

Erschienen in: Korrespondenz Abwasser, 49. Jhrg./Nr 10 Okt. 2002

Innovative Technologien zur Abwasserbehandlung in urbanen Gebieten

Ralf Otterpohl (Hamburg) und Martin Oldenburg (Lübeck)

Zusammenfassung

Durch die Einführung von Teilstromkonzepten in der Abwasserwirtschaft lassen sich sowohl Teilströme hinsichtlich ihrer Menge und ihrer Zusammensetzung adäquat behandeln. Hierdurch können Potentiale der Wiederverwendung, sowohl zur erneuten Nutzung als Brauchwasser in unterschiedlicher Qualität als auch von Abwasserinhaltsstoffen als Dünger entwickelt werden. Dies ist insbesondere für Gebiete mit nicht ausreichendem Wasserdargebot von besonderem Interesse. Neben den grundsätzlichen Ideen der Teilstromtrennung und deren potentiellen Möglichkeiten werden beispielhaft einige Konzepte vorgestellt, die teilweise bereits in Betrieb bzw. sich im Realisierungsstadium befinden.

1. Einleitung

Die Stadt der Zukunft wird in vielen Fällen kein zentrales Kanalnetz mehr aufweisen und eine lokale Leitungswasserversorgung haben. Der Grundgedanke innovativer integrierter Wasserkonzepte beruht auf dem Prinzip der Trennung der verschiedenen Teilströme, so wie es in der industriellen Abwasserwirtschaft bereits heute üblich ist. Die sehr unterschiedlichen Charakteristika der Teilströme des kommunalen Abwassers sind in Bild 1 dargestellt. Neben den Volumen der Teilströme ist die Verteilung der einwohnerspezifischen Frachten und die Zuordnung zu den Teilströme aufgezeigt.

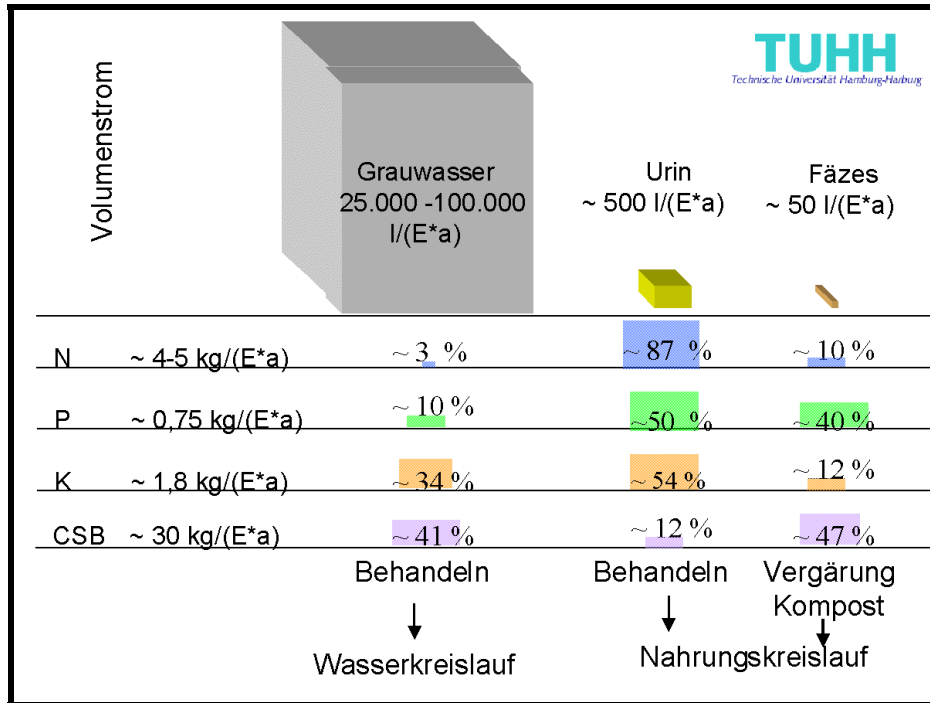


Bild 1: Charakteristika der Teilströme von Haushaltsabwasser
(aus: Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, Basel 1981,
Vol. 1, LARSEN and GUJER 1996, FITSCHEN and HAHN 1998)

Eine konsequente Trennung der Teilströme und deren adäquate Behandlung führt zu folgender Vision: Aus Grauwasser wird wieder Trinkwasser, das gefahrlos nutzbar ist; daneben sollte allerdings auch hochwertiges Trinkwasser in Flaschen verfügbar sein. Haushaltschemikalien werden bei Wasserkreislaufsystemen weitgehend mineralisierbar sein müssen, um die Aufkonzentrierung von Metaboliten zu vermeiden. Teilströme aus den Toiletten können zur Düngerproduktion beitragen, zusätzlich wird Spülwasser für die Toiletten wiedergewonnen werden. Die lokale Auffrischung der verschiedenen Wasserkreisläufe erfolgt aus lokalem Grund- und Regenwasser. Damit erfolgt auch eine lokale Entnahme, die die wegen des Verzichts auf ein zentrales Kanalnetz vermehrte Versickerung des Regenabflusses ausgleichen kann.

Derzeit ist in der Siedlungstechnik ein radikaler Paradigmenwechsel bis hin zu intelligenten, synergistischen dezentralen Strukturen zu beobachten. Erste Erfahrungen mit derartigen Technologien liegen inzwischen vor. Zugleich gibt es bereits einige Jahre Erfahrung mit den ersten Pilotprojekten und eine Vielzahl von Erkenntnissen aus dem Einsatz einzelner Komponenten. Auf einige dieser Entwicklungen und Projekte wird im Folgenden näher eingegangen.

2. Prinzipien für die Entwicklung innovativer Wasserkonzepte

Die Vermeidung von Abwasser sollte oberste Priorität haben; auch eine Wiederverwendung von Wasser kann zur Wassereinsparung und somit auch zur Abwasservermeidung beitragen. Daher wird in Zukunft benutztes Wasser in urbanen Räumen wie eine Ressource behandelt werden, auf die man in den vielen dichtbesiedelten und gleichzeitig wasserarmen Regionen der Welt in

Zukunft angewiesen sein wird. Die Wiederverwendung kann z.B. über die Anwendung der Membran-Biologie mit anschließender Umkehrosmose ermöglicht werden.

Wenn die Wiederverwendung als Trinkwasser angestrebt wird, sollte dieses Wasser aus ethischen und technologischen Gründen vorher nicht durch eine Toilette fließen. Die Vermischung von Fäkalien und Urin mit dem restlichen Haushaltsabwasser ist wegen der Ausschließlichkeit einer sinnvollen Nutzung ohnehin bedenklich. Gleichzeitig kontaminiert der am Abwasser äußerst kleine, aber hygienisch sehr gefährliche Fäkalanteil durch Spültoilette und Schwemmkanal große Wassermengen. Der wesentliche Schritt zu innovativen Wasserkonzepten sind daher Toilettensysteme, die Teil einer Anlage zur Düngerproduktion sind. Für dichtbebaute urbane Gebiete kann die Energienutzung durch eine Anaerobbehandlung und die Produktion von Trockendünger sinnvoll sein. Wegen der sehr kleinen Teilströme kann wie in der Industrieabwasserwirtschaft mit Techniken wie z.B. Vakuum-Eindampfung gearbeitet werden. Es gibt interessante Möglichkeiten in synergistischer Weise mit einer zukünftig eher dezentralen Energieversorgung und den immer leistungsfähigeren Kommunikationsstrukturen zu arbeiten. Die ökonomische Basis ist der vollständige Verzicht auf die zentralen Leitungsnetze, die allein für den 'unproduktiven' Transport den Löwenanteil der Kosten verschlingen. Bei der Suche nach neuen Wegen müssen selbstverständlich auch dezentrale Lösungen für den Regenabfluss gefunden werden, damit Wasserkreisläufe geschlossen werden können.

3. Historische Irrtümer und Ignoranz prägten die anfängliche Entwicklung der Abwasserwirtschaft

Die Siedlungswasserwirtschaft stellt mit dem einheitlichen Schwemmkanal ein vom Grundansatz ungünstig entwickeltes System zur Verfügung, das in Industrieländern durch einen hohen technischen Aufwand akute Probleme zu lösen half. In der Vergangenheit wurden dadurch die drängenden hygienischen Probleme in der Stadt gelöst, gleichzeitig wurden aber die für die Trinkwasserversorgung genutzten Gewässer verschmutzt. Vorher begrenzt auftretende Epidemien konnten sich über die Trinkwasserversorgung rasend schnell ausbreiten, ein Beispiel ist die verheerende Cholera-Epidemie 1892 in Hamburg [Evans, :1996]. In der technisch entwickelten Welt hat man dieses Problem gelöst, ohne das Gesamtkonzept jemals ernsthaft auf Alternativen zu überprüfen. Historisch gab es durchaus sinnvolle Alternativen [Lange und Otterpohl, 2000], die jedoch durch die fatale Ausbreitung der Spültoilette und das fehlende Wissen über die tatsächlichen Pfade der Krankheitsausbreitung ignoriert wurden. Der historische Irrtum der Vermischung von Fäkalien mit großen Wassermengen wird auch heute nicht offen als solcher benannt. Zugleich wird in weiten Teilen der Welt dieser Fehler wiederholt. An verschmutztem Wasser sterben nach Angaben der WHO jährlich etwa 5 Millionen Menschen. Der immer noch weitverbreiteten Bau von Pit-Latrines verursacht - insbesondere im Einzugsbereich von Trinkwasserbrunnen - eine Kontamination von Boden und Grundwasser, deren Auswirkungen in dicht besiedelten Gebieten eine direkte Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung darstellt. Wasservorräten, trägt die rasante Ausbreitung von Spültoilette und Schwemmkanal zur Seuchenausbreitung bei. Nach der Einführung von Wasserversorgungssystem findet auf der Entsorgungsseite oftmals nur eine Abwasserverteilung statt; Abwasserreinigung ist global gesehen eher eine Ausnahme. Werden Kläranlagen - oftmals mit finanzieller Unterstützung der reichen Länder - gebaut wurden, so sind diese oft nach wenigen Jahren schon nicht mehr funktionsfähig oder außer Betrieb. Dabei stehen auch heute

bereits vielfältige angepasste Lösungsansätze zur Verfügung. Das Innovationspotential hierbei ist sehr groß - es ist an der Zeit diese Realität ins Auge zu fassen. Die bestehenden Systeme wurden in Europa entwickelt, neue Konzepte für urbane Gebiete werden voraussichtlich auch in Europa entwickelt werden müssen.

4. Ressourcenverknappung in weiten Teilen der Welt erfordert eine kritische Betrachtung der herkömmlichen und die Entwicklung innovative Lösungsansätze

4.1 Schwemmkanal und Spültoilette tragen zur weiteren Wasserverknappung bei

Das Abwassersystem mit Spültoilette und Schwemmkanal ist auf einen hohen Wasserdurchsatz angewiesen. In vielen Teilen der Welt stehen diese Wassermengen physisch nicht zur Verfügung oder die Kosten für den Betrieb eines solchen Systems können von den Benutzern aufgrund der Preise für Trinkwasser hierfür nicht aufgebracht werden. Der unreflektierte Bau solcher auf relativ hohen Durchfluss ausgelegter Systeme trägt zur Verknappung der Wasserressourcen bei und führt bei einer Verschärfung der Knappheit zu unhaltbaren hygienischen Zuständen. Solche Situationen treten schon jetzt auf, wenn die Wasserversorgung nicht nur den größten Teil des Tages, sondern gleich für mehrere Tagen ausfällt. Dringend notwendige Innovationen werden - wenn überhaupt - recht zögerlich angegangen.

Neue Ansätze sollten daher aus der Siedlungswasserwirtschaft selbst kommen. Wenn Innovationen nicht aus dem heute zuständigen Wirtschaftszweig offensiv betrieben werden, kann teure zentrale Infrastruktur mit durchdachten dezentralen Systemen innerhalb weniger Jahrzehnte überflüssig werden. Die frühe Prüfung von Alternativen ist dringend angeraten. Es ist zu erwarten, dass durch die Liberalisierungsbestrebungen bisher starre gesetzliche Rahmenbedingungen sich verändern werden. Hier besteht durchaus die realistische Möglichkeit, dass die gesamte urbane Wasserversorgung dezentral organisiert wird. Derartige Technik könnte durch Mehrfachnutzung mit 10 bis 20% des üblichen Wasserbedarfs auskommen und diesen Bedarf aus lokalem Grund- und Regenwasser auffrischen. Die Vorteile für wasserarme Regionen liegen auf der Hand, allerdings könnte durch die vollständige Vermeidung der teuren zentralen Ver- und Entsorgung ein ökonomischer Vorteil auch in anderen Regionen gegeben sein.

4.2 Konventionelle Abwassersysteme sind ungeeignet für die weitgehende Rückgewinnung von Nährsalzen

Wegen der starken Verdünnung der im Abwasser enthaltenen prinzipiell wertvollen Inhaltsstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Magnesium und der vielen für den Boden wichtigen Spurenelementen im konventionellen Abwassersystem sind diese kaum rückgewinnbar. Klärschlamm enthält nur einen geringen Teil der Wertstoffe, lediglich ein Bruchteil der Inhaltsstoffe findet sich im Klärschlamm wieder und kann nutzbar gemacht werden. Nach neueren Untersuchungen ist der mit Fe- und Al-Salzen durch Fällung im Klärschlamm vorhandenen Phosphor lediglich zu etwa 20% pflanzenverfügbar [UBA, 2001], so dass eine landwirtschaftliche Verwertung der Nährstoffe nur teilweise möglich ist. Andere, alternativ vorgeschlagene Rückgewinnungstechniken der Nährstoffe aus Klärschlamm scheitern oftmals an der Unwirtschaftlichkeit der großen Volumenströmen.

Eine grundsätzlich mögliche Art der Wiederverwendung der Abwasserinhaltsstoffe ist die

Kombination von landwirtschaftlicher Bewässerung und Düngung mit gereinigtem Abwasser in geeigneten Klimazonen. Leider wird diese Variante in vielen Fällen ganz ohne Abwasserreinigung durchgeführt, was hygienisch besonders problematisch ist. Die alleinige Bewässerung mit Abwasser führt oftmals zu einer starken Überdüngung, zusätzlich werden die Rückstände z.B. von schwerabbaubarem Industrieabwasser und Haushaltschemikalien damit langfristig in den Böden deponiert. Außerdem ist die Düngergabe an die Wachstumsperiode anzupassen, so dass eine wirklich sinnvolle Nutzung auch bei zwei oder drei Ernten pro Jahr nur in Ausnahmefällen möglich ist. Auch hier wäre die Entkoppelung von Nährstoffgehalt und Wassermenge durch getrennte Urinsammlung letztlich die konsequentere Lösung. In Indien wurde eine Vergleichsuntersuchung durchgeführt, in der die Leistungsfähigkeit von Schülern in Abhängigkeit von der Schwermetallbelastung des landwirtschaftlichen Bewässerungswassers verglichen wurde. Die Leistungen der unbelasteten Schüler waren in einer großen Anzahl von untersuchten Personen 20% schlechter [DtE, 1999]. Die schwerwiegenden neurotoxikologischen Folgen von Schwermetallbelastungen sind bisher nicht ausreichend berücksichtigt worden.

5. Szenarien und Realisierungsbeispiele für innovative Wasserkonzepte

Naturgemäß gibt es eine Vielzahl von Lösungsansätzen, die hier nicht alle dargestellt werden sollen. In [Otterpohl et al., 1999] sind die vielfachen Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Module zu 10 Grundscenarien für die unterschiedlichen geografischen und sozioökonomischen Bedingungen rund um die Welt dargestellt. Eine umfangreiche Übersicht von realisierten teilstromorientierten Konzepten ist von Paris und Wilderer [Paris, 2002] erstellt worden.

5.1 Das Vakuum-Biogas Konzept

Ein innovatives Konzept ist in Lübeck in der Siedlung Flintenbreite mit einer derzeitigen Anschlussgröße von ca. 100 Bewohnern und einer Ausbaugröße von 350 Einwohnern realisiert. Dieses Konzept arbeitet mit einer Schwarz- und Grauwassertrennung. Schwarzwasser wird mit Vakuuntoiletten bei sehr geringem Wasserverbrauch von 0,7 - 1,0 l je Spülung über ein Vakuumsystem gesammelt und nach Mischung mit zerkleinerten Bioabfällen einer anaeroben Vergärung mit vorgeschalteter thermischer Hygienisierung zugeführt. [Otterwasser, 2002]. Das Grauwasser wird über eine Schwerkraftkanalisation entwässert und in bewachsenen Bodenfiltern gereinigt. Die Anlagen sind teilweise seit Anfang 2000 in Betrieb. Eine ausführliche Projektbeschreibung findet sich in [Otterpohl et al, 1999].

Der einwohnerspezifische Wasserverbrauch liegt in der Flintenbreite über einen Zeitraum von 1,5 Jahren bei durchschnittlich 72 l/(E*d), wovon 65 l/(E*d) auf den Grauwasserstrom entfallen. Durch die Trennung der verschiedenen Teilströme befinden sich im Schwarzwasser ca. 90 % der Stickstofffracht, so dass das Grauwasser sehr arm an Stickstoff ist. Da eine Urinentrennung in diesem Konzept nicht vorgesehen war, wird der Urin gemeinsam mit den Fäkalien und dem Spülwasser behandelt. Die Vakuuntoiletten und die Vakuumanlage laufen im regulären Betrieb störungsfrei. Durch die Benutzer verursachte Störungen (Katzenstreu, Damenbinden etc.) traten aufgrund der eindeutig lokalisierbaren Verursacher nach einer erneuten Erläuterung nicht mehr auf.

Das Grauwasser weist eine überraschend hohe Phosphorkonzentration auf, die auf die hohen Konzentrationen an Phosphor in den Reinigungsmitteln für Geschirrspülmaschinen

zurückzuführen ist. Eine Aufklärung der Bewohner führte zu einer Reduzierung der Konzentrationen; weitere Ergebnisse hierzu stehen noch aus.

Ein ähnliches Projekt ist das Haus Wohnen und Arbeiten in Freiburg [Lange, Otterpohl, 2000] für ca. 40 Bewohner. In diesem Haus ist ebenfalls eine Schwarz- und Grauwassertrennung mit anschließender anaerober Behandlung installiert.

In Norwegen liegen ebenfalls schon seit einigen Jahren Erfahrungen aus einem Projekt mit Vakuumtechnik vor. Das Schwarzwasser wird hier aerob thermophil behandelt [Skjelhaugen, 1998].

Der Einsatz der Vakuumtechnik zur Erfassung des somit gering verdünnten Teilstroms Schwarzwasser steht zur Verfügung und ist funktionsfähig. Die Techniken zur Behandlung des Schwarzwassers sind ebenfalls verfügbar. Wichtig ist bei diesen Anlagen der ordnungsgemäße Betrieb der Anlagen. Eine Betreuung der Anlagentechnik und Einweisung des Personals ist wichtig und unerlässlich.

Neben den beschriebenen Projekten werden Pilotprojekte in den Niederlanden und in China geplant bzw. sind zur Zeit in Bau.

Eine interessanter Szenarienvergleich unter Einbeziehung des Vakuum-Biogas-Konzeptes mit zusätzlicher Urinseparation ist in der Projektgruppe AKWQ 2100 in Nordrhein-Westfalen vorgenommen worden [Herbst, Hissl, 2002]. Ein überraschendes Ergebnis dabei ist, dass bei Betrachtung eines urbanen Systems trotz weitgehenden Dezentralisierung die Mehrkosten sich als vernachlässigbar gering erwiesen.

5.2 Gelbwasser-Konzepte mit Wasserspülung- zentral und dezentral

Die wesentlichen Anforderungen an ein separierendes Toilettensystem sind: Komfort für den Benutzer, möglichst geringe Verdünnung der anfallenden Urin- und Fäkalienmengen und zufriedenstellende Ableitung der beiden Teilströme.

Die Sanitärtechnik für die getrennte Erfassung des Urins als Gelbwasser steht bereits heute zur Verfügung. Wasserlose Urinale finden insbesondere in Gebäuden mit öffentlichen Toiletten (Schulen, Autobahnraststätten etc.) aufgrund der enormen Wasserersparnis eine zunehmende Verbreitung. Separierende Toiletten, die auch Trenntoiletten oder No-Mix-Toiletten genannt werden, leiten den Urin je nach Modell mit oder ohne Spülwasser ab. Dies ermöglicht eine einfache Urinsammlung (ggf. mit -Säurestabilisierung) oder -behandlung (z.B. Trocknung mittels noch zu entwickelnde Solarsysteme). Urin kann als Düngemittel direkt in den Boden eingearbeitet werden oder nach Verdünnung mit 5 bis 10 Teilen Wasser auf Grasland, jedoch nicht direkt auf Gemüse. Bis weitere Forschungsergebnisse zur Verfügung stehen, sollte Urin etwa ein halbes Jahr lang gespeichert werden. Ein Sanitärsystem mit Teilstrombehandlung ermöglicht somit die weitgehende Wiederverwendung von Düngemitteln.

Die trennenden Toiletten sind in Skandinavien entwickelt worden und dort bereits recht verbreitet; in Deutschland sind diese Toilettenmodelle noch recht unbekannt. Alle diese Toiletten arbeiten mit einer mehr oder weniger großen Spülwassermenge für die Urinableitung. Diese bewirkt eine Verdünnung des anfallenden Urins und vergrößert das für die Speicherung erforderliche Volumen.

Eine neu entwickelte Separationstoilette versucht, diese Nachteile zu vermeiden (s. Bild 2).



Bild 2: No-Mix-Toilette zur getrennten Erfassung von Urin (Foto: Fa. Roediger, Hanau)

Hierbei ist der Urinablauf nur bei Belastung des Toilettensitzes geöffnet und schließt sich sofort bei Entlastung. Durch diesen Mechanismus wird der Urin ohne Verdünnung durch das Spülwasser gesammelt und fällt in konzentrierter Form zur Verwertung der Nährstoffe an.

In einem vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Projekt werden Fragen der Nährstofftrennung, Nährstoffverwertung und die Problematik von Reststoffen mit endokriner Wirksamkeit (Pharmazeutika, Hormone etc.) anhand des Abwasserkonzepts der „Lambertsmühle“ untersucht [Oldenburg et al, 2002; Lambertsmühle, 2002].

Die bisher vorliegenden Erfahrungen mit urinseparierenden Systemen demonstrieren die grundsätzliche Machbarkeit der Urinabtrennung und Verwertung der im Urin enthaltenen Nährstoffe, auch wenn detaillierte Erkenntnisse über die Konzentrationen und Mengen an „Problemstoffen“ im Urin zur Zeit noch ausstehen.

Derzeit sind einige größere Projekte mit Urinseparation in der Planung bzw. Realisierung. Für die Erweiterung der Stadt Linz/Österreich durch den neuen Stadtteil SolarCity Pichling ist die Installation eines urinseparierenden Abwassersystems mit anschließender landwirtschaftlicher Verwertung der Nährstoffe für 88 Mietwohnungen und eine Schule geplant. In Deutschland beabsichtigen die Berliner Wasserbetriebe die Umrüstung eines Betriebsgebäudes einer Kläranlage mit urinseparierender Technik [BWB, 2002].

5.3 Dezentrale Dehydrierungs-Systeme für sonnenreiche ländliche und peri-urbane Regionen

Es gibt viele Vorschläge und herkömmliche Technologien für die nachhaltige Abwasserwirtschaft mit echter Teilstrombehandlung der Reststoffe des menschlichen Stoffwechsels [Winblad, 1998], [Otterpohl et al, 1999]. Einige Konzepte eignen sich eher für

ländliche Gebiete, aber es gibt auch Anwendungsmöglichkeiten für Großstadtzentren. Die Grundtechniken der Low-Tech-Ableitung und –behandlung (mit oder ohne organische Abfälle) sind:

- Erhitzung und Austrocknung (mit Solarheizung, Doppelkammersystem), problematisch für Gebiete mit nasser Analhygiene (ca 50% der Weltbevölkerung, meist muslimische Länder), erfordert Urinseparation
- Erdtoiletten mit zwei Kammern, nach Benutzung Überstreuung mit Erde, Urinseparation erforderlich
- Kompostierung (Betrieb häufig problematisch, weitere Entwicklung erforderlich)
- Geringverdünnende Toiletten in Kombination mit Biogassystemen
- Urinsammlung in Kombination mit Biogassystemen für Fäkalien

Auf die Toilettensysteme zur Urinabtrennung ist bereits eingegangen worden. Neben den skizzierten Toiletten für die sitzende Benutzung, gibt es insbesondere in Ländern mit nasser Analhygiene Trenntoiletten für die hockende Benutzung. Hier gibt es verschiedene Toilettenmodelle, die jeweils an die lokalen Randbedingungen angepasst sind [Winblad, 1998]. Das gereinigte Grauwasser ist oftmals geeignet, bei Wasserknappheit das Frischwasser zu ersetzen. Auf diese Weise können die Systeme sehr wirtschaftlich sein. Bei der Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) wurde ein eigenes Sektorprojekt mit dem Titel „EcoSan“ zu derartigen teilstromorientierten Konzepten eingerichtet. Gemeinsam mit der inzwischen gegründeten IWA (International Water Association) specialist group 'Sustainable Sanitation' ist eine große internationale Konferenz zu diesem Thema den April 2003 geplant [gtz, 2002],

5.4 Der Schwarz- und Grauwasserkreislauf für urbane und peri-urbane Regionen mit verdichteter Bebauung

Die Grundlage des Verfahrens 'Schwarzwasserkreislauf' ist die getrennte Erfassung der mit Nährstoffen hoch belasteten Teilström des Toilettenabwassers im Haushalt bzw. in Hotels oder Bürogebäuden und die Erzeugung von Brauchwasser, z.B. für die Toilettenspülung. Die Idee, den Toilettenabwasserstrom wieder zu Toilettenspülwasser aufzubereiten, um damit eine Aufkonzentration der Nährstoffe im täglichen Betrieb zu erreichen, kann einen wichtigen Beitrag zur Neuorientierung in der Siedlungswasserwirtschaft leisten. Die Entwicklung stammt von dem Mikrobiologen Ulrich Braun aus Freiburg, der dieses Verfahren in vielen Ländern der Erde patentrechtlich schützen ließ. Damit besteht die Chance, dass ein Unternehmen in die marktreife Entwicklung dieses Konzeptes investiert. An der TU Hamburg-Harburg wurden erste Versuche durchgeführt, momentan wird an der Erstellung einer halbtechnischen Anlage gearbeitet. Die bisher geplante Prozessführung sieht eine fest-flüssig Trennung mit anschließender Behandlung in einer Membranbiologie vor. Der Feststoffanteil soll anaerob vergoren werden. Die obere Grenze der Aufkonzentrierung ist die Nährsalzkonzentration wie im Urin, womit pro Person und Tag lediglich 1 bis 2 Liter klares Konzentrat anfallen würde. Damit einher geht eine weitgehende Wassereinsparung, die gerade für Länder mit geringem Wasserdargebot eine wichtige Zukunfts-

option darstellt. Die Aufkonzentration des nährstoffhaltigen Toilettenabwassers eröffnet völlig neue Behandlungsoptionen, da die sehr geringen Volumenströme auch mit hochwertiger Technik behandelt werden können. Das Verfahren kann erst durch die neuen Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der Membran-Bioreaktoren wirtschaftlich umgesetzt werden. Das Verfahren dieses „Braunwasserkreislaufs“ ist in ähnlicher Form auch mit Urinseparation realisierbar. In der Bild 3 sind die beiden Verfahren und ihre Einordnung in das lokale Wassersystem dargestellt. Der ökonomische Durchbruch ist ganz wesentlich durch den technisch möglichen Verzicht auf zentrale Wasser- und Abwassernetze erreichbar. Sinnvolle Größenordnungen sind für Schwarz- und Braunwasser einige Miethäuser oder ein Hochhaus ab etwa 200 Einwohner zu sehen. Grauwasseranlagen können auf Wohnungsebene realisiert werden, da die höherwertige Wiederverwendung als Leitungswasser (nicht Trinkwasser) eher bei 'eigenem' Wasser akzeptiert wird.

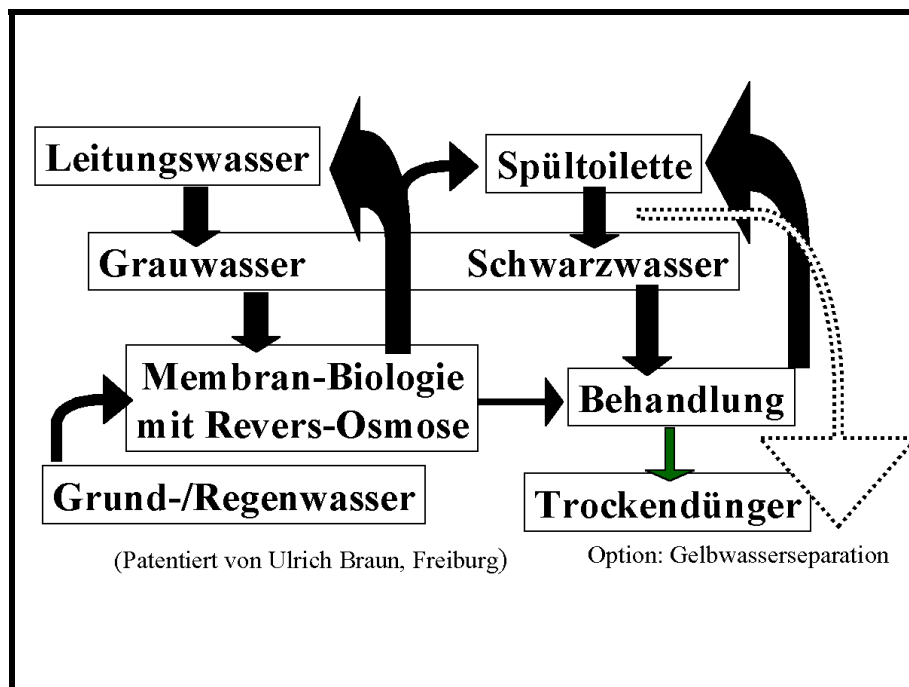


Bild 3: Schematische Darstellung des Schwarz- und Braunwasserkreislaufes

Von den theoretischen Grundlagen sind für das Verfahren des Schwarz-, bzw. Braunwasserkreislaufes keine größeren Probleme zu erwarten. Die Oxidation des Stickstoffs bis zum Nitrat ist erforderlich. Da dieses aufbereitete Wasser nur zu Toilettenspülzwecken eingesetzt wird, kann davon ausgegangen werden, dass das darin enthaltene Nitrat keine Gesundheitsgefährdung darstellt. Für die Verwendung des Flüssigdüngers ist Nitrat leider weniger günstig als Ammonium. Ein wesentlicher Punkt ist die richtige Kombination von Behandlungstechnik, um eine hygienisch und ästhetisch einwandfreie Funktion der Toilette zu erlauben. Die Hygienisierung dieses Teilstromes des häuslichen Wassersystems ist durch die Membran-Bioreaktoren weniger problematisch, allerdings stellt die Entfärbung des Teilstromes bei vielfacher Wiederverwendung eine Problematik dar, die in den bisherigen Versuchen durch eine Ozonierung erreicht werden konnte. Es ist jedoch bei einer weitgehenden Automatisierung der Anlagentechnik eine regelmäßige Wartung der Anlage erforderlich.

Insgesamt gesehen ist das Verfahren des Schwarzwasser-, bzw. Braunwasserkreislaufes außerordentlich interessant und hat ein großes Potential besonders in den Regionen der Welt, wo Wasser, Energie und Dünger teuer sind. Durch die Produktion großer Stückzahlen der entsprechenden Module können auch bei den relativ kleinen Einheiten realistische Preise erzielt werden.

5.6 Anpassung bestehender Systeme mit zentraler Kanalisation

Das konventionelle zentrale Abwassersystem kann durch die nachträgliche sukzessive Einführung von urinseparierenden Toiletten mit dezentralen oder zentralen Speichern [Larsen Udert, 1999] auf ein System mit weitgehender Nährstoffnutzung umgebaut werden. Dafür können zunächst bei Sanierungen trennende Toiletten eingebaut und an eine eigene Leitung angeschlossen werden. Diese werden zunächst an das Kanalnetz angeschlossen, so dass die Toiletten zunächst 'nur' Wasser einsparen. Wenn eine genügende Anschlussdichte erreicht ist, kann die hochkonzentrierte Nährstofflösung zur Düngerfabrikation oder zu einer direkten Nutzung ggf. nach Vorbehandlung verwendet werden. Bei Kanalnetzen mit viel Gefälle und sehr wenig Fremdwasser kann eine Sammlung auch über zeitgesteuerte Entleerung von Hausspeichern in den frühen Morgenstunden mit Abfangen an der Kläranlage erfolgen [Larsen, Gujer, 1996]. Wenn eine weitgehende separate Urinsammlung erfolgt, benötigt die Kläranlage keine gezielte N- Elimination mehr, hat aber auch keinen Nährsalzmangel. Die Inkorporation würde die restlichen Nährsalze binden und in den Klärschlamm bringen. Damit kann ein konventionelles System eine recht gute Ressourceneffizienz für Nährsalze erreichen.

Eine andere Anpassung wäre die sukzessive Abkoppelung der Toiletten und ihr Ersatz durch geeignete Schwarzwassersysteme. Damit würde eine Kläranlage über die Jahre zu einer Grauwasseranlage, jedoch mit Industrieabwasser. Je nach Randbedingungen und Wasserknappheit kann dann die Kläranlage auch eine gute Qualität an höherwertig wiederverwendbarem Wasser erzeugen.

Der Nachteil bei diesen Szenarien ist die Notwendigkeit der zusätzlichen dezentralen Investitionen mit zusätzlichem Erhalt der bestehenden Infrastruktur. Wegen der Hauptkosten für den reinen Transport des Abwassers wird die Wirtschaftlichkeit sehr gut zu überprüfen sein. Andererseits können bei der Schwarzwassertrennung die spezifisch sehr hohen Kosten für Regenbecken gesenkt werden, da die Entlastung von Grauwasser wesentlich weniger problematisch wäre.

6. Sozio-ökonomische Konsequenzen, Betriebsmodelle und Risikobetrachtungen

Es gibt bei vielen innovativen Konzepten relativ wenig Umstellungen für die Nutzer und Nutzerinnen. Oft ist die einzig sichtbare Veränderung eine andere Toilette. Bei Separationstoiletten ist zu beachten, dass Männer im Sitzen urinieren sollten, damit dder Urin nicht in das Braunwasser gelangt. Es wird bei entsprechender Nachfrage sehr schnell neue und komfortable Lösungen geben. Der Sanitärmarkt ist zur Zeit stark absolut Design-orientiert und technisch wenig innovativ.

Die Nutzer von innovativer Wassertechnologie müssen über die Grundgedanken für deren Entwicklung unbedingt informiert werden. Es hat sich immer wieder gezeigt, dass die Menschen nach entsprechender Erläuterung sehr interessiert und kooperativ sind. In Lübeck wurde z.B. seitens der Bewohner nach Bekanntwerden der von den Spülmaschinen-Mitteln stammenden erhöhten P-Konzentrationen im Grauwasser die gemeinschaftliche Anschaffung phosphatfreier Mittel initiiert. Bei nachvollziehbaren Handlungsoptionen verändert sich die Einstellung bei

vielen Menschen.

In der Abwasserwirtschaft wird gerne auf die 'economy of scale' der zentralen Klärwerke verwiesen. Die isolierte Betrachtung dieses an sich richtigen Sachverhaltes ist allerdings wenig aussagekräftig. In den meisten städtischen Gebieten liegen die Kosten für die Abwassersammlung bei 70 bis 80% der Gesamtkosten, Einsparungen bei der Kläranlage haben also recht wenig Effekt. Im Gegensatz dazu können dezentrale Anlagen durch Produktion grosser Stückzahlen sehr preiswert werden. Dabei müssen dann die sehr viel höheren Betriebsaufwendungen berücksichtigt werden. Ingesamt gesehen fliesst bei dezentralen Wassertechnologien wesentlich mehr Geld in den Bau der Anlagen und ihre Wartung, es wird also vermehrt in Arbeitsleistung anstatt in grosse Leitungsnetze mit „totem Kapital“ investiert. In Lübeck ist durch das technische Konzept für die geplanten 350 Einwohner ein Arbeitsplatz geschaffen worden, bei tragfähiger Refinanzierung im Endausbau.

Der Betrieb innovativer Wassersysteme erfordert ganz entschieden ein professionelles Management. Die rechtlichen Möglichkeiten sind idealerweise lokale privatwirtschaftliche Betriebe oder Genossenschaften, bei kleineren Einheiten ist natürlich eine regelmässige Wartung durch ein externes Unternehmen möglich. Die Risikoabschätzung zeigt, dass bei zentralen Systemen grössere, schwerwiegende Unfälle passieren können, aber weniger wahrscheinlich sind. In Katastrophenfällen sind zentrale Systeme sehr empfindlich. Bei vielen dezentralen bzw. semizentralen Anlagen kann das Risiko durch professionelle Wartung und moderne MSR-Technik mit Fehlermeldung und Fernabfrage gering gehalten werden, es kann aber durch die grosse Zahl von Anlagen eher zu Störungen kommen. Diese sind dann wesentlich weniger brisant.

Literatur

[BWB, 2002]

www.kompetenz-wasser.de/dt/projekte/proj-scst.htm

[DtE, 1999]

CSE – Centre for Science and Environment, Down to Earth Vol 8, December 31, 1999

[DtE, 2002]

CSE – Centre for Science and Environment, Down to Earth Vol 10, February 28, 2002

[Evans., 1996]

Tod in Hambur, Rowohlt Verlag Hamburg, Reinbek, 1996

[FITSCHEN and HAHN 1998]

Fittschen, Imke; Hermann H. Hahn (1998) Characterization of the municipal wastewaterpart human urine and a preliminary comparison with liquid cattle excretion, Water Science & Technology Vol 38 No 6 pp 9–16

[gtz, 2002]

www.ecosan.de

[Herbst, H.; Hissl, H., 2002] Herbst, H.; Hissl, H.,: Umsetzungsstrategie zur Einführung marktorientierter Wasserinfrastruktursysteme in Deutschland, GWA, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Band 188, Aachen 2002

[Lange, Otterpohl, 2000] Lange, Jörg und Ralf Otterpohl
Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Pfohren, Mallbeton Verlag,
stark erweiterte Auflage 2000

[Larsen, Gujer, 1996] Larsen, T. A. and Gujer, W.: Separate management of anthropogenic
nutrient solutions (human urine), Water Science and Technology, Vol. 34, No. 3-4, S. 87-94,
1996.

[Larsen, Udert, 1999]
Larsen, T. A., Udert, K.M.: Urinseparierung – ein Konzept zur Schließung der
Nährstoffkreisläufe, Wasser & Boden, 51/11, S. 6, 1999

[Lambertsmühle, 2002]
www.lambertmuehle.de

[Oldenburg et al, 2002] Oldenburg, M., Bastian, A., Londong, J., Niederste-Hollenberg, J.,
Nährstofftrennung in der Abwassertechnik am Beispiel der „Lambertsmühle“
gwf Wasser - Abwasser, 143, Nr. 4, S. 314 - 319, 2002

[Otterpohl et al., 1999] Otterpohl, Ralf; Albold, Andrea und Oldenburg, Martin
Source Control in Urban Sanitation and Waste Management: 10 Options with Ressource
Management for different social and geographical conditions, Water, Science & Technology,
No.3/4, 1999

[Otterpohl et al., 1999] Otterpohl, Ralf, Oldenburg, Martin, Büttner, Sebastian
Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement, Korrespondenz Abwasser (46),
Nr.2, 1999

[OtterWasser, 2002]
www.otterwasser.de
www.flintenbreite.de

[Paris, 2002] Paris, S.; Wilderer, P.A.:
Integrierte Ver- und Entsorgungskonzepte im internationalen Vergleich, GWA, Gewässerschutz,
Wasser, Abwasser, Band 188, Aachen 2002

[Skjelhaugen, O.J., 1998] System for local reuse of blackwater and food waste, integrated with
agriculture; Technik anearober Prozesse, TUHH, Technische Universität Hamburg-Harburg,
DECHEMA-Fachgespräch Umweltschutz, ISBN 3-926959-95-9, 1998

[UBA, 2001]
UBA – Umweltbundesamt: Bericht zur Klärschlamm Entsorgung, Berlin, 30.4.2001/4

[Winblad, U., 1998]
Winblad, U., (Hrsg.) Ecological Sanitation, SIDA, Stockholm, ISBN 91 586 76 12 0, 1998

[gzt] www.gtz.de/ecosan/symposium.html

Anschrift der Verfasser:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl
TUHH - Technische Universität Hamburg-Harburg
Arbeitsbereich kommunale und industrielle Abwasserwirtschaft
Eissendorfer Str.42, **21073 Hamburg**
otterpohl@tuhh.de www.tuhh.de/aww

Dr.-Ing. Martin Oldenburg
OtterWasser GmbH
Engelsgrube 61
23552 Lübeck
oldenburg@otterwasser.de
www.otterwasser.de