



## 4.6 Neue Abwassertechnologien für Städte

RALF OTTERPOHL

*New technologies for treatment of household waste water: Resources Management Sanitation is a term introduced during the IWA World Water Congress in Marrakech 2004. It covers systems that are designed for the reuse of nutrients, soil conditioners and water. Fresh water consumption can be reduced by up to 80% while nutrients can be recovered to a large extent. In many cases this is achieved through source separation at least of urine, that contains most of the soluble nutrients in very high concentrations. It can also be advantageous to separate the blackwater flow (toilet wastewater) with little or no water - small volumes are far easier to sanitize and reuse. New toilet systems with very low dilution factors, ranging from vacuum- over urine diverting (UD) flush to UD-dry toilets, have been introduced in hundreds of projects and proven feasibility. New ideas as vacuum-biogas-systems, the blackwater-cycle systems and urine-diverting vermi-composting systems are presently realized in different locations mainly in middle- and northern Europe. Source separation technology in municipal wastewater treatment does often lead to decentralized or semi-central systems, but combinations with conventional sewerage do make sense as well as future strategy studies of the Hamburg wastewater utility have shown. However, especially for new construction there are often clear economic advantages of integrated decentral systems. Such modular, flexible and small-scale systems have become feasible through the recent advances in membrane technology. Both high- and low-tech options are available; both can achieve very high efficiencies. The low-tech range of UD dry systems has been successfully implemented around the world, mostly called Ecological Sanitation. This type of sanitation is essential to extend services to the neglected part of the world population as it was promised in the Millennium Development Goals with very high hygienic standards, water efficiency and resources recovery. The high-tech range is needed to change the technological paradigm and to allow prices getting down through mass production. All systems are essential to deal with limited resources in an intelligent way according to the given situations.*

**E**in ökologisch und ökonomisch sinnvoller Umgang mit Abfallstoffen beruht auf zwei einfachen Prinzipien: den Einsatz von problematischen Substanzen soweit wie möglich an der Quelle zu vermeiden und Stoffgruppen möglichst wenig zu verdünnen und zu vermischen, so dass sie einfacher zu behandeln und leichter zu recyklieren sind. Letzteres wird durch das getrennte Erfassen und Behandeln von Teilströmen erreicht. Im industriellen Abwassermanagement werden diese Prinzipien bereits angewandt; In der Siedlungswasserwirtschaft steht ihre Umsetzung im grossen Umfang noch aus (In der Abfallwirtschaft ist die Teilströmerfassung zumindest als Leitbild fest verankert).

Prinzipien eines ökologischen kommunalen Ab-

wassermanagements liegen auf der Hand: Teilströme werden getrennt und adäquat für geeignete Verwendungszwecke behandelt. Schwarzwasser wird separat gesammelt und nicht mit anderen Abwasserströmen vermischt (Abb. 4.6-1). Dadurch wird die Kontamination großer Wassermengen durch einen kleinen, hygienisch jedoch gefährlichen Fäkalanteil vermieden; außerdem können die im Schwarzwasser enthaltenen Nährstoffe so wesentlich leichter für die Düngerproduktion zurückgewonnen werden. Aus Grauwasser (häusliches Abwasser ohne Toilette) kann hochwertiges Brauchwasser werden, das gefahrlos für Körperhygiene, Waschen, und ähnliche Zwecke nutzbar ist. Wassergerechte Haushaltschemikalien sollen in solchen

Aus: *WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)*  
- Hrsg. Lozán, J. L. H., Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

Konzepten weitgehend mineralisierbar und nicht nur abbaubar sein, um die Aufkonzentrierung von Metaboliten (Abbauprodukten) zu vermeiden.

Die Teilstrombehandlung kann dezentral erfolgen. Für Schwarzwasserbehandlung in Gebieten mit dichter Bebauung bietet sich eine Biogasanlage mit Energiegewinnung und die Produktion von Nass- oder Trockendünger an. Es gibt interessante Möglichkeiten, in synergistischer Weise mit einer zukünftig eher dezentralen Energieversorgung unter Nutzung der immer leistungsfähigeren Kommunikationsstrukturen zu arbeiten. Regenwasser wird soweit wie möglich lokal versickert. Die lokale Auffrischung der verschiedenen Wasserkreisläufe erfolgt aus lokalem Grund- und Regenwasser, was ein übermäßiges Ansteigen des Grundwassers verhindern kann. Die Wasserentnahme erfolgt lokal und bedarf keines zentralen Leitungsnetzes mehr. Neben Wasser werden somit Materialien und Energie eingespart und nicht zuletzt Investitionskosten. Dabei ist die Leistung der lokalen Netze selbstverständlich auf den Löschwasserbedarf auszulegen, ein Verbund

dezentraler Systeme bietet sich an.

**Technologische Varianten innovativer Abwasserkonzepte**

Naturgemäß gibt es eine Vielzahl von Lösungsansätzen, die hier nicht alle dargestellt werden sollen. In OTTERPOHL et al. 1999a sind die vielfachen Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Module zu zehn Grundscenarien für die unterschiedlichen geografischen und sozioökonomischen Bedingungen rund um die Welt dargestellt. Eine umfangreiche Übersicht von realisierten teilstromorientierten Konzepten ist von PARIS & WILDERER (2002) erstellt worden.

**Vakuum-Biogas-Konzept**

Ein innovatives Konzept mit Schwarz- und Grauwassersartrennung ist in Lübeck in der Siedlung Flintenbreite realisiert. In dem auf 350 Einwohner ausgelegten System sind derzeit ca. 100 Einwohner angeschlossen. Schwarzwasser wird mit Vakuumtoiletten bei sehr gerin-

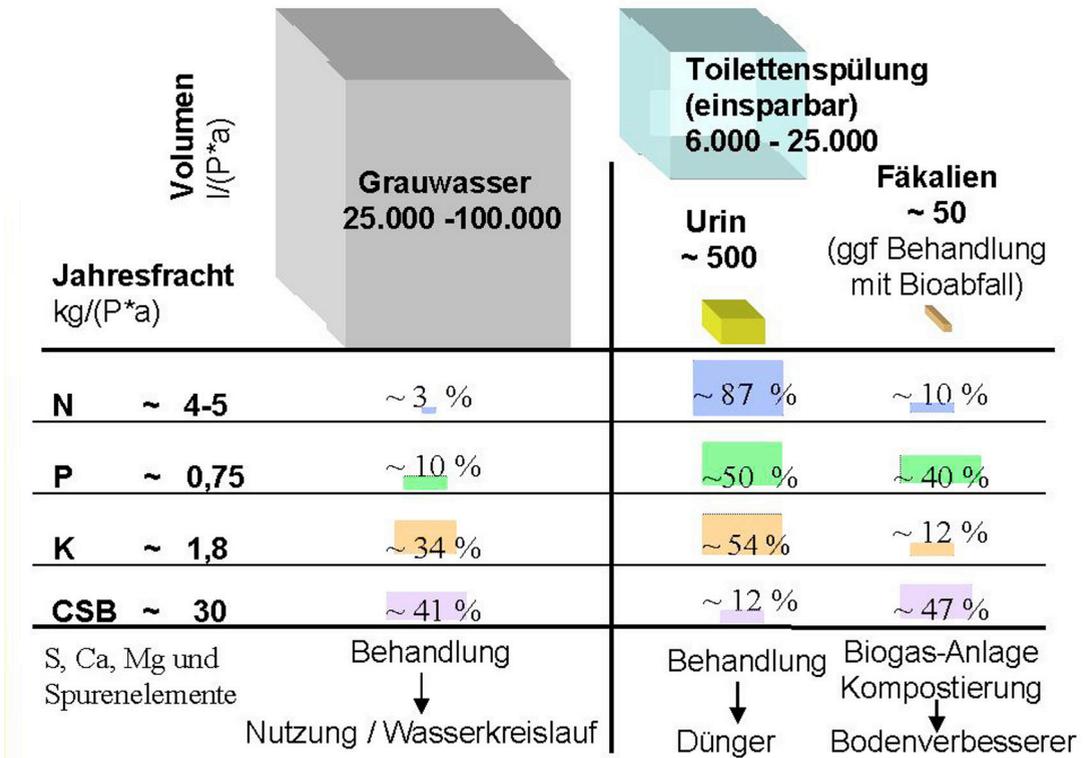


Abb. 4.6-1: Charakteristika der Teilströme von Haushaltsabwasser (aus: Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, Basel 1981, Vol. 1, LARSEN & GUJER 1996, FITSCHEN et al. 1998).

gem Wasserverbrauch von 0,7–1,0 Liter/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 abgeleitet und in bewachsenen Bodenfiltern gereinigt. Die Anlagen sind teilweise seit Anfang 2000 in Betrieb. Das Konzept ist in *Abb. 4.6-2* schematisch dargestellt, eine ausführliche Projektbeschreibung findet sich in OTTERPOHL et al. (1999b).

Der einwohnerspezifische Wasserverbrauch in der Flintenbreite liegt bei durchschnittlich 72 Liter/(E×d), wovon 65 Liter/(E×d) (E= Einwohner; d= Tag) auf den Grauwasserstrom entfallen (gemessen über einen Zeitraum von 1,5 Jahren). Im Schwarzwasser ist ca. 90% der Stickstofffracht enthalten, so dass das Grauwasser relativ stickstoffarm ist. Die Vakuumtoiletten und die Vakuumanlage laufen im regulären Betrieb störungsfrei. Anfangs gab es Störungen durch unsachgemäße Benutzung (Katzenstreu, Damenbinden und dergleichen wurden in die Toiletten geworfen); diese traten nach Aufklärung der Benutzer nicht mehr auf.

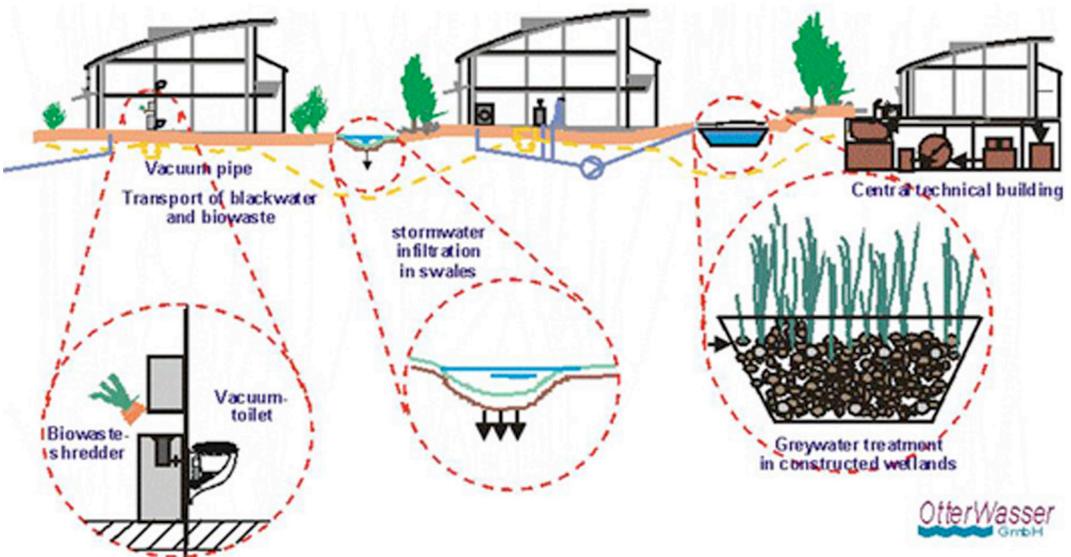
Ein ähnliches System ist im Haus »Wohnen und Arbeiten« für ca. 40 Bewohner in Freiburg realisiert (LANGE & OTTERPOHL 2000). In diesem Haus ist ebenfalls eine Schwarz- und Grauwasserentrennung

mit anschließender anaerober Behandlung installiert. In Norwegen liegen schon seit einigen Jahren Erfahrungen aus einem Projekt mit Vakuumtechnik vor. Das Schwarzwasser wird hier aerob thermophil behandelt (SKJELHAUGEN 1998). In den Niederlanden und in China sind Pilotprojekte mit ähnlicher Technologie geplant bzw. im Bau.

Es bleibt festzuhalten, dass die Vakuumtechnik zur Erfassung eines gering verdünnten Schwarzwasser-Teilstroms funktionsfähig ist und zur Verfügung steht. Die Techniken zur Behandlung von Schwarzwasser sind ebenfalls verfügbar. Wichtig ist bei diesen Anlagen der ordnungsgemäße Betrieb. Eine Betreuung der Anlagentechnik und Einweisung des Personals ist wichtig und unerlässlich. Ein 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). Überraschenderweise bringt das betrachtete urbane Vakuum-Biogas-System trotz weitgehender Dezentralisierung vernachlässigbar geringe Mehrkosten mit sich.

**Gelbwassersammlung mit Wasserspülung**

Gelbwasser (Urin plus Spülwasser) kann in speziellen Toiletten gesammelt werden, die Urin und Fäzes ge-



*Abb. 4.6-2: Schematische Darstellung des Vakuum-Biogas-Konzeptes Lübeck-Flintenbreite.*

trennt auffangen. Die wesentlichen Anforderungen an solch ein Toilettensystem sind: Komfort für die Benutzer, möglichst geringe Verdünnung der anfallenden Urin- und Fäkaliemengen und zufriedenstellende Ableitung der beiden Teilströme.

Die Sanitärtechnik für die getrennte Erfassung des Urins steht zur Verfügung. Wasserlose Urinale finden sich bereits in Gebäuden mit viel Publikumsverkehr (Schulen, Autobahnraststätten etc.) und erfahren zunehmende Verbreitung aufgrund der mit ihnen erzielbaren Wassereinsparung. Trenntoiletten leiten den Urin je nach Modell mit oder ohne Spülwasser ab. Letzteres ermöglicht eine einfache Urinsammlung (ggf. mit Säurestabilisierung und -behandlung z.B. Trocknung mittels noch zu entwickelnder Solarsysteme). Urin kann als Düngemittel direkt in den Boden eingearbeitet oder nach Verdünnung mit 5 bis 10 Teilen Wasser auf Grasland ausgebracht werden, jedoch nicht direkt auf Gemüse. Ein Sanitärsystem mit Teilstrombehandlung ermöglicht somit die weitgehende Wiederverwendung von Düngemitteln. Die modernen Trenntoiletten sind in Skandinavien entwickelt worden.

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 in der Realisierung (OTTERWASSER 2002). In Deutschland beabsichtigen die Berliner Wasserbetriebe die Umrüstung eines Betriebsgebäudes einer Kläranlage mit urinseparierender Technik (BWB 2002).

Verschiedene Forschungsprojekte befassen sich mit Fragen der Nährstofftrennung, Nährstoffverwertung und der Problematik von Reststoffen mit endokriner Wirksamkeit bei der Gelbwassertrennung. Zu nennen ist z.B. das vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen geförderte Projekt zum Abwasserkonzept der »Lambertsmühle« (OLDENBURG et al. 2002, LAMBERTSMÜHLE 2002) und das Projekt »Novaquatis« an der EAWAG, Schweiz (LIENERT & LARSEN 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. Wesentlich ist das Abbauverhalten dieser Problemstoffe im Boden, wo ein wesentlich effizienterer Abbau als in Gewässern stattfinden sollte. Gegebenenfalls müssen noch Vorbehandlungen mit UV

und/oder Ozon stattfinden, die bei den kleinen einwohnerspezifischen Mengen relativ leicht machbar sind.

### **Dezentrale Dehydrierung 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. 1999a). 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 Anahygiene (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 Anahygiene 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 »Ecological Sanitation« hat es im April 2003 eine große internationale Konferenz zu diesem Thema in Lübeck gegeben (GTZ 2002).

### **Schwarz- und Grauwasserrecycling für urbane und peri-urbane Regionen mit verdichteter Bebauung**

Die Grundlage des Verfahrens »Schwarzwasserkreislauf« ist die getrennte Erfassung der mit Nährstoffen hoch belasteten Teilströme des Toilettenabwassers im Haushalt bzw. in Hotels oder Bürogebäuden und die

Erzeugung von Brauchwasser, z.B. für die Toiletten-spülung. Die Idee, den Toilettenabwasserstrom wieder zu Toilettenspülwasser aufzubereiten, um damit eine Aufkonzentration der Nährstoffe im täglichen Betrieb zu erreichen, kann einen wichtigen Beitrag zur Neu-orientierung 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 (BRAUN 1998, 2001). Damit besteht die Chance, dass ein Unternehmen in die marktreife Entwicklung dieses Konzeptes investiert. An der TU Hamburg-Harburg wird momentan eine Anlage für 20 Personen eingefahren. 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 Zukunftsoption darstellt. Die Aufkonzentration des nährstoffhaltigen Toiletten-abwassers eröffnet völlig neue Behandlungsoptionen, da die sehr geringen Volumenströme auch mit hoch-wertiger Technik behandelt werden können. Das Ver-fahren 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 Abb. 4.6-3 sind die beiden Verfahren und ihre Einordnung in das lokale Wassersystem dargestellt. Der ökonomische Durchbruch ist ganz wesentlich durch den technisch möglichen Ver-zicht 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 könnten sogar auf Wohnungsebene realisiert werden, da die höherwertige Wiederverwendung als Leitungswasser (trinkbar, aber besser gutes Quellwasser zum Trinken) bei »eigenem« Wasser eher akzeptiert wird. Ansonsten wäre eine Versickerung zur Grundwas-

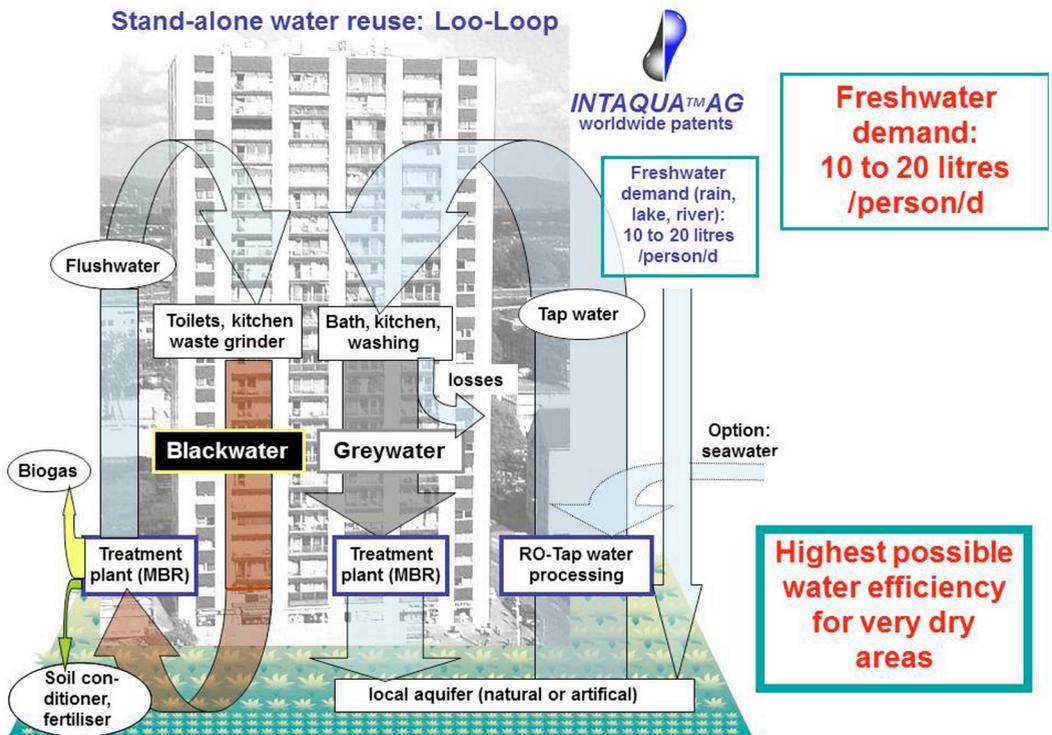


Abb. 4.6-3: Schematische Darstellung des Schwarz- und Braunwasserkreislaufes.

seranreicherung erforderlich. 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.

### **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 Trenntoiletten eingebaut und an eine eigene Leitung angeschlossen werden. Diese werden zunächst an das Kanalnetz angeschlossen, so dass die Toiletten zunächst »nur« Wasser einsparen. Eine zeitlich gesteuerte Entleerung der Speicher kann dazu eingesetzt werden, die Stickstofffracht, die auf die Kläranlage kommt, zeitlich besser zu verteilen und so die Reinigungsleistung zu verbessern (LARSEN et al. 2001). Wenn eine genügende Anschlussdichte erreicht ist, kann die hochkonzentrierte Nährstofflösung zur Düngerefabrikation 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.

### **Sozioökonomische Aspekte und Risikobetrachtung**

Viele innovative Abwasserkonzepte erfordern nur geringfügige Umstellungen für die Nutzer. Oft ist die einzig sichtbare Veränderung eine andere Toilette. Bei Trenntoiletten ist zu beachten, dass Männer im Sitzen urinieren sollten, damit der Urin nicht in das Braunwasser gelangt. Es wird bei entsprechender Nachfrage sehr schnell neue und komfortable Lösungen geben. Der Sanitärmarkt ist zur Zeit stark 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 und ihre Einstellung ändern, wenn ihnen nachvollziehbare Handlungsoptionen geboten werden.

In der Abwasserwirtschaft wird gerne auf die »economies 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 70–80% 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. Insgesamt 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 ein professionelles Management. Ein geeigneter rechtlicher Rahmen sind 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 naturgemäß

weniger brisant.

Abschließend sei noch einmal daran erinnert, dass durchdachte dezentrale Systeme innerhalb weniger Jahrzehnte teure zentrale Anlagen des Abwassermanagements überflüssig machen können. Wenn Innovationen nicht aus dem heute zuständigen Wirtschaftszweig offensiv betrieben werden, wird jemand anders in die Bresche springen. Die zunehmende Liberalisierung der Versorgungsdienstleistungen wird bisher starre gesetzliche Rahmenbedingungen auflösen und neue Akteure auf den Plan rufen. Die Prüfung von Alternativen zum konventionellen kommunalen Abwassersystem ist daher dringend angeraten.

## Literatur

- BRAUN U. (1998): Verfahren und Vorrichtung zum Behandeln von Abwässern (Method and device for sewage treatment.), PCT Number: PCT/EP98/03316.
- BRAUN U. (2001): Verfahren und Vorrichtung zum getrennten Erfassen und Ableiten von Urin und Fäkalien in Urinseparationstoiletten (Method and device for separate collection and drainage of faeces and urine in urine separating toilets), PCT Number: PCT/EP00/09700.
- BWB (2002): [www.kompetenz-wasser.de/dt/projekte/proj-scst.htm](http://www.kompetenz-wasser.de/dt/projekte/proj-scst.htm).
- FACTURAH., BETTENDORFT., BUZIE CH., PIEPLOW H., RECKIN J. & OTTERPOHL R. (2010): Terra Preta sanitation: re-discovered from an ancient Amazonian civilisation – integrating sanitation, bio-waste management and agriculture. *Water Science & Technology*, 61(10), 2673-2679.
- FITTSCHEN I. & H. 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, 9–16.
- GTZ (2002): [www.ecosan.de](http://www.ecosan.de).
- HERBST H. & H. HISSL.(2002): Umsetzungsstrategie zur Einführung marktorientierter Wasserinfrastruktursysteme in Deutschland, GWA, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Band 188, Aachen 2002, 46/1–46/13.
- LANGE J. & R. OTTERPOHL (2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Pföhren, Mallbeton Verlag, stark erweiterte 2. Auflage. 222- 223.
- LARSEN T. A., W. RAUCH & W. GUJER (2001): Waste design paves the way for sustainable urban wastewater management. *Proceedings of the International UNESCO Symposium ‚Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?‘* UNESCO, Paris: 219-229.
- LARSEN T. A. & K. M. UDERT (1999): Urinseparierung – ein Konzept zur Schließung der Nährstoffkreisläufe, *Wasser & Boden*, 51/11, 6–9.
- LARSEN T. A. & W. GUJER (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine), *Water Science and Technology*, Vol. 34, No. 3-4, 87-94.
- LIENERT, J. & T. A. LARSEN (2002): Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *gwa* 11/2002, 819-826.
- LAMBERTSMÜHLE (2002): [www.lambertmuehle.de](http://www.lambertmuehle.de).
- OLDENBURG M., A. BASTIAN, J. LONDONG & J. NIEDERSTE-HOLLENBERG (2002): Nährstofftrennung in der Abwassertechnik am Beispiel der »Lambertsmühle« *gwf Wasser - Abwasser*, 143, Nr. 4, 314-319.
- OTTERPOHL R., A. ALBOLD & M. OLDENBURG (1999a): Source Control in Urban Sanitation and Waste Management: Ten Systems with reuse of Resources, *Water, Science & Technology*, Vol. 39, No.5, 153–160.
- OTTERPOHL R., M. OLDENBURG & S. BÜTTNER (1999b): Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement, *Korrespondenz Abwasser* (46), Nr.2, 204-212.
- OTTERWASSER (2002): [www.otterwasser.de](http://www.otterwasser.de).
- PARIS S. & P. A. WILDERER (2002): Integrierte Ver- und Entsorgungskonzepte im internationalen Vergleich, GWA, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, Aachen. Band 188. S. 45/1 bis 45/15.
- SKJELHAUGEN O. J. (1998): System for local reuse of blackwater and food waste, integrated with agriculture; Technik ane aerober Prozesse, TUHH, Technische Universität Hamburg-Harburg, DECHEMA-Fachgespräch Umweltschutz, ISBN 3-926959-95-9. 116–124.
- WINBLAD U. (Hrsg.) (1998): *Ecological Sanitation*, SIDA, Stockholm, ISBN 9158676120. 20-62.

*Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl*

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

*Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz*

*Eissendorfer Str.42 - 21071 Hamburg, Germany*

*otterpohl@tuhh.de*