

# **EU-DEMONSTRATIONSPROJEKT SANITÄRKONZEPTE FÜR DIE SEPARATE BEHANDLUNG VON URIN, FÄKALIEN UND GRAUWASSER – ERSTE ERGEBNISSE**

Anton Peter-Fröhlich, Berlin; Ludwig Pawlowski, Berlin;  
Alexandre Bonhomme, Berlin; Martin Oldenburg, Lübeck

## **1.1.1 1 Einleitung**

Zentrale, konventionelle Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepte, in industrialisierten Ländern seit Jahrzehnten entwickelt und angewandt, sind aufgrund hoher Kosten, hohen Wasserverbrauchs und geringer Wiederverwendung von Nährstoffen nicht hinreichend nachhaltig, insbesondere nicht für Entwicklungsländer. Nachhaltige Konzepte sollten möglichst eine weitgehende Wiederverwendung des gereinigten Abwassers, sowie der Nährstoffe, verbunden mit einem geringeren Energiebedarf, berücksichtigen. Alternative Konzepte und Techniken stehen bereits seit langem zur Verfügung und werden auch angewendet, dennoch sind weitere Entwicklungen und Plausibilitätsprüfungen erforderlich.

Aus diesem Grund hat das Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB) zusammen mit den Berliner Wasserbetrieben (BWB) und Veolia Water ein entsprechendes EU-Demonstrationsprojekt begonnen. Hierbei werden zwei Konzepte in Gebäuden der BWB auf dem Gelände des Klärwerks Stahnsdorf erprobt.

Im Rahmen dieses Aufsatzes kann nur ein Projektüberblick gegeben werden, für Details wird auf die Literaturliste bzw. auf die Homepage des Projekts verwiesen.

## **1.1.2 2 Vorarbeiten**

Bevor das EU-Demonstrationsvorhaben 2003 begonnen wurde, erfolgte eine Vorstudie von Dezember 2000 bis Ende 2001. Ab 2002 wurde dann ein Pilotprojekt begonnen, das seit 2003 als EU-Demonstrationsprojekt weitergeführt wird. Die Vorstudie auf theoretischer Basis, beinhaltete eine literaturbasierte Projektrecherche, eine Patentrecherche und eine Informationssammlung verschiedener ähnlicher Projekte. Vorhandene Projekte in Deutschland, Dänemark und Schweden wurden besichtigt.

Ein Kostenvergleich zwischen dem konventionellen und den neuen Sanitärkonzepten zeigte, dass die neuen Sanitärkonzepte nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch vorteilhaft sein können (Peter-Fröhlich et al. 2004). Der Kostenvorteil ist dabei natürlich abhängig von den spezifischen Rahmenbedingungen der Siedlung.

Die Vorstudienresultate erhöhten die Motivation für die Durchführung dieses EU-Demonstrationsprojektes *Sanitation Concept for Separate Treatment (SCST)*.

## **SCST-Projekt**

### **3.1 Projektziel**

Ziel des Projektes ist die Entwicklung neuer, nachhaltiger Sanitärkonzepte, die signifikante ökologische sowie ökonomische Vorteile im Vergleich zum konventionellen System (End-of-Pipe-System), die heute in industrialisierten Ländern fast ausschließlich angewendet werden, haben.

Die neuen Sanitärkonzepte sollen relevante Lösungen bieten

für entfernt liegende Regionen, wo ein Anschluss an ein zentrales System (z.B. an ein großes Netzwerk) sowohl technisch als auch ökonomisch ungünstig ist,

für schnell wachsende Städte in Schwellen- und Entwicklungsländern,

für Länder mit Wasserknappheit, und sie sollen

auf diesem Gebiet einen relevanten Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung mit Wasser- und Nährstoffrecycling liefern.

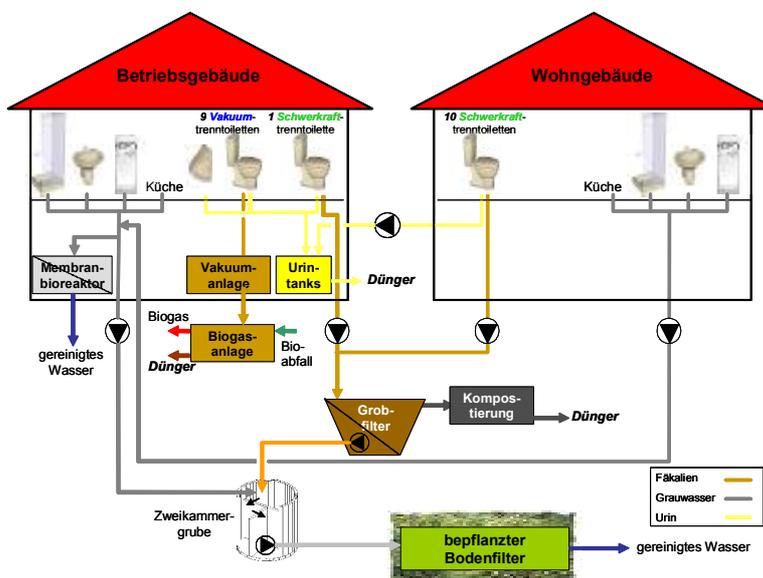
Durch das Demonstrationsprojekt soll

das Wissen zu der auf Separation basierenden Sanitärtechnik in Bezug auf Planung, Installation und Kosten erweitert werden sowie

Erfahrungen beim Betrieb der neuen Sanitärkonzepte gesammelt werden, wobei verschiedene Module unter unterschiedlichen Bedingungen untersucht werden.

### 3.2 Projektelemente

Die neuen Sanitärkonzepte wurden in bestehenden Gebäuden (Betriebsgebäude und Wohngebäude) auf dem Gelände des Klärwerks Stahnsdorf realisiert. Das neue Sanitärkonzept im Betriebsgebäude wurde 2002/2003 im Rahmen der Gebäudesanierung installiert und wurde im Frühjahr 2005 auf das Wohngebäude erweitert (**Bild 1**).



**Bild 1:** In Erprobung befindliche Sanitärkonzepte (links: *Vakuumentoiletten*, rechts: *Schwerkrafttrentoiletten*), Stand: April 2005

Beim Sanitärkonzept unter Verwendung von *Schwerkrafttrenntoiletten* wird das Braunwasser (Fäkalien ohne Urin zzgl. Toilettenspülwasser) mittels Schwerkraft abgeleitet, in einem Grobfilter entwässert und eingedickt. Die eingedickten Feststoffe werden kompostiert und das Filtrat in die Vorklärung (Zweikammergrube) geleitet. Das Grauwasser wird ebenfalls in die Vorklärung zur mechanischen Reinigung gefördert. Das Gemisch aus mechanisch gereinigtem Grauwasser und Fäkalfiltrat wird mit einem bepflanzten Bodenfilter weitergehend gereinigt. Parallel dazu wird die biologische Reinigung des Grauwassers mit einem Membranbioreaktor erprobt. Das gereinigte Grauwasser aus beiden Anlagen kann z.B. für Bewässerungszwecke genutzt werden. Der Urin (Gelbwasser) wird in Tanks geleitet. Im Rahmen dieses Projektes erfolgen damit Düngeversuche durch die Humboldt Universität zu Berlin (HUB). Weiterhin werden verschiedene Verfahren (Vakuumverdampfung, Dampfstrippung, Fällung, Ozonisierung UV-Bestrahlung und Verfahrenskombinationen) zur Gelbwasserbehandlung an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) untersucht.

Beim Sanitärkonzept unter Verwendung von *Vakuumtrenntoiletten* werden Gelb- und Grauwasser ebenfalls mittels Schwerkraft abgeleitet, während das Braunwasser mittels Vakuum transportiert wird. Das Gelbwasser wird wie oben beschrieben behandelt. Für das Braunwasser ist eine anaerobe Behandlung zusammen mit zerkleinertem Bioabfall vorgesehen. Der dabei entstehende Faulschlamm soll auch als Dünger verwendet werden. Das Biogas kann genutzt werden, dies wird in diesem Projekt jedoch nicht untersucht.

Das Sanitärkonzept mit Schwerkrafttrenntoiletten wurde zunächst in einer Vorabphase von Oktober 2003 bis April 2005 im Betriebsgebäude erprobt. Dazu wurden 10 Schwerkrafttrenntoiletten und fünf wasserlose Urinale drei verschiedener Hersteller installiert. Auf der Basis der hier gewonnenen Erfahrungen wurden in 10 Wohnungen des Wohngebäudes im Frühjahr 2005 Schwerkrafttrenntoiletten eingebaut. Zeitlich parallel wurden im Betriebsgebäude die Schwerkrafttrenntoiletten in mehreren Etappen seit Oktober 2003 durch Vakuumtrenntoiletten ersetzt.

Begleitet wird das Projekt durch eine an der Technischen Universität Berlin erstellten Ökobilanz die zeigen soll, ob ökologische Vorteile gegenüber dem konventionellen Abwassersystem, vorhanden sind.

Die verschiedenen Elemente des Projekts sind in der folgenden **Tab. 1** gegenübergestellt. Diese werden in verschiedenen Phasen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und in diversen Kombinationen getestet.

		Stoffströme		
		Gelbwasser	Braunwasser	Grauwasser
Technische Konzeption	Sanitär-technik	Schwerkrafttrenntoiletten Vakuumtrenntoiletten Wasserlose Urinale	Schwerkrafttrenntoiletten Vakuumtrenntoiletten	
	Transport	Schwerkraftleitung Druckleitung	Schwerkraftleitung Vakuumleitung Druckleitung	Schwerkraftleitung Druckleitung
	Behandlungs-anlagen	Speicher Vakuumverdampfung Strippung Fällung etc.	Grobfiltration Sedimentation Biogasanlage	Sedimentation und Bepflanzter Bodenfilter Membran-Bioreaktor
Verwertung		Landwirtschaftliche Verwertung		
Bewertung	Life Cycle Assessment			

**Tab. 1:** Struktur und Elemente des Projekts

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Sanitärtechnik

Das Funktionsschema der Toiletten kann dem Herstellerdatenblatt entnommen werden (Roediger 2006). Verstopfungen am Gelbwasserauslass infolge von Ausfällungen konnten bisher nur bei einer Toilette festgestellt werden. Diese Verstopfung führt nicht zu einem Ausfall der Toilette, sondern es findet nunmehr keine getrennte Ableitung von Gelb- und Braunwasser statt. Die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Ventile des Gelbwasserablaufs wird derzeit näher untersucht. Für eine weitere Verbreitung der Schwerkrafttrenntoiletten als Alternative zu konventionellen Spültoiletten sind Optimierungsarbeiten hinsichtlich Geometrie und Spülung erforderlich.

Bei der Bewertung der Vakuumtrenntoiletten muss berücksichtigt werden, dass es sich dabei um modifizierte Schwerkrafttrenntoiletten handelt, die mit einem Vakuumventil am reduzierten Abfluss ausgestattet sind. Es handelt sich dabei um Einzelfertigung, die noch als Prototyp bezeichnet werden muss. Die installierten Toiletten haben einen Spülwasserverbrauch von 1,0 – 2,0 Liter je Spülung; bei Serienfertigung der Toilette sollte die Spülwassermenge unter 1 Liter liegen.

Eine erste Befragung der Benutzer vermittelte den Eindruck, dass ca. 70 % der Benutzer sich vorstellen könnten, auch zu Hause eine Schwerkrafttrenntoiletten zu verwenden (40 % bei der Vakuumtrenntoilette). Diese ersten Ergebnisse werden durch eine weitere Befragung, die auch die Bewohner des Wohngebäudes berücksichtigt, verifiziert.

#### 3.3.2 Gelbwassersammlung

Das Gelbwasser der Benutzer der Toiletten im Betriebsgebäude wird im Keller in vier Tanks gesammelt und von hier für die Versuche zur landwirtschaftlichen Verwertung bzw. der technischen Behandlung abgepumpt. Die mittlere Gelbwassermenge der Benutzer des Betriebsgebäudes beträgt 7 L/d. Die Stickstoffkonzentrationen und auch die CSB-Werte liegen deutlich unterhalb bekannter Literaturwerte. Eine Ursache kann die Verdünnung des Gelbwassers mit Spülwasser durch die Schwerkrafttrenntoiletten sein. Ferner ist davon auszugehen, dass der stärker konzentrierte „Morgenuurin“ nicht erfasst wird und der Urin der Benutzer infolge der tagsüber aufgenommenen Getränkemengen (Kaffee, Tee etc.) wesentlich stärker verdünnt ist. Untersuchungen

zur Verunreinigungen mit pharmazeutischen Rückständen wurden ebenfalls durchgeführt. Aufgrund der nicht repräsentativen Benutzergruppe sind die gefundenen Konzentrationen sehr niedrig, auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse wird hier verzichtet.

### 3.3.3 Grauwasserbehandlung

Die Zu- und Abflussdaten des vertikal beschickten bepflanzten Bodenfilters sind als Mittelwerte für zwei Betriebsphasen in **Tab. 2** gegenübergestellt. Auf die Darstellung der Frachten und die Erläuterung der expliziten Berechnung wird an dieser Stelle verzichtet, es soll aber darauf hingewiesen werden, dass die Ermittlung der Eliminations- und Abbauraten unter Verwendung der Frachten erfolgte. Die niedrigen Konzentrationen der div. Parameter des Grauwassers aus dem Betriebsgebäude lassen sich durch das Nutzungsverhalten (Duschen, Händewaschen und Geschirrspüler) erklären. Der bepflanzte Bodenfilter war in dieser Phase deutlich unterlastet.

Die aufgezeigten Werte stammen aus den ersten Wochen nach Anschluss des Wohngebäudes und werden derzeit durch aktuelle Werte ergänzt. Auffallend sind die hohen Stickstoffkonzentrationen, deren Eintragspfad nicht geklärt ist. Eine Ursache könnte nicht korrekt arbeitende Verschlussventile in den Schwerkrafttrenntoiletten sein, die nach Reparatur zwischenzeitlich aber korrekt funktionieren.

**Tab. 2:** Konzentrationen des Zu- und Abflusses und Abbauleistungen des bepflanzten Bodenfilters

Parameter	Einheit	Betriebsgebäude		Betriebs- und Wohngebäude	
		11.3.2004 - 29.6.2005		30.6. - 31.7.2005	
		Zufluss	Abfluss	Zufluss	Abfluss
Volumenstrom	L/d	1.460	1.838	3.544	4.590
Hydraulische Belastung	mm/d	13		31	
Temperatur	°C	15	12	17,5	15,6
CSB	mg/L	102	21	458	19
Pges	mg P/L	2,5	0,4	5,5	0,6
Nges	mg N/L	10	7	36	12
NH <sub>4</sub> -N	mg N/L	6,9	0,1	25	0,1
org.N	mg N/L	3,4	1,1	4,2	0,9
NO <sub>3</sub> -N	mg N/L	0,3	6,4	4,1	10,4
Nitrifikation	%	85		96	
Denitrifikation	%	36		61	

Die gute Stickstoffoxidation entspricht bei einem vertikal beschickten bepflanzten Bodenfilter den Erwartungen. Die denitrifizierte Nitratmenge ist als relativ hoch einzuschätzen und weist auf die Ausbildung von anoxischen Zonen im Filterbett hin. Der Filterkies wurde vor dem Einbau mit einem Wasserwerksschlamm vermischt, um einen zeitlich befristeten Phosphorrückhalt zu erzielen. Nach einer anfänglichen Abflusskonzentration von  $< 0,2 \text{ g/m}^3$  ges. P ist diese zwischenzeitlich und zeigt den Beginn der Erschöpfung der Phosphorbindekapazität an. Die Untersuchungen der koliformen und faecalkoliformen Keime im Ablauf zeigen für im Anlagenabfluss Werte, die deutlich unterhalb des sehr guten Qualitätsstandards der EU-Badewässerrichtlinie

(< 100 MPN/100 ml) liegen. Mit Anschluss des Wohngebäudes ist dieser Wert allerdings deutlich angestiegen.

Bei dem Betrieb des Membranbioreaktors wurde der Betrieb bei der Beschickung mit Grauwasser für unterschiedliche Schlammalter ( $t_{TS} = 6 - 20$  Tage) und Aufenthaltszeiten ( $t = 1,9 - 4,6$  h) untersucht. Der Betrieb der Anlage erfolgte ebenfalls erst mit dem Grauwasser aus dem Betriebsgebäude und wurde nach Anschluss des Wohngebäudes fortgeführt, so dass auch repräsentative Zuflusswerte erreicht werden konnten. Der Anschluss des Wohngebäudes hatte keinen Einfluss auf die Abflussqualität der Membran-Bioanlage. Gute Ablaufqualitäten ( $25 \text{ g/m}^3$  CSB und  $8 \text{ g/m}^3$  ges. N) konnten mit einem niedrigen Schlammalter von 6 Tagen und einer Aufenthaltszeit des Grauwassers von 2 Stunden erreicht werden. Bei den geringen Stickstoffkonzentrationen ist allerdings davon auszugehen, dass der größte Anteil der Stickstoffelimination durch Assimilation in die Biomasse erreicht wird.

### 3.3.4 Fäkalienbehandlung

Das Braunwasser aus den Schwerkrafttrenntoiletten fließt jeweils im freien Gefälle in Schächte und wird von dort mit Schneidradpumpen zum Fäkalienseparator (Grobfilter) zur Entwässerung und Eindickung gepumpt. Die Grobfilter sind PE-Filtersäcke, die freihängend in einem Schacht installiert sind. In den Grobfiltern wird der größte Teil der abfiltrierten Stoffe (92 %) zurückgehalten. Da die abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf (Fäkalfiltrat) noch sehr hoch sind, wird es in die Zweikammergrube geleitet und zusammen mit dem Grauwasser mechanisch vorgereinigt. Stickstoff liegt größtenteils in organischer Form vor und kann durch den Grobfilter zu 55 % zurückhalten werden, der P-Rückhalt liegt bei 50 %.

Bezüglich des Betriebes und der Handhabung des Fäkalienseparators ist nach der bisherigen Erfahrung festzuhalten, dass diese Art der Fäkalienentwässerung nur für niedrige Anschlussgrößen geeignet ist. Für größere Siedlungen ist eine kontinuierlich laufende Einrichtung erforderlich, mit der die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe im Fäkalienzentrat möglichst noch weiter verringert werden kann.

Für die Erzeugung von Kompost aus den eingedickten Fäkalien werden *jeweils Eisenia fetida*-Würmer zu den Fäkalien in den Filtersäcken zugegeben und bei ca.  $20^\circ\text{C}$  in einem Raum über mehrere Monate (4 – 6) mit einem sehr zufrieden stellendem Ergebnis kompostiert (Vermikompostierung). Dieser Kompost wird für Düngeversuche an der Humboldt Universität zu Berlin verwendet.

Zur anaeroben Behandlung des Braunwassers ist seit Juli 2006 eine zweistufige thermophile Biogasanlage in Betrieb.

### 3.3.5 Bilanzierung der Stofftrennung

Für die Beurteilung wie die Übereinstimmung der Anteile verschiedener Substanzen im Gelb-, Braun- und Grauwasser gemäß Literatur mit den gemessenen Werten übereinstimmen, wurde eine entsprechende Stoffbilanz durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der **Tab. 3** zusammengestellt.

**Tab. 3:** Volumen und Massenbilanz von div. Parametern (Mittelwerte) des Gelb-, Braun- und Grauwassers aus dem Betriebsgebäude

		Gelbwasser	Braunwasser	Grauwasser	Summe	Fäkalienfiltrat	Differenz Braunwasser Fäkalienfiltrat	Summe Substanzen für Dünger	max. Summe Substanzen für Dünger
		A	B	C	D	E	F = B - E	G = A + F	H = A + B
Q	L/d	7	169	1.419	1.594	168	1	-	-
CSB	g O <sub>2</sub> /d	58	805	268	1.130	170	635	693	863
Nges	g N/d	28	26	13	67	12	15	42	54
NH <sub>4</sub> -N	g N/d	26	4,0	0,6	31	4	0	26	30
Norg	g N/d	1,4	22,4	12	36	8	15	16	24
Pges	g P/d	2,9	6,8	2,9	12,6	3,4	3,4	6,3	10
K	g/d	15	-	10,8	-	-	-	-	-
Q	%	0,4	10,6	89	100	10,5	0,06	-	-
CSB	%	5,1 (12)	71,2 (47)	23,7 (41)	100	15	56,2 (47)	61,2 (59)	76,3 (59)
Nges	%	41,3 (87)	39,5 (10)	19,2 (3)	100	17,7	21,8 (10)	63,1 (97)	80,8 (97)
NH <sub>4</sub> -N	%	85,1	12,9	2	100	14,1	0	84	98
N org	%	4	63,9	33	100	21,2	41,8	45,8	67
Pges	%	22,8 (50)	54,1 (40)	23,1 (10)	100	27	27,1 (40)	49,9 (90)	76,9 (90)

( ) Literaturwerte (Niederste-Hollenberg und Otterpohl 2000)

\* nicht analysiert

Bei der Betrachtung der Werte vom Gelbwasser ist zu erkennen, dass der Anteil des CSB, Nges und Pges im Urin der Benutzer der Toilettenanlagen vom Betriebsgebäude nur etwa halb so hoch ist als in der Literatur aufgeführt. Dahingegen sind die Werte im Braunwasser deutlich höher als die Literaturwerte. Dies trifft auch bei Grauwasser mit Ausnahme des CSB zu. Folgende Sachverhalte dürften diese Unterschiede verursacht haben:

Der erste Urin der Benutzer, der die höchsten Gehalte an Substanzen beinhaltet, wird zuhause abgegeben;

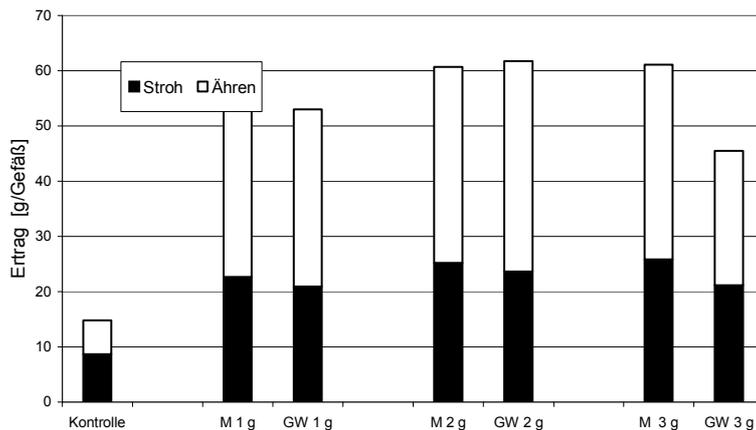
Im Grauwasser des Betriebsgebäudes ist kein Waschmaschinenabwasser enthalten;

Nicht alle Benutzer setzen sich bei der Benutzung der Schwerkrafttrenntoiletten. Dadurch bleibt das Ventil im Urinablauf geschlossen und der Urin fließt in den Fäkalablauf.

Von den Substanzen im Braunwasser befinden sich nach der Entwässerung noch erhebliche Anteile im Fäkalienfiltrat (Spalte E in **Tab. 3**). Die Summe der Substanzen im Urin und in den entwässerten und eingedickten Fäkalien, die als Dünger zur Verfügung stehen, ist in der Spalte G aufgeführt. Danach entspricht der CSB dem Literaturwert und für Nges und Pges liegen die Werte deutlich darunter. Würde es gelingen die Substanzen des Fäkalienfiltrates bei der Fäkalienentwässerung und -eindickung zurückzuhalten, lägen die Werte deutlich näher an den Literaturwerten (Spalte H). Zu diesem vorgenommenen Vergleich ist anzumerken, dass sich die Literaturangaben auf häusliches Gelb-, Braun- und Grauwasser beziehen. Deshalb sind bei der späteren Auswertung der Daten dieser Wässer aus dem Wohngebäude andere Werte zu erwarten.

### 3.3.6 Verwertung

Für die Ermittlung der Düngewirkung von Urin sowie kompostierten und anaerob behandelten Fäkalien werden von der HUB entsprechende Topf- und Feldversuche durchgeführt. Beispielhaft sind im **Bild 2** Ergebnisse von Sommerweizen aus Topfversuchen dargestellt, der ohne, mit Mineraldünger und mit Gelbwasser gedüngt wurde.



**Bild 2:** Ernteerträge von Sommerweizen bei Düngung mit Mineraldünger (M) und Gelbwasser (GW) (1 -3 g N/Gefäß)

Wie diese Ergebnisse zeigen, sind die Erträge des Sommerweizens, der mit Gelbwasser gedüngt wurde, ähnlich wie bei der Verwendung von Mineraldünger. Dieses Beispiel zeigt das hohe Düngepotenzial von Gelbwasser. Eine Abschätzung ergab, dass mit dem Gelbwasser der Einwohner von Berlin und Brandenburg 40 % des derzeit in Brandenburg aufgewendeten Stickstoffs ersetzt werden könnten. Die Höhe des durch Gelbwasserdüngung substituierbaren Phosphors liegt sogar bei 75 % der im Wirtschaftsjahr 2003/2004 aufgewendeten Düngermenge (Ellmer und Sasse 2005).

Der Bereich der Wertstoffgewinnung aus Gelbwasser mit Hilfe verschiedener Verfahren wird von der TUHH untersucht. Ziel der Untersuchungen ist die Gewinnung von vermarktbareren Produkten, wie beispielsweise Düngemittel. Als Verfahren werden schwerpunktmäßig die Dampfstrippung und die Vakuumdestillation untersucht. Die Fällung, die Behandlung UV-C-Strahlung und die Ozonierung des Gelbwassers werden dabei mit bearbeitet.

Bei einer Dampfstrippung mit einem Durchsatz von rund 100 L/h und einer Dampfmenge von durchschnittlich 35 kg/h konnte der Stickstoff aus dem Gelbwasser um 97 % abgereichert werden. Im Kondensat konnte hierbei eine Ammoniaklösung von 2 % erreicht werden, was einer vierfach höheren  $\text{NH}_3$ -Konzentration im Vergleich zum Ausgangssubstrat entspricht.

In einem Vakuumverdampfer wurden sowohl das unbehandelte Gelbwasser, wie auch das stickstoffabgereicherte Restsubstrat aus der Dampfstrippung aufkonzentriert. Der Schaumbildung konnte mit einem Entschäumer auf Silikonbasis entgegengewirkt werden. Um Stickstoffverluste über das Destillat zu vermeiden wurde der pH-Wert zudem mit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  abgesenkt. Bislang konnte hier eine 12-fache Aufkonzentrierung erreicht werden. Bei Versuchen im Labormaßstab mit einem Rotationskolbenverdampfer waren Konzentrationsfaktoren von über 20 problemlos möglich. Bei höheren Konzentrationen wurde das Konzentrat zähflüssig pastös. Bei anschließender Trocknung des Substrates konnte bei einigen Proben die Bildung großer Kristalle beobachtet werden. Eine genauere Evaluierung zur Optimierung der Kristallbildung erfolgt zurzeit.

Parallel zu den Untersuchungen der Stickstoffkonzentrationen werden auch Analysen ausgewählter Mikroverunreinigungen vorgenommen. Ergebnisse hierzu können allerdings erst in Kürze präsentiert werden.

### 3.3.7 Ökobilanz

Die Ökobilanzierung (Life-Cycle Assessment) ist derzeit in Arbeit. Hieraus können zu diesem Zeitpunkt aufgrund der Komplexität der Bearbeitung noch keine Ergebnisse vorgestellt werden.

### 3.4 Nächste Schritte

Die nächsten Schritte sind der Weiterbetrieb der Anlagen und der Betrieb der Biogasanlage für die anaerobe Behandlung des Braunwassers aus den Vakuumtrenntoiletten und die Zugabe von Bioabfällen aus dem Wohngebäude. Auf der Basis der gewonnenen Informationen, die aus der Durchführung der Maßnahmen im Betriebs- und Wohngebäude gewonnen wurden, wird die in der Vorstudie vorgenommene Kostenbetrachtung neu erstellt und unter der Annahme eines bestehenden Wohngebiets an reale Verhältnisse angepasst.

### 4 Öffentlichkeitsarbeit

Anhand der Anzahl der Präsentationen dieses Projektes für nationale und internationale Besucher vor Ort (52), in Zeitungen, Fachzeitschriften und Rundfunk (17) sowie Vorträgen auf nationalen und internationalen Konferenzen (28), zu denen in mehreren Fällen darum gebeten wurde, lässt sich das starke Interesse an diesem Projekt bzw. an dieser Thematik erkennen.

Weitere Informationen zu diesem Projekt können aus dem Internet entnommen werden (Kompetenzzentrum Wasser Berlin 2006).

### 5 Zusammenfassung und bisherige Schlussfolgerungen

Mit diesem EU-Demonstrationsprojekt werden zwei unterschiedliche Sanitärkonzepte erprobt. In einem Fall werden Schwerkrafttrenntoiletten eingesetzt und die Fäkalien werden unter Wurmzugabe kompostiert (Konzept 1) und im anderen Fall kommen Vakuumtrenntoiletten zum Einsatz und die Fäkalien werden anaerob behandelt (Konzept 2). Zunächst wurde das Konzept 1 im Betriebsgebäude des Klärwerks Stahnsdorf südlich von Berlin erprobt. Seit Sommer 2005 wird dieses Konzept unter Einbeziehung von zehn Wohnungen des Wohngebäudes am Klärwerk Stahnsdorf getestet. Die Vakuumtrenntoiletten von Konzept 2 werden seit Frühjahr 2005 im Betriebsgebäude getestet. Die Biogasanlage ist seit Juli 2006 in Betrieb. Die Reinigung des Grauwassers aus dem Betriebs- und Wohngebäude erfolgt mit einem bepflanzten Bodenfilter. Parallel dazu wurde die Grauwasserreinigung auch mit einem Membranbioreaktor erprobt. Das Gelbwasser wird in Tanks gesammelt. Von der Humboldt Universität zu Berlin werden Düngeversuche mit Gelbwasser, Fäkalienkompost und anaerob behandelten Fäkalien durchgeführt. Die TU Hamburg-Harburg führt Versuche zur Urinaufbereitung (Vakuumverdampfung, Dampfstrippung etc.) durch. Weiterhin erfolgen Untersuchungen zur Ökobilanz durch die TU Berlin.

Ergebnisse von ausgefüllten Fragebogen der Benutzer der Toiletten im Betriebsgebäude zeigen, dass beide Toilettentypen grundsätzlich akzeptiert werden. Bei beiden Toilettentypen wird aber vor allem die Spülung bemängelt.

Bei der Entwässerung und Eindickung des Braunwassers mittels Grobfilter konnte bislang ein Feststoffrückhalt von über 90 % ermittelt werden. Bezüglich Stickstoff und Phosphor ist aber festzustellen, dass ca. die Hälfte der im Braunwasser enthaltenen Mengen mit dem Fäkalienfiltrat abgeleitet wird. Die eingesetzten Grobfilter für die Braunwasserentwässerung und –eindickung eignen sich für Einzelhäuser oder kleine Siedlungen. Für große Siedlungen ist eine kontinuierlich betreibbare Einrichtung erforderlich, mit der der Feststoffgehalt im Filtrat noch weiter gesenkt werden kann.

Eine Bilanzierung von Substanzen des Gelb- Braun- und Grauwassers aus dem Betriebsgebäude ergab, dass die Frachten für Stickstoff und Phosphor im Gelbwasser deutlich unter den Literaturwerten und bei Braun- und Grauwasser deutlich darüber liegen. Die Ergebnisse vom Betrieb des bepflanzten Bodenfilters entsprechen weitgehend den Erwartungen.

Mit den Düngeversuchen durch die Humboldt Universität zu Berlin konnte bislang u.a. gezeigt werden, dass Erträge von Pflanzen in etwa gleich hoch sind, egal ob sie mit Mineraldünger oder mit Gelbwasser gedüngt wurden. Eine Abschätzung ergab, dass mit dem Gelbwasser der Einwohner von Berlin und Brandenburg ca. 40 % des Stickstoffs und 75 % des Phosphors der Mineraldünger für die landwirtschaftlichen Flächen des Landes Brandenburg substituiert werden könnte. Hieraus lässt sich ein großes Düngepotential mit dem Gelbwasser ableiten.

Die Ergebnisse weisen auf ein großes Entwicklungspotential dieser neuartigen Sanitärsysteme hin, da eine gute Anpassung an verschiedene Randbedingungen möglich ist. Für eine Einführung in größerem Maßstab sind allerdings weitere Entwicklungsschritte, insbesondere auf dem Bereich der Sanitärtechnik, erforderlich.

Dieses Demonstrationsprojekt wird  
über das Finanzierungsinstrument LIFE  
der Europäischen Gemeinschaft unterstützt  
LIFE 03 ENV/D/000025



## Literatur

- Ellmer, F. und Sasse, A. (2005): Einsatz von Urin als Wachstumsförderer für Nutzpflanzen in der Landwirtschaft – erste Forschungsergebnisse. Vortrag auf der 7. Wasserwerkstatt, Neuartige Sanitärkonzepte, Kolloquium des Kompetenzzentrums Wasser Berlin, in Berlin am 1.12.2005.
- Kompetenzzentrum Wasser Berlin (2006): Forschung, SCST. [www.kompetenz-wasser.de](http://www.kompetenz-wasser.de).
- Niederste-Hollenberg und Otterpohl, R. (2000): Innovative Entwässerungskonzepte. wwt 2/2000, S. 23 – 26.
- Otterpohl, R., Abold, A. and Oldenburg, M. (1999): Source Control in Urban Sanitation and Waste Management: Ten Systems with Reuse of Resources. Wat. Sci. Tech., Vol. 39, No 5, 153-160.
- Peter-Fröhlich, A., Kraume, I., Lesouëf, A. und Oldenburg, M. (2004): Separate Ableitung und Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – ein Pilotprojekt. Korrespondenz Abwasser (51), Nr. 1, S. 38 -43.
- Roediger (2006): Roediger No Mix-Toilette. [www.roevac.com](http://www.roevac.com), Vakuumsanitärtechnik, Separationstoiletten Ecosan, Datenblätter.

Udert, K.M., Larsen, T.A. and Gujer, W. (2004): Fate of Major Compounds in Source-Separated Urine. 4<sup>th</sup> IWA World Water Congress Sep. 2004 in Marrakech, Morocco, Paper CD.

Anschriften der Verfasser:

Dr.-Ing. Anton Peter-Fröhlich  
Berliner Wasserbetriebe  
Organisationseinheit Abwasserentsorgung  
Cicerostraße 24  
D 10709 Berlin  
[wasser.de](http://wasser.de)  
[anton.peter-froehlich@bwb.de](mailto:anton.peter-froehlich@bwb.de)

Dipl.-Ing. Ludwig Pawlowski  
KompetenzZentrum Wasser Berlin  
Cicerostr. 24  
D 10709 Berlin  
[ludwig.pawlowski@kompetenz-](mailto:ludwig.pawlowski@kompetenz-)

Dipl.-Ing. Alexandre Bonhomme  
KompetenzZentrum Wasser Berlin  
Cicerostr. 24  
D 10709 Berlin  
[alexandre.bonhomme@kompetenz-wasser.de](mailto:alexandre.bonhomme@kompetenz-wasser.de)

Dr.-Ing. Martin Oldenburg  
Otterwasser GmbH  
Engelsgrube 81  
23552 Lübeck  
[oldenburg@otterwasser.de](mailto:oldenburg@otterwasser.de)