

Erste Ergebnisse der Implementierung der Urin-, Braun- und Grauwasserbehandlung im Eschborner GIZ-Hauptgebäude

Martina Winker, Eschborn
Stefania Paris, David Montag, Johanna Heynemann

1. Hintergrund

Die bestehende zentrale Abwasserentsorgung ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen einer wachsenden Kritik ausgesetzt. Insbesondere relativ hohe Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten sowie ein hoher Wasserverbrauch durch die Verwendung von Trinkwasser zu Transportzwecken (in konventionellen Spültoiletten) werden heute kritisch betrachtet. Konventionelle Abwassersysteme führen dazu, dass Schmutzfrachten in den Wasserkreislauf eingetragen werden können. Sie resultieren in Umweltschäden und hygienischen Risiken, bzw. erfordern zusätzliche Aufbereitungstechnik zum Beispiel zur Entfernung von organischen Spurenstoffen, um diese Probleme zu vermeiden. Außerdem lassen sie potenziell wertvolle Nährstoffe (vor allem Phosphor) ungenutzt, die in der Landwirtschaft genutzt werden könnten.

Alternativ zu konventionellen Abwassersystemen bieten sich moderne auf Stoffstromtrennung ausgelegte und kreislauforientierte Abwasserkonzepte an (zusammenfassend oft neuartige Sanitärsysteme (NASS) genannt) [DWA (2008)]. Solche Systeme dienen der Schließung lokaler Stoffstromkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft. In der Praxis kann mit diesen neuen Konzepten der Verbrauch von Trinkwasser verringert, die separierten Abwasserteilströme mit geringerem Aufwand behandelt und eine Wiederverwendung als Brauchwasser, zur Bodenverbesserung oder Düngung erfolgen.

In den vergangenen Jahren wurden einige Beispiele von NASS für urbane Gebiete implementiert. Dennoch ist aufgrund der hohen Komplexität, der teils wenig erprobten Technik und der räumlichen Distanz zu den landwirtschaftlichen Flächen noch ein hohes Maß an weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich. Angesichts der weltweit rapiden Urbanisierung sind Modellvorhaben für verdichtete Räume jedoch erforderlich, um für die unterschiedlichsten Ansprüche und Rahmenbedingungen passende Lösungen bereitzustellen.

Am Standort Deutschland stehen folgende Rahmenbedingungen, einer großflächigen Umsetzung von NASS im Wege:

- Manche der eingesetzten Technologien sind noch nicht technisch ausgereift (z.B. Spültrenntoiletten).
- Es gibt nur wenig Erfahrung mit dem Betrieb von dezentralen Anlagen und der Verwertung der Abwasserprodukte. Insbesondere der dezentrale Charakter dieser Systeme erfordert andere Formen des Betriebs.
- Die landwirtschaftliche Verwertung von Urin und Urinprodukten (wie z.B. Struvit) ist derzeit in Deutschland noch nicht zugelassen. In der Liste der zugelassenen Düngemittel laut Düngemittelverordnung sind diese bisher nicht aufgeführt und ihr Einsatz als Düngemittel daher noch nicht erlaubt.

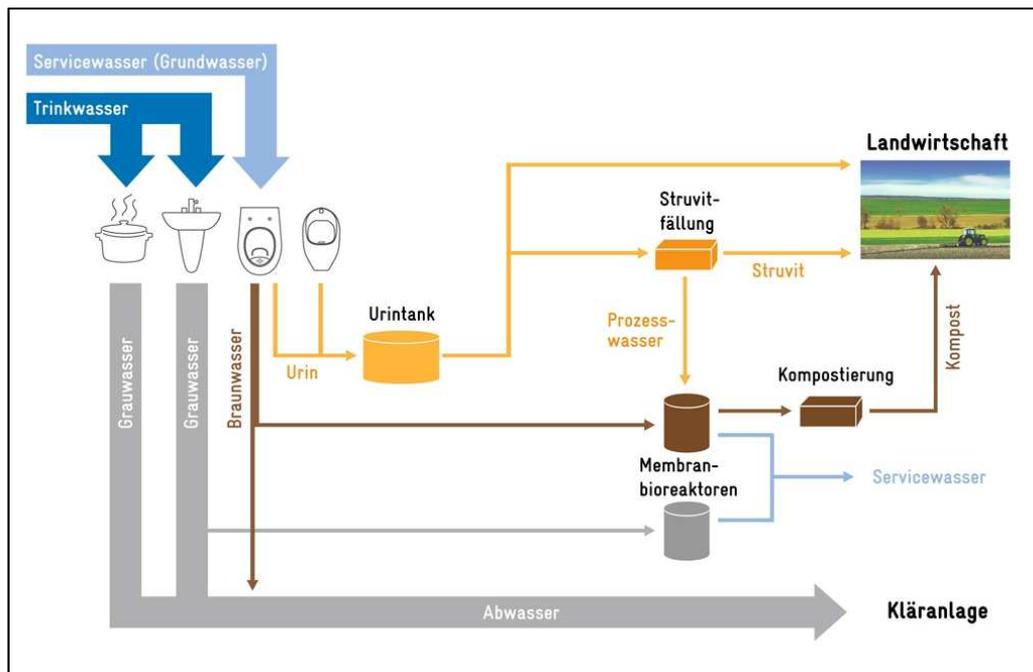


Abbildung 2: Übersicht über das neuartige Sanitärsystem für das Haus 1 (Mittelstrang) der GIZ in Eschborn bei Frankfurt (Struvitfällung seit Juni 2010; Membranbioreaktoren ab ca. Mitte 2011).

2. Erfassung, Behandlung und Nutzung des Urin

Der Hauptfokus des Sanitärkonzepts liegt auf dem Abwasserteilstrom Urin. Im Hauptgebäude der GIZ in Eschborn sind für die getrennte Sammlung des Urins 25 wasserlose Urinale der Firma Keramag und waren 48 Spültrenntoiletten (mittlerweile nur noch 38 Stück) von der Roediger Vacuum GmbH eingebaut. Pro Werktag werden zurzeit bis zu 200 l Urin gesammelt. Allerdings ist die Stickstoffkonzentration im Urin deutlich geringer als erwartet. Der gesammelte Urin enthält zwischen 2,2 -3,3 g N l⁻¹. Es ist noch unklar, woher diese geringen Stickstoffwerte rühren. Erwartete Stickstoffwerte liegen bei ca. 5,2 g l⁻¹ [DWA (2008)]. In Betracht kommt die Verdünnung des Urins mit Putzwasser bei falscher Reinigung der wasserlosen Urinale, Stickstoffemissionen durch die Entlüftung der Urintanks als auch der Umstand, dass der höher konzentrierte Morgenurin nicht erfasst wird. Ähnliche Beobachtungen wurden auch schon in anderen Projekten wie in Berlin-Stahnsdorf [PETER-FRÖHLICH et al. (2007)] gemacht. Dieser Effekt soll noch weiter im Projekt untersucht werden.

Eine Weiterentwicklung der Spültrenntoiletten ist nötig. Das Ventil, das für die Abtrennung des Urins verantwortlich ist (für Funktionsbeschreibung siehe [Roediger Vacuum GmbH (2006)]), wurde schon verbessert (Abbildung 3):

- der Bowdenzug wurde verlängert, um ein vereinfachtes Einfädeln zu ermöglichen;
- der Boden des Urinsiphons wurde am Übergang zu den Wänden abgerundet;
- und die Aufnahmefassung des Bowdenzugs am Ablauftrichter wurde kegelförmig ausgebildet. Damit soll ein zügigerer Durchfluss des Urins und ein vereinfachter Einbau des Ventils ermöglicht werden.

Ebenso wurden speziell auf die Spültrenntoiletten und die wasserlosen Urinale abgestimmte Reinigungsroutinen etabliert und werden weiter nachgehalten. Es hat sich bereits gezeigt, dass die Urinale und Toiletten als einzige sichtbare Schnittstelle für den täglichen Nutzer einen erheblichen Einfluss auf die Akzeptanz des neuartigen Sanitärsystems haben [BLUME und WINKER (2011)].

Da das Sanitärsystem bereits 2,5 Jahre vor Beginn des Projektes SANIRESCH genutzt wurde, gab es bereits zwei Umfragen bei den hausinternen Nutzern [BLUME und WINKER (2011)]. Diese ergaben, dass die NutzerInnen das Stoffstromtrennkonzzept vom Ansatz her schätzen, allerdings Probleme mit der technischen Ausführung der Spültrenntoiletten (Trennung zwischen Urin- und Fäkalienbereich in der Schüssel; zur Verfügung stehende Spülwassermenge) haben.

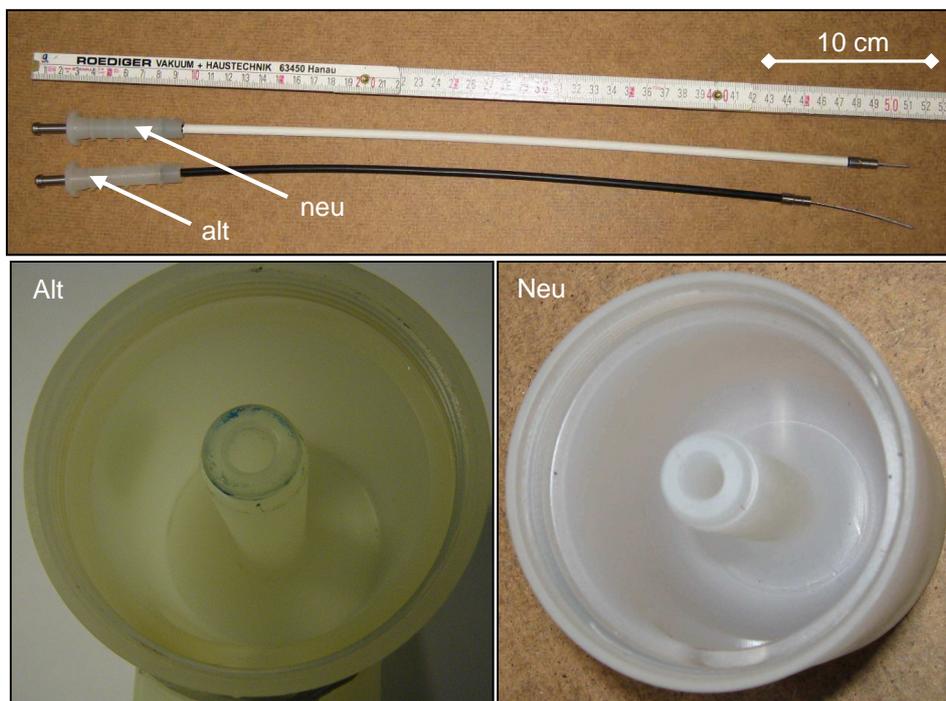


Abbildung 3: Änderungen am eingebauten Ventil in den NoMix-Toiletten. Oben: verlängerter Bowdenzug in weißer Hülle (weiß um Sichtbarkeit bei leichtem Heraushängen aus der Keramik zu minimieren) (Foto von Christian Rüster, 2010). Unten links: eckige Innenkanten des Ventils (Foto von Matthias Hartmann, 2010). Unten rechts: abgerundete Innenkanten im geänderten Ventil (Foto von Christian Rüster, 2010).

Im Rahmen der Urinlagerversuche konnte bestätigt werden, dass der Urin pharmazeutische Rückstände enthält, die innerhalb der Lagerzeit von 6 Monaten nicht vollständig eliminiert werden. Der Urin in Tank 1 war bei der ersten Beprobung frisch (bis zu 12 Tage alt), der in Tank 3 bereits seit 18 Monaten gelagert.

Zwischen den beiden Probenahmen aus Tank 1 (Abbildung 4) wurde der Urin 30 Tage gelagert. Der Tank wurde zur ersten Probenahme komplett neu befüllt (Tankvolumen: 2500 l; Dauer der Befüllung: 12 Tage). Es kam bei allen pharmazeutischen Wirkstoffen zu einer Konzentrationsabnahme. Gleiches gilt auch für die Proben aus Tank 3, wobei dieser Urin vor der ersten Probenahme bereits etwa 18 Monate gelagert worden war. Allerdings ist die derzeit vorliegende Zahl der Analysen noch nicht ausreichend für eine eindeutige statistisch abgesicherte Aussage. Ob es bei fortschreitender Lagerung zu weiteren Konzentrationsabnahmen kommt, soll in diesem Tank und bei Lagerungsversuchen im Labor weiter beobachtet und abschließend geklärt werden.

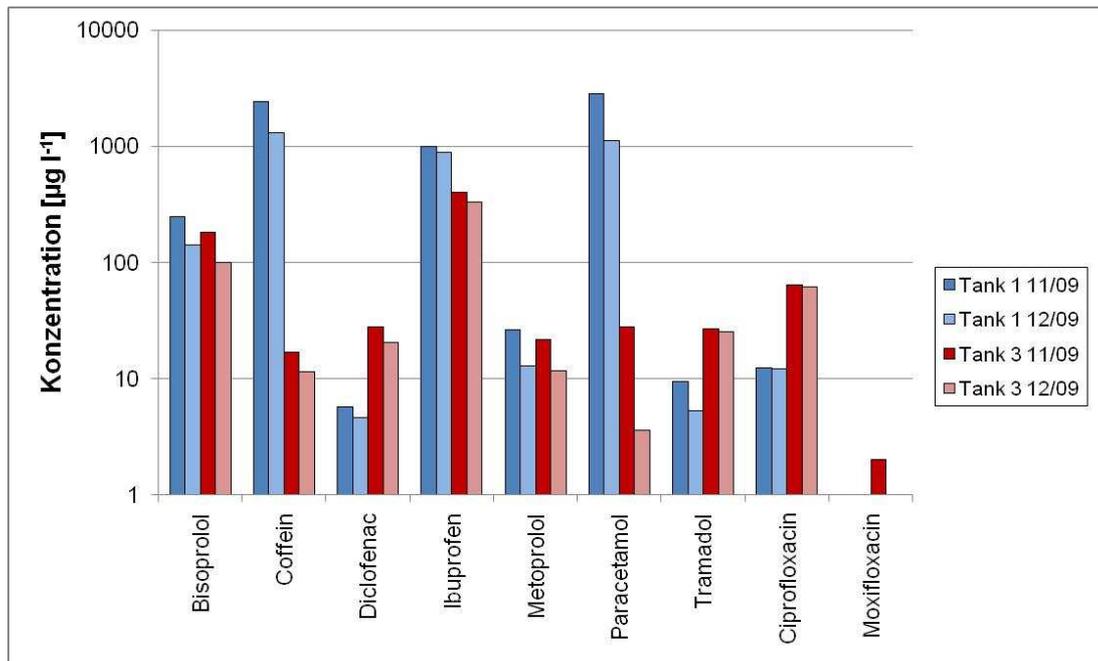


Abbildung 4: Konzentrationen pharmazeutischer Wirkstoffe in Urin in den Tanks 1 (frisch, bis zu 12 Tage alt) und 3 (alt) (Datum der Probenahmen: 09.11.2009 und 10.12.2009).

Des Weiteren wurden die Konzentrationen von Schwermetallen betrachtet, gemessen wurde Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. Im Urin lagen in ersten Messungen alle Schwermetalle unter den in der Trinkwasserverordnung [TRINKWV (2001)] genannten Grenzwerten. Cadmium-, Chrom- und Nickelkonzentrationen lagen sogar unter ihrer Bestimmungsgrenze (Cd: $0,0005 \text{ mg l}^{-1}$; Cr und Ni: $0,001 \text{ mg l}^{-1}$). So ist davon auszugehen, dass eine Anwendung in der Landwirtschaft in Bezug auf die Verbreitung von Schwermetallen keine schädlichen Folgen haben wird.

Keimzahlen im Urin wurden bei einer ersten Probenahme im November 2009 (Messmethoden siehe Tabelle 1) bestimmt. Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 1 aufgelistet. Trotz der bisher nur orientierend ausgeführten mikrobiologischen Untersuchungen lässt die Belastung mit Fäkalkeimen auf eine nicht vollständige Trennung des Urins von Fäzes in den Trenntoiletten schließen. Dies stimmt auch mit Rückmeldungen der Nutzer überein, in denen immer wieder von einer Verschmutzung des vorderen Bereichs der Toilettenschüssel berichtet wird.

Tabelle 1: Keimzahlen in je einer Urinprobe aus Tank 1 (frischer Urin, bis zu 12 Tage alt) und Tank 3 (seit 18 Monaten gelagert). 1 Probe mit drei Parallelansätzen.

Parameter	Einheit	Tank 1	Tank 3	Methode
Salmonellen	n/100 ml	<30	<30	DIN 38414-13
Clostridium perfringens	n/100 ml	>100	0	mCP TVO 2001
Escherichia coli	n/100 ml	>2419,6	>2419,6	Colilert-18
Coliforme Bakterien	n/100 ml	>2419,6	>2419,6	Colilert-18
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml	0	0	DIN EN ISO 16266:2008

Der gesammelte Urin wird mit Hilfe eines chemisch-physikalischen Prozesses in einem Fällungsreaktor der Firma HUBER SE behandelt. Der Reaktor besteht aus einem Fällungsbehälter mit Rührwerk, einem Beutelförderer als Dosierstation für Zugabe von Magnesiumoxid (MgO) und einer Filtrationseinheit mit Filtersäcken (Abbildung 5). Nach Zugabe von Magnesiumoxid entsteht Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) in fester Form, welches wertvolle Düngungseigenschaften vorweist. MAP wird auch als Struvit bezeichnet.

Dieser Reaktor ist eine Weiterentwicklung des Modells, welches HUBER SE in Vietnam getestet hat [ANTONINI et al. (2009)]. Der MAP-Fällungsreaktor samt Datenfernübertragung wurde Mai 2010 im Keller des Eschborner GIZ-Hauptgebäudes installiert und im Juni in Betrieb genommen.

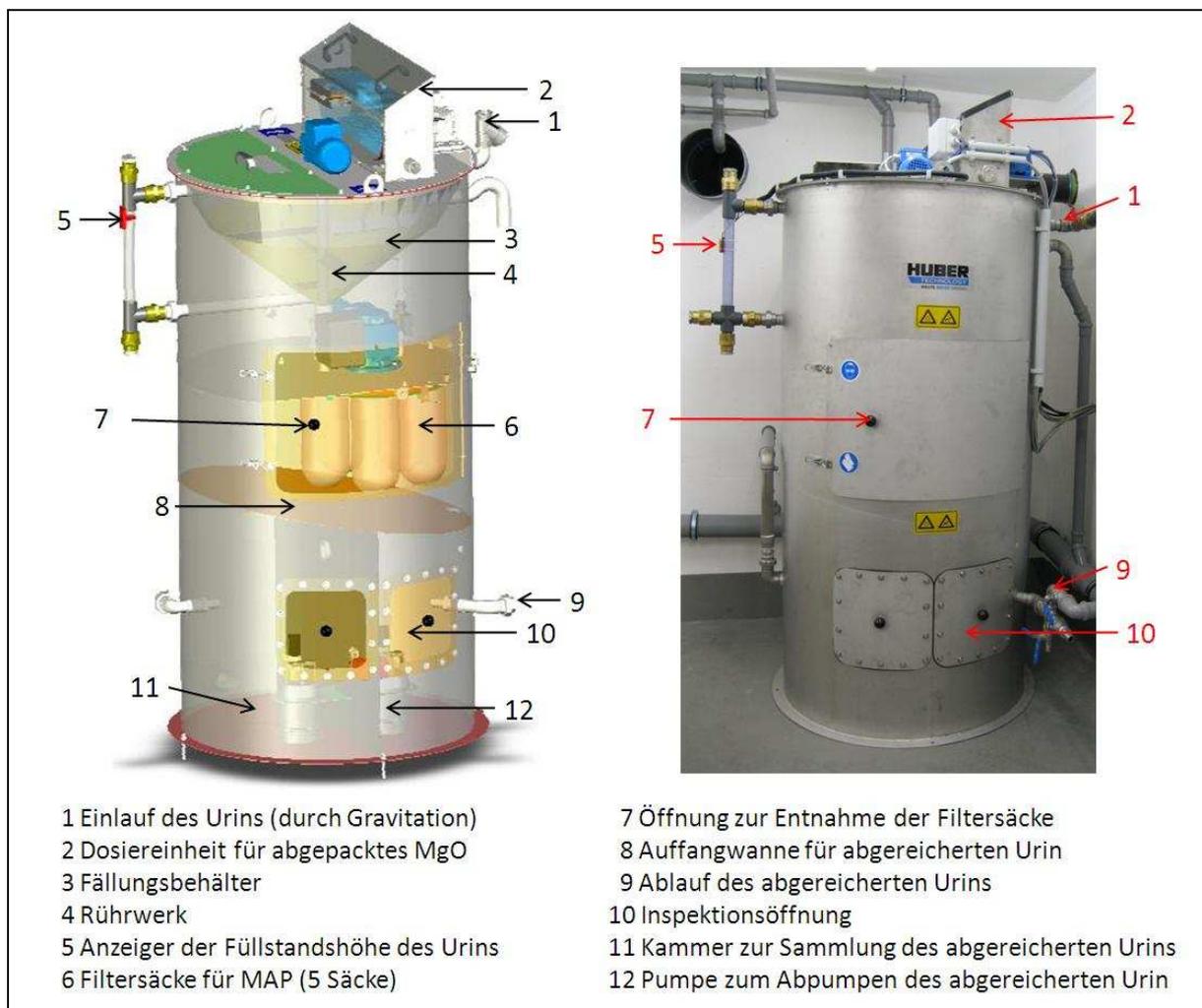


Abbildung 5: MAP-Fällungsreaktor der Firma HUBER SE. Links: 3-D-Modell des Reaktors. Rechts: Installierter Reaktor im Keller des Eschborner GIZ-Hauptgebäudes.

Der Reaktor arbeitet im halbautomatisierten Batchverfahren:

1. Zu Beginn laufen bis max. 50 l Urin (zurzeit mit 30 l Urin gefahren) in den trichterförmigen Fällungsbehälter ein.
2. Anschließend wird über die Dosiereinheit mit Beutelförderer eine definierte Menge von pulverförmigen MgO als Fällungsmittel dazugegeben. Es wird MgO von technischer Qualität verwendet, da es billiger ist: 17,5 € kg. Der Beutelförderer kann max. 24 Beutel MgO aufnehmen. Das MgO wird vorab in Beutel aus PVOH (Polyvinylalkohol: ein wasserlösliches, synthetisches

Polymer) eingeschweißt. Die Menge ist an die Phosphorkonzentration des jeweiligen angeschlossenen Urinlagertanks angepasst und beträgt zwischen 7-9 g MgO für 30 l Urin.

3. Durch Kontakt mit der Flüssigkeit löst sich der thermoplastische Kunststoff innerhalb einer halben Minute auf und das Rührwerk vermischt das Magnesiumoxid mit dem Urin. Um zu verhindern, dass das PVOH sich am Rührwerk verklebt, ist ein Zeitraum von 2 min für das vollständige Auflösen im Reaktorbetrieb eingestellt.
4. Das Magnesiumoxid verbindet sich mit dem im Urin enthaltenen Phosphat und Ammonium und bildet MAP.
5. Nach einer Kristallisations- und Sedimentationszeit von 3 h (die MAP-Kristalle brauchen ca. 0,5 h für ihre Bildung) werden der Überstand und das MAP mit der restlichen Flüssigkeit in separate Filtersäcke abgelassen. Die getrennte Ablassung erfolgt, da ein Filtersack nicht die gesamte Menge auf einmal aufnehmen kann.
6. Die Filtersäcke aus Nylon (der Firma SFT GmbH), die zurzeit in Betrieb sind, haben eine Porengröße von 10 µm. Die Flüssigkeit tropft hindurch und das MAP wird zurückgehalten.
7. Der abgereicherte Urin wird in der Kammer im unteren Reaktorteil gesammelt (siehe Abbildung 5) und kann einer weiteren Behandlung (z.B. Membranbioreaktor, der zur Braunwasserreinigung eingesetzt werden wird) zugeführt werden.

Das Einfahren des Reaktors und die ersten Optimierungsschritte haben gezeigt, dass der Reaktor den gesamten anfallenden Urin (also 200 l pro Tag) problemlos behandeln kann und darüber hinaus noch freie Kapazitäten besitzt. Theoretisch könnte er 400 l Urin pro Tag behandeln. Insgesamt werden 20 Zyklen gefahren, bevor die Filtersäcke durch neue ersetzt werden. Jeder Sack wird 4-mal mit MAP und 4-mal mit Überstand befüllt, bevor er ausgetauscht wird. Das heißt, dass jeweils nach 4 Zyklen der Revolver mit den Säcken um eine Position weiter gedreht wird. Ein Zyklus dauert insgesamt 210 min (befüllen, rühren, sedimentieren, ablassen), so dass alle 3 Tagen ein Mitarbeiter die Filtersäcke aus der Halterung nehmen und sie in die Trocknungstruhe zum Abtropfen hängen muss.

Zurzeit wird der Reaktor mit 30 l Urin befüllt, das zur Fällung benötigte Magnesiumoxid wird, je nach Phosphatgehalt des Urins, berechnet und zudosiert. Hierbei ergeben sich Mengen von 7 bis 9 g MgO pro 30 Liter Urin. Pro Sack wird nach dem Abtropfen in der Trocknungstruhe ca. 0,5 kg feuchtes MAP entnommen, anhängig vom letzten Zeitpunkt der Beschickung. Das heißt, dass ca. 4 g feuchtes MAP pro Liter Urin produziert wird. Nach einer Trocknung bei 40°C für 72 h ist das MAP einheitlich getrocknet und ein Liter Urin entspricht etwa 0,8 g trockenem MAP. Die aktuelle Zusammensetzung des MAP liegt bei 17 g P kg⁻¹ und 22 g N kg⁻¹ bei gleichzeitig 164 g Mg kg⁻¹. Dies bedeutet, dass noch eine verfahrenstechnische Optimierung erforderlich ist. In dem ausgefällten (gewaschenen) MAP sind keine pharmazeutischen Wirkstoffe eingeschlossen. Ob Wirkstoffe an der Oberfläche der MAP-Kristalle anhaften und Bestandteil einer organischen Matrix bilden, wird im Rahmen des Projektes noch analysiert werden.



Abbildung 6: Links: Innenansicht eines eingesetzten Nylonfiltersacks nach vier Zyklen Befüllung nach der Entnahme aus dem Reaktor (Foto von Johanna Heynemann, 2010). Rechts: Getrocknetes MAP nach Abfüllung (Foto von Martina Winker, 2010).

Die Optimierung des MAP-Reaktors hat nun begonnen. In einem ersten Schritt wurden verschiedene Filtersackmaterialien getestet. Hierbei hat sich bisher der Einsatz von Nylon-Filtersäcken (aus Polyamid) im Vergleich zu den zuerst verwendeten Nadelfilzsäcken (aus Polypropylen) im Hinblick auf die Benutzerfreundlichkeit als sehr vorteilhaft erwiesen (Abbildung 6). Versuche über die Rückgewinnung des Struvits aus den Filtersäcken (Abreinigung) zeigten, dass deutlich mehr MAP im Gewebe der Nadelfilzsäcke zurückbleibt (ca. 30-40 g getrocknetes MAP pro Sack) und somit für eine weitere Verwendung verlorengelht. Nylon hingegen kann ohne Verluste von zurückgehaltenem Struvit (MAP) gereinigt werden. Des Weiteren können Nylonsäcke mehrfach verwendet werden (die Anzahl der Widernutzungen wurde noch nicht abschließend festgestellt), Nadelfilz hingegen nur für einen Betriebszyklus. Dies ist wichtig, da die Nylonsäcke 37,50 € und die Nadelfilzsäcke 2,50 € pro Stück kosten.

Der Vergleich der Filtermaterialien Polyamid und Polypropylen haben gezeigt, dass die separate Erfassung des Überstandes und des MAPs nur bei den Polyamid-Säcken einen erhöhten MAP-Gewinn zur Folge hat. Das im Überstand enthaltene MAP kann aus den Polyamid-Säcken gewonnen werden, ca. 0,07 g MAP l⁻¹ (Menge des getrockneten MAP aus vier Zyklen Überstand), bei den Polypropylen-Säcke hingegen wird dieser Anteil des MAPs vollständig im Filtermaterial gebunden und geht somit verloren.

Im in den Filtersäcken zurückgehaltenen Substrats (Abbildung 6, links) sind weiße Würmchen und längliche, dunkle Punkte erkennbar. Dabei handelt es sich um die Puppen von Larven, die zur Gruppe der Nistfliegen (*Milichiidae*) gehören. Höchstwahrscheinlich handelt es sich um die Gattung *Desmometopa* oder *Leptomtopa*. Beide Gattungen sind dafür bekannt, dass sie sich in Abwasserleitungen und tierischen Ausscheidungen gut entwickeln. Wie Inspektionen ergaben, ist das gesamte Urinleitungsnetz des Eschborner GIZ-Hauptgebäudes davon betroffen. Sie konnten in den Einsätzen der wasserlosen Urinale genauso gefunden werden wie in den Urintanks und nun auch im ausgefällten MAP. Des Weiteren treten durch die Puppen der Nistfliegen erhebliche Probleme im Betrieb des Fällungsreaktors auf. In die Urinzulaufleitung ist ein Schrägsitzschmutzfang mit einer

Maschenweite von 0,5 mm integriert, welcher im Urin enthaltene größere Partikel im Reaktorzulauf abscheidet. Die Nistfliegenpuppen treten zeitweise in großen Mengen auf, dabei wird das Maschensieb vollständig verstopft und ein Urinzulauf verhindert. Erst durch mehrmaliges Ausbauen und Reinigen des Siebes (nach jeweils kurzzeitiger Beschickung mit Urin) kann wieder ein kontinuierlicher Betrieb erfolgen.



Abbildung 7: Links: Sitz des Schmutzfangs in der Urinzuleitung zum Reaktor (Foto von Matthias Hartmann, 2011). Rechts: Mit Fliegenlarven und andere im Urin enthaltene Partikeln zugesetzter Schmutzfang in der Urinzuleitung zum MAP-Reaktor (Foto von Johanna Heynemann, 2011).

Das gewonnene MAP sowie der gelagerte Urin werden der Landwirtschaft - in Freilandversuchen am Campus Kleinaltdorf bei Bonn - eingesetzt. Da der Reaktor erst seit Juni 2010 läuft, kam bisher nur Urin zum Einsatz.

2010 wurde die Düngewirkung bei Getreide (Sommerweizen und Sommergerste), bei Miscanthus (nachwachsender Rohstoff) und bei Ackerbohnen untersucht. Der gewählte Standort besitzt einen sehr fruchtbaren Boden, er liegt in der Versorgungsstufe C. Gedüngt wurden 100 bzw. 140 kg N ha⁻¹ bei Getreide und 40 kg N ha⁻¹ bei Miscanthus (d.h. 2-6 l Urin pro m²).

Hinsichtlich der Düngewirkung zeigten die mit Urin gedüngten Getreide- und Ackerbohnen-Parzellen eine gute Wuchsleistung, die sich optisch nicht von den Mineraldünger-Parzellen unterschied. Die Auswertungen der Ernte bestätigen diese Beobachtungen und zeigen, dass keine relevanten Unterschiede zwischen Urin und Mineraldünger (KAS) gedüngten Parzellen bestanden. Unterschiede zwischen den beiden Düngern, wie z.B. die im Urin zusätzlich enthaltenen Mikronährstoffe hatten auf diesem Standort keine messbare Auswirkung, könnten aber bei schlechteren Böden positive Effekte zeigen.



Abbildung 8: Ausbringung des gelagerten Urins auf den Versuchsfeldern bei Bonn im März 2010. Rechts: Ernte des reifen Weizens Ende Juli 2010. (Fotos von Ute Arnold, 2010).

3. Geplante Behandlung des Braunwassers

Während eines üblichen Arbeitstages (von 9:00 Uhr bis 17:30 Uhr) fallen ca. 1900 l Braunwasser (Mittelwert aus fünf Beprobungstagen) für einen Toilettenstrang mit 16 Spültrenntoiletten und 4 konventionell wassergespülten Toiletten (2 Behinderten-WCs) an (Tabelle 2). Da im Keller nur eine eingeschränkte Menge des Braunwassers gereinigt werden kann, wurde nur ein Braunwasserstrang mit lediglich 20 angeschlossenen Toiletten in den Behandlungsraum gelegt. Auch hiervon kann nur ein Teilstrom des anfallenden Braunwassers dieses Toilettenstrangs (ca. 10 %) behandelt werden.

Braunwasser besteht aus Fäzes, Spülwasser und Toilettenpapier und enthält normalerweise keinen Urin. In diesem Falle wird leider Urin durch den Anschluss der konventionellen Spültoiletten beigemischt. Detaillierte Eigenschaften des vorgereinigten Braunwassers finden sich in Tabelle 2. Aufgrund der Nutzerrückmeldungen [BLUME und WINKER (2011)] wurde die Spülung auf die maximale Spülkraft von 6 l bei Betätigung der großen Spültaste heraufgesetzt. Nutzer geben an häufig zwei- oder sogar dreimal die große Taste betätigen zu müssen bis das Toilettenpapier hinuntergespült ist. Dies liegt an der strömungsungünstigen Form der Toilettenschüssel.

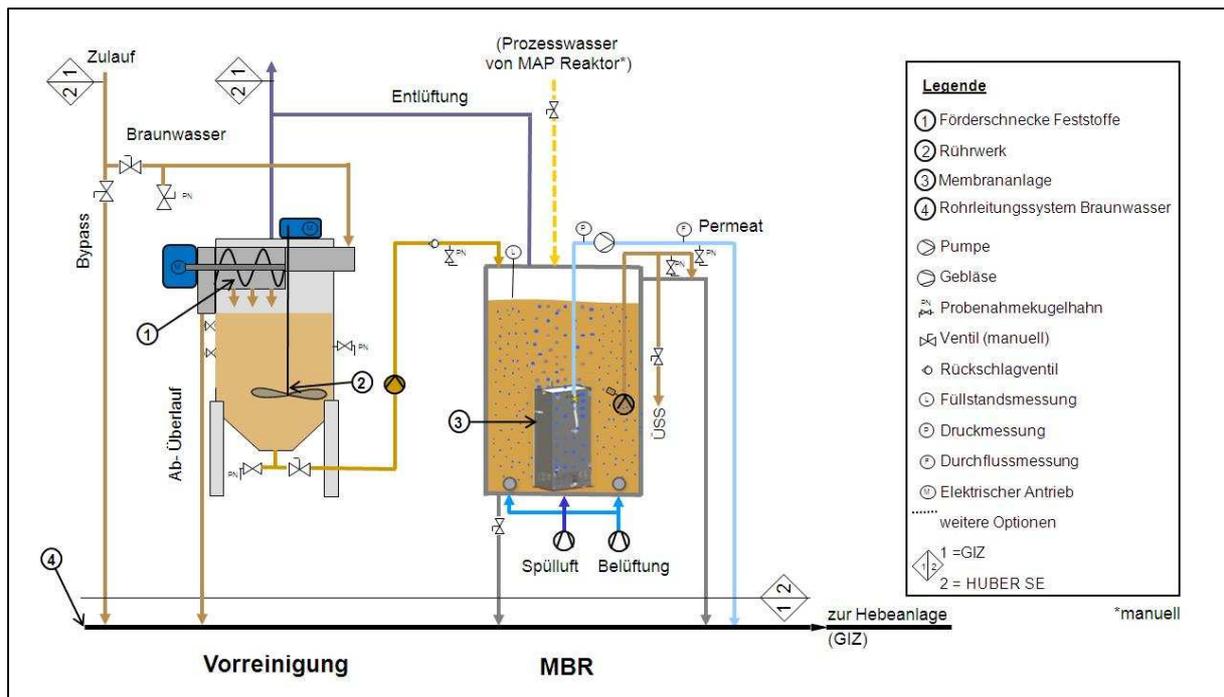


Abbildung 9: Schematische Darstellung der geplanten Braunwasserbehandlung der Firma HUBER SE im GIZ-Gebäude. Einbau soll in Schritten von April bis Juni 2011 erfolgen.

Die Braunwasserbehandlung erfolgt mittels eines Membranbioreaktors (MBR) nach vorheriger Entfernung der Grobstoffe (Vorreinigung). Im MBR werden unter Einsatz der Ultrafiltration Feststoffe und Bakterien sowie nahezu alle Viren zuverlässig zurückgehalten (Abbildung 9). Das gewonnene Permeat kann ohne Hygienrisiken für die Bewässerung eingesetzt werden.

Die Feststoffabtrennung bei der Braunwasserbehandlung war angedacht über ein zylinderförmiges Lochsieb mit einem Lochdurchmesser von 3 mm (Abbildung 10, rechts), welches geruchsgekapselt im Vorlagebehälter integriert ist. Ein großer Teil der Flüssigphase wird in einem darunterliegenden Vorlagebehälter aufgefangen, der mit einem Rührwerk intervallweise durchmischt wird. Die zurückbleibenden Feststoffe (Fäzes und Toilettenpapier) sollten mit Betriebswasser in die Kanalisation abgespült werden. Da ein Verstopfungsrisiko jedoch nach mehreren Vortests nicht ausgeschlossen werden konnte, erfolgt die Feststoffabtrennung noch immer über ein zylinderförmiges Lochsieb mit einem Lochdurchmesser von 3 mm. Die zurückgehaltenen Feststoffe (Fäzes und Toilettenpapier) werden jedoch über eine integrierte Transportschnecke automatisch aus dem Inneren des Siebrohres entfernt und in die Kanalisation gespült (siehe Abbildung 10 rechts).

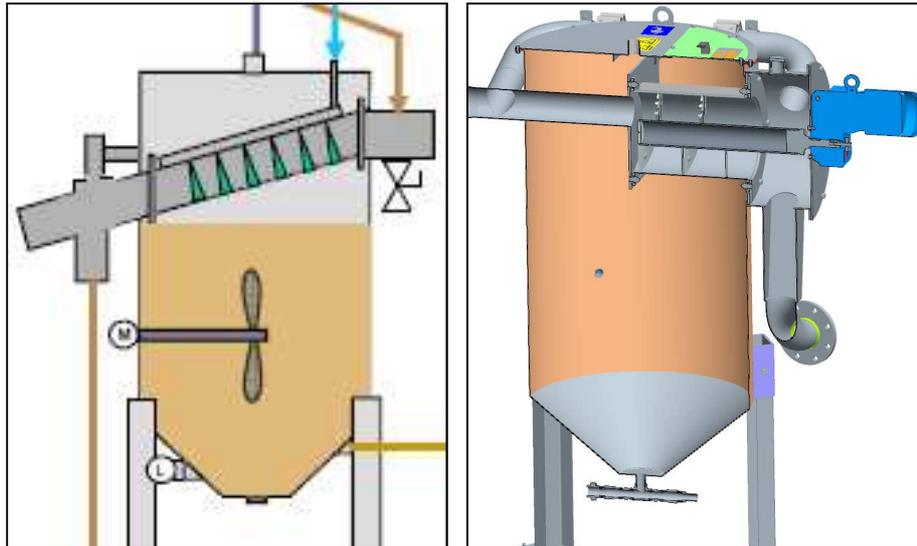


Abbildung 10: Siebung des Braunwassers für die Feststoffabtrennung vor dem Membranbioreaktor wie sie. Links: Schematische Darstellung von Sieb und Vorlagebehälter wie zuerst angedacht. Rechts: Schematische Darstellung wie sie nun gefertigt wurde (Abbildungen von HUBER SE (2011)).

Auf eine weitere Behandlung der Feststoffe wurde aufgrund räumlicher Beschränkungen verzichtet, wird aber extern im Batch erprobt werden (Kompostierung). Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass Geruchsemissionen absolut ausgeschlossen werden, da sich der Aufstellungsraum aller drei Anlagen (ca. 21 m² groß) im öffentlichen Bereich der Tiefgarage gleich neben dem Aufzugsschacht befindet und über die Tiefgarage zugänglich ist. Geruchsemissionen werden minimiert, indem dieser Raum als auch der darüber liegende Urinlagerraum aktiv über Dach entlüftet werden.

4. Geplante Behandlung des Grauwassers

Beim Grauwasser wird das gesamte in Teeküchen und Hand- und Putzwashbecken entstehende Wasser (Mittelstrang Haus 1) erfasst. Im Meßzeitraum von 8:30 Uhr bis 17:00 Uhr fielen durchschnittlich 318 l Grauwasser pro Tag (Mittelwert aus 7 Meßtagen) mit einer Standardabweichung von 77 l an (Tabelle 2). Die anfallenden Feststoffmengen sind vernachlässigbar gering. Für Grauwasser wurde ein sehr hoher CSB-Wert von 511 mg l⁻¹ gemessen, deutlich höher der im Braunwasser gemessenen von 290 mg l⁻¹. Es wird vermutet, dass dies an der geringen Durchmischung von Fäkalien und Spülwasser innerhalb des Braunwassers liegt, da dies senkrecht nach unten fällt und nicht durch eine Pumpe etc. in der Waagerechten transportiert wird.

Tabelle 2: Inhaltsstoffe des vorgereinigten Braunwassers und roh anfallenden Grauwassers (Mittelwert und Standardabweichungen beziehen sich auf die angegebene Probenanzahl). Die Beprobungen erfolgten für das Braunwasser von Juli-September 2010 und für das Grauwasser von Januar-September 2010.

	BSB ₅	CSB	TOC	P _{GES}	P _{ORTHO}	TN	Nitrit	Nitrat	Ammonium	Volumen
vorgereinigtes Braunwasser	mg l ⁻¹	l								
Mittelwert	134	290	30	21	14	64	0,8	1,8	45	1904
Standardabweichung	54	63	10	5	4	32	0,6	1,3	21	239
Anzahl der Braunwasserproben	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5
rohes Grauwasser	mg l ⁻¹	l								
Mittelwert	260	511	48	25	12	13	0,1	2,4	4	318
Standardabweichung	138	107	10	16	8	4	0,1	4,2	6	77
Anzahl der Grauwasserproben	6	6	6	7	7	6	7	7	7	7

Für die Behandlung von Grauwasser (Küchenspül- und Handwaschwasser) wird ebenfalls ein MBR eingesetzt werden (Abbildung 11). Das so behandelte Grauwasser wird erfahrungsgemäß den Qualitätsanforderungen der EU-Richtlinien für Badegewässer entsprechen und ist somit für eine Nutzung als Betriebswasser geeignet.

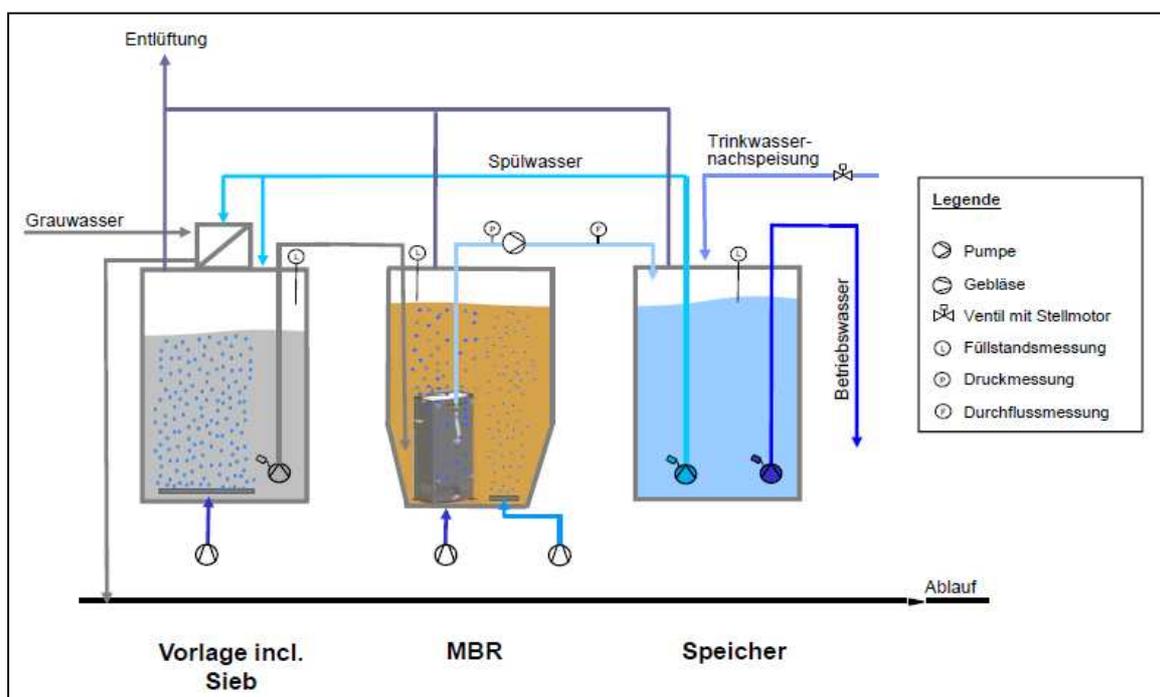


Abbildung 11: Schematische Darstellung der geplanten Grauwasserbehandlung der Firma HUBER SE im GIZ-Gebäude. Einbau soll Mai 2011 erfolgen.

5. Wirtschaftlichkeit

Die umfangreiche Wirtschaftlichkeitsanalyse erfasst in einem ersten Schritt eine Analyse der Investitions-, Reinvestitions- und Betriebskosten der im Gebäude in 2006 eingebauten Sanitärinstallationen (Toiletten, Urinale, Leitungen, Urintanks) [Lazo Paéz (2010)]. Das Trennkonzept wurde mit dem konventionellen System, welches in den Flügeln desselben Gebäudes zeitgleich installiert wurde, verglichen (Abbildung 1). Die Analyse wurde innerhalb einer Kostenvergleichsrechnung nach LAWA (2005) durchgeführt. Der MAP-Reaktor und die weiteren Behandlungsanlagen sind nicht Bestandteil dieser Analyse. Der betrachtete Zeitraum beträgt 50 Jahre, der jährlicher Zinssatz wurde mit 3% und eine durchschnittliche Zahl der 240 Nutzungen der Urinale und 440 Nutzungen der Spültrenntoiletten pro Tag angenommen.

Tabelle 3: Vergleich der Kosten für Haus- und Sanitärinstallationen für das konventionelle und SANIRESCH-System (ohne Behandlung und Verwertung) gemäß der Kostenvergleichsrechnung nach LAWA (2005) [Lazo Paéz (2010)]. Nutzung steht für Toiletten- bzw. Urinalnutzung.

Element	Einheit	Konventionelles System	SANIRESCH System
Investitionskosten	€	152.400	222.900
Jährliche Investitionskosten	€ a ⁻¹	5.900	8.700
Reinvestitionskosten	€	83.500	89.300
Laufende Kosten	€	290.746	324.195
Laufende Kosten	€ a ⁻¹	11.300	12.600
Jahreskosten	€ a ⁻¹	17.200	21.300
Projektkostenbarwert	€	526.600	636.400
Dynamische Gestehungskosten	€ Nutzung ⁻¹	0,071	0,086

Die Differenz im Projektkostenbarwert (Tabelle 3) zwischen dem konventionellen und SANIRESCH-System bzgl. der Haus- und Sanitärinstallationen beträgt ca. 110.000 €. Bei den Investitionskosten entfällt bei beiden Systemen auf Rohre und anderes Zubehör mit über 60 % der größte Anteil. Die Keramik für Trenntoiletten und wasserlose Urinale war 1,5-mal so teuer wie im konventionellen Bereich.

Bei den laufenden Kosten ist der Unterschied eher gering: das SANIRESCH-System ist im Jahr 1.300 € teurer. Hervorzuheben ist, dass das SANIRESCH-System einen niedrigeren Wasserverbrauch aufweist. Dieser würde noch erheblich größer sein, würden die Toiletten mit den ursprünglich vom Hersteller angegebenen Spülwassermengen auskommen: ohne wiederholtes Spülen und ohne Nutzung der maximalen Wassermenge von 6 l pro Spülgang wie jetzt, könnten im SANIRESCH-System bis zu 24 % der laufenden Kosten für Abwassergebühren eingespart werden. Bei den dynamischen Gestehungskosten wurde entschieden, die Kosten pro Nutzung zu betrachten und nicht pro m³ angefallenes Abwasser. Der Hintergrund hierfür ist, dass ein Vergleich anhand der angefallenen Abwassermenge nicht objektiv ist, da im SANIRESCH-System Wassereinsparungen erfolgen, im anderen nicht und sich dadurch unterschiedliche Gesamtabwassermengen ergeben. Die dynamischen Gestehungskosten liegen beim konventionellen System bei 0,071 € pro Nutzung und im SANIRESCH-System bei 0,086 € pro Nutzung.

6. Ausblick

Ein großer Schritt für die weitere Umsetzung wird nun in 2011 erfolgen (Stand dieses Textes ist Januar 2011). In diesem Jahr werden alle Anlagen implementiert, erstmals Feldversuche mit Urin und MAP erfolgen und daran anschließend auch im Betrieb und Überwachung sowie in der Wirtschaftlichkeitsanalyse weitere Ergebnisse zu erwarten sein. Die hier dargestellten Ergebnisse sind erste Teilergebnisse, die noch durch weitere Datensätze ergänzt und verifiziert werden.

7. Dank

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts SANIRESCH (www.saniresch.de) und wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 02WD0947-52 gefördert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung bei den Autoren liegt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

Außerdem danken die Autoren den SANIRESCHpartnern Ute Arnold, Christian Rüster, Celine Schlapp, Bettina Schürmann, Johannes Pinnekamp und Andrés Lazo Paéz für die Zuarbeit zu und Unterstützung bei dieser Veröffentlichung sowie Elisabeth von Münch für das detaillierte Gegenlesen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] ANTONINI, S., PARIS, S. und CLEMENS, J. (2009): Nitrogen and phosphorus recovery from human urine. In: ARNOLD, U. und GRESENS, F. (Hrsg.). Closing nutrient cycles in decentralised water treatment systems in the Mekong Delta, Abschlussbericht des SANSEDprojekts, Universität Bonn, Bonn, Deutschland.
- [2] BLUME, S. und WINKER, M. (2011): Three years of operation of the urine-diversion system in the GTZ headquarters in Germany; user opinions and maintenance challenges. Water Science and Technology, akzeptiert.
- [3] DWA (2008): Neuartige Sanitärsysteme (NASS). DWA-Themenband. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Deutschland.
- [4] LAWA (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Berlin, Deutschland.
- [5] LAZO PAÉZ, A. (2010): Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu den neuartigen Sanitäranlagen im Haus 1 der GTZ (in Englisch). Master thesis am Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg, Deutschland.
- [6] PETER-FRÖHLICH, A., BONHOMME, A., OLDENBURG, M. (2007): Sanitation concepts for separate treatment of urine, faeces and greywater (SCST). Bericht des Kompetenzzentrum WasserBerlin, Berlin, Deutschland.
- [7] ROEDIGER VACUUM GMBH (2006): Roediger Trenntoilette. Roediger NoMix toilet. Hanau, Deutschland.
- [9] TrinkwV. (2001): Trinkwasserverordnung. Bundesgesetzblatt I, Seiten 959-980.