

Perspektiven für neue Abwasserkonzepte

Ralf Otterpohl, Hamburg

Zusammenfassung

Ein Mensch produziert etwa 500 Liter Urin und 50 Liter Fäkalien pro Jahr. Diese geringe Menge könnte, wenn sie ohne oder nur mit geringer Verdünnung gesammelt würde, gereinigt und zu Energie (Biogas) oder natürlichen Düngemitteln umgewandelt werden. Heute produziert ein Mensch, der einen Wasseranschluß besitzt, von 20.000 bis zu über 100.000 Liter Abwasser, je nach den lokalen Gegebenheiten. Wenn Toilettenabfall in geringer Verdünnung gesondert abgeführt würde, könnte dieser Strom nach einer Behandlung neu genutzt werden, wodurch die Verschmutzung des Wassers verhindert würde. Wenn Toilettenabfall jedoch mit viel Wasser vermischt wird, entwickelt sich dieses große Volumen zu einem gefährlichen, wertlosen Abfallstrom, mit dem schwer umzugehen ist.

Gleichzeitig geht durch die Fäkalverschmutzung und den Nährstoffüberschuß auch die Möglichkeit der einfachen Reinigung und Wiederverwendung des Wassers verloren. Wir nennen dieses Gemisch „Abwasser“ und es trägt zur Tötung von Millionen von Menschen bei, da es, bei nicht ausreichender Reinigung, Krankheitserreger in die Wasserressourcen spült. Selbst bei High-Tech-Behandlung sind die Möglichkeiten der Wiederverwendung in konventionellen Abwassersystemen sehr beschränkt.

Im Bereich der industriellen Abwasserwirtschaft ist die Trennung nach verschiedenen Qualitäten und ihre jeweils entsprechende Behandlung zum Zweck der Wiederverwendung allgemein üblich. Dieses Bewußtsein, Problemen an der Wurzel begegnen zu müssen, ist die Grundlage für neue Konzepte. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Eigenschaften von Schwarzwasser (aus den Toiletten) und Grauwasser (Haushaltsabwässer ohne Schwarzwasser) ermöglichen die neuen Sanitärkonzepte die Herstellung von Düngemitteln aus Schwarzwasser und die Wiederverwendung von behandeltem Grauwasser. Bei der Betrachtung der Zusammensetzung von Schwarzwasser fällt auf, daß sich ein Großteil der organischen Stoffe und bestimmter Nährstoffe in den Feststoffen (Braunwasser) befinden. Im Gegensatz dazu enthält Gelbwasser (Urin) nahezu alle der wertvollen löslichen Nährstoffe, wie N, P, K und andere. Neue, vielversprechende Sanitärsysteme werden in mehreren Ländern als Pilotprojekte gebaut.

In Lübeck/Deutschland wird das Pilotprojekt eines Vakuum-Biogas-Systems für 350 Einwohner gebaut. Dieses System ist in der Lage, die Wertstoffrückgewinnung in dichter besiedelten Gebieten mit bis zu 5.000 Einwohnern zu gewährleisten. Ein anderes vorteilhaftes System für kleinere Dörfer und einzelne Häuser sieht die Verwendung von urinseparierenden Toiletten (NoMix-Toiletten) vor. Gelbwasser wird ohne Verdünnung gesammelt und kann direkt auf Anbauflächen verwendet werden – die Nährstoffzusammensetzung eignet sich für viele Bodenarten. Das Volumen des Braunwassers wird in einem Zwei-Kammer-Rottebehälter mit Filtersystem verringert, wobei jeder Behälter ein Jahr lang benutzt wird und im darauffolgenden Jahr nicht weiter belastet wird.

Der Kompost kann zur Verbesserung der langfristigen Bodenfruchtbarkeit verwendet werden. Grauwasser könnte mit jedem System, das auf der Basis sessiler Biomasse arbeitet, behandelt werden – hervorragende Resultate wurden mit einem vertikal durchströmten System aus Pflanzenkläranlagen (eigentlich ein langsamer biologischer Sandfilter) erreicht. Ein Pilotprojekt für ein ländliches, kleines Museum wird gerade mit dem Wupperverband/ Deutschland, gebaut. Trockentoiletten mit zwei durch Solarenergie beheizten Kammern können hervorragende Lösungen bei finanziellem Mangel und für verschiedene soziale und geographische Bedingungen sein. Des weiteren müssen

die Auswirkungen von Regionalplänen und die Umrüstung bestehender Systeme für die weitere Verbreitung neuer Sanitärkonzepte bedacht werden.

1. Willkommen in der Zukunft – Null-Emissions-Konzepte in der kommunalen Abwasserwirtschaft

Wenn in der Natur ablaufende Prozesse nicht wiederverwendbare Abfallstoffe hervorbringen würden, wäre wahrscheinlich höher entwickeltes Leben nicht mehr möglich. Wir können einen Beitrag zum beginnenden Wechsel von derzeitigen Technologien mit übermäßiger Abfallproduktion hin zu zukünftigen abfallfreien Technologien leisten. Nachwachsende Rohstoffe werden von der Sonne erneuert und von fruchtbaren Böden sowie dem Oberflächenwasser bereitgestellt (zusätzlich zur direkten Energienutzung).

Ökologische Abwasserwirtschaft wird eine Schlüsselrolle bei der Suche nach Lösungen für die effiziente Nutzung und Wiederverwendung von Wasser, langfristige Bodenfruchtbarkeit und für den Schutz der natürlichen Gewässer spielen. Null-Emission heißt 100% Wiederverwertung – dieses Konzept wurde an der UNO-Universität in Tokio/ Japan für die industrielle Produktion (Pauli et al., 2000) entwickelt. Das gleiche Prinzip kann auf die kommunale Abwasserwirtschaft angewendet werden, wodurch unter das Konzept „Abwasser“ ein Schlußstrich gezogen würde. Sanitärsysteme können hochgradig effizient gebaut werden: Alte und neue Technologien können für Teilstrombehandlungssysteme angewandt werden.

Wir können die Abwasserwirtschaft als eine Produktionseinheit betrachten, die qualitativ hochwertige Produkte, wie wiederverwendbares Wasser, unbedenkliche Düngemittel und Material zur Verbesserung der Bodenqualität (wenn passend auch mit behandeltem Biomüll) bereitstellt. Wir können dazu auch „Ressourcenbewirtschaftung“ sagen, da es dann kein Abwasser mehr geben wird. Es existieren bereits solche Ansätze und sie können umgesetzt werden. Wir befinden uns in einer Phase schneller Entwicklung und es gibt bereits viele Pilotsysteme, sowohl in Planung als auch bereits fertiggestellt und in Betrieb. Sie können durchaus wirtschaftlicher arbeiten als End-of-the-Pipe-Systeme. Willkommen in der Zukunft!

2. Nachteile der konventionellen Abwasserwirtschaft

Das herkömmliche Sanitärkonzept ist eine End-of-the-Pipe-Technologie. Akute Probleme (nicht die langfristigen) werden dabei gelöst, anstatt sie vor ihrem Entstehen durch entsprechende Systeme zu vermeiden. Diese neuen Lösungen sind in der industriellen Abwasserreinigung zum Standardansatz geworden. Es sind Methoden zur Teilstrombehandlung entwickelt worden, um die Wiederverwendung von Stoffen zu ermöglichen. Im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung hat die Diskussion über diese Ansätze gerade erst begonnen (Henze, 1997). Als die ersten WC's und Entwässerungsanlagen installiert wurden, wurde Kritik aufgrund der Verschwendung von Wasser und Nährstoffen laut, aber die alternativen Systeme waren zu dieser Zeit nicht hinreichend zuverlässig (Lange, Otterpohl, 1997; Harremoës, 1997). Das Wasser, das für eine früher kleine Bevölkerung in den wasserreichen Ländern einfach erhältlich war, der Abbau fossiler Nährstoffe und die billige Energie setzten der Entwicklung von Teilstrombehandlungssystemen ein Ende.

Sanitärkonzepte sollten die Verantwortung sowohl für die Zukunft der Natur als auch für die der Menschen beachten. Es gibt keinen Grund, auf öffentlichen oder politischen Druck zu warten, da die öffentliche Meinung in großem Maße von Fachleuten abhängig ist. Es ist offensichtlich, daß die

grundlegenden Tatsachen für nachhaltige Systeme sprechen, trotzdem sind Pilotprojekte für die neuen Ansätze notwendig. Umsichtige Planung könnte die allgemeine Praxis beenden: Die automatische Installation der aus WC – Kanalisation – Abwasserkläranlage (WC-S-WWTP) bestehenden Systeme ohne ernsthafte Erwägung von Alternativen.

Die Agenda 21 der UNO berücksichtigt nachhaltige Sanitärkonzepte nicht (Agenda 21, 1992), obwohl Wasser und fruchtbares Land wichtige Voraussetzungen für das Überleben kommender Generationen sind. Die Form der Abwasserbehandlung kann nicht festgelegt werden, ohne daß die Folgen einer weltweiten Übernahme des konventionellen Systems bedacht werden. Viele Experten der Abwasserwirtschaft sind sich darüber einig, daß dies schon kurzfristig zu Katastrophen in wirtschaftlich schwächeren Ländern führen würde. Es wird notwendig sein, die beeindruckende Vielfalt der technischen Möglichkeiten und deren jeweilige wirtschaftliche und soziale Auswirkungen zu bewerten, um die weitere Entwicklung der Abwasserwirtschaft voranzutreiben. Eine Auswahl von Lösungen zur Teilstrombehandlung findet sich bei Henze et al. (1997) sowie Otterpohl et al. (1999).

Effiziente Sanitärkonzepte werden zum größten Teil auf die Kooperation mit der Landwirtschaft angewiesen sein, um Emissionen zu vermeiden und um die Wiederverwendung von Wasser und Nährstoffen möglich zu machen. Eine nachhaltige Landwirtschaft muß wasserschonend sein und muß die Verbesserung der Bodenqualität, zumindest jedoch die Erhaltung des momentanen Zustands gewährleisten. Die industriell betriebene Landwirtschaft führt oft zum Verlust von Mutterböden und dieser Prozess schreitet in alarmierendem Tempo fort (Pimentel, 1997). Organische Düngemittel aus der Abwasser- und Abfallwirtschaft können zur Erhaltung und Verbesserung der Mutterböden beitragen.

Wenn Fäkalien in konventionellen Spültoiletten mit dem Abwasser vermengt werden, folgt daraus ein hoher Wasserbedarf, die Verteilung von potentiell gefährlichen Pathogenen in einer großen Wassermenge und es gehen die Möglichkeiten zur unkomplizierten Wiederverwendung des Grauwassers und zur Herstellung von Düngemitteln verloren. Die anfänglich geringe Menge an Fäkalien könnte einfach und kostengünstig gereinigt werden. Für das seltsame Gemisch, das kommunales Abwasser genannt wird, ist die hygienische Aufbereitung ein teurer, weiterer Behandlungsschritt.

Bei hohen Kostenaufwendungen für konventionelle Kanalisationssysteme sind diese auch noch mit großen Nachteilen verbunden (wenn Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden). Mischsysteme geben Rohabwasser zusammen mit dem Regenwasser in die Vorfluter ab, Speicherbecken sind sehr teuer, wenn die Menge übertretender Flüssigkeit gering gehalten werden soll. Trennsysteme sind oft nicht besser, häufig sind sie aufgrund der großen Anzahl falscher Verbindungen sogar noch schlechter. Entwässerungssysteme führen große Wassermengen aus der Region ab, selbst in industrialisierten Ländern erreicht die Entwässerung das gleiche Volumen wie das gesamte Abwasser. Dieses Wasser verdünnt das Abwasser und geringere Konzentrationen spiegeln geringe Emissionen vor, obwohl die Belastung hoch sein kann. In vielen Fällen geben Entwässerungssysteme Rohabwasser in den Boden ab, wodurch die Gefahr der Verschmutzung entsteht.

Die Diskussionen über Hormone und Stoffe mit hormonähnlichen Wirkungen sowie die Emission von Arzneimittlrückständen durch die Benutzer, einschließlich der Hormone aus Kontrazeptiva, zeigen eine weitere Schwäche der Sanitärssysteme auf. Diese Substanzen erreichen sehr einfach die Vorfluter, vor allem aufgrund ihrer Polarität und in Verbindung mit den häufig sehr niedrigen Abbauraten in konventionellen Kläranlagen. Ein weiteres, potentiell sehr bedeutsames Problem ist die

Möglichkeit der Übertragung von Resistenz gegen Antibiotika durch deren unkontrollierte Abgabe an die Umwelt. (Daughton und Ternes, 1999)

3. Regionalplanung in der Abwasserwirtschaft

Regionalplanung wirkt sich in bedeutender Weise auf die Ökonomie des Abwassersystems aus. Die Kosten für das Kanalisationssystem liegen durchschnittlich bei 70% der Gesamtkosten für die Entwässerung und die Kläranlage, selbst in den dichter besiedelten ländlichen Gebieten Deutschlands. Dieser Prozentsatz kann unter ungünstigeren Bedingungen auch noch weit höher werden. Seit einigen Jahren wird die dezentrale vor-Ort-Behandlung als langfristige Lösung akzeptiert. Jedoch sind die gesetzlichen Anforderungen viel niedriger als bei größeren Kläranlagen. Es wurde berechnet, daß vor-Ort-Anlagen überproportional zur Umweltbelastung beitragen können. Demgegenüber ließen sich relativ einfache Systeme zur vollständigen Wiederverwendung der Nährstoffe einrichten.

Es ist wichtig, die richtigen Entscheidungen darüber zu treffen, wo ein Anschluß an die Kanalisation gelegt werden soll und wo eine vor-Ort-Anlage oder eine kleine dezentrale Kläranlage entstehen soll. Dadurch kann das Problem der teuren Entwässerungssysteme umgangen werden, die das ganze Geld verbrauchen, das anderenfalls der Umwelt in Form von hocheffizienten dezentralen Aufbereitungs- und Sammelsystemen zugute kommen könnte. Einige Kostenkalkulationen berücksichtigen langfristige Entwicklungen in der Gegenüberstellung von Betriebs- und Investitionskosten und Produkten (wiederverwendbares Wasser, Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel). Der Preis von Sekundärprodukten kann von großer Bedeutung für wirtschaftlich schwache und wasserarme Länder sein, in denen Wasser und Kunstdünger nicht subventioniert werden. Teilstrombehandlungsanlagen können die Leistungstärke der modernsten, größten End-of-the-Pipe-Anlagen vielfach übertreffen, und das bei viel geringeren Kosten.

Die Nachteile der dezentralen Anlagen mit effizienter Technologie liegen in den Schwierigkeiten der Wartung. Gesetzliche Haftungs- und Testphasenregelungen sind absolut notwendig, allerdings sollte kosteneffizientes Vorgehen beachtet werden. Der Aufbau dezentraler Systeme könnte so gestaltet werden, daß die Ableitung von Düngemitteln und die Wartung der Anlage gleichzeitig in regelmäßigen Abständen von 6 oder 12 Monaten durchgeführt wird. Ortsansässige Bauern könnten die richtigen Partner sein.

4. Grundlegende Betrachtungen zum Modell der Sanitärsysteme mit Teilstrombehandlung und zum richtigen Wassermanagement

Das Modell der Sanitärsysteme mit Teilstrombehandlung hat einen hohen Hygienestandard und die vollständige Wiederverwendung von Wertstoffen zum Ziel. Und genau das kann durch intelligente Teilstrombehandlung auch erreicht werden. Modelle müssen daraufhin untersucht werden, ob mit ihnen die angestrebten Ziele zu erreichen sind. Es ist nahezu sicher, daß diejenigen, die das einfache Grundprinzip: „kein Abfall, vollständige Wiederverwendung“ nicht verstehen, merkwürdige Konzepte auf den Tisch bringen werden. Selbstverständlich müssen die sozio-ökonomischen Bedingungen sehr ernst genommen werden. Die Grundlagen des neuen Systems müssen den Benutzern erläutert werden. Der wichtigste Schritt ist die Feststellung der enormen Unterschiede zwischen den einzelnen Hauptbestandteilen des Haushaltsabwassers wie sie in der Tabelle 1 dargestellt sind. Entsprechend den äußeren Bedingungen gibt es natürlich Abweichungen – Tabelle 1 zeigt den typischen Wertebereich.

Tabelle 1: Merkmale der Hauptbestandteile von Haushaltsabwasser

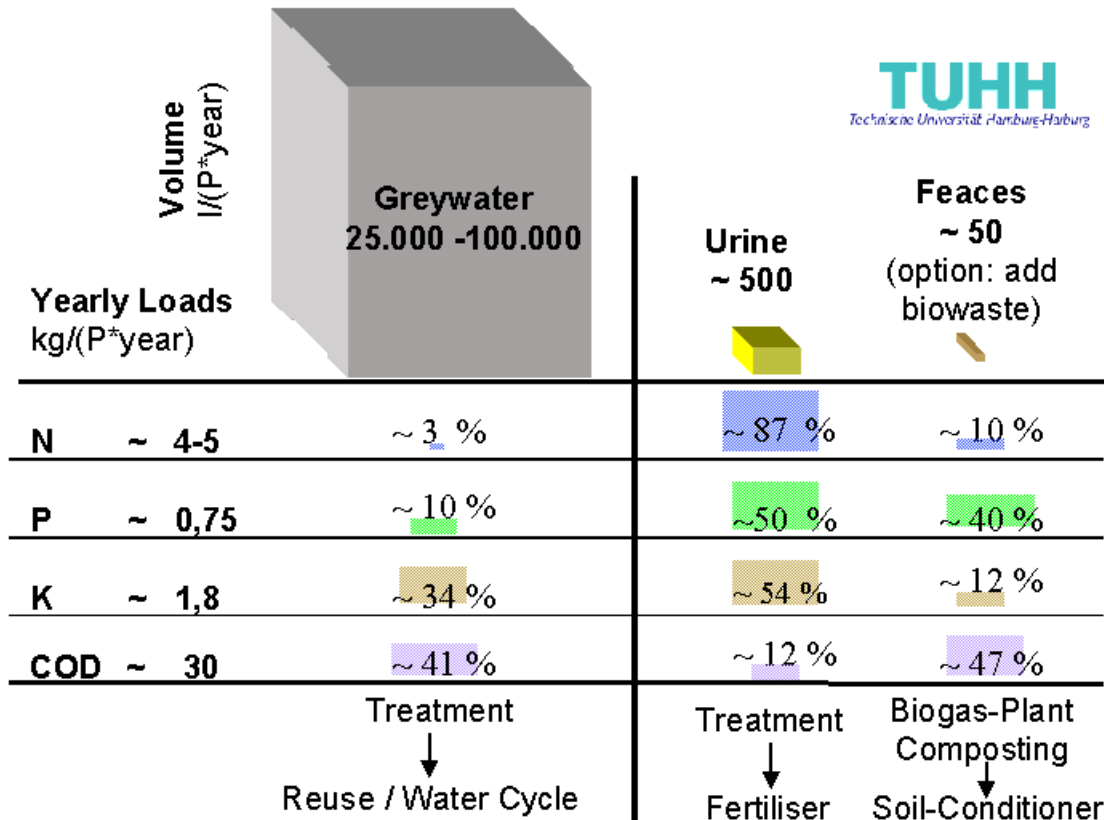


Tabelle 1 legt folgende Ergebnisse nahe:

- Die meisten löslichen Nährstoffe befinden sich im Urin. Wenn Urin separat abgeführt und für die Nutzung in der Landwirtschaft umgewandelt werden könnte, würden wir den größten Schritt in Richtung Wertstoffwiederverwendung und effizienten Wasserschutz machen.
- Die Gefahr der Gesundheitsschädigung durch Abwasser rührt nahezu ausschließlich von den Fäkalstoffen her. Trennung und niedrige bzw. keine Verdünnung würden eine hervorragende hygienische Aufbereitung und die Bereitstellung des Endprodukts „organischer Bodenverbesserungsmittel“ ermöglichen.
- Das Abwasser, das nicht mit Reststoffen des menschlichen Stoffwechsels (Fäkalien und Urin) vermischt ist, stellt eine bedeutende Resource für qualitativ hochwertiges, wiederverwendbares Wasser dar. Biologische Sandfilter und die Membrantechnologie eröffnen Möglichkeiten für die kostengünstige Herstellung von Brauchwasser, dabei ist der Einsatz in jedem geographischen Rahmen möglich: vor Ort, lokal oder regional.
- Die Teilstrombehandlung sollte die Bewertung von Produkten, die im Wasser verbleiben, beinhalten. Eine qualitativ hochwertige Wiederverwendung würde bedeutend vereinfacht, wenn

Haushaltschemikalien nicht nur abbaubar wären (die ursprüngliche Substanz verschwindet, auch wenn sich Stoffwechselprodukte nicht abbauen) sondern mit Hilfe der vorhandenen Technologien mineralisiert werden könnten. Die das Trinkwasser leitenden Rohre sollten keine Schadstoffe absondern (z.B. Kupfer oder Zink).

- Der Regenwasserabfluß ist einer der Gründe für den Bau von Entwässerungssystemen. Beim Bau von dezentralen Systemen muß der Regenwasserabfluß beachtet werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird es häufig nicht möglich sein, Entwässerungskanäle für Regenwasser zu bauen, wenn dezentrale Sanitärsysteme installiert werden sollen. Die lokale Versickerung oder die Ableitung zum Oberflächenwasser mit Hilfe von Gräben sind für das, relativ betrachtet, nicht verschmutzte Regenwasser meist durchführbar und können auch mit der Nutzung kombiniert werden. Zum Schutz vor Verschmutzung gehört auch die Vermeidung von Kupfer und Zink beim Bau von Dachrinnen und Regenrohren, da sie Verschmutzungen durch Schwermetalle hervorrufen können.

Auf dem Welt-Wasserforum in Den Haag 2000 gab es heftige Diskussionen über das Thema Wasserknappheit. Eine nahezu ungehörte Stimme vom CSE (Zentrum für Wissenschaft und Umwelt, Delhi/ Indien) präsentierte eine andere Meinung: „Es gibt keine Wasserknappheit, nur Mißwirtschaft“. Dieses Forschungszentrum kann überzeugende Beweise für den unglaublichen Erfolg der dezentralen Regenwassersammlung im lokalen Maßstab vorlegen. Während der Perioden der verheerenden Dürre in Gujarat im Jahr 1999 waren viele Dörfer ausreichend mit Wasser versorgt. Diese Dörfer hatten durch unterschiedliche Maßnahmen dafür gesorgt, daß die Regenwasserabflüsse mit Hilfe von Kontrolldämmen in Richtung der Grundwasserleiter gelenkt wurden, wodurch die Regenwasserabflüsse in die Brunnen und Zisternen geleitet wurden (Manish Tiwari, 2000). Wir können hinzufügen, daß der Einsatz konventioneller Sanitärsysteme eine Mißwirtschaft darstellt, mit Ausnahme der Fälle, in denen die Wiederverwendung der Abwassergemische in Kombination mit Bewässerung und Düngung das ganze Jahr über durchgeführt werden kann. Eine Abwasserwirtschaft mit Teilstrombehandlung und die Wiederverwendung von Grauwasser können den Bedarf an Frischwasser (z.B. aus Zisternen) auf niedrige Anteile von bis zu 10% dessen senken, was heutzutage als effizient bezeichnet wird.

5. Entwicklungslinie 1: NoMix-Toiletten und Schwerkraftsysteme

Dieses Konzept eignet sich für einzelne Häuser und ländliche Siedlungen mit NoMix-Toiletten (häufig Separationstoiletten genannt, exakter wäre Sortierstoiletten). Das Ziel dieses Konzepts ist die Bereitstellung eines kostengünstigen, wartungsarmen Systems mit der Möglichkeit zur vollständigen Wertstoffrückgewinnung. Das System leitet das Gelbwasser (Urin) über ein separates Rohr in ein Sammelbecken, in dem es bis zu seiner Verwendung in der Landwirtschaft gespeichert wird.

Die Dauer der Speicherung sollte mindestens ein halbes Jahr betragen, da das eine angemessene Sammelperiode ist und während dieser Spanne ein Teil der eventuell vorhandenen Arzneimittelrückstände vernichtet werden kann. Diese Substanzen geben immer Anlaß zur Sorge, aber die schnelle Emission in Oberflächenwasser, aus dem häufig Trinkwasser hergestellt wird, könnte von zwei Übeln das größere sein. Die Hersteller pharmazeutischer Produkte beschäftigen sich zunehmend auch mit dem Problem der Arzneimittelrückstände nach der Anwendung.

Das Braunwasser (Fäkalien) wird mit einer entsprechenden Wassermenge (z.B. 4 oder 6 Liter) gespült und danach entweder separat oder mit dem Grauwasser zusammen abgeleitet und in eine von

zwei Kammern des Rottebehälters (mit Filterboden oder Filterbeutel) (s. Abbildung 1) eingefüllt. Die Feststoffe werden dort vorkompostiert. Nach der einjährigen Sammel-, Entwässerungs- und Kompostierungsperiode wird der Strom in die zweite Kammer geleitet, während die erste Kammer ein Jahr lang ruht. Dadurch ist die Fortsetzung der Entwässerung und Kompostierung möglich und die Leerung des Sammelbehälters wird sicherer.

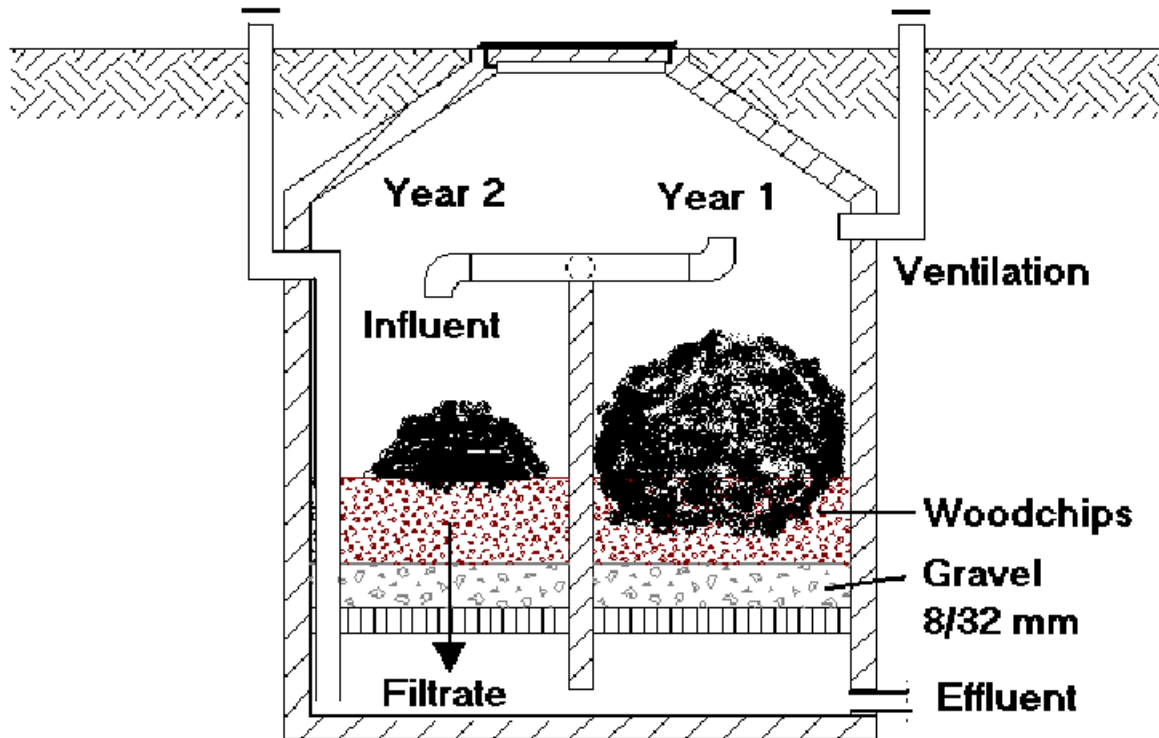


Abbildung 1: Rottebehälter mit zwei Kammern

Die Produkte werden aus dem Rottebehälter entfernt und entweder als Bodenverbesserungsmittel auf Anbauflächen verwendet oder anderenorts vollständig kompostiert, wobei eine Vermischung mit Küchen- und Gartenabfall möglich ist, so daß ein vollständiger Abbau und eine weitergehende hygienische Aufbereitung erfolgen kann, z.B. durch Kompostierung. Der reife Kompost wird zur Bodenaufbereitung genutzt und ist dazu geeignet, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten bzw. zu verbessern. Das Filtrat aus dem Rottebehälter enthält aufgrund der vorherigen Separation des Urins nur geringe Mengen an Nährstoffen – die gelösten Nährstoffe befinden sich hauptsächlich im Urin. Aus diesem Grund kann das Filtrat zusammen mit dem Grauwasser behandelt werden (es sei denn, es ist eine qualitativ anspruchsvolle Wiederverwendung geplant).

Das Grauwasser wird entweder zusammen mit dem Braunwasser im Rottebehälter vorbehandelt, wodurch der Einbau eines dritten Rohres innerhalb des Hauses und vom Haus zum Behälter vermieden wird, oder vollständig separat zum Zweck der qualitativ anspruchsvollen Wiederverwendung gereinigt. Der nächste Schritt einer effektiven Reinigung kann entweder ein biologischer Sandfilter sein (vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage) oder in einer Misch-Belebtschlammanlage mit Mikro- oder Nanofiltrierung erfolgen.

Diese beiden Technologien bieten einen wirksamen Schutz gegen Krankheitserreger und können qualitativ hochwertige Abflüsse bei geringem Wartungsaufwand erzeugen. Das gereinigte Wasser wird in einen lokalen Vorfluter eingeleitet, im Boden versickert oder für die Wiederverwendung gesammelt. Die Pflanzenkläranlage verbraucht nur sehr wenig Energie, benötigt aber eine größere Fläche von etwa 1 bis 2 m² pro Einwohner. Die verschiedenen Elemente des Konzepts sind in Abbildung 2 dargestellt.

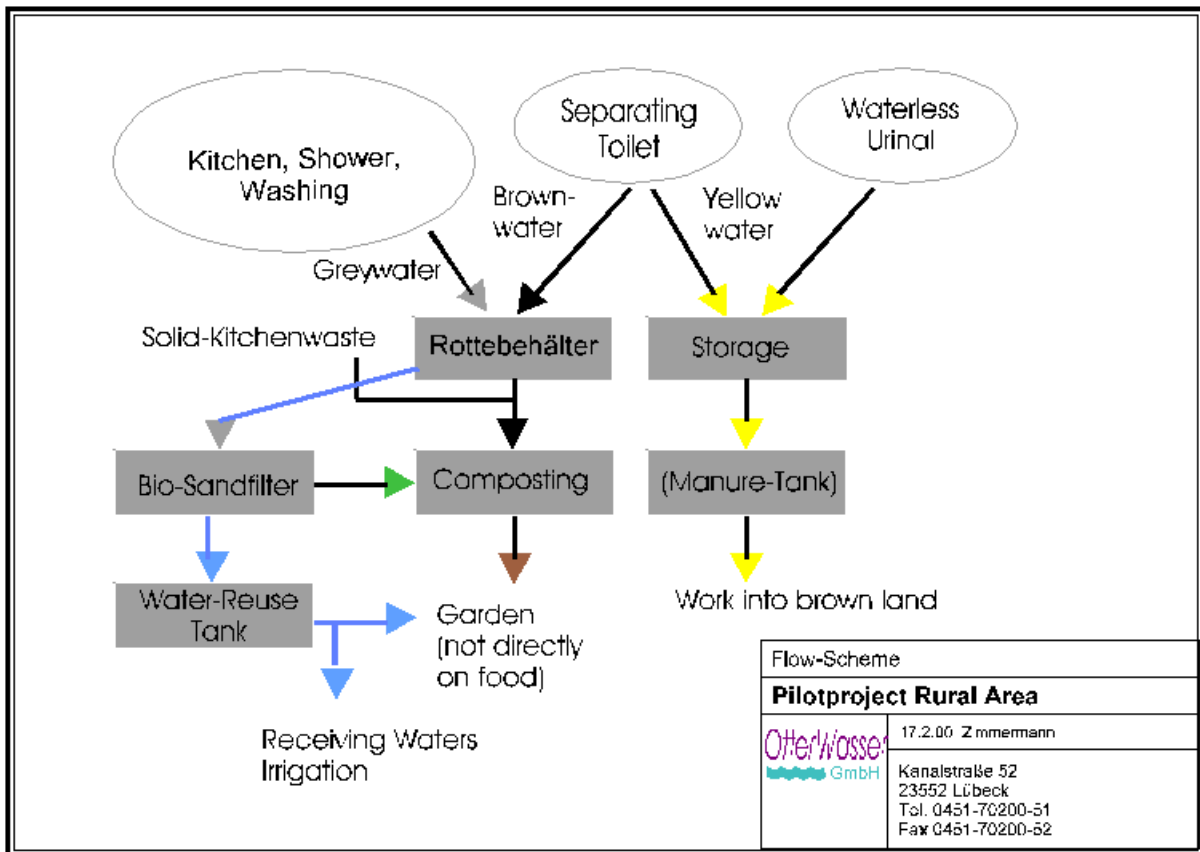


Abbildung 2: Elemente eines ländlichen Sanitärsystems mit Teilstrombehandlung mit einer Kompostierungskammer (=Rottebehälter)

Die Planungsparameter für die Elemente der Systemkomponenten können von fortschrittlichen dezentralen Technologien abgeleitet werden. Dabei müssen die Unterschiede in der Belastung beachtet werden. Für reines Grauwasser ist charakteristisch, daß es etwa die Hälfte der CSB-Belastung bei einem Volumenanteil von 2/3 des Gesamtstromes enthält. Die Filtrate aus den Rottebehältern sind dabei wahrscheinlich nicht von Bedeutung, abgesehen von potentiellen, zusätzlichen Pathogenbelastungen.

Die Ableitung und Speicherung von Urin kann ganz unkompliziert geplant werden: Es fallen maximal 1,5 Liter Urin pro Person und Tag an. Das Ziel dabei ist die wasserfreie Ableitung, die bisher jedoch noch nicht vollständig entwickelt ist. Das Spülwasser darf nur ein kleiner Strom sein, sonst ergeben sich Schwierigkeiten bei der Speicherung, beim Transport und der Nutzung.

Die wasserfreie Ableitung würde wahrscheinlich auch die durch Ablagerungen entstehenden Probleme vermeiden. Die Sammelbehälter müssen chemikalienfest, die Rohre und die Behälter absolut wasserdicht sein – kleine aber kontinuierliche Infiltrationsmengen können zu einer starken Verdünnung und zu häufiger notwendig werdenden Transporten führen. Weitere Erfahrungen werden die z. Zt. durchgeführten Pilotprojekte bringen.

Das hier vorgestellte Konzept kann, entsprechend den jeweiligen Rahmenbedingungen, auch in anderer Weise verwirklicht werden. Es ist besonders interessant, diese Konzepte in regionale Planungen einzubeziehen. Anhand vergleichender Kostenkalkulationen könnte eine sehr kostengünstige Lösung für ein ganzes Gebiet gefunden werden und gleichzeitig eine allmähliche Einführung der neuen Konzepte erreicht werden. In jedem Fall müssen die Grundlagen und die Ziele der neuen Konzepte gut erläutert werden, um so die Einwohner zur Zusammenarbeit anzuregen.

Praktische Erfahrungen mit urinseparierenden Toiletten wurden bisher hauptsächlich in Schweden gemacht. Dort gibt es bisher über 3000 Installationen. Dabei ist deutlich gezeigt worden, daß diese Technologie durchführbar ist. Beobachtete Nachteile rührten von zu kleinen Durchmessern der urinabführenden Rohre her, bei denen aufgrund von Ablagerungen Verstopfungen auftraten. Der Schritt hin zur wasserfreien Ableitung ist in Schweden bisher nicht vollzogen worden.

Ein deutsches Unternehmen arbeitet an einer weit entwickelten Toilette zur wasserfreien Urinableitung. Doch selbst bei wasserfreien urinseparierenden Toiletten bleibt ein großes Problem erhalten: Männer weigern sich häufig, beim urinieren zu sitzen, trotz des sonst unvermeidlichen Verspritzens von Urin im Toilettenraum. Dadurch gehen dem Braunwasser Urinanteile verloren. Jüngere Männer scheinen die Sitzposition besser zu akzeptieren. Das Verständnis für die große Wirkung des individuellen Beitrags zum lokalen Wasserschutz könnten bei der Umgewöhnung helfen. Die luxuriöse Variante ist ein eigenes, weit entwickeltes, wasserfreies Urinal.

Die Hersteller wasserfreier Urinale hatten mit ernsthaften Problemen hinsichtlich falscher Reinigungschemikalien und Konstruktionsfehlern zu kämpfen. Es gibt neue Modelle aus Keramik und Kombinationen mit wasserabweisender Beschichtung (nano-coating), die technisch machbar und hoffentlich bald erhältlich sind. Dieser Oberflächentypus wird auch einen großen Fortschritt für Sortiertoiletten darstellen. Ein weiteres Problem der Sortiertoiletten ist die Beseitigung des Toilettenpapiers, das von den meisten Frauen und auch von einigen Männern nach dem Urinieren benutzt wird. Man könnte einen Abfalleimer für dieses Papier bereitstellen; anderenfalls kann es in das Fäkalienbecken entsorgt werden. Wenn das Papier dann nicht weggespült würde, entstünde kein zusätzlicher Wasserverbrauch. Neue Ideen zur Lösung dieses Problems wären hilfreich.

Es gibt eine Vielzahl von erfolgreich betriebenen Rottebehältern vor allem in Österreich und Deutschland. Pflanzenkläranlagen mit vertikaler Versickerung und schrittweiser Zuführung entwickeln sich zur Standardlösung bei einem Flächenbedarf von weniger als 3 m² pro EGW. Dieser Bedarf kann für Grauwasser geringer ausfallen. Kleine Belebungsanlagen mit Membranen zur Trennung von fester und flüssiger Phase werden immer üblicher und ihre Leistungsfähigkeit könnte noch verbessert werden, wenn sie mit Grauwasser arbeiteten.

Die Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) und die Otterwasser GmbH in Lübeck haben das oben beschriebene System für den Wupperverband/ Wuppertal für die vor-Ort-Behandlung an einer historischen Wassermühle in der Nähe von Burscheid (Raum Köln) entwickelt. Das System wird derzeit von Lambertsmühle e.V. (Privatinitiative für die Restaurierung der Wassermühle) er-

richtet (Mai 2000). Diese Mühle wird als Museum für den Weg „Vom Korn zum Brot“ eingerichtet. Im ersten Planungstreffen wurde die Idee geboren, in einigem Abstand eine Darstellung des Weges „Vom Brot zum Korn“ hinzuzufügen.

6. Entwicklungslinie 2: Vakuumtoiletten und Vakuumtransport zu einer Biogasanlage

Ein integriertes Sanitärkonzept mit Vakuumtoiletten, Vakuumleitungen und einer Biogasanlage für Schwarzwasser wird für die neue Wohnsiedlung „Flintenbreite“ der Stadt Lübeck (Ostsee, Deutschland, NN 2000) umgesetzt. Das insgesamt 3,5 ha große Gebiet ist nicht an das zentrale Abwassersystem angeschlossen. Die Wohnsiedlung, in der ca. 350 Einwohner leben werden, ist als ein Pilotprojekt geplant, mit dem das Konzept in seiner praktischen Anwendung vorgestellt werden soll.

Alle Komponenten dieses Projekts werden seit vielen Jahren in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt und sind daher weit entwickelt. Vakuumtoiletten werden auf Schiffen, in Flugzeugen und in Zügen eingesetzt. Es gibt auch bereits einige Installationen in Appartementshäusern, die dazu beitragen sollen, Wasser zu sparen. Konventionelle Vakuumentwässerungssysteme leisten in Hunderten von Gemeinden gute Dienste. Die anaerobe Behandlung findet in der Landwirtschaft, bei der Reinigung von Industrieabwässern und Biomüll, in vielen landwirtschaftlichen Betrieben sowie bei der Aufbereitung von Fäkalien in zehntausend Anwendungsvarianten in Südostasien und anderswo Anwendung. Das System, das in Lübeck gebaut wird, besteht hauptsächlich aus den folgenden Komponenten (Abbildung 3):

- Vakuumtoiletten (VC) mit Sammlung und anaerober Behandlung bei gleichzeitiger Behandlung von organischem Haushaltsabfall in einer semi-zentralen Biogasanlage, Wiederverwendung des Faulschlammes in der Landwirtschaft mit weiterer Speicherung für die Wachstumszeiten. Verwendung von Biogas zum Betreiben eines Wärme- und Energiegenerators (Wärme für die Häuser und den Faulbehälter sowie den elektrischen Strom) zusätzlich zu Erdgas.
- Dezentrale Behandlung von Grauwasser in vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen mit schrittweiser Zuführung (sehr energieeffizient)
- Regenwasserauffang und Versickerung in einem Muldensystem

Die Wärme für die Wohnsiedlung wird von einem kombinierten Wärme/Energie-Generator produziert, der auf Biogasbetrieb umgeschaltet wird, wenn der Sammelbehälter gefüllt ist. Die Wärme wird außerdem genutzt, um die Biogasanlage zu beheizen. Zusätzlich gibt es ein passives Solarsystem zur unterstützenden Wärmeversorgung der Häuser und ein aktives Solarsystem für die Bereitstellung von warmem Wasser. Abbildung 3 zeigt nicht alle Details auf, sondern soll einen Eindruck des Konzepts zur Ableitung und Behandlung von Fäkalien geben.

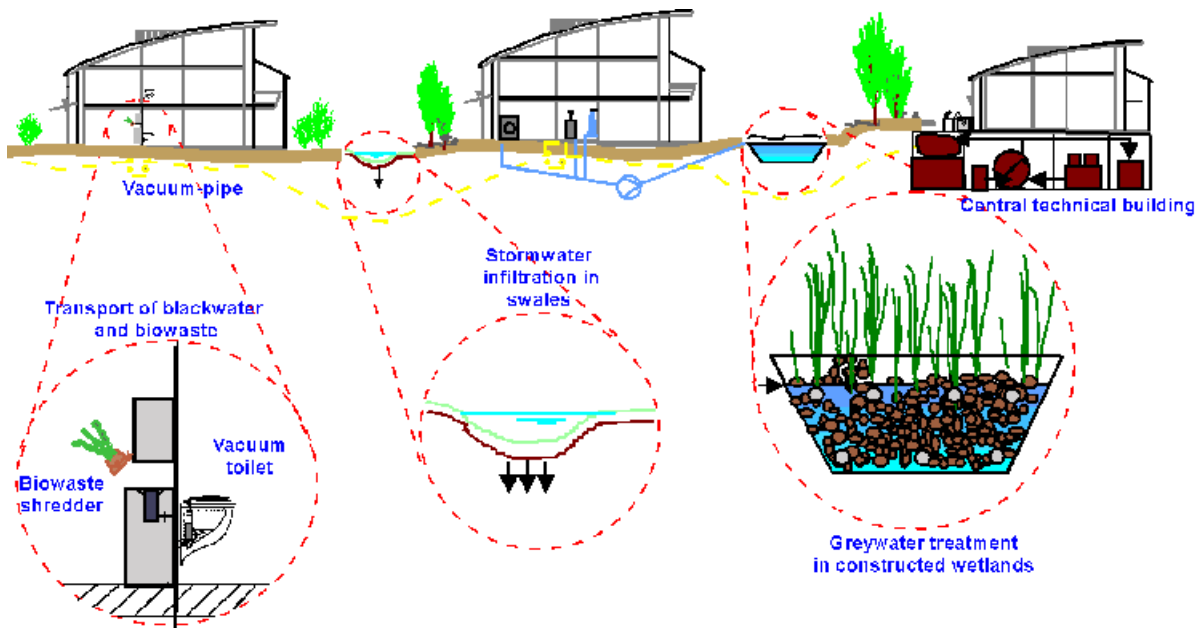


Bild 3: Vakuum-Biogassystem, biologischer Filter für Grauwasser und Regenwasserversickerung

Am Faulbehälter wird eine Vakuumpumpstation installiert. Die Pumpen besitzen eine Zusatzeinrichtung zur Überbrückung eventuell auftretender Defekte. Der Druck im System beträgt 0,5 bar und betreibt sowohl die Vakuumtoiletten als auch die Vakuumleitungen. Die Rohre haben einen Durchmesser von 50 mm zur Gewährleistung des Transports durch Luft. Sie müssen relativ tief im Boden liegen, was dem Schutz vor dem Einfrieren dienen soll, und außerdem alle 15 m eine Steigung oder ein Gefälle von etwa 20 cm aufweisen, damit aus den transportierten Stoffen Pfropfen gebildet werden können. Die Geräusche sind ein Problem bei Vakuumtoiletten, aber moderne Ausführungen sind nicht lauter als Spültoiletten und das entstehende Geräusch ist sehr kurz. Trotzdem müssen sich die Benutzer erst einmal daran gewöhnen.

Die mit dem zerkleinerten Biomüll vermischten Fäkalien (Mischung nur mit Schwarzwasser) werden hygienisch aufbereitet, indem die Beschickungsmenge 10 Stunden lang auf 55°C erwärmt wird. Die Energie wird außerdem vom Faulbehälter genutzt, der bei 37°C mesophil betrieben wird und ein Fassungsvermögen von 50 m³ aufweist. Ein weiteres Problem ist der Schwefelwert im Biogas. Er kann durch die gesteuerte Zugabe von Sauerstoff in den Faulbehälter oder in den Gasstrom auf ein Minimum verringert werden.

Die Biogasanlage stellt außerdem eine Produktionseinheit für Flüssigdüngemittel dar. Es ist sehr wichtig, die Wege der Schadstoffe von Anfang an in die Überlegungen mit einzubeziehen. Eine Quelle der Belastung durch Schwermetalle ist die Verwendung von Kupferrohren oder verzinkten Rohren für Trinkwasserleitungen. Diese Materialien werden vermieden und es kommen Rohre aus Polyethylen zum Einsatz. Der Schlamm wird nicht entwässert, da dadurch eine günstige Zusammensetzung des Düngemittels erreicht wird und keine Behandlung des Schlammwassers nötig ist. Die relativ geringen Mengen an Wasser, die dem Schwarzwasser beigelegt werden, sorgen für ein Gesamtvolumen, das für den Transport klein genug ist.

Es werden Speicherbehälter, die für 2 Wochen Speicherdauer ausgelegt sind, zur Sammlung des Faulbehälterabflusses gebaut. Das Biogas wird im gleichen Behälter in einem Ballon gespeichert,

wodurch der Betrieb flexibler gestaltet wird. Der Dünger wird von Lastwagen abgepumpt und zu einem landwirtschaftlichen Betrieb gefahren, der einen Speicher für 8 Monate besitzt. Diese Behälter sind oft vorhanden oder können mit geringen Investitionen gebaut werden. In Abbildung 4 ist das technische Gebäude abgebildet, in dem die Vakuumpumpstation, der Faulbehälter, der Wärme- und Energiegenerator sowie andere Geräte eingebaut sind. Daneben befindet sich ein Versammlungsraum, ein Büro und 4 Wohnungen.



Abbildung 4: Das Gemeinschaftshaus der für 350 Bewohner konzipierten Wohnsiedlung „Flintenbreite“ mit der Vakuumpumpstation, der Biogasanlage und der Anlage zur Wärme- und Energiegewinnung. Detailbild: Vakuumtoilette mit einem Spülwasserverbrauch von ca. 1 Liter.

Die dezentrale Reinigung von Grauwasser sollte durch Biofilmbehandlung erfolgen. Membran-Bioreaktoren oder Pflanzenkläranlagen wären geeignete Technologien. Jedes dieser Systeme schützt vor der möglichen Belastung durch Krankheitserreger. Das Wasser kann zur Gartenbewässerung oder zur Versickerung in das Regenwassersystem genutzt werden. Grauwasser kann relativ leicht gereinigt werden, da es nur geringe Anteile an löslichen Nährstoffen enthält. Mehrere im technischen Bereich angesiedelte Projekte haben gezeigt, daß die dezentrale Grauwasserbehandlung sehr wohl durchführbar ist und daß die Leistungsfähigkeit mit gut bis sehr gut bewertet werden kann (NN 1999).

Diese Anlagen ermöglichen die Wiederverwendung des Wassers für die Toilettenspülung, wobei diese Möglichkeit für das Lübecker Projekt wirtschaftlich nicht durchführbar ist, da die Vakuumtoiletten nur einen geringen Wasserverbrauch aufweisen. Für die Wohnsiedlung „Flintenbreite“ wurden Pflanzenkläranlagen mit vertikaler Durchströmung angelegt, die in der Größenordnung von 2 m² pro Einwohner liegen (sie könnten auch kleiner dimensioniert werden). Die Errichtung und vor allem das Betreiben dieser Anlagen ist relativ billig. Es gibt ein Vorklärbecken in Form eines Sandfangs für Feststoffe und zur Fettabscheidung. Erste Messungen des Abflusses haben sehr niedrige Stickstoffkonzentrationen ergeben: 0,3 für Ammonium-N und 0,4 für Nitrat-N.

Die Infrastruktur der Wohnsiedlung „Flintenbreite“ mit dem integrierten Sanitärkonzept wird von einer Bank vorfinanziert und wird von dem Privatunternehmen infranova GmbH betrieben, wobei beteiligte Unternehmen, Planer, Haus- und Wohnungseigentümer finanziell integriert sind und bei Entscheidungen stimmberechtigt sind.

Ein Teil der Investitionen wird wie bei den herkömmlichen Systemen durch eine Anschlußgebühr gedeckt. Durch den niedrigeren Frischwasserverbrauch, die koordinierte Installation aller Leitungen (Vakuumleitungen, Leitungen für lokale Wärme- und Energieverteilung, Wasserleitungen, Telekommunikationsleitungen) und dadurch, daß es nicht notwendig ist, eine Schwemmkanalisation zu bauen, werden Gelder eingespart, die für die wirtschaftliche Durchführbarkeit dieses Konzepts äußerst wichtig sind. Die erhobenen Gebühren für Abwasser und Biomüll decken die Betriebskosten, die Zinsen für zusätzliche Investitionskosten und die Sanierungskosten für das System. Zu den Betriebskosten gehört auch die Bezahlung eines teilzeitbeschäftigten Technikers – ein Beitrag zur Verbesserung der lokalen Beschäftigungssituation. Das Unternehmen verwaltet die gesamten technischen Anlagen, auch die Wärme-/ Energieerzeugung und –verteilung, die aktiven Solarsysteme und das moderne Kommunikationssystem, das den Bewohnern zur Verfügung steht.

Die Material- und Energieintensität der technischen Anlagen wurde am Wuppertaler Institut nach der MIPS-Methode im Vergleich mit einem herkömmlichen System untersucht (Reckerzügl und Bringezu, 1998). Dabei ergab sich, daß die Material- und Energieintensität des dezentralen Systems weniger als 50% des Verbrauchs eines konventionellen Systems für ein Gebiet mit mittlerer Siedlungsdichte beträgt (s. Tabelle 2). Ein Großteil der Materialintensität für das zentrale System ergibt sich aus dem Bau der Abwasserleitungen. Die vorausgesetzten Abflußwerte basieren auf Mittelwerten von Messungen an Grauwasser. Die Abflußqualitäten werden mit den Durchschnittswerten einer modernen Kläranlage mit fortschrittlicher Nährstoffelimination und guter Leistungsfähigkeit verglichen.

Tabelle 2 zeigt einige große Vorteile des neuen Systems auf, die die weitere Forschung rechtfertigen. Die auflaufenden Emissionsverringerungen für die Meere und die Einsparungen bei Material- und Energieverbrauch würden für eine durchschnittliche Betriebsdauer von 70 Jahren und eine Einwohnerzahl von 350 Personen wie folgt betragen: ca. 250.000 m³ Frischwasser, 70.000 kg an CSB, 1.500 kg an P, 13.000 kg an N, 30.000 kg an K, 5.250.000 KWh Energie und ca. 56.000 Tonnen an Baumaterial. Die zurückgewonnenen Emissionen können die Düngemittelproduktion aus fossilen Rohstoffen und die synthetische Herstellung von Stickstoff ersetzen. Daraus läßt sich eine Energieeinsparung von weiteren 2.450.000 KWh berechnen (Boisen, 1996). Diese Zahlen sind angesichts einer großen Weltbevölkerung und schwindender fossiler Rohstoffe von großer Bedeutung.

Das Interesse an dem oben beschriebenen integrierten Konzept hat seit seiner ersten Veröffentlichung (Otterpohl und Naumann, 1993) und der Errichtung des Lübecker Projekts deutlich zugenommen. Es gibt bereits weitere Projekte, die nach diesem Konzept gebaut werden sollen. Alles in allem kann das System an sich billiger sein als ein herkömmliches System. Das hängt davon ab, ob die Möglichkeit besteht, das Regenwasser lokal versickern zu lassen, wie es inzwischen die übliche Praxis ist. Es hängt weiterhin von der Größe des zu versorgenden Gebietes und der Einwohnerzahl ab. Die optimale Größe wäre ein Stadtgebiet mit etwa 500 bis 2000 Einwohnern. Der Einsatz in kleinerem Maßstab ist möglich, wenn das Gemisch aus Schwarzwasser und Biomüll nur gesammelt und zu einer größeren Biogasanlage transportiert wird, die bevorzugt zu einem landwirtschaftlichen Betrieb gehören sollte.

Die Behandlung von Grauwasser kann in einem bestehenden Klärwerk vorgenommen werden, wenn das Abwassersystem in der Nähe verläuft. In einigen Fällen ist das die wirtschaftlich günstigste Variante. Die Nährstoffelimination kann verbessert werden, wenn ein bestimmter Anteil der Bevölkerung an ein separates Schwarzwasserbehandlungssystem angeschlossen würde. Ab einem gewissen Prozentsatz wird dann die Nitrifikation überflüssig.

Tabelle 2: Geschätzte Emissionen, Energieverbrauch und Materialintensität des geplanten Systems im Vergleich zu einem herkömmlichen System

| Weit entwickeltes, konventionelles Sanitärkonzept (WC-S-WWTP) | | Neues Sanitärkonzept | |
|--|-----------------------|--|----------------------|
| Emissionen | | Emissionen^{*)} | |
| CSB | 3,6 kg/(E*a) | CSB | 0,8 kg/(E*a) |
| BSB ₅ | 0,4 kg/(E*a) | BSB ₅ | 0,1 kg/(E*a) |
| Gesamt N | 0,73 kg/(E*a) | Gesamt N | 0,2 kg/(E*a) |
| Gesamt P | 0,07 kg/(E*a) | Gesamt P | 0,01 kg/(E*a) |
| Gesamt K ^{**)} | (>1,7 kg/(E*a)) | Gesamt K ^{**)} | (< 0,6 kg/(E*a)) |
| Energie | | Energie | |
| Wasserversorgung (große Unterschiede) | -25 kWh/(E*a) | Wasserversorgung (20 % Wassereinsparung) | -20 kWh(E*a) |
| Abwasserbehandlung (normale Anforderung) | -85 kWh/(E*a) | Vakuumsystem | -25 kWh/(E*a) |
| <i>Verbrauch</i> | | Grauwasserbehandlung | - 2 kWh/(E*a) |
| | | Schlammtransport (2/Monat, 50 Fahrten) | -20 kWh/(E*a) |
| <i>Verbrauch</i> | -110 kWh/E*a) | <i>Verbrauch</i> | -67 kWh/(E*a) |
| | | Biogas | 110 kWh/(E*a) |
| | | Ersetzen der Dünger | 60 kWh/(E*a) |
| | | <i>Gewinn</i> | 170 kWh/(E*a) |
| Gesamt | -110 kWh/(E*a) | Gesamt | 103 kWh/(E*a) |
| Materialintensität ^{***)} | 3,6 t/(E*a) | Materialintensität ^{***)} | 1,3 t/(E*a) |
| ^{*)} Messungen an Grauwasser, NN 1999 ^{**)} angenommene Werte, keine Daten verfügbar ^{***)} MIPS-Studie (Reckerzügl und Bringezu, 1998) | | | |

Teilstrombehandlungssysteme können als hoch effiziente Technologien angesehen werden. Die Forschung anhand von Pilotprojekten wird die Entwicklung vorantreiben und neue Lösungen für die unterschiedlichen sozialen und geografischen Gegebenheiten unseres überbevölkerten Planeten aufzeigen.

7. Entwicklungslinie 3: Kostengünstige wartungsarme vor-Ort-Systeme

Es gibt viele Vorschläge und herkömmliche Technologien für die nachhaltige Abwasserwirtschaft mit echter Teilstrombehandlung der Reststoffe des menschlichen Stoffwechsels (Winblad 1998, Otterpohl u.a. 1999). Einige eignen sich eher für ländliche Gebiete, aber es gibt auch Anwendungsmöglichkeiten für Großstadtzentren. Die Grundtechniken der Low-Tech-Ableitung und –Behandlung (mit oder ohne Küchenabfälle) sind:

- Austrocknung (mit Solarheizung, Doppelkammersystem), problematisch für Gebiete mit Analbereichreinigung mit Hilfe von Wasser (anstelle von Toilettenpapier), gut kombinierbar mit Urinsammlung und –wiederverwendung
- Kompostierung (Betrieb häufig problematisch)
- Geringverdünnende Toiletten in Kombination mit Biogassystemen
- Urinsammlung in Kombination mit Biogassystemen für Fäkalien

Das Hauptproblem ist der Bau eines Toilettensystems, das komfortabel ist, die Abfallmengen nur geringfügig verdünnt und sie zufriedenstellend ableitet. Eine vielversprechende Technik ist die No-Mix-Toilette, die in Schweden entwickelt wurde. Da bei den meisten Toilettengängen nur uriniert wird, sammeln diese Systeme den Urin nur mit sehr wenig Wasser. Das ermöglicht eine einfache Urinsammlung (mit Essigkonzentrat zur Stabilisierung) oder -behandlung (z.B. Trocknung mittels einer Lehmmauer in Gebieten mit heißem Klima oder durch noch zu entwickelnde Solarsysteme).

Urin kann als Düngemittel direkt auf Mutterboden angewendet werden oder nach Verdünnung mit 5 bis 10 Teilen Wasser auf Pflanzen, jedoch nicht direkt auf Gemüse. Bis weitere Forschungsergebnisse zur Verfügung stehen, sollte Urin etwa ein halbes Jahr lang gespeichert werden. Die Fäkalien aus NoMix-Toiletten können zusammen mit Küchenabfällen an Biogasanlagen abgegeben werden.

Ein Sanitärsystem mit Teilstrombehandlung ermöglicht die korrekte Wiederverwendung von Düngemitteln. Gleichzeitig ist gereinigtes Grauwasser dafür geeignet, bei Wasserknappheit das Frischwasser zu ersetzen. Auf diese Weise können die Systeme sehr wirtschaftlich sein. Das unter Punkt 5 dargestellte System könnte für höher entwickelte Low-Tech-Systeme in vielen Ländern Anwendung finden und damit die weit verbreiteten, jedoch viele Nachteile aufweisenden Abwasserfaulbecken mit konventionellen Spültoiletten ersetzen.

8. Entwicklungslinie 4: Verbesserung der bestehenden Abwasserinfrastruktur

Durch die Sammlung von Urin kann ein konventionelles Abwasserkanalsystem zu einem System mit hoher Nährstoffrückgewinnung und mit sehr niedrigen Nährstoffemissionen umgestaltet werden. Wenn der Großteil des anfallenden Urins die Kläranlage gar nicht erst erreicht, wird die Nährstoffelimination unnötig (Larsen und Udert, 1999).

Es gibt zwei Grundansätze: zentrale oder dezentrale (semi-zentrale) Sammlung. Nach dem zentral strukturierten Ansatz würde der Urin in kleinen Behältern gesammelt und nachts, wenn die Abwas-

serleitungen nahezu leer sind, abgeleitet. Ein Fernsteuerungssystem würde dafür sorgen, daß die Behälter genau zu einer bestimmten Zeit geleert würden, so daß ein konzentrierter Strom entsteht, der am Zufluß der Kläranlage aufgefangen werden kann (Larsen und Gujer, 1996). Diese Methode bleibt auf Abwasserleitungen mit gutem Gefälle und entsprechenden Durchflußzeiten begrenzt. Sie könnte in jedem Fall auch auf einzelne Bereiche des Kanalisationssystems angewendet werden. Die andere Möglichkeit ist die dezentrale Speicherung und Ableitung.

Wenn das gesamte Schwarzwasservolumen gesammelt und getrennt behandelt würde, könnte aus einem konventionellen Abwassersystem eine Recyclinganlage für Grauwasser werden, die Sekundärwasser bereitstellt. Diese Umwandlung könnte, falls nötig, über Jahrzehnte hinweg vorgenommen werden. Dabei müssen die wirtschaftlichen Aspekte genau überdacht werden, da die Sanierung von Abwassersystemen, außer in sehr dicht besiedelten Gebieten, stets besondere Investitionen verlangt.

9. Risiken, Hindernisse, Grenzen

Das oberste Ziel der Abwasserwirtschaft muß die Minimierung gesundheitlicher Risiken sein. Die neuen Systeme sollten besser als die konventionellen Sanitärsysteme sein, die zwar einen guten hygienischen Standard für den Innenbereich der Häuser gewährleisten, in den meisten Fällen jedoch nicht für die Vorfluter.

Die Abwasserwirtschaft ist ein problematisches Thema aufgrund des starken Wunsches nach sauberen sanitären Anlagen und wegen der Tabus um diesen Gegenstand. Werden diese Überlegungen vernachlässigt und nicht in die Projektentwicklung mit einbezogen, kann das Scheitern des Vorhabens die Folge sein (wie oft geschehen). Die Probleme im Bereich der neuen Sanitärkonzepte sind recht komplex, aber sie betreffen einen Bereich der menschlichen Grundbedürfnisse. Die Trennung von Nährstoff- und Wasserkreisläufen, das Wiederverwenden von Stoffen aus dem Boden für den Boden und Null-Emissionen für die Wasserressourcen können den zukünftigen Benutzern der neuen Sanitärsysteme erläutert werden.

Die Abwasserinfrastruktur ist normalerweise für eine extrem lange Lebensdauer ausgelegt. Dieses Hindernis für Veränderungen scheint für viele Menschen so übermächtig zu sein, daß sie sich andere Lösungen für die Zukunft nicht einmal vorstellen können. Wir müssen die Lebensdauer der bestehenden Hausinstallationen, Abwasserleitungen und Behandlungsanlagen bedenken, um finanzielle Probleme zu vermeiden. Der Wechsel ist einfacher für neu errichtete Siedlungen oder für Häuser, die komplett saniert werden. Die Lebensdauer der Hausinstallationen ist viel kürzer als die von Abwasserleitungssystemen. Elemente von Sanitärsystemen mit Teilstrombehandlung könnten in jeder renovierten Wohnung installiert und vorläufig an das konventionelle System angeschlossen werden. Aufgrund der Wassereinsparungen wäre diese Lösung von Anfang an wirtschaftlich günstig, und später könnte nach dem Umbau einer ganzen Häusergruppe eine Teilstrombehandlung eingerichtet werden.

10. Willkommen in der Zukunft!

Es ist eine echte Herausforderung, an der Entwicklung einer aufstrebenden neuen Technologie beteiligt zu sein. Fachliche Qualifikationen und Aufgeschlossenheit sind notwendig, um bessere Lösungen für die Abwasserwirtschaft der Zukunft zu finden. Offene Gespräche und Erfahrungsaustausch sind unabdingbar, um in diesem Bereich vorwärts zu kommen. Es gibt so viele Möglichkeiten, daß allen sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen Rechnung getragen werden kann.

Kreativität ist notwendig, um die richtige Technologie und die besten Lösungen für die Ausführung, den Betrieb und die Finanzierung zu finden. Der Bedarf an neuen Lösungen ist extrem hoch, unabhängig davon, ob die Medien, die Politiker oder die Öffentlichkeit es zur Kenntnis nehmen oder nicht. Auch wenn sich die Umrüstung in vielen industrialisierten Ländern über Jahrzehnte hinziehen wird, sind diese Länder diejenigen, die das Forschungspotential und die Möglichkeit zur Installation von Pilotprojekten haben.

Literaturhinweise

- Agenda 21 (1992) The United Nations Program of Action from Rio, United Nations, New York, USA, 1992
- Beck, M. B., Chen, J., Saul, A. J. und Butler, D.: Urban Drainage in the 21st Century: Assessment of new technology on the basis of global material flows, *Water Science & Technology*, Vol. 30, No. 2, 1994, S. 1-12
- Boisen, Thorkil, (1996) (TU Denmark, Dept. of Building and Energy), *persönliches Gespräch*
- Daughton, Ch.G.; Ternes, Th.A.: Pharmaceutical and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change? *Environmental Health Perspectives*, Vol. 107, Supplement 6, Dec. 1999, S. 907
- Harremoes, P.: Integrated Water and Wastewater Management, *Water Science & Technology*, Vol. 35, No. 9, 1997, S. 11-20
- Hellström, Daniel (1998): Nutrient Management in Sewerage Systems: Investigation of Components and Exergy Analysis. Department of Environmental Engineering, Division of Sanitary Engineering. Lulea, Lulea University of Technology.
- Henze, M.: Waste Design for Households with Respect to Water, Organics and Nutrients, *Water Science & Technology*, Vol. 35, No. 9, 1997, S. 113-120
- Henze, M., Somolyódy, L., Schilling, W. und Tyson, J.: Sustainable Sanitation. Selected Papers on the Concept of Sustainability in Sanitation and Wastewater Management, *Water Science & Technology*, Vol. 35, No. 9, 1997
- Lange, Jörg und Ralf Otterpohl (1997): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Pföhren, Mallbeton Verlag, (revised 2nd edition 2000, in german) ISBN 3-9803502-1-5
- Larsen, T. A. und Gujer, W.: Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine), *Water Science and Technology*, Vol. 34, No. 3-4, 1996, S. 87-94.
- Larsen, T. A., Udert, K.M.: Urinseparierung – ein Konzept zur Schließung der Nährstoffkreisläufe, *Wasser & Boden*, 51/11, (1999), S. 6
- Manish Tiwari, D.: Rainwater harvesting - Standing the Test of Draught, Down to Earth, Vol. 8, No.16, Jan. 15, 2000, Centre for Science and Environment, Delhi, India, S. 30
- NN (1999): Interner Bericht der Technischen Universität Hamburg-Harburg
- NN (2000): www.flintenbreite.de

- Otterpohl, R. und Naumann, J.: Kritische Betrachtung der Wassersituation in Deutschland, in: Gutke, K. (Hrsg.): Umweltschutz, Wie? Symposium "Wieviel Umweltschutz braucht das Trinkwasser? September 1993, Köln, Kirsten Gutke Verlag, 1993, S. 217-233
- Otterpohl, R., Grottker, M. und Lange, J.: Sustainable Water and Waste Management in Urban Areas, Water Science and Technology, Vol. 35, No. 9, 1997, S. 121-133 (Teil 1)
- 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 (Teil 2)
- Otterpohl, Ralf, Oldenburg, Martin, Büttner, Sebastian (1999) Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement, Korrespondenz Abwasser (46), Nr.2
- Otterpohl, R.; Oldenburg, M.; Zimmermann, J.: Integrierte Konzepte für die Abwasserentsorgung ländlicher Siedlungen, Wasser & Boden, 51/11, (1999) S. 10
- Pauli, G., Faulkner, J. H., Capra, F.: Upsizing (2000): The Road to Zero Emissions - More Jobs, More Income and No Pollution, Greenleaf Publishing; ISBN: 1874719187
- Pimentel, David (1997) Soil Erosion and Agricultural Productivity: The Global Population/Food Problem, Gaia 6, 1997, no.3
- Reckerzügl, M; Bringezu, St.: Vergleichende Materialintensitäts-Analyse verschiedener Abwasserbehandlungssysteme, gwf-Wasser/Abwasser, Heft 11/1998
- Skjelhaugen, O.J. (1998) System for local reuse of blackwater and food waste, integrated with agriculture; Technik aneerober Prozesse, TUHH, Technische Universität Hamburg-Harburg, DECHEMA-Fachgespräch Umweltschutz, ISBN 3-926959-95-9
- Winblad, U.; Kilama (1985) Sanitation without water, Macmillan Ltd, ISBN 0-333-39139-X
- Winblad, U., (Hrsg.) (1998) Ecological Sanitation, SIDA, Stockholm, ISBN 91 586 76 12 0
-

Anschrift des Verfassers:

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