

# 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 beispieslos 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].

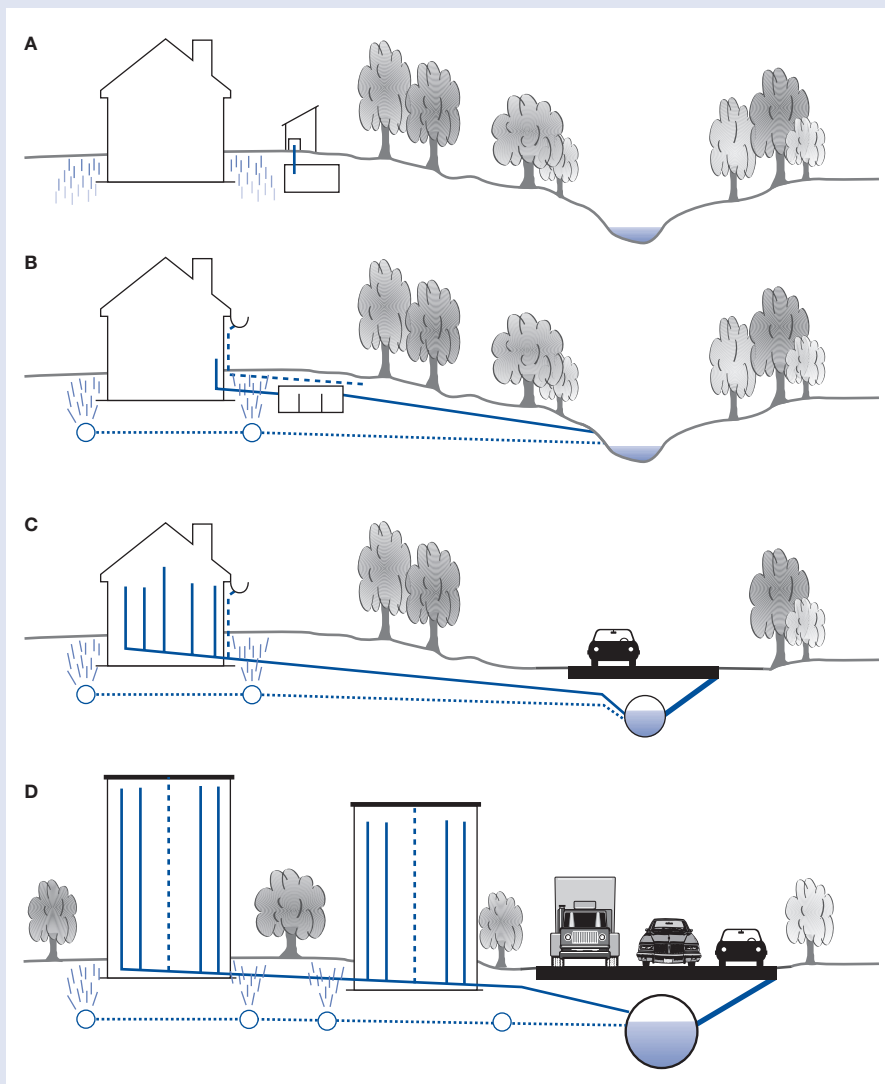


Abb. 1: Geschichtliche Entwicklung der Siedlungsentswässerung [verändert nach 1].

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 vermisch 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,  $17\alpha$ -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.

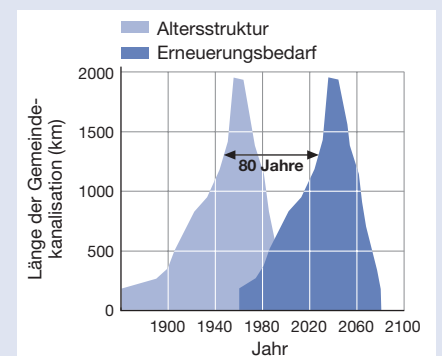


Abb. 2: Altersstruktur der Kanalisation im Kanton Bern [4].



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.