Konzentrationsüberhöhungen von Kupfer sind eindeutig auf kupferhaltige Installationen an den untersuchten Dächern zurückzuführen. Fig. 4 zeigt den Kupfergehalt der Dachabflüsse mit zunehmender Abflussmenge, wobei der Unterschied zwischen den mit Kupferdachrinnen ausgestatteten Ziegel- und Polyesterdächern und dem Kiesdach ohne Kupfer sehr deutlich wird. Die hohen Kupferkorrosionsraten gaben Anlass zu weiteren Studien über das Ausmass von Kupferinstallationen im Aussenbereich von Bauten und über das Potential der daraus entstehenden Kupferabflüsse durch Meteorwasser in die Umwelt. Mit einem durchschnittlichen Anteil von 5,3% Kupferoberflächen auf Dächern und in Ablaufrinnen errechnen sich die im Tösstal mit Regenwasser in Kontakt stehenden Kupferbleche zu ca. 410 000 m². Je nach der in der Literatur im Bereich von 0,5 bis 4 µm/Jahr angegebenen Korrosionsrate ergeben sich daraus Kupferfrachten im Bereich von 2000 bis 4000 kg Cu/Jahr. Die Kupferfrachten aus Dachabflüssen machen damit heute bei Mischwasserentwässerung mindestens 40% der gesamten Kupferfrachten im Abwasser aus. Ein Teil des Kupfers gelangt während der Regenwasserabflüsse direkt

in die Vorfluter. Ein anderer Teil wird in den Kläranlagen hauptsächlich in den Klärschlamm eingebunden, welcher heute zu je 50% deponiert und landwirtschaftlich verwertet wird. Dabei ist zu betonen, dass auf landwirtschaftlichen Böden die heutige Bewirtschaftungspraxis um ein Vielfaches mehr zur Kupferanreicherung beiträgt, als der ausgebrachte Klärschlamm. Ähnlich grosse Kupferfrachten wie aus Dachabflüssen stammen von Strassenabflüssen, die ebenfalls zu diffusen Gewässer- und Bodenbelastungen führen. Mit den neuen Entwässerungssystemen mit Versickerungsanlagen werden sich voraussichtlich Kupfer und andere in Dach- und Strassenabflüssen enthaltene Schwermetalle in den oberen Bodenschichten relativ schnell anreichern.

Ein weiterer entscheidender Beitrag von Baumaterialien in Dachabflüssen stammt von Bitumenbelägen auf Flachdächern. Das bei der Hydrolyse der Substanz Preventol freiwerdende Herbizid R- und S-Mecoprop, welches den Pflanzenwuchs verhindern soll, gelangt in den Dachabfluss und erreicht ca. 100fach höhere Konzentrationen als andere im Regenwasser enthaltene Pestizide wie z.B. Atrazin. Fig. 5 zeigt den Konzentrationsgang von Atrazin und Mecoprop in Abhängigkeit der Abflussmenge der erwähnten Flachdächer in Winterthur, wobei Unterschiede der Konzentrationsniveaux wie auch das Auswaschungsverhalten deutlich werden. Bisherige Schätzungen über die Bedeutung der Mecoprop-Auswaschung von Flachdächern er-

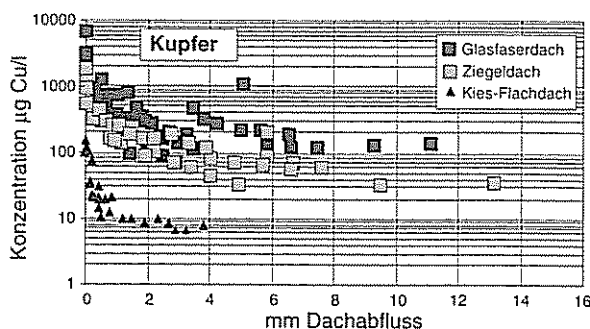


Fig. 4 Kupferkonzentrationen im Ablauf von Dächern mit Kupferinnen (Glasfaser- und Ziegeldach) und ohne Kupferinstallationen (Kiesdach).

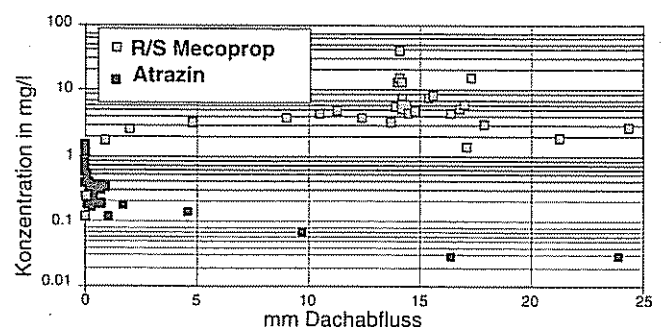


Fig. 5 Atrazin und Mecoprop im Abfluss eines Flachdaches.

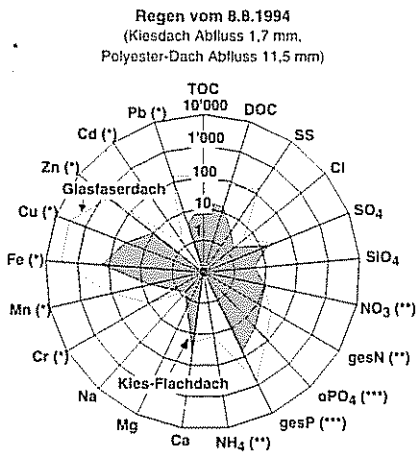


Fig. 6
Schmutzstoffkonzentrationen im Ablauf eines geneigten Glasfaserdaches und eines Kiesflachdaches (mg/l, (*) µg/l, (**) mgN/l, (***) mgP/l.

geben diffuse Frachten in der gleichen Grössenordnung wie jene aus der Mecoprop-Anwendung in der Landwirtschaft.

Einflüsse der Dachbauart

Unterschiede zwischen geneigten Dächern und Flachdächern sind sowohl im quantitativen als im qualitativen Abflussverhalten von geneigten Dächern und Flachdächern zu verzeichnen. Die wesentlich erhöhte Speicherkapazität der Flachdächer kombiniert mit einem filterartigen Dachaufbau sind Stapelraum und vielfach auch Senke für viele Inhaltsstoffe. Abgeschwächte first-flush-Effekte, Filtration, Adsorption und biologische Umwandlung sind Prozesse, die je nach Substanz zu einer erheblichen Qualitätsverbesserung der Flachdachabläufe führen. Fig. 6 zeigt für eine Serie untersuchter Parameter einen Vergleich zwischen den Abflusskonzentrationen des Polyesterdaches und des Kiesflachdaches. Langfristig sind Kiesflachdächer oder begrünte Flachdächer als effiziente Schmutzstofffänger mit entsprechender Anreicherung im Dachmaterial zu betrachten.

Qualitativer Vergleich zwischen Dach- und Strassenabflüssen

Abflüsse von Strassen weisen wesentlich höhere Konzentrationen an Schadstoffen auf als Dachabflüsse. Meist sind partikulär gebundene Verschmutzungen und vor allem die bei Verschleiss

von Fahrzeugteilen und beim Treibstoffverbrauch anfallenden Stoffe stark erhöht. Ein Vergleich der aufgrund der Verschmutzung und der Oberflächenanteile von Dächern und Strassen im Tösstal zu erwartenden Gesamtfrachten ergibt für alle gemessenen Qualitätsparameter inklusive Kupfer höhere Beiträge von Verkehr und Strasse. Insbesondere werden im Vergleich zu Dachabwässern partikuläre Stoffe, Nitrat, Cadmium, Blei und polyaromatische Kohlenwasserstoffe in mehr als 5fachen Mengen diffus an die Umwelt abgegeben. In Bezug auf die Versickerung sind Strassenabwässer mit grosser Vorsicht zu behandeln. In der Praxis haben sich bereits verschiedene Möglichkeiten mit humusierten Mulden bewährt, in denen die Schadstoffanreicherung in einem definierten Raum konzentriert erfolgt. Die häufig praktizierte und propagierte Ableitung über die Strassenschultern ist als kritisch zu beurteilen, weil dadurch eine relativ unkontrollierte und sehr diffuse Anreicherung erfolgt.

Wo verbleiben die Schadstoffe?

Mit den heutigen Entwässerungssystemen gelangen die in Meteorwasserabflüssen enthaltenen Stoffe entweder

direkt diffus in die Umwelt oder in die Mischwasserkanalisation. Gut adsorbierende Stoffe wie Schwermetalle, polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), adsorbierbare halogenierte organische Stoffe (AOX), u.a. werden an partikuläre Phasen gebunden, was zur Anreicherung in Gewässersedimenten, Böden der Landwirtschaft und solchen im Siedlungsraum und entlang von Strassen führt. Mobile Substanzen wie einige Pestizide werden entweder in Kläranlagen und belebten Bodenschichten abgebaut oder gelangen ins Grundwasser. Da sich die Schadstoffe in der Regel auf grosse Flächen verteilen, sind Anreicherungsprozesse dieser Art sehr langsam. Ihre Auswirkungen, beispielsweise die fortschreitende Kontamination fruchtbarer Böden, ist langfristig als unakzeptabel zu werten. Sollen Meteorwässer in einem künftigen Szenario versickert werden, so ergeben sich für die sich anreichernden Substanzen zahlreiche lokal begrenzte Standorte mit hohen Anreicherungsraten und für die mobilen Stoffe ein meist erleichterter Zugang zum Grundwasser. Bodenuntersuchungen in Versickerungsanlagen für Strassenabwässer weisen nach, dass die Anreicherung von Schmutzstoffen hauptsächlich in oberflächen-

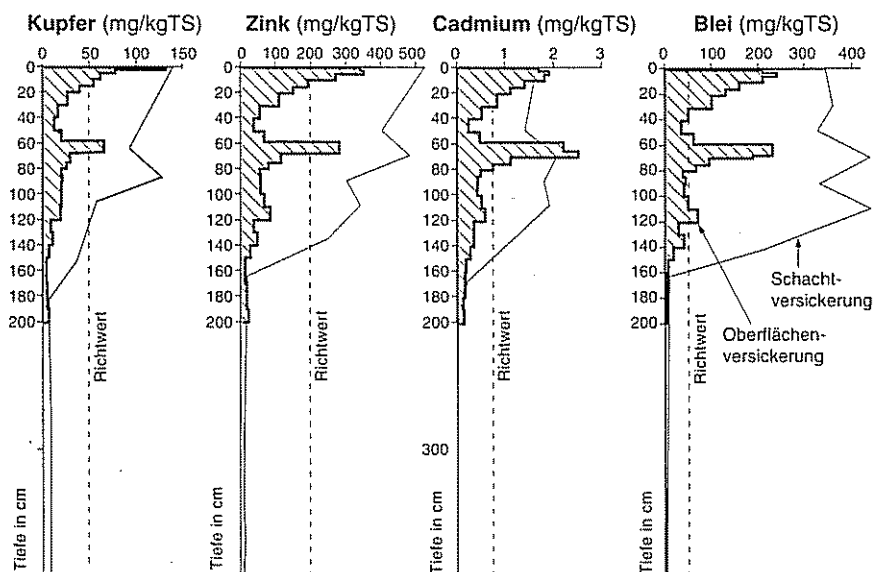


Fig. 7
Anreicherung von Schwermetallen in Böden von Versickerungsanlagen für Strassenabwässer im Kanton Basel.

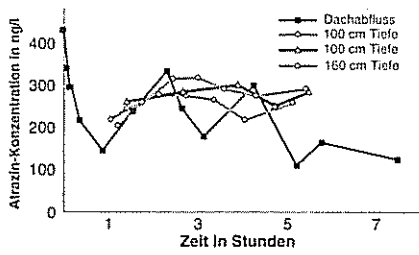
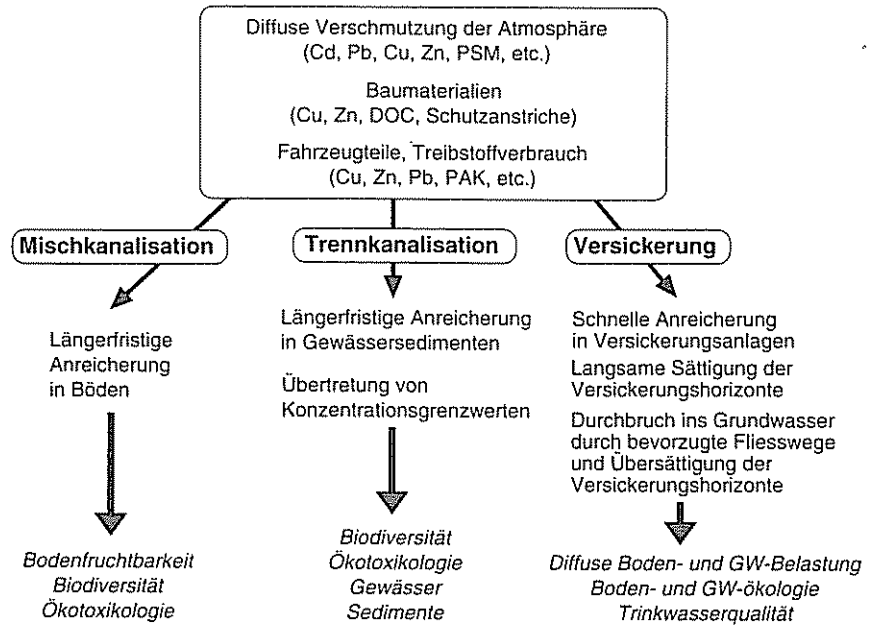


Fig. 8 Durchbruch von Atrazin in einer Muldenversickerungsanlage.

nähen Bodenschichten mit höheren Feinstoffanteilen oder in Kolmationshorizonten stattfindet. Fig. 7 vermittelt ein Bild über die Tiefenprofile der Schwermetalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink für ca. 30 Jahre alte Mulden, resp. Schachtanlagen im Kanton Basel.

Stellt man eine starke Anreicherung von Schadstoffen in Böden von Versickerungsanlagen fest, so ist das eine Dokumentation der Bodenkontamination, die wenig Informationen über den Stofftransport im Porenwasser gibt. Im Rahmen der Neuerstellung einer Muldenversickerungsanlage für die erwähnten Flachdächer in Winterthur wurde von der EAWAG ein Versuchsschacht in der Mulde installiert, der die Probenahme von Porenwasser und die Verfolgung des vertikalen Stofftransports ermöglicht. Die fachlich nach den Regeln der Technik erstellte Mulde erwies sich nach der Dokumentation einiger Regenereignisse als wesentlich durchlässiger als erwartet. Während Blei und Zink im Oberboden zurückbleiben, zeigen Kupfer, Cadmium, Atrazin und Mecoprop auch im anstehenden Schotter schnelle und praktisch vollständige Durchbrüche, die das Vordringen zum Grundwasser vermuten lassen. Fig. 8 liefert den Beweis des schnellen, unverdünnten und biochemisch unbeeinflussten Transports von Atrazin bis in Tiefen von 1,6 m unter die Muldenoberfläche. Das Beispiel zeigt, dass grobkörnige Sickermedien und fluvia-tile Schotter auch mit Humusüberdeckung, insbesondere im Neuzustand ohne nennenswerte Kolmation, keine sichere Barriere gegen das Vordringen von Schmutzstoffen zum Grundwasser darstellen. Die Konstruktion von Versickerungsanlagen bedarf Verbesserungen, die gezielter auf den Stoffrückhalt



Tab. 2 Nachhaltigkeitsdefizite der Regenwasserentsorgung von Siedlungen.

und den biologischen Abbau ausgerichtet sind.

Nachhaltigkeitsdefizite

Welches Entwässerungskonzept auch immer angewandt wird, nicht abbaubare und sich anreichernde Stoffe wie Schwermetalle werden in der Umwelt im Bereich landwirtschaftlicher Böden durch Klärschlamm, in Gewässersedimenten oder Böden von Versickerungsanlagen deponiert. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die in Mischsystemen, Trennsystemen und Versickerungsszenarien zu erwartenden Auswirkungen auf die Umwelt. Die Anreicherung in genutzten Böden und Gewässersedimenten führt früher oder später zu kaum reparablen Schäden in Bezug auf Bodenfruchtbarkeit, ökotoxikologische Verhältnisse, Veränderung ökologischer Gleichgewichte und Verarmung der Biodiversität. Kleinlebewesen, Algen, Fische und Pflanzen können bereits bei niedrigen Konzentrationen und Dosen dieser Stoffe ungünstig beeinflusst, respektive geschädigt werden. Einzig die Einbindung in künstliche Deponien ist diesbezüglich als wenig gefährdend zu beurteilen, solange keine Altlastenproblematik damit verbunden ist. Die Akkumulation in Versickerungsanlagen stellt gegenwärtig ebenfalls eine gangbare Alternative dar, die allerdings die Gefahr einer

Bodensättigung und den Durchbruch ins Grundwasser in sich birgt.

Die Problematik der diffusen Anreicherung von Schwermetallen in der Umwelt besteht darin, dass gegenwärtig und in naher Zukunft wenig akuter Zwang vorhanden ist, durch gesetzliche Vorschriften Anreicherungsprozesse zu bremsen oder zum Stillstand zu bringen. Da es sich um langfristige Prozesse handelt, die je nach Anreicherungs-raten erst im Zeitraum mehrerer Jahrzehnte feststellbar werden, tendieren stoffumsetzende Akteure und Behörden die damit verbundenen Risiken niedrig einzustufen.

Angesichts der in Fig. 9 dargestellten Abhängigkeiten von Stoffeinsatz und -umsatz und der damit einhergehenden Anreicherung in der Umwelt, ist bereits heute ein Handlungsbedarf abzuleiten. Es geht nicht darum, den Spielraum der Anreicherung bis zu geltenden Grenz- oder Richtwerten auszuschöpfen, sondern zum heutigen Zeitpunkt die langfristigen Prozesse der Stoffreduktion, des Ersatzes und der Vermeidung einzuleiten. Die Grafik verdeutlicht, dass auch bei sofortigem Verzicht auf einen beispielsweise in Bauteilen enthaltenen Schadstoff wegen der bereits installierten Mengen, die Anreicherungen weiter fortschreiten werden und selbst bei Erreichen eines kompletten Ersatzes die akkumulierten Mengen im dann zumaligen

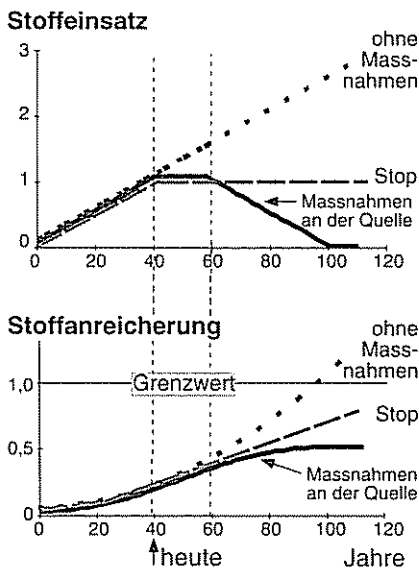


Fig. 9
Schematische Darstellung der Entwicklung des Stoffeinsatzes und der damit einhergehenden Stoffanreicherung in der Umwelt.

Anreicherungszustand konstant bleiben: Eine Perspektive, die vor allem nachkommende Generationen betrifft.

Entwicklung zur Nachhaltigkeit

Da gesetzliche Vorschriften zur Lösung der Anreicherungsproblematik durch Meteorwässer gegenwärtig kaum durchzusetzen wären, bleiben Massnahmen, die dank neu zu gewinnender Einsicht und Weitsicht auf Eigenverantwortung der Akteure basieren. Die wirksame Bearbeitung der Thematik erfordert neue Partnerschaften, die den Kreis traditioneller Zusammenarbeit des Siedlungswasserbauers sprengt. Fig. 10 zeigt die im Falle der Baumaterialienproblematik vor kurzem aufgebaute Partnerschaft, in der sowohl Massnahmen an der Quelle wie auch end-of-pipe Lösungen diskutiert und Optionen für die Realisierung erarbeitet werden. Ähnliche Gruppierungen werden in den Bereichen Verkehr und Landwirtschaft notwendig sein, um allseits zu einer in Richtung Nachhaltigkeit sich entwickelnden Siedlungswasserwirtschaft zu gelangen.

Unter den Massnahmen an der Quelle sind allgemein Verminderung der Stoffein- und -umsätze, Stoffersatz und Verzicht zu nennen, deren Wirkung erst langfristig zum Tragen kommen wird. Flankierend werden deshalb auch end-of-pipe Massnahmen pro-

pagiert, die dem Zweck dienen, die heutige Schadstoffanreicherung besser und sinnvoller zu lokalisieren und zu kontrollieren. Im Falle der Meteorwasserversickerung wird deshalb vorgeschlagen, Versickerungsanlagen nicht nur als hydraulisch effiziente Bauwerke, sondern auch als Reinigungskörper auszubilden. Gegenwärtig an der EAWAG laufende Studien werden zeigen, in welchem Masse poröse Medien mit guter hydraulischer Leitfähigkeit und gleichzeitig speziellen Adsorbereigenschaften dem Zwecke der kleinräumigen Fixierung und der besseren Kontrolle des Schadstofftransports dienen werden. Im Sinne einer besseren Übersicht über die Anreicherungsstandorte wird künftig die Führung eines Katasters von Versickerungsanlagen möglichst auf Gemeindeebene empfohlen.

Zusammenfassung und Folgerungen

Die Einführung der Meteorwasserversickerung ist eine im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sinnvolle Massnahme, wenn sie möglichst weitgehend für alle überbauten Flächen, inkl. Strassen, angewandt wird. Dies wirft jedoch gleichzeitig die Frage nach der qualitativen Entwicklung der Abflüsse befestigter Flächen auf. Aufgrund der heutigen Qualität von Dach- und Strassenabwässern entstehen mit der Versickerung neue Flüsse unerwünschter Stoffe in der Umwelt, die zu diffusen Belastungen von Böden und Gewässern führen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Substanzklassen, die sich in Versickerungsanlagen über die Lebensdauer solcher Installationen anreichern und anderen Substanzen, die sich sehr mobil verhalten und ohne spezielle Massnahmen ins Grundwasser gelangen. Zur ersten Stoffklasse gehören die in Regenwasserabflüssen in erhöhten Konzentrationen vorhandenen Schwermetalle wie Kupfer, Cadmium, Blei und Zink, sowie organische Substanzen, die durch Parameter wie AOX und PAK zusammengefasst werden.

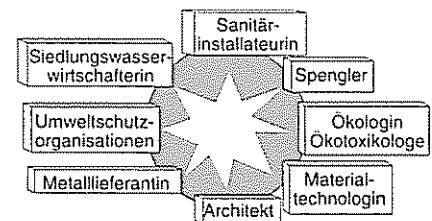


Fig. 10
Neue Partner der Siedlungswasserwirtschaft.

Unter die zweite Stoffklasse fallen verschiedene Pflanzenschutzmittel. Die Problematik der Anreicherung stellt sich nicht akut, sondern ist ein langsamer Prozess, den es heute zu kontrollieren gilt. Langfristig ist offensichtlich, dass umweltgerechte Lösungen nur durch Massnahmen an der Quelle zum Ziele, nämlich zu nachhaltigen kleinen Wasserkreisläufen führen. Im Wissen um die Verursacher von Schadstoffbeiträgen an die Regenwasserabflüsse sind Forderungen zur Verbesserung der Luftqualität sowie zu Einschränkung, Verzicht oder Ersatz gewisser Baumaterialien sowie von Fahrzeugteilen, Unterhalts- und Verbrauchsmaterialien im Aktivitätsbereich Verkehr zu stellen. Massnahmen an der Quelle können selbst bei bestem Willen der Akteure häufig nur sehr langsam greifen, da sie insbesondere bei Baumaterialien nur im Zeitraum der Lebensdauer von Bauten zur Wirkung gelangen. Um gegenwärtig und auch über die heutige Generation hinaus bestehende diffuse Belastungen durch Regenwasserabflüsse besser kontrollieren zu können, sind begleitend technische Massnahmen im Bereich der Versickerungsanlagen (end-of-pipe) möglich, die eine örtliche Fixierung und unter Umständen den biologischen Abbau organischer Verunreinigungen ermöglichen. Dazu müssen neue Typen von Versickerungsanlagen entwickelt werden, die vor allem hydraulische Kurzschlüsse zum Grundwasser verhindern und den Einbau chemisch und biochemisch aktiver Medien vorsehen. Je zügiger diese Massnahmen zur Anwendung gelangen, desto schneller lässt sich die Meteorwasserentsorgung in das Konzept einer neuen Siedlungsentwässerung einbauen, die langfristig ein Minimum an Nachteilen und Nebenwirkungen für die Umwelt verursacht.

C. Annette Johnson* und Eduard Hoehn*

Auswirkungen von Altdeponien auf das Grundwasser

C. Annette Johnson¹Eduard Hoehn¹

In den letzten Jahrzehnten sind in der Schweiz viele abfallbelastete Standorte entstanden, die durch ihr Emissionspotential eine Gefahr für die Hydro- und die Biosphäre darstellen. Ihre Anzahl wird auf etwa 50 000 geschätzt, wovon 5–10% saniert werden müssen. Die Kosten für ihre Untersuchung und Sanierung werden sich in Milliardenhöhe bewegen, sodass Notwendigkeit und Dringlichkeit der Sanierungen im Rahmen einer Triage abgeklärt werden müssen.

Ziele und Fragen

Im schweizerischem Mittelland besteht etwa die Hälfte der belasteten Standorte, wie z.B. Abfall-Deponien oder verunreinigte Böden, aus gemischten Ablagerungen von Siedlungs- und Industrieabfällen. Diese Altdeponien, die evtl. auch umweltgefährdende Stoffe enthalten, liegen oft in alten Kiesgruben. In kies-sandigen Ablagerungen fliesst vielerorts ein genutzter Grundwasserstrom. In der Schweiz wird über 80% des Trinkwassers aus der Res-

source Grundwasser gewonnen. Wo mit Abfällen belastete Standorte über nutzbares Grundwasser liegen, ist dieses gefährdet [1]. Die Auswirkungen von Altdeponien auf das Grundwasser müssen deshalb abgeschätzt werden.

In der Stadt Winterthur liegen etwa 700 mutmasslich belastete Standorte (Verdachtsflächen), wovon etwa 200 als künstliche Auffüllungen in einem Kataster registriert sind. Die Verdachtsflächen bedecken insgesamt 3% der Stadtfläche. Aus diesen Zahlen wird eine mögliche Beeinträchtigung des Grundwassers im Gebiet von Winterthur mit Schadstoffen aus belasteten Standorten abgeleitet, deren Ausmass heute noch schlecht abgeschätzt werden kann [2]. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts der EAWAG war es das Ziel unserer Untersuchung, die langfristige Gefährdung des Grundwassers durch die Altdeponien der Stadt Winterthur am Standort Riet zu ermitteln (Freisetzungspotential von Schadstoffen und allfälliger Sanierungsbedarf nach [3]).

Mit dieser Arbeit wollten wir eine Grundlage für die Bewertung von Altdeponien im allgemeinen und die Ausbreitung von Schadstoffen aus den Altdeponien von Winterthur ins Grundwasser schaffen. Wir verglichen die beobachtete Sauerstoffzehrung im Grundwasser in der Nähe der Altdeponien mit dem heute sauberen Grundwasser im nahegelegenen Wiesendanger Feld.

Das gesteckte Ziel sollte mit einer Detailuntersuchung erreicht werden, die im Vergleich zu einer Voruntersuchung auf einem deutlich engeren

* in Zusammenarbeit mit Karim Abbaspour¹, Aria Amirbahman, Adrian Ammann, Peter Huggenberger², Vijay Matta, Michael Nay, Anita Peter, Sonja Riediker, René Schoenenberger, Laura Sigg, Mario Snozzi, Andrea Ulrich, Jürg Zobrist und Hans-Rudolf Zweifel

¹ Rapportreure

² Kantonsgeologe Basel Stadt, Universität Basel, CH-4056 Basel.

³ Institut für Terrestrische Ökologie, ETHZ, CH-8592 Schlieren.

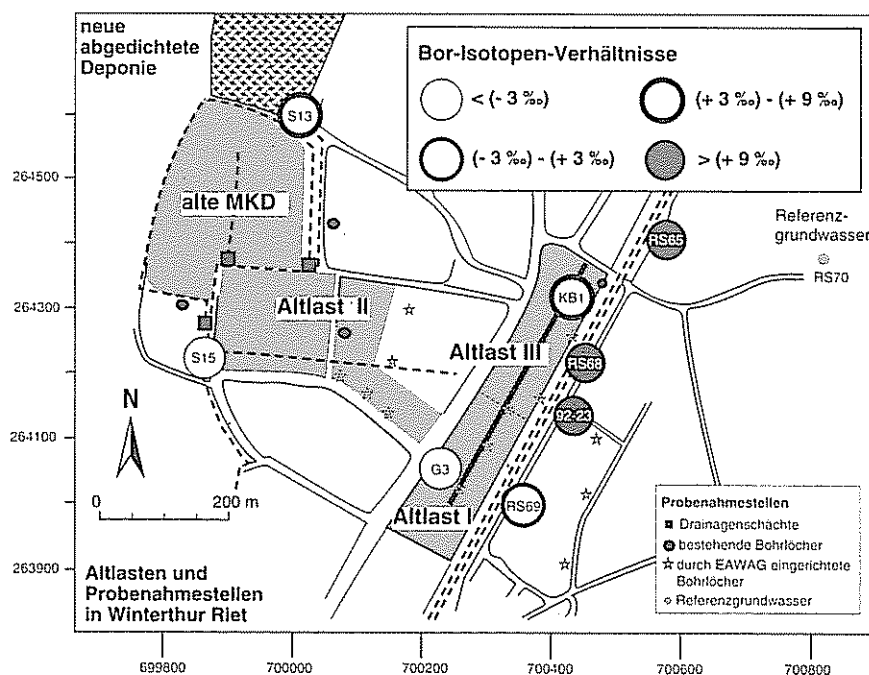
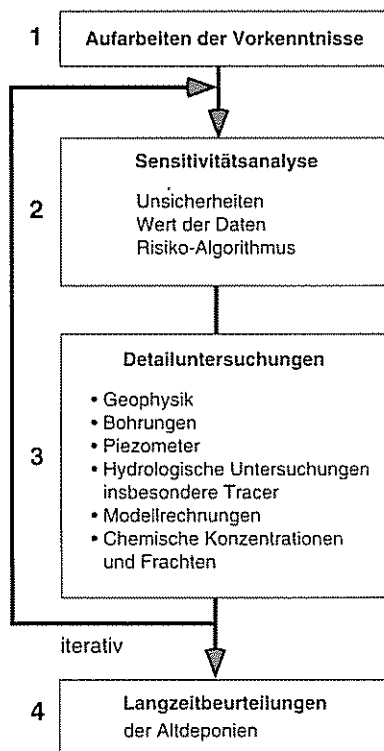


Fig. 1
Lageskizze der Altdeponien am Standort Riet in Winterthur und der Probenahmestellen für Grundwasser. Probenahmestellen zur Bestimmung von Bor-Isotopen-Verhältnissen sind als grössere Kreise markiert. Die ‰-Darstellung bedeutet die Abweichung der Probe von einem Standardwasser und erlaubt, Mischungsanteile verschiedener Wässer zu bestimmen. Gestrichelte Linien = Sickerleitungen, Linie von KB1 zu G3 = Spur des geologischen Profils aus Fig. 2.

räumlichen Raster beruht. Der Umfang der Untersuchung ist den Kosten und der Dringlichkeit der Sanierung gegenüberzustellen. Je effizienter die Untersuchungsmethoden, desto besser investiert sind die finanziellen Mittel. Eine Detailuntersuchung umfasst mehrere Teilschritte, welche der Optimierung der Datenerhebung dienen:



Eine Sensitivitätsanalyse zur Abschätzung des Wertes und der Unsicherheit von Daten z.B. kann nach der Methode von Abbaspour et al. [4] durchgeführt werden: Mit einem mathematischen Algorithmus wird die Güte der bereits erhobenen Daten bewertet. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse kann u.U. bedeuten, dass in der Detailuntersuchung noch mehr Daten erhoben werden müssen.

Für uns war der Standort Riet im Nordosten von Winterthur von besonderem Interesse, weil dort die Stadt Winterthur seit über 70 Jahren einen nennenswerten Teil ihrer Abfälle entsorgt. Wir wollten folgende Fragen beantworten:

• Ist im Gebiet Riet das Grundwasser durch Altdeponien gefährdet, und falls ja, mit welchen Stoffen? Wie weit und wie rasch breiten sie sich allenfalls im

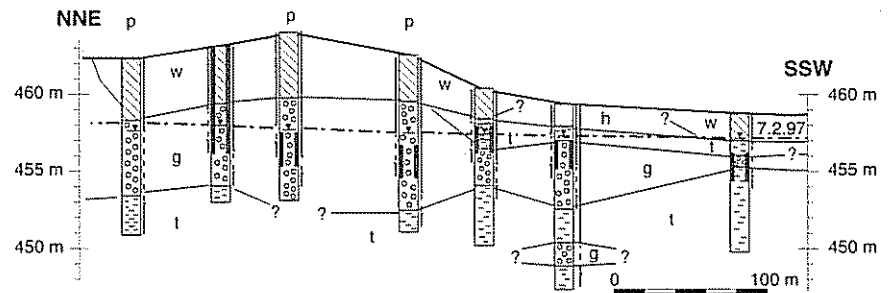


Fig. 2

Geologisches Profil durch die Altdeponien III und I, entlang der Profilspur in Fig. 1.

(Geologische Abfolge: w = künstliche Auffüllung; h = Humus; g = Kies/Sand; t = Moräne; p = ins Profil projizierte Bohrung; feine Linien neben den Bohrprofilen sind Grundwasserbeobachtungsrohre, davon gestrichelt = Filterstrecke; dicke Linien beidseits des Bohrprofils = wenig gestörte Materialproben mit «liner» gezogen; Fragezeichen = weiterer Verlauf unsicher; Grundwasserspiegel = strichpunktiert.)

Grundwasserstrom des Wiesendanger Felds aus?

• Genügt eine Überwachung des Standorts, oder müssten die Altdeponien wegen fehlender Rückhalteprozesse und einer nicht ausschliessbaren Verunreinigung des Grundwassers mit grösserem Aufwand saniert werden?

• Aufgrund welcher Kriterien kann das Langzeitverhalten dieser Altdeponien beurteilt werden? Wie werden Altdeponien mit vorwiegend unbehandeltem Siedlungsabfall im allgemeinen beurteilt?

Standort

Am Standort Riet bestehen neben den heutigen, gegen den Untergrund hin abgedichteten Deponieteilen vier Kompartimente mit unabgedichteten Altablagerungen (siehe Fig. 1 + 4, Altdeponie I: 1918–1925; Altdeponie II: 1925–1935; Altdeponie III: 1950–1960) sowie einer ebenfalls unabgedichteten Multikomponenten-Deponie (MKD: 1960–1990). Die Altdeponien I–III bestehen aus bis zu 3 m mächtigen Verfüllungen alter Torfgruben mit vorwiegend Hauskehricht. Östlich der Altdeponie III besteht der Untergrund in einer Tiefe von 5–10 m mit nach Osten zunehmender Mächtigkeit aus gut durchlässigen kies-sandigen Schotterablagerungen; dieser Bereich liegt am Rand eines genutzten Grundwasserstroms im Wiesendanger Feld. Aus technischen und historischen Voruntersuchungen ist bekannt, dass die Altdeponien Stoffe ins Grundwasser freisetzen. Aufgrund dieser

Ergebnisse ordnete das kantonale Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (AGW) 1994 eine Überwachung des Sicker- und des Grundwassers im Umfeld des Standorts an.

Vorgehen

Unsere Detailuntersuchung der Altdeponien dauerte zwei Jahre und umfasste eine Erkundung des Standorts sowie umfangreiche chemische Analysen. Die Erkundung bestand aus folgenden Teilen:

• Elektromagnetische Messungen, da solche übersichtsmässig, billig und für das Land zerstörungsfrei sind (als EM31 abgekürzt).

• Bohrungen für die detaillierte Erkundung des Untergrunds und für eine horizontierte Entnahme von Materialproben. Bei den Bohrungen gelang es, aus dem nicht kohäsiven kies-sandigen Lockergestein mit einem inneren Kernrohr aus Plastik («liner») wenig gestörte Materialproben unter Luftabschluss zu entnehmen, die anschliessend im Labor untersucht wurden ([5]; siehe Foto rechts oben auf der Titelseite dieses Hefts).

• In die Bohrungen eingelegte Grundwasser-Beobachtungsrohre. Diese dienten der Entnahme von Proben aus Sickerwasser und aus Grundwasser verschiedener Tiefen.

• Chemische Analysen von Material- und Wasserproben, für die Abschätzung des Stoffverhaltens und -transports.

• Einer Wasserbilanz, ein Grundwasser-Strömungsmodell sowie Tracer-

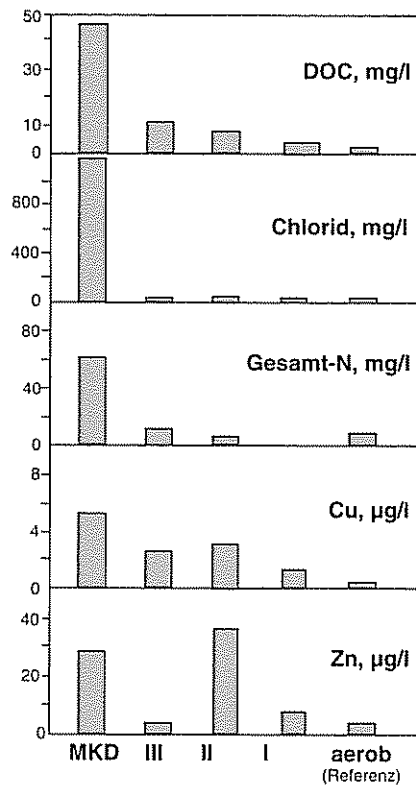


Fig. 3
Konzentrationen von DOC, Chlorid, Gesamt-N, Cu, und Zn, von Sickerwässern verschiedener Altdeponiekompartmenten der Deponie Riet, verglichen mit dem Grundwasser aus dem Wiesendanger Feld (RS70).

Studien wurden im Hinblick auf Ausbreitungsrechnungen und Frachtabschätzungen durchgeführt.

Ergebnisse der Erkundung

Mit der *geophysikalischen Methode EM31* konnten die Abgrenzung der Altdeponie II gegenüber den bestehenden Plänen verfeinert werden, bei der Altdeponie III Gebiete mit erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten von Wasser und Material im Untergrund festgestellt werden [6]. Wir erwarteten, dass solche Gebiete mit der Zusammensetzung der Altablagerung korrelierten. Aufgrund unserer *neuen Bohrungen* konnten die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund in einem gegenüber früher viel feineren Rahmen aufgelöst werden (siehe z.B. Fig. 2). Die *Wasserbilanz* zeigte, dass nur ein geringer Anteil des Niederschlagswassers ins Grundwasser gelangt; der überwiegende Anteil wird durch Drainagen abgeleitet [7]. Eine neue *Tracermethode* mit Bor-Isotopen

erlaubte es, im Grundwasser Mischungen mit Anteilen von 2–3 verschiedenen Ausgangswässern zu erkennen (wahrscheinlich Sickerwässer verschiedener Altdeponie-Kompartmente). Sickerwasser aus der Altdeponie II (Schacht S15), Sickerwasser aus der Altdeponie III (Bohrung KB1), und Grundwasser von Gebieten stromaufwärts (z.B. Rohr RS65) fließen im Grundwasser in Richtung Rohr RS69, wo sie als Mischwässer auftreten (Fig. 1; [8]). Die Ergebnisse des Grundwasser-Strömungsmodells [9] ergaben im Bereich der Altdeponie III eine Abweichung von etwa 30° in Richtung Südwest gegenüber den in den Voruntersuchungen abgeschätzten Fließrichtungen des Grundwassers. Weiter mischt sich bei hohen Grundwasserspiegeln dem Grundwasserstrom von Wiesendanger wahrscheinlich eine geringe Grundwassermenge aus Richtung Altdeponie II bei. Dieser letztere Befund stützt unsere Interpretation der Bor-Isotopen-Verhältnisse.

Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

Geochemische Beschaffenheit der Grundwässer: Im Wiesendanger Feld, östlich des Gebiets Riet (Probenahmestelle RS70), war das Grundwasser nicht durch die Altdeponien beeinträchtigt. Seine Beschaffenheit, hart und sauerstoffhaltig, diente als Referenz für die Bewertung der belasteten Sicker- und Grundwässer.

Die Belastung der Sickerwässer in den Altdeponien I–III und der Grundwässer in ihrer Umgebung (Konzentrationen und Frachten) mit Schadstoffen wie Salzen, anorganischen Verbindungen und Schwermetallen, ist deutlich geringer als jene von Sickerwässern der Multikomponenten-Deponie und der heute in Betrieb stehenden Deponie-Kompartmente. Die hauptsächliche Beeinträchtigung des Grundwassers stammt von der mikrobiellen Sauerstoffzehrung (Reduktion) durch organisches Material, aber auch durch natürlicherweise vorkommende Reste von Torfschichten. Die Sauerstoff-

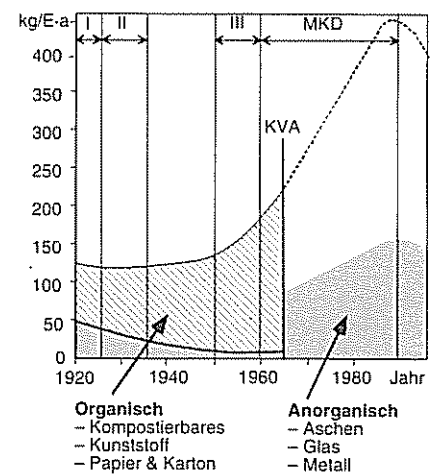


Fig. 4
Darstellung der wahrscheinlichen Veränderung der Siedlungsabfallmengen und der abgelagerten Stoffe in der Deponie Riet.

zehrung zieht weitere biogeochemische Vorgänge nach sich (Nitratreduktion, Eisen- und Mangan-Lösung, sowie Sulfid-Lösung). Man spricht von *Redox-Reaktionen* oder *Redox-Prozessen*. Als Illustration hierzu dient Fig. 3: Während die Belastung für die meisten Stoffe wie oben beschrieben abnimmt, zeigen z.B. Zink (Zn) im Bereich der Altdeponie II und Arsen in der Altdeponie III (nicht gezeigt in Fig. 3) als Ausnahmen gegenüber anderen Probenahmestellen eine deutliche Anreicherung in den Sickerwässern. Um den Grund dieser Anreicherung abzuklären, wären zusätzliche Untersuchungen an der festen Phase des Deponiematerials notwendig.

Die Beeinträchtigung des Grundwassers lässt sich auch als *Fracht* abschätzen, gemessen in kg/Tag, d.h. Durchflussrate in m³/Tag mal Konzentration in kg/m³. Der Durchfluss an Grundwasser durch das Wiesendanger Feld («Referenz» in Fig. 3) liegt mit ca. 20 000 m³/Tag etwa hundert Mal höher als das Einströmen von Grundwasser aus dem Bereich der MKD und der Altdeponie II. Falls die Konzentrationen für gelösten organischen Kohlenstoff (als DOC abgekürzt) in Fig. 3 für die Altdeponie II 5–10mal höher sind als jene im Bereich des Referenz-Grundwassers, bedeutet das eine Zunahme der Fracht von 10–20%. Wir nehmen deshalb an, dass sich die Ausbreitung des reduzierten Grundwassers auf einen ziemlich

kurzen Reaktionssaum grundwasserstromabwärts der Altdeponie I beschränkt. Ausserhalb dieses Reaktionssaums vermischt sich das belastete Grundwasser mit sauerstoffhaltigem Grundwasser, das nicht unter den Altdeponien hindurchströmte. Deutlich zeigte sich dieses Verhalten bei den Bohrungen, welche schräg aus der Altdeponie III heraus entlang der aus den Voruntersuchungen ursprünglich angenommenen Fließrichtung abgeteufelt worden waren [10]: Die Konzentrationen z.B. an Chlorid oder Sulfat nahmen ausserhalb der Altdeponie III sprunghaft ab.

Langzeitverhalten

Ein Sanierungsentscheid hängt u.a. von der Bewertung der zeitlichen Entwicklung von Schadstoff-Konzentrationen und -frachten ab. Um das Langzeitverhalten einer Altdeponierung abzuschätzen, braucht es Informationen über die *Zusammensetzung* und *Reaktivität* des abgelagerten Materials. Diese zwei Faktoren beeinflussen die Frage, ob und wie schnell eine Stoffkonzentration abnimmt, oder ob veränderte biogeochemische Bedingungen zu einer Zunahme von Stofffrachten führen. Für die meisten Stoffe ist als Funktion der Zeit und der Auslaugungsgeschwindigkeit mit einer Abnahme von Konzentrationen und Frachten zu rechnen. Wo aber die geochemischen Bedingungen (z.B. Redox-Bedingungen) ändern, also wenn z.B. organische Stoffe nicht mehr abgebaut oder Metalle mobilisiert werden, können auch viel später (z.B. nach Jahrzehnten) noch Schadstoffe ausgelagert werden.

Zusammensetzung einer Altdeponierung

Erhebungen der Zusammensetzung einer Altdeponierung sind wegen der Heterogenität und der meist fehlenden historischen Dokumentation schwierig. In den meisten Fällen werden aus finanziellen und operationellen Gründen nur Stichproben erhoben.

Die Aussagekraft von Daten kann zwar durch statistische Methoden verbessert werden. Bei einer Beprobung nach bodenstatistischen Methoden [4] müsste jedoch mit hunderten von Proben gerechnet werden, weil die Zusammensetzung der Altdeponierung als Funktion von Fläche und Tiefe bestimmt werden muss. Selbst dann ist noch mit unerfassten Stoffen zu rechnen. In der Altdeponie III am Standort Riet z.B. wiesen Analysen von Stichproben (6 Mischproben von Bohrkernen in einer Tiefe von zwischen 0,3 und 2,0 m) Zink-Konzentrationen im Bereich von 0,07 bis 1,2 g/kg auf. Diese korrelierten nicht mit der elektrischen Leitfähigkeit des Materials, gemessen mit EM31.

Eine historische Erkundung des Inhalts alter Siedlungsabfall-Deponien ist mittels Literaturangaben [11] nachvollziehbar. In diesem Jahrhundert hat die Abfallmenge stark zugenommen, und ihre Zusammensetzung hat stark geändert [12]. Anfangs des Jahrhunderts bestand der Siedlungsabfall noch zu etwa 50% aus Asche, der Rest war hauptsächlich kompostierbares Material (siehe Fig. 4). Mit der Zeit nahmen aber die Mengen an Asche und kompostierbarem Material ab, die Komplexität der Abfälle stark zu. Seit den 60er und 70er Jahren wird Hauskehricht verbrannt, was die Ablagerung von Kehrichtschlacken zur Folge hatte.

Die Stoffkonzentrationen in Sickerwässern hängen bei *anorganischen* Abfällen hauptsächlich von der Art und der Geschwindigkeit von Auswaschprozessen ab. Beim *organischen* Material ist mit einer Veränderung des Redox-Zustandes sowie mit einer ganzen Palette von organischen Verbindungen zu rechnen (hauptsächlich bei Ablagerungen aus der Zeit nach 1950). Die Auswaschprozesse hängen von den Redoxbedingungen ab.

Reaktivität

Unter Reaktivität verstehen wir die verbleibenden Emissionen eines abgelagerten Abfalls auf Schutzgüter wie

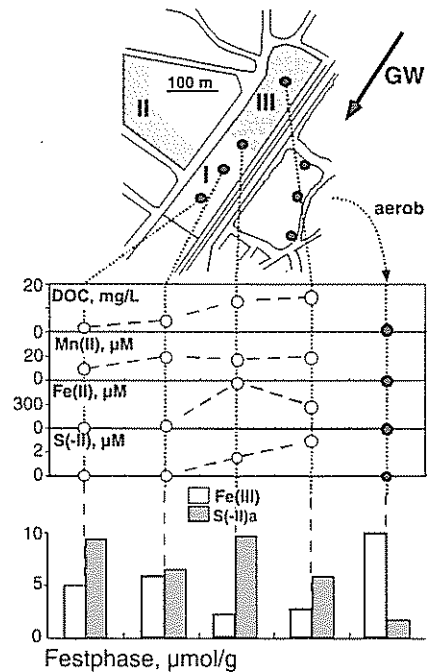


Fig. 5

Redoxzustand des Grundwassers und des Festkörpers in den Altdeponiekompartimenten I und III.

Grundwasser. Sie hängt einerseits von der Zusammensetzung der Altdeponie ab und andererseits von den biogeochemischen Eigenschaften der auswaschbaren Stoffe. Die Reaktivität der Altdeponien des Standorts Riet aufs Grundwasser zeigte sich im Redox-Zustand der Sickerwässer. Bei Untersuchungen von Redox-Spezies (siehe Fig. 5) lagen die Konzentrationen von DOC und vor allem an gelöstem Eisen, Fe(II), und Sulfid, S(-II), im Bereich der Altdeponie III deutlich über denen im aeroben (sauerstoffhaltigen) Grundwasser des Wiesendanger Felds. In dem Bereich wurde auch qualitativ Methan nachgewiesen, was darauf hinweist, dass mindestens örtlich für den anaeroben Abbau günstige Bedingungen (methanogen) vorherrschen. Innerhalb des Areals der Altdeponie I wurde zwar ebenfalls kein Sauerstoff gemessen, aber auch kein gelöstes Fe(II) oder S(-II). Hier herrschen sauerstoffarme Verhältnisse, infolge Mischung der Sickerwässer aus der Altdeponien I und III mit dem Grundwasser des Wiesendanger Felds.

In der festen Phase der Altdeponien ist heute oxidiertes Fe(III) reduziert, und die Konzentrationen des reduzierten Schwefels (-II) sind erhöht; dies

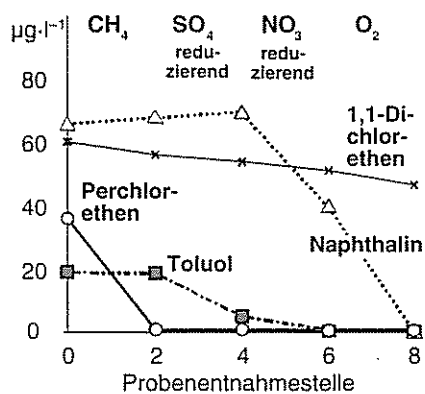


Fig. 6
Beispiel für die Transformation von Schadstoffen in einem Laborsystem.
In vier von links nach rechts nachgeschalteten Kolonnen, die unterschiedliche Redox-Zustände nachbilden, wie es im Fall einer Verunreinigung von Grundwasser durch Deponiesickerwasser geschehen kann, wurde der Abbau- bzw. die Umwandlung von verschiedenen Verbindungen beobachtet.

im Gegensatz zum Aquifer-Material aus dem Wiesendanger Feld. Offenbar herrschten in der Zeit nach der Ablagerung stärker reduzierende Verhältnisse als heute [10]. Die Analyse der Festphase von Altdeponie-Material gibt also Hinweise auf Veränderungen der chemischen Bedingungen in einer Altdeponie mit der Zeit.

Die Abbaubarkeit vieler organischer Verbindungen ist vom Redox-Potential abhängig. Die Studie von Nay et al. [11] zeigt, wie z.B. Perchloräthen unter methanogenen Bedingungen abbaubar ist (Fig. 6). Dagegen werden aerobe Bedingungen benötigt, um z.B. Naphthaline abzubauen. Stoffe wie z.B. 1,1-Dichlorethen werden gemäss dieser Studie unter beiden Bedingungen kaum abgebaut. Diese Verbindungen konnten jedoch am Standort Riet nirgends und zu keiner Zeit nachgewiesen werden.

Emissionen und Langzeitbewertung

Das Schema in Fig. 7 zeigt die Entwicklung der Sickerwasserkonzentrationen aus einer Siedlungsabfalldeponie [13, 14], als Funktion der Zeit. Eine Phase der methanogenen Ausgasung bildet sich rasch und es wird erwartet, dass diese über die ersten Jahrzehnte andauert. Gleichzeitig sind Emissionen verschiedener

Stoffe über das Sickerwasser zu erwarten. Sickerwässer frischer Siedlungsabfalldeponien zeichnen sich aus durch hohe Konzentrationen an organischem Kohlenstoff, Ammonium und Salzen, durch das Fehlen von gelöstem Sauerstoff sowie eine fast unbegrenzte Palette von organischen Verbindungen. Schwermetallkonzentrationen bleiben meist tief, weil sich in der Regel schwerlösliche Sulfide bilden. Allerdings müsste unter weniger anoxischen Bedingungen und bei entsprechenden pH-Werten mit einer Freisetzung der Metalle gerechnet werden. Solange jedoch Kalk als Puffer vorhanden ist und wirkt, bleiben Metalle wenig beweglich. In der Altdeponie III am Standort Riet z.B. ist der Kalkgehalt des Materials derart hoch (10–40 Gewichts-%), dass bis zu dessen Aufbrauch mit mehreren Jahrtausenden zu rechnen wäre. Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen an beweglichen Stoffen ist hier ziemlich sicher abnehmend. Chlorid-Konzentrationen beispielsweise sind in Sickerwässern älterer Siedlungsabfalldeponien tiefer als in jüngeren. In dieser Beziehung sind unsere Ergebnisse mit Werten aus anderen Deponien vergleichbar. Der zeitliche Verlauf von Konzentrationen an Schadstoffen in einer Altdeponie kann aber nur dann abgeschätzt werden, wenn die Entstehungsgeschichte der Altdeponie bekannt ist.

Kosten

Das BUWAL beziffert die Kosten für Detailuntersuchungen einer Altlast auf etwa Fr. 250 000.– [1]. Für unsere Detailuntersuchung, die zwei Jahre dauerte, fielen aber insgesamt Kosten von ca. Fr. 400 000.– an. Davon umfassten Feld- und Laborarbeiten ca. Fr. 280 000.–. Im Betrag für Feld- und Laborarbeiten sind Fr. 79 000.– inbegriffen, mit welchen die Stadt Winterthur die Bohrungen und einen Teil der geophysikalischen Erkundung finanziert hat. Wir verdanken diesen Beitrag. Der höhere Aufwand erklärt sich mit den Interessen eines for-

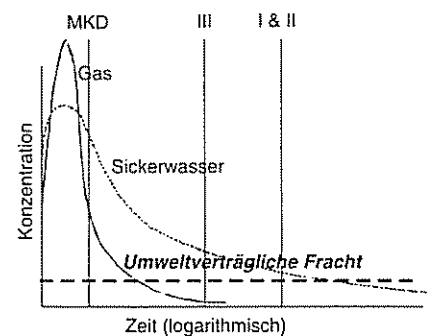


Fig. 7
Schematische Darstellung der langfristigen Emissionen aus Siedlungsabfalldeponien nach [12, 14] sowie qualitative Einschätzung des Emissionszustandes der Altlastkompartimente.

schungsorientierten Betriebes. Wir wollten die Aussagekraft verschiedener Untersuchungsmethoden miteinander vergleichen.

Folgerungen

Wie gross ist das Risiko einer Grundwasserverunreinigung durch die unabdichteten Altdeponien I, II, und III, das die Stadt Winterthur in Zukunft einget? Wir fanden im Sicker- und im Grundwasser mit Ausnahme von Zink und Arsen keine Werte von Schadstoffen, die eine Intervention der Behörden erfordern würden. Deshalb erachten wir die Nutzung des Grundwassers im Wiesendanger Feld aus den heute bestehenden Fassungsanlagen (Brauchwasser) auch längerfristig als gewährleistet. Die Kosten von mutmasslich einigen hunderttausend Franken, die eine allfällige Sanierung (Sicherung oder Dekontamination) der Altdeponien I–III zur Folge hätte, sind nach unserem Dafürhalten unverhältnismässig hoch.

Altdeponien mit vorwiegend Hauskehricht aus den 50er Jahren und früher erachten wir im allgemeinen als geringeres Problem für das Grundwasser als die entsprechend jüngeren Ablagerungen. Eine Triage in den Katastern der Kantone wäre beispielsweise durch eine historische Untersuchung (nach [3]) durchzuführen.

Das auf einen Schutz des gesamten Standorts abzielende Überwachungskonzept für das Schutzgut Grundwasser der Stadt Winterthur ist grobmaschig. Bei unserer Bewertung der Altdeponien I–III gehen wir davon aus, dass

die Überwachung des Grundwassers durch die Behörden gegenüber heute räumlich feiner aufgelöst und in stofflicher Hinsicht unseren Ergebnissen angepasst wird. Betreffend der erwähnten Metalle wären Untersuchungen

von Material der entsprechenden Altdeponien angezeigt. Die Multi-komponenten-Deponie hingegen ist wegen des erhöhten Schadstoffpotentials der Abfälle gegenüber den Altdeponien I–III sorgfältiger zu über-

wachen. Sollten spätere Ergebnisse der Überwachung wider unser Erwarten eine Verschlechterung des heutigen Zustands zeigen, wäre insbesondere der Zustand der Multikomponenten-Deponie zu überprüfen.

- [1] BUWAL (1994): Altlasten-Konzept für die Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 200.
- [2] Stadt Winterthur (1996): Jahresbericht Deponie Riet.
- [3] BUWAL (Mai 1997): Erläuterungen zur Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung; AltV), 33 pp.
- [4] Abbaspour K., Matta, V., Huguenberger P. und C.A. Johnson (1997): Decision making using hydrogeological risk models and expert opinions in landfill analysis, J. Contam. Hydrol., in Vorb.
- [5] Hoehn E. und P. Honold (1998): Schonende Entnahme wenig gestörter Materialproben unter Luftabschluss aus Bohrungen in grobkörnigen Lockergesteins-Grundwasserleitern, Schweiz. Ing. Arch., in Vorb.
- [6] Huguenberger P., Zweifel H.-R., Ulrich A. und Ammann A. (1997): Optimising obser-

- vation wells for process studies by combining geophysical and geochemical approaches, in Vorb.
- [7] Zweifel H.-R. (1995): Deponie und Altlasten in Winterthur-Riet: Wasserhaushalt, Unveröff. Ber., EAWAG.
- [8] Aeschbach-Hertig, W., U. Beyerle, M. Hofer, D.M. Imboden, R. Kipfer, A. Johnson, T. Titvar, E. Hoehn, A. Ulrich, S.B. Haderlein, und T. Hofstetter (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in environmental systems. *Chimia*, 51 (12), 941–946.
- [9] Peter A. (1997): Modellierung der stationären Grundwasserströmung mit ASM, Unveröff. Praktikumsarbeit, Univ. Freiburg i.Bsg./EAWAG.
- [10] Amirbahman, A., R. Schoenenberger, C.A. Johnson, und L. Sigg (1997): Aqueous and solid phase biogeochemistry of a calcareous

- aquifer system downgradient from a municipal solid waste landfill (Winterthur, Switzerland), *Environ. Sci. Technol.*, eingereicht.
- [11] Nay M., Snozzi M. und A. Zehnder (1997): Fate and Behaviour of Organic Compounds in an Artificial Saturated Subsoil under Controlled Redox Conditions: the Sequential Soil Column System, Biotodegradation, in Vorb.
- [12] Belevi, H., und P. Baccini (1989): Long-term behavior of municipal solid waste landfills, *Waste Manag. Rev.*, 7, 43–56.
- [13] Baccini P., Bächler M., Brunner P.H. und Henseler G. (1985): Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt: Die Steuerung anthropogener Stoffflüsse als interdisziplinäre Aufgabe. *Müll und Abfall*, Heft 2, 99–108.
- [14] Farquhar C.J. und E.A. Rovers (1973): Gas production during refuse decomposition. *Water Air Soil Poll.*, 2, 483–495.

Die EAWAG verliert ein Vorzeigeobjekt

Die Algothek, eine Sammlung von ca. 300 Algen-Reinkulturen an der EAWAG, wird aus Spargründen aufgehoben. Die Sammlung wurde vom früheren EAWAG Direktor, Prof. O. Jaag, gegründet und von Dr. A. Zehnder aufgebaut. Während Jahren betreute der Mittelschullehrer Dr. Alfons Zehnder an seinen freien Schultagen die Sammlung und isolierte Algen bzw. Cyanobakterien aus aller Welt. Von seinen Auslandsaufenthalten (z.B. Nepal) brachte er viele lebende Kulturen mit nach Hause und entwickelte passende Nährmedien für die einzelnen Stämme. Als Reinkulturen mussten diese Algenstämme immer wieder neu überimpft werden. Die Sammlung war zwar im internationalen Vergleich nicht sehr umfangreich, wurde aber als Bijou geschätzt, weil sie viele seltene und spezielle Arten enthielt, deren Isolationsgeschichte bestens dokumentiert war. Pro Jahr fanden rund 50 bis 100 Kulturen ihren Weg in die Lehre und Forschung als Rohmaterial für Versuche und Anschauungsmaterial im Unterricht.

Nach dem frühen Tod von Alfons Zehnder konnte Frau Dr. Marianne Bosli-Pavoni, eine frühere Mitarbeiterin von Prof. O. Jaag, zur Weiterbetreuung gewonnen werden. In kurzer Zeit hat sie sich in die Kulturtechnik eingearbeitet und die Sammlung mit viel Achtung und Liebe am Leben erhalten. Weil die 20%-Anstellung dazu nicht ausreichte, hat Frau Bosli jahrelang



grosszügig ihre Freizeit geopfert, um der Wissenschaft zu dienen. Sie war auf unsere Bitte auch bereit, nach der Pensionierung weiterzuarbeiten. Eine ihrer letzten Pflichten vor dem endgültigen Ausscheiden aus dem Bundesdienst war die Aufgabe, die Aufhebung der Sammlung in die Wege zu leiten und möglichst viele Algenstämme in andere Sammlungen zu überführen. Die meisten Stämme fanden eine neue Betreuung in Kaiserslautern.

An dieser Stelle sei Frau Dr. Marianne Bosli-Pavoni ganz herzlich für ihren jahrelangen Einsatz gedankt.

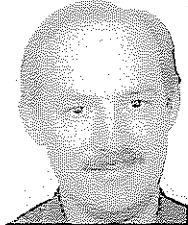
Während also an einer Stelle ein Archiv für Biodiversität aufgelöst wird, interessiert sich andernorts die Forschung für die Inhaltsstoffe, sei es, weil sie medizinisch verwertbar oder toxisch sind, oder weil die Algen aufgrund ihres Stoffwechsels in molekularbiologischen oder physiologischen Tests eingesetzt werden könnten. Dazu benötigt man erstens verschiedene Algen und zweitens Reinkulturen, wie man sie z.B. in einer Algothek findet.

Hans-Rudolf Bürgi

Töss als Lebensraum



Armin Peter



Tom Gonser

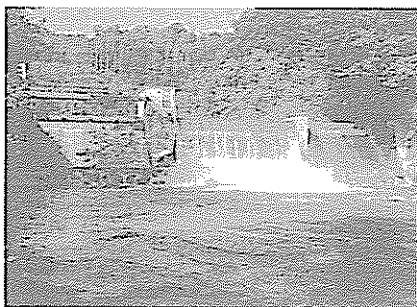
* in Zusammenarbeit mit René Gächter, Matthias Brunke, Ivana Jancarkova, Tania Schellenberg¹, Flavio Tunesi², Peter Ulmann und Rainer Zah

¹ Universität Münster, Zoologisches Institut, Hüfferstr. 1, D-48149 Münster

² Forchstr. 143, 8032 Zürich

Oberhalb Wehr Freienstein (total 12 Fischarten):

Alet, Bachforelle, Elritze, Giebel, Groppe, Gründling, Hecht, Rotaugen, Schleie, Schmerle, *Schneider*, Stichling



Unterhalb Wehr Freienstein (total 23 Fischarten):

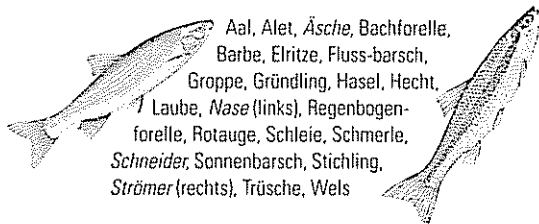


Fig. 1
Vorkommen von Fischarten unterhalb und oberhalb des Wehres von Freienstein (Höhe 6,5 m). Die kursiv gesetzten Fischarten sind nach der Berner Konvention europaweit geschützt.

Der ökologische Zustand der Töss wird von der Mündung bis zur Quelle analysiert. Ganz speziell werden die Fischhabitate und die Fischfauna untersucht. Im Zentrum stehen die Vernetzung der Lebensräume und der Zustand der Habitate. Speziell wird auf die ökologische Situation im Linsental bei Winterthur eingegangen.

Systemanalyse

Um Renaturierungspotentiale zu erkennen, ist eine Analyse des Gewässersystems nötig. Die folgende Analyse basiert auf ökomorphologischen Erhebungen an der Töss [1] auf ihrer gesamten Fließstrecke (inkl. einiger Seitengewässer) und wird durch fischbiologische Untersuchungen ergänzt. Als wichtigster ökomorphologischer Parameter wird die Lebensraumvernetzung diskutiert.

Um den aktuellen Zustand eines Fließgewässers zu bewerten, wird die ökologische Integrität beurteilt [2]. Sie beinhaltet

- die chemische Integrität (Wasserqualität),
- die physikalische Integrität (Habitatstruktur, Abflussregime, Dynamik),
- die biologische Integrität (Gene, Populationen, Lebensgemeinschaften, Beziehungen zur Landschaft).

Analyse der Durchgängigkeit

In der Töss wurden auf ihrer gesamten Fließstrecke von 59,7 km insgesamt 568 künstliche Querbauwerke gezählt. Dem stehen insgesamt 35 natürliche Hindernisse gegenüber. Die freie Fließstrecke beträgt im Durchschnitt nur 99 m.

In Fig. 2 sind die existierenden Wanderungsbarrieren ≥ 2 m eingezeichnet. Das Vorkommen der in der Töss lebenden Fischarten wurde in Abhängigkeit dieser unüberwindlichen Bauwerke analysiert. Wie diese sich auf die Fischfauna auswirken, lässt sich anhand des ersten 6,5 m hohen Wehres bei Freienstein (Fig. 1) verdeutlichen. In der 4,6 km langen, grösstenteils naturnahen Fließstrecke zwischen der Mündung in den Rhein und dem Wehr leben 23 Fischarten. Diese waren

vermutlich vor dem Bau des Wehres auch oberhalb (eine 3,3 km lange naturnahe Strecke) vorhanden. Heute können von diesen Fischarten oberhalb des Wehres nur noch deren 11 (zusätzlich eine neue Art: Aal) nachgewiesen werden. Bei fünf der nächsten sieben hohen Hindernisse sind Fischtreppe eingebaut. Sämtliche Fischtreppe sind jedoch nur für Fische mit einem guten Springvermögen überwindbar und funktionieren kaum für die Kleinfische.

Habitatszustand und Vorkommen der Fische

In der Töss können 4 Flussabschnitte unterschieden werden, die ähnliche Eigenschaften aufweisen:

1. Abschnitt

Rheinmündung bis Strecke 7 (unterhalb Pfungen), 7,9 km lang;
Charakteristik: Habitate meist naturnah, Vorkommen von 24 Fischarten (respektive 12 Fischarten oberhalb von Freienstein)

2. Abschnitt

unterhalb Pfungen bis Strecke 17 (Beginn Linsental), 10,1 km lang;
Charakteristik: Habitate monoton, fehlende Land-Wasser-Wechselwirkung. Vorkommen von 7 Fischarten. Einige Fischarten fehlen infolge der Habitatsmonotonie.

3. Abschnitt

Strecken 18 und 19 (Linsental), 5,75 km lang;
Charakteristik: Habitate monoton, fehlende Land-Wasser-Wechselwirkung. Vorkommen von 4 Fischarten (häufig: Groppe, mittleres Vorkommen: Bachforelle, vereinzelt: Elritze und Schmerle). Das geringe Vorkommen von Elritze und Schmerle ist eine Folge der monotonen Flussverbauung. Die

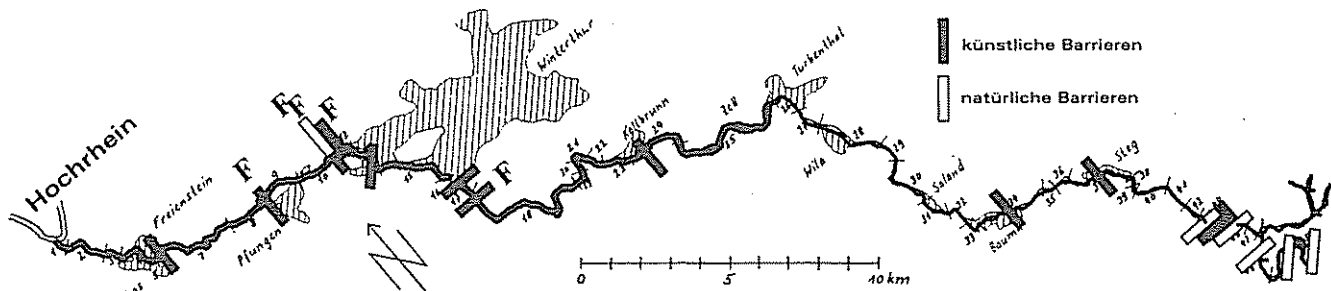


Fig. 2

Einzugsgebiet der Töss, aus [1], ergänzt mit den Wanderungsbarrieren ≥ 2 m. F zeigt an, dass bei der entsprechenden Wanderungsbarriere eine Fischtreppe eingebaut ist. Die Zahlen 1–50 bezeichnen die Abschnitte der ökomorphologischen Erhebungen.

143 künstlichen Querbauwerke (Maximalhöhe 50 cm) stellen für die Kleinfische Wanderungsbarrieren dar.

4. Abschnitt

oberhalb Linsental bis Quellgebiet, 38,8 km lang:

Charakteristik (ohne Quellgebiete): äusserst monotone Fliessstrecke, monotone Habitats, fehlende Land–Wasser–Wechselwirkung. Die 4 vorhandenen Fischarten (Bachforelle, Elritze, Groppe, Schmerle) kommen nur noch in geringen Dichten vor. Dies ist vor allem eine Folge der monotonen Verbauungen, der hydroelektrischen Nutzungen aber auch der natürlicherweise vorkommenden Austrocknungen. Die Durchgängigkeit für die Fische ist nicht gegeben, da 332 künstliche Querbauwerke vorhanden sind (freie Fliessstrecke 117 m).

Seitliche Vernetzung

Spezielle Biotope (wie Seitengerinne, abgekoppelte Pools, die nur bei Hochwasser mit der Töss vernetzt werden) sind bezüglich Strömung, Temperatur und Chemismus im Vergleich zur Töss sehr unterschiedlich und erhöhen die Habitatsvielfalt. Diese sehr wertvollen Fischhabitate (Jungfischhabitate, Überwinterungszonen) weisen hohe Fischdichten und -biomassen auf und werden von Spezialisten besiedelt. Sie tragen zur Erhöhung der Biodiversität bei.

Fehlende Vernetzung der Seitenbäche

Die Seitenbäche münden meistens mit einem Überfall in die eingetieftete Töss, die Vernetzung fehlt. Einwanderungsmöglichkeiten für Kleinfische (die Groppe ist die dominante Fischart) sind daher nicht gegeben. Im oberen Tössstal wurden 8 Seitenbäche analysiert [3]. 6 Seitenbäche waren bereits

bei der Mündung für Kleinfische nicht passierbar, ein Bach war nur die ersten 100 m passierbar, ein weiterer Bach nur die ersten 200 m.

Zusammenfassung der Defizitanalyse

- Die longitudinale Vernetzung (Vernetzung in Längsrichtung) ist in der Töss stark beeinträchtigt (568 künstliche Querbauwerke).
- Die Seitenbäche sind massiv abgekoppelt.
- Die Töss ist hydroelektrisch stark genutzt. 17,5 km (30% der Fliessstrecke) sind Restwasserstrecken, in 11 von 15 Fällen existiert keine Wasserdotation.
- Es sind nur noch wenige naturnahe Fliessstrecken vorhanden (maximal 13% der gesamten Fliessstrecke).
- Mit Ausnahme der naturnahen Strecken sind die Fischhabitate in der Töss äusserst monoton (fehlende Breiten- und Tiefenvariabilität, fehlende Struktur).
- Die seitliche Vernetzung ist praktisch nicht mehr vorhanden.
- Die Fischfauna ist stark beeinträchtigt (Artenvielfalt, Dichte).

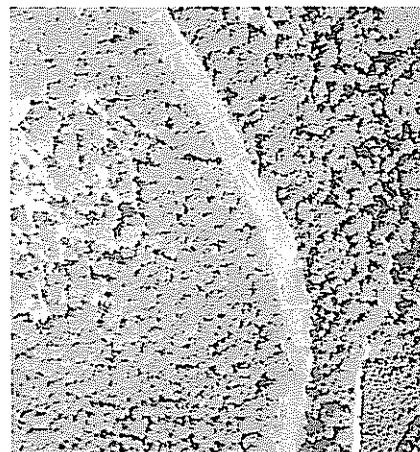


Fig. 3
Luftbild der Töss im Linsental.

• Die für die Selbstreinigung verantwortlichen Biofilme werden in stark verbauten Tössabschnitten schon bei kleineren Hochwassern abgeschwemmt

Fazit: Die intensive Nutzung und Verbauung der Töss hinterlässt ihre Spuren. Die Bewirtschaftung der Töss kann nicht als nachhaltig betrachtet werden und die ökologische Integrität ist nicht gewährleistet.

Es drängt sich eine umfassende Verbesserung der Lebensräume auf. Dies kann am besten durch Renaturierungen und Wiederherstellungen von Vernetzungen (Durchgängigkeiten) sowie durch ausreichende Restwassermengen erreicht werden.

Ökologische Defizite im Linsental

Auf den ersten Blick scheint das Linsental naturnah zu sein, aber schon bei etwas genauerer Betrachtung fällt auf, dass die Töss stark verbaut ist (Fig. 3). Die Ufer sind befestigt und zwingen den Fluss in einen 20 m breiten Kanal. Mit der resultierenden Abflussbeschleunigung und einem allgemeinen Geschiebedefizit im Einzugsgebiet hat sich die Töss eingegraben. Um ein weiteres Absenken der Flusssohle zu verhindern, wurden im Abstand von 30–40 m Querschwellen eingebaut. Da heute der gesamte Fluss – auch bei Hochwasser – in einem fixierten, vertieften Kanal fliesst, fehlt die Wechselwirkung mit dem Umland und die Dynamik der Flussmorphologie.

Die Entkopplung des Flusses von seinem Umland hat weitreichende Folgen für die Ufervegetation. Diese ist in ihrer Struktur monoton (Fig. 4), weil sie nicht durch Überschwemmungsereignisse periodisch aufgerissen

und verjüngt wird. So fehlt eine sukzessive Vielfalt von Pioniergesellschaften und Weichholzaunen verschiedenen Alters. Die Vegetation unterliegt auch nicht Perioden der Vernässung durch Überflutung und hohen Grundwasserständen.

Zudem ist die Einwirkung des Umlandes auf die Flussmorphologie gering, was gravierende Folgen für die Ausbildung aquatischer Lebensräume hat. Es fehlen Überschwemmungsflächen, unterspülte Ufer, eine Breitenvariabilität, strukturierendes Totholz im Gerinne und seitliche Gerinne. Insbesondere gibt es keine seitlichen Gewässer auf einer Schwemmebene wie Tümpel, abgetrennte Seitenarme und Quellaufstösse mit einer unterschiedlichen Verbundenheit zum Fluss und zum Grundwasser. Solche Gewässer unterliegen einem anderen thermischen Regime als der Hauptarm des Flusses und sind meist strömungsarm. Sie würden einem ganz anderen Spektrum von Organismen geeignete Habitate bieten und wären daher sehr wichtig für die Biodiversität dieser Flusslandschaft: Quellaufstösse haben eine Fauna, die angepasst ist an relativ stabile Bedingungen. In den Seitenarmen kommen viele Tiere vor, die Stillwasserzonen bevorzugen. Sie bieten auch opportunistischen Arten, die von aussen hereinfliegen (z.B. vielen Wanzen- und Käferarten) geeignete Lebensräume. Für Amphibien, die mit zu den bedrohtesten Arten in unserer Region gehören, sind die seitlichen Tümpel auf einer Flussaue essentielle Lebensräume.

Die frühere Töss

In alten Karten vor der Verbauung der Töss ist deutlich zu erkennen, dass der Fluss früher reich verzweigt war, eine hohe Breitenvariabilität aufwies, und auf einer weiten Schwemmebene Quellaufstösse, Altarme, Tümpel, Inselauen und die verschiedensten Vegetationsstrukturen vorhanden waren. Die in Fig. 5 schematisch gezeigte Heterogenität eines solchen Flusssystemes mit verschiedenen aquatischen

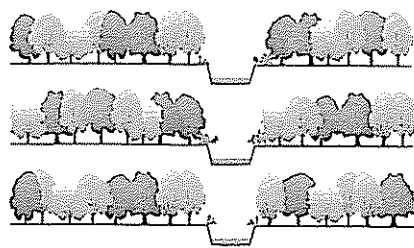


Fig. 4
Schematische Darstellung von Querprofilen im Längsverlauf der Töss im Linsental heute.

Habitaten, Pflanzengesellschaften und unterschiedlichen Sukzessionsstadien können sich nur in einer dynamischen Wechselwirkung zwischen dem Fluss und seinem Umland ausbilden. Da die Töss ihren Lauf immer wieder änderte, hat sie die gesamte Talsohle des Linsentals beansprucht.

Ökologische Bedeutung und Umsetzung einer Renaturierung

Das Linsental, ein bewaldetes Gebiet, ohne Häuser oder landwirtschaftlich genutzte Flächen, bietet sich scheinbar an, der Töss wieder mehr freien Lauf zu gewähren. Durch das kontrollierte Wiederzulassen einer natürlichen Selbststrukturierung würden viele Kleinlebewesen, Amphibien und Vögel geeignete Lebensräume finden, die jetzt nicht oder kaum mehr vorhanden sind. Dies wäre für die Biodiversität des ganzen Tössgebietes und seiner Landschaft sehr wertvoll. Für manche Fischarten wäre diese lokale Massnahme jedoch bedeutungslos, so lange sie durch hohe Sohlabstürze an der Zuwanderung gehindert werden.

Wieviel Platz räumen wir einer sich renaturierenden Töss ein? Sie sollte genügend Raum zur Verfügung haben zur Ausbildung natürlicherweise vorhandener Habitate. Eine Renaturierung muss darauf ausgerichtet sein, die natürlich *strukturierenden Prozesse* wieder zuzulassen – d.h. «der Fluss macht die Arbeit». Das erfordert zunächst eine Entfernung der Uferbefestigungen, damit Hochwasserereignisse die Flusslandschaft vielfältig gestalten können. Dieses Vorgehen verlangt jedoch eine langfristige Perspektive. Erst im Laufe vieler Jahre werden sich die verschiedenen Lebensräume und unterschiedlichen Sukzessions-

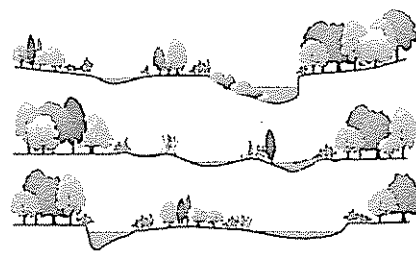


Fig. 5
Schematische Darstellung von Querprofilen im Längsverlauf der Töss im Linsental um 1816.

stadien wieder ausbilden können. Der statische, bewahrende Flussbau muss sich zu einem dynamischen, kontrollierenden Flussbau entwickeln.

Bewusste Renaturierung ist ein Erkenntnisgewinn

Eine Renaturierung der Töss ist weit mehr als nur eine ökologische Aufwertung. Sie ist auch ein Lernstück mit einer Bedeutung, die über die Region hinausgeht. Aus einem solchen Projekt können generalisierbare Erfahrungen gewonnen werden. Zusammen mit anderen Interessen (wie z.B. Hochwasserschutz, Trinkwasserversorgung, Erholungswert) werden Massnahmen formuliert, die implizit Prognosen oder Hypothesen beinhalten. Diese Prognosen sowie der Zeithorizont (in dem das Eintreten gewünschter Folgen erwartet wird) sollen klar zum Ausdruck gebracht werden. Nach angemessener Zeit muss geprüft und beurteilt werden, ob durch die getroffenen Massnahmen auch die gewünschten Folgen eingetreten sind. Falls der angestrebte Zustand nicht eingetreten ist, sollen bestehende Massnahmen verstärkt oder neue formuliert und umgesetzt werden. Stellen sich die erwarteten Folgen ein, kann das Projekt als Erfolg angesehen und die Erkenntnisse auf andere Systeme übertragen werden.

- [1] EAWAG und BUWAL (1995): Anleitung zur Beurteilung der schweizerischen Fließgewässer. Ökomorphologie, Hydrologie, Fischbiologie. Entwurf Endbericht.
- [2] Karr, J. R. and D. R. Dudley, (1981): Ecological perspective on water quality goals. *Environ. Manage.* 5: 55–68.
- [3] Tunesi, F., (1996): Situationsanalyse der Fließgewässer im oberen Tössal. Diplomarbeit Abteilung für Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich, 135 S.

Eduard Hoehn

Das Linsental – Trinkwasserressource und Lebensraum



Eduard Hoehn

Im Linsental bei Winterthur planen die Behörden eine Renaturierung der heute kanalisierten Töss. In diesem Talabschnitt liegen Trinkwasserfassungen der Stadt Winterthur. Die beiden raumwirksamen Nutzungen stehen in einem Konflikt zueinander. Mit Untersuchungen in einem Versuchsfeld will die EAWAG einen Beitrag zur Lösung des Konflikts leisten.

Das Linsental südlich von Winterthur ist ein etwa 3 km langer, vollständig bewaldeter Abschnitt des Tössstals. Bilder aus dem letzten Jahrhundert zeigen in diesem Abschnitt ein verzweigtes Flusssystem der Töss (siehe EAWAG news 39 Titelblatt). Heute ist sie durch Dämme kanalisiert und dadurch von ihrem Umland abgetrennt. Das Tösswasser ist sauber. Seine Beschaffenheit ist naturnah. Der Untergrund dieses Talabschnitts besteht aus einer mit Kies

und Sand aufgeschotterten Talsohle von 100–200 m Breite. In einer Tiefe von etwa 5 m fliesst im gut durchlässigen Schotter-Grundwasserleiter ein 10–20 m mächtiger Grundwasserstrom. Auf vielen Strecken verliert der Fluss Wasser in den Untergrund und reichert so das Grundwasser an. Dieses ist von ausgezeichneter Güte und wird von den Städtischen Werken Winterthur (StWW) in nachhaltiger Weise aus mehreren Brunnen ohne jegliche Aufbereitung für einen nennenswerten Teil der Trinkwasserversorgung gefasst.

Wasserbau (AGW) plant eine Renaturierung des kanalisierten Flusses in gewissen Abschnitten des Linsentals. Wie verändert sich das Flussbett, wenn der Töss ein freierer Lauf gewährt wird, und welche Gefährdung der Trinkwasserfassungen ergibt sich daraus? Um solche Fragen beantworten zu können, müssen Voraussagen über die Entwicklung der Wasserqualität, vor allem über die Gefahr von Durchbrüchen von Krankheitserregern, gemacht werden. Deshalb wurde im Linsental ein kleiner Talabschnitt (Fig. 1, Obere Au/Sennschür) als Versuchsfeld untersucht mit dem Ziel, hier insbesondere die Aufenthaltszeiten des Grundwassers und des infiltrierten Wassers sowie den Infiltratanteil abzuschätzen. Eine hydrogeologische Erkundung dieses Versuchsfelds umfasste

a) geophysikalische Untersuchungen (Geo-Radar) an einer grundwasserstromaufwärts gelegenen Stelle mit beobachteter Exfiltration und einer grundwasserstromabwärts gelegenen Stelle mit angenommener Infiltration; b) Bohrungen entlang von Grundwasser-Stromlinien, instrumentiert mit Grundwasser-Beobachtungsrohren sowie Rohren im Flussbett der Töss (Filterstrecken in verschiedenen Tiefenlagen).

Eine tracerhydrologische Untersuchung umfasste natürlich auftretende Edelgas-Isotope (^3He , ^{22}Ne , und ^{222}Rn), unterstützt durch eine numerische Modellierung der Grundwasserströmung. In enger Zusammenarbeit mit den StWW und dem AGW sollen

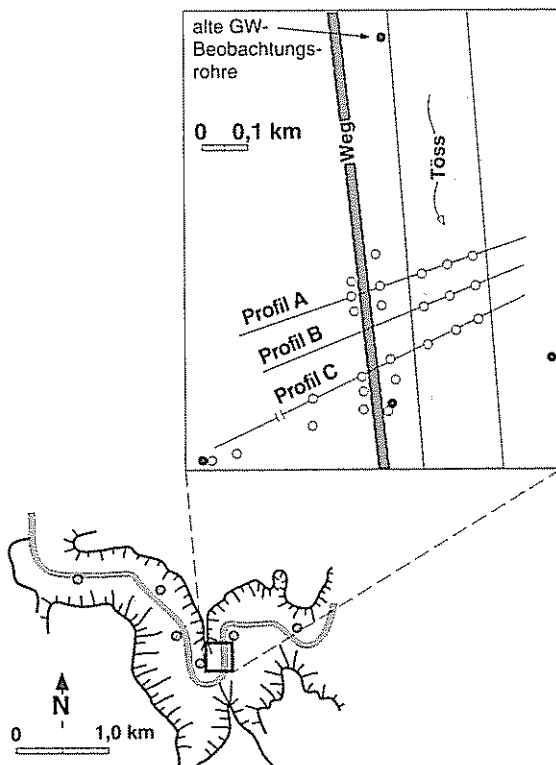


Fig. 1
Lage des Versuchsfeldes im Linsental (Kreise im unteren Bild = Wasserfassungen).

Fragestellung

Das kantonale Amt für Gewässerschutz und

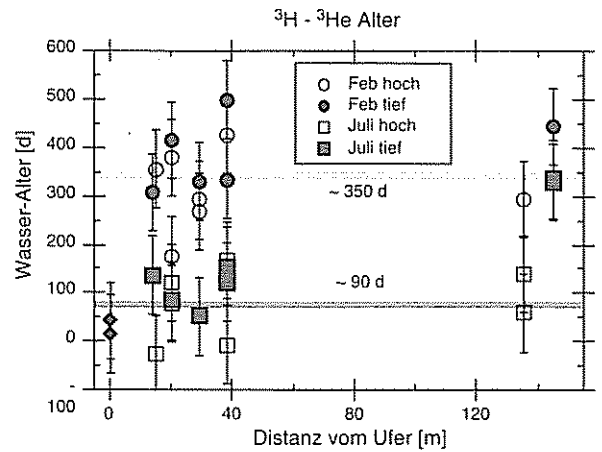
die Ergebnisse dieser Studie als eine der Entscheidungsgrundlagen für das weitere Vorgehen in Sachen geplanter Renaturierung der Töss dienen.

Eine Interpretation der Radarsignale zusammen mit geologischen Unterlagen zeigte im Untergrund des Versuchsfelds Strukturen, die auf einen in früheren Zeiten ungebändigten Fluss schliessen lassen, welcher bei Hochwasserereignissen jeweils Schichten von Kies und Sand abgelagerte [1]. Die Bohrungen bestätigten die Radarfunde und erlaubten es, in grösserer Tiefe einzelne weniger wasserdurchlässige Schichten zu identifizieren. Talabwärts gesehen deutet das Grundwassergefälle zwar auf eine mögliche Infiltrationsströmung hin. Offenbar ist die Infiltrationsleistung aber gering.

Grundwasseralter

Bei sporadisch gemessenen Grundwassertemperaturen stellten wir fest, dass die Werte im Grundwasser deutlich weniger schwankten als jene der Töss. «Echtes» Grundwasser weist nahezu gleichbleibende Temperaturen auf. Eine Wasserbilanz des Linsentals, als Box-Modell betrachtet, erlaubte es, eine mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers von 200 Tagen abzuschätzen. Aus Konzentrationen an Helium und Neon in Proben von Grund- und Oberflächenwasser liessen sich in den Bohrungen stromabwärts Grundwasseralter in einer ähnlichen Grössenordnung errechnen (Fig. 1; [2, 3]). Radon-Konzentrationen in diesen Bohrungen von 25 ± 2 Bq/l ($n = 18$) ergaben ein Grundwasseralter von durchwegs mehr als 20 Tagen. In den gerammten Rohren der Töss-Sohle

Fig. 2
Zeitliche Verteilung der Wasseralter von der Töss entlang einer mutmasslichen Grundwasser-Stromlinie; im Winter war das Grundwasser älter als im Sommer (Einzelheiten siehe Aeschbach et al., 1997).



lagen die Radon-Konzentrationen in einer Tiefe von 0,5–1,0 m zwischen 2 und 20 Bq/l, was auf eine schmale Mischzone zwischen Flusswasser und «echtem» Grundwasser hinweist (Fig. 3; [2]). Die Modellierung der Grundwasserströmung ergab aufgrund vorgegebener hydrogeologischer Grundlagen berechnete Aufenthaltszeiten des Grundwassers, die in ihrer Grössenordnung mit den aus der Wasserbilanz abgeschätzten und den mit den Edelgasen gemessenen Aufenthaltszeiten übereinstimmen. Im Modell schichtet sich Infiltratwasser im Grundwasser oben ein [5].

Grenzen der Renaturierung

Flussbauliche Massnahmen zur Renaturierung der Töss im Linsental sollen dem Fluss erlauben, sein Gerinne durch Erosion und Auflandung wieder selbst zu gestalten. Wie gross ist wohl das Risiko, das die Städtischen Werke bei einer Renaturierung der Töss eingehen? Eine zuvor durchgeführte vorsichtige Abschätzung von Zuströmbereichen des Grundwassers zu den Fassungsanlagen durch das AGW zeigte Bereiche mit Aufenthaltszeiten von weniger als 10 Tagen. In solchen

Bereichen ist aus Gründen des Grundwasserschutzes (Gefahr eines Durchbruchs von Bakterien und im Wasser gelösten Schadstoffen, von der Töss direkt in die Grundwasserfassungen) eine Renaturierung ausgeschlossen, weil sich die Distanz des Flussufers zu den Fassungen verringern und der Infiltratanteil im geförderten Grundwasser vergrössern könnte. Deshalb werden sich Renaturier-Massnahmen auf wenige Strecken von einer Länge von wenigen hundert Metern beschränken. Zudem muss hier das Grundwasser sowohl flussnah als auch fassungsnah auf Aufenthaltszeit, Mischungsverhältnisse und Stoffdurchbrüche hin überwacht werden, und zwar intensiver als bisher, in Intervallen, die dem Abflussregime der Töss angepasst sind (Hochwasserabflüsse). Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen, dass diese Arbeiten an die Hand genommen werden können.

Dank

Mein Dank geht an die Kollegen der Projektgruppe: Dr. Peter Huggenberger (heute Kantonsgeologe Basel Stadt, Universität Basel), Dr. Rolf Kipfer, Urs Beyerle, Martin Hirt und Norbert Mattle.

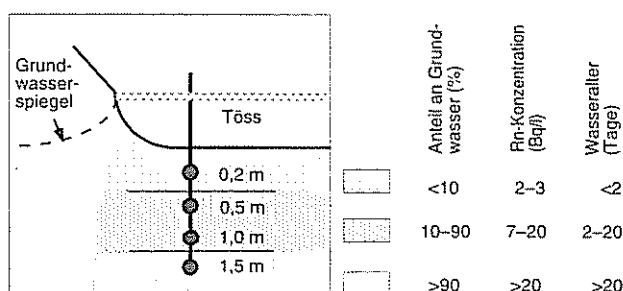


Fig. 3
Wasseralter im Infiltrationsbereich der Töss: Radon-Konzentrationen in verschiedenen Tiefe von ins Flussbett der Töss gerammten Rohren.

[1] P. Huggenberger, in Vorb.
 [2] Aeschbach-Hertig, U. Beyerle, M. Hofer, D.M. Imboden, R. Kipfer, A. Johnson, T. Vitvar, E. Hoehn, A. Ulrich, S.B. Haderlein und T. Hofstetter, (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in environmental systems, *Chimia* 51 (12), 941–946.
 [3] U. Beyerle, Diss. ETHZ, in Vorb.
 [4] N. Mattle, Diss. ETHZ, in Vorb.

Andrea Rüede

Partizipative Prozesse

Eine Herausforderung für die Wissenschaft?



Andrea Rüede

Der Bedarf an politik- und praxisorientierter Umweltforschung wird immer dringender, doch die Forschung tut sich schwer. Anhand des Projektes «Verwendung von Kupfer als Baustoff im Aussenbereich» soll beispielhaft aufgezeigt werden, dass der Einsatz von partizipativen Verfahren in vielerlei Hinsicht hilfreich und fruchtbar sein kann.

Die langfristig zu befürchtenden Auswirkungen auf Böden und Gewässer, welche von der heutigen Verwendung von Kupfer als Baustoff im Aussenbereich ausgehen, sind im Beitrag von Markus Boller (siehe S. 6ff) aus natur- und ingenieurwissenschaftlicher Sicht ausführlich beschrieben. Doch –

Wie schätzen AkteurInnen in Politik und Praxis die langfristige Gefährdung von Böden und Gewässern durch Kupfer ein?

Ende Januar 1997 gaben das Schweizerische Institut für Baubiologie und Bauökologie (SIB) und der WWF Luzern eine Pressekonferenz anlässlich des neuen Kultur- und Kongresszentrums in Luzern, dessen Dach mit einer Kupferhaut überzogen werden sollte. Der SIB und der WWF Luzern

vertraten – sich hauptsächlich auf Publikationen der EAWAG stützend – die Meinung, dass die gängige Praxis eine schleichende Verseuchung der Gewässer und Böden durch Kupfer mit sich bringe, dass Vermeidungsstrategien Vorrang hätten und dass ArchitektInnen, Bauverwaltungen, PlanerInnen und Forschende aufgerufen seien, Alternativen zu finden [1]. Der Schweizerische Spenglermeister- und Installateurverband (SSIV) hingegen schätzte in seiner In-

formations-Broschüre «Kupfer als Baustoff für Dächer und Fassaden» die Verwendung von Kupfer als Baustoff im Aussenbereich auch unter Umweltaspekten als unproblematisch ein [2]. Das BUWAL sah keine akuten Probleme mit Kupfer als Baustoff im Aussenbereich und aus diesem Grunde auch keinen Handlungsbedarf. Die EAWAG war jedoch der Meinung, dass der Kupfereintrag in Böden und Gewässer langfristig ein Problem sei. Die Suche nach ökologisch, ökonomisch und technisch sinnvollen Ersatzmaterialien und innovativen Lösungen sollte im Vordergrund stehen. Versickerungsanlagen mit einer adsorbierenden Filterschicht sollten nur als Überbrückung angesehen werden.

Angesichts der verhärteten Standpunkte unter den *nationalen* Interessensvertretern (inkl. EAWAG) entschloss sich die EAWAG, ein partizipatives Verfahren (siehe S. 24) auf *regionaler* Ebene einzusetzen. Das Ziel des Verfahrens bestand in erster Linie darin, die Gespräche mit den nationalen Interessensvertretern zu aktivieren. Dazu sollten von regionalen Akteuren nach intensiven Diskussionen schriftliche Empfehlungen zur Einschätzung der langfristigen Problemlage, zu möglichen Handlungsoptionen und konkreten, kurzfristigen Massnahmen verfasst werden. Dabei bot sich auch die Gelegenheit, die Praxis- und Politikrelevanz von EAWAG-Forschungsergebnissen zu überprüfen und evtl. neue Forschungsfragen zu entwickeln. Das Beispiel «Kupfer als Baustoff im Aussenbereich» erwies sich aus zwei Gründen als günstig: Der Anteil von Kupfer aus Dach- und Fassadeninstallationen am Kupfereintrag in Böden

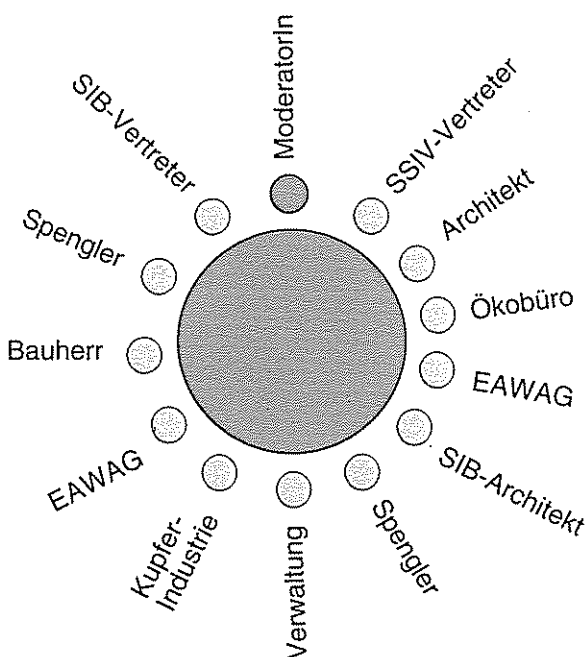


Fig. 1
Teilnehmende der durchgeführten Fokusgruppen

und Gewässer ist zwar kleiner als derjenige aus der Landwirtschaft, aber die damit verbundenen sozialen Prozesse sind eingrenzbarer, überschaubarer und deshalb auch aus wissenschaftlicher Sicht mit grösserem Gewinn analysierbar. Zum zweiten ist der Handlungsbedarf nicht akut. Dieser Umstand fördert eine sachlichere Auseinandersetzung und somit die realen Chancen, ökologisch, ökonomisch und sozial optimale Handlungsoptionen auszuarbeiten.

Der Einsatz von Fokusgruppen

Partizipative Verfahren in der Wissenschaft haben eine lange Tradition in der politikorientierten Forschung. Wiederholt wurden und werden sie auch an der EAWAG eingesetzt. Durch Mitbeteiligung von Betroffenen und EntscheidungsträgerInnen kann die Praxis- und Politikrelevanz der Forschung geprüft und mittelfristig verbessert werden. Ergebnisse aus partizipativen Verfahren haben Empfehlungs- oder Beratungscharakter. Sie sollen bestehende politische Prozesse unterstützen oder allenfalls neue initiieren. Ein Instrument aus der Palette der partizipativen Verfahren ist die Fokusgruppe.

Fokusgruppen sind durchorganisierte Gruppendiskussionen mit 6–12 Personen. Primäres Anliegen ist das Zusammenführen unterschiedlicher Arten von Wissen, Fachwissen und Erfahrungen zu einem konkreten Problem. Die Diskussion wird von einer Moderatorin oder einem Moderator geführt. Die Teilnehmenden beeinflussen sich in den Diskussionen gegenseitig, indem sie auf Gedanken und Kommentare eingehen und neue Ideen kreieren. Fokusgruppen eignen sich insbesondere für die Erhebung qualitativer Informationen und für Bewertungsfragen.

Als Hilfe für den Entscheid, ob es Sinn macht, Fokusgruppen bei einer bestimmten Fragestellung oder zu einem bestimmten Zeitpunkt einzusetzen oder nicht, können die folgenden Bereiche angeführt werden. Es

sind dies notwendige, aber nicht hinreichende Kriterien für den Einsatz von Fokusgruppen, da vieles von der konkreten Fragestellung abhängt:

- Ausloten von Handlungsspielräumen,
- Abklären der Akzeptanz von Experteninnenvorschlägen,
- Aufzeigen von *Konsensmöglichkeiten* bei (akuten) Konflikten,
- Darstellen der unterschiedlichen Problemwahrnehmung von AkteuerInnen,
- Eruiieren latenter Konfliktpunkte,
- Feedback auf Praxisrelevanz von Forschungsergebnissen und
- Generieren neuer Forschungsfragen. [3–8].

Ein konkretes Beispiel

In unserem Projekt haben zwölf Interessensvertreter aus einer Schweizer Mittelland-Region in drei Sitzungen à je drei Stunden über den «Einsatz von Kupfer als Baustoff im Aussenbereich» debattiert. Es gelang, eine sehr breit abgestützte Teilnehmerschaft aus den Bereichen Architektur, Forschung, Industrie und Gewerbe, Interessensverbände und Verwaltung zusammenzubringen.

Die Sitzungen waren jeweils einem Thema gewidmet. Zur Information und als Stimulus erhielten die Teilnehmenden vorgängig eine dreiseitige Dokumentation zum Thema «Kupfer als Baustoff im Aussenbereich», in welcher die kontroversen Positionen des SSIV, des SIB/WWF Luzern und der EAWAG zu Bereichen wie Kupferabtrag, Herkunft des Kupfers im Abwasser oder Handlungsbedarf beschrieben waren.

Die Diskussion um die Einschätzung der Problemlage in der ersten Sitzung wurde durch ein je ca. 15minütiges Statement von Seiten des SSIV, des SIB/WWF und der EAWAG angeleitet. Die 2. Sitzung war der Erarbeitung von Kriterien zur Beurteilung von Handlungsoptionen gewidmet. In der 3. Sitzung stand das Formulieren konkreter Massnahmen und die Verabschiedung des schriftlichen Doku-

mentes im Vordergrund. Wichtige kupferspezifische Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt wie z.B. eine Stoffflussanalyse des Kupferhaushaltes der Region Tösstal bildeten den wissenschaftlichen Input der EAWAG.

Was hat der Einsatz von Fokusgruppen gebracht?

Das von der Gruppe erarbeitete, zweiseitige schriftliche Dokument wurde anschliessend mit den *nationalen Interessensvertretern* diskutiert. Aus den Gesprächen ging eine Klärung wichtiger Missverständnisse und eine gemeinsame Problemwahrnehmung hervor. Weiter regten die schriftlichen Empfehlungen die Interessensvertreter an, eine eigene, gemeinsame Stellungnahme auszuformulieren. Die Notwendigkeit und die Vorteile der Kooperation zwischen Forschung, Industrie und Gewerbe sowie Interessensverbänden wurde vor allem bei den Diskussionen über verschiedene Forschungsprojekte zur Abklärung von geeigneten Handlungsoptionen deutlich.

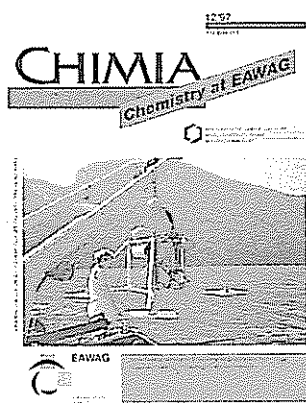
Positive Wirkungen dieser Fokusgruppen auf die *Forschung* konnten in den folgenden Bereichen festgestellt werden: zusätzliche Aspekte konnten berücksichtigt, falsche Annahmen seitens der Forschenden richtiggestellt, methodische Erkenntnisse über Fokusgruppen gewonnen sowie neue Kooperationen eingefädelt werden.

Weiter regten die Diskussionen die *Forschenden* an, neue Forschungsfragen zu stellen. Die Teilnahme an Fokusgruppen «zwang» die WissenschaftlerInnen, der Aufbereitung, Vermittlung und Begründung von Forschungsergebnissen grössere Beachtung zu schenken als sie es sonst gewohnt sind. Eine zentrale Bedeutung kam dabei der Tatsache zu, dass sich die Forschenden als Akteure unter vielen erfuhren und dadurch gezwungen waren, ihre fachliche Perspektive auf das Problem zu ergänzen, etwa durch politische und soziale Überlegungen. Nicht nur die Erweiterung des Kontaktnetzes, sondern vor allem die Auswirkungen von Forderungen, welche am Schreibtisch

Sondernummer der CHIMIA

«Chemistry at EAWAG»

Diese Fachzeitschrift für Wissenschaft, Technik und Wirtschaft im Bereich der Chemie ist offizielles Publikationsorgan der Neuen Schweizerischen Chemischen Gesellschaft. In 14 Übersichtsartikeln berichten EAWAG-Autor/innen über Forschungskonzepte und aktuelle Ergebnisse. Das Dezemberheft 1997 der Zeitschrift CHIMIA ist den chemischen Aktivitäten an der EAWAG gewidmet. *Walter Giger*



Auf dem Titelblatt prangt vierfarbig der Lander der BiogeochemikerInnen aus Kastanienbaum.

Karl Fent

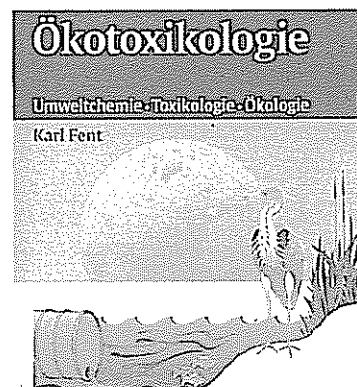
Ökotoxikologie

Die Ökotoxikologie untersucht die Auswirkungen der durch den Menschen verursachten Umwelteinträge von Chemikalien auf die belebte Natur. Ökotoxikologie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die Umweltchemie, Toxikologie und Ökologie vernetzt. Die zunehmende Bedeutung der Ökotoxikologie steht im Zusammenhang mit ihrem langfristigen Ziel, unerwünschte Umwelteffekte zu vermeiden und die Umwelt zu schützen.

Bisher wurde die Ökotoxikologie häufig als reines Effektstudium an ausgewählten Labororganismen verstanden, nicht zuletzt, weil eine klare Definition dieses Gebietes fehlte. Mit diesem Buch wird die Ökotoxikologie als moderne Umwelt-Naturwissenschaft definiert. Mit dem vorliegenden Buch soll eine Lücke geschlossen werden. Es soll gleichermaßen Studierenden verschiedener Wissenschaften, WissenschaftlerInnen und Fachleuten in der Umweltschutzpraxis einen vertieften und umfassenderen Einblick in dieses praxisrelevante Wissensgebiet vermitteln.

In den ersten Kapiteln werden die umweltchemischen und toxikologischen Grundlagen vermittelt, in den weiteren werden moderne ökotoxikologische Konzepte vorgestellt. Statt die Vielfalt der möglichen negativen Wirkungen darzustellen, werden einige relevante Effekte auf Organismen (z.B. auf die Reproduktion) vertieft behandelt und Schlüsselprozesse auf verschiedenen biologischen Stufen bis zum Ökosystem verfolgt. Obwohl die Kapitel inhaltlich eigenständig sind, werden häufig Querverweise gemacht, die dem vernetzten Charakter der Ökotoxikologie entsprechen. Jedes beginnt mit einem Überblick und enthält Merksätze, die die wichtigsten Erkenntnisse schrittweise zusammenfassen. Das Literaturverzeichnis ist Quellenangabe und verweist auf eine Auswahl wichtiger Arbeiten und Bücher.

Ökotoxikologie, Karl Fent, G. Thieme Verlag, Hochschultaschenbuch, Fr. 78.-, ISBN 3-13-109991-7.



Thieme

entstanden sind, wurden im Rahmen von Fokusgruppen deutlich.

Fokusgruppen: Eine Herausforderung für die Wissenschaft?

Fokusgruppen fordern WissenschaftlerInnen und Teilnehmende gleichermaßen heraus.

WissenschaftlerInnen werden dabei nicht in erster Linie in ihrer fachlichen Qualifikation, sondern in persönlichen Fähigkeiten und Eigenschaften gefordert. Eine zentrale Bedeutung kommt der Fähigkeit zu, die reine Fachsicht zu relativieren und das Gesamtinteresse im Auge zu behalten. D.h. nicht, dass die eigenen Ergebnisse bedeutungslos werden, sondern dass ihre Bedeutung in einem Gesamtkontext erkannt und die dahinterliegenden Wertungen genannt werden müssen.

Eine zweite Herausforderung liegt in der Aufbereitung der Forschungsergebnisse. Für die Fokusgruppen ist es ganz entscheidend, dass wissenschaftliche Ergebnisse in klarer, einsichtiger

Form präsentiert und vorgestellt werden. D.h. nicht, dass man Aussagen unzulässig vereinfachen oder sie ungesichert publik machen soll. Doch ist es unerlässlich, sich die Mühe zu machen, die *Essenz* der Forschungsergebnisse herauszuarbeiten.

Gleichzeitig seien auch Lernprozesse auf Seiten der an Fokusgruppen Teilnehmenden herausgestrichen. Fokusgruppen eignen sich – wie schon erwähnt – besonders für die Diskussion von Problemen, bei welchen die Forschungsergebnisse einen gewissen Interpretationsspielraum offenlassen bzw. verschiedene Lösungen oder

Vorgehensweisen denkbar sind. Das Auftreten von Unsicherheiten bedeutet, dass die Fokusgruppenmitglieder akzeptieren (lernen) müssen, dass Unsicherheiten in wissenschaftlichen Ergebnissen z.T. nicht verringert werden können, und es darum geht, (wieder) einen fruchtbaren und verantwortungsvollen Umgang mit Unsicherheiten zu finden.

Von Seiten der EAWAG wirkten mit: Markus Boller, Gregor Dürrenberger, Tove Larsen, Werner Meier, Christoph Meyer, Claudia Pahl-Wostl und Christian Singeisen.

- [1] SIB/WWF (1997): Medienunterlagen «Kupfer – ein unterschätzter Schadstoff» (zu beziehen bei: U. Brüschi, Postfach, 6023 Rothenburg).
- [2] Schweiz. Spenglermeister- und Installateurverband (1997): Dokumentation «Kupfer als Baustoff für Dächer und Fassaden» und «Kupfer als Baustoff» (Bzug: SSIV, Auf der Mauer 11, 8001 Zürich).
- [3] Dürrenberger, G. et al. (1997): Focus Groups in Integrated Assessment. A Manual for a participatory tool. Zürich.
- [4] Greenbaum, T.L. (1993): The Handbook for Focus Group Research, Lexington Books.
- [5] Kitzinger, J. (1994): The Methodology of Focus Groups: The Importance of Interaction between Research Participants; *Sociology of Health and Illness*, 1, 103–121.
- [6] Krueger, R.A. (1988): Focus Groups: A practical guide for applied research, Sage, Beverly Hills.
- [7] Merton, R.K., Kendall, P.L. (1946): The focused interview; *American Journal of Sociology*, 541–557.
- [8] Morgan, D.L., Spanish, M.T. (1984): Focus Groups: A New Tool for Qualitative Research, *Qualitative Sociology*, 3, 253–270.

Tove A. Larsen

Regional nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung



Tove A. Larsen

Die vorgehenden Beiträge illustrieren in groben Zügen den Versuch, der regional nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung am Beispiel der Region Töss nachzugehen. Reichen für diesen Anspruch die traditionellen Methoden der Umweltforschung? Oder sind neue Forschungsstrategien notwendig?

Zentral für die Idee der nachhaltigen Entwicklung ist der Ressourcenbegriff. In Fig. 1 sind verschiedene Typen von Ressourcen dargestellt, die je einen Aspekt dieses Ressourcenbegriffes aufnehmen. Die aufgeführten Themen sind Beispiele für die jeweiligen Gruppen. Links geht es um die natürlichen Ressourcen, rechts um die anthropogenen. Oben sind die Ressourcen, die an der EAWAG eine Sonderstellung einnehmen, unten die eher gängige Auffassung von Ressourcen. Aus der Darstellung geht hervor, dass eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung als best möglicher Umgang mit diesen verschiedenen Ressourcentypen verstanden werden kann. Eine parallele Auffassung von Ressourcen aus der Siedlungswasserwirtschaft ist in den EAWAG news 43 dargestellt [1].

Die Projekte im Forschungsschwerpunkt befassen sich zum grössten Teil mit den oberen Bereichen. Nur sehr am Rande wird die übliche Art der Ressourcen miteinbezogen. Dies stellt eine bewusste Wahl dar: Auch in Zukunft sollen die traditionellen Kernkompetenzen der EAWAG beibehalten werden, zunehmend sollen aber neue Aspekte der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung mitintegriert werden.¹

Welche neuen Aspekte wurden aber dann im Forschungsschwerpunkt berücksichtigt? Es wurde vor allem mit einer zeitlichen und räumlichen Auflösung gearbeitet, die der regionalen Ebene gerecht werden sollte. In Fig. 2 werden die Zeit- und Raumskalen der nachhaltigen Entwicklung und der typischen Forschung verglichen. Die Aussage ist, dass ein grosser Teil der Wissenschaft – nicht zuletzt der hochkarätigen – sich mit sehr kleinen

Raum- und Zeitmassstäben befasst, während eine globale nachhaltige Entwicklung, wie sie für das 21. Jahrhundert propagiert wird, sich in ganz anderen Dimensionen abspielen muss. Bei der global nachhaltigen Entwicklung geht es in unserem Bereich vor allem um internationale Wasserrechte und damit verbundene Konflikte [2] und z.B. um sauberes Trinkwasser für alle [3]. Die Brücke zu schlagen, zwischen der Forschung im kleinen Massstab und dem Ziel für die Erde im 21. Jahrhundert, ist eine der grössten Herausforderungen für die heutige Wissenschaft.

Man kann sich auch ein bescheideneres Ziel setzen und die nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung auf der regionalen Ebene angehen. Die Idee ist dann, dass die Summe aller nachhaltigen Regionen uns näher an die globale Nachhaltigkeit bringt. Auf der regionalen Ebene haben wir eine Chance, konkrete Forschung zu betreiben. In den Projekten des Forschungsschwerpunkts haben wir versucht, uns in die Richtung dieser regionalen Ebene zu bewegen und einzelne Forschungsergebnisse mit der regionalen Entwicklung zu verbinden.

Eine zentrale These zu diesem Versuch ist die folgende: Auf der regionalen Ebene spielt die Gesellschaft eine entscheidende Rolle. Erforschen wir ein Fließgewässer, sind gesellschaftliche Prozesse kaum von Bedeutung. Haben wir aber den Anspruch,

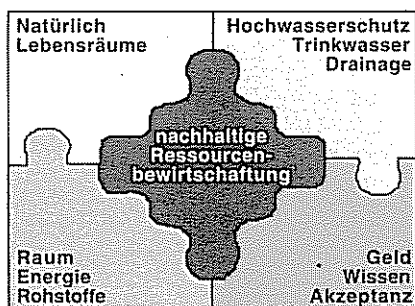


Fig.1
Betrachtung der Ressourcen aus der Sicht der EAWAG.

¹ Dies gilt für die am Forschungsschwerpunkt beteiligten WissenschaftlerInnen. An der EAWAG hat vor allem die Abteilung S&E (Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik) schon seit langem ein Schwerpunkt gesetzt, das sich mehr auf die gängige Definition von Ressourcen ausrichtet.

die mögliche regionale Entwicklung dieses Fließgewässers zu erforschen, dann müssen wir die natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen mit den gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen verknüpfen. Es kann diskutiert und in Frage gestellt werden, ob das ein guter Forschungsauftrag sei – wenn man sich aber diesem Auftrag stellt, kommt man um die gesellschaftliche Dimension nicht herum. Anhand einiger Beispiele aus dem Forschungsschwerpunkt werden wir nachfolgend diese These diskutieren.

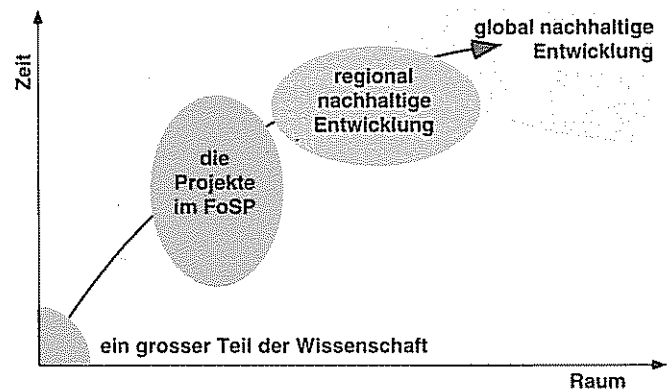
Meteorwasserversickerung:

Die Probleme der nicht-abbaubaren Stoffe werden verschoben

Heute finden wir die Schadstoffe aus dem Regenwasser – und hier geht es vor allem um die nicht-abbaubaren Schadstoffe – teils im Klärschlamm und in den Gewässern, teils diffus über die Landschaft verteilt. Es regnet ja auch auf die nicht-versiegelten Flächen, und auch dieses Regenwasser ist nicht sauber. Bei der diffusen Verteilung ist aber die Zeitkonstante so gross, dass wir noch lange keine Schäden sehen werden. Im Klärschlamm können wir die Stoffe messen, und wird der Klärschlamm auf die Felder ausgebracht, können wir berechnen, wann die Bodenrichtwerte überschritten werden. Aus der Klärschlammproblematik können wir auch schliessen, dass mit Mischwasserentlastungen und Direkteinleitungen von Meteorwasser die Gewässersysteme belastet werden.

Mit dem neuen Gewässerschutzgesetz, das die Versickerung von Meteorwasser fordert, wird der Klärschlamm entlastet, und die Stoffe werden je nach gewähltem Entwässerungssystem neu verteilt. Grundsätzlich gilt, dass je diffuser die Verteilung, desto länger geht es, bis eine kritische Situation erreicht wird und desto schwieriger wird aber auch eine allenfalls notwendig werdende Sanierung. Im Moment scheint es uns am wenigsten kritisch, dass die nicht-abbaubaren Stoffe in den Versickerungsanlagen aufkonzentriert werden. Wir müssen uns aber bewusst

Fig. 2
Raum- und
Zeitskalen einer
nachhaltigen
Entwicklung.



sein, dass wir dadurch neue Altlasten schaffen: Echte nachhaltige Lösungen gibt es nur an der Quelle. Solche Lösungen können z.B. durch sogenannte partizipative Verfahren erarbeitet werden. Ein Pilotprojekt im Bereich «Kupfer» wurde im Forschungsschwerpunkt durchgeführt und im Beitrag von Andrea Rüede beschrieben.

Fließgewässerökologie:

Ein neuer Technologiebegriff ist notwendig

Auch bei der Gestaltung der Ressource «Lebensraum» kommen wir mit dem regionalen Anspruch in ein neues Arbeitsfeld hinein. In der Schweiz ist fast nirgends mehr ein vollständiges «Zurück zur Natur» möglich: schon Hochwasserschutz, Wasserversorgung, Energieproduktion und anthropogener Raumbedarf zwingen zu Kompromissen bei den Revitalisierungen. Das heisst, die Ökologen können nicht einfach ihr Grundlagenwissen über natürlich funktionierende Ökosysteme einsetzen. Sie müssen sich für neue, noch nirgends existierende, aber trotzdem funktionsfähige Lebensräume engagieren.

Die Fließgewässerrevitalisierung ist ein Beispiel dafür, dass wir «Technologie» heute breiter verstehen müssen. Die Technologie der Revitalisierung umfasst nicht nur die Art und Weise der Verbauungen. Auch die ökologischen Fragen gehören dazu: wie lang muss die Strecke sein, wieviel Raum braucht das Gewässer, damit die Revitalisierung auch ökologisch Sinn macht? Das heisst, wie bei jeder neuen Technologie braucht es auch bei den ökologischen Fragen eine Entwicklungsphase und eine Erfolgskontrolle:

Nicht nur die sogenannten «harten» Technologien haben diesen Anspruch.

Zu diesem neuen Technologiebegriff gehört auch, dass die Ziele der Revitalisierung nicht nur von den Experten, sondern auch von der Bevölkerung mitgestaltet werden. Es ist ohnehin nicht denkbar, dass die notwendigen grossen Investitionen getätigt werden können, ohne dass ein breiter Konsens über die Vorgehensweise erreicht wird.

Auf welcher Ebene werden die Probleme konkret gelöst?

Nicht alle Probleme einer regional nachhaltigen Entwicklung können auf der gleichen Ebene gelöst werden. Es gibt Probleme, die regional zum Ausdruck kommen, aber überregional gelöst werden müssen.

Bei Fließgewässern haben wir Probleme, die sehr gut regional angegangen werden können. Das ist nicht überraschend, weil unsere Definition der Region sich nach dem Gewässersystem richtet, und nicht z.B. nach administrativen Grenzen. Die Revitalisierung selber kann lokal erfolgen, aber daneben gibt es viele Fragestellungen, die sich nur auf der regionalen Ebene vernünftig regeln lassen. Interessant ist, dass einige der regionalen Fragestellungen, wie die Trinkwasserversorgung, Erholung und auch zu einem gewissen Grad der Hochwasserschutz durch eine «Stadt-Land»-Beziehung umschrieben werden können.

Im Gegensatz dazu ist die Schadstoffbelastung des Meteorwassers ein überregionales Problem. Die ganze Gestaltung der Siedlungsentwässerung erfolgt lokal, auf Gemeindeebene. Aber die Entwicklung von Technologien, die den Schadstoffeintrag signifikant

vermindern, ist in der Praxis nur im nationalen oder internationalen Kontext möglich.

Umweltprobleme sind Symptome eines Lebensstils

Als Bürgerinnen und Bürger wollen wir Trinkwasser, Energie, Mobilität und schöne Dachrinnen. Das ist heute so, und wird sich nicht ändern. Welche neuen Forschungsstrategien sind dann erforderlich?

Wir werden in der Abwägung verschiedener Interessen Kompromisse eingehen müssen: Wie bei der Fließgewässerrevitalisierung diskutiert wurde, gibt es in der Schweiz kein vollständiges «Zurück zur Natur». Wir müssen aber vor allem Innovationen fördern, die einen nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen erlauben. Die Umweltwissenschaften allein bringen da nicht die nötigen Innovationen. Nötig sind – wie auch beim Gewässerschutz der letzten 30 Jahre – Kooperationen mit Vollzug und Praxis. In Zukunft müssen aber auch neue Berufsgruppen und die Bevölkerung in den Forschungsprozess mit einbezogen werden: Wollen wir die Probleme an der Quelle angehen, geht es in vielen Fällen um Produktion und Nachfrage umweltgerechter Produkte. Das partizipative Vorgehen unterstützt hier das Finden von Lösungen und ist Teil einer neuen Forschungsstrategie. Ein erstes kleines, bescheidenes aber konkretes Beispiel ist die Suche nach Dachmaterialien, die nicht die Umwelt zukünftiger Generationen gefährden.

Von reaktivem zu aktivem Umweltschutz

Wieso müssen sich aber nun Abwasserfachleute mit Haushaltprodukten und Dachmaterialien befassen? Geht das nicht weit über deren Berufsperspektiven hinaus? Wir glauben nicht. Gleich wie beim Abfall dienen auch Abwasser und Regenwasser als Indikatoren, die nicht-nachhaltige Muster in der Produktions- und Verbrauchskette aufdecken können. Es ist wichtig, dass die entsprechenden Fachleute auf die

Zusammenhänge aufmerksam machen und aus ihrer Sicht zu Lösungen beitragen.

Auch aus rein praktischer Sicht können die Abwasserfachleute diese Probleme und ihre Lösung nicht von sich schieben. Die «Nicht-Nachhaltigkeiten» in der Produktions- und Verbrauchskette manifestieren sich auf der Entsorgungsseite oft in unangenehmer Weise, indem sie sonst sinnvolle Lösungen unnötig erschweren. Ein bekanntes Beispiel finden wir beim Klärschlamm, der aufgrund von Verunreinigungen eines der grössten Probleme der Abwasserfachleute darstellt: Ohne diese Verunreinigungen könnten wir den Klärschlamm wirtschaftlich und sinnvoll der Landwirtschaft zuführen und dadurch wenigstens einen Teil der Nährstoffe nutzen.

Ähnliche Probleme ergeben sich bei der Meteorwasserversickerung: Weil die Versickerungsanlagen nicht nur Wasser weggleiten, sondern auch eine Reinigungs- und Rückhaltefunktion wahrnehmen sollen, wird deren Bau und Betrieb entsprechend teuer und anspruchsvoller. Dazu kommt noch die Unsicherheit, ob dieses Vorgehen wirklich geeignet ist; immerhin schaffen wir wissentlich unzählige neue Altlasten.

Blicken wir in der Geschichte zurück, so haben die Fachleute, die sich mit Umweltproblemen befassen, meist reaktiv gehandelt. Sie haben insbesondere versucht, mit den vorhandenen Problemen umzugehen. Eine Ausnahme stellen die aktiven und erfolgreichen Bemühungen dar, industrielle Betriebe und Verfahren so

zu sanieren, dass z.B. die Schwermetallbelastung des Klärschlammes minimiert wird. Heute sehen wir aber, dass dieser Ansatz nicht ausreicht: Es war erfolgreich, in der Industrie an die Quelle zu gehen. Neben der Produktion ist aber auch der Verbrauch von Bedeutung. Im Bereich der Meteorwasserversickerung entspricht dieser «Verbrauch» vor allem der Korrosion und Erosion von Oberflächen (wie z.B. Dachmaterialien aus Kupfer) und verschiedenen Oberflächenbehandlungen. Zudem sind nicht nur direkte Einwirkungen auf die Gewässer von Bedeutung. Auch die Luftqualität spielt eine Rolle: Verkehr, Energieerzeugung, Pestizidverbrauch, usw. beeinflussen über die Luft und die Deposition letztendlich auch die Qualität des Regenwassers.

Eine aktive statt reaktive Umweltpolitik greift diese Probleme an, wo sie entstehen. Die grossen Zeitkonstanten, die oben diskutiert wurden, haben den Vorteil, dass wir Zeit haben: Es muss nicht hier und jetzt gehandelt werden, wir können und dürfen uns das richtige Vorgehen überlegen. Schnelle, billige Lösungen heute können morgen teuer werden. Je länger wir aber zuzwarten, desto brisanter werden die Probleme und desto weniger Zeit wird uns zur Verfügung stehen.

- [1] Larsen, T.A. und Gujer, W. (1997): Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft – technologische Implikationen. EAWAG news 43D, S. 12ff.
- [2] Zehnder, A.J.B. (1997): Wasser, ein knappes Gut? EAWAG news, 43D, S. 3ff.
- [3] Wegelin, M. und Schertenleib, R. (1997): Angepasste Wasseraufbereitung hilft allen. EAWAG news, 43D, S. 5ff.

Ökostrom

Ein neues Querprojekt im Zeichen des Paradigmenwechsels an der EAWAG

Im Projekt «Ökostrom» sollen die Grundlagen eines Öko-Labels für Strom aus Wasserkraft erarbeitet werden. Ähnlich der Zürcher Solarstrombörse sollen die Kunden und Kundinnen die ökologische Sonderleistung eines Kraftwerks mit einem höheren Strompreis unterstützen können. Die Absatzpotentiale des Produkts «Ökostrom» werden mit sozialwissenschaftlichen Projekten untersucht. Für die Bewertung der ökologischen Defizite, die durch Wasserkraftwerke entstehen, werden naturwissenschaftliche Grundlagen am Fallbeispiel (Kraftwerk Luzzzone mit Wasser vom Brenno im Val Blenio, Tessin) erarbeitet.

Im Projekt «Ökostrom» sind alle Betroffenen am kooperativen Prozess der Produktdifferenzierung beteiligt. Das Projekt ist gegenwärtig in der Pilotphase, die Fallstudie beginnt im Frühling 1998.

Jürg Bloesch

Wie aus Urin ANS (Anthropogene Nährstoffe) werden

Seit Mitte Juli ist die EAWAG im Besitz einer *No-Mix*-Toilette, in der Urin getrennt gesammelt und in einen Speichertank geleitet wird. Das neue WC ist im Laborgebäude installiert und sowohl für Männer als auch Frauen zugänglich.

Wieso aber wird Urin separiert? Ein Grossteil der Nährstoffe aus dem menschlichen Metabolismus werden über den Urin ausgeschieden, so z.B. 85% des Stickstoffs und 50–80% des Phosphors. Deshalb spricht man beim Urin auch von anthropogenen Nährstoffen (ANS = Anthropogenic Nutrient Solution).

Heute gelten diese Nährstoffe in der Regel als Abfallprodukt, das so rasch wie möglich in eine Kläranlage transportiert wird, wo Stickstoff und Phosphor unter grossem Ressourcenaufwand aus dem Abwasser entfernt werden. Eine Abtrennung der ANS aus dem Abwasser hätte eine erhebliche Entlastung der Kläranlagen zur Folge.

Gleichzeitig werden in der Landwirtschaft grosse Mengen an künstlichen Stickstoff- und Phosphor-Düngern eingesetzt. Die Herstellung dieser Kunstdünger ist wiederum sehr ressourcenintensiv: der Stickstoff stammt aus dem energieaufwendigen Haber-Bosch-Prozess, und Phosphor wird in Form von Mineralien abgebaut. Es wäre naheliegend, Nährstoffe, die nach der Nahrungsverwertung wieder ausgeschieden werden, direkt als ANS in die Landwirtschaft zurückzuführen.

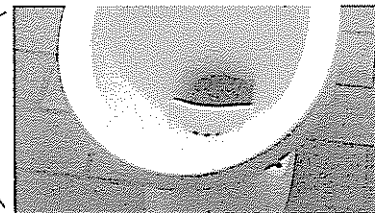
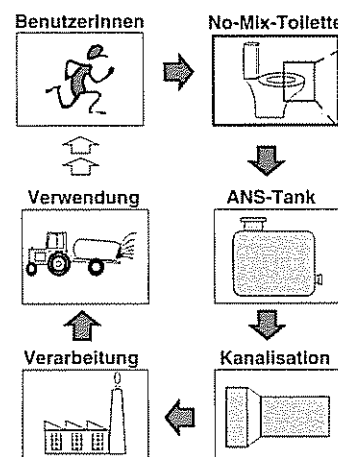
Das Recycling der ANS ist aber nur unter verschiedenen Voraussetzungen sinnvoll:

- der Verbrauch an primären Ressourcen muss wesentlich sinken,
- die gesammelten Nährstoffe müssen ohne aufwendige Behandlung als landwirtschaftlicher Dünger verwendet werden können und
- der Transport der ANS darf keine hohen Kosten und grosse Neubauten verursachen.

Für Lagerung und Transport der ANS in urbanen Gebieten wurde die folgende Lösung vorgeschlagen [1]: Der in *No-Mix*-Toiletten abgetrennte Urin wird im Haus in kleinen Tanks zwischengelagert. In

Dort erfolgt die Verarbeitung der Nährstofflösung zu Dünger.

Verschiedene Semester- und Diplomarbeiten an der Professur für Siedlungswasserwirtschaft der ETHZ haben sich bereits mit



dem Transport der ANS durch die Kanalisation befasst.

An der Ingenieurabteilung der EAWAG untersuchen wir im Rahmen einer Dissertation die Zwischenlagerung des Urins. Die *No-Mix*-Toilette im Laborgebäude dient dazu, ANS unter realistischen Bedingungen zu sammeln.

Kai Udert

der Nacht und bei Trockenwetter werden die Tanks zeitlich gestaffelt geöffnet und die ANS fliessen durch die bestehende Kanalisation in Richtung Behandlungsanlage, die sich bei der ARA befindet.

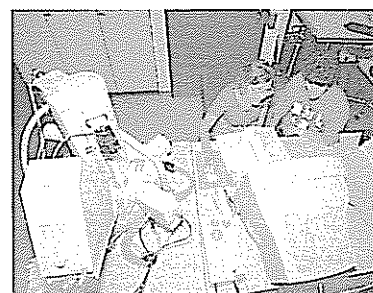
[1] Larsen T.A. and Gujer W. (1996) Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions (Humane Urine). *Water Science and Technology*, 34, 87–94.

Rasterelektronenmikroskop geht in Betrieb

Im Laufe des Sommers konnte das im Frühjahr installierte neue Rasterelektronenmikroskop dem Betrieb übergeben werden. Beim neuen REM handelt es sich um ein konventionelles REM mit analytischem Ausbau. Es beinhaltet neben Bildanalyse und -archivierung einen Röntgendetektor für energiedispersive Spektroskopie sowie einem empfindlichen Halbleiterdetektor für rückgestreute Elektronen. Das neue Gerät ist der Ersatz für das nun seit bald 20 Jahren im Betrieb stehende REM. Das Spektrum der untersuchten Proben reicht von Wassertieren über Kehrreichtschlacken zu Seesedimenten und weiter zu Biofilmen, Kristallen, Gesteinsober-

flächen, Flussschwabstoffen, Bakterienkulturen und vielem mehr. Diese grosse Vielfalt an Proben setzt hohe Anforderungen ans Gerät, aber vor allem an die Benutzer und Verantwortlichen des REM-Labors.

Yvo Weidmann



Abt. Umwelphysik und Labor für Rasterelektronenmikroskopie.

Bernhard Wehrli wird ausserordentlicher Professor

Der ETH-Rat hat per 1. Oktober 1997 Bernhard Wehrli zum ausserordentlichen Professor für Aquatische Chemie gewählt. Der neue «a.o. Prof.» wird weiterhin an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich lehren, wo er bisher Assistenzprofessor war. Seine Arbeitsgruppe ist am Forschungszentrum für Limnologie der EAWAG in Kastanienbaum tätig. Das Team hat sich in den letzten Jahren darauf spezialisiert, den Stoffaustausch zwischen Sediment und Wasser in Seen, Feuchtgebieten, Küstenmeeren und Fließgewässern zu quantifizieren.

Schon während seinem Chemiestudium an der ETH hat sich Bernhard Wehrli für Umweltfragen engagiert. Er hat die Umwelt- und Gewässerschutzpolitik in der Auseinandersetzung um die Energiepolitik und den Ausbau der Wasserkraft in den Alpen (Kraftwerke Ilanz, Greina) kennengelernt. Diese Erfahrungen haben ihn motiviert, an der EAWAG bei Prof. W. Stumm eine Dissertation durchzuführen und das Nachdiplomstudium «Siedlungswasserwirtschaft und Gewässerschutz» zu absolvieren. Nach Abschluss seiner Doktorarbeit ging er für ein Jahr nach USA ans California Institute of Technology, wo er sich in Erdwissenschaften weiterbildete und Erfahrung in numerischer Modellierung sammelte.

Nach diesem Postdoc-Aufenthalt war er für einige Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter der EAWAG in der Abteilung «Multidisziplinäre Limnologische Forschung (MLF)» angestellt. Dort erhielt er die Chance, in einem sehr offenen Umfeld eine eigene Forschungsrichtung zu entwickeln. Zusammen mit dem Physiker Alfred Wüest und dem Limnologen René Gächter engagierte er sich in der Evaluation von Massnahmen zur Seesänierung. Die Forschung auf dem Gebiet der Sediment/Wasser-Grenze in Seen



erhielt so einen wichtigen «Draht» zur Praxis. Andererseits konnten in Zusammenarbeitsprojekten neue Verfahren entwickelt werden, um Prozesse in Seen und am Seegrund aufzuklären und zu quantifizieren. Der Spektroskopiker Alain Manceau in Paris brachte mit der Röntgenspektroskopie (EXAFS) mehr Licht in die Vorgänge der Mineralbildungen im dunklen, anoxischen Tiefanwasser von Seen. Die gepulste ESR-Spektroskopie von Arthur Schweiger an der ETH brachte Information auf molekulaarem Niveau zur Wechselwirkung zwischen Metallionen und Carbonat. Der Analytiker Beat Müller und der Techniker Christian Dinkel entwickelten ein profilierendes Gerät mit chemischen Sensoren, um die Vorgänge in der millimeterdünnen Schicht an der Sedimentoberfläche an Ort und Stelle zu erfassen.

Nach einem kurzen Forschungsaufenthalt in Paris wurde Bernhard Wehrli 1991 zum Assistenzprofessor für Aquatische Chemie gewählt. Damit konnte eine junge

Forschungsgruppe aufgebaut werden, welche mit viel Enthusiasmus Fragen anpackte wie z.B:

• Wieviel Nitrat wird in unseren Seen zum harmlosen Luftstickstoff umgewandelt?

• Wie entstehen Kalkausfällungen? Kann man sie mit «magnetischer Wasserbehandlung» verhindern?

• Verraten uns die Spurenmetalle in Seesedimenten etwas über den Sauerstoffhaushalt des Sees in der Vergangenheit?

Im Rahmen von internationalen Projekten am Baikalsee und im Schwarzen Meer konnten Erfahrungen aus der Seenforschung in der Schweiz auch auf andere Gewässersysteme angewandt werden.

In seinen Lehrveranstaltungen für Studierende der Richtungen Umweltwissenschaften, Chemie und Umweltingenieure versucht Bernhard Wehrli die Brücke zu schlagen zwischen dem molekularen Prozessverständnis der Chemie und der makroskopischen Beobachtungswelt der Umweltwissenschaften. In der Forschung wird der zentrale «Knackpunkt» der Umweltwissenschaften in Zukunft darin bestehen, mit interdisziplinären Teams innert nützlicher Frist Ergebnisse zu produzieren, die auch praktische Folgen haben. Um diese Herausforderung zu erleben, engagiert er sich im Querprojekt «Ökostrom» der EAWAG.

René Schwarzenbach

Vorsteher des Instituts für Gewässerschutz und Wassertechnologie (IGW) der ETHZ

SGHL-Preis an Oliver Heiri

Die Schweizerische Gesellschaft für Hydrobiologie und Limnologie überreichte an ihrer 11. Jahresversammlung im Oktober 1997 Oliver Heiri, Student der ETHZ-Abteilung XA, einen Preis für seine ausgezeichnete Diplomarbeit

«Die Frühlingsemergenz der Zuckmücken (Diptera: Chironomidae) einer Restwasserstrecke der Engelberger Aa (OW/NW)», die im Sommer 1996 an der EAWAG entstand.

Jürg Bloesch

Separata bitte mit Talon auf der letzten Seite bestellen

Publikationen

- 2220 **Stumm, W.:** Reactivity at the mineral-water interface: dissolution and inhibition. *Colloids and Surfaces* 120, 143–166 (1997).
- 2221 **Sulzberger, B., Hug, S.J.:** Light-induced processes in the aquatic environment. In: «Chemistry of aquatic systems: local and global perspectives». G. Bidoglio, W. Stumm (eds.). ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxemburg 1994, pp. 183–212.
- 2222 **Tockner, K., Waringer, J.A.:** Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodal-Lunz). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 82, 1, 1–13 (1997).
- 2223 **Kiel, E., Frutiger, A.:** Behavioural responses of different blackfly species to short-term oxygen depletion. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 82, 1, 107–120 (1997).
- 2224 **Reicher, P., Omlin, M.:** On the usefulness of overparameterized ecological models. *Ecological Modelling* 95, 289–299 (1997).
- 2225 **Albrecht, A., Beer, J.:** Assessment of radionuclide distribution in continental shelf sediments (the Gulf of Taranto, Mediterranean Sea). *Radioprotection – Colloques* 32, C2, 277–285 (1997).
- 2226 **Escher, B.J., Snozzi, M., Häberli, K., Schwarzenbach, R.P.:** A new method for simultaneous quantification of uncoupling and inhibitory activity of organic pollutants in energy-transducing membranes. *Environ. Sci. & Technol.* 16, No. 3, 405–414 (1997).
- 2227 **Knauer, K., Behra, R., Sigg, L.:** Effects of free Cu^{2+} and Zn^{2+} ions on growth and metal accumulation in freshwater algae. *Environ. Toxicol. & Chem.* 16, No. 2, 220–229 (1997).
- 2228 **Middeldorp, P.J.M., De Wolf, J., Zehnder, A.J.B., Schraa, G.:** Enrichment and properties of a 1,2,4-trichlorobenzene-dechlorating methanogenic microbial consortium. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, No. 4, 1225–1229 (1997).
- 2229 **Frutiger, A.:** Biologische Bewertung der Fließgewässer. Das Problem der Referenz. VSA-Verbandsber. Nr. 512 (Vortrag 37. Chemiker-Tagung vom 15. Nov. 1996 in Olten), S. 20–29.
- 2230 **Hoigné, J.:** Inter-calibration of OH radical sources and water quality parameters. *Water. Sci. & Technol.* 35, No. 4, 1–8 (1997).
- 2231 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.:** Stickstoff-Elimination in Schweizer Seen. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, Nr. 3, 174–180 (1997).
- 2232 **Merz, P., Gujer, W.:** Fließgewässer und die Einwirkungen der Siedlungsentwässerung. Problemanalyse und Folgerungen für die Untersuchung der Vorflutgewässer und technischen Entwässerungssysteme. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, Nr. 3, 181–192 (1997).
- 2233 **Stadelmann, P., Wehrli, B., Wüest, A., Fluder, W.:** Zehn Jahre Seenbelüftung und Optionen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 95, Nr. 3 (1997).
- 2234 **Bucheli, T.D., Gruebler, F.C., Müller, S.R., Schwarzenbach, R.P.:** Simultaneous determination of neutral and acidic pesticides in natural waters at low nanogram per liter level. *Anal. Chem.* 69, No. 8, 1569–1576 (1997).
- 2235 **Kiefer, E., Sigg, L., Schosseler, P.:** Chemical and spectroscopic characterization of algae surfaces. *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 3, 759–764 (1997).
- 2236 **Nowack, B., Xue, H., Sigg, L.:** Influence of natural and anthropogenic ligands on metal transport during infiltration of river water to groundwater. *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 3, 866–872 (1997).
- 2237 **Genoni, G.P.:** Influence of the energy relationships of organic compounds on toxicity to the cladoceran *Daphnia magna* and the fish *Pimephales promelas*. *Ecotoxicol. & Environ. Safety* 36, 27–37 (1997).
- 2238 **Genoni, G.P.:** Influence of the energy relationships of organic compounds on their specificity toward aquatic organisms. *Ecotoxicol. & Environ. Safety* 36, 99–108 (1997).
- 2239 **Nowack, B., Sigg, L.:** Dissolution of $\text{Fe(III)(hydr)oxides}$ by metal-EDTA complexes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61, No. 5, 951–963 (1997).
- 2240 **Mensch, R., Känel, B., Uehlinger, U.:** Kurzfristige Auswirkungen einer Entkrautung auf einen Mittellandbach (Chriesbach bei Dübendorf, ZH). *Vjschr. Naturforsch. Ges. Zürich* 142/1, 23–31 (1997).
- 2241 **Harms, H., Bosma, T.N.P.:** Mass transfer limitation of microbial growth and pollutant degradation. *J. Industrial Microbiol. & Biotechnol.* 18, 97–105 (1997).
- 2242 **Altenbach, B., Giger, W.:** Applications of graphitized carbon black for solid-phase extraction of benzene- and naphthalenesulfonates from aqueous environmental samples. *Anal. Methodes & Instrumentation* 2, No. 5, 285–292 (1995).
- 2243 **Borner, S., Büsser, T., Eggen, R., Fent, K., Frutiger, A., Lichtensteiger, T., Müller, R., Müller, S., Peter, A., Wasmer, H.R.:** *Procambarus clarkii* (Roter Sumpfkrebs) im Schübelweiher bei Küsnacht. Ökologische Situationsanalyse und Vorschläge zur Bekämpfung. EAWAG, Dübendorf, April 1997, 27 S.
- 2244 **Fent, K.:** Umweltchemikalien – Wirkungen auf das Hormonsystem. Vielzahl von Stoffen mit östrogenen Aktivität. *Neue Zürcher Ztg., Beil. «Forschung und Technik»*, Nr. 81, 9. April 1997, S. 61.
- 2245 **Stemmler, K., Mengon, W., Kerr, J.A.:** OH radical initiated photooxidation of 2-ethanol under laboratory conditions related to the troposphere: product studies and proposed mechanisms. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3385–3391 (1996).
- 2246 **Bürge, I., Hug, S.J.:** Kinetics and pH dependence of chromium(VI) reduction by iron(II). *Environ. Sci. & Technol.* 31, 1426–1432 (1997).
- 2247 **Canonica, S., Kramer, J.B.:** Photoisomerization kinetics of stilbene-type fluorescent whitening agents. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 1754–1760 (1997).
- 2248 **Urban, N.R., Dinkel, C., Wehrli, B.:** Solute transfer across the sediment surface of a eutrophic lake: I. Porewater profiles from dialysis samplers. *Aquatic Sci.* 59, 1–25 (1997).
- 2249 **Gujer, W., Holencin, A., Purtschert, I., Siegrist, H., Thomann, M., Diebold, J., Zimmerli, T., Koch, G., Maurer, M., Wild, D., Kisliakova, A., von Schultness, R.:** Biologische Nährstoff-Elimination. VSA Verbandsber. Nr. 499, 199. Mitgliederversammlung, 29.11.1995 in Zürich, 55. S.
- 2250 **Stadelmann, P., Bürgi, H.R., Butscher, E.:** Massnahmen zur Seesanieung: Beispiel des Baldeggersees. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, 16–33 (1997).
- 2251 **Boller, M.:** Biofilm an Rohren als Nest für Keime. *Kommunalmagazin* 14, Nr. 4, 31–33 (1997).
- 2252 **Hug, S.J.:** *In situ* fourier transform infrared measurements of sulfate adsorption on hematite in aqueous solutions. *J. Colloid & Interface Sci.* 188, 415–422 (1997).
- 2253 **Simon, W., Reichert, P.:** Properties of exact and approximate traveling wave solutions for transport with nonlinear and nonequilibrium sorption. *Water Resources Res.* 33, 1139–1147 (1997).

Publikationen

- 2254 **Friedl, G., Wehrli, B., Manceau, A.:** Solid phases in the cycling of manganese in eutrophic lakes: new insights from EXAFS spectroscopy. *Geochim Cosmochim Acta* 61, 275–290 (1997).
- 2255 **Peeters, F., Piepke, G., Kipfer, R., Hohmann, R., Imboden, D.M.:** Description of stability and neutrally buoyant transport in freshwater lakes. *Limnol. Oceanogr.* 41, 1711–1724 (1996).
- 2256 **Mathäi, C.D., Uehlinger, U., Frutiger, A.:** Response of benthic invertebrates to natural versus experimental disturbance on a Swiss prealpine river. *Freshwater Biol.* 37, 61–77 (1997).
- 2257 **Baumann, B., Snozzi, M., van der Meer, J.R., Zehnder, A.J.B.:** Development of stable denitrifying cultures during repeated aerobic-anaerobic transient periods. *Water Res.* 31, No. 8, 1947–1954 (1997).
- 2258 **Davidova, I.A., Harmsen, H.J.M., Stams, A.J.M., Belyaev, S.S., Zehnder, A.J.B.:** Taxonomic description of *Methanococcoides euhalobius* and its transfer to *Methanohalophilus* genus. *Antonie van Leeuwenhoek* 71, 313–318 (1997).
- 2259 **Boller, M.:** Small wastewater treatment plants – a challenge to wastewater engineers. *Water Sci. Tech.* 35, No. 6, 1–12 (1997).
- 2260 **Schwager, A., Boller, M.:** Transport phenomena in intermittent filters. *Water Sci. Tech.* 35, No. 6, 13–20 (1997).
- 2261 **Boller, M.:** Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. *Water Sci. Tech.* 35, No. 9, 77–87 (1997).
- 2262 **Baumgartner, S., Beer, J., Wagner, G., Kubik, P., Suter, M., Raisbeck, G.M., Yiou, F.:** ^{10}Be and dust. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Res. B* 123, 296–301 (1997).
- 2263 **Binder, C., Schertenleib, R., Diaz, J., Bader, H.-P., Baccini, P.:** Regional water balance as a tool for water management in developin countries. *Water Resources Development* 13, 5–20 (1997).
- 2264 **Peeters, F., Piepke, G., Gloor, M.:** A diffusion model for the development of a boundary layer in lakes. *Aquatic Sci.* 59, 95–114 (1997).
- 2265 **Xue, H.B., Gächter, R., Sigg, L.:** Comparison of Cu and Zn cycling in eutrophic lakes with oxic and anoxic hypolimnion. *Aquatic Sci.* 59, 176–189 (1997).
- 2266 **Stumm, W.:** Catalysis of redox processes by hydrous oxide surfaces. *Croatica. Chem. Acta* 70(1), 71–93 (1997).
- 2267 **Frutiger, A., Imhof, A.:** Life cycle of *Dinocras cephalotes* and *Perla grandis* (Plecoptera: Perlidae) in different temperature regimes. In: «Ephemeroptera & Plecoptera Biology-Ecology-Systematics», P. Landolt, M. Sartori (Eds.), MTL, Fribourg 1997, pp. 34–42.
- 2268 **Ivy Ochs, S.D.:** The dating of rock surfaces using *in situ* produced ^{10}Be , ^{26}Al and ^{36}Cl , with examples from Antarctica and the Swiss Alps. Diss. ETHZ No. 11 763, Zürich 1996.
- 2269 **Hohmann, R.:** Deep-water renewal in Lake Baikal. Diss. ETHZ No. 12 029, Zürich 1997.
- 2270 **Reiser, R.:** Occurrence and fate of detergent-derived alkylbenzenesulfonates in recent sediments. Diss. ETHZ No. 12 098, Zürich 1997.
- 2271 **Wild, D.:** Nährstoffflüsse in Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination. Diss. ETHZ Nr. 12 197, Zürich 1997.
- 2272 **Hunkeler, D., Hoehn, E., Höhener, P., Zeyer, J.:** ^{222}Rn as a partitioning tracer to detect diesel fuel contamination in aquifers: Laboratory study and field observations. *Environ. Sci. Technol.* 31 (11), 3180–3187 (1997).

SANDEC Report No. 5/98: **Udo Heinss, Seth A. Larmie, Martin Strauss:** Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics. *Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design.* Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC), CH-8600 Dübendorf, Switzerland.

Karl Fent: Ökotoxikologie, G. Thieme Verlag, Hochschultaschenbuch, ISBN 3-13-109991-7.



BESTELLTALON

44 D

Bitte schicken Sie mir die

EAWAG news in deutsch englisch französisch

Publikationsnummern

Anrede _____

Name/Vorname _____

Funktion _____

Firma/Organisation _____

Strasse und Nummer _____

Land, PLZ, Stadt _____

Telefon _____

Telefax _____

Bemerkungen

Dies ist eine Adressänderung (alte Adresse)

Datum _____



EAWAG
Bibliothek
CH-8600 Dübendorf