

Siedlungsentwässerung im Wandel

NoMix-Technologie:
Wie gut ist die Akzeptanz? **15**



Alternative Ansätze der Siedlungshygiene in Entwicklungsländern **18**



Projekt STORM –
Abwassereinleitungen bei Regenwetter **21**



Nachhaltige Regenwasserentsorgung
auf dem Weg in die Praxis **24**



Wie dicht ist unser Kanalnetz? **29**



Siedlungsentwässerung im Wandel

2 Editorial

Leitartikel

3 Vom Transportsystem zum
Gewässerschutzzelement

Forschungsberichte

7 Mikroverunreinigungen –
Abwasserentsorgung vor neuen
Anforderungen?

11 Dynamik der Veränderungskräfte in der
Abwasserentsorgung

14 NoMix-Technologie: Wie gut ist die
Akzeptanz?

18 Alternative Ansätze der
Siedlungshygiene in Entwicklungsländern

21 Projekt STORM – Abwassereinleitungen
bei Regenwetter

25 Nachhaltige Regenwasserentsorgung auf
dem Weg in die Praxis

29 Wie dicht ist unser Kanalnetz?

32 Management von Abwasseranlagen auf
dem Prüfstand

Diverses

35 Publikationen (3312–3341)

36 In Kürze

Herausgeberin Vertrieb und ©:
EAWAG, Postfach 611, CH-8600 Dübendorf
Tel. +41-1-823 55 11
Fax +41-1-823 53 75
<http://www.eawag.ch>

Redaktion Martina Bauchrowitz, EAWAG

Copyright Nachdruck möglich nach Absprache mit der
Redaktion.

Erscheinungsweise dreimal jährlich in Deutsch,
Englisch und Französisch. Chinesische Ausgabe in
Zusammenarbeit mit INFOTERRA China National Focal
Point.

Abbildungen Yvonne Lehnhard, EAWAG; Peter Nadler,
Küsnacht

Fotos Titelblatt Y. Lehnhard, M. Strauss, V. Krejci,
EAWAG; TBS Identity, Zürich; Entsorgung + Recycling
Zürich

Konzept Inform, 8004 Zürich

Satz, Bild und Layout Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Gedruckt auf rezykliertem Papier

Abonnemente und Adressänderungen
NeuabonnentInnen willkommen!
Bitte Bestelltalon in der Heftmitte beachten.



Willi Gujer, Mitglied der EAWAG-
Geschäftsleitung, Professor für
Siedlungswasserwirtschaft an
der ETH Zürich

Die Siedlungsentwässerung erfahren wir als grosses gesellschaftliches Gemeinschaftswerk. In der Schweiz haben wir dieses Werk für mehr als 60 Milliarden Franken erstellt, es leistet Gewaltiges für die 97% der Einwohner, die davon profitieren. Man könnte meinen, die Probleme seien gelöst und wir könnten uns neuen Aufgaben zuwenden.

Werke altern, nehmen Schaden und versagen ihren Dienst – die Gesellschaft entwickelt sich und fordert Neues und häufig mehr – wissenschaftliche Erkenntnisse nehmen zu und zeigen neue Zusammenhänge auf – bewährte Konzepte werden weiterentwickelt. Was uns also heute dient, ist morgen veraltet, muss angepasst, verbessert und weiterentwickelt werden.

In dieser Ausgabe der EAWAG news werden viele Facetten der Siedlungsentwässerung diskutiert und aus neuer Sicht dargestellt. Daraus ergeben sich eine Reihe von Fragen, deren Antworten grosse Auswirkungen auf das bestehende System haben können: Ist es sinnvoll, Mikroverunreinigungen und ihre Auswirkungen auf die Ökosysteme weiterhin durch Symptombekämpfung zu kontrollieren, sind nicht Massnahmen an der Quelle die günstigere Option? Wollen und können die Konsumenten in Zukunft vermehrt Verantwortung übernehmen oder sind die Konzepte der dezentralen Sanierung Fantasien? Können wir in unserem föderalistischen Staatssystem die institutionellen Randbedingungen noch weiter verbessern und die Entscheidungswege straffen und sicherer gestalten oder müssen wir vermehrt auf privatwirtschaftliche Strukturen setzen? Was sind die Risiken eines defekten Entwässerungssystems? Wie können wir mit unserer Erfahrung Drittweltländer optimal in ihrer Entscheidung und Entwicklung unterstützen? usw.

Offensichtlich ist das Entwässerungssystem, das uns grossen Komfort bietet und das wir alle seit vielen Jahren gerne und häufig nutzen, bei weitem nicht so statisch, wie es häufig scheint oder wie wir es als Konsumenten und z.T. als Fachleute wahrnehmen. Es zeichnet sich ab, dass neben den früher hauptsächlich eingesetzten technischen «End of pipe»-Lösungen heute zunehmend Prozesse im sozio-ökonomischen Bereich Bedeutung erlangen. Wir nehmen die Siedlungsentwässerung vermehrt als integriertes System wahr, das neben ökologischen und technischen auch ökonomischen und gesellschaftlichen Kriterien genügen muss.

Eine Infrastruktur mit der Bedeutung der Entwässerung muss leben und sich mit der Gesellschaft weiterentwickeln. Das macht die Arbeit in diesem Gebiet interessant und spannend. Was hier als neu und anspruchsvoll vorgestellt wird, wird schon bald zur Routine, die wiederum durch Neues ergänzt und in Frage gestellt werden soll.

Die Siedlungsentwässerung ist im Wandel und das ist gut so!



Vom Transportsystem zum Gewässerschutz

Die Siedlungsentwässerung befindet sich im Wandel vom Transportsystem zu einem wichtigen Instrument des Gewässerschutzes. Dieser Funktionswandel gelingt jedoch nur bedingt, da einige der systeminhärenten Eigenschaften der heutigen Abwasserbehandlung prinzipielle Schwachpunkte darstellen. So ist z.B. die Reinigungskapazität der Siedlungsentwässerung aufgrund von Mischwasserentlastungen, undichten Kanälen und der grossen Verdünnung der Schmutzstoffe limitiert. In diesem Umfeld sucht die Wissenschaft nach Lösungen, um die bestehenden Strukturen zu optimieren, und entwickelt neue alternative Ansätze für eine nachhaltige Siedlungsentwässerung auf hohem Niveau.

Die Siedlungsentwässerung ist eines der grossen gesellschaftlichen Gemeinschaftswerke, das während der letzten 100 Jahre in der Schweiz aufgebaut wurde (Tab. 1 und Abb. 1) [1, 2]. Etwas mehr als 95% der schweizerischen Bevölkerung sind mit 40 000 km Kanalisation und unzähligen weiteren Sonderbauten ausgerüstet. Mit geschätzten 18 Milliarden Tonnenkilometern Abwassertransport pro Jahr gehört die Siedlungsentwässerung zu den grössten und leistungsfähigsten Transportunternehmungen der Schweiz. Zum Vergleich: Der gesamte schweizerische Gütertransport auf Strasse und Schiene betrug 1997 26,6 Milliarden Tonnenkilometer. Ebenfalls beeindruckend sind die Abwassermengen, welche alljährlich in den 964 schweizerischen Kläranlagen verarbeitet werden. Den 2 Milliarden Tonnen Abwasser pro Jahr werden unter anderem rund 209 000 Tonnen Schlamm [3], 250 000 Tonnen Kohlenstoff, 20 000 Tonnen Stickstoff und 4000 Tonnen Phosphor entnommen.

Entsorgung auf Knopfdruck hat ihren Preis

Weit wichtiger als diese offensichtlichen Leistungskennzahlen ist der eher etwas verborgene Nutzen dieser Anlagen:

- **Hygiene:** Die Möglichkeit, Fäkalien und gebrauchtes Wasser sicher, effizient und fast unbeschränkt zu entsorgen, hat Krankheiten, die durch Wasser übertragen werden, in der Schweiz sehr selten werden lassen. Treten sie dennoch auf, sind sie

sehr oft auf ein Versagen der Kanalisation oder der Kläranlage zurückzuführen wie die Trinkwasserverschmutzung im September 1998 in der Gemeinde La Neuveville. Dort gelangte Abwasser aus einem defekten Pumpwerk in das Grundwasser und wurde als Trinkwasser wieder zutage befördert.

- **Schutz der Infrastruktur:** Der Abtransport von Regenwasser aus den urbanen Räumen vermindert die Anzahl Überschwemmungen und die dadurch entstehenden Schäden.

- **Gewässerschutz:** Durch den Ausbau der Kläranlagen hat sich die allgemeine Gewässerqualität in den letzten 40 Jahren stark verbessert. Ein Badeverbot in öffentlichen Gewässern ist in der Schweiz eher die Ausnahme als die Regel.

- **Komfort:** Nicht zuletzt bietet die Siedlungsentwässerung in der vorherrschenden Form einen ungeahnten Komfort. Es gibt kaum eine Dienstleistung, die so einfach und bequem zu bedienen ist. Flüssige Abfälle aller Art verschwinden auf Knopfdruck innert Sekunden, die Anlagen sind für die Konsumentinnen und Konsumenten beispielsweise wartungsarm und unangenehme üble Gerüche sind sehr selten geworden. Allerdings hat diese grossartige Errungenschaft auch ihren Preis. Der geschätzte Wiederbeschaffungswert der bestehenden Siedlungsentwässerung beträgt etwa 60 Milliarden Sfr. [4, 5]. Dies macht etwa 15% des geschätzten Werts aller Tiefbauten in der Schweiz aus, wobei die Kosten für die Kanalisation etwa 80% und die Kosten für

5000–3000 v. Chr.	Rohre und offene Halbschalen aus gebranntem Ton zur Siedlungsentwässerung im Euphrat-Tal
2500–1500 v. Chr.	Badezimmer, Klosetts und Strassenkanalisation der Indus-Zivilisation
2000 v. Chr.	Rohre für Wasserversorgung, Regenwasserspeicher und Abwasseranlagen im Palast von Knossos
300 v. Chr.	Ausbau der Kanalisation in Rom
1591	Vorschläge zur Abwasserreinigung in London
1660	Wasserklosetts (WC) in England und Frankreich
ab 1760	Rieselfelder für Abwasser
1830	Schwere Cholera-Epidemie in London
1840–1850	Bau der Kanalisation in London
1848	Erste moderne Kanalisation in Hamburg
1873	Kanalisation in Berlin
1884	Typhus-Epidemie in Zürich
1888	Fischereigesetz in der Schweiz mit Vorgaben zum Gewässerschutz
1892	Biologische Abwasserreinigungsverfahren in England
1895	Erstes Klärbecken in Deutschland
um 1908	Erste biologische Untersuchungen der Gewässerverunreinigungen durch Abwasser
1916	Erste mechanisch-biologische Kläranlage in der Schweiz (St. Gallen)
1971	Gewässerschutzgesetz in der Schweiz
1975	Verordnung über Abwassereinleitungen in der Schweiz

Tab. 1: Entwicklung der Abwassertechnik [nach 1].

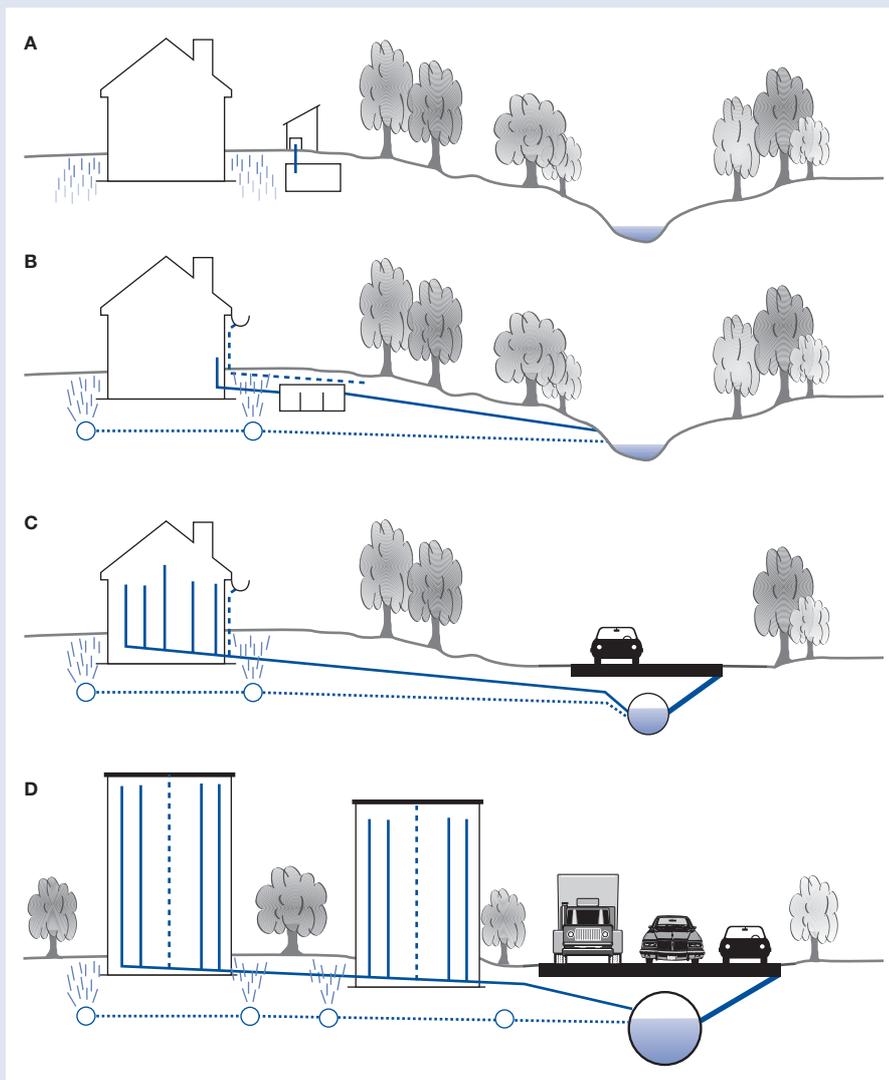


Abb. 1: Geschichtliche Entwicklung der Siedlungsentswässerung [verändert nach 1].

A: Das Tonnen- oder Grubensystem.

B: Das Grubensystem musste aufgegeben werden, nachdem die zentrale Wasserversorgung, Bäder und Spültoiletten eingeführt worden waren. Neben dem Abwasser wurde auch bald, zur besseren Nutzung der Keller, das Sicker- und Drainagewasser in die Bäche abgeleitet.

C: Die Schmutzwassermengen steigen mit dem Lebensstandard. Aus manchen Bächen wurde eine Schwemmkanalisation.

D: Das Wachstum der Städte erfordert bis heute Kapazitätsanpassungen an die Siedlungsentswässerung.

die Abwasserreinigungsanlagen etwa 20% ausmachen. Betrachtet man die gesamten betriebswirtschaftlichen Kosten der Siedlungsentswässerung, dann fällt alljährlich für Amortisation, Verzinsung und Betrieb ein Betrag von rund 3 Milliarden SFr. an. Verglichen mit den Gesamteinnahmen der öffentlichen Hand in der Schweiz sind das beträchtliche 2,6%.

Diese sowohl wertvolle wie auch grosse Infrastruktur muss effizient organisiert und gemanagt werden können. Die Verbraucherinnen und Verbraucher erwarten einen lückenlosen Service auf hohem Niveau bei gleichzeitig tiefen Gebühren. Verglichen mit dem Wert der Bauten weist die Organisation der Siedlungsentswässerung jedoch etliche Defizite auf. Notwendige organisatorische und planerische Prozesse sind oft mangel-

haft gestaltet oder gar nicht vorhanden, wichtige Entscheidungsgrundlagen für Investitionen unvollständig, und nur selten finden sich betriebliche Planungs- und Kontrollinstrumente (z.B. Leistungsvereinbarungen, periodisches Controlling). Deshalb müssen den Verantwortlichen einfache und praxisnahe Methoden für die Bewertung und Optimierung organisatorischer und planerischer Prozesse in Abwasseranlagen zur Verfügung gestellt werden (siehe Artikel von S. Binggeli, S. 31).

Gefordert: eine nachhaltige Siedlungsentswässerung

Die Siedlungsentswässerung ist ein gewachsenes System. Der ursprüngliche Fokus, das Abwasser schnell und effizient aus der Siedlung abzuleiten, hat sich mehr und

mehr auf den Gewässerschutz im Speziellen und auf eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft im Allgemeinen verschoben. Allerdings realisieren wir auch, dass der ursprüngliche Zweck der Kanalisation sich nur schlecht mit den neuen Schwerpunkten verträgt oder ihnen sogar widerspricht:

Regenwasser: Aus Kapazitätsgründen sind in Mischkanalisationen, in denen Abwasser und Regenwasser gemeinsam transportiert werden, so genannte Mischwasserentlastungen eingebaut. Sie springen dann an, wenn die Transportkapazität der Kanäle bei Regen überlastet ist. Das Regenwasser wird dann vermischt mit Abwasser direkt in die Gewässer eingeleitet. Auf diese Weise umgehen typischerweise 5–20% des Abwassers die Kläranlagen, wodurch der Wirkungsgrad der Siedlungsentswässerung empfindlich eingeschränkt wird. Zusätzliche Bauwerke, die das Gemisch aus Regen- und Abwasser zwischenspeichern oder reinigen, können die Gewässer und Kläranlagen teilweise entlasten. Solche Anlagen müssen dabei für sehr grosse Wassermengen ausgelegt werden, sind aber bei Trockenwetter und Schwachregen (>97% der Zeit) nicht in Betrieb und daher verhältnismässig teuer.

Das Projekt STORM (siehe Artikel von V. Krejci, S. 21) erarbeitet aus diesem Grund transparente und praxisnahe Grundlagen für die Planung technischer Massnahmen zur Regenwasserableitung und -behandlung. Neu an diesem Konzept ist, dass lokale Eigenschaften der Gewässer, potenzielle Unsicherheiten, Art der Gewässerbelastung sowie ein breiteres Spektrum an möglichen Massnahmen und deren Kostenwirksamkeit mitberücksichtigt werden.

Versickerung: Eine Alternative zur gezielten Ableitung von Regenwasser ist dessen Versickerung im Untergrund. Allerdings haben zahlreiche Forschungsarbeiten in den letzten Jahren gezeigt, dass Regenwasser nicht zwingend unverschmutzt ist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Regenwasser zunächst über Dächer oder Strassen ab-



In der Zürcher Unterwelt.

läuft, bevor es versickert. Diese zum Teil enormen und gegenüber dem häuslichen Abwasser andersartigen Verunreinigungen stellen die Siedlungsentwässerung vor neue Probleme. Zentrale Grössen in diesem Zusammenhang sind das Wissen um die entsprechenden Stoffflüsse, die Dynamik der Schmutzstoffe und die Leistungen der Barrierensysteme zum Schutz von Gewässer, Grundwasser und Boden (siehe Artikel von M. Boller, S. 24).

Unsichtbare Infrastruktur: Die weitgehend im Untergrund verborgene Infrastruktur ist einer Kontrolle nur schwer zugänglich. Nur massive Leckagen sind direkt ersichtlich. Mittlere und kleinere Defekte sind mit bisherigen Mitteln nur durch aufwändige Kontrollen einzeln aufzuspüren. Städtische Kanalnetze sind während ihrer langen theoretischen Lebensdauer ständigen Belastungen durch Verkehr und Bodenbewegungen ausgesetzt. In Kombination mit der natürlichen Ermüdung des Materials entstehen Schäden, die die Exfiltration von Abwasser sowie die Infiltration von Grundwasser zur Folge haben. Neue Messmethoden sollen das Ausmass dieser unerwünschten Prozesse quantifizieren und damit eine effizientere Planung für Sanierung und Erneuerung ermöglichen (siehe Artikel von J. Rieckermann, S. 28).

Verdünnung und Vermischung: Das Prinzip der Schwemmkanalisation beruht darauf, dass Schmutzstoffe mit einer grossen Wassermenge abtransportiert werden. Die dadurch verursachte Verdünnung der Schmutzstoffe und die Vermischung verschiedenster Abfallstoffe erschwert die Reinigung des Abwassers und limitiert die Effizienz der Kläranlagen. Damit erhöht sich das Risiko, dass unerwünschte Stoffe nicht vollständig eliminiert und mit dem Kläranlagenausfluss in die Gewässer gelangen. Die Schwemmkanalisation ist daher aus Sicht des Gewässerschutzes ein denkbar schlechtes Prinzip.

Mikroverunreinigungen: Aufgrund einer verbesserten chemischen Analytik werden in den Gewässern vermehrt Pharmazeutika

und hormonaktive Stoffe nachgewiesen. Gefährlich sind diese Stoffe einerseits, weil sie sich in Organismen, z.B. im Fettgewebe, anreichern können, und andererseits, weil insbesondere die hormonaktiven Stoffe bereits bei geringsten Konzentrationen eine Wirkung haben. So hat zum Beispiel der Wirkstoff der Antibabypille, 17α -Ethinylestradiol, bei Konzentrationen unter 1 ng/l deutlich messbare Effekte auf Fische [6].

Die Risiken solcher Verunreinigungen sind nur sehr schwer abzuschätzen. In Sinne des Vorsorgeprinzips können aber trotzdem bereits heute erste Massnahmen getroffen werden. Im seinem Artikel auf S. 7 diskutiert H.R. Siegrist den Stand der gegenwärtigen Forschung und stellt verschiedene Massnahmen an der Quelle und in der Abwasserreinigung vor.

Konservative Infrastruktur: Die Siedlungsentwässerung ist ein recht unflexibles System. Unzählige Elemente mit unterschiedlichstem Alter und ungleicher Lebenserwartung müssen als ein Ganzes funktionieren. Um die bisher getätigten hohen Investitionskosten nutzen zu können, sind wir gezwungen, die einzelnen Elemente der Abwasserentsorgung mehr oder weniger kontinuierlich zu ersetzen und damit zu erhalten [7]. Deshalb scheint es derzeit höchst unwahrscheinlich, dass sich kurz- bis mittelfristig dezentrale (kleinräumige) Lösungen breit durchsetzen; unabhängig davon, ob sie ökologisch oder ökonomisch sinnvoller wären.

Zwischenergebnisse des deutschen Forschungsprojektes «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung» zeigen jedoch, dass

die träge Struktur der Siedlungswasserwirtschaft mit Faktoren konfrontiert wird, die eine Veränderungsdynamik auslösen könnten (siehe Artikel von D. Rothenberger, S. 11). So haben z.B. bereits kleinräumige Bevölkerungsverschiebungen wie die Stadtfucht starke Konsequenzen für den Finanz- und Investitionsbedarf sowie für die technische Konzeption. Weitere Beispiele sind die Auswirkungen von Wassersparmassnahmen oder das an vielen Orten vorhandene Investitionsdefizit. Ein Zusammenspiel dieser Faktoren könnte zumindest in einzelnen regionalen oder anwendungsbezogenen Nischen stärker kleinräumige Lösungen hervorbringen.

Gefragt: innovative Konzepte in der Siedlungsentwässerung

Wie das Beispiel in Abbildung 2 zeigt, wird die erste Generation der Kanalisation derzeit in vielen Teilen der Schweiz ersetzt.

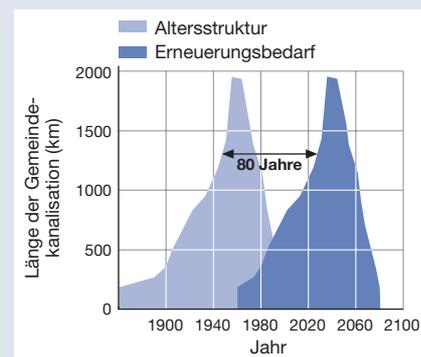


Abb. 2: Altersstruktur der Kanalisation im Kanton Bern [4].



Wartungsarbeiten in der Kanalisation durch Mitarbeiter von Entsorgung + Recycling Zürich.

Angesichts der gewichtigen Nachteile und der hohen Kosten der gesamten Siedlungsentwässerung lohnt es sich jedoch, neben dem reinen Ersatz auch grundlegend neue Konzepte in Betracht zu ziehen, die sich ins bestehende System integrieren lassen und in der Zukunft neue Handlungsoptionen erschliessen.

An der EAWAG wird dies intensiv im Forschungsprojekt NOVAQUATIS gemacht, das sich mit der separaten Erfassung und Behandlung von Urin beschäftigt. Urin macht weniger als 0,5% der Abwassermenge aus. Er enthält aber über 85% der Stickstoffverbindungen, 50% des Phosphors und einen grossen Teil der Hormone und Pharmazeutika, die insgesamt in Kläranlagen anfallen, und trägt damit substantiell zur Belastung der Kläranlage bei [8]. Interessant ist, dass sich diese Technologie sehr flexibel in die bestehende Infrastruktur integrieren lässt und auch in Mischsystemen Vorteile bringt. So kann die partielle Erfassung und Zwischenspeicherung von Urin helfen, Belastungsspitzen in den Kläranlagen auszugleichen [9].

Dabei geht es der EAWAG nicht nur um die technische Umsetzung dieses innovativen Konzepts, sondern auch darum, herauszufinden, wie hoch die Akzeptanz in der Gesellschaft für diesen neuen Ansatz ist. Denn ob sich eine neue Technologie in der Praxis durchsetzen kann, hängt von vielen Faktoren ab. Die Fachleute im heutigen Siedlungsentwässerungsbereich treffen Entscheidungen im technischen Bereich weit-

gehend unter Ausschluss der Öffentlichkeit. Tief greifende Veränderungen des heutigen Systems, wie z.B. Massnahmen an der Quelle, bedingen jedoch den frühzeitigen Einbezug aller Akteure. Aus diesem Grund wurden im Projekt NOVAQUATIS verschiedene Akzeptanzstudien durchgeführt (siehe Artikel von J. Lienert, S. 14). Die bisherigen Resultate zeigen, dass die Einführung der Urinseparierung in den Haushalten bei Beachtung gewisser Randbedingungen nicht auf nennenswerte Widerstände stossen würde. Damit ist klar, dass den Abwasserfachleuten eine Schlüsselrolle zukommt, neuen Ansätzen wie der Urinseparierung den Weg in die Praxis zu ebnen.

Ein weiterer Hinweis dafür, dass unser Siedlungsentwässerungssystem langfristig nicht nachhaltig ist, sind die Schwierigkeiten, die bei der Einführung der Schwemmkanalisation in Schwellen- oder Entwicklungsländer auftreten:

- Integration in ein umfassendes Gesamtkonzept für die Abfallbeseitigung ist nicht möglich,
- hoher Ressourcenverbrauch (Wasser, Kanalisation),
- fehlende Flexibilität bei grösseren Bevölkerungsverschiebungen oder -wachstum,
- hoher zentralistischer Organisationsgrad notwendig,
- hohe Kosten.

Auf Basis der im Jahr 2000 formulierten Bellagio-Grundsätze hat die EAWAG ein neues Konzept für die praktische Umsetzung von integrierten Abfallkonzepten in Entwick-

lungsländern entwickelt, das den Haushalt ins Zentrum des Planungsprozesses stellt (siehe Artikel von A. Morel, S. 18).

Dieser «Haushalt-zentrierte Ansatz in der integrierten Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft» ist auch für die Schweiz von grösstem Interesse. Er zeigt, wie mit modernem Verständnis das Abfallbeseitigungskonzept von Grund auf neu aufgebaut und mit weniger Kapital- und Ressourcenaufwand betrieben werden könnte. Wenn es uns gelingt, von solchen Ansätzen zu lernen und sie in unsere bestehenden Strukturen zu integrieren, dann können wir die Siedlungsentwässerung langfristig und nachhaltig auf hohem Niveau betreiben.



Max Maurer, Chemieingenieur und Verfahrenstechniker, arbeitet in der Abteilung «Ingenieurwissenschaften» der EAWAG im Bereich Abwasserreinigung und nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft.

- [1] Krejci, V., Lange J., Schilling W. (1992): Gewässerschutz bei Regenwetter. GAIA 1, 72–83.
- [2] Illi M. (1992): Von der Schissgrub zur modernen Stadtentwässerung. Hrsg.: Stadtentwässerung Zürich, Verlag: Neue Zürcher Zeitung, 264 S.
- [3] Stadelmann X. F., Külling D., Herter U. (2002): Klärschlamm: Dünger oder Abfall? EAWAG news 53, 9–11.
- [4] Lehmann M. (1994): Volkswirtschaftliche Bedeutung der Siedlungswasserwirtschaft. Gas, Wasser, Abwasser 74, 442–447.
- [5] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2003): Kosten der Abwasserentsorgung. Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 42, BUWAL, Bern, 48 S. .
- [6] Petersen G.I., Norrgren L., Holbech H., Lundgren A., Koivisto S. (2001): Suitability of zebrafish as testorganism for detection of endocrine disrupting chemicals. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2001. 597 S.
- [7] Larsen T.A., Gujer W. (2001): Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management. Water Science and Technology 45, 309–318.
- [8] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). Water Science and Technology 34, 87–94.
- [9] Abegglen C., Maurer M. (2003): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. EAWAG-Jahresbericht 2002, S. 22–23.

Mikroverunreinigungen – Abwasserentsorgung vor neuen Anforderungen?

Durch eine verbesserte chemische Analytik werden in den Gewässern vermehrt Arzneimittel und hormonaktive Stoffe nachgewiesen. Sie werden grösstenteils über den Urin ausgeschieden und gelangen so ins Abwasser. In der Kläranlage wird ein Teil der Stoffe durch Sorption und biologischen Abbau eliminiert. Der andere Teil gelangt mit dem geklärten Abwasser in die Gewässer. Dieser Artikel zeigt mögliche Massnahmen auf, mit denen auch die verbleibenden Stoffe eliminiert werden können. Dazu gehören einerseits nachhaltige Massnahmen an der Quelle wie ein Umweltlabel für Arzneimittel, die Vorbehandlung von Spitalabwässern und die getrennte Behandlung von Urin. Da diese jedoch nur längerfristig umgesetzt werden können, ist es andererseits sinnvoll, auch technische Massnahmen wie die Erhöhung des Schlammalters im Belebungsbecken der Kläranlagen und bei kritischen Fällen die Ozonierung des gereinigten Abwassers zu erwägen.

Heute sind in der Europäischen Union (EU) etwa 100 000 verschiedene Chemikalien gemeldet, von denen rund 30 000 in einer Menge von mehr als einer Tonne auf dem Markt vertrieben werden [1]. Es ist unvermeidlich, dass bei der Herstellung und Ent-

sorgung sowie beim Gebrauch der Stoffe auch Anteile in die Umwelt gelangen.

Durch die sich ständig verbessernde chemische Analytik findet man im Abwasser, in den Gewässern und im Klärschlamm vermehrt Verbindungen in sehr niedrigen

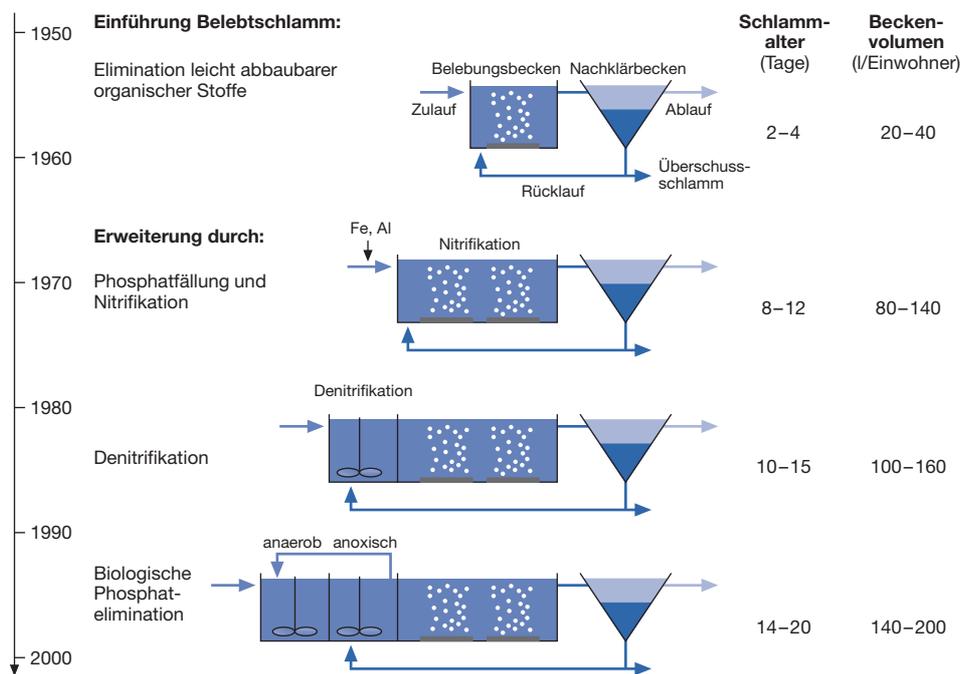
Konzentrationsbereichen (Mikro- und Nanogramm pro Liter), die als Mikroverunreinigungen bezeichnet werden. Dazu gehören so bekannte Vertreter wie das Pestizid Atrazin, der Kunststoffzusatz Bisphenol A und das Benzinantiklopfmittel Methyl-Tertiär-butyl-methyläther. Erst seit einigen Jahren weiss man, dass sich darunter auch Substanzen befinden, die z.B. in Körperpflege- und Arzneimitteln eingesetzt werden. Heute werden in der EU ca. 3300 verschiedene Stoffe als Arzneimittel verwendet. Bedeutsam sind Wirkstoffe, die u.a. als Analgetika, Antibiotika, Antidiabetika, Beta-blocker, Kontrazeptiva, Lipidsenker, Psychopharmaka oder Zytostatika eingesetzt werden.

Arzneimittelrückstände im Wasser – eine nicht zu unterschätzende Gefahr

Arzneimittel gelangen in der Regel über die natürlichen Ausscheidungen wie Urin oder

Geschichtliche Entwicklung des Belebtschlammverfahrens

Im Laufe der Zeit ist es gelungen, mehrere Prozesse in das Belebtschlammverfahren zu integrieren: Anfänglich wurden Kläranlagen nur für den Abbau von organischen Stoffen ausgelegt. Um die Phosphatbelastung der Seen zu reduzieren, wird das Phosphat seit Ende der sechziger Jahre mittels chemischer Fällung entfernt. Der mehrheitlich aus dem Urin stammende Stickstoff führte Ende der siebziger Jahre im Einzugsgebiet von Flüssen zur Einführung der Nitrifikation, bei der das für Fische toxische Ammoniak in das weniger bedenkliche Nitrat umgewandelt wird. Durch Nitrat ist jedoch die Gefahr einer Stickstoffüberdüngung der Meeresküstengewässer gegeben. Daher wird die Nitrifikation seit Mitte der achtziger Jahre meist mit einer partiellen Denitrifikation ergänzt, bei der Nitrat in molekularen Stickstoff umgewandelt wird. In den neunziger Jahren wurde die biologische Phosphatelimination durch Vorschalten einer anaeroben Zone eingeführt. Dadurch reichern sich im Schlamm Polyphosphat speichernde Bakterien an.



Faeces in das Abwassersystem. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil der im Abwasser enthaltenen Arzneimittel wird aber auch durch unsachgemässe Entsorgung über die Toilette eingetragen. Eine deutsche Studie [2] untersuchte das Vorkommen von 55 Arzneimittelwirkstoffen und 9 Metaboliten im Ablauf von 49 Kläranlagen sowie in den jeweiligen Gewässern, in die die geklärten Abwässer eingeleitet werden (Vorfluter). Dabei konnten in den Kläranlagenabläufen 36 Wirkstoffe und 5 Metaboliten in Konzentrationen bis zu mehreren µg/l nachgewiesen werden. In den Gewässern wurden noch Spitzenkonzentrationen von über 1 µg/l (z.B. Betablocker und Antiepileptika) gemessen.

Darüber hinaus machen in den letzten Jahren neuartige Umwelteffekte wie die Verweiblichung von Fischen von sich reden. Sie werden zum Teil auf den chronischen Eintrag hormonaktiver (endokriner) Substanzen zurückgeführt. Dazu gehören neben den körpereigenen Hormonen, die ebenso mit dem Urin ausgeschieden werden, auch diejenigen Arzneimittel, die aufgrund ihrer hormonellen Wirkung eingesetzt werden wie z.B. die Kontrazeptiva und Antidiabetika. Einigen anderen Arzneimittelwirkstoffen, wie z.B. β-Sitosterol (zur Senkung des Cholesterinspiegels) und Clenbuterol (Asthmamedikament), wird zusätzlich zu ihrer nichthormonellen Hauptwirkung, eine hormonelle Nebenwirkung zugeschrieben. Für die meisten Arzneimittel sind jedoch keine endokrinen Wirkungen bekannt. Das mag aber auch daran liegen, dass sie niemals auf etwaige hormonelle Wirkungen getestet wurden. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass die Gruppe der Arzneimittelwirkstoffe mit ungewollten hormonellen Nebenwirkungen viel grösser ist als angenommen.

Leider weiss man bis anhin nur wenig darüber, wie sich Arzneimittelrückstände beim Durchlaufen des Abwassers in der Klä-

anlage verhalten und durch welche Prozesse sie aus dem Abwasser eliminiert werden. Solche Daten wären jedoch einerseits für eine umfassendere Umweltrisikoprüfung unerlässlich, andererseits liefern sie die Grundlage für die Erarbeitung von Massnahmen zur Verbesserung der biologischen und chemischen Abbauleistung in Kläranlagen. Der vorliegende Artikel gibt anhand ausgewählter Beispiele einen Überblick über die Eliminationsprozesse und stellt mögliche Massnahmen zur Diskussion.

Eliminationsprozesse in der kommunalen Kläranlage

Ob Spurenstoffe in einer Kläranlage eliminiert werden, hängt wesentlich vom Ausbaustand der biologischen Reinigungsstufe ab. In den letzten 40 Jahren hat sich die biologische Abwasserreinigung schrittweise an die sich verschärfenden Abwassereinleitbedingungen angepasst. Dies wird anhand des meist eingesetzten Belebtschlammverfahrens beschrieben (siehe Kasten S. 7).

Die wichtigsten Eliminationsprozesse sind:

- die Sorption an suspendierte Feststoffe im Abwasser, die sich im Vor- bzw. Nachklärbecken als Primär- und Sekundärklärslamm absetzen;

- der Abbau von Substanzen durch Bakterien im Belebtschlamm, der als biologische Mineralisation bzw. Transformation bezeichnet wird;

- das Ausgasen mit der Belüftungsluft; allerdings ist dieser Prozess für die betrachteten Spurenstoffe vernachlässigbar, da es sich meist um grössere, lipophile und nur teilweise ungeladene Moleküle mit geringer Flüchtigkeit handelt.

Sorption

Bei der Sorption von organischen Spurenstoffen unterscheidet man:

- die Adsorption: hydrophobe Wechselwirkungen der aliphatischen und aromatischen

Gruppen einer Verbindung mit der lipophilen Zellmembran der Mikroorganismen und den Fettfraktionen des Schlammes;

- die Adsorption: elektrostatische Wechselwirkungen von positiv geladenen Gruppen der Chemikalien mit den negativ geladenen Oberflächen der Mikroorganismen.

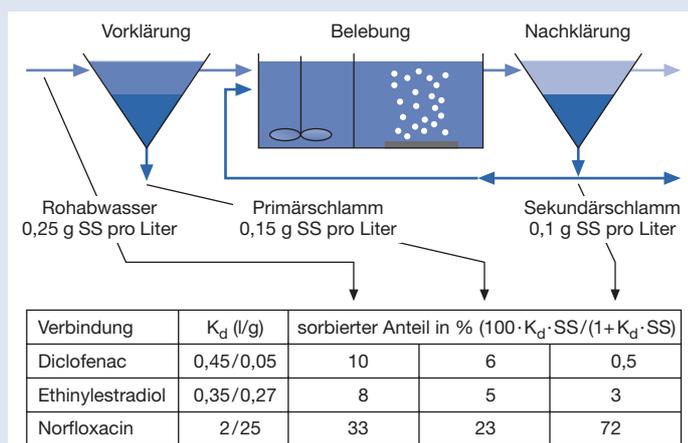
Welche Menge einer Substanz sorbiert (C_{sorbiert}), kann durch ein vereinfachtes lineares Modell ausgedrückt werden. Sie ist abhängig von der Sorptionskonstante K_d , der Konzentration suspendierter Stoffe (SS), an die sich die Substanz anheften kann und dem Anteil der Substanz, der in gelöster Form vorliegt ($C_{\text{gelöst}}$):

$$C_{\text{sorbiert}} = K_d \cdot \text{SS} \cdot C_{\text{gelöst}}$$

Die Sorptionskonstante K_d hat die Einheit l/g. Sie kann bei überwiegend hydrophoben Wechselwirkungen aus dem Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient abgeschätzt oder muss bei elektrostatischen Wechselwirkungen mittels Sorptionsversuchen bestimmt werden.

Eine Substanz, die relativ gut an suspendierte Feststoffe sorbiert, ist das Antibiotikum Norfloxacin (Abb. 1)[3, 4]. Die Sorption beruht grösstenteils auf elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen der positiv geladenen Aminogruppe von Norfloxacin und den negativ geladenen Oberflächen der Mikroorganismen. In einer Studie, die in der Kläranlage Zürich Werdhölzli durchgeführt wurde, konnte die EAWAG nachweisen, dass bei einer Überschussschlammproduktion von 0,1 g/l Abwasser bis zu 80% Norfloxacin an den Sekundärslamm sorbieren [4]. Der Grund dafür ist, dass Mikroorganismen im Nachklärbecken den überwiegenden Anteil der suspendierten Partikel stellen, was sich in einer relativ hohen Sorptionskonstante $K_d \approx 25$ l/g manifestiert. Im Vorklärbecken dagegen liegt die Sorptionskonstante von Norfloxacin nur bei $K_d \approx 2$, weil der Primärslamm trotz gleicher Feststoffkonzentration wesentlich weniger Mikroorganismen, dafür aber eine grosse Fettfraktion enthält. Daraus ergibt sich, dass nur etwa 20% Norfloxacin an den Primärslamm sorbieren. Bei anderen Sub-

Abb. 1: Sorptionskonstante und sorbierter Anteil ausgewählter Verbindungen an die suspendierten Stoffe im Zulauf sowie im Primär- (bezogen auf Zulauf Vorklärun) und Sekundärslamm (bezogen auf Ablauf Vorklärun) [3, 4]. Spalte K_d : erster Wert für Primärslamm, zweiter Wert für Sekundärslamm.



stanzen, z.B. dem entzündungshemmenden Diclofenac (Wirkstoff von Voltaren) und Stoffen, die zur Gruppe der Estrogene gehören, ist der Anteil, der sorbiert wird, wesentlich kleiner (Abb. 1). Bei diesen Stoffen überwiegen die hydrophoben Wechselwirkungen.

Klärschlamm ist ein wichtiger Indikator, um die anthropogene Belastung des Abwassers durch Problemstoffe zu dokumentieren. Deshalb ist es wichtig, die Qualitätskontrolle auch nach dem landwirtschaftlichen Klärschlammverbot weiter beizubehalten.

Biologischer Abbau

Da die diskutierten Spurenstoffe meist nur in Konzentrationen von 10^{-5} – 10^{-9} g/l im Abwasser vorkommen, ist ein biologischer Abbau nur möglich, wenn den Bakterien ein primäres Substrat zur Verfügung steht. Beim biologischen Abbau von Spurenstoffen unterscheidet man zwischen:

- dem Mischsubstratwachstum, bei dem die Bakterien den Spurenstoff als Kohlenstoff- und Energiequelle verwenden und dabei vollständig mineralisieren, und
- dem Kometabolismus, bei dem die Bakterien den Spurenstoff nur teilweise abbauen bzw. umwandeln und nicht als Kohlenstoffquelle nutzen.

Die Transformation bzw. der Abbau einer Substanz kann unter aeroben und/oder anaeroben Bedingungen geschehen. Er ergibt sich durch die zufällige Affinität eines Spurenstoffs mit den bakteriellen Enzymen im Belebtschlamm. Dabei wird mit steigendem Schlammalter auch die Chance eines Abbaus grösser (Abb. 2). Der Grund ist, dass die bakterielle Lebensgemeinschaft vielfältiger wird, weil auch langsamere wachsende Bakterien in den Belebtschlamm einwachsen können. Dies zeigt sich z.B. bei Diclofenac und dem Kontrazeptivum 17α -Ethinylestradiol. Ein signifikanter Abbau der beiden Substanzen ist erst zu verzeichnen, wenn der Belebtschlamm im aeroben Teil der Anlage etwa 8 Tage alt ist. Bei steigendem Schlammalter konkurrieren die

Bakterien um komplexere, schlechter abbaubare Verbindungen. In Gegenwart von leicht abbaubarem Substrat oder bei starken temporären Substratbelastungen kann der Abbau der Spurenstoffe jedoch trotz hohem Schlammalter beeinträchtigt werden.

Die natürlichen Estrogene 17β -Estradiol und Estron werden sowohl im aeroben als auch im anoxischen Teil der biologischen Reinigungsstufe mineralisiert. Dagegen wird das künstliche 17α -Ethinylestradiol nur unter aeroben Bedingungen abgebaut. Abbildung 3 fasst die Ergebnisse einer Studie zum Verbleib von 17α -Ethinylestradiol zusammen [5].

Bedingt durch die tiefen Konzentrationen der Spurenstoffe erfolgt der Abbau meist als Reaktion erster Ordnung ($r_{\text{Abbau}} = k_{\text{Abbau}} \cdot SS \cdot C_{\text{Spurenstoff}}$). Dabei ist eine kaskadenartige Anordnung des belüfteten Beckenvolumens von Vorteil, da dies zu tieferen Ablaufkonzentrationen führt als in einem vordurchmischten Becken.

Massnahmen an der Quelle

Viele Arzneimittelwirkstoffe oder ihre ausgeschiedenen Abbauprodukte stellen allerdings polare Substanzen dar, die kaum oder gar nicht biologisch abbaubar sind und ebenso wenig an Partikel sorbieren. Beim

Durchlaufen der Kläranlage werden sie nur unbedeutend eliminiert und gelangen mit dem Kläranlagenabfluss in die Gewässer. Dieses Problem kann nachhaltig nur mit Massnahmen an der Quelle gelöst werden.

Umweltlabel für Arzneimittel: Ein Medikament wird kaum verboten, wenn es in der Umwelt biologisch nicht abbaubar ist. In Schweden wird jedoch unter Mithilfe der chemischen Industrie ein Umweltlabel eingeführt, das dem Arzt und dem Patienten ermöglicht, beim Vorhandensein ähnlich wirkender Medikamente das umweltfreundlichste für eine Behandlung auszuwählen [6].

Verbesserung der Umweltbeurteilung: Bis anhin basierte die ökotoxikologische Beurteilung einer chemischen Verbindung meist auf der Bestimmung der akuten oder chronischen Toxizität in Umweltsystemen. Substanzen jedoch, die aufgrund ihrer hormonellen Wirkung eingesetzt werden, sowie Substanzen, die im Verdacht stehen, zusätzlich zu ihrer Hauptwirkung, eine hormonelle Nebenwirkung auszuüben, müssen eine besondere Beachtung finden [7]. Es sollte berücksichtigt werden, dass hormonaktive Substanzen bereits bei geringsten Konzentrationen wirksam sein können. Weiter sollten bei der Abschätzung der Konzentrationen im Gewässer das Verhalten der

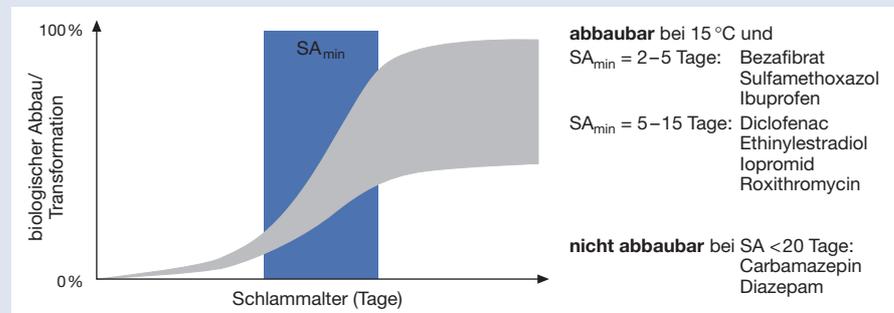


Abb. 2: Der biologische Abbau bzw. die Transformation von Spurenstoffen (grauer Bereich) ist abhängig vom Schlammalter (SA) des Belebtschlamm [3].

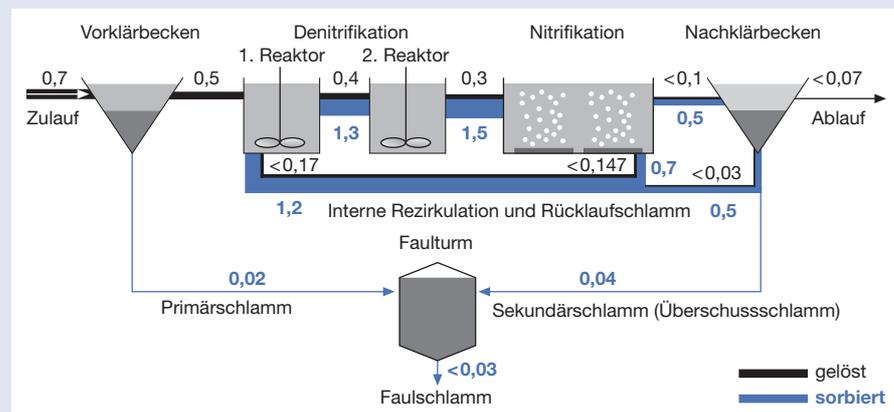


Abb. 3: Stofffluss und Abbau des Kontrazeptivums 17α -Ethinylestradiol in der Kläranlage Wiesbaden, Deutschland [5]. Die Angaben sind in g pro Tag. Der Wert im Zulauf umfasst sowohl das gelöste als auch das in konjugierter Form vorliegende Ethinylestradiol.

Stoffe in der Kläranlage sowie der saisonal schwankende Verbrauch der Arzneistoffe mit einkalkuliert werden, was nicht immer einfach ist.

Vorbehandlung von Spitalabwässern: Spitalabwässer sind meist stark mit Medikamenten kontaminiert. Zudem scheint gerade in Spitalabwässern das Risiko der Resistenzbildung bei Bakterien gegeben, weil sich darin auch beträchtliche Antibiotikamengen finden [8]. Für diese These spricht, dass in Spitalabwässern deutlich mehr antibiotikaresistente Bakterien vorkommen als in häuslichen Abwässern. Eine Vorbehandlung von Spitalabwässern, z.B. mit Membranverfahren zur Abtrennung der Keime und Ozonierung des Ablaufs zur Oxidation der gelösten, persistenten Arzneimittel, ist daher zu erwägen.

Urinseparierung: Da Arzneimittel und Hormone zum grössten Teil über den Urin ausgeschieden werden, würde eine Separierung und separate Behandlung des Urins die Medikamentenbelastung des Abwassers stark reduzieren (siehe auch Artikel von J. Lienert, S.14).

Versickerung von Regenwasser: Eine getrennte Ableitung und Versickerung des Regenwassers reduziert nicht nur die Schwermetallbelastung und die Fracht an organischen Schadstoffen im Abwasser und Klärschlamm, sondern auch die hydraulische Belastung der Kläranlage (siehe auch Artikel von M. Boller, S. 24).

Weitergehende Massnahmen bei der kommunalen Abwasserreinigung

Da die Einführung der beschriebenen Massnahmen an der Quelle jedoch sehr zeitaufwändig ist und sicherlich einige Dekaden benötigt, ist es kurzfristig sinnvoll, weitergehende chemische oder physikalische Verfahren zur Abwasserbehandlung zu entwickeln. Diese technischen Massnahmen dürfen die Massnahmen an der Quelle jedoch nicht ersetzen.

Schlammalter erhöhen: Organische Spurenstoffe werden deutlich besser abgebaut,

wenn das Schlammalter des Belebtschlammes etwa acht Tage oder mehr beträgt (Abb. 3). Doch noch längst nicht alle Kläranlagen in der Schweiz und der EU erfüllen diese Anforderungen. Einem Ausbau der mittleren und grösseren Kläranlagen auf ein totales Schlammalter von 10–15 Tagen – Nitrifikation kombiniert mit Denitrifikation (siehe Kasten S. 7) – ist daher sinnvoll. Dies hätte den weiteren Vorteil, dass Stickstoff effizient eliminiert würde, so dass gleichzeitig die Forderung der EU – 70–80%ige Stickstoffelimination für Kläranlagen im Einzugsgebiet von sensitiven Gewässern wie dem Rhein – erfüllt werden könnte. Würden die Anlagen ausserdem noch mit einer vorgeschalteten anaeroben Zone zur biologischen Phosphorelimination erweitert (siehe Kasten S. 7), ergibt sich die Möglichkeit einer separaten Teilrückgewinnung des Phosphats durch Rücklösung von Polyphosphat aus dem Überschussschlamm kombiniert mit chemischer Fällung. Dies ist eine Technologie, die heute noch wenig grosstechnisch erprobt ist, in Holland jedoch zusammen mit der Phosphatindustrie gefördert wird. Dies würde das Recycling von Phosphor teilweise wieder ermöglichen, welches durch das Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung unterbrochen wurde [9].

Ozonierung des biologisch geklärten Abflusses: Bei ökotoxikologischen Bedenken (ungenügende Verdünnung der Abwässer im Vorfluter, starke Vorbelastung und Empfindlichkeit des Gewässers und direkte Infiltration des Abwassers in den Untergrund) ist eine Ozonierung des biologisch gereinigten Abwassers vor dem Kläranlagenablauf zu erwägen. Nach Behandlung mit 5–10 mg Ozon pro m³ Abwasser sind Arzneimittel in der Regel nicht mehr nachweisbar [10]. Lediglich die aus Spitalabwässern stammenden iodierten Röntgenkontrastmittel konnten nicht vollständig oxidiert werden. Die Wirksamkeit des Ozons ist abhängig von der Hintergrundbelastung des Abwassers mit gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen und den chemischen Eigenschaften der verbliebenen Substanzen [11]. Bei den in der Schweiz vorkommenden tiefen Hintergrundbelastungen genügt meist eine Ozonkonzentration von 5 g/m³. Dabei ist zwar nur mit einem Preis von einigen Rappen pro m³ Abwasser zu rechnen, der Energieaufwand liegt jedoch bei etwa 0,1 kWh/m³, ist also im Vergleich zum gesamten Energieverbrauch einer Anlage bedeutend. Daher ist die Anwendung des Verfahrens auf kritische Fälle begrenzt. Vor einer grosstechnischen Anwendung ist in jedem Fall das Schicksal der bei der Ozo-

nierung entstehenden Metaboliten zu untersuchen.

Weitergehende Verfahren wie die Nanofiltration und Aktivkohleadsorption sind zu teuer und nur interessant, wenn das Abwasser zur Grundwasseranreicherung oder direkt als Trinkwasser wieder verwendet wird.

Kurzfristig werden sicherlich bei umweltkritischen Bedingungen weitergehende Massnahmen in der Kläranlage schneller zu einem Erfolg führen. Längerfristig sind jedoch die nachhaltigen Massnahmen an der Quelle zu bevorzugen.



Hansruedi Siegrist, Umweltingenieur, ist Leiter der Abteilung «Ingenieurwissenschaften» und beschäftigt sich mit den chemischen, physikalischen und biologischen Prozessen der kommunalen Abwasserreinigung.

Koautoren: Adriano Joss, Alfredo Alder, Christa McArdell-Bürgisser, Anke Göbel, Elvira Keller, EAWAG, und Thomas Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde, D-56068 Koblenz

- [1] Giger W. (2002): Umgang mit Risikofaktoren. EAWAG news 53, 3–5.
- [2] Ternes T. (1998): Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. Water Research 32, 3245–3260.
- [3] EU-Projekt Poseidon (2002/2003): Periodic Reports. www.eu-poseidon.com.
- [4] Golet E., Xifra I., Siegrist H., Alder A., Giger W. (2003): Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. Environmental Science & Technology 37, 3243–3249.
- [5] Andersen H., Siegrist H., Halling-Sørensen B., Ternes T. (2003): Fate of estrogens in a municipal sewage treatment plant. Environmental Science & Technology, in press.
- [6] Wennmalm A. (2003): A proposed environmental classification system for medicinal products. Envirpharma conference, Lyon, France.
- [7] Knacker T. (2003): Preliminary Environmental risk assessment for pharmaceuticals and personal care products (PPCPs). Envirpharma conference, Lyon, France.
- [8] Giger W., Alder A., Golet E., Kohler H., McArdell C., Molnar E., Pham Thi N., Siegrist H. (2003): Antibiotikaspuren auf dem Weg von Spital- und Gemeindeabwasser in die Fließgewässer: Umweltanalytische Untersuchungen über Einträge und Verhalten. Tutzing Symposium, Deutschland.
- [9] Roeleveld P., Loeffen P., Temmink H., Klapwijk B. (2003): Dutch analysis for P-recovery from municipal wastewater. Proceedings of the international conference: Biosolids 2003 – Wastewater as a resource, Trondheim, Norway, p. 263–270.
- [10] Ternes T., Stüber J., Herrmann N., McDowell D., Ried A., Kampmann M., Teiser B. (2003): Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? Water Research 37, 1976–1982.
- [11] Huber M., Canonica S., Park G., von Gunten U. (2002): Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. Environmental Science & Technology 37, 1016–1024.

Dynamik der Veränderungskräfte in der Abwasserentsorgung

In welcher Weise wirken sich Veränderungen in den ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen auf zukünftige technische Entwicklungen in der Abwasserentsorgung aus? Dieser spezifischen Frage geht die EAWAG-Forschungsgruppe CIRUS – «Center for Innovation Research in the Utility Sector» – im Rahmen der deutschen Studie «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung» nach.

In der Abwasserentsorgung werden seit einiger Zeit viel versprechende Innovationen wie z.B. die Trennung der Abwasserströme sowie die Wiederverwendung von gering verschmutztem Brauchwasser diskutiert. Sie könnten die gegenwärtigen zentralen Kanalisations- und Reinigungssysteme zumindest in Teilbereichen verbessern [1]. Da Abwassersysteme jedoch eine lange Lebensdauer haben und von langfristigen Investitionszyklen geprägt sind, ist es nicht einfach, diese Innovationen umzusetzen. Andererseits zeigen sich derzeit einige Veränderungskräfte, die Auswirkungen auf die Bewertung der alternativen Ansätze und damit insgesamt auch auf die Entwicklungsmöglichkeiten der Abwasserentsorgung haben könnten.

Ziel der sozialwissenschaftlichen Forschungsgruppe CIRUS an der EAWAG ist es, diese Veränderungskräfte und deren Einfluss genauer zu analysieren. Dies geschieht im Rahmen des vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Forschungsprojekts «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung», in dem die EAWAG-Forscher mit deutschen Forschungspartnern aus den Bereichen Strom, Gas und Telekommunikation zusammenarbeiten.

Mittels umfangreicher Literaturrecherche und den Ergebnissen aus ca. 20 Interviews mit Mitarbeitern von Ver- und Entsorgungsunternehmen, Verbänden, Anlagenherstellern, Regulierungsbehörden sowie Akteuren aus den Bereichen Verbraucherschutz und Forschung konnten etwa zwei Dutzend relevante Veränderungsfaktoren identifiziert und nach ihrem Veränderungspotenzial und der Spannweite möglicher Ausprägungen gewichtet werden [2]. Einige ausgewählte

Ergebnisse werden im vorliegenden Artikel vorgestellt.

Gebühren und Gebührenstrukturen

In Deutschland werden Abwassergebühren heute nach dem Kostendeckungsprinzip verrechnet: Die Kommunen können die vollen Kosten auf die Verbraucher umlegen, dürfen jedoch keinen Gewinnzuschlag kalkulieren. Die durchschnittliche Abwassergebühr lag im Jahr 2002 bei 2,24 €/m³, die durchschnittlichen Kosten pro Kopf beliefen sich auf 117 € [3].

Im Zeitraum 1988–1996 betrug der Gebührenanstieg real 55% [4], zwischen 1997 und 2002 flachte der Anstieg ab. Aber auch der Trinkwasserpreis wird als Veränderungskraft mitberücksichtigt, da er über die Nachfrage nach Wasser die anfallende Abwassermenge indirekt beeinflusst. Zwischen 1992 und 2001 betrug der reale Preisanstieg für Trinkwasser knapp 28%.

Aus Sicht der Entsorgungsunternehmen ist der reziproke Charakter von Kostenstruktur und Preisstruktur von hoher Bedeutung: Bei der Abwasserbehandlung betragen die kurzfristigen Fixkosten – also die Kosten, die nicht auf eine Veränderung der nachgefragten Menge reagieren – ca. 75% [5]. Abb. 1 gibt eine Gesamtübersicht über die Kostenstruktur im Abwasserbereich. Hingegen weisen die Preisstrukturen, meist aus umweltpolitischen Gründen, einen sehr geringen fixen Anteil zwischen 10–30% auf. Dies führt dazu, dass ein Nachfragerückgang den Kunden finanziell deutlich stärker entlastet als das Unternehmen. Daher sind Preiserhöhungen erforderlich, um die fixen Kosten für die kapitalintensive zentrale Infrastruktur zu decken.

Hoher Investitionsstau

Von grosser Bedeutung für die künftigen Entwicklungen dürfte auch die Frage sein, in welcher Weise in die Anlagen und Infrastrukturen investiert wird. Wie Abb. 2 zeigt, sind 31% der öffentlichen Kanäle älter als 50 Jahre. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von ca. 70 Jahren liegt der Erneuerungsbedarf rein rechnerisch derzeit bei 20–30% des deutschen Gesamtnetzes, das rund 450 000 km lang ist. Laut Stein [6] sind in den neuen Bundesländern sogar über 50% der Kanäle sanierungsbedürftig. Normalerweise wird mit einer jährlichen Erneuerungsquote von ca. 1,5% gerechnet. Diese Diskrepanz zwischen der theoretischen Erneuerungsquote und dem realen Erneuerungsbedarf ist durch die lange Zeit zurückgestellten Investitionen entstanden. Die Kommunen haben angesichts der immer schwierigeren Haushaltslage viele Jahre auf angemessene Erneuerungen verzichtet. So betragen im Jahr 2000 die Investitionen nur ca. 50% der erforderlichen jährlichen Summe, da die in den Gebühren enthalte-

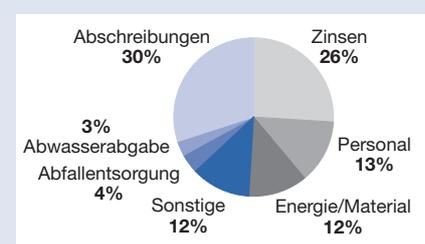


Abb. 1: Aufteilung der Kosten in der Abwasserbehandlung [5].

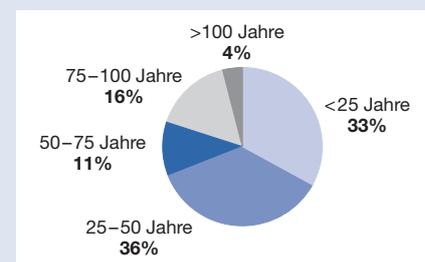


Abb. 2: Altersstruktur des deutschen Abwassernetzes (nur öffentliche Kanalisation) [10].

**Interviewpartner aus dem Bereich
Forschung:**

«Als Privatmensch bin ich daran interessiert, möglichst wenig Wasser zu verbrauchen, nicht weil das Trinkwasser knapp ist, sondern weil ich möglichst wenig bezahlen will für das Trinkwasser und das Abwasser. Also kaufe ich mir eine Wasser sparende Toilette, eine Wasser sparende Waschmaschine, eine Wasser sparende Spülmaschine. Diese Interessen sind betriebswirtschaftlich gesehen konträr zu denen der Betreiber zentraler Systeme – und liegen auch gar nicht mehr in deren Bereich.»

**Interviewpartner aus dem Bereich
Verbände:**

«... der Markt nimmt keine Rücksicht auf die zentralen Systeme ... die Abwasserbetriebe schauen auf ihr Rohrnetz und denken dann, es gibt einen Anschlusszwang, und dann wird schon alles reinkommen. Aber wenn jetzt Matsushita in Japan oder Technics oder Miele, Bosch, Siemens so eine abwasserfreie Waschmaschine auf den Markt bringen, wer sagt, dass das nicht unten herausgekehrt werden kann und in die Mülltonne geschmissen werden kann? Und welcher Politiker wird sich dann trauen zu sagen, die darf aber nicht gebaut werden? ... Das alles hat dramatische Auswirkungen auf diese ganzen zentralen Systeme. Dabei hacken die immer auf den paar Regenwassernutzern herum. Die überblicken gar nicht, was woanders passiert bzw. da haben sie nichts zu sagen, in dem Bereich.»

nen Abschreibungen in anderen Bereichen sachfremd eingesetzt wurden [7]. Bei geschätzten Sanierungskosten von 500 € pro Kanalmeter und einer jährlichen Erneuerungsrate von 1,5% des Gesamtnetzes müssten pro Jahr 3,4 Milliarden € veranschlagt werden. Würden dagegen die 20% des Kanalnetzes, die älter als 75 Jahre sind, auf einen Schlag saniert, ist mit 45 Milliarden € zu rechnen. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Pro-Kopf-Belastung von 562 € – nur für die Durchführung der zurückgestellten Investitionen. Dies entspricht fast dem fünffachen der durchschnittlichen jährlichen Pro-Kopf-Abwasserrechnung.

Bevölkerungsrückgang

Bedingt durch die rückläufigen Geburtenzahlen sowie Wanderungsbewegungen innerhalb Deutschlands und von den Städten in die Vorstädte ist auch die Abwasserentsorgung in den nächsten Jahrzehnten mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Nach Aussage von Bevölkerungsstatistikern werden ab 2015 nur noch wenige Städte in Deutschland stabile Einwohnerzahlen aufweisen. Prognosen für den Osten gehen sogar davon aus, dass ein Viertel aller Wohnungen leer stehen könnte [8].

Starke Bevölkerungsrückgänge führen zu einer Unterauslastung der zentralen Wasser- und Abwassersysteme – was mit hygienischen und technischen Problemen verbunden ist. Beispielsweise ist mit bakteriellen Verunreinigungen im Trinkwasser zu rechnen, wenn es zu lange in den Leitungen steht. Regelmässige Leitungs- und Kanalisationsspülungen können hier zwar Abhilfe schaffen, führen allerdings zu steigenden Kosten, die auf einen kleineren Nutzerkreis umgelegt werden müssen.

Rückgang der Wassernutzung

Insgesamt kann in den letzten Jahren ein deutlicher Rückgang der Wassernutzung festgestellt werden. Zwischen 1990 und 2001 hat sich der durchschnittliche Wasserverbrauch um 15% von 150 Litern auf 128 Litern pro Kopf und Tag reduziert. In diesen Angaben sind Haushalte und Kleingewerbe enthalten. Der Rückgang wird nach Meinung der Interviewpartner durch ein hohes Umweltbewusstsein sowie durch gestiegene Wasser- und Abwasserkosten ausgelöst.

Eine wichtige Rolle spielen in den letzten Jahren darüber hinaus effizienzsteigernde Innovationen auf Seiten der Endgeräte: Wasser sparende Armaturen in Duschen, Wasserhähnen und Toilettenspülkästen sind aufgrund der geringen «Investitionskosten» von oftmals wenigen Euro und der relativ hohen Einspareffekte schon weit verbreitet.

Nachdem auch die Gerätehersteller Wasser sparende Wasch- oder Spülmaschinen als marktgängige Innovation entdeckt haben, haben sich die Verbrauchszahlen bei diesen Haushaltsgeräten in den letzten Jahren massgeblich verringert (Abb. 3). Inzwischen werden auch Pilotmaschinen hergestellt, die zumindest Teile des Wasserstromes im Kreislauf führen [9].

Fortschritte in der Membrantechnologie

Eine wichtige Rolle für die Wasserverbrauchsreduktion spielen Fortschritte in der Membrantechnologie. Diese ist eine so genannte Enabler-Technologie, d.h. sie unterstützt die Entwicklung alternativer Systeme, da sie durch ihre relativ geringe Grösse im Verhältnis zur Reinigungsfähigkeit sehr gut in kleinen, für den dezentralen Einsatz konzipierten Anlagen verwendet werden kann. Einige Interviewpartner sehen in der Entwicklung der Membrantechnologie sogar eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine Diffusion dezentraler Technologien. So kann die Membrantechnologie beispielsweise Anlagen zur Nutzung von Grauwasser (schwach verschmutzte Abwässer aus Dusche und Handwaschbecken) effizienter und insbesondere kompakter machen, wodurch die Wiederverwendung von Grauwasser auch im Haushalts- und Kleingewerbebereich attraktiver wird. Kombiniert mit den permanent sinkenden Kosten pro m² Filter-

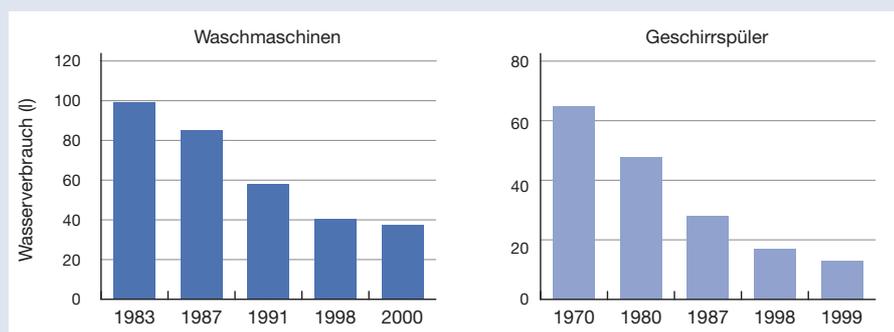


Abb. 3: Der Wasserverbrauch von Waschmaschinen und Geschirrspülern ist in den letzten 20–30 Jahren deutlich gesunken [11].

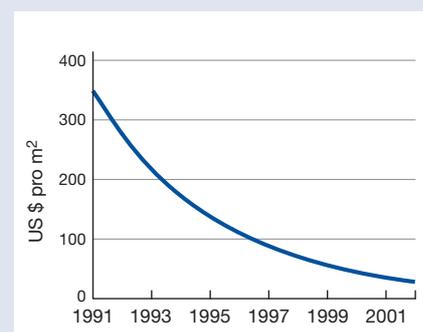


Abb. 4: Kostenentwicklung bei Ultrafiltrationsmembranen [12].

fläche (Abb. 4) scheint daher eine Marktdurchdringung der Membrantechnologien im Marktsegment Haushalts- und Gewerbekunden wahrscheinlich.

Weg von den zentralen Lösungen?

In den durchgeführten Interviews wird die Siedlungswasserwirtschaft meist als ein sehr stabiler, langfristig orientierter und relativ wenig innovativer Sektor beschrieben. In der Zusammenschau aller potenziellen Veränderungsfaktoren lassen sich allerdings Szenarien entwickeln, die zu grösseren Umbrüchen Anlass geben könnten: Einerseits sind die (meist) kommunalen Betreiber mit einer ungünstigen Kosten-Preis-Struktur und einem hohen Investitionsbedarf bei gleichzeitiger Finanzknappheit konfrontiert. Andererseits hat sich die anfallende Abwassermenge in den letzten 15 Jahren stark verringert, und diese Verringerung wird sich möglicherweise durch demographische Veränderungen, weiter steigende Gebühren sowie neue Technologien in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen. Diese beiden Prozesse überlagern und verstärken sich gegenseitig und können von den Abwasserentsorgungsunternehmen kaum beeinflusst werden [2].

Abb. 5 zeigt die Dynamik, die eine Kombination der Veränderungskräfte entwickeln könnte und die unter Umständen zu einer grossen Herausforderung für die aktuellen zentralisierten Systeme werden könnte. Die ordnungsgemässe Betriebsführung, Wartung und Instandhaltung alternativer Systeme ist von hoher Bedeutung und könnte in der Zukunft einen neuen Dienstleistungsmarkt entstehen lassen, wodurch sich eine Veränderung der bisherigen Ver- und Entsorgungsunternehmen zu Dienstleistern ergeben könnte.

Es scheint jedoch derzeit höchst unwahrscheinlich, dass die zentralen Wasser- und Abwassersysteme kurz- bis mittelfristig von rein dezentralen Lösungen abgelöst werden. Nicht unwahrscheinlich hingegen ist es, dass sich dezentrale Konzepte in be-

stimmten Nischen etablieren können, z.B. in Stadtgebieten oder Regionen, in denen ein hoher Investitionsbedarf mit einem starken Rückgang der Wassernachfrage zusammentrifft. Dies gilt für Neubau- oder Rückbaugebiete, die dann nicht mehr an die vorhandene Kanalisation angeschlossen werden müssten, sondern durch eine Kombination aus unterschiedlichen Massnahmen (Gemeinschaftskleinkläranlagen, Trennung der Abwasserströme, dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, Nutzung von Betriebswasser) sozusagen abwasserfrei funktionieren würden. Die Frage, die sich die politischen Entscheidungsträger z.B. in einigen Regionen in Ostdeutschland stellen müssen, ist, ob weitere Investitionen in zentrale Systeme ökonomisch und technisch sinnvoll sind.

Welche Entwicklungen eintreffen werden, kann heute niemand mit Bestimmtheit sagen. Die Ausarbeitung möglicher Szenarien hilft jedoch, sich als vorausschauendes

Ver- oder Entsorgungsunternehmen mit verschiedenen Entwicklungspotenzialen vertieft auseinander zu setzen. Die detaillierte Ausformulierung von Szenarien der künftigen Infrastruktursektoren und der Konsequenzen für die Akteure aus den Bereichen Regulierung, Unternehmen und Kunden erfolgt in der nächsten Projektphase im Spätherbst 2003.



Dieter Rothenberger, Umweltökonom, beschäftigt sich bei der Arbeitsgruppe CIRUS in der Abteilung «Angewandte Gewässerökologie» mit der nachhaltigen Transformation und Deregulierung von Infrastruktursektoren sowie mit Strategien von Versorgungsunternehmen und Behörden.

Weiterführende Informationen unter:
www.cirus.eawag.ch
www.mikrosysteme.org

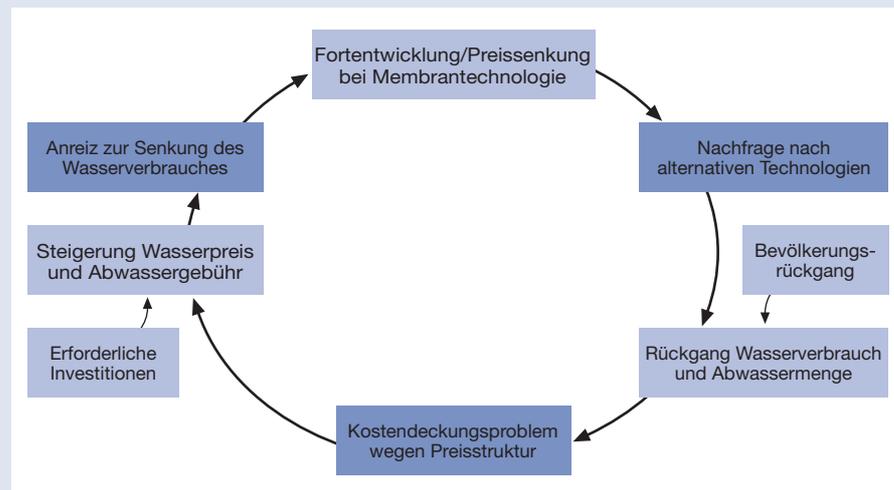


Abb. 5: Auswirkungen der Veränderungsfaktoren.

- [1] ATV-DVWK (2002): Überlegungen zu einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe GB-5.1. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), Hennef, 40 S.
- [2] Rothenberger D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser. Bericht zum Projekt «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung», Bundesministerium für Bildung und Forschung, Deutschland, 124 S. www.mikrosysteme.org/documents/Report_Wasser.pdf
- [3] ATV/DVWK/BGW (2003): Marktdaten Abwasser 2002. Ergebnisse einer ATV-DVWK/BGW-Umfrage. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), Hennef, 12 S.
- [4] Rudolph K.-U., Kraemer A.R., Hansen W., Staffell U. (1999): Vergleich der Abwassergebühren im europäischen Rahmen. Umweltbundesamt, Berlin, 172 S.
- [5] Bundesverband Gas und Wasser (2002): Trinkwasser-Marktdaten. www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw
- [6] Stein D. (2001): Sanierung der Kanalisationen. Eine finanzielle und technische Herausforderung. www.ruhr-uni-bochum.de/rubin/rbin2_95/rubin7.htm
- [7] bbr Fachmagazin für Wasser und Leitungstiefbau (2003): Aus den Augen, aus dem Sinn? 54, 10–12.
- [8] Pfeiffer U., Simons H., Porsch L. (2000): Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern. Bericht der Kommission im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Berlin, 89 S.
- [9] Lange J., Otterpohl R. (2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Mallbeton, Donau-eschingen, 301 S.
- [10] Esch B., Thaler S. (1998): Abwasserentsorgung in Deutschland – Statistik. Korrespondenz Abwasser 45, 850–864.
- [11] Miele (2003): Information der Öffentlichkeitsarbeit der Miele & Cie. KG.
- [12] Gimbel, R. (2003): Membraneinsatz in der Trinkwasserversorgung. Vortrag im Rahmen des Workshops «Forschung in Deutschland – Wasserforschung im bmb+fb» anlässlich des Kongresses «Wasser Berlin» am 9.4.2003. Berlin.

NoMix-Technologie: Wie gut ist die Akzeptanz?

Ob sich eine neue Technologie in der Praxis durchsetzen kann, hängt von vielen Faktoren ab. Neben der technischen Überlegenheit gegenüber gängigen Lösungen spielen auch die Bedürfnisse der Beteiligten eine zentrale Rolle. Wir wollten wissen, ob der Markt bereit ist für die NoMix-Technologie, einem Sanitärkonzept zur Urinseparierung, welches das heutige System der Abwasserentsorgung grundlegend verändern würde. Umfragen bei Konsumenten und Bauern ergaben eine positive Einstellung, vorausgesetzt, die NoMix-Technologie ist adäquat, kostengünstig und sicher. Sanitärfirmen sind fähig und bereit, NoMix WCs weiterzuentwickeln. Sie warten jedoch auf ein starkes Engagement der Abwasserfachleute, denen damit eine entscheidende Rolle zukommt, der NoMix-Technologie den Weg in die Praxis zu ebnen.

Die Siedlungsentwässerung wurde ursprünglich als Transportsystem konzipiert. Ihr Prinzip hat sich in den letzten hundert Jahren kaum verändert. Mehr und mehr realisieren die Abwasserfachleute, dass es schwierig ist, mit dem alten System den modernen Ansprüchen im Gewässerschutz gerecht zu werden. Auf der einen Seite gibt es immer noch Lücken im Abwasserentsorgungssystem, z.B. durch Häuser, die nicht

an die Kanalisation angeschlossen sind, oder durch undichte Kanäle oder Hochwasserentlastungen, bei denen ungereinigte Abwässer direkt in die Gewässer oder ins Grundwasser abfließen. Auf der anderen Seite steigen die Anforderungen an die Kläranlagen stetig; noch weiss man zum Beispiel nicht, ob so genannte Mikroverunreinigungen wie Pharmazeutika und hormonaktive Substanzen, die grösstenteils

mit dem Urin ausgeschieden werden, mit vertretbarem Aufwand in der Kläranlage eliminiert werden können. Massnahmen an der Quelle – wie die Urinseparierung – wären ein Ausweg aus dieser Situation. Zudem macht Urin weniger als 0,5% des häuslichen Abwasservolumens aus, ist aber für den Grossteil der Nährstoffe im Abwasser verantwortlich. Urin trägt damit massgebend zur Belastung der Kläranlagen bei. Die separate Sammlung und Behandlung von Urin eröffnet daher vollkommen neue Möglichkeiten, die Abwasserbehandlung effizienter zu gestalten [1].

Urinseparierung durch die NoMix-Technologie

Mittels NoMix WC, einer speziell konstruierten Toilette, kann der Urin relativ einfach in einem Urintank gesammelt und zu günstigen Zeiten zur Kläranlage transportiert werden, sei es durch das bestehende Kanalisationssystem oder durch eigens eingesetzte Lastwagen. Ausserdem kann die NoMix-Technologie durch spezielle Urinaufbereitungsanlagen ergänzt werden (Tab. 1). Solche Anlagen wären von Vorteil, weil damit Mikroverunreinigungen leichter eliminiert werden könnten. Zudem kann der rohe Urin zu einem Düngerprodukt aufbereitet werden, der anstelle von Kunstdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann. Die Technologieversion A – getrennte Sammlung und Ausbringen des gelagerten Urins als Dünger – wird schon heute angewendet. Die Versionen B und C sind hingegen neu, sie können jedoch einfach in die bestehende Kanalisation integriert werden und bieten Vorteile für die Kläranlagen (Tab. 1). Durch die NoMix-Technologie könnten also die heutigen Kläranlagen effizienter betrieben, der Gewässerschutz verbessert und Nährstoffkreisläufe geschlossen werden. Die EAWAG befasst sich im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts NOVAQUATIS mit der NoMix-Technologie [2] und untersucht neben Fragen zur Sanitärtechnologie, zu Lagerung, Transport und Aufbereitung des Urins und zur Düngerherstellung



Y. Lehnhardt, EAWAG

Würden Sie dieses Gemüse kaufen, wenn Sie wüssten, dass es mit einem Urindünger produziert worden ist?

Positive Resonanz bei Konsumenten und Bauern

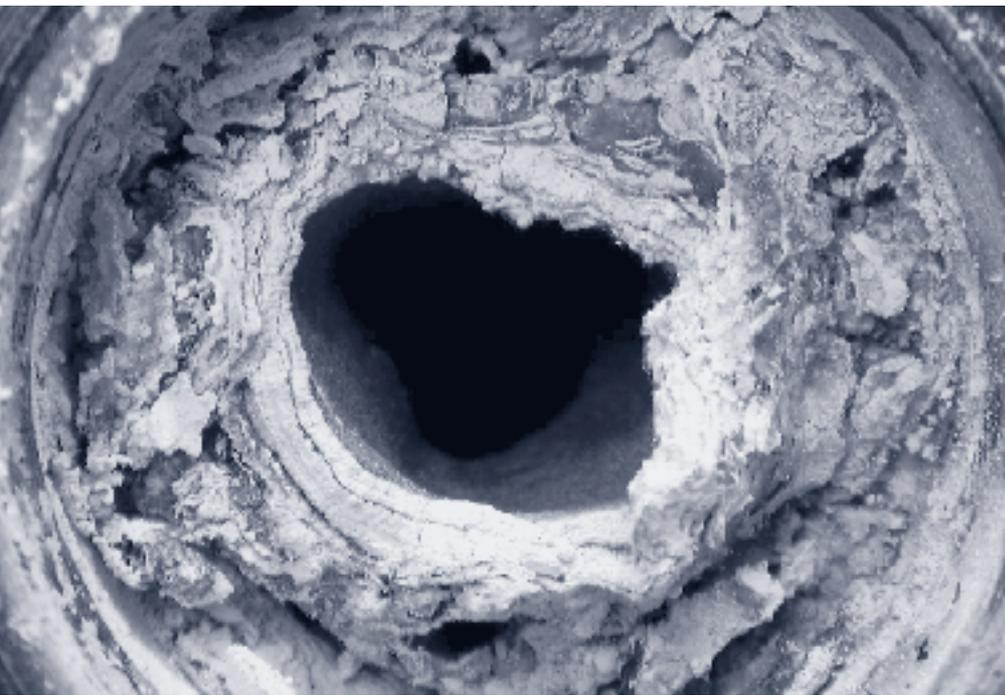
Die Haltung der Konsumenten gegenüber der NoMix-Technologie wurde in Form von Fokusgruppen untersucht [3]. Fokusgruppen sind moderierte Gruppendiskussionen mit informierten Bürgern zu einem bestimmten Thema. Die 44 Teilnehmerinnen und Teilnehmer informierten sich mit einem computergestützten Informationssystem [4] und besuchten ein NoMix WC. 71% der Männer und 89% der Frauen fanden das NoMix WC gut oder sehr gut. Von den Männern würden 88% in eine Wohnung mit NoMix WC ziehen, aber nur 42% würden selbst ein NoMix WC anschaffen. Bei den Frauen könnten sich 79% eine Mietwohnung mit NoMix WC vorstellen und sogar 63% wären bereit, ein NoMix WC zu kaufen. Es war den Konsumentinnen und Konsumenten sehr wichtig, das heutige Komfortniveau beizubehalten und Zusatzkosten zu vermeiden. Interessanterweise gaben nur 16% der Männer an, sich beim Urinieren nicht hinzusetzen – eine Voraussetzung für das richtige Funktionieren der heute erhältlichen NoMix WC. Mit 72% würde die Mehrheit der Befragten auch Lebensmittel kaufen, die mit einem Urindünger gezo-gen wurden und so-

gar 80% ziehen den Urindünger einem konventionellen Kunstdünger vor. Die Befragten unterstrichen jedoch, dass jegliches Risiko bezüglich Hygiene oder Mikroverunreinigungen ausgeschlossen werden müsse. Eine Briefumfrage bei 467 Bauern der deutschen Schweiz ergab ähnliche Resultate [5]. Leider kann diese Studie nicht als repräsentativ betrachtet werden; einerseits, weil nur 27% der ausgesandten Fragebögen zurückkamen, und andererseits, weil sich die Antworten der IP- (integrierte Produktion) und Bio-Bauern signifikant unterschieden. Die Umfrage lieferte trotzdem erste wichtige Hinweise. Für 57% der Bauern ist die Urinseparierung eine gute oder sehr gute Idee und 42% würden einen Urindünger kaufen. Die Marktchancen für einen Urindünger sind wahrscheinlich dort am grössten, wo sowieso Dünger zugekauft wird, insbesondere in der IP- und Gemüseproduktion. Auch für die Bauern ist ein risikofreier Dünger unabdingbar: 30% hatten Bedenken, dass der Dünger Mikroverunreinigungen enthalten könnte. Bevorzugt würde ein geruchloser, körniger Stickstoffdünger. Aus diesen ersten Umfragen schliessen wir, dass die NoMix-Technologie durchaus akzeptiert werden könnte, falls sie billig, sicher

auch, ob diese Technologie die nötige Akzeptanz bei den beteiligten Akteuren finden wird. Bisher wurden neue Technologien in der Abwasserwirtschaft von Fachleuten ohne Beteiligung der Bevölkerung entwickelt. Dies ist für die Urinseparierung im Haushalt nicht angebracht. NOVAQUATIS bezieht deswegen Menschen, die das NoMix WC benutzen, Bauern, die den Urindünger ausbringen sowie Sanitärfirmen und Abwasserfachleute, die die Technologie voranbringen sollen, schon früh in den Forschungsprozess mit ein. In diesem Artikel stellen wir Ergebnisse aus verschiedenen Umfragen und einer theoretischen Analyse vor.

	NoMix-Technologieversion		
	A	B	C
Dauer der Speicherung	6 Monate Lokale Speicherung des Urins zur Hygienisierung	3–7 Tage Kurzfristige lokale Speicherung des Urins	1–2 Tage NoMix WC mit integriertem Urinspeicher
Transport	Lastwagen	Kanalisation Zentral gesteuertes Ablassen des Urins durch bestehende Kanalisation in Nächten ohne Regen (d.h. wenn wenig andere Abwässer in der Kanalisation abfließen) Abzweigung des Urins kurz vor der Kläranlage zur zentralen Aufbereitung	Kanalisation Zentral gesteuertes Ablassen des Urins durch bestehende Kanalisation (wie bei Version B)
Urinaufbereitung	Nein	Ja In zentralen Urinaufbereitungsanlagen Entfernen von Mikroverunreinigungen und Aufbereitung zu Düngerprodukt	Ja Zusammen mit Abwasser in bestehenden Kläranlagen
Nährstoff-Recycling	Ja Direkte Nutzung des gelagerten Urins als Dünger in der Landwirtschaft	Ja Düngerprodukt für Landwirtschaft (evtl. Industrie)	Nein
Hauptzweck	Nährstoff-Recycling Verbesserte Abwasserreinigung und einfachere Kläranlagen	Nährstoff-Recycling Verbesserte Abwasserreinigung und einfachere Kläranlagen	Übergangsszenarium Ausgleichen der Nährstoffspitzen auf Kläranlage («peak-shaving»), wodurch Kapazität erhöht wird Durch Speicherung verhindern, dass Urin bei Regen via Hochwasserentlastung unbehandelt in Gewässer gelangt
Literatur	Johansson, 2001 [6]	Larsen und Gujer, 1996 [1]	Rauch et al., 2003 [12]

Tab. 1: Eigenschaften der drei NoMix-Technologieversionen [7]. Alle drei Versionen umfassen ein NoMix WC und einen Urintank.



K. Ullert, EAWAG

Durch Urinstein verstopfte Urinleitung.

und mindestens so komfortabel wie die heutige Technologie ist.

Sanitärfirmen: Absatzmarkt für NoMix fehlt noch

Die Urinseparierung ist eine seit Jahrtausenden bekannte Technologie, die vor ca. 30 Jahren in Skandinavien wieder aufgegriffen wurde. Seit 1990 werden in Schweden moderne NoMix WCs entwickelt und zwischen 1992 und 1996 wurden ca. 3000 NoMix WCs in über 15 Pilotprojekten installiert [6, 7]. Inzwischen ist ein technologisch raffiniertes und attraktives NoMix WC erhältlich [8]. Eine Weiterentwicklung im Sanitärbereich ist dennoch notwendig, da zum Beispiel das Problem der Ausfällung von Urinstein, das zum Verstopfen der Urinleitungen und zu unangenehmer Geruchsentwicklungen führen kann, noch nicht gelöst ist [9].

Seit Projektbeginn ist NOVAQUATIS in engem Kontakt mit Sanitärfirmen. Die grossen Firmen sind davon überzeugt, dass es möglich ist, moderne NoMix-Anlagen zu entwickeln. Leider ist der Markt momentan noch nicht bereit für die NoMix-Technologie, deshalb zögern die Sanitärfirmen, grössere Investitionen zu tätigen.

Abwasserfachleute an der Schlüsselstelle

Wie aber kann der NoMix-Technologie zu einer breiteren Akzeptanz und grösseren Verteilung verholfen werden? Sehr wahrscheinlich liegt der Schlüssel bei den Abwasserfachleuten. Um ihre Einstellung zu

verstehen und die Eckpunkte zu identifizieren, an denen angesetzt werden muss, damit die NoMix-Technologie vorankommt, haben wir die klassische Diffusionstheorie angewandt [10]. Sie geht von einem aus, dass fünf Hauptattribute ausschlaggebend

sind für die Geschwindigkeit, mit der eine Innovation angenommen wird – nämlich relativer Vorteil, Kompatibilität, Komplexität, Überprüfbarkeit und Beobachtbarkeit (Definitionen siehe Tab. 2) – und zum andern zeigt sie, dass die Annahme einer Innovation über die Zeit meist einer S-förmigen Kurve folgt. Nach einer zögerlichen Anfangsphase «hebt eine erfolgreiche Innovation plötzlich ab» (Abb. 1).

Es scheint, dass die NoMix-Technologie von den Abwasserfachleuten in den meisten der fünf Attribute als nachteilig angesehen wird (Tab. 2) [7]. Im Folgenden diskutieren wir zwei besonders relevante Attribute:

- Der **relative Vorteil** einer Innovation gegenüber der bestehenden Technologie wird oft mit einer Kosten-Nutzen-Analyse ermit-

Definition der Attribute (gemäss Rogers, 1983 [10])	Mögliche Haltung von Abwasserfachleuten
Der relative Vorteil beschreibt das Ausmass, zu dem eine Innovation im Vergleich zur gängigen Technologie oder Idee als überlegen wahrgenommen wird (ökonomischer Vorteil, Statuserhöhung etc.).	Grosse Unsicherheiten: <ul style="list-style-type: none"> ■ Nutzen für Ökologie gross, aber schlecht quantifizierbar ■ Kosten in Anfangsphase unklar
Die Kompatibilität beschreibt das Ausmass, zu dem eine Innovation von potenziellen Benutzerinnen und Benutzern als konsistent mit soziokulturellen Werten und Ansichten, Erfahrungen und Bedürfnissen wahrgenommen wird.	<ul style="list-style-type: none"> ■ NoMix-Technologie muss ihre Überlegenheit in der Praxis beweisen ■ Paradigmawechsel von zentraler Abwasserbehandlung in Kläranlage zu dezentralem System «an der Quelle» nötig ■ Widerspruch zu traditionellem Problemlösungsverständnis
Die Komplexität beschreibt das Ausmass, zu dem eine Innovation als schwierig zu verstehen und anzuwenden wahrgenommen wird (nicht zu verwechseln mit dem naturwissenschaftlichen Verständnis von «Komplexität»).	Trennung flüssiger Abfälle: <ul style="list-style-type: none"> ■ evtl. schwierig zu verstehen (aber von Feststoffen bestens bekannt) ■ technologische Herausforderung
Die Überprüfbarkeit beschreibt, ob mit einer Innovation auf limitierter oder Pilot-Ebene experimentiert werden kann.	Limitierte Überprüfbarkeit, v.a. der Technologieversionen B und C (Tab. 1)
Die Beobachtbarkeit beschreibt, ob die Auswirkungen oder Vorteile einer Innovation für andere sichtbar sind.	Limitierte Beobachtbarkeit, da: <ul style="list-style-type: none"> ■ präventive Massnahmen ■ lange Zeiträume ■ abstrakte Konzepte

Tab. 2: Die fünf Attribute, die in vielen Fällen für die Diffusionsgeschwindigkeit einer Innovation ausschlaggebend sind [10], und ihre Anwendung auf die mögliche Haltung von Abwasserfachleuten gegenüber der NoMix-Technologie [7].

telt, z.B. indem der ökologische Vorteil den monetären Kosten gegenübergestellt wird. Eine solche Analyse ist für die NoMix-Technologie schwierig, da die Unsicherheiten, vor allem bezüglich Kosten, in der Anfangsphase sehr gross sind. Eine relativ kostengünstige Technologie wie z.B. Version C (Tab. 1), die es erlaubt, bereits im System getätigte Investitionen abzuschreiben, wird demzufolge die besten Chancen haben.

■ Die **Kompatibilität** von NoMix mit der existierenden Technologie wird als gering eingeschätzt. Gerade Abwasserfachleute sind – zu Recht – davon überzeugt, dass das bestehende System bezüglich Hygiene und Komfort sehr erfolgreich ist. Eine neue Technologie muss deshalb erst beweisen, dass sie ebenbürtig ist. Ein weiteres Hindernis, das die Umsetzung der NoMix-Technologie hemmt, ist die Tatsache, dass ein Paradigmawechsel vollzogen werden muss – weg von der zentralen Abwasserbehandlung in Kläranlagen, hin zur dezentralen Sammlung und Aufbereitung von Urin. Viele Abwasserfachleute sehen aber wahrscheinlich keine unmittelbare Notwendigkeit für eine radikale Abkehr vom gebräuchlichen System. Bisher konnten neu auftretende Probleme oft in einem einzigen Schritt auf der Kläranlage gelöst werden. Die Suche nach konzeptionell völlig neuen Ideen zur gleichzeitigen Lösung einer Vielzahl von Problemen entspricht daher nicht dem traditionellen Verständnis. Somit dürften auch

hier Technologieversionen, die einfach ins bestehende System integriert werden können, am erfolgreichsten sein.

Diese erste Analyse [7] könnte erklären, warum die Verbreitung der NoMix-Technologie unter Abwasserfachleuten nur langsam vorangeht. Weitere Studien sind nötig, um diejenigen Faktoren noch genauer zu charakterisieren, die der NoMix-Technologie zu einem erfolgreichen «Abheben» verhelfen könnten. Dabei spielen Pilotprojekte, die eine erfolgreiche Anwendung in der Praxis demonstrieren, eine wichtige Rolle [11].

Erstes Pilotgebäude mit NoMix-Technologie: Kantonsbibliothek Liestal

Die Kantonsbibliothek Basel-Landschaft in Liestal wird als erster Bau in der Schweiz vollständig mit der NoMix-Technologie ausgestattet. Die Anlage zur Urinseparierung umfasst neben den NoMix WCs und dem Urintank auch eine Computersteuerung zur Tankentleerung. Mitte 2005 soll das Pilotgebäude fertig gestellt sein. Es bietet beste Bedingungen für die Erprobung der neuen Sanitärtechnologie, denn die Toilettenanlagen werden durch ein gemischtes und interessiertes Publikum aus allen Bevölkerungsschichten stark frequentiert werden. Basierend auf den gemachten Erfahrungen will man im Anschluss an die Erprobungsphase Richtlinien für zukünftige Bauprojekte definieren [11].

In kleinerem Rahmen wird die NoMix-Technologie bereits in einer Reihe anderer Projekte auf ihre Eignung überprüft. So sind in einer grösseren schweizerischen Stadt vier Wohnungen mit NoMix WCs ausgestattet und seit einigen Jahren sind an der EAWAG und der Fachhochschule beider Basel (FHBB) einige NoMix WCs im Einsatz.

Diese Projekte sind überaus wichtig, um die Schwachstellen der neuen Sanitärtechnologie zu erfassen und um die Akzeptanz bei Benutzerinnen mittels Umfragen zu ermitteln. Aus den gemachten Erfahrungen werden Vorschläge für die Weiterentwicklung des NoMix WCs an die Sanitärindustrie gemacht.

Insgesamt gesehen scheint die Gesellschaft offen zu sein für die neue, unkonventionelle NoMix-Technologie, und auch die Sanitärfirmen sind bereit, entsprechende Weiterentwicklungen voranzutreiben. Die Anerkennung der NoMix-Technologie durch die Abwasserfachleute ist daher wahrscheinlich der kritischste Faktor für eine erfolgreiche Diffusion. Übergangsszenarien, welche einfach ins bestehende System integriert werden können (Version C, Tab. 1), haben gute Chancen, bei allen Akteuren – inklusive Abwasserfachleuten – auf eine hohe Akzeptanz zu stossen.



Judit Lienert, Biologin, ist Projektkoordinatorin und stellvertretende Projektleiterin von NOVAQUATIS. Ihr Interesse gilt der inter- und transdisziplinären Forschung und der Schnittstelle von Wissenschaft und Praxis.



Tove A. Larsen, Chemieingenieurin und Projektleiterin von NOVAQUATIS. Sie untersucht Möglichkeiten zur Einführung einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft.

Weiterführende Informationen unter www.novaquatis.eawag.ch

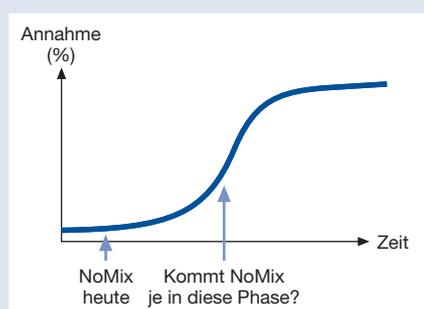


Abb. 1: Die Diffusion von Innovationen [10]. Nach einer zögerlichen Anfangsphase «hebt eine erfolgreiche Innovation plötzlich ab».

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34, 87–94.
- [2] Lienert J., Larsen T.A. (2002): Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *gwa – Gas Wasser Abwasser* 11, 819–826.
- [3] Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48, 57–65.
- [4] www.novaquatis.eawag.ch/deutsch/lernspiel_de.html
- [5] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48, 47–56.
- [6] Johansson M. (2001): Urine separation – closing the nutrient cycle. Final report on the R&D project «Source-separated human urine – a future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region?» Stockholm Water Company, Stockholm, 40 p.
- [7] Larsen T.A., Lienert J. (2002): Societal implications of re-engineering the toilet. Proceedings of the IWA Leading Edge Conference Series «Sustainability in the Water Sector», Venice, p. 29. *Water Intelligence Online*, submitted.
- [8] www.roevac.com
- [9] Udert K., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2571–2582.
- [10] Rogers E.M. (1983): *Diffusion of Innovations*. Collier Macmillan Publishers, London, 453 p.
- [11] Kühni M., Koch G., Ott E. (2002): Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – Erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab. *gwa – Gas Wasser Abwasser* 11, 827–835.
- [12] Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37, 681–689.

Alternative Ansätze der Siedlungshygiene in Entwicklungsländern

Die Hälfte der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu hygienischen Sanitäranlagen. Die konventionellen «top-down-Ansätze» scheitern häufig. Aus diesem Grund hat die EAWAG, in Zusammenarbeit mit einer internationalen Expertengruppe, den «haushaltzentrierten Ansatz in der integrierten Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft» entwickelt, der die Haushalte ins Zentrum des Planungsprozesses stellt.

Trotz grosser internationaler Anstrengungen ist weltweit die Zahl jener Menschen immer noch sehr hoch, die keinen Zugang zu adäquater Wasserversorgung und sanitären Einrichtungen haben (siehe Kasten). Dies zeigt, dass es mit den bisherigen konventionellen Ansätzen offenbar nicht gelingt, eine signifikante Verbesserung dieser alarmierenden Situation zu erreichen. Gleichzeitig geraten die natürlichen Frischwasservorräte durch das anhaltende Bevölkerungswachstum und den ansteigenden Pro-Kopf-Bedarf an Wasser global unter zunehmenden ökologischen und ökonomischen Druck. Deshalb hat die EAWAG in Zusammenarbeit mit führenden internationalen Experten einen neuen Ansatz zur Planung und Implementierung von Sanitärmassnahmen entwickelt, der einerseits stärker benutzer- bzw. haushaltorientiert ist und andererseits der Wiederverwendung von Ressourcen eine grössere Bedeutung beimisst.

Ein neues Paradigma und neue Strategien sind notwendig

Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass das konventionelle Denken

zur Lösung der Probleme im Bereich der Siedlungshygiene in Frage gestellt werden muss:

- Es hat sich gezeigt, dass durch «Business as usual» die gesundheitsgefährdenden und menschenunwürdigen Lebensbedingungen der armen Bevölkerungsschichten nicht verbessert werden können.
- «Business as usual» ist selbst in Industrieländern langfristig kaum nachhaltig und z.T. verschwenderisch (Verwendung von Trinkwasser für den Abtransport menschlicher Exkremente; keine systematische Wiederverwendung wertvoller Nährstoffe in Abwasser und Abfall).
- Die konventionelle Planung und Implementierung von zentralen Systemen ohne Einbezug der Betroffenen führt meist zu Lösungen, die langfristig nicht tragbar sind.
- Durch eine stärkere Vernetzung zwischen dem Fäkalien- bzw. Abwasser- und Abfallmanagement können Synergien besser genutzt und Kosten eingespart werden.
- Verstärkter Umweltschutz und die Schonung der Trinkwasserressourcen verlangt eine systematischere Wiederverwendung der im Abwasser und Abfall vorhandenen Nährstoffe.

Im Lichte dieser zwingenden Argumente für ein radikales Umdenken wurden kürzlich durch ein internationales Expertenteam neue Grundsätze aufgestellt für die Planung und Implementierung von Massnahmen zur Verbesserung der Siedlungshygiene, die so genannten «Bellagio-Prinzipien für eine nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft» (siehe Kasten) [1]. Der hier vorgeschlagene «haushaltzentrierte Ansatz in der integrierten Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft» dient der Umsetzung der Bellagio-Prinzipien

und besteht aus einer Planungs- und einer Ressourcenmanagement-Komponente: Die Planung richtet sich nach den Bedürfnissen und Möglichkeiten der Hauptbetroffenen d.h. der Haushalte; das Ressourcenmanagement wird auf allen Ebenen (Zonen) optimiert.

Die Interessenvertreter aller Ebenen einbeziehen

Der haushaltzentrierte Ansatz ist eine radikale Abwendung von althergebrachten Ansätzen zentraler Planung (Abb. 1). Er stellt die Betroffenen ins Zentrum des Planungsprozesses. Daher geht der Ansatz auch unmittelbar auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Anwender ein. Er basiert auf folgenden Grundsätzen:

- Interessenvertreter sind Mitglieder einer «Zone» und handeln als solche (Zonen

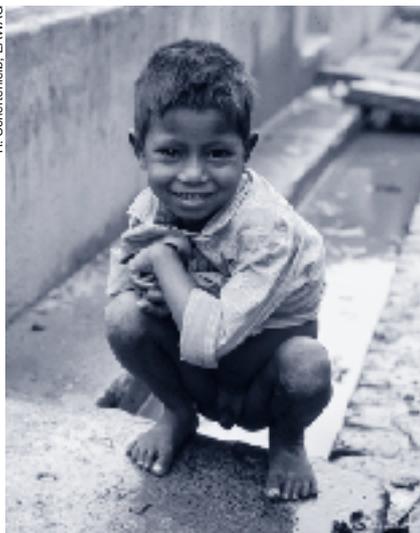
Die Bellagio-Prinzipien

Auf einer Tagung im italienischen Bellagio fand im Jahr 2000 eine von der Arbeitsgruppe «Environmental Sanitation» des Water Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC) zusammengeführte Expertenrunde zu dem Konsens, dass die derzeitige Politik und Praxis der Abfallwirtschaft die Gesundheit der Menschen aufs Spiel setzt und unwirtschaftlich und ökologisch untragbar ist. Sie formulierte folgende Prinzipien [1]:

1. Menschenwürde, Lebensqualität und Umweltsicherheit auf der Ebene der Haushalte sollte im Mittelpunkt eines neuen Ansatzes stehen.
2. Im Einklang mit guten Verwaltungsrichtlinien sollte die Entscheidungsfindung alle Interessenvertreter, vor allem die Verbraucher und die Dienstleister mit einbeziehen.
3. Abfall sollte als Ressource betrachtet werden. Abfallmanagement sollte holistisch und Teil vernetzter Prozesse des Managements von Wasservorräten, Nährstoffflüssen und Abfällen sein.
4. Der Bereich, in dem Probleme der Umwelthygiene gelöst werden, sollte auf die kleinstmögliche Ausdehnung begrenzt werden (Haushalt, Siedlung, Gemeinde, Bezirk, Einzugsgebiet, Grossstadt) und Abfälle sollten so wenig wie möglich verdrängt werden.

- 1,1 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser.
- 2,4 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu ordentlichen sanitären Einrichtungen.
- 50% aller festen Abfallstoffe werden nicht gesammelt.
- Niemand weiss, wie viele Menschen jährlich durch Hochwasser vertrieben werden.
- 3 Milliarden Menschen müssen von weniger als 2 US-Dollar täglich leben.

Quelle [1]



Knapp 40% der Weltbevölkerung haben keinen Zugang zu ordentlichen sanitären Einrichtungen.

reichen von Haushalten bis zu Nationen). Beteiligung geschieht in Übereinstimmung mit der Organisationsform dieser Zonen.

- Zonen können durch politische Grenzen definiert sein (z.B. Stadtbezirke und Gemeinden) oder öffentliche Interessen widerspiegeln (z.B. Einzugsgebiete und Flussläufe).

- Entscheidungen werden durch Beratung mit allen von der Entscheidung betroffenen Personen erreicht, und zwar in Übereinstimmung mit den Methoden, die durch die fragliche Zone ausgewählt wurden (z.B. Abstimmungen auf nationaler Ebene, Gemeinderatsversammlungen auf lokaler Ebene oder informelle Diskussionen im Kreise der Nachbarn).

- Probleme sollten in grösstmöglicher Nähe zum Ort ihres Entstehens gelöst werden. Nur wenn die betroffene Zone nicht in der Lage ist, das Problem selbst zu lösen, sollte es «exportiert», also auf die nächste Ebene übertragen werden.

- Entscheidungen und die Verantwortung für deren Umsetzung gehen vom Haushalt zum Gemeindebezirk, zur Stadtverwaltung und schliesslich zur zentralen Regierung. Individuelle Haushalte wählen, welche Art der sanitären Einrichtung sie vor Ort möchten; gemeinsam mit anderen Haushalten entscheiden sie über das Wasserleitungssystem für ihren Bezirk, zusammen mit anderen Bezirken beschliessen sie, wie die Stadt ihr Abwasser behandeln und beseitigen soll. Die zentrale Regierung befindet über Verordnungen und Bestimmungen, wobei deren Umsetzung an die entsprechenden Ebenen bis hin zu den Haushalten delegiert wird.

Grundlegende Bedeutung von Recycling und Wiederverwendung

Das Ziel des zonalen Ressourcenmanagement-Systems (Abb. 2) ist es, den Abfalltransfer über Zonengrenzen zu minimieren, indem in jeder Zone Abfall produzierende Inputs reduziert und Aktivitäten des Recyclings bzw. der Wiederverwendung maxi-

miert werden. Anders als das gängige lineare System betont es die Schonung und das Recycling bzw. die Wiederverwendung von Ressourcen (insbesondere Wasser und Nährstoffe). Dadurch wird das praktiziert, was Ökonomen oft predigen: Abfall ist eine fehlgeleitete Ressource.

Auswirkungen bei der Anwendung des haushaltzentrierten Ansatzes

Die systematische Anwendung eines haushaltzentrierten Ansatzes mit Einbezug der Interessenvertreter der jeweiligen Zone hat potenziell folgende Auswirkungen [2]:

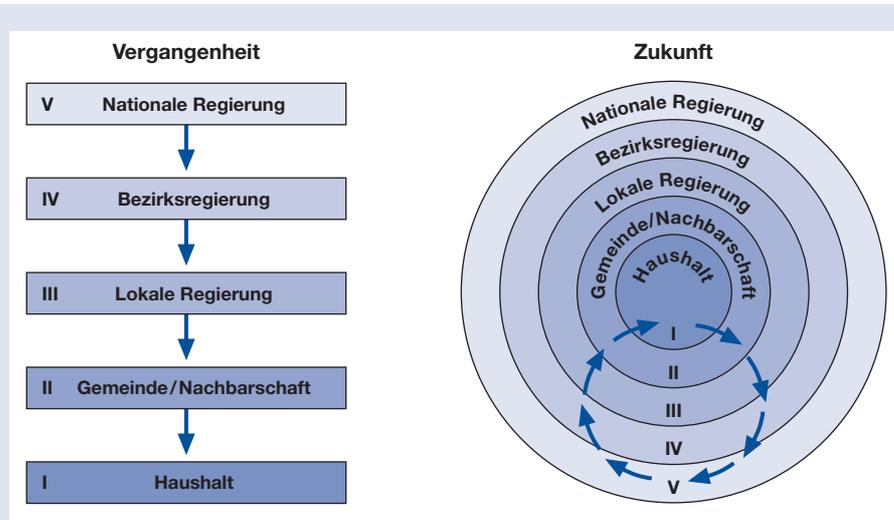


Abb. 1: Der Haushalt im Mittelpunkt des Planungsprozesses. Der haushaltzentrierte Ansatz versucht die Probleme zu vermeiden, die bei Ansätzen «von oben nach unten» oder von «unten nach oben» entstehen, indem er beide innerhalb eines vernetzten Rahmenwerks verwendet.

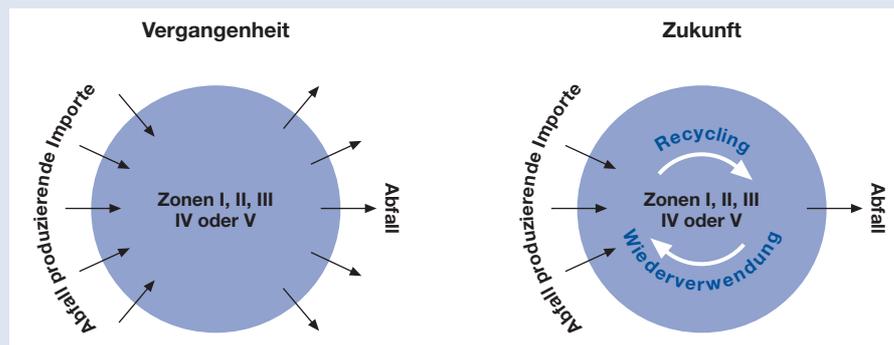


Abb. 2: Das zonale Ressourcenmanagement-System: Minimierung von Import und Maximierung von Recycling und Wiederverwendung innerhalb bestimmter Grenzen. Zonen siehe Abb. 1.

durch Verbrauchergebühren, anderswo durch Steuereinnahmen).

Leitfaden für die Implementierung des haushaltzentrierten Ansatzes

Eine erfolgreiche Einführung des neuen Ansatzes erfordert, dass die Verantwortlichen, welche für die Verbesserung der Dienstleistungen zuständig sind, die erforderliche Information und Unterstützung erhalten. Daher wurde ein vorläufiger Leitfaden erarbeitet, der sich hauptsächlich an Stadtplaner und Inhaber öffentlicher Ämter wendet, also an Bürgermeister und technische Verwaltungsleiter [3]. Diese Personen sind es, die am Anfang darüber entscheiden, ob und wie der neue Ansatz angewandt wird, die den Prozess einführen, unterstützen und ihren Bürgern gegenüber für die Ergebnisse verantwortlich sind. Der Leitfaden soll ihnen helfen, den haushaltzentrierten Ansatz zu verstehen, ihn an die lokalen Gegebenheiten anzupassen und ihn der Gemeinschaft der Verbraucher zu erklären. Der Leitfaden stellt spezifische Unterstützung für die Entwicklung und Implementierung des Ansatzes zur Verfügung. Er umfasst zwei Bereiche, die sich einerseits mit der Schaffung eines «förderlichen Umfelds» und andererseits mit dem Durchlaufen eines 10-Schritte-Prozesses befassen.

Ein förderliches Umfeld ist für den Erfolg jedes beliebigen Investitionsprogramms wichtig, doch ist es von besonderer Bedeutung, sobald ein innovativer Ansatz wie der vorliegende angewandt werden soll (Abb. 3).

Die zehn vorgeschlagenen Schritte für die praktische Anwendung des haushaltzentrierten Ansatzes sind in Form eines linearen Prozesses dargestellt (Abb. 3), müssen aber zum Teil im Sinne einer Iteration wiederholt werden.

In einem nächsten Schritt soll der provisorische Leitfaden in ausgewählten Projekten getestet werden. Dabei soll nicht nur die Tauglichkeit des Leitfadens untersucht, sondern auch jene Bereiche aufgedeckt werden, die bei der Implementierung besonders beachtet werden müssen.

Zweifellos wird die Planung und Implementierung von Projekten, die auf dem haushaltzentrierten Ansatz basieren, mehr Zeit in Anspruch nehmen als konventionelle, «top-down» geplante Projekte, die jeweils nur einen Bereich der Siedlungshygiene umfassen. Dieser Aufwand ist jedoch gerechtfertigt, wenn das Ergebnis eine nachhaltigere Siedlungshygiene verspricht.



Antoine Morel, Kulturingenieur, seit 2001 in der Abteilung «Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern», arbeitet auf den Gebieten des dezentralen Abwassermanagements und der strategischen Entsorgungsplanung in Entwicklungsländern.

Koautoren: Roland Schertenleib, Chris Zurbrügg

Weiterführende Informationen unter:
www.sandec.eawag.ch
www.wsscc.org

- [1] EAWAG/SANDEC and Water Supply and Sanitation Collaborative Council – WSSCC (2000): Bellagio expert consultation on environmental sanitation in the 21st century. Report of the Bellagio Workshop, February 2000.
www.sandec.ch/Publications/PublicationsHome.htm
- [2] Schertenleib R. (2001): The Bellagio principles and a household centred approach in environmental sanitation. In: C. Werner, J. Schlick, G. Witte, A. Hildebrandt (eds.) Proceedings of the 1st International Symposium on Ecological Sanitation – Closing the loop in wastewater management and sanitation, October 2000, Bonn, Germany. Publisher: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, p. 52–57.
- [3] Schertenleib R., Morel A., Kalbermatten J., Saywell D. (2003): Guidelines for the implementation of the Bellagio principles and the household-centred environmental sanitation approach (HCES). In: C. Werner, J. Schlick, G. Witte, A. Hildebrandt (eds.) Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, April 2003, Lübeck, Germany. Publisher: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, in press.
- [4] WHO, UNICEF, WSSCC (2000): Global water supply and sanitation assessment 2000 Report. Geneva, Switzerland, 80 p.

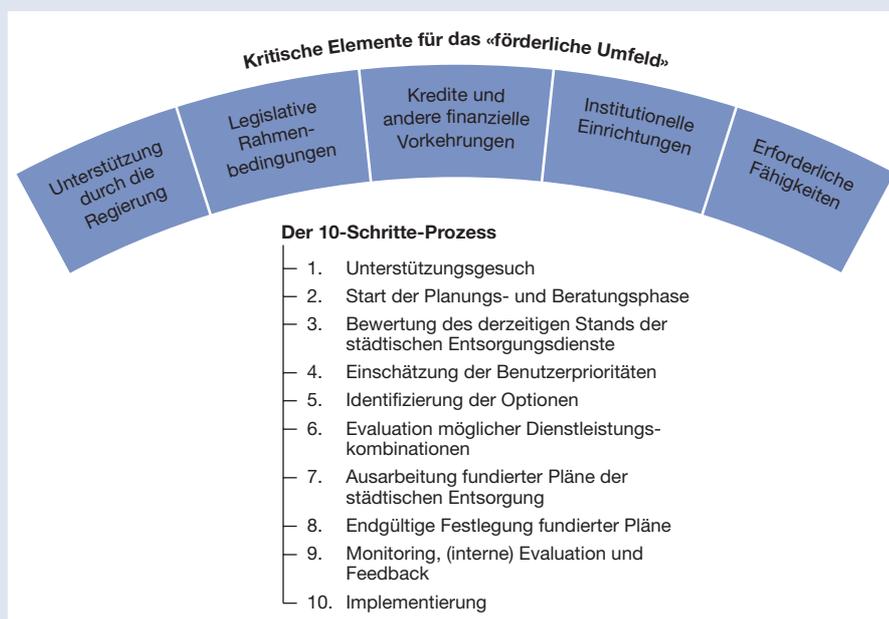


Abb. 3: Die zwei Hauptkomponenten des vorläufigen Leitfadens für die Implementierung des haushaltzentrierten Ansatzes: das förderliche Umfeld und der 10-Schritte-Prozess.

Projekt STORM – Abwassereinleitungen bei Regenwetter

Bei Regen durchläuft nur ein Teil des Abwassers die Kläranlagen. Das restliche Abwasser gelangt direkt oder nach einfacher Behandlung ins Gewässer. Die Planung solcher Anlagen basiert heute auf problemunspezifischen und statischen Planungsverfahren. Um den Gewässerschutz und die Kostenwirksamkeit von Massnahmen weiter zu verbessern, sollen künftig sowohl vermehrt ökologische Faktoren als auch Unsicherheiten in die Planungs- und Entscheidungsprozesse einfließen.

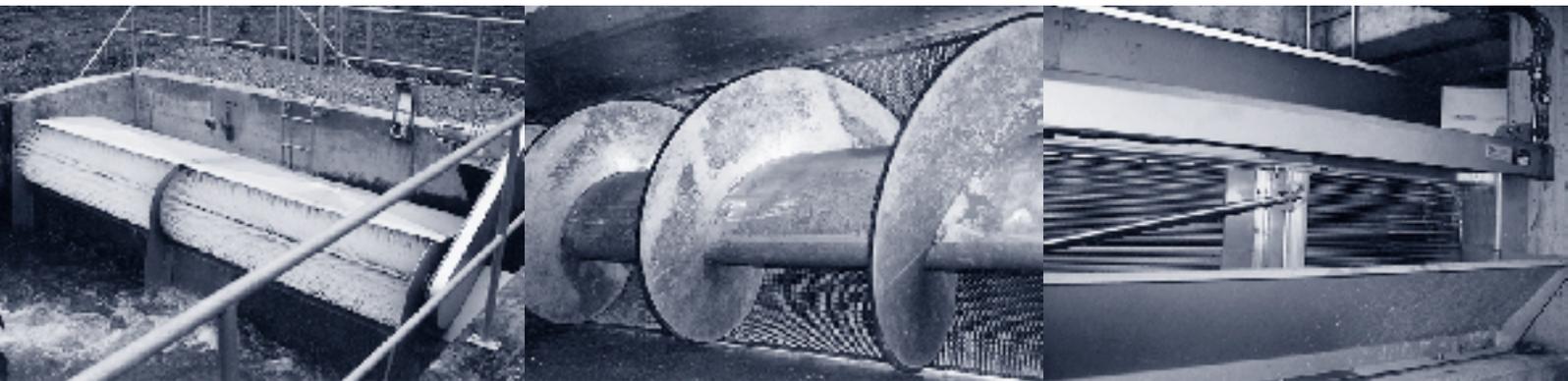
Im Gewässerschutz gibt es kaum eine heiklere Problematik mit einem ähnlich komplexen, dynamischen und zufälligen Verhalten wie die Belastung der Oberflächengewässer bei Regenwetter. Dies gilt insbesondere für

die Ableitung von Regenwasser aus dem Siedlungsbereich, weil dort der grösste Teil des anfallenden Wassers nicht versickern kann und deshalb über die Kanalisation wegtransportiert werden muss. Bei der in

der Schweiz mehrheitlich gebauten Mischkanalisation gelangt der Regen mit dem restlichen Abwasser in eine Kläranlage und wird erst nach Reinigung in die Gewässer entlassen. Bei ergiebigen Regenfällen sind die Kläranlagen jedoch nicht in der Lage, das gesamte Wasser aufzunehmen. Dies liegt daran, dass Kläranlagen aus den verschiedensten Gründen in der Regel nur für das Doppelte der bei Trockenwetter abfließenden Wassermenge (\approx Regenabfluss bei Schwachregen) dimensioniert sind. Deshalb gelangt bei stärkerem Regen ein Teil des anfallenden Regen- und Abwassers direkt, ohne Reinigung, in die Gewässer.

Ort der Manifestation/ Problem und potenzielle Auswirkungen	Potenzielle Ursachen	Beispiele möglicher Massnahmen		
		im Siedlungsgebiet	in der Siedlungs- entwässerung	im Gewässer
Siedlungsgebiet, Kanalisation				
Häufige und lange Mischwasserentlastungen	Fremdwasser und wenig verschmutztes Abwasser im Mischsystem	Separate Ableitung des Regenwassers, Versickerung	Vermeidung der Fremdwassereinleitungen	
Häufige und lange Mischwasserentlastungen	Falsche Funktion des Regenüberlaufs		Einstellung der Drosselung	
Gewässer				
Ästhetische Beeinträchtigung: gestörtes Wohlbefinden des Menschen	Eintrag von Grobstoffen (Toilettenartikel etc.), Geruch, Farbstoffe	Schmutzwasserspeicher	Rechen/Siebe	
Kolmation der Sohle: Sauerstoffdefizit im Sohlenbereich und im hyporheischen Interstitial	Feststoffe im Abwasser, Eintrag von leicht abbaubaren partikulären Verunreinigungen	Verminderung von Ablagerungen in der Kanalisation	Vermeidung, Behandlung (z.B. Sedimentation, Wirbelabscheider), Optimierung des Betriebes	
Hygiene: Erhöhtes Infektionsrisiko	Eintrag von Bakterien, Krankheitserreger		Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung	Warnung, befristetes Badeverbot
Hydraulische Belastung: Verdriftung oder Absterben von Organismen	Geschiebetrieb und hohe Fließgeschwindigkeiten verursacht durch die Kanalisationseinleitung	Entsiegelung, Regenwassernutzung, -retention, -versickerung	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung	Profilanpassung, Substratverbesserung (Schaffung von Refugialräumen)
Akute Probleme (Toxizität, NH ₃ , O ₂): Schädigung/Absterben von Organismen	Eintrag von toxischen Stoffen, unnatürlich niedrige Wasserführung, hoher pH-Wert und Temperatur in Fließgewässern	Schmutzwasserspeicher	Verlegung der Einleitung, Speicherung, Abflusssteuerung, Reinigung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen, Verbesserung des hydrologischen Regimes
Gewässereutrophierung: Schädigung von Organismen	Eintrag von Nährstoffen	Massnahmen an der Quelle	Speicherung, Abflusssteuerung	Beschattung durch Bäume und andere Pflanzen
Chronische Toxizität: Schädigung von Organismen	Eintrag von Schwermetallen, Pestiziden, hormonaktiven Substanzen etc.	Massnahmen an der Quelle	Reinigung (z.B. Bodenfilter, phys.-chem. Behandlung, Kläranlage)	

Tab. 1: Zusammenhänge zwischen Problemen, verursacht durch Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter, deren Ursachen und möglichen Massnahmen. Die Tabelle zeigt ausgewählte Beispiele auf.



Mögliche Massnahmen (von links nach rechts): rotierende Bürste – Sieb mit Reinigungsspirale – Rechen – unterirdisches Regenüberlaufbecken – oberirdisches, in die Landschaft eingegliedertes Regenüberlaufbecken (unten).

Schutz der Gewässer vor Abwassereinleitungen

Eine Möglichkeit, die Gewässer bei Regenwetter vor Abwassereinleitungen aus Mischkanalisationen zu schützen, ist, das Regenwasser getrennt vom übrigen Abwasser in einer Trennkanalisation den Gewässern zuzuführen. Obwohl diese Lösung auf den ersten Blick sinnvoll erscheint, ist sie dennoch nicht unbedenklich. Denn Regenwasser, das aus Siedlungen abfließt, ist meist auch mit Schmutzstoffen stark belastet, die es von Dächern und Strassen abgewaschen hat. Die Mischkanalisation wurde deshalb mit Regenüberlaufbecken ausgestattet [1]. Sie speichern das Regen-Abwasser-Gemisch vorübergehend, bevor es nach Regenende einer Kläranlage zugeleitet wird. Damit verhindert man v.a. Beeinträchtigungen der Gewässer durch ästhetisch und hygienisch bedenkliche und stark störende Grobstoffe (Tab. 1), die monatelang sichtbar bleiben können. Bisher wurden in der Schweiz ca. 2 Milliarden SFr. in den Bau und Betrieb solcher Regenüberlaufbecken investiert. In der Trennkanalisation gibt es in der Regel keine Massnahmen zur Regenwasserbehandlung. Da jedoch noch viele Gewässer durch verschmutztes Regenwasser

aus Misch- oder Trennkanalisationen beeinträchtigt werden, muss mittelfristig wieder mit Kosten der gleichen Grössenordnung gerechnet werden.

Im Hinblick auf einen optimalen Gewässerschutz und einen effizienten Einsatz der zur Verfügung stehenden Gelder soll die Planung dieser Massnahmen zur Regenwasserableitung nach neuen Kriterien durchgeführt werden. Sie werden zurzeit gemeinsam vom schweizerischen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, dem Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerfachleute VSA und der EAWAG im Projekt «STORM – Abwassereinleitungen bei Regenwetter» erarbeitet. Dieser Artikel fasst erste Ergebnisse zusammen.

Die neuen Prinzipien der Massnahmenplanung

Immissionsorientierter Ansatz: Bisher ging man bei der Regenwasserableitung im Allgemeinen lediglich von einem emissionsorientierten Ansatz aus, d.h. man berücksichtigte Art und Menge der Schmutzstoffe, die aus der Kanalisation in die Gewässer eingeleitet wurden. Dagegen wurden Zustand und Eigenschaften der Gewässer

nur sehr rudimentär berücksichtigt. Wir schlagen deshalb vor, die zukünftige Massnahmenplanung – so weit es die heutigen Kenntnisse erlauben – durch einen immissionsorientierten Ansatz (siehe Kasten) zu ersetzen und somit auch die Eigenheiten der einzelnen Gewässer mit zu berücksichtigen.

Massgeschneiderte Lösungen durch Wirkungsprognose: Für die in der Vergangenheit umgesetzten Massnahmen zur Regenwasserableitung wurden leider keine Erfolgskontrollen im Hinblick auf die ökologische Wirksamkeit der Massnahmen durchgeführt. Daher kann nicht abgeschätzt werden, wie effizient die aquatischen Lebensgemeinschaften durch die heute bestehenden Regenüberlaufbecken in kritischen Situationen vor Abwassereinleitungen geschützt werden. Aus diesem Grund empfehlen wir im Rahmen zukünftiger Massnahmenplanungen, detaillierte Wirkungsprognosen zu erstellen. Damit sollte es möglich sein, massgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten, die an die lokalspezifischen Gegebenheiten angepasst sind.

Planungsunsicherheiten einbeziehen: Will man ein System wie die Siedlungsentswässerung mit einem Modell nachbilden, ist dies immer mit einer Vereinfachung verbunden. Aus diesem Grund ergibt sich eine Reihe von Unsicherheiten. Da zusätzlich noch Gewässerparameter bei der Planung mitberücksichtigt werden sollen, sind die Unsicherheiten noch grösser. Sie beziehen sich unter anderem auf:

- die Modellstruktur: Kann mit dem angewendeten Modell das System ausreichend genau wiedergegeben werden? Sind die erarbeiteten Anforderungen an die Abwassereinleitung bei Regenwetter sinnvoll/realistisch?
- die empirisch bestimmten Modellparameter (z.B. Schadstoffkonzentrationen, Temperatur etc.), die mit Messfehlern behaftet sind;

Der immissionsorientierte Ansatz

Im Gegensatz zur Emissionsstrategie, die lediglich die mit dem Abwasser eingetragenen Schmutzstoffe bei der Planung berücksichtigt, folgt das Immissionsprinzip einer integrierten Betrachtungsweise, die jegliche Art von Beeinträchtigung sowie die Eigenheiten der Gewässer einbezieht. Dabei sind diejenigen Parameter von zentraler Bedeutung, die die Beurteilung kritischer Situationen im Gewässer erlauben:

- die Art der Beeinträchtigung (Tab. 1);
- die Intensität der Beeinträchtigung, z.B. Schadstoffkonzentrationen (chemisch), Konzentration der Krankheitskeime (hygienisch), Veränderung der Temperatur (physikalisch) und Durchfluss resp. Schleppspannung (mechanisch);
- die Dauer der Exposition;
- die Häufigkeit des Auftretens;
- saisonal bedingte Einschränkungen oder Abweichungen;
- die Eigenheiten der Gewässer (Tab. 2), z.B. Typ (Quellbach, Mittellandbach, See) Eigenschaften (Abfluss, Nährstoffgehalt, Artenvorkommen), Zustand (naturnah/verbaut, empfindlich/unempfindlich).



Fotos: V. Krjčić, EAWAG

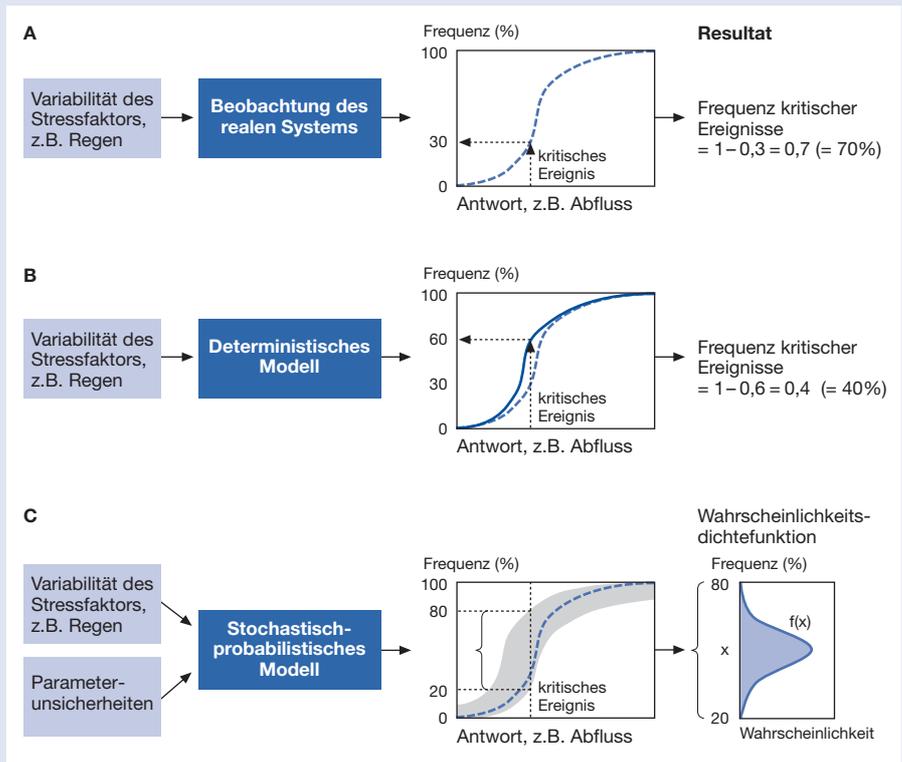


Abb. 1: Planungsinstrumente zur Abschätzung der Häufigkeit von kritischen Ereignissen bei Regenwetter. Das kritische Ereignis richtet sich nach den festgelegten Anforderungen und gibt z.B. an, ab welchem Abfluss Geschiebetransport in Fließgewässern auftritt.

A: Die Frequenz der kritischen Ereignisse wird durch Beobachtung am realen System bestimmt. Gestrichelte Linie = Summenkurve der beobachteten Ereignisse. Diese Kurve wird zum Vergleich auch unter B und C dargestellt.

B: Die Frequenz der kritischen Ereignisse wird durch ein deterministisches Simulationsmodell unter Einbezug der Regenvariabilität berechnet. Aufgrund nicht berücksichtigter Unsicherheiten sind Realität (A) und Modellantwort nicht identisch.

C: Durch das neu entwickelte stochastisch-probabilistische Modell kann zusätzlich die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der eine gewisse Frequenz kritischer Ereignisse auftritt. In die Computersimulationen gehen sowohl die Variabilität des Regens als auch die Unsicherheiten weiterer Parameter ein. Die Frequenz, mit der kritische Ereignisse eintreten, liegt in einem bestimmten Bereich, hier zwischen 20% und 80%. Alle diese Werte $x =$ Frequenz kritischer Ereignisse gehen ein in die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $x = f(x)$.

■ die Variabilität gewisser Einflussgrößen, z.B. das Regenaufkommen und der Abfluss in Fließgewässern. Diese Unsicherheiten müssen in der Wirkungsprognose identifiziert werden. Dies geschieht mittels stochastisch-probabilistischer Modellierung (Abb. 1). Die Unsicher-

heiten können dann entweder in Kauf genommen werden oder es wird eine dynamische Lösung erarbeitet. Konkret könnte das bedeuten, dass in diesen Fällen zunächst weniger Geld in eine kleinere Massnahme investiert und diese eine Zeit lang erprobt würde. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse

würden in eine erneute Wirkungsprognose einfließen, um damit schliesslich die optimale Lösung zu identifizieren. Diese Überlegungen sind eng mit dem Kostenaspekt verbunden.

Erweiterte Massnahmenplanung: Die bisherige Massnahmenplanung hat vor allem

Gewässertyp	Ästhetik	Hygiene (Krankheitserreger)	Temperatur	Mechanisch-hydraulischer Stress	Chemische Parameter			
					Ammoniak ¹	TSS ²	Nährstoffe	weitere Stoffe ³
Quellbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	vorläufig keine gesicherten Informationen vorhanden	
kleiner Mittellandbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein		
kleiner Voralpenbach	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein		
grosser Mittellandbach	Ja	Ja	Eventuell ⁴	Eventuell ⁴	Ja	Nein		
grosser Voralpenbach	Ja	Ja	Eventuell ⁴	Eventuell ⁴	Ja	Nein		
grössere Fließgewässer	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja		
kleiner See (Weiher)	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja		
grosser See	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	

¹ akute Toxizität durch Ammoniak
² TSS = Gesamtheit der suspendierten Feststoffe («total suspended solids»)
³ z.B. hormonaktive Substanzen, aromatische und polychlorierte Kohlenwasserstoffe etc.
⁴ gemäss Problemidentifikation

Tab. 2: Relevanz der Problematik bei Abwassereinleitungen aus Mischwasserüberläufen und bei Regenwassereinleitungen aus Trennkanalisationen. Die Aussage «Nein» bedeutet, dass der entsprechende Aspekt für den jeweiligen Gewässertyp nicht relevant ist; z.B. ist der hygienische Aspekt bei kleinen Bächen nicht relevant, weil Menschen dort in der Regel nicht baden.

auf Regenüberlaufbecken gesetzt, um die anfallenden Probleme in den Griff zu bekommen. Es gibt jedoch eine ganze Palette anderer und teilweise preiswerterer Lösungen (Tab. 1), die in Betracht gezogen werden sollten.

Damit diese Prinzipien in zukünftige Massnahmenplanungen einfließen, will STORM folgende Instrumente bereitstellen:

- eine Zusammenstellung der Bedingungen für Abwassereinleitungen bei Regenwetter, basierend auf Anforderungen, die die Gewässereigenheiten berücksichtigen (Tab. 2);
- ein methodisches Konzept zur Massnahmenplanung;
- ein computergestütztes Simulationsprogramm, das auch Unsicherheiten in der Planung prognostizieren kann [2, 3].

Mit Hilfe dieser Instrumente sollte es anschliessend möglich sein, neue Richtlinien zur Regenwasserableitung in der Schweiz zu formulieren.

Wie funktioniert das neue Planungskonzept?

Wie die neuen Prinzipien tatsächlich in eine Massnahmenplanung eingehen können, soll an einem einfachen Beispiel dargestellt werden. Wir betrachten ein kleineres Fließgewässer, das bereits durch ein Regenüberlaufbecken vor Abwassereinleitungen

geschützt ist. Das Becken ist jedoch nicht gross genug, so dass auch bei nicht besonders ergiebigem Regen Abwasser in das Fließgewässer gelangt. Bei schwachem Regen wird das Gewässer v.a. stofflich belastet, wohingegen bei starkem Regen hydraulische Beeinträchtigungen überwiegen. Im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung werden nun zunächst die Probleme identifiziert und der Handlungsbedarf ausgewiesen. Dabei stellt sich heraus, dass sowohl die Ammoniakbelastung als auch der Geschiebetrieb stark zunehmen, wenn ein Regen-Abwasser-Gemisch eingeleitet wird. Gemäss VSA-Empfehlungen [4] ergeben sich daraus folgende Einleitbedingungen, die zu erfüllen sind:

- die kritische Ammoniakdosis darf maximal einmal in 5 Jahren überschritten werden,
- der kritische (Geschiebe führende) Durchfluss darf maximal 10-mal pro Jahr überschritten werden.

Im Beispiel modellieren wir drei unterschiedliche Varianten:

- Szenario 0 = Ist-Zustand mit einem Beckenvolumen von 120 m³ und jährlichen Kosten von 12 000 SFr.,
- Szenario 1 mit einem erweiterten Beckenvolumen von 520 m³ und 29 000 SFr. Jahreskosten,
- Szenario 2 mit einem erweiterten Beckenvolumen von 1320 m³ und 47 000 SFr. Jahreskosten.

Verwendet wird ein stochastisch-probabilistisches Modell. Im Hinblick auf die Beschreibung der Unsicherheiten, werden die Modellparameter nicht (wie bisher üblich) mit einer einzigen Zahl, sondern mit einem Bereich und mit einer Verteilungsfunktion in diesem Bereich beschrieben. Beispiele: der pH-Wert im Gewässer variiert zwischen 7,8 bis 8,3 und das Auftreten der Werte entspricht einer lognormalen Verteilung; der Abflussbeiwert variiert zufällig und ist gleichverteilt in einem Bereich von 80–120% des Erwartungswertes. Analog werden (mit einigen Ausnahmen, wo sichere Angaben vorliegen) alle Modellparameter beschrieben. Als Vorbereitung für die Monte-Carlo-Simulation wurden aus den Verteilungen der Parameter Stichproben gebildet. Anschliessend wurde für jede Stichprobe eine Langzeitsimulation mit einer gleich bleibenden 10-jährigen Regenserie durchgeführt (Abb. 1).

Die Simulation ergibt, dass die Bedingung für den Geschiebetrieb durch das Szenario 0 nur mit 48%iger Wahrscheinlichkeit eingehalten wird und selbst bei Szenario 2 nur auf eine ca. 60%ige Wahrscheinlichkeit ansteigt (Abb. 2). Dagegen kann die Bedingung für den Ammoniakbeitrag durch

Szenario 2 mit fast 100%iger Wahrscheinlichkeit eingehalten werden. Durch die Angaben der Wahrscheinlichkeiten mit denen die Massnahmen die Einleitbedingungen erfüllen, eröffnen sich zusätzliche Freiheitsgrade in der Entscheidungsfindung. Der Planer und die Entscheidungsträger können z.B. eine relativ teure Massnahmen-Variante wählen und so die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass die Anforderungen eingehalten werden. Dadurch riskieren sie jedoch Überinvestitionen. Sie können aber auch Mittel in weitere Untersuchungen oder in eine kleinere Anlage investieren und damit die Unsicherheiten in einem dynamischen Prozess weiter reduzieren.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass der stochastisch-probabilistische Planungsansatz eine andere Kommunikation als herkömmliche Planungsverfahren erfordert, z.B. beim Umgang mit Unsicherheiten. Er bietet allerdings auch mehr Informationen an, stellt jedoch höhere Anforderungen an alle Beteiligten.



Vladimir Krejci, Wasserbau- und Umweltingenieur, war bis 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter der EAWAG. Seither ist er als beratender Ingenieur tätig. Ausserdem ist er Dozent an der Fachhochschule Zürich und Mitglied verschiedener Fachkommissionen des VSA und des

Deutschen Vereins für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall ATV-DVWK.

Koautoren: Simon Kreikenbaum, Luca Rossi, Rolf Fankhauser

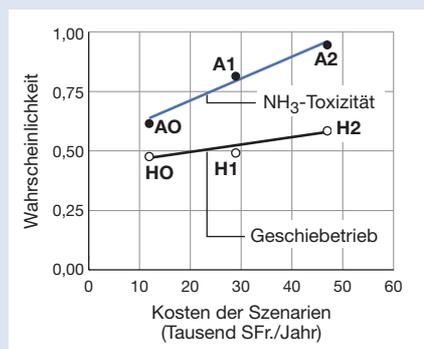


Abb. 2: Kostenwirksamkeit von Massnahmen (Szenario 0 = Ist-Zustand: AO/HO, Szenario 1: A1/H1, Szenario 2: A2/H2; genauere Beschreibung der Szenarien siehe Text). A: Ammoniak, H: Hydraulische Beeinträchtigung (Geschiebetrieb).

- [1] Eidgenössisches Amt für Umweltschutz AfU (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. AfU, Bern, 9 S.
- [2] Kreikenbaum S., Krejci V., Rauch W., Rossi L. (2002): Probabilistic modeling as a new planning approach to stormwater management. 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, USA.
- [3] Rauch W., Krejci V., Gujer W. (2000): REBEKA – Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fließgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter, EAWAG, Dübendorf.
- [4] Verband Schweizer Abwasser und Gewässerschutzfachleute VSA (2000): Zustandsbericht Gewässer – Teil Gewässerschutz, Empfehlungen für die Bearbeitung des Zustandsberichts Gewässer im Generellen Entwässerungsplan (GEP). VSA, Zürich, 23 S.

Nachhaltige Regenwasserentsorgung auf dem Weg in die Praxis

Der in den 90er Jahren gefasste Entschluss, Regenwasser auf separaten Wegen aus Siedlungen abzuführen, wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu einer erheblichen Veränderung der gegenwärtigen Abwasserentsorgung führen. Doch es wird immer klarer, dass auch Regenwasser mit Schadstoffen belastet ist. Um geeignete Massnahmen zum Schutz der Umwelt zu finden, müssen Quellen, Konzentrationen und die Fliessdynamik der Schadstoffe bekannt sein. Vorgestellt werden Instrumente zur Abminderung der stofflichen Belastung und erste Umsetzungen.

Regenwasser fliesst in der Schweiz heute noch vorwiegend über die Mischkanalisation ab. Dabei wird es mit häuslichem und industriellem Abwasser vermischt, in die Kläranlagen geleitet, dort mit dem Abwasser gereinigt und gelangt erst dann in die Gewässer. Anfang der 90er Jahre setzte ein Umdenkprozess ein. Man befand, dass der Umweg über die Kläranlagen für das mehrheitlich unverschmutzte Regenwasser nicht sinnvoll sei. Stattdessen sollte es entweder vor Ort versickern können oder getrennt vom Abwasser abgeleitet werden. Inzwischen weiss man jedoch, dass Regenwasser mit Schadstoffen belastet ist und dass die einstige Einschätzung zu optimistisch war. Dies gilt insbesondere, wenn der Regen über befestigte Oberflächen wie Dächer und Strassen abfliesst. Geeignete Massnahmen zum Schutz der Gewässer, Böden und Gewässersedimente können jedoch erst ergriffen werden, wenn man die vom Regen aufgenommenen Stoffe und ihr Verhalten kennt. Auch die EAWAG engagiert sich auf dem Gebiet der nachhaltigen Regenwasserentsorgung. Dieser Artikel gibt einen Überblick über laufende Forschungsprojekte und stellt mögliche Massnahmen vor.

Auf die Oberfläche kommt es an Regenwasserabflüsse stammen von den verschiedensten Oberflächen, die aus unterschiedlichen Materialien zusammengesetzt sind. Es ist daher aussichtslos die Eigenschaften der abfliessenden Regenwässer für jeden Fall abschätzen zu wollen. Um trotzdem möglichst viele Situationen abzudecken, teilt man die urbanen Oberflächen

in Kategorien mit unterschiedlichem Verschmutzungspotenzial ein (Tab. 1). Erst so wird das System auch für die Anwender praktikabel. In diesem Sinne erarbeiteten Ämter und Fachvereine in den letzten Jah-

ren eine Reihe von Richtlinien und Vollzugshilfen, wie beispielsweise die Wegleitung zum «Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen» und die Richtlinie zur «Regenwasserentsorgung» [1, 2]. Verkehrswege (Strassen, Flughäfen und Bahngleise) machen knapp 60% und Dächer etwa 30% der befestigten Oberflächen in der Schweiz aus. Das Hauptaugenmerk muss deshalb auf den von diesen Oberflächen abgeschwemmten Schadstoffen liegen (Tab. 2). Tabelle 3 gibt mittlere Schadstoffkonzentrationen für verschiedene Dächer und Strassen an. Im Gesamtabfluss von Siedlungen sind die Schwermetallabschwemmungen von

Oberfläche	Angaben zum Verschmutzungspotenzial des Oberflächenabflusses	Belastungs-klasse
Dächer und Grünflächen		
Grünflächen, Gründächer ohne pestizidhaltige Materialien	Gute Dämpfung des Abflussvorgangs und effizienter Schadstoffrückhalt auf dem Dach.	gering
Dachflächen aus inerten Materialien ohne Metallanwendungen, Glasdächer, Terrassen	Ähnlicher Verschmutzungsgrad wie der Regen selbst. Bei Versickerung erfolgt eine langsame Anreicherung von Schadstoffen im Boden.	gering
Dachflächen aus überwiegend inerten Materialien mit üblichen Anteilen an Metallinstallationen: Kupfer, Zink, Zinn, Blei	Schnelle Anreicherung von Schwermetallen in Böden von Versickerungsanlagen. Schwermetalladsorber werden empfohlen bei Metallflächen von 20–50 m ² .	mittel
Dächer mit erhöhten Anteilen an unbeschichteten Metallinstallationen oder -eindeckungen aus Kupfer, Zink, Zinn oder Blei	Zum Schutz von Wasser und Boden wird eine Behandlung des Abwassers gefordert. Als hoch belastet gelten folgend Flächen: a) bei Versickerung >50 m ² b) bei Einleitungen >500 m ² .	hoch
Parkplätze und Verkehrsflächen		
Hauszufahrten, Vorplätze, private Parkplätze, Geh-, Rad-, und Flurwege, öffentliche Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel	Geringe Boden- oder Grundwasserbelastung bei üblicher Nutzung. Teilweiser Abbau organischer Stoffe bei durchlässig gestalteten Flächen.	gering
Umschlag- und Lagerplätze von umweltgefährdenden Stoffen	Tropfverluste von Fahrzeugen. Schadstoffemissionen durch Unterhaltsarbeiten und Umschlagen von Waren können zu Boden- und Grundwasserbelastungen führen.	mittel
Öffentliche Parkplätze mit häufigem Fahrzeugwechsel (Einkaufszentren)	Erhöhte Boden- und Grundwasserbelastung. Bei durchlässig gestalteten Plätzen werden organische Stoffe in den obersten Bodenschichten teilweise abgebaut.	mittel bis hoch
Strassen	Verkehrsemissionen abhängig von der Fahrzeugfrequenz, Verkehrszusammensetzung, Fahrweise und Unterhalt. Quer zur Fahrbahn entstehen meist exponentiell abnehmende Bodenbelastungen durch Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).	abhängig von der Verkehrsbelastung

Tab 1: Beurteilung der Belastung des Regenwasserabflusses von befestigten Oberflächen.

Quelle	Schadstoff
Dächer	
Schwermetallinstallationen, Dachbleche, Fassaden	Kupfer, Zink, Blei, Zinn
Atmosphärische Auswaschung	Pestizide (z.B. Atrazin)
Flachdachisolationen	Pestizide (z.B. Mecoprop)
Strassen	
Benzin, Katalysator	Blei, Nickel, Kobalt, Platin, Palladium, Rhodium, PAK, MTBE
Bremsen	Kupfer, Chrom, Nickel, Blei, Zink, Eisen
Reifen	Zink, Blei, Kupfer, Chrom, Nickel, Kadmium
Strassenbeläge	Nickel, Mangan, Blei, Chrom, Zink, Arsen, PAK
Strassenunterhalt	Pestizide, Salze

Tab. 2: Schadstoffe in Regenwasserabflüssen von Dächern und Strassen.

Parameter	Einheit	Gründächer	Kiesflachdach	Ziegeldach mit Metallinstallationen	Metall-dächer aus Cu, Zn, Pb	Autobahnen	Regionalstrassen
Referenz		EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	Xanthopoulos & Hahn [10]
pH		6,7–7,5	5,5–7,9	5,5–7,5	–	7,0–7,5	6,4
TOC	mg C/l	4–20	5–10	5–15	–	10–20	–
DOC	mg C/l	–	3–10	2–14	–	5–10	12
TSS	mg/l	–	2–5	15–40	–	150–250	560
NO ₃	mg N/l	1–2	2–5	0,3–0,7	–	6	0,6
Ca	mg/l	20–60	10–25	1,5–2,5	–	–	–
Pb	µg/l	6–15	2–10	10–70	5000–7000	300	311
Cd	µg/l	u.d.E.	0,05–0,1	0,1–0,5	–	4,5	6,4
Cu	µg/l	5–10	15–25	100–300	800–2000	150	108
Zn	µg/l	u.d.E.	10–40	50–200	1000–4000	500	603
PAK	µg/l	–	–	–	–	3	3,1
Atrazin	ng/l	–	100	100–1600	–	–	–
Mecoprop	ng/l	–	1500–5000	–	–	–	–

Tab. 3: Frachtgewogene mittlere Konzentrationen in Regenwasserabflüssen von Dächern und Strassen. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen, DOC = («dissolved organic carbon») Gesamtheit der gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen, TSS = («total suspended solids») Gesamtheit der suspendierten Feststoffe, PAK = polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen, u.d.E. = unter der Erfassungsgrenze, – = Parameter nicht gemessen.

Dächern dominant. So kann das abgeschwemmte Kupfer aus Dächern je nach Einzugsgebiet zwischen 30–60% der gesamten Kupferfracht im kommunalen Abwasser ausmachen. Eine Untersuchung, welche Metalle heutzutage im Dachbau eingesetzt werden, ergab, dass 30% der Metallanwendungen in Zink und 70% in Kupfer ausgeführt werden. Pro Kopf der Bevölkerung sind dies 2,9 m² Kupferblech.

Schadstoffe von Dächern und Strassen

Die EAWAG untersucht gegenwärtig in Zusammenarbeit mit dem Gewässerschutzlabor des Kantons Bern und der TH Burgdorf das Verhalten unterschiedlicher Modelldächer bei Regen. Ein Kiesflachdach als Referenzdach, vier begrünte Flachdächer sowie ein Ziegeldach mit Kupferinstallationen

und zwei Metalldächer, bestehend aus Kupferblech bzw. verzintem Kupferblech, werden gleichzeitig beprobt (Abb. 1). Ausserdem wird ein Adsorberfilter getestet, über den die Abflüsse der Metalldächer geleitet werden. Nicht unerwartet weisen die Dächer mit Metallanteilen erhöhte Abschwemmraten von Kupfer und Zink auf (Abb. 2). Die Metalle werden jedoch zu über 97% durch den Adsorberfilter zurückgehalten.

In zwei weiteren Projekten analysiert das Projektteam in Burgdorf die Abschwemmung und das weitere Schicksal von Schadstoffen einer stark befahrenen Strasse (Abb. 3). Einerseits werden drei unterschiedlich aufgebaute Adsorberfilter getestet, über die das Strassenabwasser geleitet wird. Erste Ergebnisse zeigen, dass der beste der drei Filter über 95% der im Strassenabwasser enthaltenen Metalle Kupfer und Zink zurückhält. Andererseits wird das seit 30 Jahren vom Strassenverkehr belastete Bankett untersucht, um Informationen über den Transport und die Anreicherung von spezifischen im Strassenverkehr anfallenden Schadstoffen im Bodenkörper zu gewinnen. Daraus sollen Anhaltspunkte für den Aufbau von Strassenbanketten abgeleitet werden.

Je nach Oberfläche und Dauer des Regenereignisses ist die Schadstoffkonzentration im Regenwasser stark schwankend. Insbesondere zu Beginn eines Regenereignisses werden grosse Schadstoffmengen mitgerissen (Abb. 4); man spricht dann vom so genannten «first flush» [3]. Es gibt aber auch Stoffe, die erst nach längerem Regen abgeschwemmt werden. Dazu gehört beispielsweise das Pestizid Mecoprop, dass in Iso-

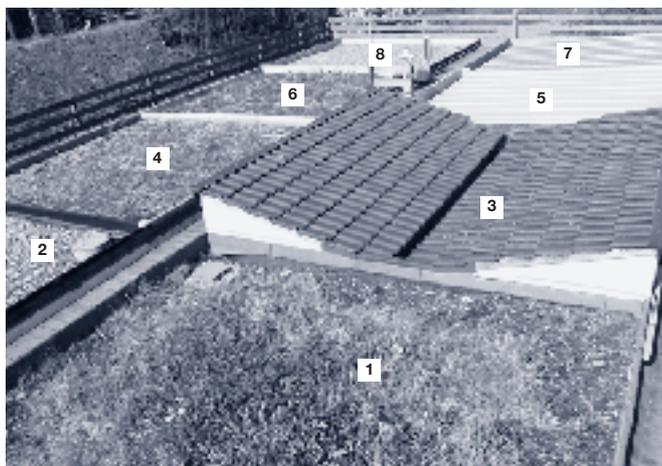


Abb. 1: Die untersuchten Modelldächer.

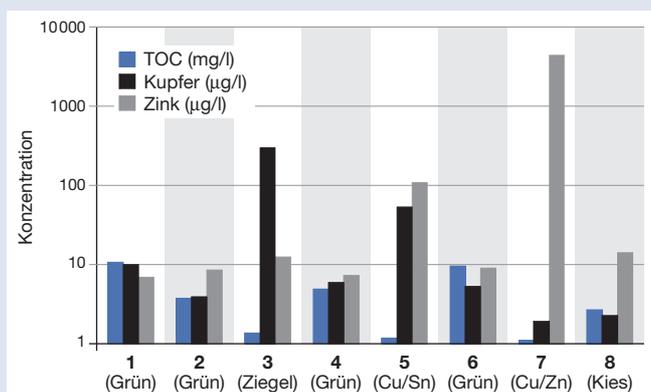


Abb. 2: Mittlere Kupfer, Zink und TOC-Konzentrationen im Ablauf der untersuchten Modelldächer. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen.



Abb. 3: Anschluss der Versuchsanlage an das Strassenabwasser

lierbahnen für Flachdächer verwendet wird. Es löst sich erst, nachdem das Dach genügend befeuchtet ist (Abb. 4).

Auswirkungen der neuen Regenwasserentsorgung

Die neuen Abflusswege für Regenwässer sind heute klar in schweizerischen Wegleitungen und Richtlinien vorgegeben. Die Prioritäten sind wie folgt gesetzt:

1. örtliche Versickerung, 2. Direkteinleitung in ein Oberflächengewässer und erst 3. Einleitung in die Mischkanalisation. Überdies gewinnt auch die Nutzung des Regenwassers zunehmend an Interesse [4].

Doch auf welchem Weg auch immer das Regenwasser abgeleitet oder einer Nutzung zugeführt wird, die darin enthaltenen Schadstoffe verursachen eine fortschreitende Verschmutzung von Böden, Sedimenten und Gewässern. Betrachtet man beispielsweise die Kupferkonzentrationen in den Sedimenten des Genfersees bei Lausanne, wird deutlich, wie sehr Abwassereinleitungen aus Misch- und Trennkanalisationen die Umwelt belasten können (Abb. 5) [5]. Bei

der Einleitstelle werden Konzentrationen von über 500 mg Kupfer pro kg Sediment gemessen. Eine parallele Untersuchung zeigt, dass auch das Plankton stark durch die Abwassereinleitungen beeinträchtigt wird [5].

Da die neue Prioritätensetzung bei der Regenwasserentsorgung meist nur bei Renovationen und Neubauten zum Zuge kommt, wird die Umstellung zum erwünschten Zustand nur nach und nach über einen Zeitraum von Dekaden wirksam vollzogen werden. Es bleibt also genügend Zeit, die Art der zu treffenden Massnahmen in innovativer Weise derart zu entwickeln, dass die Umweltbelastung durch die Entsorgung des Regenwassers auf ein Minimum herabgesetzt wird. Dabei stehen uns prinzipiell zwei unterschiedliche Wege offen, nämlich die Ursachenbekämpfung («source control») und die Errichtung von Stoffschranken («barrier systems»).

Ursachenbekämpfung

Der Schlüssel für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser liegt in der Vermeidung umweltschädlicher Emissionen. Dies kann durch gesetzliche Vorschriften, marktwirtschaftliche Anreize oder freiwilligen Verzicht geschehen und führt in der Regel zu einer langfristig wirksamen Lösung. Da sich jedoch Schadstoffe in Böden und Sedimenten nur sehr langsam anreichern, sind Auswirkungen erst über Jahrzehnte zu erwarten. Das Thema hat daher eine geringere politische Brisanz, weshalb gesetzliche Massnahmen, beispielsweise in Form von Verboten, wenig Aussicht auf Erfolg haben. Information und Ausbildung von beteiligten Akteuren hinsichtlich umweltrelevanter und ökotoxikologischer Beeinträchtigungen, Richtlinien, Vollzugshilfen zur Verwendung von Materialien beim Bau von Gebäuden, Strassen und Kraftfahrzeugen sowie die

Sensibilisierung der Bevölkerung auf bestimmte Umweltprobleme über die Medien sind Möglichkeiten, die Ursachenbekämpfung voranzutreiben. Ein erfreuliches Beispiel stellt in dieser Hinsicht die Empfehlung der Koordinationsstelle für Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes über «Metalle für Dächer und Fassaden» für Architekten und Bauherren dar, aus dem die umweltgerechte Verwendung von Metallblechen an Gebäudeaussenhüllen abgeleitet werden kann. Kupfer, Zink und Blei werden dabei als Metalle mit den höchsten Umweltbelastungen identifiziert und es werden Alternativen aufgezeigt [6].

Erstellung von Stoffschranken

Trotz vermehrter Anstrengungen zum «source control» darf die Tatsache nicht ausser Acht gelassen werden, dass grosse Mengen der unerwünschten Materialien verbaut sind und dass es Jahrzehnte dauern wird, bis sie durch umweltverträglichere Materialien ersetzt werden. In dieser Zeit wird die Umweltbelastung durch korrodierende Metalle und organische Mikroverunreinigungen stetig zunehmen. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, sind heute Barrierensysteme gefragt, die einen möglichst weitgehenden Schutz von Wasser, Böden und Sedimenten gewährleisten.

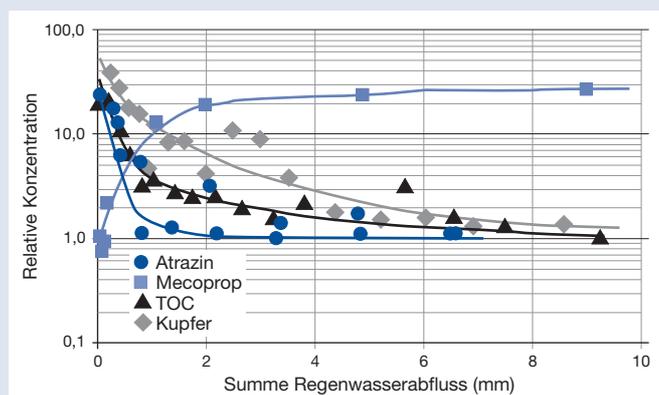


Abb. 4: «First flush»-Formen verschiedener Schadstoffe im Dachabfluss. Atrazin und Mecoprop sind Pestizide. TOC = («total organic carbon») Gesamtheit der organischen Kohlenstoffverbindungen.

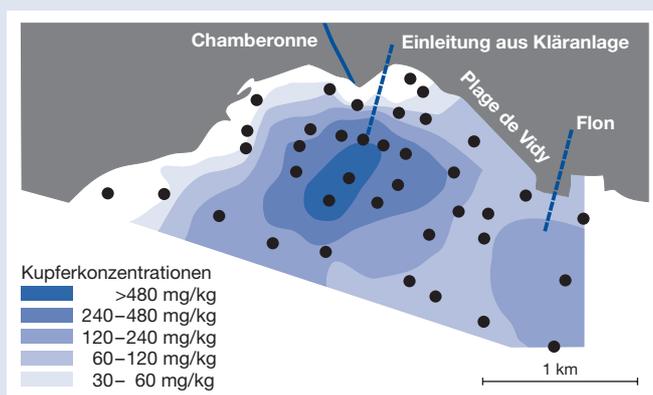


Abb. 5: Anreicherung von Kupfer in den Sedimenten des Genfersees (Bucht von Lausanne) infolge von Abwassereinleitungen. Der Flon wird unterirdisch in den Genfersee geführt.

Der Aufbau von Schranken für den Transport bestimmter Schadstoffe ist eine technische Möglichkeit, Stoffe abzulenken, abzutrennen oder aufzukonzentrieren. Allerdings erreichen Barriersysteme nie eine 100%ige Elimination der Stoffe. Gegenwärtig werden die Versickerung über natürliche Böden und die Filtrierung über künstliche granuliert Adsorbentien als Barriersysteme vorgeschlagen.

Natürliche Bodenpassage: Natürliche Böden mit ausreichender Durchlässigkeit weisen gute Eigenschaften zum Rückhalt von Schadstoffen auf. Das Bodenmaterial ist häufig vor Ort vorhanden und kann in Versickerungsanlagen eingesetzt werden. Zahlreiche Untersuchungen weisen nach, dass relevante Schadstoffe meist in den ersten 30–50 cm zurückgehalten werden. Da sie nicht abbaubar sind, werden sie über lange Zeiträume dort angereichert. Es kommt deshalb bei der Bodenpassage über kurz oder lang zu einer Überschreitung von Richt- und Grenzwerten der Bodenschutz- und Abfallgesetzgebung. Der Nachteil der Bodenpassage ist, dass ein natürliches Gut zum Stoffrückhalt verwendet und zum Sondermüll umgewandelt wird. Eine Bodenbehandlung oder die Deponie solcher Böden wird spätestens beim Rückbau solcher Anlagen aktuell.

Künstliche Adsorber: Der Einsatz spezieller Adsorbentien hat den Vorteil, dass dank

wesentlich höherer Rückhaltekapazitäten das verschmutzte Volumen verringert werden kann und ein noch besserer Wirkungsgrad als bei Böden erreicht wird. Verschiedene Labor- und Pilotstudien der EAWAG sowie erste Grossanlagen bestätigen die Tauglichkeit von Adsorbentien [7]. Unter verschiedenen getesteten Adsorbentien hat sich granuliertes Eisenhydroxid als besonders effizientes Medium für die Abtrennung von Schwermetallen erwiesen (Abb. 6). Die erreichbaren Anreicherungen sind etwa 10-mal höher als in natürlichen Böden, was schliesslich in einem entsprechend geringeren Volumen bei der Entsorgung resultiert.

Aufgrund der hervorragenden Leistung werden in den Richtlinien des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA für Dächer mit mehr als 50 m² bzw. 500 m² Kupfer-/Zinkflächen Adsorbentien verlangt, wenn das Dachwasser versickert bzw. direkt in ein Gewässer eingeleitet werden soll [2].

Umgebungsgestaltung mit Regenwasser

Bisher wurden Regenwasserabflüsse möglichst unsichtbar gestaltet. Heute sind Architekten und Bauherren aufgerufen, das Regenwasser in eine so genannte «blau-grüne Umgebungsgestaltung» mit einzubeziehen. Die neuen Abflusssysteme für Regenwasser können derart konzipiert werden, dass die erwünschten Aufgaben wie Retention, Rückhalt von Schadstoffen, Versickerung oder Direkteinleitung in kreativer Weise miteinander kombiniert und in ästhetischer Art in die Umgebung der Siedlungen integriert werden. Gründächer, offene Gerinne, Sickerstreifen, Teiche, Schilfbeete und andere bepflanzte Einheiten sind Gestaltungselemente, die den Weg des Regenwassers bis zur Versickerung, Direkteinleitung oder Nutzung begleiten [8, 9].

Herausforderung für Ingenieure, Wissenschaftler und Erfinder

Die Umsetzung der neuen Ideen der Regenwasserentsorgung wird Jahrzehnte dauern. Die Erneuerung der Regenwasserentsorgung kann als Teil einer wesentlich umfassenderen Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft betrachtet werden, in der Veränderungen im Bereich der Wasserversorgung und der Schmutzwasserentsorgung parallel erfolgen. Auffallend dabei ist die Separierung von Wasserströmen in und aus Siedlungen entsprechend ihrer Qualität. Dualsysteme auf der Versorgungsseite (Trinkwasser und Brauchwasser getrennt) und die mehrfache Aufspaltung der

Abwasserströme in Grau- und Schwarzwasser, die Urinseparierung, das Nährstoffmanagement an der Quelle sowie Trockentoiletten und andere Systeme der Haustechnik werden gegenwärtig in Wissenschaft und Praxis intensiv untersucht. Die neuen Konzepte der Siedlungswasserwirtschaft stellen eine Herausforderung für Ingenieure, Wissenschaftler und Erfinder dar, sich am Studium und der Einführung innovativer Technologien und Lösungen zu beteiligen. Es ist damit die Hoffnung verbunden, dass die Siedlungswasserwirtschaft der Zukunft ihre Aufgaben mit einer erheblichen Steigerung der Nachhaltigkeit zu erfüllen vermag.



Markus Boller, Ingenieur, leitet die Abteilung «Siedlungswasserwirtschaft». Er ist Titularprofessor und Dozent für Wasserversorgung und Wassertechnologie an der ETH Zürich. Forschungstätigkeiten auf den Gebieten Wasserversorgung, Meteorwasserentsorgung und Nährstoffrecycling.

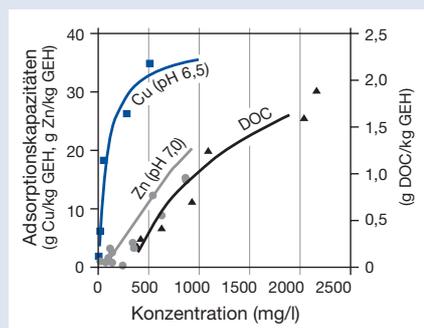


Abb. 6: Adsorptionsisothermen für Kupfer, Zink und DOC an granuliertem Eisenhydroxid (GEH). DOC = («dissolved organic carbon») Gesamtheit der gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen.

- [1] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2002): Wegleitung – Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen. BUWAL, Bern, 57 S.
- [2] Verband Schweizer Abwasser und Gewässerschutzfachleute VSA (2002): Richtlinie zur «Regenwasserentsorgung». VSA, Zürich, 120 S.
- [3] Boller M. (1998): Regenwasser auf neuen Wegen. EAWAG news 44, 6–11.
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2003): Regenwasser richtig nutzen. BUWAL, Bern, 15 S.
- [5] Rossi L., Loizeau J.-L., Wildi W. (2003): Contamination and toxicity of lake sediments due to urban stormwater pollution. SETAC Europe, 13th Annual Meeting, Hamburg Germany. Data from: Institut Forel (1996). Assainissement de la baie de Vidy: Qualité des sédiments, impact de la station d'épuration. Genève, Université de Genève, Institut Forel: 42.
- [6] Koordination für Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes KBOB (2001): Metalle für Dächer und Fassaden, Empfehlung nachhaltiges Bauen. KBOB, Bern, 10 S.
- [7] Steiner M. (2002): Kupferadsorption an granuliertem Eisenhydroxid, Dissertation, ETHZ/EAWAG, 157 S., im Druck.
- [8] Gewässerschutzamt des Kantons Bern GSA (1999): Versickerung und Retention von Regenwasser. GSA, Kanton Bern.
- [9] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2000): Wohin mit dem Regenwasser? – Beispiele aus der Praxis, BUWAL, Bern, 59 S.
- [10] Xanthopoulos C., Hahn H. (1995): Schadstoffe im Regenwasserabfluss III. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, 537 S.

Wie dicht ist unser Kanalnetz?

Städtische Kanalnetze sind ständigen Belastungen durch Verkehr und Bodenbewegungen ausgesetzt. In Kombination mit der natürlichen Ermüdung des Materials entstehen kostspielige Schäden an der unterirdischen Infrastruktur, die die Exfiltration von Abwasser sowie die Infiltration von Grundwasser zur Folge haben. Die EAWAG entwickelt zurzeit neue Methoden, die es ermöglichen, diese unerwünschten Prozesse mit künstlichen und natürlichen Tracern zu quantifizieren. Die Informationen über das Ausmass von Ex- und Infiltration sollen eine effiziente Sanierungsplanung ermöglichen.

Obwohl städtische Kanalnetze eine hohe Lebensdauer haben, entstehen mit der Zeit schadhafte Stellen, so dass die Systeme nicht mehr wasserdicht sind. Treten Leckstellen im Bereich des Grundwassers auf, infiltriert sauberes Grundwasser in die Kanalisation. Liegen solche Schäden über dem Grundwasserspiegel, versickert Abwasser in den umliegenden Boden.

Die Exfiltration von Abwasser aus undichten Kanalnetzen wird als ernst zu nehmende Gefährdung für Mensch und Umwelt eingestuft, weil eine direkte Trinkwassergefährdung entstehen kann [1]. Die Infiltration von Grundwasser ist ebenfalls problematisch, denn damit wird das Abwasser verdünnt und die Kläranlage hydraulisch unnötig belastet. Beide Prozesse werden in der Regel erst als Problem wahrgenommen, wenn sie beträchtliche Ausmasse annehmen. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Kanalisationen im Untergrund verlegt sind und

die Prozesse «unsichtbar» ablaufen. Ausserdem sind die traditionellen Messmethoden aufwändig und liefern relativ unsichere Ergebnisse (siehe Kasten).

Aus diesen Gründen erarbeitet die EAWAG derzeit neue Methoden zur Bestimmung des in- und exfiltrierenden Wassers. Dies geschieht im Rahmen des Anfang 2001 gestarteten europäischen Forschungsprojekts APUSS («Assessment of the Performance of Urban Sewer Systems»), das darauf abzielt, die Funktionstüchtigkeit städtischer Kanalsysteme anhand der Schlüsselprozesse Infiltration und Exfiltration zu beurteilen. Mit Hilfe der dabei entwickelten Methoden soll es später möglich sein, effizientere Sanierungskonzepte für städtische Kanalisationen zu erarbeiten.

Die neuen Methoden beruhen auf dem Einsatz von natürlichen und künstlichen Tracern (siehe Kasten S. 30): Über die Zu- oder Abnahme der Tracer wird die relative Menge des in die Kanalisation zufließenden oder aus der Kanalisation abfließenden Wassers bestimmt.

Exfiltrationsmessungen mit künstlichen Tracern

Bei der Methode zur Messung der Exfiltration werden künstliche Tracer verwendet, die dem Abwasser beigefügt werden (siehe Kasten S. 30). Ist das Kanalnetz undicht, wird mit dem versickernden Abwasser auch ein Teil des Tracers verloren gehen. Dieser Verlust kann in direkte Beziehung zur Exfiltration gesetzt werden, d.h. wenn in einer Kanalstrecke 10% des markierten Abwas-

serters versickern, gehen auch 10% des Tracers verloren [2]. Wesentliche Prinzipien der Methode sind (Abb. 1):

- Der Tracer wird an zwei Punkten, zu Beginn (Indikatorsignal) und am Ende der Untersuchungsstrecke (Referenzsignal), zudosiert. Das Indikatorsignal wird durch die Exfiltration in der Untersuchungsstrecke verringert und zeigt an, ob Exfiltration auftritt oder nicht. Das Referenzsignal wird nicht durch die Exfiltration beeinflusst, es dient als Referenz, um die Verringerung des Indikatorsignals zu quantifizieren. Wichtig ist, dass Tracer und Abwasser vollständig durchmischt sind.

- Wenn die Tracer stossartig zugegeben werden, kann eine einzige Substanz verwendet werden, weil sich an der Messstelle

Traditionelle Messmethoden

Wie viel Abwasser exfiltriert, wird in der Regel anhand von Dichtigkeitsprüfungen mit Wasser oder Luft abgeschätzt, die jedoch sehr kostspielig sind [3]. Ausserdem geben sie lediglich Aufschluss über die Exfiltration an individuellen Schadstellen, da die Extrapolation der Messwerte über ein ganzes Netz zu unsicher ist. Eine umfassende Bestimmung der exfiltrierenden Abwassermenge, die für eine effiziente Sanierungsplanung herangezogen werden könnte, ist deshalb mit den klassischen Methoden nicht praktikabel.

Um die Infiltration von Grundwasser zu bestimmen, werden traditionell einfache Durchflussmessungen im Kanalnetz durchgeführt [4]. Dabei geht man von der Annahme aus, dass zur Zeit des geringsten Durchflusses – meist in der Nacht von Sonntag auf Montag – kein Schmutzwasser, sondern nur noch so genanntes sauberes Fremdwasser im Kanal fliesst. Allerdings wird ihre Anwendung in der heutigen Zeit immer fragwürdiger: Einerseits werden Wasser verbrauchende Geräte, um Kosten zu sparen, auch von Privathaushalten verstärkt in den Nachtstunden betrieben. Andererseits dehnen sich die Kanalnetze in den wachsenden Ballungsräumen immer weiter aus. In einigen Abschnitten der Kanalisation fliesst so gegebenenfalls zu jeder Tages- und Nachtzeit Schmutzwasser, weil die Abwasserwellen aus den unterschiedlich weit entlegenen Stadtteilen dort zeitlich versetzt eintreffen.

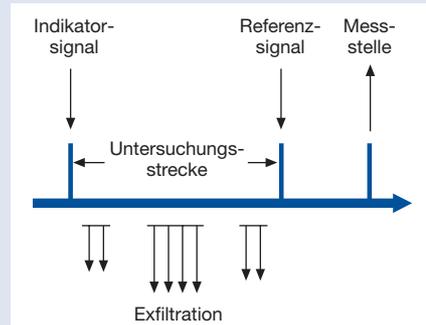


Abb.1: Schematischer Aufbau eines Experiments zur Quantifizierung der Exfiltration.

Künstliche und natürliche Tracer

Künstliche Tracer, z.B. einfache oder fluo-reszierende Farbstoffe, Partikel, Chlorid in Form von Natriumchlorid oder Lithium in Form von Lithiumchlorid, sind Stoffe, die man dem Wasser an einer Stelle zugibt und deren Vorkommen an einer zweiten Stelle gemessen werden. Sie sollten:

- ein möglichst geringes natürliches Vorkommen haben,
- noch in geringsten Konzentrationen nachweisbar sein,
- sich nicht an andere Stoffe binden,
- nicht toxisch sein,
- in Wasser gut löslich und mischbar sein,
- kostengünstig in der Anwendung sein.

Natürliche Tracer sind spezifische Eigenschaften des lokalen Trink-, Grund- oder Abwassers, z.B. deren stabile Isotopenzusammensetzung, mit denen man die einzelnen Wassertypen voneinander unterscheiden kann.

pulsartige Tracerdurchgangskurven ergeben (Abb. 2). Die Messungen werden direkt im Abwasserstrom mit so genannten *In-line*-Sonden durchgeführt, die eine hohe zeitliche Auflösung ermöglichen. Durch die hohe Dynamik des Messsignals wird eine Unterscheidung von Indikatorpuls, Referenzpuls und dem natürlichen Hintergrund in einer Messung möglich. Bei einer kontinuierlichen Zugabe der Tracer müssten hingegen zwei verschiedene Substanzen zudosiert werden, was einen zweifachen Messfehler zur Folge hätte.

■ Die Zugabe des Tracers an der Indikator- und an der Referenzstelle erfolgt zeitlich versetzt und zwar derart, dass die beiden Pulse gemeinsam an der Messstelle ankommen und sich die gemessenen Peaks überlappen (Abb. 2). Dies hat den Vorteil, dass Fehlerquellen (z.B. Veränderungen in

der Abwasserzusammensetzung, Fehlfunktion des Messgerätes) für beide Tracersignale in gleichem Mass gelten und sich somit eliminieren.

■ Da bekannt ist, wieviel Tracer an der Indikatorstelle zugegeben wurde, kann anhand der Fläche unter dem Referenzsignal geschätzt werden, wie gross die Fläche unter dem Indikatorsignal sein sollte, falls kein Abwasser versickert ist. Vergleicht man nun das tatsächlich gemessene Indikatorsignal mit dem berechneten Indikatorsignal, kann eine Aussage darüber gemacht werden, ob die Kanalisation im untersuchten Bereich dicht ist oder nicht.

NaCl als Exfiltrationstracer

Abbildung 2 zeigt ein typisches Experiment, bei dem NaCl als Salztracer verwendet wurde. Es wurden Leitfähigkeitssonden eingesetzt, die indirekt die NaCl-Konzentration im Wasser messen. Im vorgestellten Experiment ist die Untersuchungsstrecke 285 m lang, der mittlere Abfluss bei Trockenwetter beträgt 25 l/s, die mittlere natürliche Hintergrundkonzentration der Leitfähigkeit beträgt 0,8 mS/cm; generell sollte eher über lange Distanzen (bis hin zu mehreren Kilometern) gemessen werden, da so möglichst viele potenzielle Leckagen erfasst werden. Vor dem Start des Experiments sollte der Durchfluss und die Leitfähigkeit des Abwassers über zwei Tage hinweg beobachtet werden. Danach richtet sich, wie viel NaCl an den beiden Zugabestellen zudosiert wird. Bei dem vorgestellten Experiment wurden 1,9 kg NaCl an der Indikatorstelle zugegeben und $3 \times 0,4$ kg NaCl ca. 10 Minuten versetzt an der Referenzstelle. Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass die Kanalisation im untersuchten Bereich nicht undicht war.

Infiltrationsmessungen mit natürlichen Tracern

Zur Quantifizierung der Infiltration ist der Einsatz von künstlichen Tracern nicht möglich. Die homogene Markierung ganzer Grundwasserleiter ist praktisch nicht durchführbar und zudem aus Umweltschutzgründen unerwünscht. Vielmehr werden spezifische Eigenschaften des lokalen Trink-, Grund- und Abwassers als natürliche Mischung- oder Verdünnungstracer genutzt (siehe Kasten).

Direkte natürliche Tracer können dabei allerdings nur in Ausnahmefällen gefunden werden, da im Abwasser generell eine Vielzahl von Stoffen als Teil der Verschmutzung vorhanden ist. Diese Stoffkonzentrationen schwanken im Tagesverlauf stark und überdecken so das natürliche Tracersignal. Ein

Beispiel für ein günstiges Tracersystem ist hingegen die Isotopenzusammensetzung des Wassers. Sie wird unter anderem bestimmt durch die topographische Höhe, in der Grund- oder Oberflächenwässer durch Niederschläge neu gebildet werden. Diese Methode kann in speziellen Fällen angewendet werden, z.B. dann, wenn eine Gemeinde Trinkwasser aus einem höher oder tiefer gelegenen hydrologischen Einzugsgebiet nutzt. Dann ergeben sich deutliche Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung des Trink-, Ab- und Grundwassers, die eine Bestimmung des Fremdwasseranteils ermöglichen.

Für den allgemeinen Anwendungsbereich scheint uns eine andere Methode aussichtsreicher: Sie bestimmt den Anteil des infiltrierten Wassers durch eine kombinierte Analyse des zeitlichen Verlaufes der Schmutzstoffkonzentrationen und der Abflussganglinie. Ein geeigneter einfacher Summenparameter zur Charakterisierung der Schmutzstoffkonzentration ist zum Beispiel der chemische Sauerstoffbedarf (CSB). Er gibt an, wie viel Sauerstoff zur vollständigen Oxidation der im Abwasser enthaltenen organischen und anorganischen Schmutzstoffe benötigt wird. Moderne *In-line*-Sonden erlauben eine direkte Bestimmung von CSB-Äquivalenten anhand der Lichtabsorption im ultravioletten Bereich. (Abb. 3). Sie zeichnen die Werte mit hoher zeitlicher Auflösung auf und liefern so die Grundlage für eine differenzierte Daten- und Fehleranalyse.



J. Rieckermann, EAWAG

Exfiltrationsexperiment: Zugabe der NaCl-Lösung als Referenzsignal.

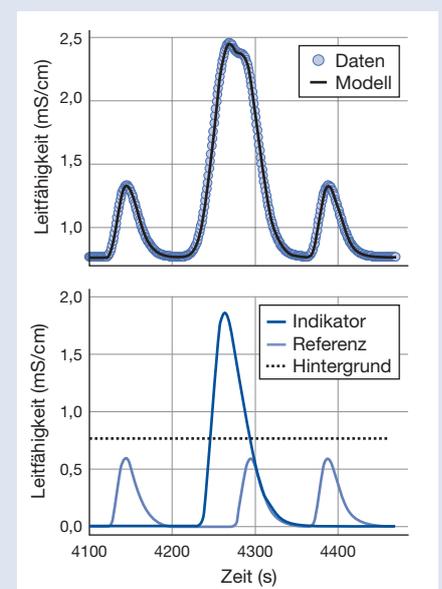


Abb. 2: Resultate eines Experiments zur Bestimmung der Exfiltration. Als künstlicher Tracer wurde NaCl verwendet. Oben: Gemessene und simulierte Tracersignale. Unten: Zerlegung des gemessenen Signals in Indikator- und Referenzsignal unter Abtrennung des natürlichen Hintergrunds.

Schmutzstoffe als Infiltrations-tracer

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse einer Messkampagne, die im Winter 2002/2003 im Zulauf einer Verbandskläranlage mit ca. 23 500 angeschlossenen Einwohnern durchgeführt wurde. Die CSB-Äquivalentkonzentrationen und die Menge des anfallenden Abwassers wurden mit einer zeitlichen Auflösung von drei Minuten registriert. Die Datenauswertung erfolgte mit Hilfe eines Modells für die Mischungsrechnung unter Verwendung beider Messdaten. Hierzu müssen zusätzliche Modellannahmen anhand von externen Informationen getroffen werden: Der CSB-Wert des infiltrierenden Fremdwassers wird als vernachlässigbar gering angenommen. Die Infiltrationsmenge wird in einen konstanten Basisabfluss und einen im Zeitverlauf exponentiell abnehmenden Zwischenabfluss unterteilt. Im hier gezeigten einfachsten Fall wird zudem vorausgesetzt, dass die durchschnittliche CSB-Konzentration im eigentlichen Schmutzwasseranteil annähernd konstant ist. Die Variation der CSB-Konzentration im untersuchten Abwasser ergibt sich dann aus dem Tagesgang des Schmutzwasseranfalls (24-h-Rhythmus) und dem sich nur langsam ändernden Fremdwasserzufluss (exponentielle Abnahme nach einer niederschlagsreichen Phase). Ein kurzes Regenereignis am 26.12.2002 (sprunghafte Zunahme des Abwasseranfalls zur Mittagszeit) wird von dem Modell hingegen nicht erfasst.

Sind die Methoden praxistauglich?

Damit die Methode zur Messung der Exfiltration tatsächlich in den unterschiedlichsten Kanalsystemen eingesetzt werden kann, erarbeiten wir derzeit eine methodische Wegleitung. Sie soll es ermöglichen, die güns-

tigste Kombination von Tracer, Messtechnik und Dosierungsprotokoll zu finden, um in der Praxis ein möglichst optimales Experiment durchführen zu können. Die Auswertung unserer Feldexperimente lässt darauf schliessen, dass die Detektionsgrenze für die Exfiltration zurzeit bei ca. 10% liegt. Da in der Regel mit sehr geringen Abwasserverlusten von weniger als 5% zu rechnen ist, muss die Methode eine höhere Genauigkeit aufweisen, um für die Praxis relevant zu sein.

Ob die von uns vorgeschlagene Methode zur Messung der Infiltration dem praktischen Anwender einen Informationsgewinn im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bietet, steht und fällt mit der Zulässigkeit der getroffenen Modellannahmen. Um die angestrebte Genauigkeit von etwa 10 bis 20% zu erreichen, bedarf es zudem genauen und präzisen Messungen von Schmutzstoffkonzentrationen und Durchfluss. Zur weiteren Validierung werden wir unseren Ansatz mit den Ergebnissen der Isotopenmethode vergleichen.

Beide Methoden werden zurzeit im Rahmen des Projekts APUSS in unterschiedlichen Ländern und an verschiedenen Kanalisationssystemen erprobt.

Ex- und Infiltration als «Benchmarking»-Instrumente

Könnten sich die Parameter Exfiltration und Infiltration national oder international als Indikatoren etablieren, würde dies ein «Benchmarking» von Entwässerungsnetzen ermöglichen. Eine vergleichende Bewertung des strukturellen Zustandes verschiedener Kanalnetze ist bislang äusserst schwierig. Zum einen dauert die Bestandsaufnahme eines gesamten Netzes mit der klassischen Kamerabefahrung in der Regel Jahre. Zum anderen ist die Klassifizierung der Schadensfälle je nach verwendeter Technik und

ausführender Person nicht einheitlich und deshalb nur bedingt vergleichbar. Ein objektiver Vergleich von verschiedenen Kanalnetzen oder Betriebsstrategien ist deshalb erst möglich, wenn Verfahren vorhanden sind, die in akzeptabler Zeit reproduzierbare Ergebnisse liefern. Ob unsere Methoden in dieser Beziehung Abhilfe schaffen können, wird aber vor allem von der erzielbaren Genauigkeit abhängen.



Jörg Rieckermann, Ingenieur, beschäftigt sich im Rahmen seiner Dissertation in der Abteilung «Ingenieurwissenschaften» mit der Entwicklung einer Methode zur Messung der Exfiltration mit künstlichen Tracern.

Koautoren: Oliver Kracht, Willi Gujer

- [1] Bishop P.K., Misstear B.D., White M., Harding N.J. (1998): Impacts of sewers on groundwater quality. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management* 12, 216–223.
- [2] Rieckermann J., Gujer W. (2002): Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. *Proceedings of the International Conference on «Sewer Operation and Maintenance 2002»*. Bradford, UK.
- [3] Stein D. (1999): *Instandhaltung von Kanalisationen*. Ernst & Sohn, Berlin, 948 S.
- [4] Schweizer Bundesamt für Umweltschutz (1984): *Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisationen und Kläranlagen*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern, 51 S.

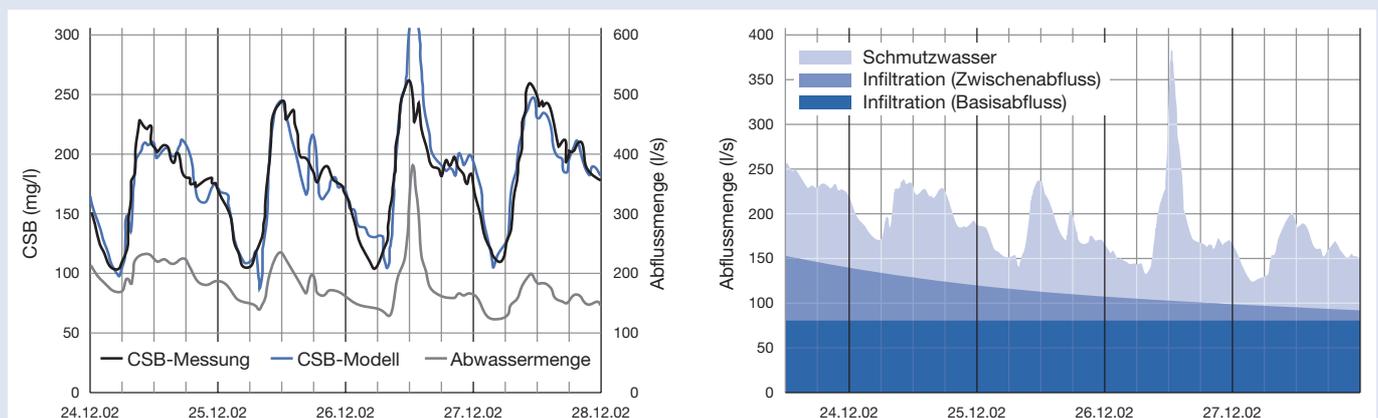


Abb. 3: Resultate einer Messkampagne zur Bestimmung der Infiltration. Als natürlicher Tracer wurde der chemische Sauerstoffbedarf (= CSB) gemessen. Links: Vergleich der CSB-Messungen mit Modellergebnissen. Rechts: Identifikation verschiedener Fremdwasseranteile. Der Fremdwasseranteil machte in diesem Bereich der Kanalisation im Mittel etwa 60% des gesamten Abwasserflusses aus.

Management von Abwasseranlagen auf dem Prüfstand

2 Milliarden Tonnen Abwasser werden pro Jahr aus den Siedlungen abgeleitet, gereinigt und in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt. Damit diese enorme Abwassermenge bewältigt werden kann, ist ein reibungsloses Zusammenspiel der technischen und organisatorischen Prozesse notwendig. Schwachstellen in den organisatorischen Abläufen sind daher nicht nur wirtschaftlich relevant, sondern können auch ein bedeutendes Sicherheitsrisiko darstellen. Deshalb sollte die Bewertung und Optimierung organisatorischer Prozesse einen festen Platz in der Betriebsführung erhalten. Mit den an der EAWAG neu entwickelten Verfahren zur Selbstbewertung und Prozessoptimierung ist eine umfassende Analyse und Verbesserung aller Prozessabläufe möglich.

Die Abwasserentsorgung hat heute nicht mehr den Stellenwert in der Gesellschaft, den sie noch vor einigen Jahrzehnten hatte: Die Probleme in den Gewässern scheinen gelöst, die Siedlungshygiene gewährleistet und die Trinkwasserqualität entspricht den gesetzlichen Anforderungen. Der Bürger erwartet heute eine hohe Sicherheit vor Störfällen, einen transparenten Umgang mit öffentlichen Mitteln und eine demokratische Mitbestimmung bei weitreichenden Entscheidungen (Tab. 1). Als Kunde wünscht der Bürger tiefe Anschluss- und Abwassergebühren, keine Einschränkungen der persönlichen Freiheiten (7x24 h Verfügbarkeit) und rasche, unkomplizierte Anschlussbewilligungsverfahren. Der Druck auf die Abwasserentsorgungsbetriebe, das Beste

mit den zu Verfügung stehenden Mitteln herauszuholen, steigt damit laufend an.

Organisatorische Defizite

Dem stehen aus heutiger Sicht einige organisatorische Defizite entgegen, die einen wirtschaftlichen Betrieb sowie den Unterhalt und die Werterhalt der Abwasserreinigungsanlagen langfristig erschweren. Solche Defizite sind beispielsweise eine funktionale Arbeitsteilung, eine starke operative Übersteuerung bei gleichzeitiger strategischer Untersteuerung und die unklare Zuteilung von Verantwortungsbereichen. Als Folge davon sind organisatorische Prozesse durch viele interne Schnittstellen, einen hohen Koordinationsbedarf, lange Bearbeitungszeiten oder eine starke Belas-

tung der Führungskräfte gekennzeichnet. Hinzu kommt, dass notwendige Entscheidungsgrundlagen oft unvollständig, von ungenügender Qualität oder nicht verfügbar sind. Dies hängt auch mit der Aufgabenzuteilung zusammen, denn wenn unklar ist, wer für welche Aufgaben zuständig ist, ist auch unklar, wer welche Informationen benötigt.

Selten finden sich in der Abwasserentsorgung explizite Zielvorgaben, welche über die einzuhaltenden Einleitbedingungen hinausgehen. Nach einer Umfrage des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA [1] beschäftigen sich 54% der befragten schweizerischen Gemeinden und Zweckverbände überhaupt nicht oder erst in Ansätzen mit der Einführung einer weitergehenden Zielorientierung oder mit Mehrjahresplänen. Noch schlechter sieht das Resultat bei der Auseinandersetzung mit dem Leitbild aus: Nur gerade 25% der Befragten gaben an, sich mit grundsätzlichen Fragen zur eigenen Organisation und der zukünftigen Entwicklung auseinander zu setzen (Abb. 1). Konsequenzen aus mangelnden Zielvorgaben und entsprechenden Kontrollinstrumenten sind z.B. über- oder untertriebene Vorstellungen von Qualität, mangelhafte Vorbereitung auf unvorhergesehene Ereignisse sowie der Ausbau von Machtpositionen

Anspruchsgruppe	Interessen
Bürger	<ul style="list-style-type: none"> Saubere Gewässer und einwandfreies Trinkwasser Demokratische Mitbestimmung Sicherheit vor Störfällen Geringe Emissionen (z.B. Lärm, Gestank) Information und Transparenz
Kunden	<ul style="list-style-type: none"> Günstige Anschluss- und Abwassergebühren
Industrie/Grosskunden («Key Account»)	<ul style="list-style-type: none"> Betriebswirtschaftliche Vorteile (z.B. Liquidität) Flexible Vertragsbedingungen Rasche, unkomplizierte Bewilligungsverfahren
Private/Gewerbe (Grundstücks- und Hausbesitzer, Abwasserproduzenten)	<ul style="list-style-type: none"> Günstige Anschluss- und Abwassergebühren Rasche, unkomplizierte Bewilligungsverfahren Keine Einschränkung der persönlichen Freiheiten
Kantonale Fachstellen	<ul style="list-style-type: none"> Einhalten von Rechtsvorschriften und Normen Vernünftiger Kontrollaufwand Akzeptanz für angeordnete Massnahmen

Tab. 1: Ausgewählte Anspruchsgruppen der Abwasserentsorgung und ihre Interessen [2].

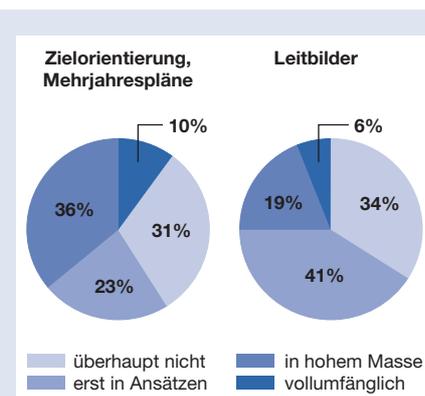


Abb. 1: Beschäftigung mit Zielorientierung oder Mehrjahresplänen sowie mit Leitbildern in 50 schweizerischen Gemeinden und Zweckverbänden [1].

bezogen auf die Höhe des verwalteten Budgets, die Anzahl Mitarbeiter oder den Anlagenwert.

Veränderungsbedarf erfassen

Organisatorische Defizite zu identifizieren, ist für die einzelnen Unternehmen nicht trivial. Erschwerend hinzu kommt, dass die mit der Abwasserreinigung verbundenen Dienstleistungen durch verschiedene Monopole «geschützt» werden. Dazu gehören u.a. das Polizeimonopol im Bewilligungswesen, das natürliche Monopol durch die Leitungsgebundenheit und das unmittelbar rechtliche Monopol durch die Anschlusspflicht. Dies hat den Nachteil, dass die Abwasserreinigung keinem funktionierenden Markt unterliegt und damit die Selbstregulierungsmechanismen, die zu mehr Effizienz und Effektivität in der Leistungserstellung führen könnten, nicht wirksam sind.

Dennoch gibt es verschiedenen Parameter mit denen einzelne Leistungen einer Abwasserentsorgungsanlage beurteilt werden können:

Kennzahlenvergleich: Durch den Vergleich von Kennzahlen mit anderen Organisationen können die Ergebnisse der Leistungsprozesse verglichen werden (z.B. An-

schluss- und Betriebsgebühren). Einige nationale und internationale Projekte haben es sich zur Aufgabe gemacht, verlässliche Kennzahlen für die Abwasserentsorgung zu ermitteln. Erfahrungen zeigen jedoch, dass es schwierig ist, Kennzahlen für Vergleiche zu erhalten, die unterschiedliche Rahmenbedingungen und Eigenheiten, wie z.B. Reinigungsanforderungen, Entwässerungssystem, Gebietsgrösse und Topographie und Rechnungslegung, korrekt berücksichtigen.

Prozess-Benchmarking: Beim Prozess-Benchmarking werden die eigenen Leistungen verglichen mit denselben Leistungen der besten anderen Anbieter. Dies gibt Aufschluss über die Leistungsfähigkeit einzelner Prozesse und deren Kosten. Über einen konstruktiven Vergleich der Schwachstellen mit anderen Organisationen liefert das Benchmarking ausserdem wertvolle Erkenntnisse zu geeigneten Verbesserungsmassnahmen.

Kundenbefragungen und Bürgerbeschwerden: Ein geregeltes Beschwerdemanagement, z.B. über Verkehrsbehinderungen, unangenehme Gerüche oder unfreundliche Auskünfte, ist eine wertvolle Quelle, um Leistungsprozesse zu verbessern. Möglich sind auch laufende oder periodische Kun-

denbefragungen, z.B. im Rahmen von Bewilligungsverfahren.

Controlling: Das Controlling stellt den erzielten Leistungen die entstandenen Kosten gegenüber. Es bedingt allerdings die Definition von klaren Leistungsvorgaben und deren konsequente Kontrolle.

Mitarbeiterbefragungen und Mitarbeitergespräche: Insbesondere in grösseren Organisationen liefern Informationen über Krankheitsstand und Fluktationen verwertbare Hinweise.

Eigenüberwachung: Die Eigenüberwachung macht Angaben über die Leistung der technischen Anlagen und der aktuellen Betriebsführung.

Jeder der beschriebenen Parameter liefert einzelne Anhaltspunkte, es ist jedoch damit nicht möglich, ein umfassendes Bild der Leistungen und potenziellen organisatorischen Defizite zu bekommen.

Instrument zur Bewertung organisatorischer Prozesse

Hier wollte die EAWAG Abhilfe schaffen und hat in Zusammenarbeit mit dem VSA ein Instrument für die umfassende Bewertung aller organisatorischen Prozesse entwickelt [2]. Es orientiert sich an den wichtigsten Prozessen einer Gemeinde oder eines Zweckverbands (Abb. 2) und basiert inhaltlich auf dem Modell für den öffentlichen Dienst und soziale Einrichtungen, das von der europäischen Stiftung für Qualitätsmanagement erarbeitet wurde [3]. Dieses Modell wurde an die Aufgabenfelder und die Terminologie der Abwasserentsorgung angepasst und mit weiteren Kriterien ergänzt oder konkretisiert. Das erarbeitete Instrument berücksichtigt so die relevanten gesetzlichen Anforderungen, insbesondere die eidgenössische Gewässerschutzgesetzgebung, die Betriebsleitlinien für Abwasserreinigungsanlagen des Bundes sowie den Leitfaden für Organisation, Optimierung und Qualitätssicherung in der Abwasserentsorgung [4].

Im Sinne einer Selbstbewertung wird die Beurteilung anhand eines Fragebogens mit 250 detaillierten Fragen von den betroffenen Organisationen selbst durchgeführt. Die Fragen können zudem, sofern ein gesetzlicher Handlungsspielraum besteht, selbst gewichtet werden: Jede Frage nach dem Erfüllungsgrad ist deshalb mit einer Frage nach der Wichtigkeit für die eigene Organisation gekoppelt. So entsteht eine Matrix mit vier Feldern, in welcher jeder bewertete Prozess eingeordnet werden kann (Abb. 3).

Durch diese subjektive Gewichtung der Wichtigkeit wird nicht nur der Verände-

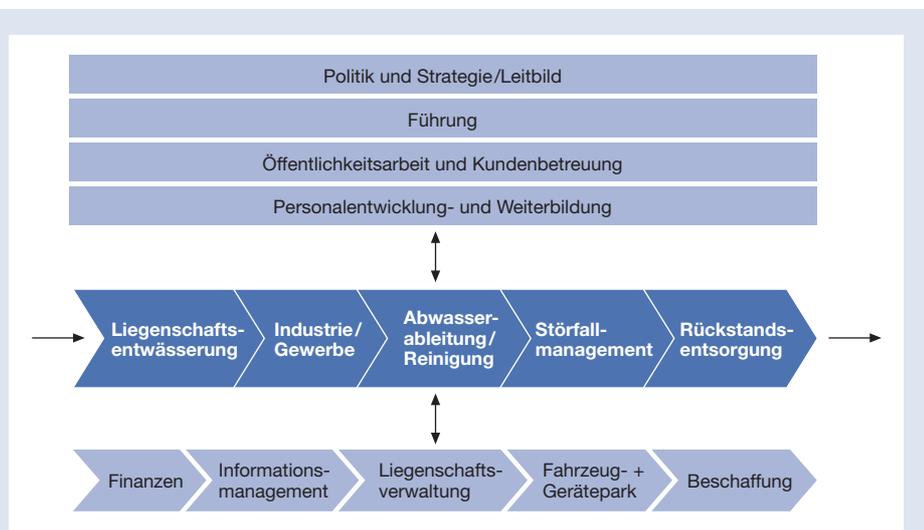


Abb. 2: Prozessmodell der Abwasserentsorgung für Gemeinden oder Zweckverbände.

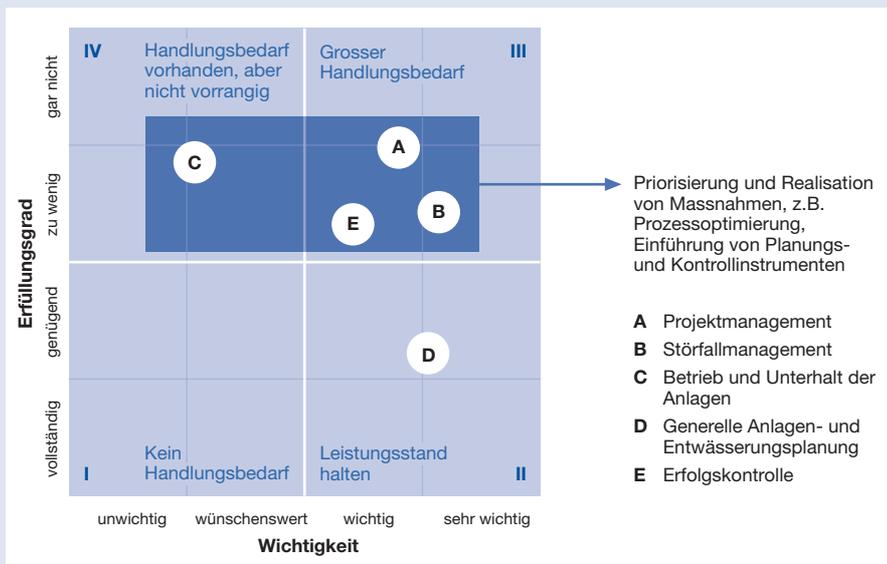


Abb. 3: Die Prioritätenmatrix als Ergebnis der Selbstbewertung.

ungsbedarf, sondern auch die Veränderungsbereitschaft festgestellt. Die Erfahrung zeigt, dass es am Anfang sinnvoll ist, Verbesserungsmaßnahmen mit einer hohen Veränderungsbereitschaft zu realisieren, um nicht gleich zu Beginn mit grossen Widerständen konfrontiert zu sein sondern um Erfahrungen zu sammeln, die dann auf andere Bereiche übertragen werden können.

Erstmalig wurde das Selbstbewertungsinstrument in der Schweizer Gemeinde Hergiswil im Kanton Nidwalden angewendet. Dort zeigte es bei mehreren Prozessen einen Handlungsbedarf auf (Abb. 3): So waren wichtige Führungsprozesse wie die Mehrjahresplanung oder die jährliche Erfolgskontrolle nur ungenügend ausgebildet. Auch zeigten sich Defizite beim Störfall- und Projektmanagement oder beim Betrieb und Unterhalt der Abwasseranlagen. Relativ gut wurde hingegen die generelle Anlagen- und Entwässerungsplanung beurteilt.

Festgestellte organisatorische Defizite – aber wie weiter?

Das Selbstbewertungsinstrument macht jedoch nur Sinn, wenn die damit erkannten Defizite auch systematisch weiter untersucht und entsprechende Verbesserungsmaßnahmen zur Prozessoptimierung anhand möglichst allgemeingültiger Zielvorgaben erarbeitet werden können. Aus diesem Grund hat die EAWAG zusätzlich zum Selbstbewertungsinstrument ein Verfahren zur Prozessoptimierung entwickelt [5]. Damit werden zunächst einmal die heutigen Tätigkeitsfolgen, Zuständigkeiten, verwendeten Informationen und Datenquellen, die verfolgten impliziten Ziele, anfallenden Kos-

ten und produzierten Leistungen und die Schnittstellen zu weiteren Prozessen analysiert. Sind die Schwachstellen eines Prozesses bekannt, gilt es abzuklären, welche Leistungen zukünftig von diesem verlangt werden. Da bis heute nur in den wenigsten Fällen verbindliche Leistungsvereinbarungen der Betriebe oder Verbände mit ihren Trägerorganisationen bestehen, stützt sich das Verfahren zur Prozessoptimierung auf exemplarisch erstellte Leistungsvereinbarungen und Prozessziele ab [5]. Dabei sind nicht nur technische Anforderungen, sondern auch rechtliche Vorgaben, finanzielle Möglichkeiten (Budgets) sowie die Forderungen von Kunden und Bürgern zu berücksichtigen.

In der Gemeinde Hergiswil konnten durch die systematische Analyse und die Vorgabe klarer Ziele detaillierte Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet und weitgehend umgesetzt werden. Für die Gemeinde bedeutete dies zwar kurzfristig grössere Anstrengungen, aber die Resultate lassen sich sehen: ■ Die Gemeinde verfügt heute über eine Leistungsvereinbarung mit den Werken, in der die zu erfüllenden Aufgaben, Ziele und Messgrössen vorgeben sind. Die Einhaltung der Leistungsvereinbarung wird vom Gemeinderat jährlich überprüft und es werden nötigenfalls entsprechende Massnahmen eingeleitet.

■ Mit einer Werk- und Arbeitsplanung können notwendige Massnahmen der Werterhaltung, die aus der generellen Anlagen- und Entwässerungsplanung resultieren, in die betriebliche Planung aufgenommen werden.

■ Die Massnahmen zur Werterhaltung können mit einem durch die Gemeinde gestal-

teten Projektmanagement realisiert werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Projektüberwachung und -begleitung gelegt wurde. Gekoppelt an Werterhaltungsmassnahmen wird die Anlagenbuchhaltung nachgeführt.

■ Störfälle, insbesondere bei Hochwasser, können zukünftig effizienter behoben und damit auch negative Auswirkungen auf die Umwelt vermindert werden.

■ Durch die Koppelung von Leistungskataster und Reinigungsplanung sowie die Ausschreibung der Aufträge unter Konkurrenzbedingungen konnten jährliche Einsparungen von rund 30% in der Kanalreinigung erzielt werden.

■ Beim Betrieb und Unterhalt der Abwasserreinigungsanlage konnten finanzielle Einsparungen von jährlich rund 13% identifiziert werden. (Diese Einsparungen sind jedoch bis jetzt noch nicht realisiert).

Hergiswil ist heute eine der wenigen Gemeinden in der Schweiz, deren Werke zur Abwasserentsorgung und Trinkwasserversorgung nach ISO 9001: 2000 zertifiziert sind. Alle realisierten Massnahmen sind in der Gemeinde bereits gut etabliert und die neuen Führungsinstrumente haben einen festen Platz im Planungssystem der Gemeinde. Die gute Akzeptanz ist auch darauf zurück zu führen, dass von Beginn weg stets alle betroffenen Mitarbeiter voll in die Projekte integriert und aktiv an der Erarbeitung von Lösungen beteiligt wurden.



Stefan Binggeli, Ingenieur, hat die beiden Verfahren zur Selbstbewertung und Prozessoptimierung im Rahmen seiner Dissertation in der Abteilung «Ingenieurwissenschaften» entwickelt. Er ist seither als selbständiger Berater tätig.

[1] Wiesmann J., Binggeli S. (2002): Unternehmensführung in den Abwasserbetrieben. Gas Wasser Abwasser 82, 451–455.

[2] Binggeli S. (2003): Leistungsprozesse der Abwasserentsorgung – Methoden und Instrumente der Bewertung und Optimierung. EAWAG und Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich, Dissertation, 230 S.

[3] EFQM – European Foundation for Quality Management (1999): Das EFQM-Modell für Excellence. Öffentlicher Dienst und soziale Einrichtungen. European Foundation for Quality Management, Brüssel, 43 S.

[4] VSA – Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (1999): Organisation, Optimierung und Qualitätssicherung von Abwasseranlagen. VSA, Zürich.

[5] Binggeli S. (2002): Prozessoptimierung in der Abwasserentsorgung. Gas Wasser Abwasser 82, 477–482.

Publikationen

Separata bitte mit dem in der Mitte eingeklebbten Talon bestellen.

- [3312] **Mettler S.** (2002): *In Situ* Iron Removal from Ground Water: Fe(II) Oxygenation and Precipitation Products in a Calcareous Aquifer. Diss. ETHZ No. 14 724, Zurich.
- [3313] **Boller M.A., Steiner M.** (2002): Diffuse Emission and Control of Copper in Urban Surface Runoff. *Water Sci. Technol.* 46 (6-7), 173-181.
- [3314] **Steiner M., Boller M.** (2002): Granulated Iron-hydroxide (GEH) for the Retention of Copper from Roof Runoff. In: «Chemical Water and Wastewater Treatment VI», H.H. Hahn, E. Hoffmann, H. Oedegaard (Eds.). IWA Publishing, London, pp. 233-242.
- [3315] **Rechberger H.** (2002): Ein Beitrag zur Bewertung des Stoffhaushaltes von Metallen. *Technikfolgeabschätzung – Theorie und Praxis* 11 (1), 25-31.
- [3316] **Rechberger H., Brunner P.H.** (2002): A New, Entropy Based Method to Support Waste and Resource Management Decisions. *Environ. Sci. Technol.* 36 (4), 809-816.
- [3317] **Odzak N., Kistler D., Xue H., Sigg L.** (2002): *In situ* Trace Metal Speciation in a Eutrophic Lake Using the Technique of Diffusion Gradients in Thin Films (DGT). *Aquatic Sci.* 64, 292-299.
- [3318] **Meierhenrich U., Thiemann W., Schubert C., Barbier B., Brack A.** (2001): Isoprenoid Enantiomers as Molecular Biomarkers in Ancient Sediments. In: «Geochemistry and the Origin of Life», A. Brack et al. (Eds.). Universal Academic Press, Tokio, pp. 269-284.
- [3319] **Ashbolt N.J., Grabow W.O.K., Snozzi M.** (2002): Indicators of Microbial Water Quality. In: «Water Quality – Guidelines, Standards and Health: Assessment of Risk and Risk Management for Water-related Infectious Disease», L. Fewtrell, J. Bartram (Eds.). IWA Publishing, London 289-316.
- [3320] **Tixier C., Singer H.P., Canonica S., Müller S.R.** (2002): Phototransformation of Triclosan in Surface Waters: A Relevant Elimination Process for this Widely Used Biocide – Laboratory Studies, Field Measurements, and Modeling. *Environ. Sci. Technol.* 36 (16), 3482-3489.
- [3321] **Rauch W., Krejci V., Gujer W.** (2002): REBEKA – a Software Tool for Planning Urban Drainage on the Basis of Predicted Impacts on Receiving Waters. *Urban Water* 4, 355-361.
- [3322] **Fux C., Boehler M., Huber P., Brunner I., Siegrist H.** (2002): Biological Treatment of Ammonium-rich Wastewater by Partial Nitrification and Subsequent Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) in a Pilot Plant. *J. Biotechnol.* 99 (3), 295-306.
- [3323] **Rieger L., Siegrist H., Winkler S., Saracevic E., Votava R., Nadler J.** (2002): *In situ* Measurement of Ammonium and Nitrate in the Activated Sludge Process. *Water Sci. Technol.* 45 (4-5), 93-100.
- [3324] **Thomann M., Rieger L., Frommhold S., Siegrist H., Gujer W.** (2002): An Efficient Monitoring Concept with Control Charts for On-line Sensors. *Water Sci. Technol.* 46 (4-5), 107-116.
- [3325] **Rauch W., Bertrand-Krajewski J.-L., Krebs P., Mark O., Schilling W., Schütze M., Vanrolleghem P.A.** (2002): Deterministic Modelling of Integrated Urban Drainage Systems. *Water Sci. Technol.* 45 (3), 81-94.
- [3326] **Huisman J.L., Gujer W.** (2002): Modelling Wastewater Transformation in Sewers Based on ASM3. *Water Sci. Technol.* 45 (6), 51-60.
- [3327] **Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H., Vavilin V.A.** (2002): The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (Adm1). *Water Sci. Technol.* 45 (10), 65-73.
- [3328] **van der Nat D.** (2002): Island dynamics and organic matter processing (Tagliamento, Italy). Diss. ETHZ No. 14 812, Zurich.
- [3329] **Bloesch J.** (2002): The River Danube – Between Conservation and Restoration. *Limnological Reports*, Internat. Assoc. for Danube Research, Vol. 34, Editura Academiei Române, Bucharest, pp. XV-XX.
- [3330] **Reinartz R., Bloesch J., Ring T., Stein H.** (2002): Sturgeons Are More than Caviar: A Plea for the Revival of Sturgeons in the Danube River (Extended Abstract). *Internat. Assoc. Danube Res.* 34, 505-516.
- [3331] **Ward J.V., Robinson C.T., Tockner K.** (2002): Applicability of Ecological Theory to Riverine Ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28, 443-450.
- [3332] **Goss K.-U., Schwarzenbach R.P.** (2002): Adsorption of a Diverse Set of Organic Vapors on Quartz, CaCO₃, and α -Al₂O₃ at Different Relative Humidities. *J. Colloid and Interface Sci.* 252, 31-41.
- [3333] **Bürgi H.R., Stadelmann P.** (2002): Alteration of Phytoplankton Structure in Lake Lucerne Due to Trophic Conditions. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 5 (1), 45-59.
- [3334] **Bloesch J.** (2001): Auf zu neuen Ufern – Forschungsaktivitäten der IAD. *Jubiläumsschrift* «25 Jahre Österreichisches Nationalkomitee der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung – Donauforschung neu». Schr. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bd. 12, Wien, S. 91-109.
- [3335] **Bloesch J.** (2002): The Danube River Basin – the Other Cradle of Europe: The Limnological Dimension. In: «Water in Europe: The Danube River – Life Line in Greater Europe», P.A. Wilderer, B. Huba, T. Kötzle (Eds.). Academia Scientiarum et Artium Europaea Vol. 34, Nr. 12. Georg Olms Verlag, Hildesheim, Zürich, New York, pp. 51-77.
- [3336] **Bloesch J.** (2002): International Association for Danube Research (IAD) – 45 Years of Limnological Engagement and Embarking on New Enterprises (Extended Abstract). 21st Conference of the Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2-6 September 2002, Bucharest, Romania. *Internat. Hydrological Programme of UNESCO. Conference Abstracts*, p. 77, and *Conference Proceedings + CD-ROM*, National Institute of Meteorology and Hydrology, Bucharest.
- [3337] **Bloesch J.** (2002): Strategies of Water Quality Monitoring in the Danube River Basin, a Review. 21st Conference of the Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2-6 Sept. 2002, Bucharest, Romania. *Internat. Hydrological Programme of UNESCO. Conference Abstracts*, p. 76, and *Conference Proceedings + CD-ROM*, National Institute of Meteorology and Hydrology, Bucharest.
- [3338] **Singer H., Müller S.R., Tixier C., Pillonel L.** (2002): Triclosan: Occurrence and Fate of a Widely Used Biocide in the Aquatic Environment: Field Measurements in Wastewater Treatment Plants, Surface Waters, and Lake Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 36 (23), 4998-5004.
- [3339] **Klingel F., Montangero A., Strauss M.** (2001): Nam Dinh – Planning for Improved Faecal Sludge Management and Treatment. *Vietnam Water and Sanitation Association's Yearly Conference*, Hanoi, Dec. 6-7.
- [3340] **Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Fernandez R.G., Strauss M., Montangero A.** (2002): Cotreatment of Sewage and Septage in Waste Stabilization Ponds. *Water Sci. Technol.* 45 (1), 9-15.
- [3341] **Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Kootatet T., Montangero A., Strauss M.** (2002): The Challenge of Faecal Sludge Management in Urban Areas – Strategies, Regulations and Treatment Options. *Water Sci. Technol.* 46 (10), 285-294.

Wasserstadt Zürich

Anlässlich des Jahrs des Süsswassers 2003 wurde die Stadt Zürich vom 21. Juni bis zum 20. Juli zur «Wasserstadt». Das Projekt hat die Zürcher Bevölkerung für einen sorgsamen Umgang mit der kostbaren Ressource Wasser sensibilisiert. Schwerpunkt war eine Freiluftausstellung entlang der Limmat. Der aus sieben Stationen bestehende Wasserpfad zeigte unter anderem auf, wohin der Regen in der Stadt verschwindet, woher das Zürcher Trinkwasser kommt und was in See und Fluss lebt. Eine Website mit weiterführenden Informationen, Angebote für Schulen sowie Veranstaltungen und Führungen ergänzten das Programm. Der historische Wasserstadtbummel, die Lesung

von Wassertexten in der Wasserkirche, eine Grundwasserausstellung und die Podiumsdiskussion zum Thema Wassermanagement stiessen auf reges Interesse in der Bevölkerung. Der vom Tages-Anzeiger durchgeführte Wassergeschichtenwettbewerb war mit mehr als 250 Einsendungen ein grosser Erfolg.

Getragen wurde das Gemeinschaftsprojekt «Wasserstadt» von den lokalen Akteuren AWEL, EAWAG, ERZ, ewz, WVZ und WWF, die sich im Jahr des Süsswassers nicht gegenseitig das Wasser abgraben wollten. Die gelungene Zusammenarbeit verhalf dem feuchten Element zu einer starken Präsenz in Zürich. Die Hauptsponsoren der Wasser-

TBS Identity, Zürich



stadt waren APG, Tages-Anzeiger und die Vontobel-Stiftung.

Informationen: www.wasserstadt.ch

Fischnetz: Internationales und nationales Expertenhearing

Das Projekt Fischnetz, das sich mit dem Fangrückgang von Fischen in Schweizer Gewässern beschäftigt, tritt in die Schlussphase. Ergebnisse aus rund 70 Teilprojekten und intensiven Literaturanalysen, erarbeitet

im Laufe der vergangenen 4½ Jahre, liegen vor. Im Zusammenhang mit der abschliessenden Synthese stellen sich viele Fragen: Sind die Resultate richtig bewertet und ist das massgebliche internationale Wissen adäquat berücksichtigt worden? Sind die von Fischnetz gezogenen Schlussfolgerungen überzeugend und angemessen und die vorgeschlagenen Massnahmen Erfolg versprechend? Die Projektleitung von Fischnetz diskutierte diese und weitere Fragen mit einer internationalen Expertengruppe am 21./22. August an der EAWAG in Kastanienbaum.

Basis für die Diskussion war der vorläufige Bericht zu den 12 Arbeitshypothesen, der auf die verschiedenen Faktoren (z.B. Chemikalien, Temperaturveränderungen und Lebensraumqualität) eingeht, die als Ur-

sache für den Fischfangrückgang in Betracht kommen. Die Experten bestätigten unsere Schlussfolgerungen, ergänzten sie und/oder fügten kritische Anmerkungen bei. Obwohl der Fangrückgang von nationaler Bedeutung ist, wurde klar, dass grosse lokale und regionale Unterschiede bezüglich Ausprägungen und Ursachen existieren. Die Experten unterstrichen die Bedeutung weiterführender Untersuchungen.

Am 9. September wurde ausserdem ein nationales Expertenhearing durchgeführt, bei dem die erarbeiteten Schlussfolgerungen und Massnahmenvorschläge auf ihre Konsequenzen und Umsetzungsmöglichkeiten geprüft und konkretisiert wurden. Der Schlussbericht wird Ende Januar 2004 in Bern der breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Weitere Informationen: www.fischnetz.ch



EAWAG

ICEF: Zukunft der Gewässerökosysteme

Vom 23. bis 27. März 2003 diskutierten rund 160 Wissenschaftler an der «Internationalen Konferenz zur Zukunft der Gewässerökosysteme» über die Wassersysteme der Erde. VertreterInnen aller Kontinente waren an der ETH Zürich zusammengekommen und zeigten Trends der zukünftigen Entwicklung aquatischer Ökosysteme auf. Getragen wurde die Veranstaltung von der «Foundation for Environmental Conservation FEC» und der EAWAG.

Unter den Experten bestand Konsens, dass heute praktisch alle aquatischen Ökosysteme unter Druck stehen und sich dieser zukünftig noch verstärken wird. Beispiele hierfür sind die Erhöhung der Nährstoff-

frachten, der durch Bewässerung bedingte Rückgang des Frischwassereintrags in Feuchtgebiete und küstennahe Meere sowie die Zerstörung der Habitate und deren Versalzung. Weiter wurde der Klimawandel als mögliche Ursache für den Rückgang der Korallenriffe identifiziert.

Wie ein Blick in die jüngere Vergangenheit Europas bestätigt, sind aber durchaus griffige Konzepte vorhanden, welche die negativen Trends in Zukunft brechen können. So ist seit der Stockholm-Konferenz von 1972 der Eintrag von nicht abbaubaren Chemikalien in Fliessgewässer verboten. Die Überdüngung der Seen wurde durch den Ausbau der Klärtechnik und das Verbot von Phos-

phaten in Waschmitteln eingedämmt. Breite Kreise der Bevölkerung fordern inzwischen, einen angemessenen Hochwasserschutz mit Revitalisierungsmassnahmen an Fliessgewässern zu verbinden.

Ausserdem steht bereits eine Fülle von wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Verfügung, die es ermöglichen sollte, positiven Einfluss auf die Entwicklung der Systeme zu nehmen. Es mangelt somit nicht an Wissen, sondern vielmehr am Mut zur politischen Umsetzung. Gefordert sind der Umgang mit Unsicherheiten und das schrittweise gemeinsame Vorgehen von Forschenden, Politikern und Bevölkerung – lokal und international.