

NASS-TAGE

6.-7. November 2012, Eschborn

Neue Wasserinfrastrukturkonzepte in der Stadtplanung

Inklusive der Ergebnisse des Forschungsvorhabens
SanitärRecycling Eschborn



SANIRESCH

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

giz



Inhaltlich für die Herausgabe verantwortlich:
Martina Winker, Jürgen Stäudel, Elisabeth von Münch, Jörg Londong

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum:

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Theodor-Heuss-Allee 17

53773 Hennef, Deutschland

Tel. +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: info@dwa.de

Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Vasen Big Print, Hennef

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2012

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Das Verbundprojekt mit dem Thema: „Nachhaltiges Sanitär-Recycling Eschborn (SANIRESCH)“, Koordination GIZ, bestehend aus den sechs Teilvorhaben

Teilprojekt 1: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0947)

Teilprojekt-Thema: Wirtschaftlichkeit, internationale Übertragbarkeit, Gesamtkoordination

Teilprojekt 2: Uni Bonn (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0948)

Teilprojekt-Thema: Landwirtschaftliche und Umwelt-Aspekte einer Urinverwertung

Teilprojekt 3: RWTH Aachen (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0949)

Teilprojekt-Thema: Verfahrenstechnische Optimierung des Urinspeichers

Teilprojekt 4: Technische Hochschule Mittelhessen (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0950)

Teilprojekt-Thema: Analytische Bestimmungen verfahrenstechnischer Anlagenparameter

Teilprojekt 5: Roediger Vacuum GmbH (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0951)

Teilprojekt-Thema: Optimierung der Sanitäranlagen, Leitungssysteme und Sammelpeicher

Teilprojekt 6: HUBER SE (BMBF-Förderkennzeichen: 02WD0952)

Teilprojekt-Thema: Entwicklung und Herstellung der Anlage, Prüfung störungsfreier Betriebsweisen

wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Vorwort

In zunehmendem Maße stehen heute innovative, technische Lösungen im Bereich des Abwassermanagements zur Verfügung und werden punktuell eingesetzt. Der Paradigmenwechsel hin zu ressourcen-orientierten Systemen in der Siedlungswasserwirtschaft wurde von Ingenieurinnen und Ingenieuren aufgegriffen und ist in den letzten Jahren weiter vorangebracht worden. Trotz der großen Potentiale solcher Systeme in Bezug auf Ressourcen- und Klimaschutz ist eine weiträumige Implementierung und Nutzung noch nicht erfolgt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die noch fehlende Verankerung von neuartigen Sanitärsystemen (NASS) in der Stadt- und Regionalplanung. Ziel dieser Tagung ist es daher, den Austausch von Fachleuten und Behördenmitarbeiter/innen aus den Bereichen Siedlungswasserwirtschaft und Stadt- und Regionalplanung zu diesem Thema zu fördern.

Innerhalb der Tagung möchten wir aktuelle Fragestellungen bezüglich der Verankerung von NASS innerhalb von Stadtplanungsprozessen diskutieren. So wird uns die Fragestellung beschäftigen, wie es gelangen konnte, die Regenwasserbewirtschaftung mit dezentraler Versickerung und Nutzung als festen Bestandteil in die Stadtplanung zu integrieren. Weiterhin interessiert uns, welche Impulse durch NASS noch erfolgen müssen, damit die Potentiale von NASS in Stadtplanungsprozessen erkannt und integriert werden können. In diesem Zusammenhang stellen wir uns auch die Frage nach den für Deutschland in Zukunft besonders Erfolg versprechenden Systemen einer innovativen Siedlungswasserwirtschaft.

Eine weiträumige Nutzung und Implementierung ist nur möglich, wenn technische Expert/innen städtischer Betreiberorganisationen und die Stadt- und Regionalplanung an einem Strang ziehen. Nur wenn nutzer- und betreiberfreundliche Modelle gefunden werden, wird auch die Implementierung von NASS erfolgreich.

Hierfür bedarf es Innovationen, einer gewissen Risikobereitschaft, aber auch eindeutigen Belegen für den wirtschaftlichen Betrieb von dezentralen Systemen. Es gilt somit bereits mit Beginn der Planungsphase von Städten diese wesentlichen Aspekte zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit den aufgeworfenen Fragen werden auf dieser Tagung auch die Ergebnisse des Verbundprojektes „Nachhaltiges Sanitär-Recycling Eschborn“ (SANIRESCH), welches durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde, präsentiert. Hierin wurde demonstriert, wie neuartige Sanitärsysteme in Bürogebäuden zum Einsatz kommen können und welche Potentiale aber auch Grenzen solche Systeme mit sich bringen.

Wir möchten uns an dieser Stelle sowohl im Namen aller Projektpartner sehr herzlich bei dem BMBF für die Förderung des Projekts als auch im Namen des DWA KA 1 Fachausschusses NASS für die Förderung dieser Tagung bedanken. Wir sind überzeugt, dass wir dank dieser Unterstützung seitens des BMBFs und der DWA unserem gemeinsamen Ziel der Implementierung neuartiger Sanitärsysteme bei opportunen Gegebenheiten wieder einen Schritt näher gekommen sind.



Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong,
Bauhaus-Universität Weimar



Dr. Elisabeth von Münch
Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Weimar und Frankfurt, im Oktober 2012

Inhalt

Vorwort	4
Dienstag, 6. November 2012	
Innovative Anlagentechnik für die Stoffstrombehandlung <i>Stefania Paris, Martin Feicht, Celine Schlapp, Thomas Netter, HUBER SE, Industriepark Erasbach A1, 92334 Berching</i>	10
Anlagenbetrieb und -optimierung des MAP-Fällungsreaktors und der Membranbioreaktoren <i>Johanna Heynemann, Markus Röhrich, Technische Hochschule Mittelhessen, Wiesenstr. 14, 35390 Gießen</i>	23
NoMix-Toiletten: Erfahrungen und Perspektiven <i>Hans-Christian Rüster, Henning Sälzer, Volker Zang, Roediger Vacuum GmbH, Kinzigheimer Weg 104-106, 63450 Hanau</i>	34
Medikamentenrückstände in Urin und Struvit – Nachweis und Verhalten bei Lagerung, Fällung und Trocknung <i>Bettina Schürmann, David Montag, Johannes Pinnekamp, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, Mies-van-der-Rohe-Str. 1, 52056 Aachen</i>	42
Landwirtschaftliche Nutzung von Gelbwasser und MAP – praktischer Einsatz und rechtliche Rahmenbedingungen <i>Ute Arnold, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Karlobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn</i>	51

Wirtschaftliche Aspekte des SANIRESCH-Konzepts und
relevante Erfolgsfaktoren

Martina Winker, Enno Schröder, Gesellschaft für Internationale

Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Sektorvorhaben Nachhaltige

Sanitärversorgung – ecosan, Postfach 5180, 65726 Eschborn

Lisa-Marie Bischer, IWAR, Technische Universität Darmstadt,

Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt

Ute Arnold, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz,

Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn 62

Internationale Übertragbarkeit – wie weit kann sie gehen?

Katharina Löw, HfWU Nürtingen-Geißlingen, Schelmenwasen 4-8,

72022 Nürtingen

Enno Schröder, Martina Winker, Gesellschaft für Internationale

Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Sektorvorhaben Nachhaltige

Sanitärversorgung – ecosan, Postfach 5180, 65726 Eschborn 74

Die NoMix-Toiletten – zwischen Akzeptanz und Ablehnung

Manfred Romich, Lisa Schiele, Christian Wortmann,

Institut für Soziologie, RWTH Aachen, Eilfschornsteinstr. 7, 52056 Aachen..... 90

Landwirte und Konsumenten – wie weit geht die Akzeptanz
der Nutzung von Urin und Urinprodukten?

Katrin Spoth, Judith Schmidt, Ute Arnold,

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz,

Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn 99

Mittwoch, 7. November 2012

Integration in die Stadt- und Freiraumplanung
 – was bedeutet NASS für die Stadt der Zukunft?

*Antje Stokman, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie,
 Fakultät für Architektur und Stadtplanung, Universität Stuttgart,
 Keplerstr. 11, 70174 Stuttgart.....* 113

DWA-A 272 – neues DWA-Arbeitsblatt zur Umsetzung
 neuartiger Sanitärsysteme

*Thomas Hillenbrand, Fraunhofer-Institut für System-
 und Innovationsforschung, Fraunhoferstr. 1, 76131 Karlsruhe* 123

Welche NASS sind für Deutschland besonders erfolgsversprechend?

*Jana von Horn, Max Maurer, Eawag, Überlandstrasse 133,
 Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz
 Sabine Lautenschläger, Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement,
 Universität Leipzig, Grimmaische Str. 12, 04109 Leipzig
 Heidrun Steinmetz, Lehrstuhl für Siedungswasserwirtschaft und Wasserrecycling,
 Universität Stuttgart, Bandtäle 2, 70569 Stuttgart
 Jörg Londong, Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 7, 99423 Weimar
 Thomas Hillebrand, Fraunhofer-Institut für System- und
 Innovationsforschung (ISI), Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
 Thomas Dockhorn, Institut für Siedlungswasserwirtschaft,
 Technische Universität Braunschweig, Pockelsstraße 2a, 38106 Braunschweig ...* 136

Ökonomie der Dezentralität – Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
 am Beispiel KREIS und ihr Analysepotential

*Hans Wilhelm Alfen, Andrea Lück,
 Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystr. 7, 99423 Weimar* 139

HAMBURG WASSER und der HAMBURG WATER Cycle in der Jenfelder Au

*Kim Augustin, Niels-Peter Bertram,
 Hamburg Wasser, Bilhorner Deich 2, 20539 Hamburg* 149

Betreiberkonzept des dezentralen Projekts Sneek mit
 Vacuumentsorgung in den Niederlanden

*Brendo Meulman
 DeSaH BV, Pieter Zeemanstraat 6, 8606 JR Sneek, Niederlande.....* *)

*) Manuskript lag bei Redaktionsschluss nicht vor

<p>Energiegewinnung im Grauwasserrecycling durch vorgeschaltete Wärmerückgewinnung <i>Erwin Nolde, Nolde & Partner, Marienburgerstr. 31a, 10405 Berlin.....</i></p>	151
<p>Stoffstrombilanzierung verschiedener Abwassersysteme – Hotspots von CO2 und Energie <i>Martin Oldenburg, Fachgebiet Biologische Abwasserreinigung und Abwasserverwertung, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, An der Wilhelmshöhe 44, 37671 Höxter</i> <i>Oliver Christ, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, Steingruberstraße 2, 91746 Weidenbach-Triesdorf</i> <i>Jutta Kerpen, Hochschule RheinMain, Am Brückweg 26, 65428 Rüsselsheim</i> <i>Franziska Meinzinger, Hamburg Wasser, Bilhorner Deich 2, 20539 Hamburg</i> <i>Erwin Nolde, Nolde & Partner, Marienburgerstr. 31a, 10405 Berlin</i></p>	162
<p>The potential contribution of NASS products on the fertilizer use and impact on greenhouse gas emissions in different countries <i>Joachim Clemens, bonalytic GmbH, Postbox 1161, 53821 Troisdorf</i> <i>Björn Vinnerås, Håkan Jönsson, Department for Environmental Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Postbox 7032, 750 07 Uppsala, Sweden/National Veterinary Institute, 756 89 Uppsala Sweden</i> <i>Martina Winker, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Sektorvorhaben Nachhaltige Sanitärversorgung – ecosan, Postbox 5180, 65726 Eschborn</i> <i>Ute Arnold, University of Bonn, INRES-Department of Plant Nutrition, Karlrobert-Kreiten-Strasse 13, 53115 Bonn</i> <i>Heinz-Peter Mang, University of Science and Technology Beijing, School of Civil & Environmental Engineerin. Centre for Sustainable Environmental Sanitation, Xueyuan Road 30/Haidian District,</i> <i>Tu Mu Huan Jing Lou – Office 12.14, Beijing, 100083, P.R. China.....</i></p>	190

Innovative Anlagentechnik für die Stoffstrombehandlung

Stefania Paris, Martin Feicht, Celine Schlapp, Thomas Netter
HUBER SE, Industriepark Erasbach A1, 92334 Berching

1 Abstract

Ziel des Forschungsvorhabens SANIRESCH (SANitär-Recycling-ESCHborn) ist die Umsetzung der Behandlung und Verwertung der Abwasserströme Gelb-, Braun- und Grauwasser, welche im Hauptgebäude der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH in Eschborn anfallen. Die beiden Abwasserströme Grau- und Braunwasser werden mit einem MBR-Prozess (Membranbelebungsreaktor), einer Kombination aus biologischer Abwasserreinigung und Membranultrafiltration, behandelt. Für die Behandlung von Gelbwasser wird ein MAP-Fällungsreaktor (Magnesium-Ammonium-Phosphat) eingesetzt. Der Schwerpunkt der HUBER SE innerhalb des Projekts lag auf der verfahrenstechnischen Optimierung der gesamten Anlagentechnik. Eine zentrale Herausforderung innerhalb des Projekts war die Anpassung der Behandlungsanlagen in die bestehende Gebäudestruktur im Untergeschoss des GIZ-Hauptgebäudes. Hierbei wurde darauf geachtet, dass keine Geruchsbelästigungen beim Anlagenbetrieb entstehen und die Zugänglichkeit zur Anlagentechnik jederzeit gewährleistet ist. Für die Überwachung des Anlagenbetriebs aus der Ferne steht eine Steuerung mit Datenfernübertragung zur Verfügung. Das gesamte Anlagenkonzept ist auf eine hohe Funktionalität ausgerichtet und ermöglicht letztendlich die zuverlässige Behandlung der Abwasserströme mit dem Ziel der weiteren Nutzung von Wasser und Nährstoffen. Durch die Implementierung der optimierten Anlagentechnik im Haus 1 der GIZ wurde die Voraussetzung für die Schließung kleinräumiger Wasser- und Stoffkreisläufe in urbanen Gebieten am Beispiel eines Bürogebäudes geschaffen.

2 Einleitung

Aufgrund knapper Ressourcen, vor allem Wasser und Nährstoffe, die gegenwärtig durch Einleitung in die städtische Schwemmkanalisation nicht genutzt werden, stellt eine langfristige Umstellung auf eine dezentralisierte Abwasserreinigung mit Stoff-

stromkreislauf eine nachhaltige Maßnahme dar (Loske und Schäffer, 2005). In diesem Kontext spielt insbesondere die Effizienzsteigerung bei der Nutzung der Wasserressource in Gebäuden, zum einen durch wassersparende Armaturen, zum anderen durch eine Mehrfachnutzung von Wasser eine wichtige Rolle. Wird beispielsweise gereinigtes Grauwasser (fäkalfreies Waschwasser) aus Duschen und Handwaschbecken für Toilettenspülung und Wäschewaschen im Hotel verwendet, lässt sich der Wasserverbrauch um bis zu 47 % reduzieren (Gethke et al., 2007). Auch Ansätze für ein gezieltes Nährstoffrecycling am Ort des Abwasseranfalls gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Alternativ zu den konventionellen Abwassersystemen bieten sich moderne, auf Stoffstromtrennung ausgelegte und kreislauforientierte Abwasserkonzepte an. Ziel dieser neuartigen Sanitärsysteme, auch NASS genannt, ist die Schließung lokaler Stoffstromkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft (DWA, 2008). Durch die Umsetzung in die Praxis wird mit relativ geringem Aufwand eine spezifische Behandlung der einzelnen Abwasserströme ermöglicht. Außerdem ist eine Nutzung der gereinigten Abwässer als Brauchwasser sowie eine Verwertung der zurückgewonnenen Abwasserinhaltsstoffe zur Bodenverbesserung oder zur Düngung möglich. In den vergangenen Jahren wurden einige NASS-Beispiele für urbane Gebiete umgesetzt (z. B. Lübeck-Flintenbreite, Knittlingen usw.). Dennoch besteht aufgrund der hohen technischen Komplexität, der ausgeprägten Interdisziplinarität sowie fehlender rechtlicher Rahmenbedingungen noch ein großer Bedarf an weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Angesichts der rapiden Urbanisierung sind Modellvorhaben für verdichtete Räume erforderlich, um für die unterschiedlichsten Ansprüche und Rahmenbedingungen passende Lösungen bereitzustellen (Winker et al., 2011).

3 Abwasserkonzept und Behandlungsanlagen

Während umfangreicher Renovierungsarbeiten im Zeitraum 2004-2006 wurde ein Gebäude (Haus 1) der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH am Standort Eschborn mit einer separaten Erfassung von Gelb-, Braun- und Grauwasser ausgestattet. Die Ableitung der Abwasserströme erfolgt über drei Leitungen, welche in den Kellerraum des Gebäudes führen. Die Anlagentechnik für die Rückgewinnung der Nährstoffe (Phosphor und Stickstoff) aus Gelbwasser und die Bereitstellung von Betriebswasser aus Grau- und Braunwasser wurde im Rahmen des Forschungsprojekts SANIRESCH (SANitär-Recycling-ESCHborn) durch die HUBER SE installiert. Das gesamte Abwasserkonzept, von der separaten Erfassung über die spezifische Behandlung der Abwasserströme im Kellerraum bis hin zur

Neue Wasserinfrastrukturkonzepte in der Stadtplanung

möglichen Nutzung von Betriebswasser und zurückgewonnenen Nährstoffen, ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Im Aufstellungsraum der GIZ befinden sich folgende HUBER-Anlagen zur Behandlung der separaten Abwasserströme (Abb. 2):

- Gelbwasserbehandlung: MAP-Fällungsreaktor
- Braunwasserbehandlung: Vorlage mit integrierter mechanischer Vorreinigung und Membranbelebungsreaktor (MBR)
- Grauwasserbehandlung: Vorlage mit integriertem Maschensieb, Membranbelebungsreaktor (MBR) und Betriebswasserspeicher

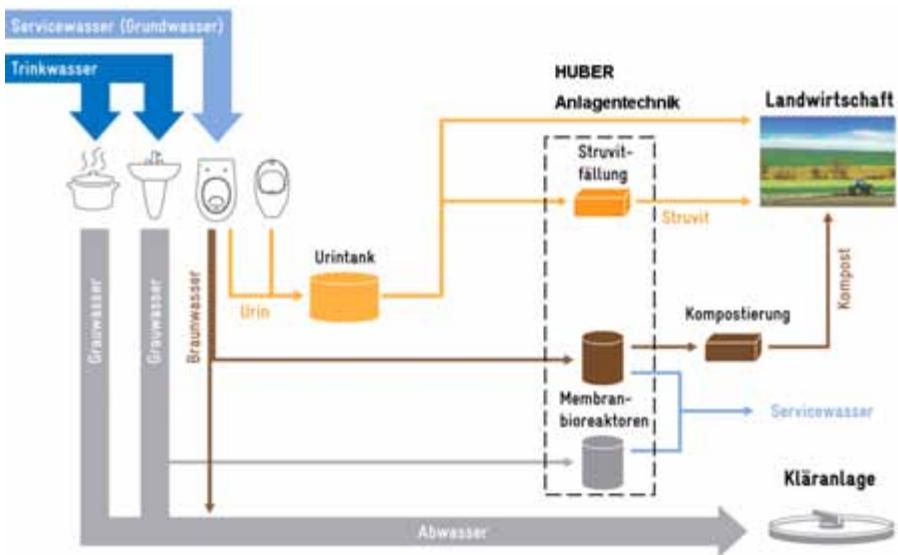


Abbildung 1: Abwasserkonzept im Haus 1 der GIZ am Standort (geändert nach SANIRESCH, 2010)

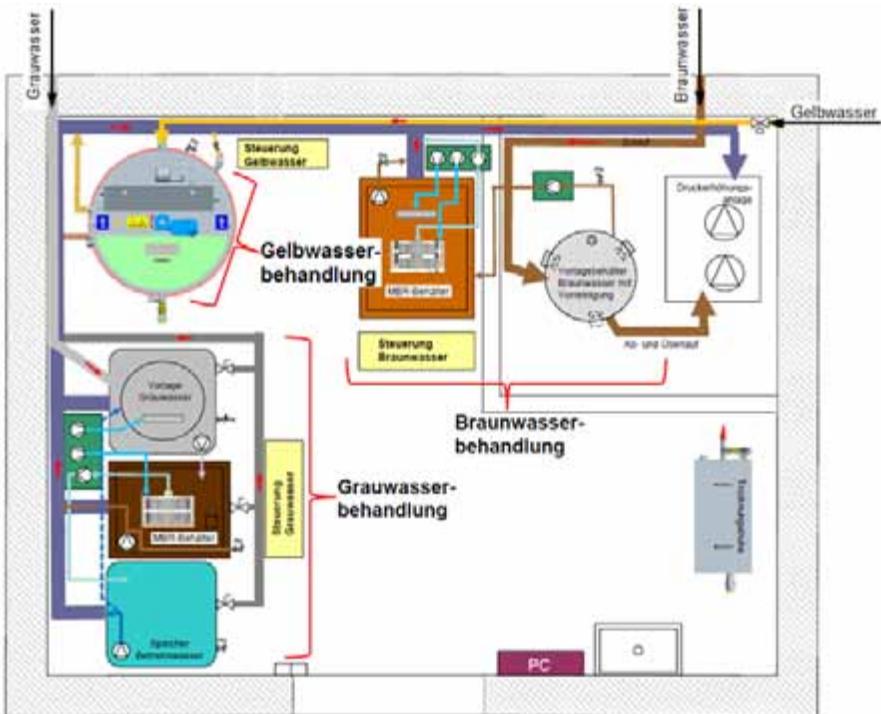


Abbildung 2: Aufstellungsplan der HUBER-Anlagentechnik im Untergeschoss von Haus 1 der GIZ am Standort Eschborn

3.1 Gelbwasserbehandlung

Das Gelbwasser wird mit Hilfe eines chemisch-physikalischen Prozesses in einem MAP-Fällungsreaktor behandelt, welcher für den speziellen Anwendungsfall bei der GIZ konstruktiv und verfahrenstechnisch angepasst wurde. Durch Zudosierung von pulverförmigem Magnesiumoxid (MgO) zu unverdünnten bzw. gering verdünnten Urin entsteht bei der MAP-Fällung Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) in fester Form, welches ein wertvolles Düngemittel für die Landwirtschaft darstellt. Der installierte Reaktor besteht grundsätzlich aus einem Fällungsbehälter mit Rührwerk, einem Beutelförderer als Dosierstation und einer Filtrationseinheit mit Filtersäcken (Abb. 3). Der Urin aus den Urintanks wird mit diesem Reaktor im halbautomatisierten Batchverfahren

ren behandelt. Zu Beginn eines Zyklus laufen bis zu 50 l Urin in den trichterförmigen Fällungsbehälter ein. Anschließend wird über die Dosiereinheit mit Beutelförderer eine adäquate Menge von MgO als Fällmittel dazugegeben. Das pulverförmige MgO ist in Beutel aus Polyvinylalkohol, einem wasserlöslichen Polymer, bedarfsgerecht portioniert. Durch Kontakt mit der Flüssigkeit löst sich der thermoplastische Kunststoff innerhalb kurzer Zeit (ca. 30 s) auf und das MgO wird durch das Rührwerk im Reaktor mit dem Urin vermischt. Das Magnesium verbindet sich mit dem Phosphat und dem Ammonium im Urin ($Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-} \rightarrow MgNH_4PO_4$) und bildet MAP, welches auch als Struvit bezeichnet wird. Nach einer einstellbaren Kristallisations- und Sedimentationszeit werden der MAP-angereicherte Urin (ca. 5 l) und der Urin-Überstand (ca. 45 l) in getrennte Filtersäcke zum Rückhalt des MAP abgelassen. Zur Sammlung des filtrierten Urins (Prozesswasser) dient eine Kammer im unteren Reaktorteil. Aufgrund des hohen Ammoniumgehalts ist das Prozesswasser i.d.R. einer weiteren Behandlung zuzuführen. Nach einer entsprechenden Trocknungszeit steht das MAP für eine weitere Nutzung z. B. als Düngemittel zur Verfügung. Die Kenndaten des MAP-Fällungsreaktors sind in Tabelle 1 angegeben.

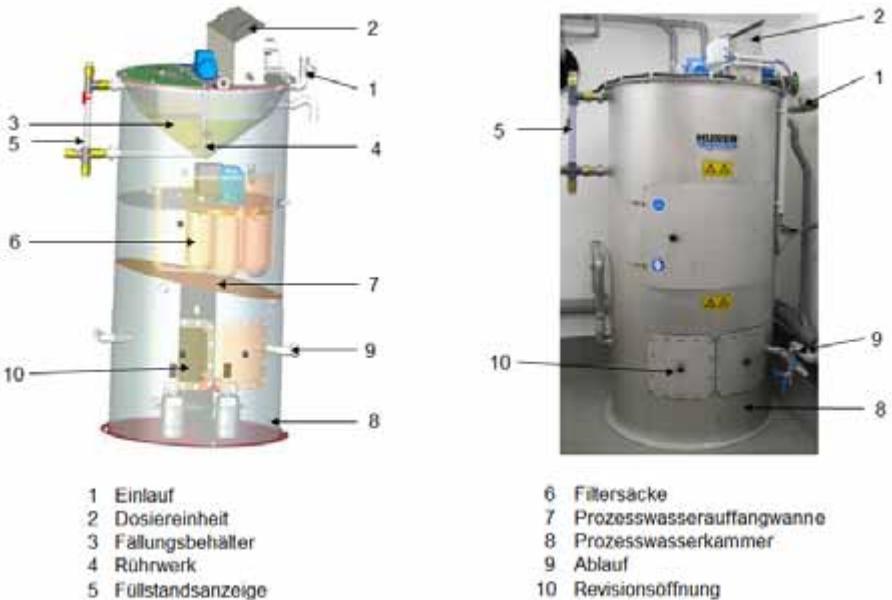


Abbildung 3: MAP-Fällungsreaktor der HUBER SE im Haus 1 der GIZ am Standort Eschborn

Tabelle 1: Kenndaten des MAP-Fällungsreaktors im Überblick

Betriebsweise	Batch-Modus
Urinmenge pro Zyklus	max. 50 l
Zyklusdauer (Befüllen, Rühren, Sedimentieren, Ablassen des Urin-Überstands, Ablassen des MAP- ange- reicherten Urins)	einstellbar z. B. 135 min, dadurch 10 Zyklen pro Tag
Reaktorabmessung (HxD) in mm	2355x1100

3.2 Braunwasserbehandlung

Zur Behandlung von Braunwasser kommt eine MBR-Anlage mit vorgeschalteter mechanischer Vorreinigung zum Einsatz (Abb. 4 und 5). Aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Technikraum werden nur Teile der täglich anfallenden Braunwassermenge aus Haus 1 behandelt (ca. 450 l pro Tag). Eine kleine, horizontale Siebschnecke (3 mm Lochblech), welche in den Zulauf des volldurchmischten Vorlagebehälters integriert ist, dient dem Rückhalt von Grobstoffen und Toilettenpapier. Bei Bedarf kann das Siebgut auch separat gesammelt werden und steht somit einer weiteren Behandlung z. B. Kompostierung zur Verfügung. Die Behandlung des gesiebten Braunwassers erfolgt in einem kompakten Membranbelebungsreaktor (MBR) mit integrierter Filtrationseinheit. Aufgrund der hohen organischen Belastung mit Fäzes ist im Vergleich zu kommunalen MBR-Anwendungen ein größeres Belebungsvolumen erforderlich. Das biologisch gereinigte Braunwasser wird anschließend einer Membranultrafiltration (nominaler Porendurchmesser von 38 nm) mit Unterdruckbetrieb (maximal 350 mbar) unterzogen. Während Partikel und Bakterien aufgrund ihrer Größe (>100 nm) zurückgehalten werden, passiert die Flüssigphase die Membran. Der Abzug des Überschussschlammes erfolgt bei Bedarf manuell über eine automatisierte Pumpe. Ein Spüllufteintrag unterhalb der Membranmodule erzeugt eine Überströmung der Membrane und verhindert somit eine Verblockung der Membranoberfläche. Für die biologischen Abbauprozesse und die Durchmischung des Belebtschlammes wird über einen zusätzlichen Belüfter am Beckenboden Sauerstoff eingetragen. Die Kenndaten der Anlage zur Braunwasserbehandlung sind Tabelle 2 zu entnehmen.

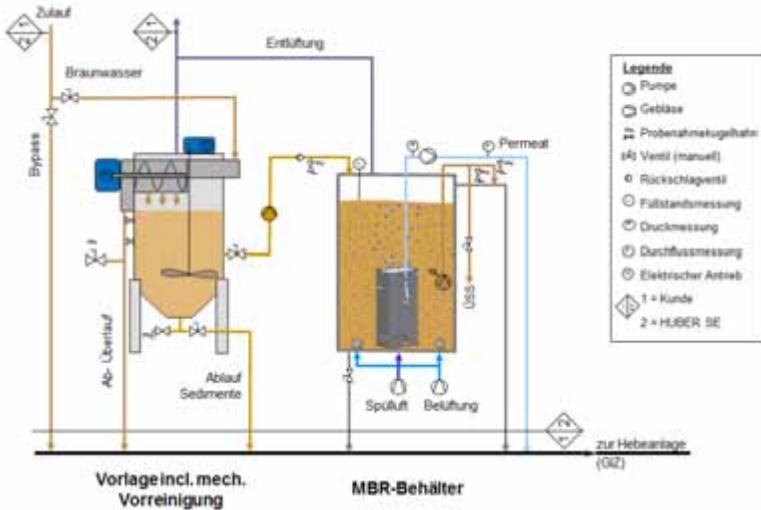


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Braunwasserbehandlung mit MBR-Anlage



Abbildung 5: Braunwasserbehandlungsanlage der HUBER SE im Haus 1 der GIZ am Standort Eschborn

Tabelle 2: Kenndaten der Anlage zur Braunwasserbehandlung im Überblick

Vorreinigung	Lochsiebdurchmesser	3 mm
Membran	Porengröße (nominal)	38 nm
	Membranmaterial	PES (Polyethersulfon)
	Membranfläche	3,5 m ²
Volumen	Vorlage	max. 400 l
	MBR-Behälter	max. 700 l
Abmessungen (LxBxH) in mm	Vorlage	790x790x1875
	MBR-Behälter	1080x780x1690

3.3 Grauwasserbehandlung

Die Reinigung des Grauwassers aus Teeküchen, Hand- und Putzwaschbecken von Haus 1 erfolgt durch eine mechanische Vorreinigung in Kombination mit dem Membranbelebungsprozess (Abb. 6 und 7). Bei der mechanischen Vorreinigung werden mit Hilfe eines Maschensiebes (Maschengewebe mit 3 mm) Störstoffe und Haare zurückgehalten und entsorgt. Der belüftete Vorlagebehälter dient als Puffer für die täglich anfallende Grauwassermenge. In der kompakten MBR-Stufe erfolgen die biologische Behandlung des gesiebten Grauwassers und anschließend die Membranfiltration. Für die Filtration kommt eine im Belebungsbecken integrierte Filtrationseinheit mit 3,5 m² Filtrationsoberfläche zum Einsatz. Über eine Pumpe wird das Permeat durch die Ultrafiltrationsmembranen (nominaler Porendurchmesser von 38 nm) im leichten Unterdruck abgesaugt (max. 350 mbar) und im Betriebswasserspeicher gesammelt. Das gespeicherte Betriebswasser dient der Abreinigung von Maschensieb und Siebschnecke der Braunwasserbehandlungsanlage im automatischen Modus. In Tabelle 3 sind die Kenndaten der Anlage zur Grauwasserbehandlung im Überblick dargestellt.

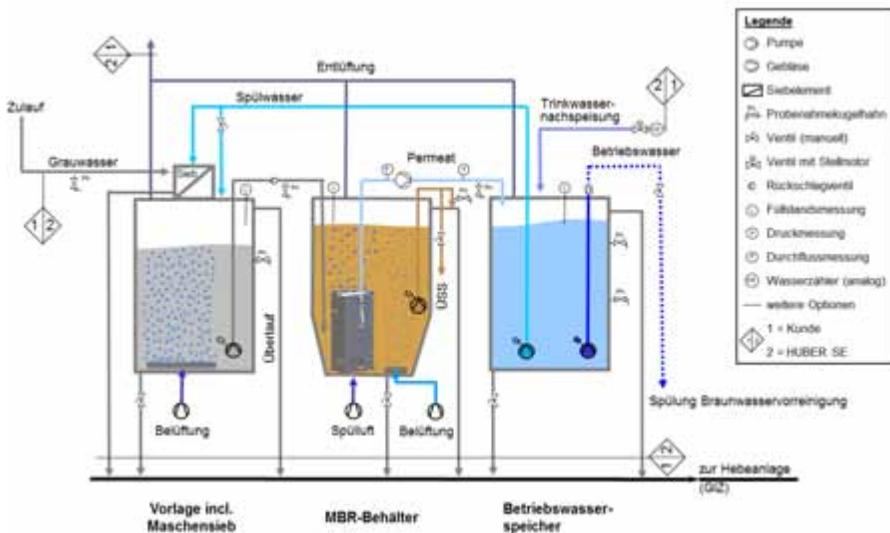


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Grauwasserbehandlung mit MBR-Anlage



Abbildung 7: Links: Grauwasserbehandlungsanlage der HUBER SE im Haus 1 der GIZ am Standort Eschborn; Rechts: Innenansicht des Membranbelebungsreaktors

Tabelle 3: Kenndaten der Anlage zur Grauwasserbehandlung im Überblick

Vorreinigung	Maschenweite Sieb	3 mm
Membran	Porengröße (nominal)	38 nm
	Membranmaterial	PES (Polyethersulfon)
	Membranfläche	3,5 m ²
Volumen	Vorlage	max. 480 l
	MBR-Behälter	max. 500 l
	Betriebswasserspeicher	max. 480 l
Abmessungen (LxBxH) in mm	Vorlage	790x690x2180
	MBR-Behälter	1110x730x1530
	Betriebswasserspeicher	750x650x1530

4 Projektspezifische Anforderungen

Besondere Herausforderungen im Rahmen des Projekts waren die Integration der Anlagentechnik zur Behandlung der einzelnen Abwasserströme in die bestehende Gebäudestruktur der GIZ sowie die Betriebsüberwachung der dezentralen Anlagen aus der Ferne.

4.1 Integration in die bestehende Gebäudestruktur

Für die Installation der gesamten Anlagentechnik zur Behandlung der einzelnen Abwasserströme stand ein Kellerraum mit einer kleinen Grundfläche (21 m², Abb. 2) im Untergeschoss von Haus 1 der GIZ zur Verfügung. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse war die Integration der Behandlungsanlagen samt dazugehörigen Leitungen in die bestehende Gebäudestruktur eine besondere Herausforderung. Bei der Planung wurde darauf geachtet, dass die Zugänglichkeit zur Anlage für Wartungsarbeiten, Beprobungen sowie Besichtigungen jederzeit gewährleistet ist. Alle Anlagen-

komponenten wurden darüber hinaus gekapselt ausgeführt, um unerwünschte Geruchsbelästigungen während des Betriebs zu vermeiden. Die Installationsarbeiten im Untergeschoss des Gebäudes erfolgten unter Berücksichtigung aller relevanten technischen DIN-Normen. So wurden bspw. die Leitungen entsprechend ihres Mediums gemäß DIN 2403 (2007) sorgfältig gekennzeichnet und die Speicherbehälter lichtundurchlässig ausgeführt, um das Risiko einer Verkeimung auf ein Minimum zu reduzieren. Zum Einsatz kamen bevorzugt modulare Anlagenkomponenten, welche hinsichtlich ihrer Größe und Ausführung an die besonderen Randbedingungen im Kellerraum des Bürogebäudes angepasst wurden.

4.2 Betriebsüberwachung mit Datenfernübertragung

Im Rahmen dieses Projekts war die Technische Hochschule Mittelhessen (THM) für den Betrieb der gesamten Anlagentechnik im Haus 1 der GIZ zuständig. Um eine Überwachung des automatisierten Anlagenbetriebs aus der Ferne zu ermöglichen, wurden die Steuerungen aller Behandlungsanlagen mit einer Datenfernübertragung samt Störmeldung per SMS ausgestattet. Mit dieser Übertragungstechnik ist es möglich, auf die Betriebsdaten der dezentralen Anlagen von einer externen Betriebswarte aus zuzugreifen und die Betriebszustände auszuwerten. Unerwünschte Stillstandzeiten der Anlagentechnik sowie aufwändige Serviceeinsätze können somit auf ein Minimum reduziert werden. Durch Online-Übertragung wichtiger Parameter wie Höhenstände (Abb. 8), Betriebsdruck oder Durchfluss lässt sich bspw. der Betrieb der Grauwasserbehandlungsanlage überprüfen. Die Datenauswertung in regelmäßigen Abständen ermöglicht eine gezielte Kontrolle der Betriebsweise und lässt gewisse Trends, wie z. B. eine unerwünschte Zunahme des Transmembrandrucks frühzeitig erkennen.

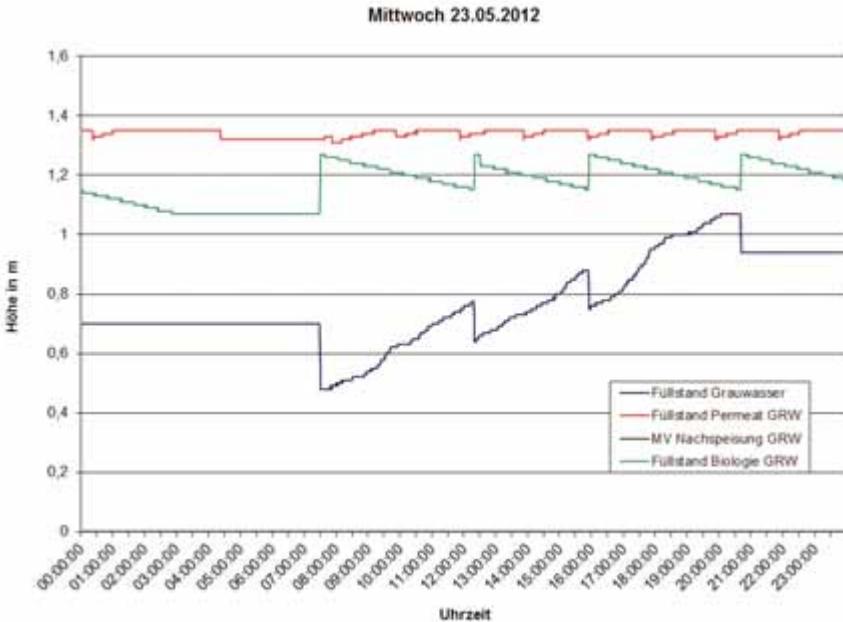


Abbildung 8: Höhenstände der Grauwasserbehandlungsanlage der HUBER SE im Haus 1 der GIZ am Standort Eschborn; Abfrage der Daten vom 23.05.2012

5 Resümee

Im Rahmen des Projekts SANIRESCH wurde die gesamte Anlagentechnik zur Behandlung von Gelb-, Grau- und Braunwasser in die bestehende Gebäudestruktur der GIZ am Standort Eschborn erfolgreich integriert. Durch die modulare Bauweise der Anlagenkomponenten konnte trotz beengten Platzverhältnissen ein hohes Maß an Funktionalität gewährleistet werden. Für die Betriebsüberwachung aus der Ferne wurden die dezentralen Anlagen mit einer Datenfernübertragung samt Störmeldung per SMS ausgestattet. Dadurch lassen sich unerwünschte Stillstandzeiten der Anlagentechnik sowie aufwändige Serviceeinsätze auf ein Minimum reduzieren. Mit der Installation der Anlagen zur Behandlung der einzelnen Abwasserströme im Haus 1 der GIZ hat HUBER zur Implementierung von NASS in bestehenden Gebäuden erfolgreich beigetragen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde letztendlich die Voraussetzung für die Schließung kleinräumiger Wasser- und Stoffkreisläufe in

urbanen Gebieten am Beispiel eines Bürogebäudes geschaffen. Das Demonstrationsvorhaben soll für zukünftige Anwendungen in sog. Green Buildings als Maßstab gelten.

Die HUBER SE bedankt sich für die Förderung des Forschungsprojekts SANIRESCH (SANitär-Recycling-ESCHborn) durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 02WD0952) sowie bei allen Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit.

6 Literaturquellen

DWA (2008). Neuartige Sanitärsysteme (NASS). DWA-Themenband. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Deutschland.

DIN 2403 (2007). Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflusstoff. Ausgabe: 2007-05.

Gethke K., Herbst H., Keyzers C., Pinnekamp, P. (2007). Grey water reuse in hotel and catering industry. IWA Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, October 9-12, Antwerp, Belgium.

Loske, R.; Schaeffer, R. (2005). Die Zukunft der Infrastrukturen, ISBN: 3-89518-502-7, Metropolis Verlag, Marburg.

SANIRESCH (2010). <http://www.saniresch.de/de/projektkomponenten>: besucht am 20.01.2010.

Winker, M.; Paris, S.; Montag, D.; Heinemann, J. (2011). Erste Ergebnisse der Implementierung der Urin-, Braun und Grauwasserbehandlung im Eschborner GIZ Hauptgebäude. fbr-Fachtagung "Wasserautarkes Grundstück", Leipzig, Deutschland.

Anlagenbetrieb und -optimierung des MAP-Fällungsreaktors und der Membranbioreaktoren

Johanna Heynemann, Markus Röhrich

Technische Hochschule Mittelhessen, Wiesenstr. 14, 35390 Gießen

1 Betrieb und Optimierung der Urinfällungsanlage

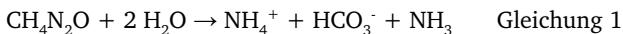
Weltweit werden schätzungsweise 50-60 % des Phosphorbedarfs über Mineraldünger gedeckt [Smil, 2000]. Phosphor und Stickstoff, beide landwirtschaftlich essentielle Nährstoffe, sind in vielen Abwasserströmen enthalten. Besonders die zunehmende Knappheit der geologischen Phosphorvorkommen machen eine großtechnische Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasserströmen und Klärschlämmen notwendig [Eseman et al., 2009].

Die simultane Rückgewinnung von Phosphat und Stickstoff in Form von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP, Struvit), einem wirkungsvollen Langzeitdünger, erwies sich bereits in zahlreichen Forschungsvorhaben als vielversprechendes und zukunfts-trächtiges Verfahren. Im vorliegenden Projekt wurde die Wirksamkeit der MAP-Fällung im großtechnischen Maßstab verwirklicht.

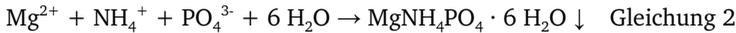
Der Anteil von menschlichem Urin beläuft sich auf weniger als 1 % des Gesamtvolumens des kommunalen Abwassers. Dabei beinhaltet er ca. 80 % der Stickstoff-, 50 % der Phosphor- und 90 % der Kaliumfracht. Urin eignet sich besonders zur Rückgewinnung von Phosphor, da er hier in sehr konzentrierter Form vorliegt.

1.1 Aufbau und Funktionsweise der Urinfällungsanlage

Der durch wasserlose Urinale und Trenntoiletten gesammelte Urin wird zunächst in einem von vier Sammel tanks, mit einem jeweiligen Fassungsvermögen von 2 m³ gespeichert. Durch die Hydrolyse des im Urin enthaltenen Harnstoffs (Gleichung 1) steigen der pH-Wert (> pH 9) und die Ammonium-Konzentration an.



In der von Huber SE entwickelten Fällungsanlage (siehe Vortrag von Frau Stefania Paris) können pro Fällungszyklus 30-40 l Urin behandelt werden. Als Fällmittel wird das kostengünstige technische Magnesiumoxid, mit einem β -Faktor von 1,5, eingesetzt. Nach der Zugabe des Magnesiumoxids über eine Dosiereinheit, folgt eine Rührphase mit alternierenden Rühr- und Pausenintervallen von jeweils 30 s über drei Minuten. Die Dosierung des Magnesiumoxids bedingt folgende Fällungsreaktion (Gleichung 2):



Die anschließende Sedimentation dauert 90 min. Das gebildete MAP wird im Konus des trichterförmigen Fällungsraumes gesammelt. Der behandelte Urin wird nach Ablauf der Sedimentationszeit in Polypropylen-Filter, mit einer Porenweite von 10 μm , abgeleitet (siehe Bild 1).

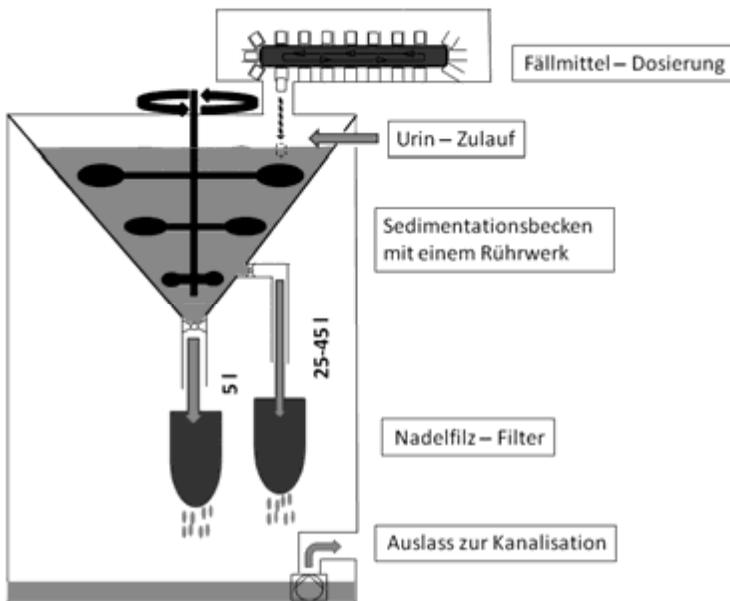


Abbildung 1: Schematische Darstellung des MAP-Fällungsreaktors

Die oben genannten Betriebsparameter wurden im Rahmen von Vorversuchen sowohl im Labor, als auch am Reaktor ermittelt.

1.2 Bilanzierung des Fällungsverfahrens

Die Bilanzierung eines Speichertanks, mit den zuvor genannten Parametern, zeigt, dass 97 % des gelösten Phosphats durch die MAP-Fällung mit analytischem MgO gewonnen werden können (siehe Bild 2) [Röhrich et al., 2012]. Verwendet man hingegen kostengünstiges, technisches MgO reduziert sich die Ausbeute auf ca. 65 %. Eine mögliche Ursache für die starke Abweichung liegt in dem Herstellungsverfahren des Magnesiumoxids. Je nach Brenntemperatur und -dauer erhält man MgO unterschiedlicher Reaktivität. Für den regulären Betrieb des Fällungsreaktors wurde aus Kostengründen technisches Magnesiumoxid verwendet.

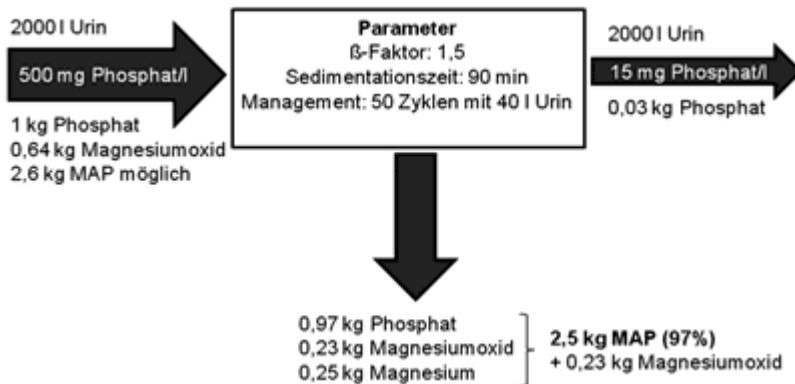


Abbildung 2: MAP-Bilanz eines Speichertanks (2000 l) bei Fällung mit analytischem MgO [Röhrich et al., 2012]

Pro kg analytisches Magnesiumoxid fallen Kosten von 500 Euro an, wohingegen ein Kilogramm technisches Magnesiumoxid nur 20 Euro kostet.

In der Literatur werden Fällungsraten von über 90 % mit Magnesiumoxid als Fällmittel und Urin als Phosphatquelle angegeben. Antonini et al. (2009) erzielte, mit einem Stöchiometriefaktor von 1,5, eine Rückgewinnungsrate von 98 %. Abegglen (2008) erreichte eine Phosphatausfällung von mehr als 95 % durch die Zugabe von Magnesiumoxid mit einem Stöchiometriefaktor von 1,8 [Etter et al., 2011]. Allerdings ist die Art des verwendeten Magnesiumoxids unbekannt.

Pro behandelten Liter Urin konnten im vorliegenden Projekt mit technischem Magnesiumoxid als Fällungsmittel 0,7 bis 1,3 g MAP gewonnen werden.

2 Betrieb und Optimierung der Membranbioreaktoren

Im Rahmen des Saniresch-Projektes wurden Braunwasser (Fäzes, Toilettenpapier und Spülwasser) und Grauwasser (aus Waschbecken und Teeküchen) getrennt erfasst und behandelt. Hierfür wurden jeweils Membranbioreaktoren eingesetzt, da die gute Ablaufqualität aus diesen Reaktoren eine vielfältige Wiederverwertung ermöglicht.

2.1 Betriebsweise der Membranbioreaktoren

Der Grauwasser-MBR lief von 6 Uhr morgens bis 22 Uhr abends. Im Betrieb betrug das Verhältnis von Filtrations- zu Pausenzeiten 270 s/120 s. Der Braunwasser-MBR lief von 4 Uhr morgens bis 23 Uhr abends. Das Filtrations-Pause-Verhältnis betrug 120 s/60 s. Die Pausenzeiten dienen der Entspannung (Relaxation) der Membranen.

Die Saniresch-MBR wurde i.d.R. mit einer gleichbleibenden niedrigen Schlammbelastung von 0,1 kg CSB/(kg TS·d) betrieben. Hierzu wurde auf Grundlage der gemessenen CSB-Konzentration im Zulauf und der Biomassekonzentration im Belebungsbecken, das notwendige Permeatvolumen berechnet und eingestellt. Durch diese Betriebsweise schwankte der Transmembrandruck bei der Grauwasser-Anlage zwischen 45 und 75 mbar und bei der Braunwasser-Anlage zwischen 37 und 68 mbar. Ziel war ein störungsfreier, stabiler Betrieb bei stark schwankenden Zuläufen. Dies ist insbesondere in der Einfahrphase von Bedeutung.

Üblicherweise werden Membranbelebungsreaktoren mit Biomassekonzentrationen (TS-Gehalte) von ca. 12 g/l betrieben. Aus Gründen der Betriebsstabilität wurden beide MBR mit einem konstanten TS-Gehalt von 4 g/l (Grauwasser) und 8 g/l (Braunwasser) betrieben.

Die Beschreibung der Anlagentechnik und verfahrenstechnische Fließbilder sind im Artikel „Innovative Anlagentechnik für die Stoffstrombehandlung“ von Stefania Paris (Huber SE) enthalten.

2.2 Analytik der Membranbioreaktoren

In Tabelle 1 sind die chemischen Parameter der Zuläufe und Permeate der Grau- und Braunwassermembranbioreaktoren gegenübergestellt. Die Probenahme erfolgte in den ersten drei Monaten zweimal pro Woche, anschließend einmal pro Woche, ab August 2012 alle zwei Wochen.

Tabelle 1: Chemische Parameter der Zuläufe und Permeate der Grau- und Braunwassermembranbioreaktoren

			Grauwasser		Braunwasser	
			Zulauf	Permeat	Zulauf	Permeat
CSB	[mg/l]	Ø	647	28,5	803	23,0
		min	329	17,2	238	13,8
		max	1455	39,5	1439	39,8
TN _b	[mg/l]	Ø	15,6	12,5	69,8	72,9
		min	5,36	5,4	13,4	24,9
		max	35,8	25,7	190	170
NH ₄ -N	[mg/l]	Ø	0,55	0,02	30,5	0,32
		Min	0,02	0,01	0,32	0,01
		max	1,94	0,13	61,2	4,40
NO ₂ -N	[mg/l]	Ø	0,13	0,05	1,29	0,99
		min	0,03	0,01	0,05	0,01
		max	0,32	1,04	2,99	5,94
NO ₃ -N	[mg/l]	Ø	0,73	6,84	1,91	64,7
		min	0,29	0,20	0,23	0,23
		max	3,26	16,7	4,21	94,4
P _{ges}	[mg/l]	Ø	21,5	15,6	24,2	22,0
		min	2,84	3,4	6,93	3,82
		max	60,4	29,2	48,5	59,4
PO ₄	[mg/l]	Ø	14,6	15,0	15,3	22,2
		min	2,69	3,4	4,68	3,82
		max	52,6	28,9	29,9	60,1

Das Nährstoffverhältnis C : N : P des Grauwassers lag i.d.R. bei 100 : 2 : 1, das Verhältnis des Brauwassers bei 100 : 9 : 1. Die Zusammensetzung der Abwasserströme entspricht weitgehend denen, die in der Literatur beschrieben sind. Bezogen auf den CSB erreichte der Grauwasser-MBR eine Reinigungsleistung von 96 %, der Brauwasser-MBR von 97 %.

Um Verblockungen auf den Membranen zu verhindern, wurden diese permanent mit Luft überströmt. Unter diesen Bedingungen kann Stickstoff nicht gezielt entfernt werden. Eine Denitrifikation, die Umwandlung von Nitrat zu elementarem, gasförmigen Stickstoff bedingt eine Abwesenheit von Sauerstoff (anoxische Verhältnisse), die in den beschriebenen Anlagen nicht erreicht wurden, aber auch nicht gefordert waren. Daher fand lediglich eine Oxidation des Ammoniums zu Nitrat (Nitrifikation) statt.

Zu Beginn des Betriebes waren im Grauwasser sehr hohe Konzentrationen an Phosphat enthalten. Erste Vermutungen wiesen auf die innerhalb des Gebäudes verwendeten phosphathaltigen Spülmaschinenreiniger, die Analysen dann bestätigten. Nach einer Umstellung auf phosphatfreie Reiniger durch die GIZ konnte ein abnehmender Trend in den Phosphatkonzentrationen beobachtet werden. Die großen Unterschiede der Minimal- und Maximalwerte des Gesamphosphats können auf die Umstellung der Reinigungsmittel zurückgeführt werden.

2.3 Verfahrenparameter der Membranbioreaktoren

Die für Membranbelebungsreaktoren typischen Kennwerte Flux und Permeabilität sind für beide Anlagen spezifisch in den folgenden Diagrammen dargestellt.

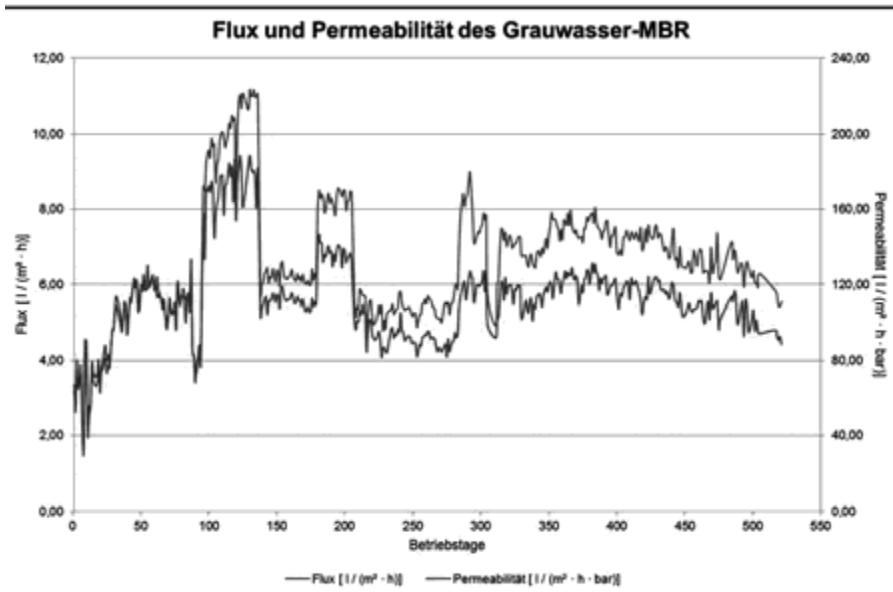


Abbildung 3: Flux und Permeabilität des Grauwassermembranbioreaktors, aufgeführt ab der Inbetriebnahme am 13.05.2011

In den Bildern 3 und 4 ist keine Abnahme des Fluxes und der Permeabilität über der Zeit erkennbar, wie dies normalerweise bei Membranbioreaktoren auftritt. Dies liegt zum einen an der niedrigen Belastung und zum anderen an den häufigen Pausen, sowie den Stillstandphasen während der Nacht. Dies führt dazu, dass die Membran allein durch die Luftpülung dauerhaft vor Verblockungen geschützt ist.

Üblicherweise werden Membranbioreaktoren mit Flux-Werten von 20 bis 30 l/(m²·h) betrieben. Die MBR in diesem Projekt wurden mit Flux-Werten von durchschnittlich 6,6 l/(m²·h) für Grauwasser und 10 l/(m²·h) für Braunwasser betrieben. Die geringe Belastung der Membran resultierte aus der im Vordergrund stehenden Betriebsstabilität, sowie teilweise einem Mangel an Grauwasser.

Der Grauwasser-MBR lief durchschnittlich mit einem Durchsatz von 324 l/d, was einer Verweilzeit von 37 h entspricht. Der Braunwasser-MBR wies einen durchschnittlichen Tagesdurchsatz von 542 l und eine Verweilzeit von ca. 36 h auf.

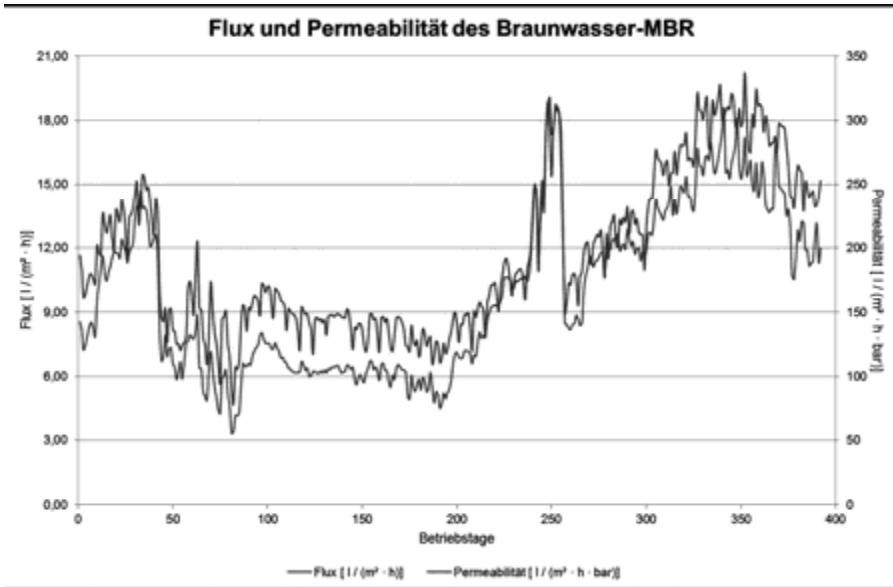


Abbildung 4: Flux und Permeabilität des Braunwassermembranbioreaktors, aufgeführt ab der Inbetriebnahme am 27.06.2011

2.4 Einordnung der Permeate nach Qualitätskriterien

Im Vordergrund der Grau- und Braunwasserbehandlung steht die Wiederverwendung des gewonnenen Permeats. Die spezifischen hygienischen Anforderungen an die Qualität richten sich nach der geplanten Nutzung. Als relevante Qualitätsparameter gelten in der Regel die BSB₅-Konzentration (Speicherfähigkeit), die Trübung (ästhetische Belange) und die mikrobiologische Belastung (gesundheitliche Risiken).

Auf Grundlage des fbr Hinweisblattes H 201, der DIN 19650 für hygienische Belange von Bewässerungswasser und der Trinkwasserverordnung werden die Permeate der Membranbioreaktoren klassifiziert. Die genannten Regelwerke beziehen sich hauptsächlich auf gereinigtes Grauwasser, werden allerdings aufgrund der ähnlichen Ablaufcharakteristik ebenfalls zur Einordnung des gereinigten Braunwassers herangezogen.

Tabelle 2: Vergleich der Richtwerte und Qualitätsanforderungen für Toilettenspülwasser, Bewässerungswasser und Trinkwasser mit den Durchschnittswerten der Permeate der Grau- bzw. Braunwasserbehandlung

	fbr H 201	DIN 19650	TrinkwV	Grauwasser ³⁾	Braunwasser ³⁾
CSB [mg/l]	-	< 60	-	28,5	23,0
BSB ₇ [mg/l]	< 5	< 10 (BSB ₅)	-	1,5	1,6
O ₂ -Gehalt [mg/l]	> 50 %	-	> 5	8,8	8,3
Trübung [NTU]	-	-	< 1	0,4	0,5
Gesamtcoliforme Bakterien	< 100/ml	-	0/100 ml	1,1/ml	2/ml
E.coli	< 10/ml ¹⁾	0-2000/ 100 ml ²⁾	0/100 ml	0,4/ml	0/ml
ANMERKUNGEN					
1) gilt für fäkalcoliforme Bakterien					
2) je nach Eignungsklasse					
3) Durchschnittswerte (die Spannweiten der Analysenwerte sind in Tabelle 1 aufgelistet)					

Nach fbr Hinweisblatt H 201 erfüllen beide Permeate die Anforderungen für Toilettenspülwasser. Eine Verwendung als Bewässerungswasser ist für beide Permeate, wenn auch teilweise eingeschränkt, möglich. Nach DIN 19650 werden vier Eignungsklassen unterschieden. Beide Permeate halten die strengste Klasse 1 nicht ein, können aber für den Bedarf in den unteren Klassen eingesetzt werden. Somit sind sie zur Bewässerung von Sportplätzen, öffentlichen Parkanlagen, für nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen, Obst, Gemüse zur Konservierung und Gemüse bis zwei Wochen vor der Ernte einsetzbar [DIN 19650].

3 Fazit

- Seit Einbau der drei Behandlungsanlagen (Membranbioreaktoren, MAP-Fällungsreaktor) funktionieren diese störungsfrei. Bisher gab es keinen einzigen Zwischenfall der anlagenbedingt ausgelöst worden wäre. Die aktive Entlüftung aller Anlagen verhinderte das Auftreten von Geruchsbelästigungen.
- Das Projekt konnte zeigen, dass dezentrale und nach Stoffströmen getrennte Abwasserbehandlung in einem Bürogebäude auf engstem Raum technisch möglich ist.
- Die Wasserqualität des gereinigten Braun- und Grauwassers erlaubt einen Einsatz als Toilettenspül- und Bewässerungswasser.
- Die Phosphorfällung aus menschlichem Urin ist eine vielversprechende Möglichkeit Phosphor zurückzugewinnen. Im Projekt konnte gezeigt werden, dass dies auch großtechnisch im Dauerbetrieb möglich ist.

4 Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes „Saniresch“, Förderkennzeichen: 02WD0950.
www.saniresch.de

Weiterhin möchten wir den beiden Diplomanten Matthias Hartmann und Franziska Nun für ihre hervorragende Arbeit danken.

5 Literatur

- Antonini, S., Paris, S., Clemens, J., 2009. Nitrogen and phosphorus recovery from human urine. In: Arnold, U., Gresens, F. (Eds.), *Decentralised Water Treatment Systems in the Mekong Delta*. INRES-Plant Nutrition, University of Bonn, Germany, ISBN: 3-937941-14-2 SANSED – PROJECT, Final Report.
- DIN 19650, *Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser*; Februar 1999
- Eseman, T., Rand, W., Dockhorn, T., Dichtl, N., 2009. Increasing cost efficiency of struvite precipitation by using alternative precipitants and P-remobilization from sewage sludge. International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams. ISBN: 9781843392323. Published by IWA Publishing, London, UK.
- Etter, B., Tilley, E., Khadka, R., Udert, K.M., 2011. Low-cost production using source-separated urine in Nepal. In: *Water Research* 45 (2011), pp 852-862
- Fbr: H 201, *Regelwerk „Grauwasser-Recycling“*, fbr-Schriftenreihe. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), Darmstadt. September 2007
- Röhricht, M., Hartmann, M., Heynemann, J., Winker, M., Paris, S., 2012. Phosphate recovery from urine by MAP-precipitation. Book of Abstracts, *Ecotechnologies for Wastewater Treatment 2012*. IWA International Conference, Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-695-3605-6, June 2012
- Smil, V., 2000. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. In: *Annual Review, Energy Environment* 25 (2000), pp 53 – 88

No-Mix Toiletten: Erfahrungen und Perspektiven

Hans-Christian Rüster, Henning Sälzer, Volker Zang,
Roediger Vacuum GmbH, Kinzigheimer Weg 104-106, 63450 Hanau

1 Einleitung

Das Verbundprojekt SANIRESCH untersuchte die Möglichkeiten einer Stoffstromtrennung sanitärer Abwässer direkt an der Quelle und die anschließende getrennte Behandlung und Wiederverwertung von Gelb- und Braunwasser.

Das Teilprojekt zur Optimierung der Sanitäranlagen, Leitungssysteme und Sammel-speicher wurde dabei von der Roediger Vacuum GmbH als Industriepartner betreut. In diesem Zusammenhang wurden bereits 2007 während der grundlegenden Gebäudesanierung im Hauptgebäude der GIZ in Eschborn 50 RoeVac® No-Mix Trenntoiletten und 23 wasserlose Urinale der Firma Keramag installiert und Urin, Grau- und Braunwasser über separate Leitungen zu den Behandlungsanlagen im Untergeschoss des Gebäudes abgeleitet.

Innerhalb des Forschungsprojekts wurde beobachtet, wie sich die No-Mix-Toiletten im Betrieb verhalten und was an technischen Weiterentwicklungen nötig ist, um einen sicheren Betrieb in einem Bürogebäude mit keinem oder nur geringem Wartungsaufwand zu ermöglichen.

2 Material und Methoden

2.1 Betriebstagebuch

In Zusammenarbeit mit den Projektmitarbeitern der GIZ wurde ein Betriebstagebuch (siehe Abb. 1) entwickelt, das einmal monatlich die Betriebszustände der Toiletten dokumentierte und kontinuierliche Datenauswertungen ermöglichte. Dies geschah im Zeitraum vom 1.1.2010 bis zum 30.6.2012. Außerdem wurden darin alle Wartungen und Reparaturen dokumentiert. Insbesondere wurden dabei folgende Parameter erfasst und ausgewertet:

- Betriebszustände der Toiletten
- Betriebsstörungen der Toiletten
- Instandsetzungsmaßnahmen
- Tausch und Lebensdauer einzelner Bauteile

Die Ergebnisse wurden in kontinuierlichen Zwischenberichten festgehalten und technische Detailverbesserungen eingeleitet.

Betriebstagebuch SANIRESCH		ROEDIGER VACUUM										
Kontrolle		<small>Roediger Vacuum GmbH Hoegeler Str. 10-12 D-70372 Stuttgart, Germany Tel: +49 7141 300-100 Fax: +49 7141 300-101 E-Mail: info@rvacuum.com</small>										
Bauvorhaben: Verbundprojekt SANIRESCH / Forschungsvorhaben GTZ Hauptgebäude Projekt-Nr: 743216		Sachbearbeiter: Sachbearbeiter:										
Wartung: <input type="checkbox"/> Monatliche Kontrolle: <input type="checkbox"/>		Datum:										
Etage	Kontrolle										Kommentar	Aktuelle Ventil Nummer
	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6	1.1.7	1.1.8	1.1.9	1.1.10		
9.Hr												
9.Hl												
9.Dr												
9.Dl												
8.Hr												
8.Hl												
8.Dr												
8.Dl												

Abbildung 1: Auszug aus dem Betriebstagebuch zur Dokumentation der NoMix-Toiletten benutzt im Projekt SANIRESCH

2.2 Toilettensoptimierung

Die von Roediger Vacuum seit 2002 entwickelte RoeVac® No-Mix Trenntoilette unterscheidet sich, wie auf dem Bild unten deutlich zu sehen ist durch ihre besondere Bauweise von herkömmlichen Spültoiletten. In den vorderen Bereich der Toilettenschüssel ist ein Urinauffangbecken eingearbeitet, das durch eingebettete Erhebungen den Urin in einen separaten Urinablauf einleitet. Am vorderen Rand der Toilette sieht man den Stift, der mittels eines Bowdenzugs mechanisch das Öffnen und Schließen des Urinablaufs steuert.



Abbildung 2: NoMix-Toilette der Firma Roediger Vacuum ohne Toilettenbrille. Im vorderen Bereich wird der Urin ohne Spülwasser und Papier erfasst

Parallel wurden mit den Projektpartnern, insbesondere den bei der GIZ für die Toiletten mitverantwortlichen Mitarbeiter im Bereich der Gebäudetechnik, zu Projektbeginn 2009 und 2010 zwei Gespräche geführt zu den häufigsten Problemen und anfallenden Wartungen der Toiletten. In diesen Gesprächen stellte sich heraus, dass das Ventil zur Urinabtrennung zu den sensibelsten Bereichen der Toiletten gehört. Auf Basis dieser Gespräche wurden daher die technischen Komponenten, die zur Funktion des Urinabtrennungsmechanismus nötig sind, abgeändert und weiterentwickelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Betriebszustände der No-Mix-Toiletten bei der GIZ

Im untersuchten Berichtszeitraum von insgesamt 30 Monaten wurden insgesamt 171 Betriebsstörungen (siehe auch Abb. 3) bei den Toiletten verzeichnet. Diese waren in der überwiegenden Mehrzahl auf die Bildung von Urinstein an verschiedenen Bauteilen zurückzuführen. In insgesamt 104 Fällen wurden einzelne Bauteile durch Ablagerungen an einer ordnungsgemäßen Funktion gehindert. Im Einzelnen betraf dies den Bowdenzug (42 Nennungen), das Ventil (23 Nennungen), den Faltenbalg (17 Nennungen), den Ablaufteller (10 Nennungen), den Ventilboden (5 Nennungen) sowie den Spülrohrverbinder mit 7 Nennungen. Die zweithäufigste Störungsart waren Undichtigkeiten, die insgesamt in 38 Fällen zu verzeichnen waren. Diese betrafen in 36 Fällen den Stift und in zwei Fällen den Faltenbalg.



Abbildung 3: Betriebszustände der Toiletten im untersuchten Zeitraum vom 1.1.2010 – 30.6.2012

3.2 Maßnahmen zur Gewährleistung des ordnungsgemäßen Betriebs

Um den ordnungsgemäßen Projektverlauf und Betrieb der Toiletten sicherzustellen wurden umfangreiche Maßnahmen zur Kontrolle und Instandhaltung durchgeführt. In monatlichen Kontrollgängen wurde die ordnungsgemäße Funktion überprüft und gleichzeitig eine Reinigung mit Zitronensäure gegen die Urinsteinbildung vorgenommen. Insgesamt wurden in Berichtszeitraum 13 Wartungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt, die zum Teil auch zum Einbau bzw. Austausch verbesserter Komponenten dienten. Insgesamt wurden aufgrund von Funktionsstörungen 221 Komponenten der Toiletten ausgetauscht (siehe Abbildung 4).

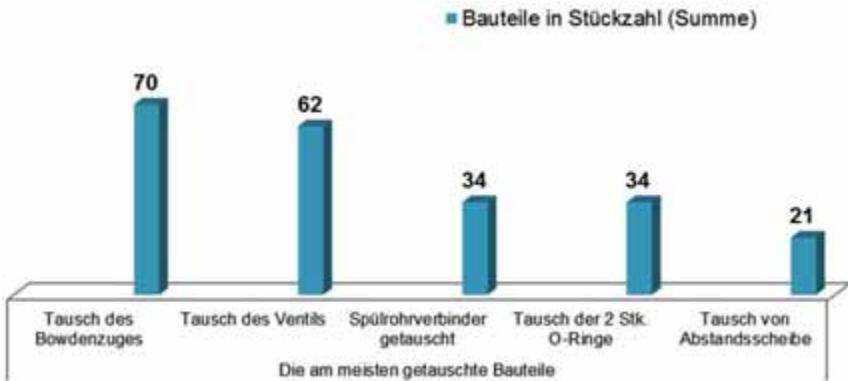


Abbildung 4: Gesamtzusammenstellung der getauschten Bauteile der No-Mix-Toiletten der GIZ

Deutlich zu erkennen ist in diesem Diagramm, dass die mechanisch am stärksten belastetsten Bauteile, der Bowdenzug und das Ventil am häufigsten getauscht werden mussten. Das Zusammenwirken von hoher mechanischer Belastung und gleichzeitiger Bildung von Urinstein an diesen Bauteilen führte zu einer hohen Ausfallquote. Deshalb betrug die durchschnittliche Lebensdauer des Urinalablaufventils im Projektverlauf 495 Tage. Am Spülrohrverbinder und den Abstandsscheiben, sowie den beiden O-Ringen traten häufiger Undichtigkeiten auf, die durch den Austausch der Komponenten behoben wurden.

3.3 Maßnahmen zur Optimierung der RoeVac® No-Mix Trenntoilette

Im Laufe des SANIRESCH-Projektes wurden von der Roediger Vacuum GmbH mehrere Weiterentwicklungen an verschiedenen Bauteilen vorgenommen, um die Betriebszuverlässigkeit der Toiletten zu erhöhen. Dabei handelt es sich um die Folgenden:

- Verlängerung und neues Design des Bowdenzuges
- ein neues Design für die Aufnahmefassung des Bowdenzuges. Damit wird eine Erleichterung bei der Montage eines neuen Bowdenzuges erreicht
- Neues Design des Urinsiphons zur Vermeidung von Urinsteinablagerungen in den Ecken (siehe Abbildung 5)
- Zusätzliche Abdichtung des Urinablaufsiphons mit zwei O-Ringen, um zu vermeiden, dass Abwasser zwischen dem Urinventil und dem Porzellan hindurch sickert (siehe Abbildung 6)



Abbildung 5: Neuer Urinablaufsiphon mit abgerundeten Innenkanten zur Reduktion der Möglichkeit von Ablagerungen in den weniger durchspülten Innenecken des Ventilkörpers

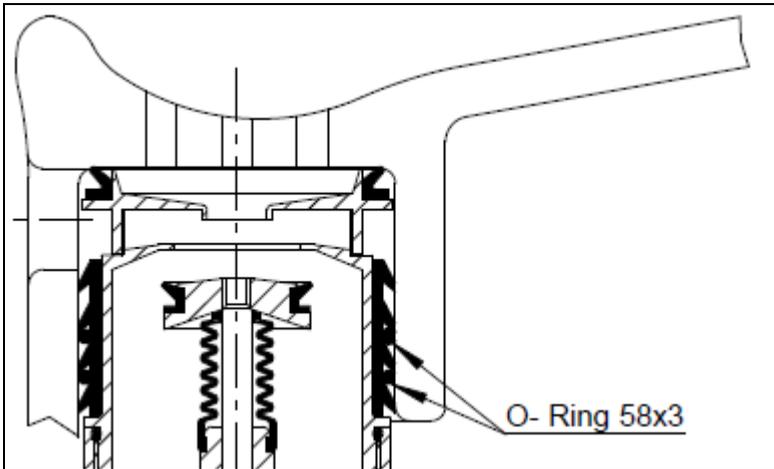


Abbildung 6: RoVac Ablaufsiphon mit zwei zusätzlichen Rollringen zur Abdichtung zwischen der Porzellschüssel und dem Ventileinsatz

Nicht in Angriff genommen wurde im Projektverlauf die mehrfach angeregte Verbesserung des Spülverhaltens der No-Mix Toilette. Es waren teilweise Mehrfachspülungen notwendig um Braunwasser und Toilettenpapier ordnungsgemäß zu entfernen. Dies hätte aber umfangreiche Änderungen am Toilettenkörper selbst nach sich gezogen, und wäre nur in Zusammenarbeit mit einem Sanitär-Keramikhersteller möglich gewesen. Zudem bestanden aufgrund von Vorversuchen bei Roediger Vacuum Zweifel, ob das neue Toilettendesign dann noch DIN-konform wäre.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das SANIRESCH-Projekt hat leider eindeutig belegt, dass eine erfolversprechende Vermarktung der Trenntoilette in der bisherigen Form nicht fortgesetzt werden kann. Die Vielzahl der technischen Störungen und die dadurch entstehenden hohen Instandhaltungskosten lassen eine nachhaltige Marktakzeptanz nicht erwarten.

Zudem konnte im Projektverlauf kein Sanitär-Keramikhersteller für eine dauerhafte Produktion der No-Mix-Toiletten gewonnen werden. Hier sind nicht nur die geringen Stückzahlen, sondern vor allem die durch die komplexe Bauform bedingten, hohen

Ausschussraten bei der Produktion der Hauptgrund für die ablehnende Haltung der Hersteller.

Aus diesen Gründen wird die Roediger Vacuum GmbH mit Ablauf des SANIRESCH-Projekts die kommerzielle Vermarktung der No-Mix-Toilette einstellen.

Die Roediger Vacuum GmbH wird sich auch zukünftig in Forschungsprojekten engagieren, die auf die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der Abwassertechnik abzielen. Im Fokus unserer Entwicklungsbemühungen steht dabei die Vakuum-Sanitärtechnik, die bereits heute durch die Trennung von Schwarz- und Grauwasser die Wertstoffrückgewinnung aus dem Teilstrom Schwarzwasser ermöglicht. Im Vergleich zur Trennung von Gelb- und Braunwasser lässt sich mit der gemeinsamen Sammlung von Schwarzwasser durch Vakuum-Toiletten ein echter Wasserspareffekt erzielen und die automatisierbare gemeinsame Vergärung in einer Biogasanlage ermöglicht ebenfalls eine vollständige Rückgewinnung der Wertstoffe. Das als Nebenprodukt anfallende Biogas kann zur Energiegewinnung genutzt werden und ermöglicht bei einer richtigen Anlagen- und Projektdimensionierung einen energetisch neutralen Wasser- und Abwasserkreislauf.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0951 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

Medikamentenrückstände in Urin und Struvit – Nachweis und Verhalten bei Lagerung, Fällung und Trocknung

Bettina Schürmann, David Montag, Johannes Pinnekamp,
Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, Mies-van-der-Rohe-Str. 1,
52056 Aachen

1 Einleitung

Urin und Fäkalien können eine bedeutende Rohstoffquelle zur landwirtschaftlichen Nutzung darstellen und wurden schon früh zu Düngezwecken eingesetzt. Menschliche Ausscheidungen stellen jedoch auch eine potentielle Quelle für die Verbreitung von Arzneimitteln, ihren Metaboliten, Transformationsprodukten und Konjugaten dar. Etwa 70 % aller eingenommenen Medikamentenwirkstoffe werden in den menschlichen Ausscheidungen nachgewiesen, und können via Kanalisation und Abwasserreinigung in Oberflächengewässer, Grundwasser und Boden in die Umwelt gelangen (BLAC, 2003; LARSEN und LIENERT, 2007).

Der Schwerpunkt der Untersuchungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen im Rahmen des Projektes SANIRESCH lag auf dem Verhalten von Arzneimitteln sowie Keimen im Urin und in Faeces bei der Lagerung, der abwassertechnischen Behandlung und der Gewinnung von Düngemitteln.

2 Medikamenten-Screening in Urin

Der im GIZ-Hauptgebäude gesammelte Urin wurde zunächst einem Medikamenten-Screening unterzogen. Dabei wurden folgende Pharmaka in signifikanten aber nicht quantifizierten Anteilen detektiert und für die weiteren Untersuchungen im Rahmen des Projektes als Zielsubstanzen festgelegt:

- Bisoprolol (Betablocker)
- Carbamazepin (Antiepileptikum)

- Chloroquin (Malaria-Therapeutikum)
- Diclofenac (Analgetikum)
- Ibuprofen (Antirheumatikum)
- Metoprolol (Betablocker)
- Tramadol (Opiod, Analgetikum)
- Sulfadimidin (Sulfonamid-Therapeutikum der Tiermedizin)

Der Nachweis der Pharmaka im Urin und Struvit beruhte auf den bei GROS et al. (2006) und PETROVIC et al. (2005) beschriebenen Methoden. Dabei werden die Substanzen mittels Festphasenextraktion (SPE) aus der flüssigen Phase extrahiert und angereichert. Nach Elution werden die Substanzen flüssigkeitschromatographisch getrennt und massenspektrometrisch detektiert.

In Tabelle 1 sind Daten über Verbrauchsmengen und Umweltbefunde der im Urin nachgewiesenen Arzneimittel aus dem UBA-Bericht 66/2011 (UBA, 2011) zusammengestellt. Angaben über den Ausscheidungsgrad wurden der Datenbank PharmQue der TU Hamburg-Harburg, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz, zum Auftreten von Pharmaka in der Umwelt entnommen (PharmQue, 2009).

Tabelle 1: Verbrauchsmengen und Nachweis der im Rahmen des Projektes untersuchten Arzneimittel in Umweltkompartimenten in Deutschland (OW = Oberflächengewässer, GW = Grundwasser, TW = Trinkwasser, BG = Bestimmungsgrenze)

Wirkstoff	Verbrauchsmenge 2009	Ausscheidungsgrad [%]	Umweltbefunde		
			OW	GW	TW
			+++ >1 µg/l		
			++ 0,1 – 1 µg/l		
			+ <0,1 µg/l		
Bisoprolol	8.196 kg	50	+++	++	
Carbamazepin	64.720 kg	<10	+++	+++	+
Chloroquin	Keine Angaben	70	+		
Diclofenac	91.583 kg	1	+++	+++	+
Ibuprofen	782.378 kg	10	+++	++	+
Metoprolol	153.125 kg	13	+++	++	
Sulfadimidin	Keine Angaben		+++	+++	< BG
Tramadol	Keine Angaben	30	+		
Literatur	UBA, 2011; PharmQue, 2009				

3 Urinlagerung

Die Lagerung von Urin vor der weiteren Verwendung wird zum einen zur Hygienisierung empfohlen, zum anderen erfolgt bei einigen der Urin-Inhaltsstoffe ein Stoffumsatz. Ob die Reduzierung von Pharmaka über eine Veränderung des pH-Wertes beeinflusst werden kann, war Gegenstand eines sechs Monate andauernden Lagerungsversuches. Hierfür wurde Urin mit jeweils 100 µg/l der o.g. Pharmaka gespikt und parallel zwei Flaschen (Flasche 1 mit Pharmaka-Dosierung, Flasche 2 ohne Pharmaka-Dosierung) auf verschiedene pH-Werte eingestellt. Die Bewertung des Lagerungsversuches ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Bewertung der Elimination von Pharmaka während des Lagerungsversuches

Pharmaka	Nullprobe	sauer	physiologisch	alkalisch
Bisoprolol	-	--	-	-
Carbamazepin	-	-	-	-
Chloroquin	+	-	+	+ -
Diclofenac	-	++	-	-
Ibuprofen	--	+	--	--
Metoprolol	-	--	-	-
Sulfadimidin	+	+ -	+ -	++
Tramadol	-	--	-	-
Legende				
Elimination				
<10%	<30 %	30-60%	60-80%	>80%
--	-	+ -	+	++

Die höchste Elimination der Pharmaka während der Lagerung konnte bei Diclofenac im stark sauren Bereich (pH 3,0) und Sulfadimidin im stark alkalischen Bereich (pH 11) erreicht werden. Es ist davon auszugehen, dass die hohen Eliminationsraten auf eine chemische Reaktion der Medikamente zurückzuführen sind, da schon nach 14 Tagen nur noch 15 % der eingesetzten Menge von Sulfadimidin nachzuweisen waren. Bei Diclofenac sank die Konzentration im stark sauren Bereich in den ersten zwei Wochen bereits um 62 %, um dann asymptotisch weiter abzunehmen. Im unveränderten Urin zeigten nur Chloroquin und Sulfadimidin nennenswerte Abbaugrade von 71 %. Dieses Ergebnis wurde durch die Untersuchungen in dem auf pH 6,5 eingestellten Urin bestätigt.

4 Struvit-Fällung

4.1 Pharmaka im Fällprodukt Struvit

In Urin enthaltene Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor lassen sich durch eine Struvitfällung in einen langsam wirkenden Dünger umwandeln. Auf diese Weise können bis zu 98 % des im Urin enthaltenen Phosphors rückgewonnen werden (RONDELTA et al., 2007a). Die Autoren wiesen ebenfalls nach, dass bei der Fällung die in den Experimenten eingesetzten Pharmaka zu 98 % in der flüssigen Phase verblieben und so nicht in den Struvit-Dünger in nennenswerten Konzentrationen übergingen (RONDELTA et al., 2007b). Dieser Effekt konnte auch am ISA der RWTH Aachen in früheren Arbeiten belegt werden (MONTAG et al., 2009).

Im Rahmen des Projektes wurde ein Struvit-Fällungsreaktor (PARIS, 2012) betrieben, dem diskontinuierlich Urin aus den Lagertanks zugeführt wurde. Die Ergebnisse der Pharmaka-Analytik beim Betrieb des Fällungsreaktors sind in Bild 1 dargestellt. Aus dem ursprünglich festgelegten Substanzspektrum konnten Sulfadimidin und Chloroquin nicht nachgewiesen werden.

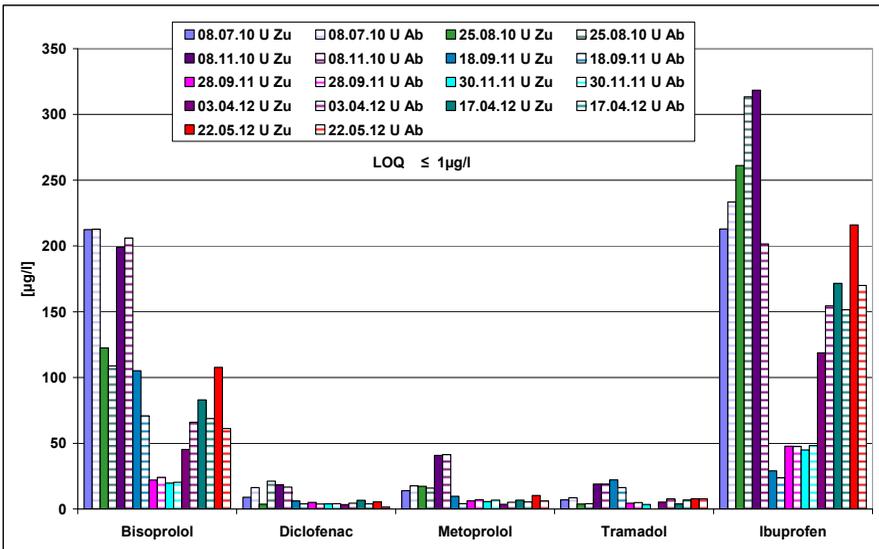


Bild 1: Pharmaka-Konzentrationen im Zu- und Ablauf des Struvit-Fällungsreaktors

Alle Zulauf-Proben wurden dem Tank entnommen, aus dem zur gleichen Zeit die Beschickung der Urinfällungsanlage erfolgte. Die Ablauf-Proben entstammen der Überlaufleitung des Fällungsreaktors zum städtischen Kanal. Über den Versuchszeitraum schwanken die Konzentrationen der einzelnen Pharmaka stark. Beispielsweise wurde Ibuprofen im Zulauf in Konzentrationen zwischen $29 \mu\text{g}/\text{l}$ und $318 \mu\text{g}/\text{l}$ im zum jeweiligen Probenahmezeitpunkt genutzten Urintank detektiert. Die im Mittel hohen Ibuprofen-Konzentrationen im Urin spiegeln die hohe Verbrauchsmenge des frei verkäuflichen Schmerzmittels in Deutschland wider. Der gemäß PAFFRATH und SCHWABE (2008) in Deutschland häufiger verordnete β -Blocker Metoprolol konnte in geringerer Konzentration als der β -Blocker Bisoprolol nachgewiesen werden. Ein Grund hierfür wird zum einen der unterschiedliche renale Ausscheidungsgrad der beiden Medikamente sein (Bisoprolol 50 %, Metoprolol 13 % (PHARMQUE, 2009)), zum anderen können auch die Verschreibungsgewohnheiten für Betablocker der Ärzte im Einzugsgebiet des Bürogebäudes ursächlich hierfür sein.

Die an einigen Versuchstagen auftretende Verminderung des Pharmaka-Gehaltes zwischen Zu- und Ablauf des Fällungsreaktors deutet darauf hin, dass es zu einer Einlagerung der Pharmaka in das Fällprodukt Struvit kommt. Aus Voruntersuchungen des ISA ist bekannt, dass sich Pharmaka bei der Fällung von gespiktem Urin im Fällprodukt nachweisen lassen (MONTAG et al., 2009). Durch Waschen mit gesättigter Magnesium-Ammonium-Phosphat-Lösung konnten in diesen Untersuchungen die Medikamentenrückstände entfernt werden, was eine Anhaftung und keine Einlagerung der Pharmaka in die Kristallstruktur des Struvits vermuten lässt. Somit galt es zu klären, ob im Rahmen des Projektes die Veränderungen zwischen Zu- und Ablaufkonzentration auf analytische Streuung zurückzuführen sind oder ob Medikamente im Fällprodukt nachzuweisen sind. Dabei wurde festgestellt, dass sowohl bei ungewaschenen als auch gewaschenen Struvit-Kristallen von insgesamt zehn unterschiedlichen Proben die Pharmaka-Konzentrationen stets unterhalb der Quantifizierungsgrenze (LOQ) von $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ lagen. Dies ist als Nachweis anzusehen, dass durch die Fällung von natürlichem Urin als Struvit eine Verbreitung von Pharmaka in der Umwelt weitgehend ausgeschlossen werden kann.

4.2 Untersuchung des Trocknungsverhaltens der Struvit-Inhaltsstoffe

Da Struvit für den Gebrauch als Düngemittel in rieselfähiger Form vorliegen muss, ist eine Trocknung des den Filterbeuteln entnommenen Fällproduktes notwendig. Untersuchungen des Verhaltens der verschiedenen Fällprodukt-Inhaltsstoffe bei

unterschiedlichen Trocknungs-Temperaturen sowie die jeweiligen Anteile bei reinem Struvit sind in Bild 2 wiedergegeben.

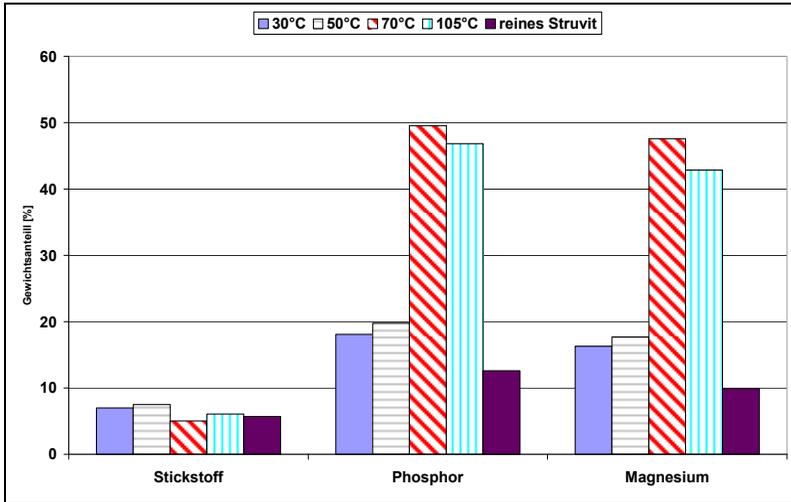


Bild 2: Verteilung der Gewichtsanteile von Stickstoff, Phosphor und Magnesium nach Trocknung des Fällproduktes bei unterschiedlichen Temperaturen und in reinem Struvit ($(\text{NH}_4)\text{Mg}[\text{PO}_4] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

Bei der Trocknung von Struvit kommt es bei Temperaturen oberhalb von 50°C zu einem Stickstoff-Verlust von ca. 50 % im Dünger, wie bereits von SCHULZE-RETTMER und YAWARI (1988) beschrieben. Die im Verhältnis zu reinem Struvit höheren Anteile der Struvit-Inhaltsstoffe (N, P, Mg) pro kg Trockensubstanz können durch das Auftreten anderer mineralischer und organischer Bestandteile verursacht sein, die sich durch das Waschen mit gesättigter Struvitlösung nicht entfernen lassen.

Da der Gehalt der Inhaltsstoffe für die Düngung eine wesentliche Rolle spielt, sollten bei einer großmaßstäblichen Herstellung von Struvit genaue Angaben über die Molverhältnisse bzw. Nährstoffanteile für den Anwender vorliegen, um einen Mangel aber auch eine Überdüngung auszuschließen. Gleichzeitig ist anzumerken, dass eine Trocknung bei nur 30°C energetisch günstiger ist als bei höheren Temperaturen. Je nach Produktionsstandort kann für den Trocknungsprozess Abwärme genutzt werden.

4.3 Mikrobiologische Untersuchungen

Im Zu- und Ablauf der Urinfällungsanlage wurden weiterhin mikrobiologische Untersuchungen angestellt. Auch für diese Parameter erfolgten die Probenahmen des Zulaufs aus unterschiedlichen Urintanks, die keine lange Lagerzeit und deshalb hohe Konzentrationen an Bakterien aufwiesen. Des Weiteren wurde Struvit untersucht, das den Filtern mit einem sterilen Löffel entnommen worden war und anschließend getrocknet wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen von Zu- und Ablauf der Urinfällungsanlage sowie von Struvit

Datum	Ort	Escherichia coli	Coliforme Bakterien	CFU 22°C	CFU 36°C
		n /100 ml	n /100 ml	n /100 ml	n /100 ml
25.08.10	Zulauf	<100	<100	-	-
	Ablauf	<100	<100	-	-
	Struvit (0,26 g/100 ml)	<100	<100	-	-
07.11.10	Zulauf	<100	<100	-	-
	Ablauf	<100	<100	-	-
	Struvit (0,255 g/100 ml)	<1	<1	-	-
18.08.11	Zulauf	>24196	>24196	5.760.000	2.860.000
	Ablauf	>24196	>24196	1.590.000	1.240.000
Testverfahren		Colilert-18	Colilert-18	Mikrobiologische Untersuchungsverfahren der TrinwV, 1990	

Die am 18.08.2011 im Zu- und Ablauf der Urinfällungsanlage gemessenen hohen Konzentrationen an Bakterien zeigen, dass es notwendig ist, Hygienevorschriften beim Umgang mit frischem Urin strikt einzuhalten. Eine weitgehende Automatisierung der Urinfällung ist anzustreben, wenn die Struvit-Fällung nicht aus gut abgelagertem Urin erfolgen kann. Die Trocknung des gefällten Struvits bewirkt schon nach kurzer Zeit durch den starken Konzentrationsunterschied zwischen dem Zellinneren und der trockenen salzbelasteten Umgebung eine keimtötenden Dehydrierung der Bakterienzellen. So kann davon ausgegangen werden, dass von ausreichend getrocknetem Struvit (H₂O < 20 %) beim Einsatz als Dünger keine Infektionsgefahr durch Fäkalkeime ausgeht. Keimzahlbestimmungen im Rahmen der Trocknungsexperimente bestätigen dies.

5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse des SANIRESCH-Arbeitspaketes Qualität der Produkte/Urinlagerung zeigen deutlich, dass vor der Verwendung von Urin zur Düngung eine Lagerung von 6 Monaten unbedingt eingehalten werden muss, um das hygienische Risiko zu minimieren. Die Lagerung hat allerdings keinen Einfluss auf die Elimination der in einem Bürogebäude anzutreffenden großen Palette der im Urin vorhandenen Medikamente, d. h. diese werden auch weiterhin in größtenteils unveränderter Form im Urin enthalten sein. Auch eine mit der Lagerung verbundene Veränderung des pH-Wertes führt nicht bei allen Medikamenten zum Umsatz der Arzneiwirkstoffe. Unter hygienischen und ökologischen Gesichtspunkten ist daher die Ausbringung der wertgebenden Urin-Inhaltsstoffe Stickstoff und Phosphor in Form von Struvit anzuraten. So können nach Fällung unter Zugabe von Magnesiumoxid und anschließender Trocknung im Fällprodukt keine Arzneiwirkstoffe und Bakterien quantifiziert werden. Für die Vermeidung eines Stickstoffverlustes bei der Aufbereitung von Struvit zu einem rieselfähigen Dünger sollten Temperaturen unter 50°C eingestellt werden, da es bei höheren Temperaturen zu Verschiebungen der molekularen Zusammensetzung und insbesondere Stickstoffverlusten kommt.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0949 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

7 Literatur

BLAC (2003): BLAC-AG zur Auswertung der Ergebnisse des Untersuchungsprogramms „Arzneimittel in der Umwelt“ – Auswertung der Untersuchungsergebnisse, Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz (UMK) am 19./20. November 2003 in Hamburg, Herausgeber: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hygiene und Umwelt, im Auftrag des Bund/Länderausschusses für, Chemikaliensicherheit (BLAC), 2003

GAJUREL et al. (2007): Gajurel, D.R., Gulyas, H., Reich, M., Otterpohl, R.: Behaviour of selected pharmaceuticals during long-time storage of yellow water, International Conference on Sustainable Sanitation: “Food and Water Security for Latin America” Ecosan – Fortaleza, 2007

- GROS et al. (2006): Gros, M., Petrovi , M., Barceló, D.: Multi-residue analytical methods using LC-tandem MS for the determination of pharmaceuticals in environmental and wastewater samples: a review. *Anal. Bioanal. Chem.*, 386 (2006) 941–952
- LARSEN und LIENERT (2007): Larsen, T. A., Lienert, J., Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Eawag, 8600 Dübendorf, Schweiz, 2007
- MONTAG et al. (2009): Montag, D., Gethke, K., Everding, W., Pinnekamp, J.: Nährstoff- und Schadstoffgehalte in Sekundärphosphaten. GWA Band 217, 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2009, ISBN 978-3-938996-23-2
- PAFFRATH und SCHWABE (2008): Paffrath, D., Schwabe, U.: Arzneiverordnungsreport 2008: Aktuelle Daten, Kosten, Trends und Kommentare. Springer, 2008, ISBN 978-3-540-69218-8
- PARIS (2012): Paris, S.: Innovative Anlagentechnik für die Stoffstrombehandlung. NASS-TAGE 6.-7.11.2012, Eschborn
- PETROVIC et al. (2005): Petrovi , M., Hernando, M. D., Diaz-Cruz, M.S, Barceló, D.: Liquid chromatography–tandem mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in environmental samples: a review. *J. Chromatogr. A*, 1067 (2005) 1–14
- PharmQue (2009): Query Tool – Pharmaceuticals in the Environment, Institute for Wastewater Management and Water Protection, TU Hamburg-Harburg, 2009, Zugriff: 3.8.2012, <http://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/pharma/index.html>
- RONDELTAPE et al. (2007a): Rondeltap M., Maurer, M., Gujer, W.: Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine, *Water Research* Vol. 41 (5), pages 977-984 (2007)
- RONDELTAPE et al. (2007b): Rondeltap M., Maurer, M., Gujer, W.: The behaviour of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine, *Water Research* Vol. 41, pages 1859 – 1868 (2007)
- SCHULZE-RETTMER und YAWARI (1988): Schulze-Rettmer, R., Yawari, T.: Versuche mit der Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat aus verschiedenen Abwässern, *Vom Wasser* 71,41-54 (1988)
- SRG (2011): Schweizerische Gesellschaft für Rheumatologie: Empfehlungen Basistherapie Antimalarika, Stand 03/2011, <http://www.rheuma-net.ch/Richtlinien>, Zugriff: 25.07.12
- UBA (2011): Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.), Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln, Texte 66/2011, Dessau, 2011, <http://www.uba.de/uba-infi-medien/4188.html> (Zugriff 5.7.2012)

Landwirtschaftliche Nutzung von Gelbwasser und MAP – praktischer Einsatz und rechtliche Rahmenbedingungen

Ute Arnold,
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn,
Karlrobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn

1 Einleitung

Die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Wertstoffe bildet die grundlegende Idee des SANIRESCH-Systems. Für die erfolgreiche Einführung des Systems sind damit Voraussetzungen nötig, die es erlauben, entstehende Produkte möglichst hochwertig wieder zu verwenden. Eine sinnvolle Verwendung wiederum hat große Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und die Akzeptanz des Systems.

Eine Verwendung der neuen Produkte als Dünger in der Landwirtschaft kann als hochwertig angesehen werden, sie bedarf jedoch eines gesicherten Nachweises der Eignung.

Diese Eignung beruht zum einen auf der Wirksamkeit der Produkte als Düngersubstrat, d. h. des Nachweises, dass die enthaltenen Nährstoffe wirksam zur Versorgung und zum Wachstum der Pflanze beitragen und weder zu Mangelerscheinungen noch zu toxischen Wirkungen oder Schädigungen führen.

Die Eignung setzt außerdem voraus, dass ein Einsatz der neuen Dünger keine Gefährdung darstellt – weder für die Gesundheit (von Mensch und Tier) noch für die Umwelt. Damit ist es notwendig, Kenntnis darüber zu erlangen ob, respektive in welcher Form und Menge diese Düngersubstrate unbedenklich eingesetzt werden können.

Im Rahmen des Projekts wurden daher verschiedene Aspekte einer landwirtschaftlichen Verwertung der beiden Produkte GIZ-Urin und MAP aus dem SANIRESCH-System untersucht. Außerdem wurden die gesetzlichen Rahmenbedingungen recherchiert, die für eine zulässige Verwendung in der Landwirtschaft erfüllt sein müssen.

2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde das Abwasser der GIZ verwendet. Im Folgenden bezeichnet „Urin“ damit nicht die direkt vom Menschen ausgeschiedene Form, sondern das aus dem Sanitärsystem stammende, von seinen Eigenschaften eher als Gelbwasser zu bezeichnende Material.

Untersuchungen zur **Düngereignung** fanden auf dem Versuchsgut der Universität Bonn, dem Campus Kleinaltdorf, 20 km westlich von Bonn statt.

Die SANIRESCH-Produkte Urin und MAP wurden im Feldversuch im Vergleich mit konventionellen Mineraldüngern getestet. Urin konnte in drei, MAP in zwei Vegetationsperioden (2010-2012 bzw. 2011+2012) im Vergleich zu Kalkammonsalpeter (KAS) bzw. Tripelphos bei der Applikation zu verschiedenen Feldfrüchten (u.a. Weizen, Mais, Ackerbohne, Miscanthus) untersucht werden. Die Bewirtschaftung erfolgte betriebsüblich. Die Düngermenge für Sommerweizen, der in allen drei Jahren angebaut wurde, lag z. B. bei 150 kg N/ha aufgeteilt in drei Gaben.

Folgende **Risiken** bei der Anwendung von Urin als Dünger wurden untersucht:

Zur Feststellung von toxischen Wirkungen des „Sanitär-Urins“ dienten Keimungstests, die im Gewächshaus des Instituts in Bonn durchgeführt wurden. Untersucht wurde, ob und wie stark die Zugabe von Urin resp. ausgewählter Bestandteile des Urins die Keimung verschiedener Pflanzensamen (Weizen, Sonnenblume) hemmen. Neben Urin in verschiedenen Verdünnungsstufen wurden ausgewählte Pharmaka (Carbamazepin, Diclofenac, Atenolol, Verapamil, sowie 17β -Estradiol) und verschiedene Salze, die im Urin vorkommen (NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , NH_4Cl , K_2HPO_4), untersucht. Die untersuchten Pharmaka waren in Konzentrationen, wie sie im Urin vorkommen, 100-fach höher und 100-niedriger konzentriert eingesetzt worden, indem der Wirkstoff 100-fach verdünntem Gelbwasser zugegeben wurde. Ausgehend von der Leitfähigkeit des verwendeten Urins lag die Molarität der Salzlösungen jeweils bei 0.2 m (EC 20-30 mS/cm); dazu eine verdünnte Variante mit 0.02 m. Zudem wurden verdünnter Urin und Leitungswasser in verschiedenen pH Stufen (pH 5, 7, 9, 11) eingesetzt. Die Keimung wurde innerhalb der ersten 10 Tage bestimmt.

Das Risiko einer Aufnahme und Anreicherung von potenziell schädlichen Bestandteilen aus dem Urin in der Pflanze wurde im Gefäßversuch untersucht und ebenfalls im Gewächshaus des Instituts durchgeführt. Geprüft wurde, ob vier ausgewählte Pharmaka (Carbamazepin, Diclofenac, Atenolol und Verapamil) und 17β -Estradiol, die dem Urin extra zugesetzt waren, in Pflanzenteilen wieder zu finden sind. Hormon-

aktive Substanzen wurden mittels Yeast Estrogen (YES)-Assay gemessen. Dieser Test erfasst endokrine Disruptoren (endocrine disrupting compounds, EDC), als Summenparameter in Estradiol-Äquivalenten (E2eq). Die Analyse der Pharmaka erfolgte im Labor der TUHH mittels HCPL/MS.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Düngungseignung

Die Versuche zeigten gute Wuchsleistung nach Düngung mit GIZ-Urin bei allen angebauten Feldfrüchten. Für Sommerweizen wurde dies bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen in drei Jahren auf verschiedenen Schlägen bestätigt.

Die Erträge und weitere Ertragsparameter zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen GIZ-Urin und dem Mineraldünger KAS. Auf den relativ gut versorgten Böden führten die zusätzlich im Urin enthaltenen Mikronährstoffe aber auch nicht zu einem Mehrertrag. MAP war in seiner Düngewirkung gleichwertig wie der P-Dünger Tripelphos. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die im Versuchsjahr 2011 bei Sommerweizen ermittelten Ernteerträge.

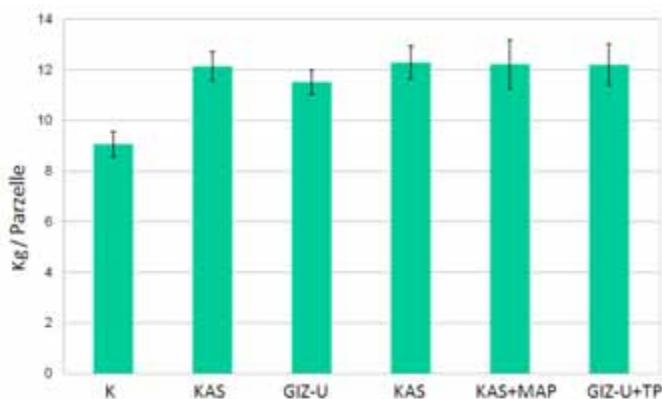


Abbildung 1: Erträge beim Sommerweizen im Versuchsjahr 2011 nach Düngung mit GIZ-Urin (GIZ-U) im Vergleich zur nicht gedüngte Kontrolle (K), Mineraldünger (KAS), und zusätzlich appliziertem Phosphor als MAP oder Tripelphos (TP), Standardabweichung bei $n=4$

Die Ergebnisse dieser Versuche bestätigen vorausgegangene Feldversuche mit anderen Kulturpflanzen – Gerste, Weidelgras (Simons 2008) und Mais (Muskulos 2009) – wo mit Gelbwasser gleiche Erträge zu Vergleichsdüngern erzielt wurden.

Die Feldversuche zeigen, dass Urin bzw. Gelbwasser als Dünger zur Nährstoffversorgung von Kulturpflanzen geeignet ist. Die Applikation kann wie bei Gülle, mit Fasswagen und Schlepplschläuchen erfolgen. Grundsätzlich sind alle wesentlichen Pflanzennährstoffe enthalten und – je nach Bedarf der Pflanzenart und Bodenzustand – reicht dies zur vollständigen Versorgung der Pflanze aus. Es kann jedoch notwendig sein, Mangel-Elemente extra zu düngen.

Auch MAP ist als Dünger geeignet. Die Nährstoffverteilung ist jedoch anders als beim Urin bzw. Gelbwasser: das nach Zugabe von MgO entstandene Fällungsprodukt enthält viel Phosphor und (zu) viel Magnesium, jedoch keineswegs ausreichend Stickstoff um den Bedarf der Pflanze zu decken. Zuviel Mg schädigt normalerweise die Pflanze nicht (ist aber überflüssig), der geringe N-Gehalt erfordert jedoch in jedem Fall eine zusätzliche Applikation eines N-Düngers um den Bedarf zu decken. MAP ist kein Volldünger, er kann als P-basierter Mehrnährstoffdünger zur Grunddüngung und zum Erhalt der P-Versorgung eingesetzt werden.

3.2 Risiken bei der landwirtschaftlichen Verwertung

1 Keimungshemmung

Über eine Hemmung bei der Keimung von Pflanzensamen durch Urin bzw. durch Pharmaka im Urin war berichtet worden (Schneider 2005, Winker et al., 2010). Da die bisherigen Berichte jedoch nicht eindeutig waren, sind diese Fragen im Rahmen des Projekts nochmals aufgegriffen worden.

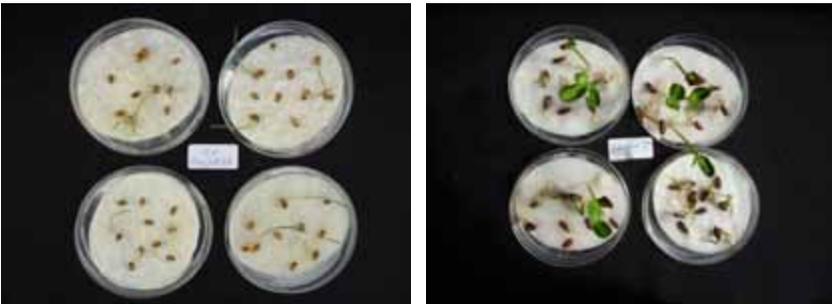


Abbildung 2: Keimungstest mit Weizen und Sonnenblume

Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden:

Bei der Applikation von unverdünntem, 1:10 und 1:100 verdünntem Urin zu Sonnenblume und Weizen zeigten sich starke Wuchshemmungen bei unverdünntem Sanitär-Urin, erkennbare Hemmung bei den Varianten mit 10-fach verdünntem Urin. Keinerlei hemmende Wirkung erfolgte bei der 1:100 Verdünnung; die Resultate waren besser als bei Leitungswasser.

Die Zugabe von Pharmaka und Hormonen (Carbamazepin, Diclofenac, Atenolol und Verapamil, 17 β -Estradiol) zu verdünntem Urin führte in keiner Konzentration bei Sonnenblume oder Weizen zu einer Keimungshemmung. Pharmaka im Urin bewirkten keine schlechtere Keimung von Saatgut.

Die Variation des pH-Werts zeigte bei Weizen bei alkalischen pH-Werten (pH 9, 11) in verdünntem Gelbwasser eine reduzierte Keimungsrate (Abb. 3). Dieser pH-Effekt war jedoch bei Leitungswasser nicht wiederholbar. Auch bei Sonnenblume war eine pH induzierte Keimungshemmung nicht erkennbar. Viel deutlicher ist die komplette Hemmung bei Zugabe von unverdünntem Gelbwasser, unabhängig vom pH.

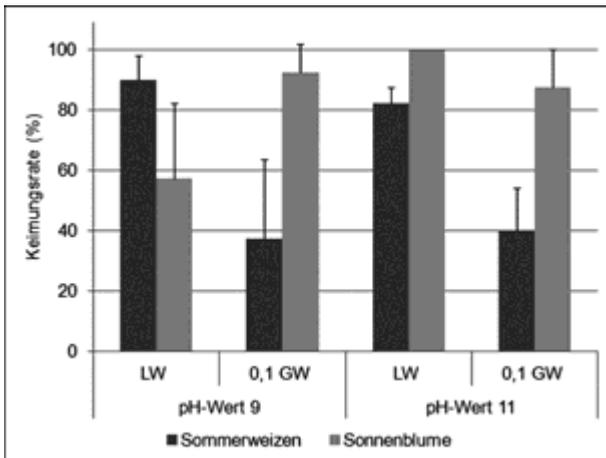


Abbildung 3: Keimung von Weizen und Sonnenblume mit Leitungswasser (LW), 1:10 verdünntem Gelbwasser (0,1 GW) und unverdünntem Gelbwasser (GW), jeweils in verschiedenen pH Stufen; Standardabweichung bei vier Wiederholungen

Hingegen zeigten alle untersuchten Salze – NaCl, (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃, NH₄Cl, K₂HPO₄, – in Konzentrationen, die mit der im Urin vergleichbar sind (0.2 m) eine Hemmung bei der Keimung von Weizen und Sonnenblume. Selbst in 10-fach niedri-

gerer Konzentration waren Einflüsse bei Weizen und Sonnenblume nachweisbar. Aus den Untersuchungen geht damit hervor, dass durch Salze, die im Urin vorkommen, die Keimung von Pflanzensamen behindert werden kann. Salzkonzentrationen wie im GIZ-Urin führen zu Schädigungen, wenn dieser direkt auf das Saatgut gelangt.

Im Feldversuch, bei dem Urin aus den GIZ-Tanks appliziert wurde, wurde dieser Effekt – eine Hemmung bei der Keimung von Weizen oder Mais – nicht beobachtet. Im Unterschied zum Keimungsversuch, wo das Samenkorn direkt in Kontakt mit der Salzlösung steht, gelangt der Dünger im Feld nicht direkt auf das Saatgut, sondern wird vom Boden gepuffert.

2 Aufnahme von Pharmaka

Als weiteres Risiko bei der Anwendung von Urin und anderen sekundären Rohstoffdüngern ist die potenzielle Aufnahme von Schadstoffen zu nennen. Anders als im Klärschlamm befinden sich kaum Schwermetalle im Urin, auch die Gefahr der Übertragung von Krankheitserregern ist recht gering (s. auch Beitrag Schürmann et al. der RWTH Aachen, Höglund 2001, Arnold 2010, Wohlsager et al. 2010). Es befinden sich jedoch Pharmaka, die (überdosierte) ausgeschieden werden, im Abwasser, die wasserlöslichen üblicherweise im Urin. Die Konzentrationen sind i.d.R. sehr gering, können aber bei einer Ausbringung in die Umwelt und damit in die Nahrungskette gelangen.

Bisher war eine Aufnahme von verschiedenen Pharmaka bei sehr viel höheren Konzentrationen im Blatt beobachtet worden (Schneider 2005). Carbamazepin war bereits bei gelbwassertypischen Konzentrationen in Weidelgras von Winker et al. (2010) nachgewiesen worden.

In dem durchgeführten Versuch war Sommerweizen im Gewächshaus angezogen und mit Urin, sowie mit Urin, der mit jeweils einem pharmazeutischen Wirkstoff bekannter Konzentration versetzt worden war, gedüngt worden (Abb. 4).



Abbildung 4: Gefäßversuch mit Weizen 2010

Die Zugabe der Stoffe hatte keinen Einfluss auf das Wachstum der Pflanzen; die Erträge unterschieden sich nicht signifikant.

Die Analyse der Weizenkörner auf die vier pharmazeutischen Wirkstoffe ergab folgende Ergebnisse:

- Keine pharmazeutischen Wirkstoffe in den (nur) mit Urin gedüngten Pflanzen
- Kein Nachweis der gespikten Wirkstoffe Diclophenac, Verapamil und Atenolol
- Nachweis von Carbamazepin bei den mit dem Wirkstoff versetzten Varianten im Korn, höhere Konzentrationen im Stängel

Der im Freiland geerntete Weizen aus dem Feldversuch von 2011 wurde von der RWTH Aachen untersucht. Im Erntegut der mit GIZ-Urin gedüngten Varianten konnte keiner der untersuchten Wirkstoffe nachgewiesen werden, die im applizierten Urin vorhanden gewesen waren (Details im Beitrag von Schürmann et al., RWTH). Auch die Untersuchung von hormonaktiven Substanzen im Weizenkorn und im Boden des Feldversuchs erbrachten keine erhöhten Befunde.

3.3 Rechtliche Aspekte landwirtschaftlicher Nutzung

Für eine Verwendung von neuartigen Düngern aus Sanitärsystemen in der Landwirtschaft gelten für die Zulassung, die Anwendung, den Transport und die Lagerung eine Vielzahl Gesetze und Verordnungen aus verschiedenen Rechtsbereichen (Abb. 5).

Wichtig ist zunächst die rechtliche Einstufung, wenn es um die Verwertung von Gelbwasser resp. Urin und MAP geht. Aus rechtlicher Sicht ist sehr entscheidend, als was es definiert wird, d. h. ob menschlicher Urin und Gelbwasser als „Abfall“ oder „Produkt“ angesehen wird. Diese Definition ist unserer Kenntnis nach bisher nicht zweifelsfrei durch Rechtsprechung erfolgt.

Eine Sache wird nach allgemeiner Auffassung als **Produkt** bezeichnet, wenn sie zielgerichtet hergestellt wurde, einen positiven Marktwert besitzt und Qualitätsstandards erfüllt. Sie ist dann i. d. R. frei handelbar. Für eine Substanz, die als Dünger verwendet werden soll, ist die explizite Nennung als „Düngemittel“ in der Positivliste der **Düngemittel Verordnung** (EU, Dtl.) erforderlich.

Als Düngemittel gelten auch z. B. Wirtschaftsdünger, also organische Substanzen, die in der Land- und Forstwirtschaft anfallen und zur Düngung eingesetzt werden (Gülle, Jauche und Mist, Gärrest aus der Biogaserzeugung, u.a.). Werden sie auf dem eigenen landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt, sind in Deutschland die Vorgaben der **Düngerverordnung** einzuhalten mit Regelungen unter anderem zu Ausbringungsmengen und -zeiten. Die Düngemittelverordnung, die u.a. eine Deklaration der Nährstoffgehalte verlangt, greift, wenn Wirtschaftsdünger an andere Betriebe abgegeben werden. Darüber hinaus ist dann die Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger zu beachten.

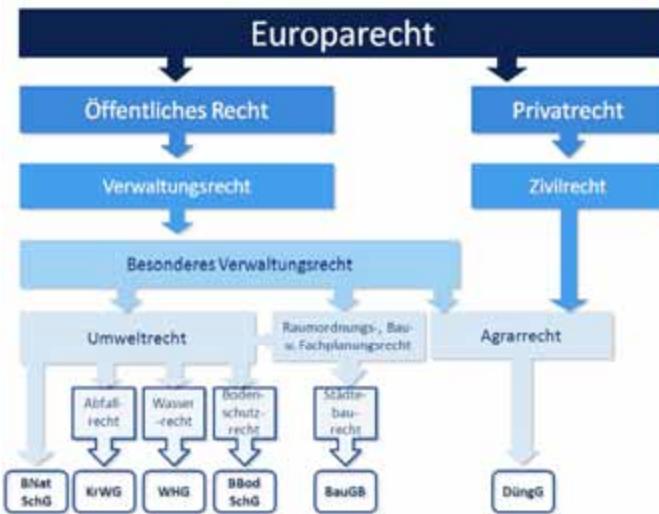


Abbildung 5: Übersicht über relevante Rechtsgebiete bei der Verwendung von neuartigen Düngern in der Landwirtschaft

Als **Abfall** gilt, wenn nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWA, 21012) folgende Kriterien erfüllt sind:

1. Bewegliche Sache (hierbei wird z. B. fließendes Abwasser nicht, wohl aber flüssiger Abfall in Fässern als beweglich betrachtet)
2. Nennung in Anhang 1 des KrWG (hierbei wird als letzte Nummer Q16 genannt „Stoffe oder Produkte aller Art, die nicht einer der oben erwähnten Gruppen angehören“ was quasi alles einschließt)
3. Entledigungswille, tatsächliche Entledigung oder Zwangsentledigung

Explizit ausgenommen von den Vorschriften dieses Gesetzes sind Fäkalien (§2(2), Abs.4, KrWA), es sei denn sie sind als „tierische Nebenprodukte „..“ genannt (Nr. 2 (§2(2), Abs.4, KrWA)

Für die Verwendung von Abfall gelten die Regelungen des KrWG. Dieses erlaubt die „Aufbringung auf den Boden zum Nutzen der Landwirtschaft oder zur ökologischen Verbesserung“ als eine Möglichkeit der Verwertung (KrWG, Anlage 2, R10).

Folgt man der Auffassung, dass es sich bei den neuartigen Düngern um Wertstoffe bzw. Produkte handelt, ist die Zulassung eines Stoffes beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV, Referat 511) zu beantragen. Der Antrag zum Inverkehrbringen neuer Düngemittel erfordert detaillierte Angaben zur Zusammensetzung, Herkunft und Unbedenklichkeit des neuen Produkts.

Die Beurteilung der Eignung erfolgt durch den Wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen beim BMELV, der das Ministerium in Düngungsfragen durch gutachterliche Stellungnahmen berät. Die Beiratsmitglieder werden berufen und sind in ihrer Tätigkeit unabhängig.

4 Zusammenfassung

Die neuartigen Dünger Urin/Gelbwasser und MAP sind in ihrer Wirkung auf Pflanzen mit konventionellen mineralischen Düngern konkurrenzfähig. Die Untersuchungen zeigten gleiche Wirksamkeit zu den Vergleichsdüngern.

Salze im Urin führen bei direktem Kontakt mit Pflanzensamen zu einer Hemmung der Keimung. Auch ein hoher pH-Wert kann u.U. bei bestimmten Pflanzen zu einer reduzierten Keimungsrate führen. Im Urin enthaltene Pharmaka tragen nicht zu einer Keimungshemmung bei.

Die Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung zeigten, dass Pflanzen bestimmte Pharmaka aus dem Boden in ihre Pflanzenteile aufnehmen können. Dieser Nachweis konnte im Gewächshaus bei einem von vier zusätzlich applizierten pharmazeutischen Wirkstoffen – für Carbamazepin – bei der Kultivierung von Weizen erbracht werden. Ohne extra Pharmaka-Zugabe waren weder im Gewächshausversuch noch im Freiland in Weizen, der mit GIZ-Urin gedüngt worden war, Pharmaka nachweisbar.

Für eine Anwendung der neuartigen Dünger im Feld ist zunächst eine Zulassung als Düngemittel erforderlich. Hierzu gelten die Regelungen der EU und der deutschen Düngemittel-Verordnung.

Im Hinblick auf eine tatsächliche Einführung von Düngern aus neuen Sanitärsystemen sind nach technisch-fachlichen und rechtlichen Aspekten u.a. Produktverfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz wichtige Einflussaktoren.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0948 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

Ein besonderer Dank an alle Beteiligten des SANIRESCH-Teilprojekts: Helmut Rehkopf vom Campus Kleinaltendorf für Organisation und Durchführung der Feldversuche, Judith Schmidt für die Durchführung der Keimungsversuche im Rahmen ihrer Diplomarbeit, L.A.T. Hong und Maria A. Arias Escobar mit der Methodenentwicklung und Analyse der Hormone, Margrit Reich von der TUHH für die Analyse der Wirkstoffe im Weizen.

6 Literatur

Arnold U. (2010): Options for reuse of nutrients from waste water in the Mekong Delta, Vietnam, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2010/2385/2385.htm>

DWA (2010): Brauchen wir in Deutschland neuartige Sanitärsysteme? Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef. <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktypitem&type=2&id=751>

Blume S., Winker M. 2011. Three years of operation of the urine diversion system at GTZ headquarters in Germany: user opinions and maintenance challenges. *Water Science & Technology* 64, pp. 579-589.

Clemens, J., Nisipeanu, P., Muskulus, A., Rieß, P., Vinnerås, B. and Winker, M. (2008): Produkte aus neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 55(10), 1120 – 1125

- Höglund, C. (2001). Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. ISBN 91-7283-039-5.
<http://www.lib.kth.se/Sammanfattningar/hoglund010223.pdf>
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 14. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- KRWG (2012) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf, 12.08.12
- Muskolus, A. (2008): Anthropogenic Plant Nutrients as Fertiliser, Dissertation an der Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät.
- Schneider R. (2005): Pharmaka im Urin: Abbau und Versickerung vs. Pflanzenaufnahme, in: Nährstofftrennung und -verwertung in der Abwassertechnik am Beispiel der „Lambertsmühle“ Bonner Agriculturnechnische Reihe Bd. 21, Bonn
- Schürmann B., Everding W., Montag D., Pinnekamp J. 2012. Fate of pharmaceuticals and bacteria in stored urine during precipitation and drying of struvite. *Water Science & Technology* 65, pp. 1774-1780. www.saniresch.de
- Simons J. 2008 Eignung nährstoffreicher Substrate aus zentraler & dezentraler Abwasserbehandlung als Düngemittel <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2008/1460/1460.htm>
- Winker M (2009): Pharmaceutical residues in urine and its potential risks related to its use in agriculture. http://doku.b.tu-harburg.de/volltexte/2009/557/pdf/PhD_Thesis_Winker.pdf
- Winker, M., Clemens J., Reich M., Gulyas H., Otterpohl R. (2010): Ryegrass uptake of carbamazepine and ibuprofen applied by urine fertilization, *Science of the Total Environment*, 408, 1902-1908
- Winker, M., Dimova, D., Ritter, K., Otterpohl, R., Clemens, J. (2010). Effect of five pharmaceutical substances contained in urine on the germination of cress and cereal seedlings. IWA Conference Sustainable solutions for small water and wastewater treatment systems, Girona, Spain
- Winker M., Vinneras B., Muskolus A., Arnold U., Clemens J (2009): Fertiliser products from new sanitation systems: Their potential values and risks. *Bioresource Technology*, Vol. 100, Issue 18, 4090-4096
- Wohlsager S., Clemens J., Nguyet P.T., Arnold U. (2010): Urine Storage and Nutrient Load of a Sanitary Separation System in Southern Vietnam, *Water Environment Research*, Volume 82, No 9

Wirtschaftliche Aspekte des SANIRESCH-Konzepts und relevante Erfolgsfaktoren

Martina Winker, Enno Schröder, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Sektorvorhaben Nachhaltige Sanitärversorgung – ecosan, Postfach 5180, 65726 Eschborn

Lisa-Marie Bischer, IWAR, Technische Universität Darmstadt, Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt

Ute Arnold, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn

1 Einleitung

Im Rahmen des SANIRESCH-Projekts wurde die Wirtschaftlichkeit des gewählten Systems, eines 3-Stoffstromsystems mit Spültrenntoilette (DWA, 2010), und seiner einzelnen Komponenten analysiert und mit einem konventionellen Abwassersystem verglichen (kurz „Wirtschaftlichkeit Gebäude“). Außerdem wurde die Wirtschaftlichkeit von zwei Wegen der Urinnutzung (kurz „Wirtschaftlichkeit landwirtschaftliche Nutzung“) betrachtet: direkte Applikation des gelagerten Urins und MAP-Fällung und Nutzung des produzierten Düngemittels. Wichtig war insbesondere, herauszufinden welche Faktoren einen besonders großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des SANIRESCH-Systems haben. Aufgrund von Ergebnissen aus Studien anderer Projekte und ersten eigenen Ergebnissen wurde erwartet, dass besonders das dreifache Leitungssystem (Oldenburg, 2007), der hohe Preis der NoMix-Toiletten (Winker und Saadoun, 2011), die beträchtlichen Energiekosten der MBRs und die manuelle Arbeitszeit am MAP-Reaktor einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben.

2 Material und Methoden

2.1 Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Als Methodik wurde die Kostenvergleichsrechnung (KVR) nach LAWA (2005) gewählt. Diese Leitlinien wurden speziell für Wasser- und Abwasservorhaben entwickelt, um die kosteneffizienteste Lösung mittels einer relativen Kostenvergleichsrechnung zu identifizieren.

Basierend auf verschiedenen Szenarien, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben sind, wurden der Projektkostenbarwert (PKBW), die Jahreskosten (JK) und die Dynamische Gesteungskosten (DGK) mithilfe einer KVR berechnet.

Bei einer KVR ist zudem eine Reihe von Annahmen zu treffen, die für das Projekt wie folgt festgelegt wurden:

- Die Projektlaufzeit beträgt 30 Jahre (LAWA, 2005)
- Der Zinssatz beträgt 3 % (LAWA, 2005)
- Das Bezugsjahr der Betrachtung ist 2010 und die Kosten sind in brutto angegeben
- Die Laufzeit der einzelnen Komponenten des Systems wird individuell in die Betrachtung mit einbezogen: Toiletten, Urinale und andere Sanitärartikel – 15 Jahre (Prager, 2002); Urinlagertanks – 35 Jahre (Prager, 2002); MBRs – 15 Jahre (Huber SE, 2012); MAP-Fällungsreaktor – 25 Jahre (Huber SE, 2012); Wasser-/Abwasserleitungen – 45/35 Jahre (Prager, 2002)
- Der Nährstoffgehalt des Bodens liegt in Klasse C (gutversorgter Boden, KTBL, 2009) und der Nährstoffbedarf der Pflanzen wird komplett gedeckt, ggf. durch Addition von zusätzlichem Dünger, für die Nährstoffe N, P, K, Mg und Ca
- Das konventionelle Abwassersystem wird über die Abwassergebühr abgebildet. Hierin sind natürlich nicht die volkswirtschaftlichen Kosten für die Infrastrukturerhaltung vollständig abgebildet. Auch wurde eine Entlastung des konventionellen Systems bei anderweitiger Abwasserreinigung nicht gegengerechnet

2.2 Betrachtete Szenarien und Sensitivitätsanalysen

Die Wirtschaftlichkeit des SANIRESCH-Konzepts wurde mittels zweier Analysen betrachtet (siehe Abb. 1). Für beide wurden unabhängig Szenarien kreiert und Sensitivitätsanalysen entworfen. Betrachtet wird immer das gesamte Bürogebäude, nicht nur der mittlere Gebäudeteil, in dem im Rahmen des Projekts das neuartige Sanitärkonzept installiert wurde.

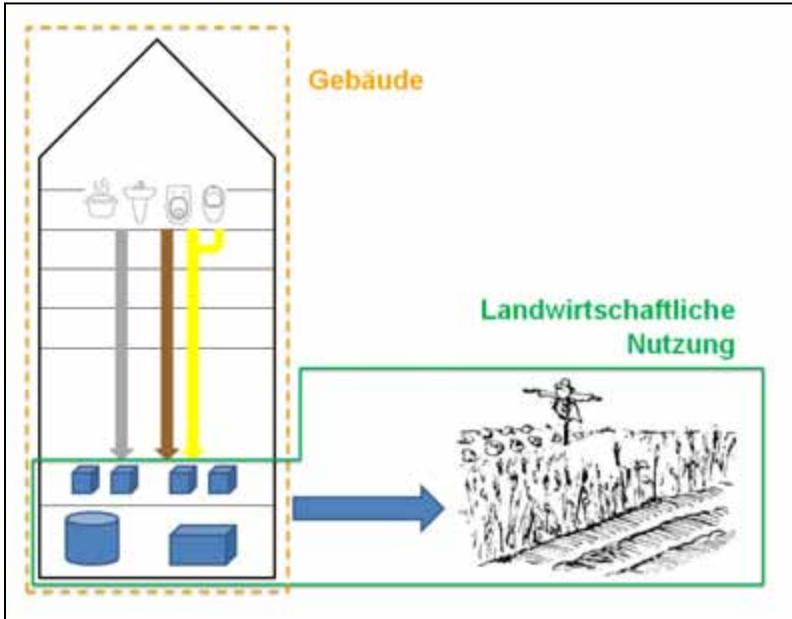


Abbildung 1: Systeme der Wirtschaftlichkeitsanalyse „Gebäude“ (gestrichelte Linie) und „Landwirtschaftliche Nutzung“ (durchgezogene Linie), ihrer Systemgrenzen und Überschneidungen

Wirtschaftlichkeitsanalyse „Gebäude“

Innerhalb der Wirtschaftlichkeitsanalyse „Gebäude“ wurden drei Szenarien betrachtet:

- Szenario A: SANIRESCH-System mit Abholung des gelagerten Urins durch einen Landwirt
- Szenario B: SANIRESCH-System mit MAP-Fällung und Verkauf ab Gebäude
- Szenario C: Konventionelles Abwassersystem wie im restlichen Gebäude

Für diese Szenarien wurden unterschiedlichste Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Vorgestellt werden hier die Interessantesten mit einer hohen Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit. Dabei handelt es sich um:

- Erhöhung der Automatisierung innerhalb der MAP-Fällung
- Erhöhung der Lebensdauer von Ersatzteilen der NoMix-Toiletten
- Absenkung der Investitionskosten für NoMix-Toiletten und wasserlose Urinale

Wirtschaftlichkeitsanalyse „Landwirtschaftliche Nutzung“

Für die „Landwirtschaftliche Nutzung“ wurden insgesamt drei Szenarien mit verschiedenen logistischen Variationen betrachtet. Hierbei wurden die wahrscheinlichsten Szenarien einer ersten Analyse durch Braum (2011) weiterentwickelt:

- Szenario I: Nutzung des Urins nach Lagerung in einem großem Lager neben dem Bürogebäude
- Szenario II: Nutzung des Urins nach Lagerung in einem großem Lager in Feldnähe
- Szenario III: MAP-Nutzung mit Lagerung des MAPs im Gebäude
- Szenario IV: Konventionelle Düngung mit Mineraldünger

Dabei kamen verschiedenen Optionen zur Logistik zum Einsatz. So wurden für die Urinlagerung IBC-Tanks und Plastikblasen sowie für den Transport verschiedene Optionen wie eigenes Gerät, Mietfahrzeuge, Spedition und Ausführung durch einen Landwirt betrachtet. Die Optionen wurden je nach Szenario I-III miteinander kombiniert.

Von den durchgeführten, unterschiedlichsten Sensitivitätsanalysen werden nur die mit einer hohen Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit vorgestellt. Dabei handelt es sich um:

- Absenkung des Grundstückspreises in Eschborn
- Erhöhung des Preises für Phosphor bzw. aller Nährstoffe
- Senkung der Kosten innerhalb der MAP-Produktion

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Wirtschaftlichkeitsanalyse „Gebäude“

Für die drei Szenarien wurden Projektkostenbarwert (PKBW), Jahreskosten (JK) und Dynamische Gestehungskosten (DGK) ermittelt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Projektkostenbarwert (PKBW), Jahreskosten (JK) und Dynamische Gestehungskosten (DGK) der drei Szenarien

Szenario	PKBW (€)	JK (€)	DGK
			(€cents/Nutzung)
A	2.237.900	114.300	10,43
B	2.783.800	142.100	12,97
C	1.427.700	72.800	6,65

Der Unterschied mit 2,54 €cents/Nutzung zwischen den beiden Saniresch-Alternativen (Szenarien A und B) ist relativ gering im Vergleich zu dem deutlich größeren zum konventionellen System (siehe Tabelle 1). Diesen deutlichen Kostenunterschied zwischen den SANIRESCH-Varianten und dem konventionellen Szenario spiegeln nicht nur der Projektkostenbarwert (PKBW) sondern auch die Jahreskosten (JK) und die Dynamischen Gestehungskosten (DGK) wieder.

Der Unterschied zwischen den Szenarien A/B und C ergibt sich durch die deutlich höheren laufenden Kosten (siehe Abb. 2). Diese haben einen größeren Einfluss als höhere Investitionskosten verursacht etwa durch dreifache Leitungsführung und höhere Stückpreise der Toiletten, auch wenn diese einen gewissen Einfluss haben. So sind die Investitionskosten für Szenario A und B 1,8-mal so hoch wie für das konventionelle Szenario. Bei den laufenden Kosten sind die hohen Kosten für den Unterhalt der NoMix-Toiletten mit ca. 25.000 € pro Jahr zu nennen im Vergleich zu 2400 € in Szenario C. Weiterhin ergibt sich der große Unterschied zwischen Szenario A und B aus dem Betrieb der MAP-Fällungsanlage, die laufenden Kosten von 26.600 €/Jahr hat. Letztere haben wir aufgrund der deutlicheren Darstellung sogar auf die Anzahl der Toiletten- und Urinalnutzungen und nicht auf die m³ Abwasser

bezogen, da der Abwasseranfall in den SANIRESCH-Varianten durch die wassersparenden Maßnahmen geringer ausfällt. Durch den Verbau von wasserlosen Urinalen, der geringeren Spülmenge pro Spülgang der NoMix-Toiletten und der wassersparenden Armaturen wurde hier auf ein wassersparendes System Wert gelegt.

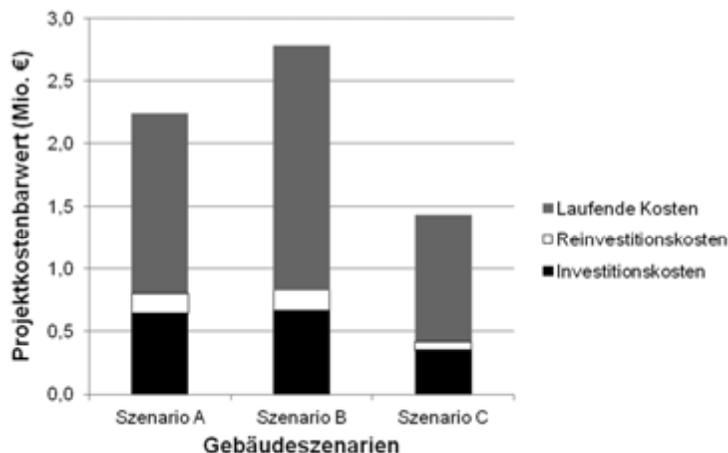


Abbildung 2: Projektkostenbarwert „Gebäude“ der drei Szenarien: A – Saniresch mit Urinnutzung, B – Saniresch mit MAP-Fällung, C – konv. System

Ein hohe Sensitivität und großes Potential für eine bessere Wirtschaftlichkeit verzeichnet ein höherer Automatisierungsgrad der MAP-Fällung. Die benötigte manuelle Arbeitszeit von 4,35 h/Charge, wobei eine Charge 8 Fällungszyklen enthält, verhindert eine Wirtschaftlichkeit der MAP-Produktion. Wenn eine Automatisierung von 75 % bzw. 95 % erreicht wird, verringert das den PKBW und die JK um 9,8 % bzw. 12,4 % und resultiert in DGK von 11,7 bzw. 11,4 €cents/Nutzung. Doch zeigt die Analyse auch deutlich, dass allein damit die Wirtschaftlichkeit von Szenario A oder auch C nicht erreicht werden kann.

Ein weiterer Aspekt, der für eine deutliche Kostensenkung der beiden neuartigen Konzepte sorgen würde, ist eine Verbesserung der Lebensdauer der Ersatzteile der NoMix-Toiletten kombiniert mit einer Absenkung der Investitionskosten für Toiletten und Urinale (siehe Tabelle 2). Die DGK für Szenario A erreichen hier bei einer Erhöhung der Lebenszeit der Ersatzteile um 30 % (diese beträgt für die Ventile aktuell 495 Tage) und einer Reduktion der Investitionskosten um 25 %, welche bei größerer Nachfrage durchaus realistisch ist, mit 6,98 €cents/Nutzung nahezu die DGK von Szenario C.

Tabelle 2: Auswirkung einer höheren Lebenszeit der Ersatzteile der NoMix-Toiletten kombiniert mit einer Reduktion der Investitionskosten (IK) für Toiletten und Urinale, betrachtet für Szenario A und B

Erhöhung der Lebenszeit der Ersatzteile (%)	10	20	30	Ausgangswerte
Reduktion der IK für Toiletten & Urinale (%)	5	15	25	
Szenario A				
DGK (€cents/Nutzung)	7,66	7,32	6,98	10,4
Änderung (%)	26,6	29,8	33,1	
Szenario B				
DGK (€cents/Nutzung)	10,2	9,9	9,5	13,0
Änderung (%)	21,4	24,0	26,6	

Diese Annäherung an die DGK des konventionellen Systems nur anhand der beiden Parameter „Erhöhung der Lebenszeit der Ersatzteile“ und „Reduktion der Investitionskosten für Toiletten und Urinale“ zeigt auf, dass das SANIRESCH-Konzept in seiner Gebäudetechnik, insbesondere wenn noch eine höhere Automatisierung der MAP-Fällung erfolgt, wirtschaftlich werden kann.

3.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse „Landwirtschaftliche Nutzung“

Die Analyse der landwirtschaftlichen Szenarios zeigt zunächst, dass eine Lagerung in Nähe der landwirtschaftlichen Flächen aufgrund der deutlich geringeren Grundstückspreise sehr viel attraktiver ist (siehe PKBW für Lagerung von Szenario I in Abb. 3), wengleich es zu berücksichtigen gilt, dass dadurch die Transportkosten deutlich steigen. Da deshalb alle Varianten des Szenarios II (Lagerung in Feldnähe) günstiger waren, wird im weiteren Verlauf für die direkte Nutzung des Urins schwerpunktmäßig Szenario II betrachtet.

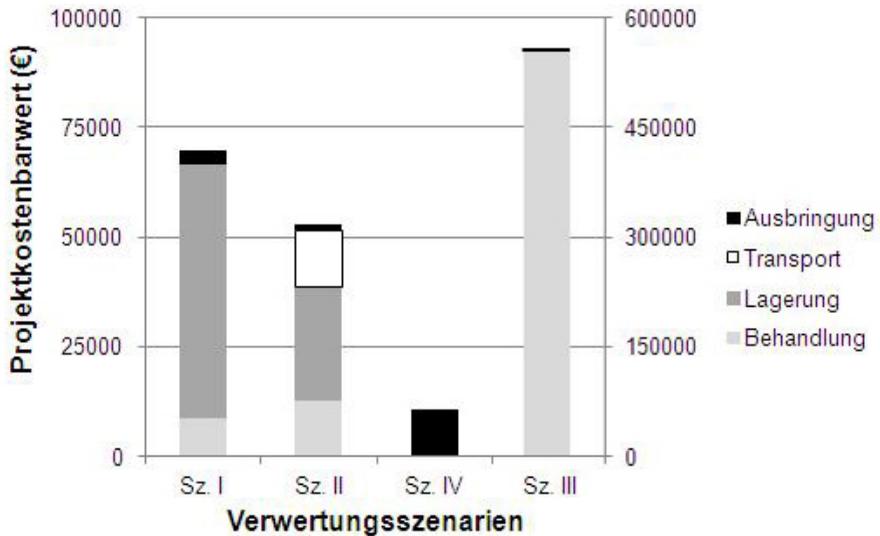


Abbildung 3: Projektkostenbarwert „Landwirtschaftliche Nutzung“ der drei Szenarien: Direkte Urinnutzung: I – Lagerung bei der GIZ, II – Lagerung am Feld; III – Produktion und Nutzung des MAPs, IV – Nutzung eines mineralischen Düngers. Jeweils dargestellt ist die kostengünstigste Variante jedes Szenarios. Szenario III orientiert sich an der rechten y-Achsenkalibrierung

Für die Lagerung in Feldnähe ist die Option einer Lagerung in einer Plastikblase am billigsten. Während in Nähe des Bürogebäudes die IBC-Tanks vorzuziehen sind, da sie stapelbar sind. Über alle Szenarien hinweg, ist die Durchführung des Transports durch den Landwirt immer die kostengünstigste Alternative.

Deutlich teurer als die Urinszenarien ist das Szenario mit MAP-Produktion und -Nutzung. Das liegt insbesondere an den sehr hohen Behandlungskosten, welche die MAP-Produktion abbilden. Diese bestehen wiederum zu 78 % aus den Kosten für die manuellen Arbeiten im Produktionszyklus (weitere Details siehe in Kapitel 1.3).

Interessant zu sehen ist der Vergleich der die Düngekosten pro Hektar (siehe Tabelle 3) zwischen den neuartigen Düngern und einem mineralischen Dünger, hier Kalkammonsalpeter (KAS). Beide Produkte aus alternativer Herstellung liegen deutlich über den Kosten des Minereraldüngers, wobei Urin sich noch in derselben Größenordnung wie KAS wiederfindet, während MAP um ein nahezu 400faches darüber liegt.

Tabelle 3: Düngekosten je Hektar bei Bodenklasse C für verschiedene Düngemittel. Es wurden jeweils die kostengünstigsten Alternativen innerhalb der einzelnen Szenarien dargestellt. T: Transport, L: Lagerung, A: Ausbringung, KAS: Kalkammonsalpeter

Szenario	Logistikkette	Kosten je Düngemittelseinheit	Kosten (€/ha)
Urinnutzung nach Lagerung	T: Landwirt, L: Plastikblase in Feldnähe, A: Pumptankwagen 10 m ³	15,6 €/m ³	748
MAP-Produktion & Nutzung	L: GIZ, T: Landwirt, A: Anbauschleuderstreuer	308 €/kg	46.800
Mineralischer Dünger (KAS)	L: -, T: Landwirt, A: Anbauschleuderstreuer	0,26 €/kg	124

Die Sensitivitätsanalysen zeigen sehr deutlich die relevanten Faktoren für eine Düngung mit SANIRESCH-Produkten. So wäre Szenario 1 bei einem Grundstückspreis in Eschborn von 100 €/m² anstelle der aktuellen 500 €/m² deutlich attraktiver und käme dann auf Düngekosten von 530 €/ha.

Ein zweiter Aspekt, von dem eine hohe Sensibilität erwartet wurde, ist der Phosphorpreis. Dieser zeigte zwischen Januar 2007 und September 2008 eine Steigerungsrate von 800 % (Cordell, 2008). Es zeigte sich jedoch, dass weder die alleinige Steigerung des P-Preises noch eine Gesamtsteigerung aller Nährstoffe um das 8-fache großen Einfluss auf die DGKs der Szenarien außer auf eine Düngung mit KAS hat (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Düngekosten je Hektar Fläche bei einer erneuten Steigung des Phosphorpreises bzw. aller Nährstoffe um 800 %¹ bei Bodenklasse C betrachtet nach den verschiedenen Düngemitteln. Es wurden jeweils die kostengünstigsten Alternativen innerhalb der einzelnen Szenarien dargestellt. T: Transport, L: Lagerung, A: Ausbringung, KAS: Kalkammonsalpeter

Szenario	Logistikkette	Kosten bei Preissteigerung ¹⁾			
		Phosphor		Alle Nährstoffe	
		(€/ha)	Änderung in %	(€/ha)	Änderung in %
Urinnutzung nach Lagerung	T: Landwirt, L: Plastikblase in Feldnähe, A: Pumptankwagen 10m ³	760	1,7	571	-24
MAP-Produktion & Nutzung	L: GIZ, T: Landwirt, A: Anbauschleuderstreuer	45.200	-3,6	45.900	-2,0
Mineralischer Dünger (KAS)	L: -, T: Landwirt, A: Anbauschleuderstreuer	159	29	296	140

ANMERKUNG
 1) Steigerungsrate angenommen analog der des Phosphorpreises zwischen Januar 2007 und September 2008 (Cordell, 2010).

Noch näher kommt man der konventionellen Alternative, wenn man neben dem geringeren Grundstückspreis und einen Nährstoffpreisanstieg (siehe auch Tabelle 4) auch eine Urinlagerung ohne Lüftung für Szenario I vorsieht. Dann fallen die Kosten auf 228 €/ha auch ohne dass der geringere N-Verlust durch die nun unterbleibende Ausgasung berücksichtigt wurde. Für die Varianten mit MAP-Produktion konnten jedoch auch solch positive Bedingungen zu keiner deutlichen Kostenreduzierung beitragen.

Abschließend werden die Szenarien zur landwirtschaftlichen Nutzung ohne den Schritt der Behandlung betrachtet, da diese ja ebenfalls in der Analyse „Gebäude“ aufgegriffen wurden (siehe Abb. 1). Hier wurden bereits Rahmenbedingungen aufgezeigt, die auf eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Szenarien hindeuten (Tabelle 2). Es ergeben sich für die Urinszenarien I und II nur geringfügig reduzierte dynamische Gestehungskosten von 9-24 %, da die Lagerung sehr kostengünstig ist. Für MAP reduzieren sich die DGKs jedoch um über 100 %, was den Einfluss der Behandlung auf die Kosten nochmals zeigt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einige der Hypothesen wie hohe Investitionskosten der NoMix-Toiletten und manuelle Arbeitszeit innerhalb der MAP-Produktion einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hatten, während die bzgl. des dreifachen Leitungssystems und der Energiekosten der MBRs nicht ausschlaggebend sind.

4 Zusammenfassung

Die Wirtschaftlichkeit beider betrachteter Analysen „Gebäude“ und „Landwirtschaftliche Nutzung“ ist im aktuellen Fall mit der einer konventionellen Abwasserbehandlung bzw. mineralischen Düngung nicht konkurrenzfähig. Die DGK beider alternativen Gebäudeszenarien und landwirtschaftlicher Nutzungsszenarien liegen über den konventionellen Szenarien.

Die Sensitivitätsanalysen zeigen jedoch auch, dass Potential für eine bessere Wirtschaftlichkeit vorhanden ist. Bei einer Änderung der beiden Parameter „Erhöhung der Lebenszeit der Ersatzteile“ um 30 % und „Reduktion der Investitionskosten für Toiletten und Urinale“ um 25 % nähert sich insbesondere Szenario A (DGK Szenario A: 6,98 €cents/Nutzung; Szenario B: 9,50 €cents/Nutzung) dem des konventionellen an (DGK: 6,65 €cents/Nutzung). Wenn dann noch eine höhere Automatisierung der MAP-Fällung in Szenario B erfolgt, kann das Konzept durchaus wirtschaftlich interessant werden.

Die Betrachtung der landwirtschaftlichen Nutzung zeigt, dass es hier deutlich größerer Einflüsse bedarf, um die neuartigen Dünger mit den kommerziell gehandelten konkurrenzfähig werden zu lassen. Aktuell kann die Urindüngung wirtschaftlich attraktiv sein, wenn die Rahmenbedingungen des Standorts hierfür günstig sind. Eine MAP-Düngung ist jedoch nur dann wirtschaftlich realisierbar, wenn der Herstellungspreis für MAP unter dem von gehandelten, kommerziellen Phosphordünger bleibt. Dies wäre jedoch selbst bei deutlicher Erhöhung der Phosphorpreise nicht zu erwarten.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0947 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

Wir danken auch Andrés Lazo Paéz und Christina Braum, die innerhalb ihrer Master- bzw. Bachelorarbeit an diesem Thema gearbeitet und Ideen mit entwickelt haben. Außerdem möchten wir uns bei der TUHH, der Universität Gießen und der TU Darmstadt, namentlich Alexandra Drewko, Prof. Ralf Otterpohl, PD Rolf-Alexander Düring sowie Sebastian Petzet und Prof. Peter Cornel, für die Co-Betreuung der Studenten bedanken.

6 Literatur

- Braum, Christina, (2011): Economical feasibility of using urine versus struvite as fertiliser – Using the example of GIZ in Eschborn. Bachelorarbeit, Institut für Bodenkunde und Boden-erhaltung, Justus Liebig Universität Gießen. URL: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1468>
- Cordell, Dana, (2010): The story of phosphorus, Sustainability implications of global phospho-rus scarcity for food security. Doktorarbeit, Institute for Sustainable Future, University of Technology Sydney, Australien.
- DWA, (2010): Brauchen wir in Deutschland neuartige Sanitärsysteme? Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef. URL: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=751>
- Huber SE, (2012): mündliche Kommunikation mit der FuE-Abteilung.
- KTBL, (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 14. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- LAWA, (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Unterausschuss Wirtschaftlichkeits-fragen in der Wasserwirtschaft, , Kulturbuchverlag, Berlin.
- Oldenburg, Martin, (2007): Final cost calculation report for the demonstration project “Sanita-tion concepts for separate treatment of urine, faeces and greywater“ (SCST), Otterwasser GmbH, Lübeck.
URL: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=593>
- Prager, Jens, (2002): Nachhaltige Umgestaltung der kommunalen Abwasserentsorgung – Eine ökonomische Analyse innovativer Entsorgungskonzepte, ISL-Verlag, Hagen.
- Winker, Martina; Saadoun, Amel (2011): Urine and brownwater separation at GTZ main office building Eschborn, Germany – Case study of sustainable sanitation projects. Sustainable Sa-nitation Alliance (SuSanA).
URL: <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=63>

Internationale Übertragbarkeit – wie weit kann sie gehen?

Katharina Löw, HfWU Nürtingen-Geißlingen, Schelmenwasen 4-8, 72022 Nürtingen
Enno Schröder, Martina Winker, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
GmbH, Sektorvorhaben Nachhaltige Sanitärversorgung – ecosan, Postfach 5180,
65726 Eschborn

1 Einleitung

In dem Themenkomplex „Internationale Übertragbarkeit“ wurde analysiert, welches Potential zur Übertragbarkeit der innerhalb des SANIRESCH-Projektes implementierten Abwasserbehandlungstechnologien Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)-Fällung (aus Urin) sowie die Aufbereitung des Grau- und Braunwassers in zwei gesonderten Membranbioreaktoren (MBR) in andere Regionen aufweisen. Das Ziel war es, herauszufinden, welchen Ansprüchen diese drei Anlagen jeweils gerecht werden können und wo somit, weltweit betrachtet, Bedarf an derlei Abwasserbehandlungsmethoden vorhanden ist. Neben der Überprüfung der technischen Funktionalität und betriebswirtschaftlichen Analyse liegt das Hauptaugenmerk dieser Untersuchung darin, besonders geeignete Regionen und typische Einsatzsituationen anhand von relevanten Kriterien zu identifizieren. Zusätzlich werden Rahmenbedingungen definiert, die eine Einführung der Technologien auch in Schwellen- und Entwicklungsländern begünstigen. Es ist zu erwarten das insbesondere Regionen mit großem Nährstoffbedarf und/oder Regionen in denen Wasserknappheit herrscht, als Regionen mit hohem potentiellen Bedarf identifiziert werden.

2 Material und Methoden

2.1 Nutzwertanalyse

Generell dient eine Nutzwertanalyse (NWA) zum Vergleich und zur Bewertung (Priorisierung) vielschichtiger Projekte oder Technologien in Bezug auf ein vorher zu definierendes Zielsystem. Im ersten Schritt erfolgt die Zusammenstellung der für die Betrachtung relevanten Kriterien, danach werden diese gewichtet, um daraus eine (Ein-)Ordnung der Alternativen durch die Nutzwerte (Gesamtwerte) zu erhalten (Zangemeister, 1976). Der Nutzwert lässt sich als Produkt aus Gewichtungsfaktor (Prozentsatz) und Bewertungsfaktor (Wert zwischen 0 und 10) berechnen und stellt einen Prozentwert im Verhältnis zu einem Erfüllungsgrad von 100 % dar.

Die einzelnen Hauptkriterien zur Untersuchung der internationalen Übertragbarkeit der Behandlungsmethoden sind: *Gesundheit und Hygiene*, *Finanzielle Kriterien*, *Technologie*, *Umweltbezogene Kriterien* und *Soziokulturelle Kriterien* und beziehen sich auf eine Veröffentlichung von Hellström et al. (2000) zu Nachhaltigkeitsaspekten urbanen Abwassermanagements. Basierend auf diesen Hauptkriterien lässt sich eine Reihe von Unterkriterien ableiten, die dann mit Hilfe von Experteninterviews (vgl. hierzu Kapitel 1.2 sowie Löw (2011) und Wu (2011)) gewichtet wurden. Es gilt, je höher ein Gewichtungsfaktor, desto größer wird sein Beitrag zur Gesamtgewichtung eingeschätzt.

Im Rahmen des SANIRESCH-Projektes wurden die NWA's (vgl. Tabelle 2 und 3) als Werkzeug zur Entscheidungsfindung für eine erfolgreiche Implementierung neuartiger Sanitärsysteme entwickelt und genutzt.

2.2 Identifikation der Hotspots

Eine weitere Verwendung findet die NWA im Rahmen des SANIRESCH-Projektes zur Identifikation globaler Hotspots, an denen der Einsatz der drei Technologien sinnvoll erscheint und ein besonders hoher Bedarf vorhanden sein sollte. Da zur Identifikation dieser Hotspots auf zum Teil begrenzt verfügbare räumliche Daten zurückgegriffen werden muss, wird die Liste der Kriterien aus Kapitel 1.1, auf jene beschränkt, die eindeutig mit der verfügbaren Datenlage zu belegen sind. Die Gewichtungen der einzelnen Kriterien haben sich bei dieser Kürzung nicht verändert. Die modifizierten Bewertungsmatrizen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Aufgrund der Qualität und globalen Verfügbarkeit der Informationen hat sich als Datenquelle die Nutzung von Umweltkriterien, wie Wasserknappheit, Frischwasserqualität, Nährstoff- bzw. Dünger-Verfügbarkeit, Eutrophierung, Bevölkerungsdichte und Urbanisierungsraten als zielführend erwiesen.

Kriterien, die auf legislativen Regelungen basieren, wie gesetzliche Bestimmungen für Abwasserbehandlungstechnologien, direkte staatliche Förderungen für Behandlungsanlagen, indirekte Anreize für ein Grauwasserbehandlungssystem, Energiepreis, Trinkwasserpreis, Abwasserpreis, etc. sind im globalen Maßstab nicht zu erfassen. Gleiches gilt für Investitionskosten (Behandlungsanlage, Leitungssystem), Betriebskosten (Wartung, Ersatzteile), Grundstückspreise, sowie Anzahl der Personen im Gebäude und Akzeptanz bezüglich der Wiederverwendung, etc. Hier muss für jedes Projekt im Detail entschieden werden, da es sich nicht um Daten handelt, die verallgemeinert werden können.

Tabelle 4: Bewertungsmatrix der Nutzwertanalysen Grauwasser, Braunwasser und MAP-Fällung zur Identifikation der Hotspots. In der jeweils zweiten Zeile finden sich die Quellenangaben. „Nicht berücksichtigt“ bedeutet, dass dieses Kriterium für die jeweilige Anlage keine Relevanz hat

Dimensionen und Kriterien	Gewichtungen		
	Grauwasser-MBR	Braunwasser-MBR	MAP-Fällung
Umweltkriterien gesamt	21 %	25 %	30 %
Eutrophierungserscheinungen	nicht berücksichtigt		6
Quelle	-		(Selman et al., 2008)
Wasserknappheit	12	12	2
Quelle	Physical water scarcity index (UNESCO, 2009)		
Frischwasserqualität	5	5	nicht berücksichtigt
Quelle	Fresh water quality index (Emerson et al., 2010)		-
Nährstoffbedarf	nicht berücksichtigt	4	nicht berücksichtigt
Quelle	-	Weltweiter Düngemittelbedarf (FAO, 2010)	-
Import von Phosphor	nicht berücksichtigt		16
Quelle	-		(FAOSTAT, 2012)
Besiedlungsdichte	2	2	3
Quelle	(Müller, 2000)		
Urbanisationsrate	2	2	3
Quelle	(UN, 2010)		

Um die Ergebnisse der verschiedenen Technologien vergleichbar zu machen, ist die Einführung relativer Werte nötig. Hierzu wurde eine Transformation der „Umweltkriterien gesamt“ auf einen 100 Punkte-Maßstab vorgenommen.

3 Ergebnisse und Diskussion der Nutzwertanalysen

3.1 Nutzwertanalyse

Zur Darstellung der Nutzwertanalyse wird die Zusammenfassung der einzelnen Hauptkriterien in einer Bewertungsmatrix gewählt (vgl. Tabelle 2 und 3). Diese sind gemeinsam mit den Unterkriterien in Spalte A aufgeführt. Spalte B gibt Aufschluss über die zugehörige Gewichtung, die basierend auf den Experteninterviews entstanden ist. Spalte C enthält die Bewertungsfaktoren mit Erläuterungen. Der eigentliche Nutzwert lässt sich dann als Produkt von Gewichtungsfaktor (Spalte B) und Bewertungsfaktor (Spalte C) berechnen.

Die grobe Aufteilung der Bewertungsmatrix zur NWA der MAP-Fällung (vgl. Tabelle 2) entspricht den in Kapitel 1.1 genannten Hauptkriterien (vgl. Hellström et al., 2000). Unterkriterien, die einer Herleitung bedürfen, werden im Folgenden erläutert:

- **G2 Sichere Beseitigung des Ablaufs:** Bei der MAP Produktion findet durch die Zugabe von Magnesiumoxid (MgO) ein Fällungsprozess statt, bei dem das im Urin vorhandene Phosphor mit dem zugeführten MgO eine chemische Verbindung eingeht und MAP ausfällt. Bei diesem Prozess fallen neben MAP auch große Volumina an stark stickstoffhaltigem Ablauf an (540 bis 1080 mg N/l), der weiterer Behandlung bedarf, bevor er in die Umgebung abgeführt wird. Eine sichere Beseitigung des Ablaufs wird am höchsten bewertet.
- **F7 Betriebskosten Chemikalien (Betriebsmittel):** Zur Herstellung von MAP wird MgO als Fällungsmittel benötigt. Da diese Chemikalie unbedingt für den Betrieb notwendig ist, sind die Kosten vor Ort entscheidend. Niedrige Kosten werden in der Bewertungsskala am höchsten gewichtet.
- **T3/T4 Vergleich zu anderen Behandlungsverfahren:** In dieser NWA werden zwei mögliche Alternativen für die MAP-Fällung im Hinblick auf eine Nährstoffnutzung des Phosphors mit einbezogen. Bei der ersten Option (T3) handelt es sich um eine Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm eines konventionellen Klärwerkes. Bei

der zweiten Option (T4) wird Urin direkt als Flüssigdünger ausgebracht und so der Phosphor genutzt. Ist eine alternative Rückgewinnung des Phosphors oder eine direkte Urinnutzung möglich, dann wird mit 0 Punkten bewertet.

- **U1 Eutrophierungserscheinungen im Anwendungsgebiet:** Die übermäßige Nährstoffzufuhr (hier: Stickstoff und Phosphor) aus kommunalem Abwasser führt zu negativen Umweltauswirkungen. In erster Linie sind diese Auswirkungen anhand von Eutrophierungserscheinungen zu verzeichnen. Eine getrennte Erfassung des Urins kann diese Nährstoffzufuhr senken und so dazu beitragen, Eutrophierungserscheinungen zu vermindern. Sind starke Eutrophierungserscheinungen im Anwendungsgebiet zu verzeichnen, wird die höchste Bewertung vergeben.
- **U2 Import von Phosphor:** Dieser Indikator bildet zum einen die Nachfrage eines Standortes nach Phosphordünger ab. Zum anderen gibt er Aufschlüsse über die natürlichen Vorkommen vor Ort. In diesem Fall rechtfertigen umfassende Importe von Phosphor also eine MAP-Fällung, was durch eine hohe Bewertung mit in die Berechnung einbezogen wird.
- **S1/S2 Akzeptanz der Verbraucher bezüglich der Anwendung von Sanitärkonzepten mit Urinentrennung bzw. der Düngung mittels MAP:** Erste Ergebnisse von Akzeptanzstudien, die im Rahmen des SANIRESCH Projektes durchgeführt wurden, haben die Relevanz dieser Aspekte im Bezug auf den nachhaltigen Betrieb des neuartigen Sanitärkonzeptes gezeigt. Je geringer die Akzeptanz dabei ausfällt, desto unwahrscheinlicher ein/e erfolgreicher Betrieb/Nutzung.

**Tabelle 5: Bewertungsmatrix der Nutzwertanalyse MAP-Fällung (Peng, 2012).
Zur Erläuterung des Tabellenaufbaus vgl. S. 8-9**

	Dimensionen und Kriterien (Spalte A)	Gewichtung $\Sigma = 100\%$ (Spalte B)	Bewertungsskala (Spalte C)
G	Gesundheit und Hygiene	10 %	
G1	Risiko durch Pathogene und Spurenschadstoffe	1	Hoch = 1, Mittel = 5, Niedrig = 10, nicht berücksichtigt = 0
G2	Sichere Beseitigung des Ablaufs	3	Sicher = 10, Mittel = 5, Unsicher = 1, 0 = nicht berücksichtigt
G3	Gesetzliche Bestimmung zur Abwasserbehandlung	3	Stark geregelt = 10, Mittel geregelt = 5, Wenig geregelt = 1, Keine Bestimmungen = 0
G4	Gesetzliche Bestimmung zur MAP-Nutzung	3	
F	Wirtschaftliche Kriterien	30 %	
F1	Investitionskosten Abwasseranlage	3	Hoch = 1, Mittel = 5, Niedrig = 10, nicht berücksichtigt = 0
F2	Investitionskosten Leitungssystem	3	
F3	Investitionskosten Grundbesitz	1	
F4	Betriebskosten Energie	3	
F5	Betriebskosten Personal	3	
F6	Betriebskosten Wartung	2	
F7	Betriebskosten Chemikalien (Betriebsmittel)	6	
F8	Betriebskosten Transport	1	
F9	Gewinn durch Wiederverwendung der Ressourcen	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, nicht berücksichtigt = 0
F10	Direkte staatliche Finanzierung der Anlage	4	
T	Technologie und Betrieb	20 %	
T1	Stabilität des Betriebs	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, nicht berücksichtigt = 0
T2	Ausbildungsbedarf	4	
T3	Vergleich zu anderen Behandlungsverfahren: Rückgewinnung von Phosphor durch Kläranlage	6	Möglich = 0, nicht möglich = 10
T4	Vergleich zu anderen Behandlungsverfahren: Lagerung und Ausbringung von Urin	6	
U	Umweltkriterien	30 %	
U1	Eutrophierungserscheinungen im Anwendungsgebiet	6	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, nicht berücksichtigt = 0
U2	Import von Phosphor	16	
U3	Wasserknappheit	2	
U4	Besiedlungsdichte	3	
U5	Urbanisierungsrate	3	
S	Soziokulturelle Kriterien	10 %	
S1	Akzeptanz der Verbraucher bezüglich der Anwendung von Sanitärkonzepten mit Urinentrennung	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, nicht berücksichtigt = 0
S2	Akzeptanz der Verbraucher bezüglich der Düngung mittels MAP	4	
S3	Pioniergeist	2	

Die Bewertungsmatrizen zur NWA der MBRs sind ebenfalls auf Basis der in Kapitel 1.1 erwähnten Hauptkriterien nach Hellström et al. (2000) entstanden. Die Unterkriterien unterscheiden sich jedoch im Vergleich zu der NWA der MAP-Fällung bedingt durch grundlegende Verfahrensunterschiede.

Da ein Großteil der beiden Bewertungsmatrizen für die MBRs einschließlich der Gewichtungen analog aufgebaut ist, werden im folgenden Abschnitt nur wesentliche Unterschiede zwischen den beiden NWAs für die Grau- und Braunwasserbehandlung herausgearbeitet (Grauwasser: GW; Braunwasser BW; vgl. Tabelle 3):

- **U4 Anschluss an Kanalisation** (GW: 2 %; BW: 8 %): Die höhere Gewichtung für Braunwasser lässt sich dadurch erklären, dass Braunwasser im Gegensatz zu Grauwasser aufgrund zu hoher Belastungen mit pathogenen Keimen und organischen Verunreinigungen nicht versickert werden kann. Braunwasser muss geklärt werden.
- **U7 Nährstoffbedarf** (GW: nicht berücksichtigt; BW: 4 %): Braunwasser hat grundsätzlich einen höheren Nährstoffgehalt als Grauwasser. Eine Wiedernutzung nicht nur des Wassers, sondern auch der Nährstoffe bietet sich daher beim Braunwasser eher an als beim Grauwasser, weshalb letzteres hier nicht weiter betrachtet wird. Als maßgeblichen Faktor für die Gewichtung einer solchen Nährstoffrückgewinnung kann der Nährstoffbedarf der Umgebung gewertet werden.
- **U8 Akkumulation des Rohwassers** (GW: 10 %; BW: 0 %): Die Gewichtung unterscheidet sich hier sehr deutlich aufgrund der Tatsache, dass bei GW je nach Gebäudetyp sehr unterschiedliche Volumina anfallen (Hotel vs. Bürogebäude). Bei BW ist diese eher als konstant zu bewerten (Löw, 2011; Wu, 2011).
- **S4 Akzeptanz bzgl. der Nutzung der menschlichen Exkremete als Dünger** (GW: nicht berücksichtigt; BW: 4 %): Anhand dieses Kriteriums wird bewertet, wie hoch die Akzeptanz für eine Nutzung der menschlichen Exkremete als Dünger in der Landwirtschaft ist. Analog zu dem Aspekt „Nährstoffbedarf“ beschränkt sich diese Betrachtung ebenfalls nur auf die Bewertungsmatrix des Braunwassers.

Tabelle 6: Bewertungsmatrizen der Nutzwertanalyse für Grau- und Braunwasserbehandlung in MBRs (Löw, 2011 und Wu, 2011). Zur Erläuterung des Tabellenaufbaus vgl. S. 11

Dimensionen und Kriterien		Gewichtung $\Sigma = 100\%$		Bewertungsskala
		GW	BW	
G	Gesundheit und Hygiene	6	6	
G1	Qualität des Permeats	0	0	Nicht berücksichtigt
G2	Gesetzliche Bestimmungen für Abwasserbehandlungstechnologien, Qualitätsrichtlinien	6	6	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, k. A. = 0
G3	Stabilität der Permeatqualität	0	0	Nicht berücksichtigt
F	Finanzielle Kriterien	39	38	
F1	Direkte staatliche Finanzierung der Anlage	4	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, k. A. = 0
F2	Indirekte Anreize für eine Abwasserbehandlung	4	4	
F3	Investitionskosten (Anlage, Leitungssysteme)	4	4	Hoch = 1, Mittel = 5, Niedrig = 10
F4	Betriebskosten (Wartung/Unterhalt)	5	4	
F5	Strompreis Betriebskosten Energie	5	5	
F6	Frischwasserpreis	7	7	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1
F7	Abwasserpreis	7	7	
F8	Grundstückpreis Investitionskosten Grundbesitz	3	3	
T	Technologie	0	0	
T1	Jährliche Wartung	0	0	Nicht berücksichtigt
T2	Stabilität des Betriebs	0	0	
T3	Ausfälle	0	0	
U	Umweltkriterien	41	41	
U1	Wasserknappheit	12	12	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1
U2	Frischwasserqualität	5	5	Hoch = 1, Mittel = 5, Niedrig = 10
U3	Anzahl der Personen im Gebäude	8	8	Groß (>100 Pers.) = 10, Mittel (10-100 Pers.) = 5, Klein (< 10 Pers.) = 1
U4	Anschluss an Kanalisation	2	8	Vorhanden = 0, n.V. = 10
U5	Besiedlungsdichte	2	2	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1
U6	Urbanisierungsrate	2	2	
U7	Nährstoffbedarf	0	4	
U8	Wasseranfall	10	0	Hoch (mit Übernachtung) = 10, Mittel (tagesbetrieb & Duschen) = 5, Niedrig (Tagesbetrieb) = 1
S	Soziokulturelle Kriterien	14	15	
S1	Akzeptanz bzgl. der Wiederverwertung des gereinigten Abwassers	5	4	Hoch (alles) = 10, Mittel = 5 Niedrig (nur Toilettenspülung) = 1
S2	Ökologisches Bewusstsein	5	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1, k.A. = 0
S3	Pioniergeist	4	3	Ja = 10, Nein = 0
S4	Akzeptanz bzgl. der Nutzung menschlicher Exkremente als Dünger	0	4	Hoch = 10, Mittel = 5, Niedrig = 1

3.2 Hotspots

Die Ergebnisse der Hotspotanalysen werden auf Weltkarten visualisiert. Als globale Hotspots für die drei Anlagen können die in Graustufen dargestellten Regionen in Abb. 1, 2 und 3 identifiziert werden. In diesen Regionen sind die mithilfe der messbaren Parameter (vgl. Kap. 1.2) identifizierten Voraussetzungen für die Implementierung der jeweiligen Verfahren am besten.

Bei der Hotspot-Analyse zur MAP-Fällung (Abb. 1) werden, im Gegensatz zu den später aufgeführten Hotspot-Analysen zur GW- und BW- Behandlung (Abb. 2 und 3) Ergebnisse in Form von ganzen Ländern dargestellt. Aufgrund der maximalen räumlichen Auflösung der zur Verfügung stehenden Daten, kann eine regionale Ebene nicht abgebildet werden.



Abbildung 1: Globale Hotspots, an denen sich eine Nutzung der MAP-Fällung anbietet (nach Peng, 2012)

In der Spitzengruppe mit dem höchsten Nutzwert (zwischen 85 und 100 Punkten) sind Indien und Mexiko. Diese Länder weisen ausnahmslos große Bevölkerungszahlen mit entsprechend hohem Bedarf an Nahrungsmitteln auf. Es wird dort aus diesem Grund intensive Landwirtschaft betrieben, was umfassende Phosphorimporte bedingt, da in den jeweiligen Ländern keine nennenswerten Vorkommen vorhanden sind.

In der nachfolgenden Gruppe sind die Länder Vietnam, Brasilien, Bangladesh und Thailand vertreten (alle 70 bis 85 Punkte). Hier können, mit kleinen Ausnahmen, vergleichbare Rahmenbedingungen wie bei der Spitzengruppe aufgezählt werden. Die geringere Gesamtbewertung ist dabei dadurch zu erklären, dass einige Unterkriterien als „mittel“ eingestuft werden. Die restlichen Kriterien sind wie in der Spitzengruppe mit „hoch“ bewertet.

Bei weiterer Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die Länder des afrikanischen Kontinents weitgehend niedrige Nutzwerte aufweisen und nicht als Länder mit einem hohen potentiellen Bedarf auffallen. Dies kann durch den hohen Anteil an Subsistenzwirtschaft und den geringen Anteil industrieller Landwirtschaft erklärt werden. Nährstoffe werden oft in engen Kreisläufen recycelt und Importe sind bei der als gering einzustufenden Produktivität nicht notwendig bzw. für die Landwirte nicht bezahlbar (Gensch et al., 2012).

Auf der anderen Seite fällt auf, dass gerade Schwellenländer wie Indien, Brasilien oder Thailand mit großen Bevölkerungszahlen und hohem Bedarf an Nahrungsmitteln besonders hohe Nutzwerte erbringen. In diesen Ländern bzw. Regionen erscheint somit eine Anwendung als sinnvoll.

Die Ergebnisse der Grau- und Braunwasserübertragbarkeit unterscheiden sich nur geringfügig und in beiden Fällen sind die Länder mit den höchsten Punktzahlen unter Wasserknappheit und Wasserqualitätsproblemen leidende Länder der MENA Region (z. B. Jordanien, Usbekistan, Ägypten, Libyen, Oman oder Israel) und Teile Südost-Australiens (Abb. 2 und 3, schwarze Flächen). Außerdem, wenn auch mit geringerer Wertung (dunkelgrau bis hellgrau getönt), können Regionen an den Westküsten Nord- und Südamerikas, Teile Zentralasiens und Indiens sowie Teile des südlichen Afrikas als Hotspots identifiziert werden.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass der Einfluss des beim BW mit betrachteten Unterkriteriums *Nährstoffbedarf* im Bezug auf die Verteilung der Hotspots vernachlässigt werden kann.



Abbildung 2: Globale Hotspots, an denen sich eine Nutzung der Grauwasserbehandlung mittels MBR-Verfahren anbietet (Löw, 2011)



Abbildung 3: Globale Hotspots, an denen sich eine Nutzung der Braunwasserbehandlung mittels MBR-Verfahren anbietet (Wu, 2011)

Die Kombination der Ergebnisse der Hotspotanalysen zeigt, dass lediglich in neun der insgesamt 58 betrachteten Länder eine Anwendung aller drei Technologien auf Grundlage der hier durchgeführten Analyse sinnvoll erscheint (vgl. Abb. 4). Die identifizierten Länder sehen sich alle mit physikalischer Wasserknappheit und einem durch intensive Landwirtschaft, bedingten hohen Nährstoffbedarfs einerseits und nicht vorhandenen eigenen Phosphorressourcen andererseits konfrontiert. Es handelt sich um Australien, Mexiko, China, Pakistan, Türkei, Indien, Iran, Peru und Spanien (siehe Abb. 4).

Ist eine Anwendung von zwei Technologien an einem Standort sinnvoll, so sind das überwiegend Länder innerhalb der MENA Region. Zudem fällt auf, sofern ein Land für zwei Technologien als Hotspot identifiziert wurde, handelt es sich immer um die Kombination von GW und BW.



Abbildung 4: Kombinierte Darstellung der Hotspots aller drei Technologien. Hier kann eine Implementierung des Gesamtkonzepts interessant sein

Um nun aus dem ermittelten, potentiellen Bedarf an den im Rahmen des SANIRESCH-Projektes angewendeten Technologien eine tatsächliche Nachfrage zu generieren, bedarf es weiterer Schritte. Insbesondere die Rahmenbedingungen für eine Einführung sind zu schaffen. Es wurde daher eine Reihe relevanter Einflusskriterien herausgearbeitet.

Folgende Aspekte können potenziell eine Entscheidung zugunsten von Verfahren zur Phosphorrückgewinnung wie der MAP-Fällung beeinflussen:

- Durch hohen Bedarf an Phosphor, gleichzeitig geringe oder nicht vorhandene Ressourcen und die „Peak Phosphorus“ Thematik (vgl. Gilbert, 2009) kann eine Wiedernutzung des Phosphors von steigender, nach Meinung einiger Wissenschaftler von sogar strategischer Bedeutung sein (van Kauwenbergh in Gilbert, 2009).
- Von Verwaltungsseite kann es förderlich sein, steuerliche Anreize für Investoren und/oder Betreiber von Anlagen zur Nährstoffrückgewinnung zu schaffen.
- Die Betrachtung technischer Aspekte zeigt, dass eine Sicherstellung dauerhafter Energieversorgung und ein benutzerfreundliches Design auf der einen und ausreichend geschultes Betriebs- und Wartungspersonals auf der anderen Seite förderlich sein können.
- Aus soziokultureller Perspektive ergeben sich Möglichkeiten durch umfassende Sensibilisierungsprogramme mit einem stärkeren Fokus auf ressourcenschonendes Wirtschaften. Gute Multiplikatoreffekte lassen sich z. B. in Zusammenarbeit mit Schulen erreichen (Abraham et al., 2012).

Die Wasseraufbereitung und Wiedernutzung durch die beiden MBR-Verfahren kann durch folgende Rahmenbedingungen beeinflusst werden:

- Von Verwaltungsseite kann es förderlich sein, steuerliche Anreize für Investoren und/oder Betreiber von Anlagen zur Wasserwiedernutzung zu schaffen.
- Eine ökonomische Blickrichtung verdeutlicht, dass eine systematische Kostenvergleichsrechnung zwischen einer MBR-Behandlungsanlage und einem konventionellen System zur Abwasserreinigung unter Einbeziehung der Frisch- und Abwasserkosten besonders in unter Wasserknappheit leidenden und infrastrukturell nicht erschlossenen Gebieten eine Entscheidung zugunsten von Wasserwiedernutzung durch MBR Behandlung beeinflussen kann.
- Die Betrachtung technischer Aspekte zeigt, dass eine Sicherstellung dauerhafter Energieversorgung und ein benutzerfreundliches Design auf der einen und ausreichend geschultes Betriebs- und Wartungspersonals auf der anderen Seite förderlich sein kann.
- Aus soziokultureller Perspektive ergeben sich Möglichkeiten durch umfassende Sensibilisierungsprogramme unter anderem in Zusammenarbeit mit Schulen und religiösen Einrichtungen, positive Effekte zu generieren.

4 Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sowohl die Entwicklung der Bewertungsmatrizen (vgl. Kapitel 1.3) als auch die Identifikation der Hotspots (Kapitel 1.4) ein klares Bild der internationalen Übertragbarkeit erzeugen konnten. So wurde mit der Entwicklung der Bewertungsmatrizen ein Werkzeug zur Entscheidungsfindung erstellt, das nach entsprechenden Anpassungen für verschiedene Formen von Nährstoffrückgewinnungs- bzw. neuartigen Abwasserbehandlungstechnologien genutzt werden kann.

Durch die anschließend vorgestellte Hotspotanalyse können nicht nur Regionen identifiziert werden, in denen ein Bedarf für solche Anwendungen bereits heute vorhanden ist. Vielmehr kann unter Berücksichtigung zukünftiger Trends, die Notwendigkeit zur Nutzung von Verfahren zur Nährstoffrückgewinnung und Wasserwiedernutzung weiter verdeutlicht und zukünftige Entwicklungen in eine derartige Richtung möglicherweise angestoßen und unterstützt werden. Zukünftige Trends mit Relevanz im Bereich Nährstoffrückgewinnung und Wasserwiedernutzung sind:

- Eine Zunahme des globalen Klimawandels und somit einer regionalen Verstärkung von Wasserknappheit.
- Eine zunehmende Bevölkerungszahl und somit zunehmender Wasserverbrauch auf der einen Seite und steigender Nährstoffbedarf auf der anderen Seite.
- Zunehmende Urbanisierung und somit auch Erhöhung der innerstädtischen Bebauungsdichte und der sich dadurch bedingenden Nachfrage nach möglichst raumeffizienten Technologien der Abwasserbehandlung.

Abschließend zeigte sich, dass die Methode der NWA gut geeignet ist, um globale Hotspots zu identifizieren. Dies sind zum einen bevölkerungsreiche Schwellenländer wie z. B. Indien, Brasilien oder Thailand. Zum anderen zählen dazu unter Wasserknappheit und Wasserqualitätsproblemen leidende Länder der MENA Region (z. B. Jordanien, Usbekistan, Ägypten, Libyen, Oman oder Israel) und Teile Südost-Australiens. Gleichzeitig muss aber erwähnt werden, dass es sich bei derartigen Betrachtungen um globale Abschätzungen mit grober räumlicher Auflösung handelt und zur konkreten Planung eines Projektes Einzelfalluntersuchungen unerlässlich sind. Des Weiteren sei darauf verwiesen, dass die durch räumliche Kriterien identifizierten Hotspots nicht zwangsweise mit ökonomischen, sowie soziokulturellen Aspekten übereinstimmen. Die real existierende Nachfrage kann somit nicht aus den hier identifizierten Hotspots ermittelt werden.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0947 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

Wir danken auch Yue Wu, Jingjing Peng und Josep de Trincheria, die innerhalb ihrer Masterarbeiten zu diesem Thema gearbeitet und Ideen mit entwickelt haben. Weiterhin möchten wir uns bei der Firma Huber SE und dort im Speziellen bei Celine Schlapp und Martin Feicht und bei der Technischen Hochschule Mittelhessen, dort besonders bei Johanna Heynemann für die Unterstützung bedanken

6 Literatur

Abraham, Belinda; Fogde, Madeleine; von Münch, Elisabeth; Wendland, Claudia, (2012): Sustainable sanitation for schools – Factsheet of Working Group 7a, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA).

URL: <http://susana.org/langen/library?view=ccbktypesitem&type=2&id=1188>

Emerson, John; Esty, Daniel; Levy, Marc; Kim, Christine; Mara, Valentina; de Sherbinin, Alex; Srebotnjak, Tanja, (2010): 2010 Environmental Performance Index, Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven, USA.

URL: http://ciesin.columbia.edu/repository/epi/data/2010EPI_summary.pdf

FAO (2010): Current world fertilizer trends and outlook to 2014, Rom, Italien. URL: <ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto14.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2012): FAOSTAT. URL: <http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>

Gensch, Robert; Dagerskog, Linus; van Veenhuizen, René; Winker, Martina, Drechsel, Pay, (2012). Productive sanitation and the link to food security – Factsheet of Working Group 5. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). URL: <http://www.susana.org/langen/library?view=ccbktypesitem&type=2&id=101>

Gilbert, Natasha, (2009): The disappearing nutrient. *Nature* 461(8), pp. 716-718. URL: <http://www.nature.com/news/2009/091007/pdf/461716a.pdf>

- Hellström, Daniel, Jeppsson, Ulf, Kärrman, Erik, (2000): A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environmental Impact Assessment Review* 20(3), pp. 311-321.
- Löw, Katharina, (2011): An innovative greywater treatment system for urban areas – International transferability of a German approach, installed in GIZ's headquarters in Eschborn, Masterarbeit. HfWU – Nürtingen-Geislingen Universität, Nürtingen. URL: <http://www.saniresch.de/images/stories/downloads/ThesisInterUeberKatharinaLoew.pdf>
- Müller, Peter, (2000): Physiologic population density for each of the world's states. University of Missouri, St. Louis, USA.
- Peng, Jingjing, (2012): International transferability of the struvite precipitation plant installed in GIZ's headquarters in Eschborn, Masterarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt (bisher unveröffentlicht).
- Selman, Mindy; Greenhalgh, Suzie; Diaz, Robert; Sugg, Zachary, (2008): Eutrophication and hypoxia in coastal areas: a global assesment of the state of knowledge, *WRI Policy Note* No.1, World Research Institute.
URL: http://pdf.wri.org/eutrophication_and_hypoxia_in_coastal_areas.pdf
- UN (2010): World urbanisation prospects 2009 – the revision, New York, USA. URL: <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>
- UNESCO, (2009): United Nations world water development report 3: water in a changing world, World Water Assesment Programme, Paris, Frankreich.
- Wu, Yue, (2011): Internationale Übertragbarkeit der in der GIZ Zentrale in Eschborn installierten Braunwasserbehandlungsanlage, Masterarbeit. HfWU – Nürtingen-Geislingen Universität, Nürtingen. URL: <http://www.saniresch.de/images/stories/downloads/Yue-Wu-Masterarbeit-Internationale-Uebertragbarkeit-BW.pdf>
- Zangemeister, Christof, (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, Eine Methode zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, Dissertation, TU Berlin, 4. Aufl., München.

Die NoMix-Toiletten – zwischen Akzeptanz und Ablehnung

Manfred Romich, Lisa Schiele, Christian Wortmann,
Institut für Soziologie, RWTH Aachen, Eilfschornsteinstr. 7, 52056 Aachen

1 Projektbeschreibung

Im Rahmen des Projektes SANIRESCH wurden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der GIZ, deren Arbeitsplatz sich in dem mit NoMix-Toiletten und wasserlosen Urinalen ausgestatteten Bereich von Haus 1 befindet, zu ihren Einstellungen und Erfahrungen mit den NoMix-Toilettenanlagen befragt. In drei Befragungsrunden (2009-2011) sollte neben der Bewertung von Nutzung und Sauberkeit sowie möglichen technischen Problemen auch die Meinung bezüglich der allgemeinen Idee einer Toilettenanlage zur Abwassertrennung, dem Recycling von Nährstoffen und der Wassereinsparung sowie deren Akzeptanz ermittelt werden. Das Ziel der Untersuchung besteht in der Erkenntnis von möglichen Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten der Technik, sowie der Ermittlung von eventuellen Änderungswünschen seitens der Nutzer.

1.1 Methoden und Vorgehensweise der Datenerhebung

Die Befragung der Nutzer erfolgte in drei zeitlich aufeinanderfolgenden Befragungsrunden. Diese unterschieden sich teilweise hinsichtlich ihres Inhalts und ihrer Durchführung. Eine eindeutige Identifizierung der Probanden mit der jeweils vorangegangenen Befragung wurde ausgeschlossen. Es handelt sich demnach nicht um eine klassische Längsschnittstudie (vgl. Bortz/Döring 2006: 519f/Schnell/Hill/Esler 2005: 237/Pöge 2011). Die Auswertung der Befragungsergebnisse erfolgte mit SPSS.

Zeitlich parallel zur Befragung der Nutzer fanden Gruppengespräche mit den Reinigungskräften statt, um auch deren Erfahrungen mit den NoMix-Toiletten berücksichtigen zu können.

Der Nutzer-Fragebogen erfragte Nutzung, Qualität und Notwendigkeit grundlegender Informationen zu den NoMix-Toilettenanlagen. Die Fragen bezogen sich auf die Nutzungspräferenz und -frequenz der Teilnehmer von NoMix-Toilettenanlagen sowie auf gewünschte Verbesserungsmaßnahmen. Es wurden mögliche technische und hygienische Probleme bei der Nutzung erfragt sowie die Bewertung von Gebrauch und Sauberkeit der NoMix-Toiletten. Es wurde thematisiert, ob eine Nutzung der NoMix-Toiletten im eigenen Haushalt und der Konsum von Produkten, die mit Hilfe der gewonnenen Nährstoffe angebaut wurden, in Frage kämen. Schließlich wurden soziodemographische Daten erfasst. Darüber hinaus wurden geschlechtsspezifische sowie aktuelle – am Projektstand orientierte – Zusatzfragen gestellt. Diese bezogen sich u.a. auf die Möglichkeit der Entsorgung weiblicher Hygieneartikel sowie Sauberkeit und Gebrauch der wasserlosen NoMix-Urinale. Außerdem wurden die Nutzer zu aktuellen Neuerungen im Projekt befragt, und es bestand die Option zu einem beliebigen Kommentar. Die Anzahl der Fragen bewegte sich zwischen 60 und 72. Die in der dritten Befragungsrunde neu angeführten Zusatzfragen bezogen sich besonders auf die vom Reinigungspersonal durchgeführte Reinigung der NoMix-Toiletten.

2 Ergebnisse und Diskussion

In den Befragungsrunden wurden alle rund 400 Mitarbeiter aus Haus 1 angeschrieben. Es konnte eine rückläufige Beteiligung festgestellt werden, wobei sich in der ersten Runde 127, in der zweiten Runde 67 und in der dritten Runde 36 Nutzer an der Befragung beteiligten. Die niedrige Fallzahl der Aussagen muss bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Überdurchschnittlich viele Befragungsteilnehmer sind weiblich¹ (75 % in der 3. Befragungsrunde²). Das Alter der Befragten ist gleichmäßig von 19 bis 64 Jahre verteilt. Die Bewertung der NoMix-Toiletten sowie das Problemempfinden scheinen vom Alter unabhängig zu sein. Der Bildungsstand der Befragten scheint ebenfalls keinen Einfluss auf die Bewertung der NoMix-Toiletten zu haben.

In der dritten Befragungsrunde hatten 40 % der Befragten vorher noch an keiner Befragung zur Nutzung der NoMix-Toiletten teilgenommen. Die sinkende Anzahl der Rückläufe lässt eine sinkende Bereitschaft zur Projektbeteiligung vermuten. Die ano-

1 Signifikanzen sind, soweit nicht anders angegeben, auf 5 %- α -Fehlerniveau

2 Soweit nicht anders angegeben beziehen sich Aussagen, die nur auf eine Befragungsrunde Bezug nehmen, auf die dritte Befragungsrunde.

nyme Befragung der Nutzer führt dazu, dass keine Aussagen über die *Entwicklung* der Akzeptanz der Toilettenanlagen bei einzelnen Nutzern gemacht werden können.

Von den in der dritten Befragungsrunde befragten Personen wurde niemand in die Projektplanung einbezogen, und nur ein geringer Anteil erhielt Informationen über die Nutzung (27,8 %) oder wurde nach seiner Meinung zum Einbau der Toilettenanlagen gefragt (11,1 %; Prozentangaben sind Anteile der zu Projektbeginn bereits im Haus 1 beschäftigten Befragten). Tendenziell fällt die Bewertung der NoMix-Toiletten durch die nicht einbezogenen Befragten schlechter aus als durch vor Projektbeginn einbezogene Probanden (nicht signifikant). Da lediglich 2,9 % der Befragten sich auf der Saniresch-Homepage über den Projektverlauf informiert haben, ist ein gedämpftes Interesse am Projekt zu vermuten. 11,8 % der Nutzer gaben an nicht zu wissen, wo sie derartige Informationen erhalten können.

Neben den NoMix-Toiletten wurden auch wasserlose Urinale im Haus 1 eingebaut. Die Teilnehmer (BR 1³ = 42 Männer; BR 2 = 19 Männer; BR 3 = 7 Männer) beurteilten den Geruch der Urinale tendenziell als negativ (BR 1 = 56,4 %; BR 2 = 36,8 %; BR 3 = 42,9 %). Der Gebrauch wird als mit dem Gebrauch von konventionellen Urinalen vergleichbar bis besser beschrieben (BR 1 = 81 %; BR 2 = 94,7 %; BR 3 = 85,7 %). Die Sauberkeit der wasserlosen Urinale ist ebenfalls hiermit vergleichbar (BR 1 = 73 %; BR 2 = 73,7; BR 3 = 71,4 %). Die Urinale werden folglich von den Nutzern recht positiv angenommen und sind recht problemlos nutzbar.

NoMix-Toiletten

Bei den NoMix-Toiletten stellt sich die Lage der Akzeptanz etwas anders dar. Im Laufe der Zeit haben die Nutzer der NoMix-Toiletten ein besseres Wissen über die eingesetzten NoMix-Toilettenmodelle erlangt. So war im Gegensatz zu den beiden ersten Befragungsrunden in der dritten Befragung allen Teilnehmern bekannt, dass der Trennmechanismus durch das Hinsetzen auf die Toilettenbrille ausgelöst wird. Es war in der letzten Befragung ebenfalls allen Nutzern bewusst, dass die Papierentsorgung durch die hintere Öffnung der Toilettenschüssel erfolgt. 100 % der Nutzer gaben an, dass eine einführende Information für Erstnutzer notwendig ist (BR 1 = 78,7 %, BR 2 = 87,7 %).

Einen alternativen Trennmechanismus würden 47,2 % der Befragten bevorzugen. Ein Grund hierfür besteht darin, dass es 11,1 % grundsätzlich ablehnen, sich auf öffentlichen Toiletten hinzusetzen.

3 Im Folgenden wird der Begriff Befragungsrunde mit BR abgekürzt.

Nur ein geringer Anteil von Probanden gab an, die NoMix-Toiletten bevorzugt zu benutzen. Der Großteil tendiert eher oder gar eindeutig dazu, die konventionellen Modelle zu nutzen (27,8 und 52,8 %). In der zweiten und dritten Befragungsrunde ist die Tendenz der Nutzer, die konventionellen Toiletten bevorzugt zu nutzen, angestiegen. 11,4 % der Befragten gaben an, die NoMix-Toiletten nur im Notfall zu benutzen. Obwohl die Nutzer zu 80,6 % eine Bevorzugung der konventionellen Toiletten angaben, werden die NoMix-Toiletten von 74,3 % der Befragten regelmäßig genutzt. Dies ist besonders in Hinsicht darauf interessant, dass auf allen Etagen mit wenigen Schritten mehr auch konventionelle Toiletten erreichbar wären.

Technische und hygienische Probleme der NoMix-Toiletten

Ein möglicher Grund für die ablehnende Haltung gegenüber den NoMix-Toiletten könnte im häufigen Auftreten von Problemen bei der Nutzung liegen. Während in der ersten Befragungsrunde noch 18,5 % der Teilnehmer bisher keine Probleme bei der Nutzung der NoMix-Toiletten gehabt, so waren dies bei der zweiten Befragung nur noch 14,9 %. Nur 13,9 % der Befragten der dritten Befragungsrunde gaben an, die Toiletten bisher ohne Probleme genutzt zu haben. In allen drei Befragungsrunden hatten knapp 70 % aller Teilnehmer bereits mindestens einmal Probleme mit der Toilettenspülung, und ein ansteigender Prozentsatz von 21,9 % in der dritten Befragungsrunde standen bereits vor dem Problem einer verstopften Toilette.

Neben den genannten technischen Problemen gaben die Probanden in vielen Fällen auch Erlebnisse mit hygienischen Mängeln an. So war etwa bei 41,7 % der WC-Sitz nicht sauber, 13,9 % berichten von einer Verunreinigung der Toilettenkabine. 52,8 % der Nutzer gaben eine zu starke Geruchsbelästigung als hygienisches Problem an, und sogar 77,8 % berichten von einer verunreinigten Toilettenschüssel. Die hygienischen Probleme werden von weiblichen Befragten signifikant häufiger angegeben. Hygienische Mängel treten folglich entweder vermehrt in Damentoiletten auf oder werden von Frauen stärker als störend empfunden.

Eine mögliche Ursache für die aufgetretenen Probleme besteht in der eventuell nicht ausreichend stark eingestellten Spülkraft. 80,6 % der Befragten gaben an, die eingestellte Spülkraft als nicht ausreichend stark zu empfinden. Bei 68,5 % (BR 1 = 38,4; BR 2 = 60 %) der Teilnehmer von Befragungsrunde 3 traten häufig (BR 1 = 31,4; BR 2 = 36,9; BR 3 = 51,4 %) oder immer (BR 1 = 7 %; BR 2 = 23,1 %; BR 3 = 17,1 %) Probleme bei der Toilettenspülung auf. Mehr als zwei Drittel der Nutzer halten es für nötig, mindestens zweimal die Spültaste zu betätigen, während nur 11,4 % die Spültaste für ausreichend halten (BR 1 = 19 %; BR 2 = 12,1 %).

Die Geruchsbelästigung durch die NoMix-Toiletten im Vergleich zu konventionellen Toiletten wurde von den Nutzern mehrheitlich in allen drei Befragungsrunden als schlimmer bewertet. In der dritten Befragung etwa bezeichneten über 65 % der Nutzer die NoMix-Toiletten als stärkere oder sehr viel stärkere Geruchsbelastung im Vergleich zu konventionellen Modellen. Während in der ersten Befragung die Nutzung der NoMix-Toiletten einige positive Bewertungen erfuhr, wurde in der zweiten Runde eine neutrale, in der Dritten sogar eine negative Bewertung abgegeben. Hier empfanden 30,6 % der Nutzer die Toiletten im Vergleich zu konventionellen Modellen in ihrem Gebrauch als sehr viel schlechter, und nur 36,1 % beurteilten sie als gleichwertig oder besser.

Die Sauberkeit der NoMix-Toiletten wurde in allen Befragungsrunden als mangelhaft bewertet. Als Hauptprobleme gaben die Befragten mit 80,6 % die Spülkraft an, 55,6 % die Hygiene, 27,8 % das Design und mit immerhin 2,8 % die zu komplizierte Nutzung. Lediglich 5,7 % konnten keine Probleme erkennen. Als Problemursachen wurden etwa eine unzureichende Reinigung (36,1 %), unsachgemäße Nutzung (33,3 %) und mangelnde Wartung der Toilettenanlagen (8,3 %) genannt. Aus diesem hohen Problemempfinden resultiert das zurückhaltende Interesse, NoMix-Toiletten auch im privaten Umfeld nutzen zu wollen. 72,2 % lehnen die Nutzung im eigenen Haushalt strikt ab. Gründe hierfür sind eine mögliche Geruchsbelästigung und hygienische Bedenken (je 36,1 %), der hohe Anschaffungspreis sowie höhere Unterhaltskosten (19,4 %). Aus offenen Nennungen ist zudem entnehmbar, dass die Nutzer die Vorstellung der Urinsammlung im Keller scheuen.

Sauberkeitsprobleme wurden auch in den Gesprächsrunden mit dem Reinigungspersonal geäußert. Hier wird von allerlei Verschmutzungen berichtet, deren Beseitigung auf Grund von Verkrustungen äußerst anstrengend und zeitraubend sei. Die Ursache sehen die Reinigungskräfte weniger im Design der Toilettenschüsseln selbst als vielmehr im unsachgemäßen Gebrauch bzw. im „Nicht-Gebrauch“ der Toilettenbürsten durch die Nutzer.

Obwohl viele Probanden Probleme bei der Spülung der Toiletten angaben, empfanden 11,4 % der Befragten die Wassereinsparung als einen Hauptvorteil. 22,9 % konnten hingegen gar keine Vorteile erkennen, und 37,5 % empfanden die NoMix-Toiletten gar als technische Spielerei. Immerhin 25 % der Befragten bezeichneten die Toiletten als sinnvollen Beitrag zum Umweltschutz, und 34,4 % hielten sie für eine insgesamt sinnvolle Entwicklung. In den Schlussbemerkungen ist vermehrt zu erkennen, dass die Teilnehmer die Idee der NoMix-Toiletten besonders für Entwicklungsländer als sinnvolle Technik anerkennen, sie jedoch im eigenen Umfeld eher als Rückschritt betrachten.

Die getrennte Sammlung von Urin zur Nutzung als Düngemittel wird recht positiv eingeschätzt. 69,5 % der Teilnehmer der dritten Befragungsrunde halten sie für eine sehr gute (27,8 % (BR 1 = 29,4 %; BR 2 = 27,3 %; BR 3 = 27,8 %) oder gute (BR 1 = 45,2 %; BR 2 = 37,9 %; BR 3 = 41,7 %) Idee; die Wiederverwertung von Nährstoffen bezeichneten hier 60 % als Hauptvorteil (BR 1 = 69,7 %; BR 2 = 76,4 %).

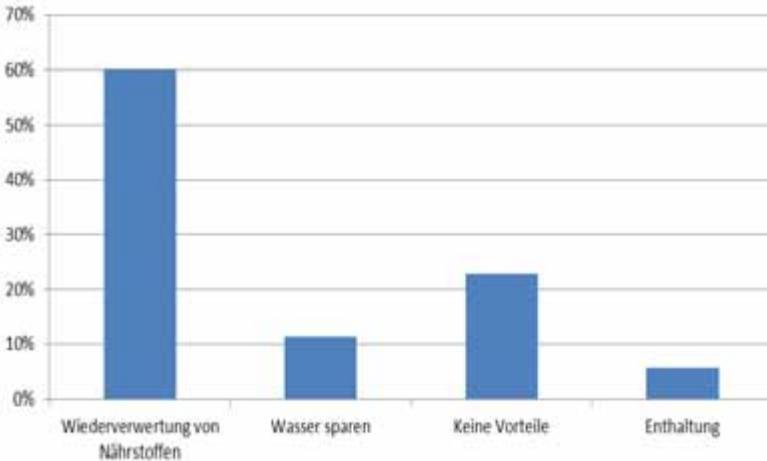


Abbildung 1: Vorteile der NoMix-Toiletten

Produkte, die mit dem gewonnenen Urindünger erzeugt werden können, werden vom Großteil der Befragten positiv beurteilt. Etwa 60 bis 70 % der Teilnehmer aller Befragungsrunden stehen einem Lebensmittelkauf nicht negativ gegenüber. Bei nicht-essbaren Gütern (wie z. B. Blumen) war die Bereitschaft noch höher, und konstant mehr als 60 % der Teilnehmer gaben an, dass sie solche Produkte auf jeden Fall bedenkenlos kaufen würden. Nur 27,8 % der Teilnehmer würden den Kauf von essbaren Produkten eher ablehnen, und 16,7 % würden auch keine nicht-essbaren Produkte konsumieren wollen.

Reinigung der NoMix-Toiletten

Aufgrund der Ergebnisse der ersten Befragung trat die Frage nach der Reinigung der NoMix-Toiletten stärker in den Vordergrund. Aufgrund dessen wurde in der dritten Befragungsrunde zusätzlich genauer auf die Reinigung der Toilettenschüsseln eingegangen.

Von den Befragungsteilnehmern hielten 40 % die zur Verfügung gestellten Reinigungsbürsten für nicht geeignet, um die NoMix-Toiletten angemessen säubern zu können. Aus zahlreichen offenen Endkommentaren ist zu entnehmen, dass die immer wieder auftretenden Verschmutzungen der Toilettenschüssel dazu führen, dass die Toilettenbürsten häufiger eingesetzt werden müssen, diese jedoch vom Nutzer zu selten gereinigt und vom Reinigungspersonal zu selten ersetzt werden. Vielen Kommentaren ist zudem zu entnehmen, dass die Hygiene der Toiletten durch ein Zusammenspiel von zu kompliziertem Säubern, häufigem Gebrauch der (nicht geeigneten) zu schnell abgenutzten Toilettenbürsten und häufiger Nichtsäuberung der Bürste aufgrund des niedrigen Wasservolumens und der langen Auffüllzeit des Wasserbehälters verschlechtert wird.

Die Qualität der Reinigung der Toiletten durch das Reinigungspersonal wird als durchschnittlich bis gut bewertet. Mehrheitlich würde eine häufigere Reinigung der Anlagen jedoch begrüßt. Über 60 % der Teilnehmer gaben an, dass mehrfache tägliche Reinigungen die Sauberkeit der NoMix-Toiletten verbessern würden. Auch aus den Endbemerkungen ist zu erkennen, dass der Grund für die Verschmutzung der NoMix-Toiletten weniger in der unzureichenden Reinigung durch das Personal als vielmehr in der unsachgemäßen Nutzung durch die Mitarbeiter gesehen wird. Ein Nachweis der Reinigung durch eine Unterschrift des Reinigungspersonals auf einer öffentlich in den Toilettenanlagen ausgehängten Liste wird folglich als fragwürdige Maßnahme gesehen. Aus den Kommentaren ist auch erkennbar, dass nicht alle Nutzer die NoMix-Toiletten ausreichend gereinigt hinterlassen, und hygienische Mängel, wie etwa eine verschmutzte Toilettenschüssel, wohl hierauf zurückzuführen sind.

3 Fazit

Besonders in Hinsicht auf Sauberkeit, Gebrauch und Nutzungswillen schneiden die NoMix-Toiletten bei den Nutzern eher neutral bis schlecht ab. Aufgrund der rückläufigen Beteiligung an den Befragungen und der anonymen Befragung können keine definitiven Rückschlüsse auf Akzeptanzentwicklungen im Projektzeitraum gemacht werden. Es kann vermutet werden, dass besonders diejenigen Nutzer an der Befragung teilgenommen haben, die sich besonders stark für oder gegen den Gebrauch der NoMix-Anlagen einsetzen. Dies ist besonders aus den Schlusskommentaren ableitbar, in denen verstärkt der Unwille zur Nutzung zum Ausdruck kommt. Während die Idee der Wiederverwertung von Nährstoffen positiv angenommen wird, kann die (vorliegende technische) Umsetzung für das eigene Umfeld die befragten Nutzer nicht überzeugen.

Letztendlich scheint die Einbeziehung der Nutzer in das Projekt deren Meinung über die NoMix-Toiletten stark zu beeinflussen. Nutzer, die frühzeitig gut informiert und einbezogen wurden, standen der Nutzung tendenziell positiver gegenüber als jene, die spontan mit den neuen Gegebenheiten konfrontiert wurden. Eine frühe Einbeziehung der Nutzer – möglichst bereits in die Planung einer Implementierung neuartiger Sanitäranlagen – und fortlaufende Information dürfte durchaus die Akzeptanz von NoMix-Toilettenanlagen erhöhen.

Die Ergebnisse ähneln somit zum Teil den Erkenntnissen, die im Endbericht des Projektes NOVAQUATIS⁴ festgehalten wurden: In Hinsicht auf Hygiene und Geruchsbelastung kann eine schlechtere Akzeptanz im Vergleich zu konventionellen Toiletten festgestellt werden⁵.

Insgesamt scheinen die wasserlosen Urinale eine deutlich höhere Akzeptanz zu erfahren als die NoMix-Toiletten. Als Ursache hierfür kann vermutet werden, dass die Urinale sich in ihrem Design und der Nutzung kaum von konventionellen Modellen unterscheiden. Aufgrund der häufig auftretenden technischen und hygienischen Probleme stehen besonders Frauen jeden Alters den NoMix-Toiletten kritisch gegenüber, da sie bei jedem Toilettengang zwangsläufig die problematischeren Toiletten-schüsseln nutzen müssen, wohingegen Männer die Kabinen oft nicht betreten und mögliche Probleme somit umgehen.

4 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Fördernr. 02WD0949 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

4 http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/abschlussbericht_D

5 Siehe hierzu Lienert (2007): 8-11

5 Literatur

- Bortz, Jürgen/Döring, Nicola (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage. Berlin: Springer
- Lienert, Judit (2007): Eine gute Idee, aber das will doch keiner! In: Eawag News 63d, März 2007: Mix oder NoMix? Urinseparierung unter der Lupe. Eawag aquatic research.
- Schnell, Rainer/ Hill, Paul B./ Esser, Elke (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung. 7. Auflage. München: Oldenbourg.
- Pöge, Andreas (2011): Persönliche Codes bei Längsschnittuntersuchungen III. In: MDA – Methoden, Daten, Analysen. Jg. 5, Heft 1. S. 109-134.

Landwirte und Konsumenten – wie weit geht die Akzeptanz der Nutzung von Urin und Urinprodukten?

Katrin Spoth, Judith Schmidt, Ute Arnold
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn,
Karlrobert-Kreiten-Str 13, 53115 Bonn

1 Einleitung

Ecological sanitation (Ecosan) und „Akzeptanz“ stellen in der Naturwissenschaft und der Soziologie relativ junge Konzepte bzw. Forschungsrichtungen dar. Der Begriff der Akzeptanz entstand erst Anfang der 1980er Jahre vor dem Hintergrund zunehmender Protestbereitschaft der Gesellschaft im Rahmen der Anti-Atomkraftbewegung im Zuge des zunehmenden Umweltbewusstseins. Zunächst wurde der Begriff als reines Synonym für Zustimmung und Bejahung verwendet, entwickelte sich jedoch recht schnell in Richtung der ursprünglichen Wortbedeutung des Annehmens. Der Begriff steht in enger Verbindung zu Glaubwürdigkeit, Vertrauen, Respekt und Autorität. Die Akzeptanzforschung ist im Vergleich zu anderen Wissenschaften eine verhältnismäßig junge Forschungsrichtung. Erschwerend ist außerdem, dass soziokulturelle Aspekte der Landwirtschaft relativ selten Gegenstand der Forschung sind (Lobao und Meyer, 2011). Dierkes und Thienen (1982) definieren den Begriff Akzeptanz wie folgt: „Akzeptanz bezeichnet zunächst einen Sachverhalt nämlich zu einem bestimmten Zeitpunkt festzustellende und sich in bestimmten Meinungs- und Verhaltensformen äußernde Einstellung meist größerer gesellschaftlicher Gruppen gegenüber einzelnen Technologien, ohne dass damit die Gründe für dieses Verhalten bezeichnet würden.“

Teil des SANIRESCH-Projekts war die Untersuchung der Akzeptanz eines Urin basierten Düngers und Düngerprodukten. Für eine erfolgreiche Implementierung entsprechender Dünger stellt die Akzeptanz derartiger Produkte auf Produzenten- und Konsumentenebene eine wichtige Voraussetzung dar. Zielgruppe der Befragung waren zum einen Landwirte und Gartenbauer als potentielle Abnehmer und Nutzer neuartiger Düngersubstrate aus Urin, zum anderen Konsumenten bzw. Endverbraucher landwirtschaftlicher Produkte. Im Ergebnis- und Diskussionsteil sind jedoch ausschließlich die Ergebnisse der landwirtschaftlichen Erhebung dargestellt und diskutiert, da die restlichen Auswertungen noch laufen. Als Schwerpunkt dieser

Untersuchung wurde das Land Nordrhein-Westfalen ausgewählt. Es bildet mit fast 18 Mio. Einwohnern das bevölkerungsreichste Bundesland Deutschlands und ist ein wichtiges Agrarland. Auf einer Fläche von fast 35.000 km² gibt es stark urban geprägte Gebiete und Ballungsräume; 50 % der Fläche werden jedoch landwirtschaftlich genutzt (Landwirtschaftskammer, 2011).

2 Material und Methoden

Die Akzeptanzanalyse fand in schriftlicher Form im Rahmen einer postalischen Befragung statt. Die schriftliche Befragungsform wurde aufgrund der verhältnismäßig geringen Fallzahlen und der homogenen Zielgruppen gewählt. Die Zielgruppen der Studie bildeten zum einen Landwirte und Gartenbauer und zum anderen Konsumenten bzw. Endverbraucher landwirtschaftlicher Produkte in Nordrhein-Westfalen. Mit Hilfe des Fragebogens wurden sozioökonomische Rahmenbedingungen, Betriebsgröße, ökologisches Hintergrundwissen und die Einstellung bzw. Meinung hinsichtlich eines Urin-Düngers von Konsumenten und Landwirten erfasst. Dabei wurden 400 Landwirte und 500 Konsumenten befragt. Die Auswahl der landwirtschaftlichen Betriebe erfolgt unter Zuhilfenahme der Datenbank der Landwirtschaftskammer NRW. Diese listet alle Ausbildungsbetriebe für Landwirtschaft und Gartenbau. Für die Befragung wurden explizit Ausbildungsbetriebe herangezogen, da diese meist innovativ und aufgeschlossen gegenüber neuen Methoden und Technologien sind. Aufgrund ihrer Ausbildungs- und Lehrfunktion sind die Betriebe zudem in der Regel auf dem neusten Stand der Technik und bilden sich laufend fort. Darüber hinaus unterstützen sie die Weitergabe innovativer Technologien und haben somit Multiplikatorfunktion. Zuerst erfolgte die Entwicklung des Fragebogens für die landwirtschaftlichen Betriebe auf Basis soziologischer Umfrageforschungsmethoden. Der Fragebogen durchlief zuerst einen Pretest und wurde entsprechend adaptiert, bevor er in der Befragung der landwirtschaftlichen Betriebe Anwendung fand. Um einen möglichst hohen Rücklauf zu gewährleisten wurde eine für die Landwirte arbeitsarme Zeit im Winter ausgewählt. Die Befragung erfolgte im Februar 2012. Die Umfrage der Konsumenten wurde im Mai 2012 abgeschlossen. In einer kurzen Einleitung wurde im Hinblick auf einen möglichst hohen Rücklauf zunächst das Ziel der Befragung definiert und die universitäre Einbindung der Umfrage in das Gesamtvorhaben erläutert. Dabei wurde herausgestellt, dass die Teilnahme zum Gelingen des wissenschaftlichen, nichtkommerziellen Forschungsprojektes beiträgt. Außerdem wurden Angaben zum Ausfüllen des Fragebogens gemacht.

Der landwirtschaftliche Fragebogen war in vier Themenbereiche gegliedert:

- 1 Allgemeine Angaben (Geschlecht, Alter, Schulbildung, Beruf)
- 2 Fragen zum Themenkomplex „Düngung und Abwasser“
- 3 Einstellung zum Thema „Dünger aus Urin“
- 4 Akzeptanz im Hinblick auf den Einsatz von Dünger aus Urin

Die Themenbereiche eins und zwei dienten der Erfassung sozioökonomischer Rahmenbedingungen und des ökologischen Hintergrundwissens. Die Erfassung der Akzeptanz erfolgte in den Themenbereichen drei und vier. Letztere waren so konzipiert um etwas über die Haltung, Akzeptanz und Meinung hinsichtlich von Düngern aus Urin in Erfahrung zu bringen. Hierfür wurden bspw. ordinale Fragenpaare entwickelt, um Merkmalsausprägungen zu messen und in eine hierarchische Ordnung zu bringen. Skalen wurden verwendet, um bestimmte Merkmale beurteilen und quantifizieren zu können.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Rücklaufquote

Die Rücklaufquote von schriftlichen Befragungen kann als Hinweis für die Aktualität, die Brisanz und das Interesse der Zielgruppen herangezogen werden. Aufgrund einer starken Zunahme von Befragungen in diversen Themenbereichen und Gebieten (Politik, Marktforschung, etc.) innerhalb der letzten Jahrzehnte hat die Bereitschaft an Umfragen teilzunehmen generell eine eher sinkende Tendenz.

Die Rücklaufquote beider Befragungen war gut und lag mit 27 % der Landwirte im mittleren Bereich der in der Literatur angegebenen Bereiche für schriftliche Befragungen von 10 – 60 %. Der Rücklauf der Konsumentenbefragung fiel geringer aus und lag mit 19 % eher im unteren Bereich. National und international gibt es bisher wenig vergleichbare Studien. Griesen (2010) fand in seiner Studie zur Akzeptanz von Biogasanlagen bei Landwirten und Bevölkerung ähnliche Resonanz und erreichte einen Rücklauf von 29 % bei den Landwirten und 16 % in der Bevölkerung. Eine Pilotstudie in der Schweiz zur Akzeptanz von No-Mix Toiletten und zur Nutzung der gewonnen Nährstoffe als Dünger erreichte in einer Umfrage lokaler Landwirte ebenfalls eine Rücklaufquote von 27 % (Lienert, 2007). Die Ergebnisse von Konsumenten-

tenbefragungen der Schweizer Studie lassen sich nicht vergleichen, da eine andere Befragungsmethode herangezogen wurde. Nachfolgend sind die Ergebnisse der landwirtschaftlichen Befragung detailliert dargestellt.

3.2 Sozioökonomische Rahmenbedingungen

95 % der Befragten waren männlich und nur 5 % waren weiblich. Die Altersgruppe der 40 – 50 und der 50 – 60 jährigen war mit 72 % am stärksten vertreten. Lediglich 23 % der Befragten waren der Altersklassen 20 – 30 und 30 – 40 zuzuordnen. 4 % der Befragten waren älter als 60 Jahre. Mehr als die Hälfte der Landwirte hatte einen Abschluss als Meister, 32 % der Befragten hatte ein landwirtschaftliches Studium absolviert.

Etwa die Hälfte der Landwirte, die an der Befragung teilnahmen (43 %), bewirtschaften große Betriebe mit einer Betriebsfläche von 50 – 100 ha (Abbildung 1). Ein Viertel der Landwirte (25 %) unterhält einen Hof mit einer Betriebsfläche von 101 – 200 ha. Die mittlere Betriebsgröße von 10 – 50 ha war in der Stichprobe mit 8 % eher unterrepräsentiert, ebenso eine Betriebsgröße von mehr als 200 ha (nur 5,1 %). Bei der hohen Betriebszahl von 15 % mit 0-10 ha handelt es sich um Gartenbaubetriebe. Im Vergleich zur Verteilung der durchschnittlichen Betriebsgröße in NRW fällt auf, dass hauptsächlich Betriebe mit einer größeren Betriebsgröße (≥ 50 ha) an der Befragung teilnahmen. Die Analyse der Betriebszweige ergab, dass 71 % der befragten landwirtschaftlichen Betriebe Ackerbau betreiben. Jeder zweite bewirtschaftet Grünland und knapp 40 % besitzen Milchvieh. Die Rindermast und Schweineproduktion ist in der Stichprobe mit 18 % und 30 % weniger häufig vertreten.

3.3 Düngung, Abwasser und Hintergrundwissen

Im zweiten Teil der Befragung wurden die Landwirte zum Thema Dünger, Abwasser und Hintergrundwissen befragt. Besonderes Augenmerk lag auf der Erfassung des Informationsgrades in Bezug auf Nährstoffe, Sanitärkonzepte und Abwasserbehandlung. 83 % der Befragten gaben an, dass der Einsatz von Fäkalien in der landwirtschaftlichen Erzeugung früher gängige Praxis war. Dass sich der hohe Nährstoffgehalt in Urin gut als Dünger recyceln lässt, war 2/3 der befragten Landwirten klar. Jeder vierte Befragte machte hierzu allerdings keine Angaben.

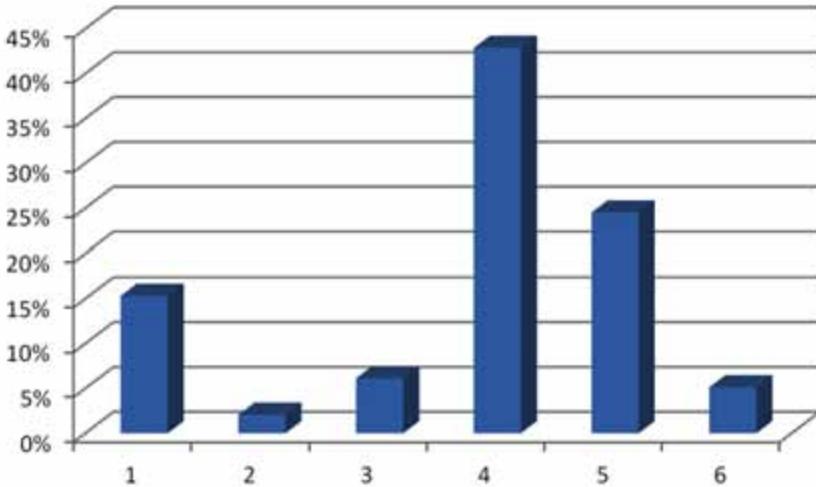


Abbildung 1: Betriebsgrößen in Klassen und ha 1 (0-10ha), 2 (10-20ha), 3 (20-50ha), 4 (50-100ha), 5 (101-200ha), 6 (>200ha)

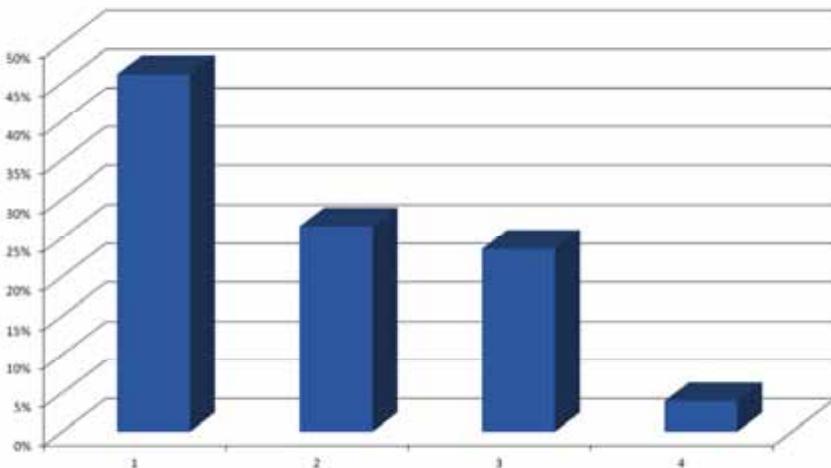


Abbildung 2: Bewertung des aktuellen Sanitärsystems 1 fortschrittlich, 2 veraltet, 3 keine Angaben, 4 ich kenne noch andere Systeme

Weiterhin sollte herausgefunden werden, ob neben dem existierenden Sanitärkonzept weitere Verfahren der Abwasserentsorgung bekannt sind. Darüber hinaus wurden die Landwirte gebeten, das derzeitige Abwassersystem zu bewerten. Fast die Hälfte aller Befragten beurteilt unser derzeitiges Abwasserkonzept als fortschrittlich, jeder Vierte als veraltet (Abbildung 2). Lediglich 4 % der Befragten gaben an, auch andere Systeme zu kennen. Dies macht deutlich, dass neuartige Sanitärkonzepte und -systeme bisher wenig bekannt sind. Hinsichtlich des Bekanntheitsgrades neuer Technologien, Systeme und Ansätze besteht somit Aufklärungsbedarf.

4 Einstellung zum Thema „Dünger aus Urin“

Im darauf folgenden Teil wurden die Landwirte hinsichtlich ihrer Assoziationen in Bezug auf den Einsatz von Düngemitteln aus Urin in der landwirtschaftlichen Erzeugung befragt (Abbildung 3).

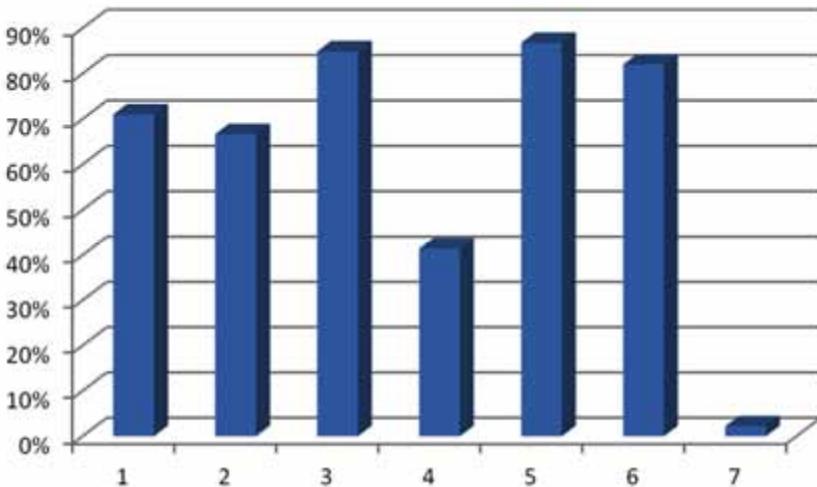


Abbildung 3: Assoziationen zu einem Urin basierten Dünger; 1 Klimaschutz, 2 Energieunabhängigkeit von anderen Ländern, 3 Nachhaltigkeit, 4 Geruchsbelästigung, 5 Ressourcenschutz, 6 Umweltschutz, 7 sinkende Immobilienpreise

Obwohl die Idee eines Urin basierten Düngers relativ neu ist, überwogen bei den meisten Landwirten der untersuchten Stichprobe positive Assoziationen im Zusammenhang mit dem Themenkomplex Urin und Düngung. Dieses Ergebnis ist positiv zu bewerten aber insofern kritisch zu beurteilen, als dass es sich um eine relativ kleine Stichprobe handelt. Außerdem ist davon auszugehen, dass aller Wahrscheinlichkeit nach eher die interessierten und dieser Idee gegenüber aufgeschlossene Landwirte bereit waren, die Studie zu unterstützen und infolgedessen an der Befragung teilnahmen. Auffallend war in dem Zusammenhang jedoch, dass lediglich ein Landwirt die Umfrage nutzte, um seinen Unmut über diese innovative Technologie bzw. Idee kundzutun. Auf nationaler wie internationaler Ebene erlauben die Ergebnisse zunächst jedoch keine generelle und repräsentative Aussage hinsichtlich der Akzeptanz eines Urin basierten Düngers. Trotzdem zeigen sie eine Tendenz, inwieweit ein derartiges Produkt in der Praxis Anwendung finden könnte. Besonders häufig wurden im Zusammenhang mit einer Urindüngung die Themen Nachhaltigkeit, Ressourcenschutz und Umweltschutz benannt. Insgesamt hatten mehr als 80 % der Landwirte im Zusammenhang mit Urindünger ökologisch orientierte Assoziationen. Weniger als die Hälfte (41 %) der befragten Landwirte hatten Bedenken im Bezug auf etwaige negative Auswirkungen wie bspw. Geruchsbelästigung. Dass der Einsatz von Dünger aus Urin Auswirkungen auf die Attraktivität eines ländlichen Wohnortes haben könnte und sich in sinkenden Immobilienpreisen niederschlagen könnte, befürchteten nur 2,1 % der Befragten.

Als potentielle Nutzer eines Düngers auf Basis von Urin wurden die Landwirte befragt, ob sie einen derartigen Dünger nutzen würden. Nur etwa jeder Zehnte der Befragten lehnt die Verwendung von Dünger aus Urin grundsätzlich ab (Abbildung 4). Die Hälfte der Landwirte würde einen Dünger aus Urin grundsätzlich nutzen. Ähnliche Werte in Bezug auf die Nutzung eines Urin basierten Düngers fand Lienert et al. (2003) in ihrer Studie zur Akzeptanz in der Schweiz. Hier sprachen sich 57 % der befragten Landwirte für die Verwertung von Urin in der landwirtschaftlichen Produktion aus; 33 % lehnten den Einsatz prinzipiell ab. Die Befragten der Studie in NRW hatten bei der Frage der Nutzung neben den Antwortmöglichkeiten „grundsätzlich ja“ und „grundsätzlich nein“ die Möglichkeit, Eigenschaften bzw. Voraussetzungen eines solchen Düngerproduktes zu benennen und somit die Nutzung an bestimmte Prämissen zu koppeln. Zu den meist genannten Einschränkungen der Landwirte im Hinblick auf die Nutzung eines Urin basierten Düngers zählten Sicherheitsbedenken bezüglich Pharmaka-Rückständen und Hormonen im Urin. Zudem wurden Bedenken im Zusammenhang mit der Akzeptanz auf Verbraucherebene geäußert und somit der Absatz derartig produzierter Produkte in Frage gestellt. Als weitere Voraussetzungen, um Urin zu verwenden, wurden eine genaue Nährstoffde-

klaration, eine Umweltverträglichkeitsprüfung sowie eine Zertifizierung genannt. Zudem soll der Urin schadstofffrei, insbesondere ohne Schwermetallbelastung, sein.

Auch die Meinung bezüglich des Einflusses auf die Gesundheit wurde ermittelt (Abbildung 5). Die Meinungen hierüber sind geteilt: Fast jeder Zweite hält den Einsatz für gesundheitlich unbedenklich, 30 % jedoch für bedenklich.

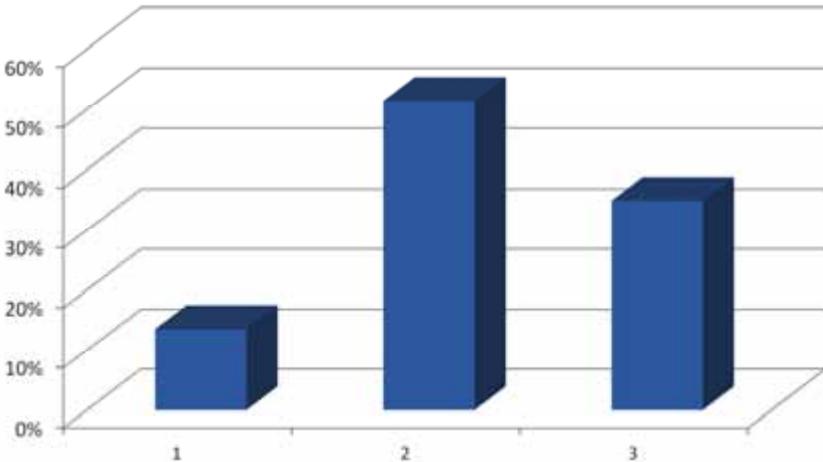


Abbildung 4: Nutzung von Urin basierten Dünger; 1 würde Urin basierten Dünger grundsätzlich nicht nutzen, 2 würde einen Urin basierten Dünger grundsätzlich nutzen, 3 würde einen Dünger aus Urin möglicherweise nutzen

Die befragten Landwirte wurden aufgefordert, den Einsatz eines Urin basierten Düngers auf einer Skala von eins bis sechs einzuordnen und auf diese Weise die Idee der Nährstoffrückgewinnung und den Einsatz in der landwirtschaftlichen Produktion zu bewerten. Dabei äußerten 67 % der Landwirte eine positive Meinung hinsichtlich eines Urin basierten Düngers und hielten diese Technologie für eine interessante oder sogar für eine sehr interessante Idee (Abbildung 6). Nur 32 % äußerten eine explizit negative Einstellung hinsichtlich dieser Idee.

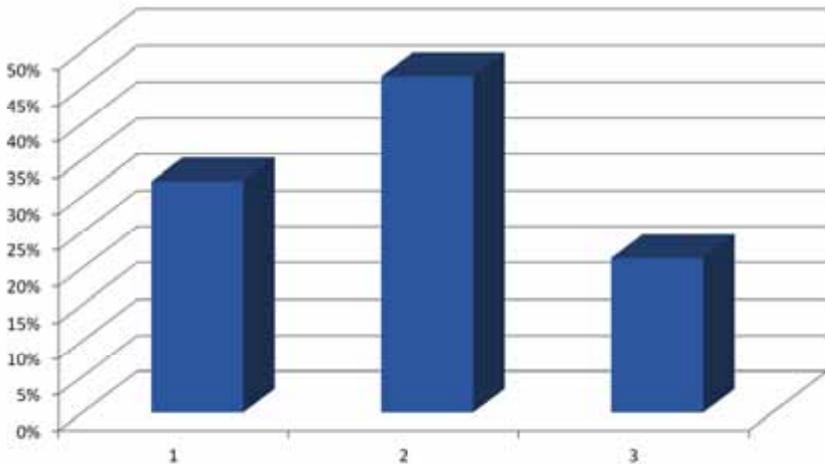


Abbildung 5: gesundheitliche Einschätzung eines Urin basierten Düngers; 1 halte Einsatz von Urin als Dünger für gesundheitlich bedenklich 2 halte Einsatz von Urin als Dünger für gesundheitlich unbedenklich, 3 keine Angabe

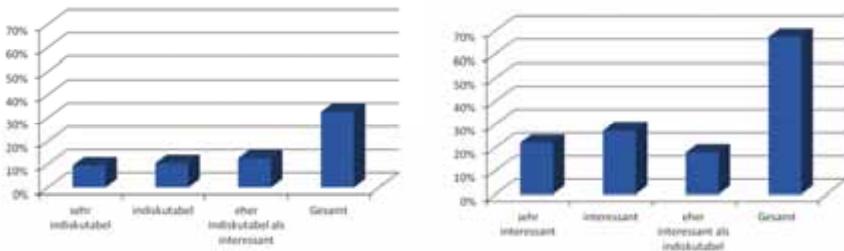


Abbildung 6: Einordnung eines Urin basierten Düngers mit Hilfe des Gegensatzpaares indiskutabel (links dargestellt) vs. interessante Idee (rechts dargestellt)

Abbildung 7 und 8 zeigen je zwei Beispiele mit den gegensätzlichen Eigenschaften nützlich/schädlich (Abbildung 7) und gefährlich/sicher (Abbildung 8). Die Befragten hatten die Möglichkeit, Tendenzen anzugeben. Bei dem Paar nützlich vs. schädlich, sahen 50 % der Befragten Dünger aus Urin als nützlich an, die andere Hälfte als schädlich. Gleiches gilt für die Gegenüberstellung von gefährlich und sicher: 53 % wiesen einem solchem Dünger gefährliche Eigenschaften zu, 45 % sichere.

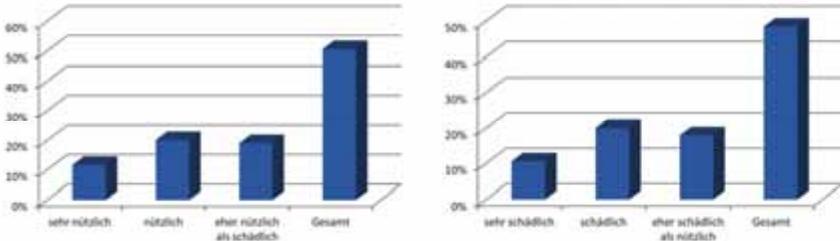


Abbildung 7: Einordnung eines Urin basierten Düngers mit Hilfe des Gegensatzpaares nützlich (links dargestellt) vs. schädlich (rechts dargestellt)

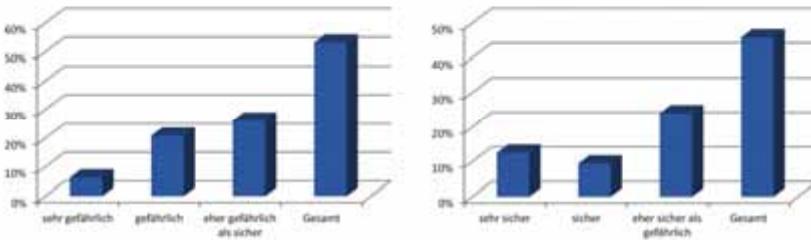


Abbildung 8: Einordnung eines Urin basierten Düngers mit Hilfe der Gegensatz- und gefährlich (links dargestellt) vs. sicher (rechts dargestellt)

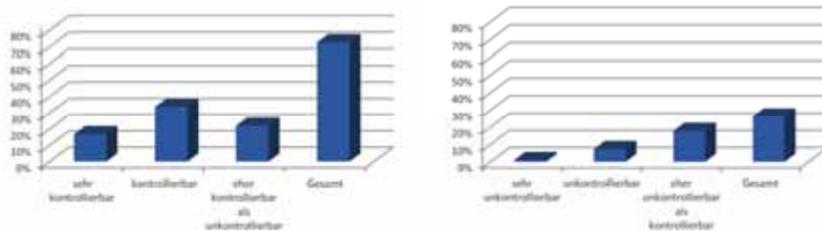


Abbildung 9: Einordnung eines Urin basierten Düngers mit Hilfe des Gegensatzpaares kontrollierbar (links dargestellt) vs. unkontrollierbar (rechts dargestellt)

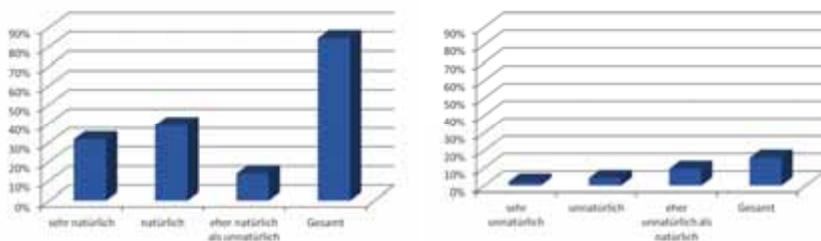


Abbildung 10: Einordnung eines Urin basierten Düngers mit Hilfe der Gegensatz-Items natürlich (links) vs. unnatürlich (rechts)

Eine eher einheitliche Meinung gab es bei den Paaren kontrollierbar/unkontrollierbar und natürlich/unnatürlich. Jeder vierte Befragte sieht den Einsatz als unkontrollierbar an, jeder dritte als kontrollierbar.

84 % der Landwirte empfinden den Einsatz von Urin als natürlich und nur 15 % als unnatürlich. Hinsichtlich der Notwendigkeit eines neuen Düngers aus Urin, sprachen sich 65 % dafür aus und nur 1/3 dagegen. Insgesamt herrscht eine positive Meinung gegenüber einem solchen Produkt. Nur 1/5 der Landwirte gaben eine negative Bewertung ab.

5 Akzeptanz hinsichtlich des Einsatzes eines Urin basierten Düngers in der landwirtschaftlichen Produktion und gegenüber dem Konsum uringedüngter Produkte

Da Landwirte nicht nur Produzenten sondern gleichzeitig auch Konsumenten sind, wurden im letzten Abschnitt der Befragung neben der Erfassung von Akzeptanzwerten in Bezug auf den Einsatz eines Urin basierten Düngers in der landwirtschaftlichen Produktion auch Akzeptanzwerte im Hinblick auf den Konsum Urin gedüngter Produkte ermittelt. Hierbei wurden die Applikationsformen des Düngers in „flüssig“ und „Pulver“ unterteilt und in verschiedene Anbausysteme, beziehungsweise Markfrüchte (Salat, Getreide, Gemüse, Nüsse, Blumen) unterteilt. Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen, dass es unabhängig von der Applikationsform eine wesentlich höhere Akzeptanz bei Getreide als bei Gemüse gibt.

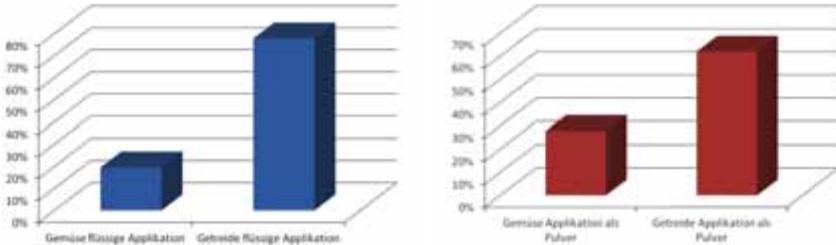


Abbildung 11: Akzeptanz unterschiedlicher Applikationsformen bei Gemüse (1) und Getreide (2). Links Applikation in flüssiger Form, rechts in Pulverform

Die Akzeptanz eines Urin basierten Düngers zur Produktion von Gemüse ist in Pulverform eher gegeben, als wenn der Dünger in flüssiger Form appliziert würde. Die Applikation eines Urin basierten Flüssigdüngers kann sich jeder vierte Landwirt vorstellen bei Pulver mehr als jeder Dritte (Abbildung 11). Bei Getreide zeigt sich ein gegensätzliches Bild. Der Akzeptanzunterschied von 10 % (flüssig bevorzugt) wird vermutlich auf die Ausbringungstechnik zurückzuführen sein, diese Vermutung konnte jedoch nicht verifiziert werden.

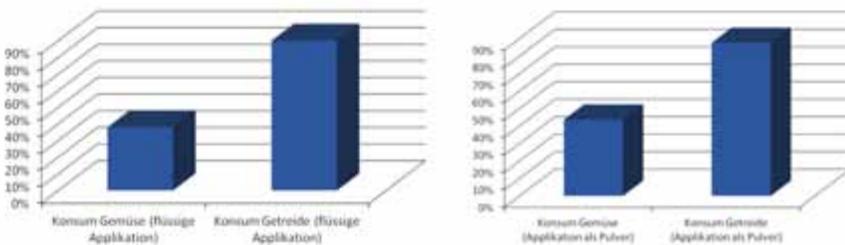


Abbildung 12: Konsum von Gemüse (1) und Getreide (2), dass mit einem Urin basierten Dünger produziert wurde. Links flüssige Applikation, rechts Dünger in Pulverform

Bei der Frage nach dem Konsumverhalten zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Auch hier würde Getreide (90 %) eher gekauft werden als Gemüse (40 %). Bei der Unterteilung in flüssig und Pulverform gleicht das Ergebnis dem der Nutzung (Abbildung 12). Die Applikationsform wirkt sich sowohl bei Getreide als auch bei Gemüse auf den Akzeptanzwert aus.

6 Einschätzung des Marktpotentials

Neben den Akzeptanzwerten eines Urin basierten Düngers in der landwirtschaftlichen Produktion wurden die Landwirte als potentielle Abnehmer eines Düngerproduktes auf Basis von Urin hinsichtlich der Konditionen befragt, zu denen sie ein derartiges Düngerprodukt kaufen würden. Der Preis eines Produktes hat immer Indikatorfunktion und kann zur Einschätzung des Marktpotentials herangezogen werden. Lediglich 26 % der befragten Landwirte würden einen Dünger auf Basis von Urin kaufen, wenn er denselben Preis wie ein konventioneller Mineraldünger hätte (Tabelle 1). In der schweizer Studie zur Akzeptanz von Urin basierten Düngern von Lienert et al. (2003) gaben 34 % der Landwirte an, denselben Preis zu zahlen. Die Mehrheit der Landwirte in NRW gab an, einen derartigen Dünger zu nutzen, wenn der umsonst/zur Abholung (26,9 %) oder günstiger (27 %) als konventioneller Mineraldünger wäre. Die Marktchancen für ein Düngerprodukt auf Basis von Urin scheinen unter Berücksichtigung des bisherigen Stand des Wissens und der eingeschränkten Repräsentativität derzeitiger Studien gut zu sein.

Tabelle 1: Konditionen zu denen ein Urin basierter Dünger gekauft würde

Bedingung	Prozentualer Anteil
Gleicher Preis wie konventioneller Mineraldünger	26,9 %
Günstiger als konventioneller Mineraldünger	54,6 %
Umsonst/zur Abholung	26,9 %

7 Zusammenfassung

Die Erhebung fand im Rahmen des Verbundprojekts Saniresch statt und bildet eine Basis um wissenschaftlichen Untersuchungen zum Themenkomplex Urin und Düngung durch soziokulturelle Akzeptanzforschung zu ergänzen. Neben der Weiterentwicklung technischer und produktionstechnischer Aspekte eines neuen Sanitärkonzeptes sollten insbesondere im Hinblick auf eine erfolgreiche Implementierung innovativer Technologien soziokulturelle Rahmenbedingungen der Zielgruppen erfasst werden. Diese Studie leistet einen ersten Beitrag, um Trends und weitere Handlungsschwerpunkte hinsichtlich der Weiterentwicklung und Einführung eines

innovativen Sanitärkonzeptes abzuleiten. Insgesamt ist unter den Landwirten eine sehr positive Einschätzung hinsichtlich der Verwendung von Urin in der landwirtschaftlichen Produktion festzustellen. Besonders häufig wurden jedoch Bedenken hinsichtlich der Sicherheit und der langfristigen gesundheitlichen Unbedenklichkeit im Zusammenhang mit einem derartigen Dünger benannt und Bedenken hinsichtlich der Akzeptanz auf Verbraucherebene angeführt. Die Marktchancen eines Düngers auf Basis von Urin sind tendenziell positiv zu bewerten. Allerdings lässt sich auf Basis der Studie keine generell allgemeingültige Abschätzung vornehmen. Hierfür wären weitere Studien auf nationaler und internationaler Ebene erforderlich.

8 Danksagung

Diese Arbeit wurde innerhalb des Forschungsprojekts SanitärRecycling Eschborn (SANIRESCH) durchgeführt und durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Förderkz. 02WD0948 unterstützt. Die Autoren danken dem BMBF für diese Förderung.

9 Literatur

- Griesen, M. (2010) Dissertation „Akzeptanz von Biogasanlagen“, Universität Bonn
- Dierkes, M. (1983) Akzeptanz und Akzeptabilität der Informationstechnologien. Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität Berlin
- Lobao, L. and Meyer, K. (2001) The great agricultural transition: crisis, change and social consequences of twentieth century US farming. *Annu. Rev. Sociol.*, 27, 103-124
- Lienert, J., Haller, M., Berner A., Stauffacher, M. and Larsen T.A. (2003). How do farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine)? *Wat. Sci. And Tech.*, 48(1) (47-56)
- Landwirtschaftskammer NRW (2012), Landwirtschaft in NRW

Integration in die Stadt- und Freiraumplanung – was bedeutet NASS für die Stadt der Zukunft?

Antje Stokman,

Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Fakultät für Architektur und Stadtplanung, Universität Stuttgart, Keplerstr. 11, 70174 Stuttgart

1 Auseinandersetzung mit Wasserinfrastrukturkonzepten in der heutigen Praxis der Stadt- und Freiraumplanung

Die Frage der Integration von Wasserinfrastrukturkonzepten in die Stadtplanung stellt sich im heutigen Berufsbild und Ausbildungsweg des Architekten und Städtebauers eigentlich nicht. Unser heutiges zentrales Abwasserinfrastruktursystem ist bereits zu einem frühen Zeitpunkt zur unhinterfragten Voraussetzung für die städtische Bebauung geworden. Bereits „1890 kann Josef Stübben bei der Behandlung der Entwässerungsanlagen in seinem Buch `Der Städtebau´ ganz auf irgendeine Begründung für die Notwendigkeit der Einrichtung der Schwemmkanalisation verzichten“ (Rodenstein 1988). Mit dem zunehmenden Wachstum und der dadurch bedingten „Versumpfung“ der Städte im 20. Jahrhundert setzte sich das Ideal einer weitgehend unsichtbaren, isolierten und durch spezialisierte Ingenieurdisziplinen geplanten Wasserinfrastruktur durch und führte zu einem Verlust eines Verständnisses der Verflechtungszusammenhänge zwischen Stadträumen und Infrastruktursystemen (Heidenreich 2004, Graham/ Marvin 2001). Indem die unterirdische Schwemmkanalisation bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts zur regelmäßigen Voraussetzung für die städtische Bebauung geworden ist, wurden grundlegende Entscheidungen zur Ver- und Entsorgung komplett aus der Stadtplanung bzw. dem Städtebau ausgegliedert.

Das Ideal des „sauberen Urbanismus“ (de Meulder/ Shannon 2008) unserer modernen Städte beruht auf durch Ingenieure geplanten Infrastrukturen, die in den meisten Fällen unter der Erde verlaufen und Trink-, Regen- und Abwasser über Hunderte von Kilometern an- und abtransportieren ohne dass man etwas davon merkt. Architekten, Landschaftsarchitekten und Stadtplaner gehen bei ihren Entwürfen für die Gestaltung urbaner Stadtsysteme selbstverständlich von der Annahme aus, dass sauberes Wasser in jedem Fall verfügbar ist und Schmutz- sowie Regenwasser ent-

sorgt werden können, ohne dass sie sich Gedanken über das Woher und Wohin zu machen brauchen. Wasserinfrastruktursysteme sollen aus Sicht der Stadtplaner vorzugsweise unsichtbar funktionieren und keinerlei Einschränkungen für die vorgegebene städtebauliche Entwicklung darstellen – das ist ihre Erwartung an die Ingenieure (Picon 2005).

Entsprechend wird die Siedlungsentwicklung und die technisch-räumliche Organisation der Wasserinfrastruktur im Rahmen von eingespielten Planungsverfahren behandelt. Im Prozess der Flächennutzungsplanung, in der die Weichen für eine zukünftige Siedlungsentwicklung gestellt werden, wird nahezu automatisch von einer zentral organisierten Ver- und Entsorgung ausgegangen. Die Auseinandersetzung zur Abwasserbeseitigung verengt sich von vornherein darauf, wie notwendige Erweiterungen des Abwassersystems mit Planungen zur verkehrlichen Erschließung koordiniert werden können, ob die bestehenden Kanalquerschnitte ausreichen, ob die zentrale Kläranlage über genügend Aufnahmekapazitäten verfügt bzw. erweiterungsbedürftig ist, ob es zu Konflikten mit angrenzenden Nutzungen kommen kann und ob Flächen für zusätzliche Abwasseranlagen ausgewiesen werden müssen. Dabei wird die Ausweisung von Flächen für Abwasseranlagen auf Gebiete beschränkt, die aus stadtgestalterischen Gründen und aus Gründen der Geruchsbelästigung mit großem Abstand zu Siedlungsgebieten platziert wurden (Beneke et al. 2004).

2 Notwendigkeit der Reintegration von Wasserinfrastrukturkonzepten in die Stadt- und Freiraumplanung

Der Grundstein der bis heute fragmentierten Sichtweisen im Verhältnis zwischen Wasserinfrastruktur- und Stadtplanung wurde zur Zeit der Industrialisierung gelegt – einer Phase, die durch ein exponentielles Wachstum von Energie- und Stoffumsätzen, Emissionen und Immissionen, Bevölkerungszahlen und Konsumraten sowie urbaner Verdichtung gekennzeichnet war. Die heutige Stadt ist gekennzeichnet durch einen hohen Energieverbrauch und Wasserdurchsatz, einen Verlust der Erfahrbarkeit regionaler Wassersysteme und eine immer stärker werdende Ortslosigkeit von Orten bezogen auf ihren naturräumlichen Kontext. Vor dem Hintergrund der multidimensionalen Überlagerung urbaner Wachstums- und Schrumpfungsprozessen im 21. Jahrhundert stehen Infrastruktur- und Raumentwicklung jedoch vor veränderten und völlig neuen Herausforderungen (Kluge et al. 2003).

Die ursprünglich auf steigenden Wasserverbrauch und zunehmendes Siedlungswachstum ausgelegten Großsysteme der Wasserinfrastruktur stoßen in den entwickelten Ländern angesichts abnehmender Bevölkerungszahlen und Konsumraten sowie der durch Suburbanisierungs- und Schrumpfungsprozesse abnehmenden urbanen Dichte an ihre funktionalen Grenzen: Vor dem Hintergrund sinkender Wirtschaftskraft und wachsender Energiepreise sind schon jetzt viele Kommunen den daraus resultierenden Problemen der starken Zunahme von Fixkosten, der Beseitigung von Verkeimungserscheinungen und Geruchsproblemen in den Leitungen sowie den Betriebsproblemen überdimensionierter Kläranlagen kaum noch gewachsen (Koziol 2005). Gleichzeitig können andere Regionen der Welt, insbesondere die Entwicklungsländer, den Aufbau einer kostenintensiven, zentralen Infrastruktur nicht mit ihrem rasanten Wachstum synchronisieren – das sich zudem vor allem ungeplant und am stärksten im Bereich informeller Ansiedlungen der ärmsten Bevölkerungsschichten vollzieht. In vielen Großstädten rund um die Welt hinkt die Bereitstellung der notwendigen hydrologisch-technischen Infrastrukturen hinter dem immer schnelleren und planlosen Stadtwachstum hinterher, da der Bau von Rohrleitungsnetzen und Kläranlagen kostspielig ist und nicht so schnell erfolgen kann, wie es das Stadtwachstum oder der Verfall alter Anlagen eigentlich erfordert. Das führt dazu, dass vielerorts kostengünstigere Systeme mit offenen Abwasserkanälen, Klär- und Regenwasserauffangbecken gebaut und verschmutzte Flüsse in Betonkanälen zu sichtbaren Elementen der Stadtlandschaft werden (Stokman 2010). Insbesondere in den durch den Klimawandel am stärksten betroffenen ariden Gebieten der Welt übersteigt der enorme Wasserdurchsatz der zentralen Systeme schon heute bei weitem die zur Verfügung stehenden Wasserressourcen.

Angesichts der oben beschriebenen Herausforderungen wird zunehmend klarer, dass der enorme Wasserdurchfluss, Energie- und Materialaufwand in Kombination mit der mangelnden Flexibilität und Anpassungsfähigkeit großtechnischer Systeme mittlerweile zum Hemmnis für die nachhaltige urbane Entwicklung wird. Der Umwelthistoriker Rolf Peter Sieferle beschreibt eindrücklich die Rahmenbedingungen dieser zukünftigen Umbruchsituation: „Wenn Energie und die von ihr mobilisierten Stoffe wieder knapp sein werden, wird Dauerhaftigkeit nur noch auf solchen Aktionsfeldern zu erwarten sein, die mit geringem Material- und Energieeinsatz verbunden sind. Eine Gesellschaft des Informationsüberflusses und der Energieknappheit ist etwas so Neues, dass wir mit Blick auf die Vergangenheit nicht über sie lernen können, so dass die Landschaft der Zukunft völlig im Dunkeln bleibt“ (Sieferle 2003). Die gegenwärtige Situation erfordert mehr denn je neue Ideen und Ansätze, die genau die Schnittstellen zwischen der Gestaltung der räumlichen Entwicklung und der hydrologisch-infrastrukturellen Systeme betreffen.

3 Entwicklung großräumiger Wasserinfrastrukturkonzepte und integrierter Planungsstrategien

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts werden neue Konzepte zur Gestaltung „urbaner Wasserlandschaften“ entwickelt, auf deren Grundlage Wasserbauingenieure, Architekten, Stadtplaner und Landschaftsarchitekten sowie Umweltfachleute zusammenarbeiten. Die Notwendigkeit, preisgünstigere und flexiblere großstädtische Wasserleitungsnetze, Abwasserkanäle und Kläranlagen zu schaffen, kann als strategische Chance aufgefasst werden, neue Ideen für „blaue und grüne“ Infrastruktursysteme und deren Bau und Betrieb als integrierte Bestandteile der Stadtlandschaft zu entwickeln, die vielfältige ökonomische, ökologische und sozio-kulturelle Funktionen erfüllen und so die Lebensfähigkeit der Städte nachhaltig fördern.

In Deutschland erfolgte im Rahmen der Internationalen Bauausstellung (IBA) Emscher-Park die erste großräumige stadt-, regional- wie freiraumplanerische Auseinandersetzung mit der Abwasserbeseitigung, die sowohl von Aufwertungs- als auch von Nachhaltigkeitsüberlegungen beeinflusst war. Die Notwendigkeit, die prekäre Abwasserproblematik zu lösen, war Anlass für die regionale Erneuerungsstrategie „Emscher-Landschaftspark“, bei der Abwasserplanungen, Stadt- und Landschaftsentwicklung koordiniert wurden. Ziel war bzw. ist, die Emscher von einem offenen Schmutzwasserkanal wieder zu einem Fließgewässer umzubauen, das Abwasser in einem neuen unterirdischen Kanalsystem abzuleiten und in mehreren Großkläranlagen zu reinigen und den vom Schmutzwasser befreiten Gewässerlauf der Emscher und ihrer Nebenflüsse durch einen umfassenden Umbau des Stadtentwässerungssystems auf Basis einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zu speisen. Dabei wurden die Pumpen, Versickerungs- und Regenrückhalteanlagen sowie Klärwerke nicht nur als entwässerungstechnische Maßnahmen ausgebildet, sondern auch in einen siedlungsstrukturellen und stadtgestalterischen Zusammenhang eingebunden (Longdong/ Nothnagel 1999).

Für die Schmutzwasserbeseitigung wurde jedoch am zentral organisierten System festgehalten. Im Vergleich zu mittlerweile vielen guten Beispielen des großräumigen dezentralen Umgangs mit dem Regenwasser sind die Anzeichen der Auseinandersetzung mit einer großräumigen Dezentralisierung der Grau- bzw. Schmutzwasserbeseitigung und -reinigung noch kaum vorhanden. Experimentelle, städtische Siedlungsprojekte, die nicht an das zentrale Kanalnetz angeschlossen sind, sind bisher vergleichsweise kleinräumig und durch eine enge räumliche Verflechtung von Bebauung und Abwasserreinigungsanlagen gekennzeichnet. Die Forschung zu sanitär-

und abwassertechnischen Entwicklungen beschränkt sich bisher vor allem auf die technologische Dimension der Anlagenplanung. Die räumlichen Konsequenzen einer weitergehenden Dezentralisierung und Unabhängigkeit von einer Großtechnologie unter Einbeziehung stadt- und freiraumplanerischer Gesichtspunkten wurde bisher nur ansatzweise thematisiert (Beneke et. al. 2000, Cornel/ Wagner 2010). Dies verdeutlicht, dass die Stadt- und Freiraumplanung in ihrer Sichtweise auf das Abwasser immer noch eng mit der Perspektive der Siedlungswasserwirtschaft verbunden ist, die wenig Interesse am Rück- bzw. Umbau der bestehenden entwässerungstechnischen Infrastruktur zeigt.

4 Die Stadt- und Freiraumrelevanz alternativer Abwasserkonzepte zwischen High Tech und Low Tech

Mittlerweile steht eine Vielzahl von neuen sanitär- und abwassertechnischen Technologien und Methoden zur Verfügung, die für eine Abkehr von der vorherrschenden Abwasserbeseitigung und Abwasserreinigung in Betracht gezogen werden können. Low Tech Lösungen wie z. B. Pflanzenkläranlagen, Komposttoiletten und Abwasserteiche galten lange als Notbehelf bzw. Übergangstechnik für Gebiete, in denen der Anschluss an eine zentrale Ver- und Entsorgung vorerst nicht finanzierbar war und zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden sollte. Angesichts der oben beschriebenen Herausforderungen in Bezug auf die hohen Kosten zentraler Systeme rücken diese Technologien jedoch zunehmend in den Fokus. Der Vorteil dieser Techniken besteht darin, dass sie teilweise von den Nutzern in Eigenleistung erstellt werden können und damit vergleichsweise kostengünstig sind. High Tech Ansätze wie z. B. Vakuumsysteme und Membranfiltration, eröffnen die Möglichkeit einer umfassenden Wiederverwendung von Wasser und von Abwasserinhaltsstoffen, womit sogar die Aufgabe einer öffentlichen Trinkwasserversorgung denkbar wird (Wilderer 2004). Allerdings sind die dafür erforderlichen Technologien sowohl hinsichtlich ihrer Erstellung als auch ihres Betriebes an kostenintensives, hoch spezialisiertes Expertenwissen gebunden. Das heißt die Nutzung dieser Technik ist an einen entsprechenden Wohlstand der Bevölkerung gebunden.

Low und High Tech Maßnahmen stehen also gleichermaßen zur Diskussion und müssen im jeweiligen sozioökonomischen, kulturellen und räumlichen Kontext der lokalen Ausgangsbedingungen entwickelt werden. Das bedeutet dass die Stadtplanung nicht mehr automatisch auf eine weitgehend vereinheitlichte Stadtentwässerung

rung aufbauen kann. Vielmehr werden sich Stadtplanung und Siedlungswasserwirtschaft gemeinsam damit beschäftigen müssen welche Wasserinfrastrukturkonzepte angemessen sind und welche Konsequenzen sie für das Leben in den Städten haben. Ziel muss dabei sein, sich nicht auf gebäude- bzw. grundstücksbezogene Strategien zu beschränken, die sich aus unzähligen Einzel- bzw. Gruppenkonzepten zusammensetzen und die Gefahr bergen, hochgradig unübersichtlich zu werden. Eine flächendeckende Übertragung des Konzeptes dezentraler Lösungen bedeutet, dass die Anwendung zur Systemfrage und Bestandteil der großräumigen räumlichen Organisation von Stadt wird – und nicht nur Einzellösung bleibt wie in vielen bisherigen Pilotprojekten (Beneke 2006).

Eine dezentrale Neuorganisation der Wasserinfrastruktursysteme geht mit einer Zunahme von sichtbaren, oberirdischen, in den Stadtraum zu integrierenden Abwasseranlagen einher. Die urbanen Freiräume müssen verstärkt Versickerungsmulden, kombinierte Ableitungs- und Rückhalteelemente sowie Reinigungsanlagen integrieren und diese haben spürbare Auswirkungen auf den Charakter von Siedlungsräumen. Im Folgenden soll anhand von zwei Fallbeispielen aufgezeigt werden, dass freiraumrelevante Abwasserlösungen für die Stadtplanung alles andere als ein unlösbares Problem darstellen und sich hervorragend mit anspruchsvollen Stadt- und Freiraumkonzepten verknüpfen lassen.

Der Hobrecht-Plan und die Rieselfelder in Berlin

Bis zur Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert waren die technischen Speicher-, Fließ- und Reinigungsräume des urbanen Wassersystems ein zentraler Gegenstand architektonischer und planerischer Anstrengungen. Der Ingenieur James Hobrecht entwickelte auf der Grundlage des von ihm konzipierten, an der Topographie orientierten Stadtentwässerungssystems den berühmten ersten perspektivischen Bebauungsplan für Berlin („Hobrecht-Plan“ von 1862). Dieser basierte auf einer Kanalisation mit 12 Radialsystemen, die neue Stadtentwicklungsgebiete darstellten und jeweils über eine Pumpstation verfügten. Von diesen wurden das Hausabwasser und das Regenwasser über Druckleitungen nach außen zu den ebenfalls neu angelegten Berliner Rieselfeldern gepumpt. Dieses gesamtstädtische integrierte Entwässerungs- und Stadtentwicklungskonzept machte Berlin damals zur Stadt mit der modernsten Entwässerung und zur saubersten Stadt der Welt. Die Rieselfelder dienten nicht nur der Reinigung der Abwässer sondern gleichzeitig der landwirtschaftlichen Nutzung durch neu gegründete Stadtgüter. Es wurden unterschiedliche Kulturen angebaut, die Wege wurden zur Erholung der Stadtbewölkerung als Obstbaumalleen gestaltet, es wurden Teiche zur Fischzucht angelegt und weitere Nebenbetriebe wie Brennereien, Sägewerke, Mühlen und Milchwirtschaftsbetriebe.

Die Nutzung der Rieselfelder musste aufgrund der zunehmenden Menge und industriellen Belastung des Abwassers in den 1980er Jahren aufgegeben und durch Kläranlagen mit einer verbesserten Abwasserreinigung ersetzt werden. Seit Aufgabe der Rieselfeldnutzung hatte sich der Wasserhaushalt in diesen Gebieten stark verändert und war von Wassermangel bestimmt. Im Rahmen des Projekts „Wiederbewässerung der Rieselfelder Hobrechtsfelde“ werden durch die Bewässerung und Nachreinigung des Kläranlageablaufs wertvolle Feuchtgebiete erhalten und neue Naherholungslandschaften gestaltet. Dieses Konzept wurde im Rahmen einer landschaftsplanerischen Gesamtkonzeption entwickelt, die Abwasserreinigung, Naturschutz, Erholungsnutzung und Bewirtschaftung miteinander verbindet. Ca. 6000 m³ Wasser aus dem Klärwerk Schönerlinde werden pro Tag in einen Großen und Kleinen Reinigungsteich eingeleitet und biologisch in verschiedener Weise weiter gereinigt. Unterschiedliche Techniken und Gestaltungsmöglichkeiten von Bodenfiltern dienen der Erforschung unterschiedlicher Reinigungsleistungen verschiedener Strukturelemente und stellen einen abwechslungsreichen, attraktiven Landschaftsraum dar.

Integrierter Masterplan Stadtentwicklung und Wassermanagement in Changde, China

Changde ist eine blühende mittelgroße, typisch chinesische Stadt im Süden Chinas an den Ufern des mächtigen, hier 500 Meter breiten Yuan-Flusses. Der hier in den Yuan-Fluss mündenden Nebenfluss Chuanzi soll zum „Goldenen Gürtel“ der expandierenden Stadt entwickelt werden, für den Stadtplaner, Architekten und Landschaftsarchitekten das Konzept eines Uferparks mit angrenzenden Wohnsiedlungen und Einkaufszentren entworfen hatten. Allerdings ist der Chuanzi stark verschmutzt, weil Wasser aus 17 offenen Regen- und Abwasserreservoirs entlang des Flusses häufig in ihn überfließt, wenn die vorhandenen Pumpen zur Kläranlage den starken Monsunregen nicht mehr bewältigen und die Becken die Wassermassen nicht mehr zurückhalten können. Dies ist die Hauptursache für die Schadstoffbelastung des Flusswassers. Hinzu kommt, dass die offenen Betonbecken neben öffentlichen und privaten Freiflächen liegen und nicht nur einen äußerst unangenehmen Geruch verbreiten, sondern auch eine Gefahr für die Bewohner darstellen. In die Planungen für den neuen Uferpark am Chuanzi wurden diese Becken jedoch nicht mit einbezogen, und auch die beteiligten Ingenieure taten nichts, um die Becken zu sanieren, sondern planten zentrale High-Tech-Systeme, deren zeitnahe Umsetzung aufgrund der hohen Kosten jedoch unrealistisch ist.

Anstatt mit gewaltigen Investitionen verbundene Lösungen für ein zentrales Wasserversorgungs- und -entsorgungssystem und eine aufwendige Parkgestaltung vorzuschlagen, legte ein interdisziplinäres Team chinesischer und deutscher Fachleute einen neuartigen Rahmenplan mit konkreten Gestaltungsvorschlägen für eine urba-

ne Flussuferlandschaft vor, der zum Ziel hatte, die offensichtlichen Synergien zwischen erschwinglichen ingenieurtechnischen Bauten, ökologisch wertvollen Grünflächen und attraktiven öffentlichen Räumen zu nutzen. Die Reservoirs wurden durch Retentions- und Reinigungslandschaften erweitert, die Bestandteil des Uferparks sind. Durch die Einbeziehung dynamischer, natürlicher und sich selbst regulierender ökologischer Prozesse fungieren sie als „technische Biotope“, die Wasser speichern und klären, weniger Wartung und technische Inspektionen als konventionelle Reservoirs erfordern und zugleich den Bewohnern Erholung im Grünen bieten.

Der Sanierungs- und Umbauplan für das Klärbecken von Boziyuan zeigt, wie sich ohne großen Kosten- und Arbeitsaufwand die technische Effizienz der Anlage verbessern und gleichzeitig die Zugänglichkeit und ökologische Qualität des Uferparks am Chuanzi aufwerten lässt. Der Rahmenplan sieht vor, das vorhandene Becken in mehrere kleinere Becken zu unterteilen, die unterschiedliche Funktionen im Sinne von Retention, Überlauf und Reinigung beinhalten. Auf seinem Weg durch die hintereinander geschalteten Becken wird das Wasser immer sauberer und in guter Qualität in den Chuanzi Fluss eingeleitet. Während das stark verschmutzte Wasser unterirdisch gespeichert wird, stellen die mit Schilf und anderen Sumpfpflanzen gestalteten Pflanzenkläranlagen attraktive Elemente des geplanten Uferparks dar.

5 Zukunftsperspektiven der Entwicklung neuer Wasserinfrastrukturkonzepte als Ausgangspunkt für die Gestaltung urbaner Systeme

Das moderne Ideal eines „sauberen Urbanismus“ mit unsichtbaren Wasserversorgungsnetzen und Kläranlagen entkoppelt einerseits die Flächennutzung von den räumlichen Eigenschaften der Wassereinzugsgebiete und trennt andererseits das Landschaftserlebnis der Menschen von den wasserbedingten Prozessen in der Natur. Die oben beschriebene Notwendigkeit von realisierbaren und kostengünstigen Lösungen für die (Ab)Wasserprobleme der urbanen Landschaften bedeutet eine strategische Chance, Wassersysteme als eine grundlegende Komponente regionaler und urbaner Form neu zu denken. Die modernen Wasserversorgungs- und -reinigungsanlagen haben das Potenzial, die Stadtgestalt zu prägen und dabei übergreifende menschlich-soziale, ökologische und ästhetische Zielsetzungen zu erfüllen (Mossop 2006, Ahern 2007).

Neue Infrastrukturkonzepte in der Stadtplanung zu entwickeln bedeutet, dass Architekten, Stadtplaner und Landschaftsarchitekten sich nicht nur mit Wasser als Gestaltungselement sondern auch mit den technischen Aspekten seiner Speicherung, Reinigung und Ableitung vertraut machen müssen. Und dass Wasserbauingenieure nicht nur das effiziente Funktionieren technischer Systeme im Blick haben, sondern diese auch in ihrem kulturellen, sozialen, ästhetischen und ökologischen Kontext betrachten müssen.

Die hier vorgestellten Ansätze und Projekte zeigen, dass ein neuer Umgang mit dem Wassermanagement den Ausgangspunkt eines die Wasserinfrastruktur integrierenden Systems öffentlicher urbaner Freiräume darstellen kann. Kreative Entwurfsideen zur Steigerung der Leistungs- und Anpassungsfähigkeit der Wasserinfrastruktur durch eine gezielte Nutzung selbstorganisierter Naturprozesse in Verbindung mit einer attraktiven, nutzungsorientierten Gestaltung bieten kostengünstige Lösungen mit niedrigen Unterhaltungskosten. Die für den Bau neuer Städte und neuer Infrastrukturnetze in rasch wachsenden städtischen Ballungsräumen in aller Welt erforderlichen Investitionen bieten im Rahmen integrierter infrastruktureller Stadtplanungen die Chance, radikal neue räumliche Konfigurationen vorzugeben und damit die Zusammenarbeit zwischen Bauingenieuren, Umweltfachleuten, Stadtplanern, Architekten und Landschaftsarchitekten zu stärken (Nemcova/ Wust 2011). Dazu bedarf es der Entwicklung einer querschnittsorientierten Disziplin des „Infrastruktururbanismus“, die bei dieser Art von Bauprojekten eine Hauptrolle spielen könnte, da sie es versteht, natürliche, infrastrukturelle und gestalterische Anforderungen in räumliche Entwürfe zu integrieren. Die Verbindung von gewässerökologischen, siedlungswasserwirtschaftlichen, landschafts- und stadtplanerischen Anforderungen bietet die Chance, Wasserinfrastruktursysteme als urbane Landschaften zu gestalten.

6 Literatur

- Ahern, Jack (2007): „Green infrastructure for cities: The spatial dimension.“ In: Vladimir Novotny/Paul Brown (Ed.): *Cities of the future: Towards integrated sustainable water and landscape management*. London, S. 267–283.
- Angelil, M./Klingmann A. (1999): „Hybrid morphologies: infrastructure, architecture, landscape.“ In: *Daidalos* 73, S. 16–25.
- Beneke, Gudrun/Seggern, Hille v./Kunst Sabine (2004): *Abwasser als Bestandteil von Stadtlandschaft*. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens unter Mitarbeit von Ulrike Brüdern, Antje Stokman, Barbara v. Kügelgen, Eva Hacker. In: *Beiträge zur räumlichen Planung*. Schriftenreihe des Fachbereichs für Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der Universität Hannover. 2. unveränderte Auflage.

- Beneke, Gudrun (2006): Urbane Landschaften – Wasserräume entwerfen. Gestaltungsfeld Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Studienbrief im Rahmen des Fernstudiengangs WBBau, Universität Hannover
- Cornel, P.; Wagner, M. (2010): Endbericht „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas – Teilprojekt 2“, Technische Universität Darmstadt, Institut WAR.
- De Meulder, Brian; Shannon, Kelly (2008): “Water and the City: the ‘Great Stink’ and Clean Urbanism” in Water urbanisms edited by De Meulder, V. d’Auria, J. Gosseye and K. Shannon. SUN Publishers, Amsterdam, S. 5-9.
- Graham, Stephen/Marvin, Simon (2001): Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition. Routledge, London/New York.
- Heidenreich, Elisabeth (2004): Fließräume. Die Vernetzung von Natur, Raum und Gesellschaft seit dem 19. Jahrhundert. Campus Verlag, Frankfurt.
- Kluge, Thomas, u.a. (Matthias Koziol, Alexandra Lux, Engelbert Schramm und Antje Veit) (2003): Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Wasser. Berlin (netWORKS-Papers Nr. 2).
- Koziol, Matthias (2005): Rückbau der Infrastruktur. In: Oswald, Philipp (Hrsg.): Schrumpfende Städte. Band 2: Handlungskonzepte. Hatje Cantz Verlag, Ostfildern-Ruit.
- Longdong, Dieter/ Nothnagel, Annette (Hg.) 1999: Bauen mit dem Regenwasser. Aus der Praxis von Projekten. Internationale Bauausstellung Emscher Park. München
- Mossop, Elisabeth (2006): „Landscapes of Infrastructure.“ In: Charles Waldheim (Ed.): The Landscape Urbanism Reader. New York, S. 164–177.
- Nemcova, Eva; Wust, Christoph (2011): Green Lines, Red Dots. Water Infrastructure and Urban Landscape Development. In: The Journal of Cultural Comparative Studies in Architecture, (JCCS-a) 2011/5, S. 12-20
- Picon Antoine (2005): „Constructing Landscape by Engineering Water.“ In: Institute for Landscape Architecture, ETH Zürich (Ed.): Landscape Architecture in Mutation. Zürich, S. 99–114.
- Rodenstein, Marianne 1988: „Mehr Licht, mehr Luft“. Gesundheitskonzepte im Städtebau seit 1750. Campus-Verlag, Frankfurt a.M.
- Sieferle, Rolf Peter (2003): Die totale Landschaft. In: Oswald, Franz; Schüller, Nicola (Hrsg.): Neue Urbanität – das Verschmelzen von Stadt und Landschaft. Gta Verlag, Zürich, S. 75/76
- Stokman, Antje.: Dirty Design – Engaging water infrastructure systems as urban landscapes. In: IBA Hamburg (Hrsg.) 2010: Metropole: Metrozonen. Band 4 der IBA-Schriftenreihe. JOVIS, Berlin, S. 302-309
- Wilderer, Peter A. 2004: Abwassertechnik am Scheideweg – Entsorgung oder Wertstoffgewinnung. In: Akademie Journal 1/2004

DWA-A 272 – neues DWA-Arbeitsblatt zur Umsetzung neuartiger Sanitärsysteme

Thomas Hillenbrand,
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Fraunhoferstr. 1,
76131 Karlsruhe

1 Hintergrund

Neuartige Sanitärsysteme („NASS“) sind gekennzeichnet durch einen systembasierten Ansatz für einen ressourceneffizienten Umgang mit Abwasser. Sie bieten vielfältige neue Lösungsansätze sowohl bei einem Neubau von Gebäuden oder Quartieren als auch im Bestand. Sie sind allerdings noch nicht sehr weit verbreitet und werden bislang in der Regel noch nicht als vollwertige Alternative in siedlungswasserwirtschaftliche Planungen einbezogen.

Die bestehenden Systeme der Wasserinfrastruktur im urbanen Raum sind geprägt von technischen Komponenten, die sehr lange Nutzungsdauern aufweisen (bspw. von bis zu 100 Jahren bei Leitungs- und Kanalnetzen), und die nur bedingt an sich verändernde Umfeldbedingungen angepasst werden können. Gleichzeitig fallen erhebliche Investitionen zur Aufrechterhaltung dieser Systeme an, für Deutschland wurden die notwendigen Summen für das Jahr 2010 auf 2,0 Mrd € bzw. 4,5 Mrd € für den Bereich der öffentlichen Wasserversorgung bzw. Abwasserbeseitigung geschätzt (ATT et al., 2011). Diese Investitionen werden nur in geringem Umfang für die Bereitstellung neuer Netze und Anlagen, sondern vielmehr für die Sanierung und Instandhaltung der bestehenden Anlagen benötigt (nach Berger/Falk, 2011, weisen etwa ein Fünftel aller Kanalhaltungen in Deutschland kurz- bis mittelfristig zu sanierende Schäden auf). Aufgrund der eingeschränkten Flexibilität der Systeme ist deshalb nicht nur bei Neuanlagen, sondern auch bei anstehenden Reinvestitionen zu hinterfragen, wie sich wichtige Randbedingungen zukünftig verändern werden und welche konzeptionelle Anpassungen ggf. sinnvoll sind.

Diese sich verändernden Randbedingungen ergeben sich bspw. aufgrund des demografischen Wandels, durch den Klimawandel oder aufgrund weitergehender ökologischer Zielsetzungen. Die Flexibilität der siedlungswasserwirtschaftlichen Systeme, d. h. ihre Fähigkeit, an solche neuen Anforderungen anpassbar zu sein, wird deshalb zukünftig eine wichtige Rolle spielen (vgl. Hiessl et al., 2012; Hillenbrand et al,

2011). Für die Ausgestaltung und Weiterentwicklung der Systeme sind folgende Aspekte wesentlich:

- Die für konventionelle Systeme notwendigen hohen Anfangsinvestitionen, die vor allem für die Netzstrukturen (Leitungs- und Kanalnetze) benötigt werden, stellen Ausgaben dar, die nicht wieder rückgängig gemacht werden können („versunkene Kosten“). Verbunden mit den sehr langen Nutzungsdauern dieser Anlagen (bis teilweise über 80 Jahre) bedeutet dies eine hohe Inflexibilität, die sich bspw. bei weiteren Änderungen der Randbedingungen deutlich nachteilig auswirkt.
- Eine solche Änderung stellt der demografische Wandel dar, der sich in Deutschland deutlich auf die Nutzerzahlen für die Wasserinfrastruktur auswirkt bzw. auswirken wird. Dies kann zum einen zu betrieblich-technischen Problemen führen (geringere Nutzerzahlen bedeuten geringerer Wasserbedarf und geringere Abwassermengen, so dass es in Kanalnetzen bspw. zu Ablagerungen und damit verbunden zu Geruchs- und Korrosionsproblemen kommen kann), zum anderen bedeutet dies höhere finanzielle Belastungen für den einzelnen Nutzer, da aufgrund hoher Fixkosten und der Inflexibilität der bestehenden Systeme bei abnehmenden Nutzerzahlen nur geringe Einsparungen erreicht werden können.
- Die wichtigsten, von der Siedlungswasserwirtschaft erfassten Ressourcen – Wasser, Nährstoffe und Energie – werden bislang, wenn überhaupt, nur in geringem Umfang zurückgewonnen. Der hohe Wasserverbrauch spielt jedoch bereits heute in Wassermangelgebieten eine entscheidende Rolle, das fehlende Nährstoff-Recycling oder der hohe Energiebedarf werden zukünftig an Bedeutung gewinnen.
- Zusätzliche ökologische Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft ergeben sich aus der Relevanz der in den letzten Jahren nachgewiesenen Belastungen unserer Gewässer mit Mikroschadstoffen wie z. B. Arzneimittelrückstände, die zu einem großen Anteil über die Abwasserinfrastrukturen in die Gewässer eingeleitet werden. Bei verstärkten Freizeitnutzungen der Gewässer spielen außerdem die im gereinigten Abwasser verbleibenden hygienischen Belastungen eine erhebliche Rolle.

Diese Aspekte waren sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene Motivation für die Entwicklung und Umsetzung neuer siedlungswasserwirtschaftlicher Systemkonzepte. Entsprechende Forschungs- und Demonstrationsprojekten wurden bzw. werden in Deutschland bspw. in Lübeck, Eschborn, Freiburg, Berlin, Lamberts-mühle, Berching, Knittlingen oder in Hamburg umgesetzt (vgl. Blume/Winker, 2011; Hillenbrand et al., 2009; Londong, 2009; Mohr, 2012; Oldenburg et al., 2008; Oldenburg et al., 2003; Peter-Fröhlich et al., 2008; Schonlau et al., 2008)⁶. Diese

⁶ vgl. auch: www.flintenbreite.de; www.DEUS12.de;
www.burscheid.de/deutsch/tourismus/lambertsmuehle/forschungsprojekt.html

Konzepte sind ausgerichtet an den Prinzipien einer Kreislaufwirtschaft, der Verbesserung der Ressourceneffizienz und der ganzheitlichen Betrachtungsweise des Gesamtsystems. Bestandteil dieser Konzepte ist eine stärkere Trennung der verschiedenen Abwasserteilströme, teilweise bis hin zu einer getrennten Ableitung von Gelbwasser (Urin mit Spülwasser), Braunwasser (Fäzes mit Spülwasser), Grauwasser (häusliches Abwasser ohne Fäkalien) und Regenwasser.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über den Stand der Arbeiten der DWA hinsichtlich Neuartiger Sanitärsysteme gegeben. Im Anschluss daran werden die Ziele und die wesentlichen Inhalte des geplanten neuen Arbeitsblattes A 272 beschrieben. Die Umsetzung neuer Wasserinfrastrukturkonzepte ist gleichbedeutend mit sehr weitreichenden, komplexen Innovationen (neue technische Ausrichtung, große Zahl betroffener Akteure, umfassender rechtlicher Rahmen, etc.). Eine breitere Umsetzung solcher Konzepte wird deshalb künftig nicht nur von den direkten ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der unterschiedlichen, zur Auswahl stehenden Konzepte abhängen, sondern auch von der Einbettung dieser Systeme in das sonstige Umfeld und den hier bestehenden Hemmnissen (z. B. rechtlicher Rahmen, relevante technische Regelwerke, Akteursstruktur, etc.). Entsprechende Aspekte werden deshalb zusätzlich betrachtet.

2 Arbeiten der DWA im Bereich NASS

Vom technisch-wissenschaftlichen Fachverband im Abwassersektor, der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) wurden die Entwicklungen aufgegriffen und unter dem Begriff Neuartige Sanitärsysteme („NASS“) zusammengefasst⁷. Von Seiten des neu eingerichteten Fachausschusses KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme – NASS“ wurde mit mehreren Arbeitsgruppen eine Beschreibung der bislang entwickelten und erprobten Systeme und Systemkomponenten und eine Analyse wichtiger Rahmenbedingungen insbesondere hinsichtlich einer Systemintegration der neuen Konzepte erarbeitet. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen lag dabei auf dem deutschsprachigen Raum. Die Ergebnisse sind im Themenband „Neuartige Sanitärsysteme“ systematisch aufgearbeitet und beschrieben (DWA, 2008). Diese Zusammenstellung zeigt die vielfältigen Systemvarianten und die notwendigen Systemkomponenten auf. Es wird deutlich, dass situations- und zielange-

7 Weitere gebräuchliche Bezeichnungen sind bspw. Alternative Wassersysteme (AWS), Nachhaltige Sanitärsysteme, Decentralised Sanitation and Reuse (DeSa/R), Ecological Sanitation (ecosan), Innovative oder Ökologische Sanitärkonzepte oder Sustainable Sanitation (SuSan).

passte Lösungen auf Basis der Ressourcenorientierung möglich sind. Zusätzlich wurden die für die Bewertung entsprechender Systeme relevanten Kriterien identifiziert bis hin zu einer ersten, halbquantitativen Bewertung der Konzepte (DWA, 2008).

Im Rahmen der Arbeiten der DWA wurden außerdem mögliche Fallbeispiele beschrieben, in denen aufgrund besonderer Problemlagen der Einsatz solcher neuartiger Konzepte besonders sinnvoll erscheint. Insgesamt wurden 7 Fallbeispiele aufgelistet (s. Tabelle 1).

Zusätzlich wurde von der DWA eine Broschüre aufgelegt, in der die Beweggründe für die Entwicklung neuer Systeme, ihre Zielrichtung und Praxisbeispiele kurz beschrieben werden („Brauchen wir in Deutschland neuartige Sanitärsysteme?“; DWA, 2010).

Tabelle 1: Mögliche Anwendungsbeispiele neuartiger Sanitärsysteme (NASS) nach Ergebnissen der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 „Systemintegration“ im DWA-Fachausschusses KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“ (DWA, 2008)

1	Schrumpfende Mittelstadt	stark rückläufige Bevölkerungszahlen, überdimensionierte Ver- und Entsorgungsstruktur, Unterauslastung der Netze und Anlagen, starke betriebliche Probleme bei Wasserver- und Abwasserentsorgung
2	Wachsende Großstadt	Bevölkerungszuwachs, Verdichtung der Innenstadt und Ausweitung der Stadtrandgebiete, vermehrt auftretende Starkregenereignisse infolge lokaler Klimaänderungen
3	Ländliche Kommune	Bevölkerungsstruktur weitgehend stabil, schlechter Zustand der Abwasserinfrastruktur (sanierungsbedürftig), hoher Fremdwasseranteil
4	Neubaugebiet 1	starke Auslastung der vorhandenen Kanalisation und der Abwasserbehandlungsanlage, Anschluss eines weiteren Neubaugebiets schwierig
5	Neubaugebiet 2	vorhandene Kläranlage bzgl. Stickstoffelimination stark ausgelastet
6	Berg- und Ausflugsregion mit starken Belastungsvariationen	erhebliche Steigerung der Abwasserbelastung nach Beginn der Saison, insbesondere Probleme bei der Stickstoffelimination
7	Entkernung großer Wohnblöcke	starker Sanierungsbedarf, Strategie der Wohnungsbau-gesellschaft: komplette Entkernung des Gebäudes

3 Zielsetzung des DWA-A 272

Entsprechend dem vorgesehenen Titel („Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme“) werden in dem Arbeitsblatt die Grundprinzipien dieser Systeme, Anwendungsempfehlungen sowie Hinweise für ihre Bemessung, ihre Bewertung sowie für ihre Einbindung in Planungsprozesse beschrieben. Ein wichtiges Ziel ist dabei, die Besonderheiten von NASS gegenüber konventionellen Systemen sowohl in der Konzeptions- und Planungsphase als auch bei Implementierung und Betrieb herauszuarbeiten. Das Arbeitsblatt enthält dagegen keine detaillierten Bemessungshinweise für die einzelnen technischen Komponenten neuartiger Konzepte. Die große Vielfalt der möglichen Ansätze und die Dynamik der Entwicklung in diesem Bereich würde zum einen den Rahmen eines Arbeitsblattes sprengen, zum anderen könnten (Weiter-)Entwicklungen durch ein zu frühzeitiges Eingrenzen der Technik behindert werden. Stattdessen ist vorgesehen, dass diese Entwicklungen weiterhin von DWA-Arbeitsgremien begleitet und in ergänzenden Papieren dokumentiert werden.

Zielgruppe des Arbeitsblattes sind Akteure wie Planer, Hersteller und Bauherren, die direkt für die Umsetzung von Wasserinfrastruktursystemen verantwortlich sind, sowie Ver- und Entsorger, Behörden und Stadtplaner, in deren Verantwortungsgebiete sich Chancen für die Umsetzung Neuartiger Sanitärsysteme ergeben könnten.

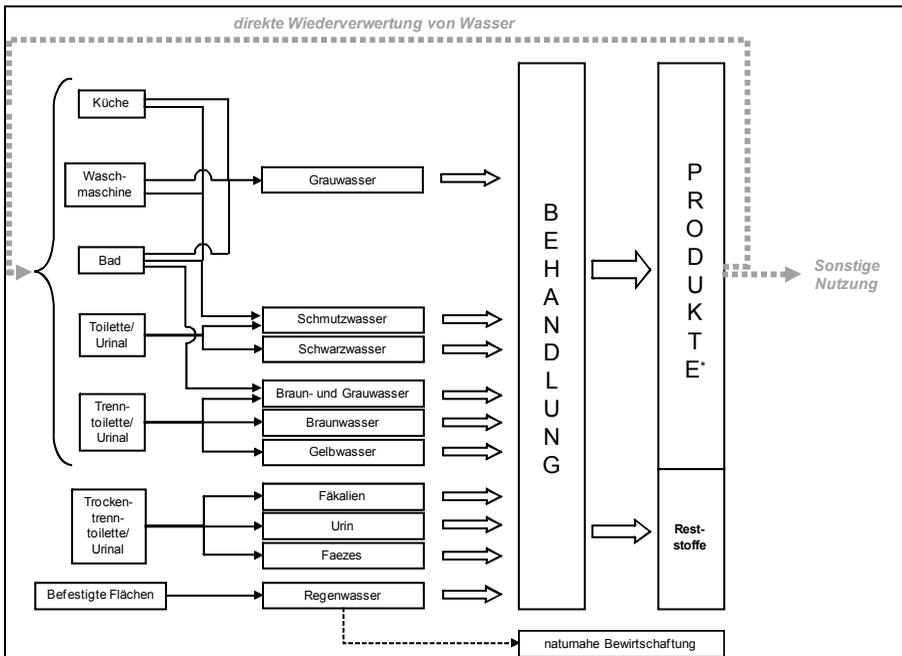
4 Inhalte des Arbeitsblattes DWA-A 272

Folgende Gliederung ist für das DWA-A 272 vorgesehen:

- Anwendungsbereich
- Zielsetzung Neuartiger Sanitärsysteme
- Begriffe/Glossar
- Übersicht über Grundprinzip und Systemgestaltung Neuartiger Sanitärsysteme
- Anwendungsempfehlungen für NASS
- Hinweise für die Bemessung
- Grundsätze der Bewertung und Entscheidungsunterstützung
- Rechtliche Rahmenbedingungen

- Berücksichtigung Neuartiger Sanitärsysteme im Planungsprozess der Abwasserentsorgung
- Fazit und Empfehlungen

Zur Verdeutlichung der grundsätzlichen Herangehensweise wurde das in Bild 1 dargestellte Schema erstellt: Darin sind die Möglichkeiten zur Trennung unterschiedlicher Abwasserteilströme mit der Zielsetzung einer gezielten Behandlung zur Gewinnung von Produkten aufgezeigt. Je nach Ansatz können die Konzepte in 1-, 2- oder 3-Stoffstromsysteme unterschieden werden, jeweils mit der Zielsetzung, die im Abwasser enthaltenen Ressourcen für eine Wiederverwertung zurückzugewinnen. Die aus den unterschiedlichen Ausgangsströmen zu gewinnenden Produkte sind in Tabelle 2 aufgelistet.



*) Wasser, Inhaltsstoffe, Energie

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Möglichkeiten zur getrennten Erfassung von Abwasserteilströmen im Rahmen Neuartiger Sanitärsysteme (Quelle: Entwurf DWA-A 272)

Tabelle 2: Die wichtigsten im Rahmen von NASS erzielbaren Produkte und relevante Ausgangsstoffströme (Quelle: Entwurf A 272)

NASS-Produkte	Ausgangsstoffstrom
nährstoffreicher Dünger (NPK)	Gelbwasser/Urin
	Fäkalien
	Schwarzwasser
	Schmutzwasser
Bodenverbesserer (nährstoffarmer Dünger)	Faezes
	Braunwasser
	Gemisch aus Braun- und Grauwasser
Biogas	Braunwasser
	Schwarzwasser
	Gemisch aus Braun- und Grauwasser
	Fäkalien
	Faezes
	Schmutzwasser
thermische Energie (Abwärme)	Grauwasser, schwach oder stark belastet
	Gemisch aus Braun- und Grauwasser
	Schmutzwasser
Brauch/Pflegewasser	Regenwasser
	Grauwasser, schwach oder stark belastet
Betriebswasser	Regenwasser
	Grauwasser, schwach oder stark belastet
	Gemisch aus Braun- und Grauwasser
	Schwarzwasser
	Braunwasser
	Schmutzwasser
gereinigtes Abwasser	Schmutzwasser
	Gemisch aus Braun- und Grauwasser
	Grauwasser, schwach oder stark belastet
	Schwarzwasser
	Braunwasser

Wesentlicher Inhalt des Arbeitsblattes ist eine Auflistung der fördernden und erschwerenden Bedingungen unter dem Punkt „Anwendungsempfehlungen für NASS“. NASS sind bislang überwiegend im Rahmen von Neuerschließungen geplant und realisiert worden. Die Anwendung im Siedlungsbestand ist vor allem bei vorgesehenen umfassenden Sanierungen und Modernisierungen möglich oder wenn Kapazitätsengpässe in den bestehenden Infrastrukturanlagen vorliegen. Bspw. kann ein Systemwechsel sinnvoll sein, wenn sich durch Schrumpfungsprozesse das vorhandene System erheblich verteuert (Fixkostenfalle) oder ggf. wegen funktionaler Probleme eine vorzeitige Erneuerung ansteht. Konkrete Problemstellungen innerhalb bestehender Systeme können ebenfalls NASS befördern, wie z. B. betriebliche Probleme in einer Abwasserbehandlungsanlage aufgrund einer unausgewogenen Nährstoffzusammensetzung oder das Erreichen von Kapazitätsgrenzen. Hier kann die Separation und getrennte Behandlung/Verwertung des Teilstroms, der zu dem ungünstigen Nährstoffverhältnis führt, eine Lösung darstellen (bspw. bietet sich bei einem Überangebot an Stickstoff die Separation von Gelb- oder Schwarzwasser an). Unter dem Aspekt „Demografischer Wandel“ wäre dagegen eine hohe Leerstandsrate von Gebäuden und ein stark rückläufiger Wasserbedarf/Abwasseranfall und der daraus entstehende Anpassungsbedarf für die Umsetzung von NASS förderlich, in einer wachsenden Region mit freien Kapazitäten in der bestehenden Infrastruktur ist der Handlungsdruck dagegen deutlich geringer. Wichtige Schlussfolgerung der Auswertung ist die Empfehlung, die Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme im Planungsprozess zu prüfen, sobald mehrere der günstigen Voraussetzungen im konkreten Anwendungsfall erfüllt sind.

Werden NASS im Planungsprozess berücksichtigt und konventionellen Konzepten gegenübergestellt, sind bei einer vergleichenden Bewertung alle relevanten Kriterien einzubeziehen. Aufgrund der Zielsetzung von NASS, verwertbare Produkte zu erzeugen, sind vereinfachte Bewertungsansätze, die bspw. von einer Nutzengleichheit der verschiedenen Alternativen ausgehen, nicht ausreichend. Das Arbeitsblatt enthält eine Liste von Bewertungskriterien, aus denen die für den Einzelfall relevanten auszuwählen sind.

Die Besonderheiten neuartiger Sanitärsysteme sind auch im Planungsprozess zu berücksichtigen. Im Arbeitsblatt sind diese näher beschrieben und in Anlehnung an die Darstellung der Arbeitsschritte einer integralen Entwässerungsplanung (vgl. DWA 2006) zusammengefasst worden (s. Bild 2). Zusätzlich wird im Arbeitsblatt deutlich gemacht, dass die Umsetzung von NASS Auswirkungen auch auf andere Fachgebiete wie z. B. Stadt- und Freiraumplanung (Freiflächen für die Regenwasserbewirtschaftung und ggf. notwendige semi-zentrale Behandlungsanlagen), Architektur (z. B. Ver-/Entsorgungsleitungen für unterschiedliche Wasser-/Abwasserteilströme), Abfall- und Ressourcenwirtschaft (Mitbehandlung organischer Haushaltsabfälle in NASS),

Landwirtschaft (Verwertung zurückgewonnener Nährstoffe, gemeinschaftliche Biogasanlagen) oder auch Energieversorgung (Abwärmenutzung aus Abwasser, Biogaserzeugung) hat. Eine frühzeitige Einbindung dieser Akteure ist deshalb unbedingt erforderlich.

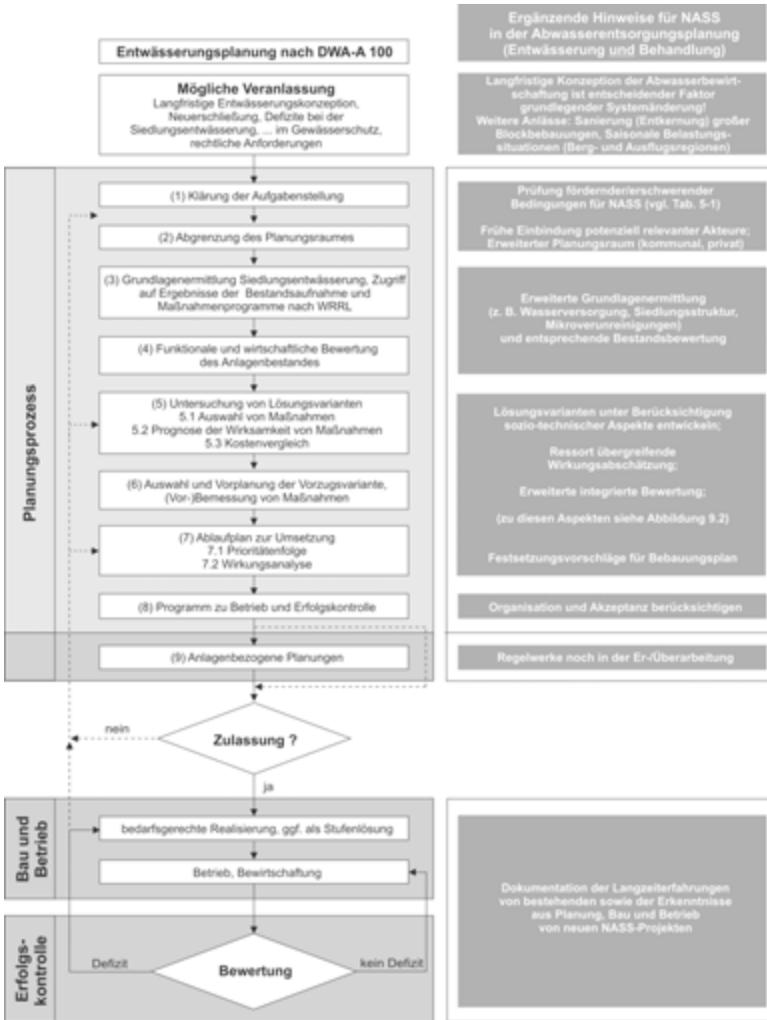


Abbildung 2: Hinweise für NASS im Planungsprozess der Abwasserentsorgung (Quelle: Entwurf A272)

5 Hemmnisse bei der Umsetzung von NASS

Die Verfügbarkeit eines DWA-Arbeitsblattes könnte eine wichtige Rolle für eine breitere Umsetzung Neuartiger Sanitärsysteme spielen. Untersuchungen zeigen, dass in der Vergangenheit rechtliche Vorgaben und Kostensenkungspotenziale die wesentlichen Triebkräfte für die Einführung technischer Neuerungen im Abwasserbereich waren (vgl. Sartorius/Hillenbrand, 2008). Dabei betrafen diese Neuerungen i.d.R. Weiterentwicklungen und Ergänzungen des bestehenden Systems (z. B. Nährstoffelimination), die ohne wesentliche Veränderungen am System selbst umgesetzt werden konnten.

Für die beschriebenen neuen Systemkonzepte stellt sich die Situation deutlich anders dar. Wesentlicher Antrieb für diese Entwicklungen waren und sind ökologische Aspekte (Recycling von Nährstoffen, Energieeffizienz) sowie eine Erhöhung der Flexibilität, ohne dass jedoch bislang entsprechende weitergehende rechtliche Forderungen absehbar sind (auch wenn hinsichtlich des Recyclings von Phosphor aktuell rechtliche Anforderungen diskutiert werden). Gleichzeitig bedeuten diese Ansätze deutliche Veränderungen am zugrunde liegenden Gesamtkonzept und sind, da in Deutschland die Wasserinfrastruktur bereits weitgehend errichtet ist, mit einem erheblichen zusätzlichen Aufwand bei der Implementierung verbunden. Die spezifischen Investitions- und Betriebskosten würden erst bei einer stärkeren Verbreitung aufgrund der damit erreichbaren Lern- und Skaleneffekte sinken. Um diese gegenseitige Abhängigkeit von geringer Verbreitung, dadurch bedingten hohen Kosten, die wiederum eine größere Verbreitung verhindern, zu durchbrechen, könnte ähnlich wie bspw. bei den erneuerbaren Energien eine gezielte öffentliche Förderung ein angemessenes Mittel darstellen. Zusätzlich sind dabei folgende Aspekte zu beachten:

- Insbesondere bei der Errichtung von Anlagen zur Abwasserentsorgung wurden bzw. werden in erheblichem Umfang öffentliche Fördermittel eingesetzt. Die Vergabe dieser Mittel ist bislang jedoch an den Randbedingungen der konventionellen Konzepte orientiert.
- Eine Erweiterung von Aus- und Fortbildung notwendig, um bspw. Planer und Handwerker über die neuen Entwicklungen zu informieren (Anpassung der Inhalte von Studiengängen, Handwerkeraus- und -fortbildung).
- Die Wirtschaftlichkeit der Konzepte mit Nährstoffrückgewinnung wird auch durch die Preise der zurückzugewinnenden Ressourcen beeinflusst. Die Rohstoffpreise unterlagen in den letzten Jahren jedoch starken Schwankungen und Prognosen der künftigen Preise sind sehr schwierig, so dass Investitionen in den Ersatz primärer Rohstoffe durch sekundäre Substitute mit einem erheblichen Risiko behaftet.

- Die bestehenden Organisationsstrukturen im Bereich der Wasserinfrastruktur sind an die bestehenden Konzepte angepasst. Die Akzeptanz der neuen Konzepte bei den Betreibern ist deshalb von großer Bedeutung. Neue Systeme, bei denen bspw. eine engere Kopplung mit anderen Infrastruktursektoren notwendig ist oder die auf dem Betrieb (semi-)dezentraler Anlagen aufbaut, bedingen ggf. Veränderungen. Eine Lösung dafür könnten bspw. Contracting-Modelle sein, die im Bereich dezentraler Abwassersysteme in ersten Pilotanwendungen eingesetzt werden (Hillenbrand, Niederste-Hollenberg, 2012).
- Wichtiger Baustein für eine verbesserte Akzeptanz ist die Erarbeitung technischer Normen, die für die Planung und Genehmigung entsprechender Anlagen eine entscheidende Rolle spielen. Durch die Arbeiten der DWA in diesem Gebiet und die geplante Veröffentlichung des A272 ist hier zukünftig mit Fortschritten zu rechnen. Für die Erarbeitung zusätzlicher Regelwerke werden allerdings weitere Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb entsprechender Systeme benötigt.

6 Fazit

Vor dem Hintergrund der anstehenden Herausforderungen für unsere Wasserinfrastruktursysteme werden derzeit sowohl national als auch international neue Systemansätze und Konzepte entwickelt und in Demonstrationsprojekten erprobt. Diese Konzepte sind in der Regel komplexe technische Systeme an der Schnittstelle zwischen öffentlichem und privatem Bereich, teilweise gekoppelt mit anderen Infrastrukturbereichen (Abfallentsorgung, Energieversorgung) und verbunden mit Auswirkungen sowohl für die eigentlichen Nutzer, als auch für andere Akteursgruppen wie Betreiber, Kommunen oder Behörden.

Insbesondere aufgrund der geringen Erfahrungen, die mit solchen Konzepten bislang vorliegen, treten bei der Umsetzung zahlreiche Hemmnisse auf. Umso wichtiger ist es, durch die Anwendung in Bereichen mit besonderen Randbedingungen, in denen die Vorteile der neuen Ansätze von größerer Bedeutung sind, zusätzliche Praxiserfahrungen zu sammeln. Nur dadurch können technische Weiterentwicklungen realisiert und die für eine breitere Umsetzung notwendigen Erfahrungskurveneffekte erzielt werden. Eine aus ökologischer Sicht, aber auch aus Sicht der deutschen Wasserwirtschaft insgesamt anzustrebende, breitere internationale Anwendung der neuen ressourcenorientierten Konzepte (z. B. in Regionen mit Wasser- oder Nährstoffknappheit) setzt den Nachweis der Praxistauglichkeit im eigenen Land voraus. Wasserinfrastruktursysteme sind eingebettet in ein sozio-technisches System (recht-

liche Grundlagen, technisches Regelwerk, institutionelle und organisatorische Einbindung, etc.), das für die Umsetzung neuer Systeme angepasst und weiterentwickelt werden muss. Ein wichtiger Schritt dazu ist die Erarbeitung eines entsprechenden technischen Regelwerks.

7 Literatur

- ATT/BDEW/DBVW/DVWG/DWA/VKU (Hrsg.) (2011): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2011. Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- Berger, C.; Falk, C. (2011): Zustand der Kanalisation – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (58), H. 1, S. 24-39
- Blume S., Winker M. (2011): Three years of operation of the urine diversion system at GTZ headquarters in Germany: user opinions and maintenance challenges. *Water Science & Technology* 64, pp. 579-589.
- DWA (2006): Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE). Arbeitsblatt A 100. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA (2008): Neuartige Sanitärsysteme. DWA-Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA (2010): Brauchen wir in Deutschland neuartige Sanitärsysteme? Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- Hiessl, H.; Hillenbrand, T.; Klug, S.; Lange, M.; Vöcklinghaus, S.; Flores, C.; Weilandt, M. (2012): Nachhaltige Weiterentwicklung kommunaler Wasserinfrastrukturen – Strategischer Planungsprozess unter Einbindung aller wesentlichen Akteure. *energie | wasser-praxis*, 4/2012, S. 13-17
- Hillenbrand, T.; Niederste-Hollenberg, J. (2012): Stand und Perspektiven dezentraler Abwassersysteme. In: 13. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium, Tagungsband
- Hillenbrand, T.; Niederste-Hollenberg, J.; Holländer, R.; Lautenschläger, S.; Galander, C. (2011): Demografischer Wandel – Auswirkungen und Lösungsansätze für die Abwasserinfrastruktur. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (58), H. 12, S. 1132-1138
- Hillenbrand, T.; Sartorius, C.; Hiessl, H. (2009): Anwendungspotenziale für neue Systemkonzepte in Deutschland. In: Abwasserrecycling – Chancen und Risiken. Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig 77, pp. 143-159

- Londong, J. (2009): Neue Konzepte zur Abwasserentsorgung, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser Band 218, Aachen 2009, Seite 3/1 – 3/8, ISBN 978-3-938996-24-9
- Sartorius, C.; Hillenbrand, T. (2008): Abwasserentsorgungstechnologie im Elbegebiet – Bestand und Entwicklung. KA: Abwasser, Abfall 55 (2008), 4, S. 381-386
- Mohr, M. (2012): Urbane Wasserinfrastruktursysteme. wwt, 7-8/2012, S. 37- 38
- Oldenburg, M.; Bastian, A.; Londong, J.; Niederste-Hollenberg, J. (2003): Neue Abwassertechnik am Beispiel der "Lambertsmühle". GWF Wasser Abwasser, 144, Nr. 10, S. 660-665
- Oldenburg, M.; Albold, A.; Wendland, C.; Otterpohl, R. (2008): Erfahrungen aus dem Betrieb eines neuen Sanitärsystems über einen Zeitraum von acht Jahren. Korrespondenz Abwasser Abfall, Nr.10, S.1100-1106
- Peter-Fröhlich, A.; Pawlowski, L.; Bonhomme, A.; Oldenburg, M. (2008): Seperate Erfassung und Behandlung von Urin, Braun- und Grauwasser. Erfahrungen aus einem EU-Demonstrationsprojekt. Korrespondenz Abwasser Abfall (10), S. 1106-1112
- Schonlau, H.; Rakelmann, U.; Li, Z.; Giese, T.; Werner, T.; Augustin, K.; Günner, C. (2008): Pilotprojekt für ein ganzheitliches Entwässerungskonzept in Städten. Korrespondenz Abwasser Abfall, Nr.10, S.1095-1099
- Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand, Fraunhofer ISI, Karlsruhe; Sprecher der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 "Systemintegration" im Fachausschusses KA-1 "Neuartige Sanitärssysteme"*

Mitglieder der Arbeitsgruppe KA 1-4:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn (TU Braunschweig), Jörg Felmeden (ISOE, Frankfurt), Inka Kaufmann Alves (TU Kaiserslautern), Bernd Kirschbaum (Umweltbundesamt, Dessau/Berlin), Dr. Günter Langergraber (Universität für Bodenkultur Wien), Sabine Lautenschläger (Universität Leipzig), Dr. Max Maurer (EAWAG, Zürich), Silke Neuhausen (Emschergenossenschaft, Essen), Dr.-Ing. Julia Sigglow (TU Dortmund), Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz (Universität Stuttgart), Christian Flores (Emschergenossenschaft, Essen)

Welche NASS sind für Deutschland besonders erfolgsversprechend?

Jana von Horn, Max Maurer, Eawag, Überlandstrasse 133, Postfach 611,
8600 Dübendorf, Schweiz

Sabine Lautenschläger, Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement,
Universität Leipzig, Grimmaische Str. 12, 04109 Leipzig

Heidrun Steinmetz, Lehrstuhl für Siedungswasserwirtschaft und Wasserrecycling,
Universität Stuttgart, Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

Jörg Londong, Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 7, 99423 Weimar

Thomas Hillebrand, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI),
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Thomas Dockhorn, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität
Braunschweig, Pockelsstraße 2a, 38106 Braunschweig

Am 22. Juni 2012 trafen sich ca. 40 Mitglieder und Gäste des DWA KA-1 Fachauschusses um der Frage nachzugehen, welche NASS für Deutschland besonders erfolgsversprechend seien. Am Workshop wurde intensiv über Treiber und Hemmnisse, Anwendungsfälle sowie über den technischen Stand von neuartigen Sanitärsystemen in Deutschland diskutiert. Weiterhin wurden in einer kreativen Arbeitsphase fiktive Szenarien entworfen, die aufgrund der an dem Workshop teilnehmenden Experten einen vielversprechenden Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung der Systeme bieten.

Hintergrund der Workshop-Frage *„Welche NASS-Systeme/Technologien werden sich bis ins Jahr 2025 am stärksten im deutschen Markt verbreitet haben?“* war es, dasjenige oder diejenigen Systeme zu ermitteln, das oder die in dem angegebenen relativ kurzen Zeitraum bei begrenzten Mitteln das größte Umsetzungspotenzial aufweisen und sich somit im Markt schnell etablieren könnten. Somit galt es nicht unbedingt das Beste, sondern das innerhalb dieses Zeitraums realisierbare System zu identifizieren. Durch eine forcierte Realisierung dieser erfolgsversprechenden Systeme könnte die Umsetzung von NASS insgesamt gefördert werden. Entsprechend hatte der Workshop folgende Arbeitsphasen:

- Diskussion und Definition der relevantesten Treiber und Anwendungsfälle,
- Erarbeitung von detaillierten NASS-Anwendungsszenarien,
- Identifizierung der NASS-Systeme, die sich gemäß den KA-1 Experten am ehesten in den nächsten 13 Jahren durchsetzen werden und
- Diskussion der NASS-Umsetzung im deutschsprachigen Raum (D-A-CH).

Der Entwurf möglicher NASS-Systeme orientierte sich an den in diesem Zeitrahmen zu erwartenden bzw. gegebenen Rahmenbedingungen (bspw. zu berücksichtigen sind als Anlagen verfügbare Technologien/Verfahren, Infrastruktur- und Gebäudebestand, Nutzerbedürfnisse und -verhalten, (umwelt-)rechtliche Vorgaben). Es waren realistische, nicht zwingend „optimale“ Anwendungsszenarien zu identifizieren.

Der Workshop hat zu einem intensiven Austausch der beteiligten Experten beigetragen. In Gruppenarbeit und Diskussionen konnten die drei derzeit wichtigsten Kertreiber eindeutig identifiziert werden:

1. *Anpassungsfähigkeit*: Anpassungsfähigkeit beinhaltet die Skalierbarkeit und
2. Flexibilität des Gesamtsystems. (Lässt sich ohne erhebliche Aufwendungen erweitern
3. oder verkleinern oder an veränderte Abwasserzusammensetzung bzw. Mengenänderungen anpassen?)
4. *Ressourcenzückgewinnung*: Umfasst die Verwertung von Wertstoffen wie
5. Stickstoff und Phosphor, die Erzeugung von Energie sowie das Recycling von
6. behandeltem Abwasser hinsichtlich der Rückgewinnung von Nährstoffen und Wasser.
7. *Betriebswirtschaftliche Bilanz*: Neuartige Sanitärsysteme bieten Optionen
8. für neue Wertschöpfungsketten: Recycling von Wasser, Nährstoffen, Nutzung von
9. Energie sowie Integration der Verwertung von organischen Abfällen.

Schwieriger war es, bevorzugte Anwendungsfälle klar zu definieren. Folgende Anwendungsfälle wurden von den Workshop-Experten als wichtige Anwendungsfälle für den Einsatz von NASS-Systemen in den nächsten 13 Jahren gesehen:

- Systemumstellung von ländlichen Gemeinden mit bis zu 2000 Einwohnern
- Leuchtturmprojekte, Einzelprojekte
- Konversionsflächen (z. B. Militärbrachen, innerstädtische Flächen), Umnutzung bei zumindest teilweise vorhandener Infrastruktur
- Neubaugebiet für 200 bis 500 Einwohner

Für diese Anwendungsfällen wurden dann die in einer Gruppenarbeitsphase NASS-Systeme erarbeitet, die bis 2025 realisiert werden könnten. Folgend eine Kurzbeschreibung der vielversprechendsten NASS-Szenarien:

- *Systemumstellung in schrumpfender ländlicher Gemeinde (Dorf)*: Dezentrale Grauwasseraufbereitung mit Wasserrückgewinnung, Vakuumtransport von Schwarzwasser zu anaerober Behandlungsanlage (UASB).
- *Hotelkette*: Grauwasseraufbereitung für Toilettenspülung, Urinsammlung, Schwarzwasseraufkonzentrierung, Biogasanlage, Restwasser: Einleitung in vorhandenen Kanal
- *Konversionsfläche (Ressourceneffizientes Urbanes Quartier)*: NASS-System mit Mehrfachleitungen und Infrastrukturkanal, Biogasreaktor zur Schwarzwasseraufbereitung, Kompostierung der Gärreste, Grauwasserreinigung mit Wärmerückgewinnung
- *Neubau (X-Dry)*: Neubau mit Trockentrenntoiletten (keine Komposttoiletten), Fäkalientrocknung mit Kompostierung oder Verbrennung, Urinbehandlung mit Struvitherstellung und Verdampfung, Grauwasserbehandlung mit MBR inkl. Wasser- und Wärmerückgewinnung

Die Diskussionen und die Ergebnisse der Gruppenarbeit haben die Stärken aber auch Schwächen von NASS herausgearbeitet und aufgezeigt, dass in mehreren Bereichen ein bedeutendes Umsetzungspotenzial bereits für die nächsten 10 bis 15 Jahre gesehen wird. Die Diskussion spiegelt wider, dass

- die Stärke von NASS die Vielfältigkeit ist und die Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit vom Einzelfall abhängen,
- Konzepte flexibel gestaltet werden sollten. Bereits jetzt sollten in den baulichen Strukturen/Anlagenstrukturen zukünftige technologische Entwicklungen berücksichtigt bzw. verschiedene Entwicklungsoptionen offengehalten werden,
- eine Reihe technisch/technologischer Detailfragen noch zu klären ist,
- organisatorischen Aspekten und der Entwicklung von Betreiber-/Vertriebsstrukturen eine sehr große Bedeutung zukommt.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Workshops sowie Hintergrundinformationen zu Anwendungsfällen in Deutschland und dem Entwicklungsstand verschiedener Technologien werden demnächst in einem KA-Artikel veröffentlicht.

Ökonomie der Dezentralität – Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Beispiel KREIS und ihr Analysepotential

Hans Wilhelm Alfen, Andrea Lück,
Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystr. 7, 99423 Weimar

1 Einführung

Die Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen ist bestrebt, traditionelle Einzeldisziplinen inter- und transdisziplinär zu einem neuen Wissenschaftsgebiet zu vernetzen. Vereint werden hierbei das Bauwesen mit den Anforderungen v.a. aus Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, aber auch den Medienwissenschaften und der Informatik. Die prägende Disziplin ist dabei das Bauwesen mit dem Bauingenieurwesen und der Architektur.

Seit Gründung der Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen beschäftigt sich Prof. Alfen und sein Team sehr intensiv mit der Lebenszyklusbetrachtung von materieller Infrastruktur. Für die unterschiedlichen Infrastruktursektoren steht hierbei die Projektentwicklung im Allgemeinen und die Auswahl alternativer Realisierungs- und Beschaffungsmodelle im Besonderen im Fokus. Als entscheidungsrelevante Größe dient dazu in erster Linie die Wirtschaftlichkeit. Daher war in den letzten Jahren die Professur auch maßgeblich an der Entwicklung, Überprüfung und Standardisierung von Bewertungsmodellen zur Untersuchung und zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit beteiligt.

Im KREIS-Projekt bewertet die Professur die Wirtschaftlichkeit der dezentralen Lösung des Demonstrationsvorhabens Jenfelder Au aus drei verschiedenen Sichtweisen (siehe Abbildung 1).

Mittels Kapitalwertmethode wird auf der Mikroebene die betriebswirtschaftliche Bewertung des Projektes erfolgen. Auf der Mesoebene wird eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, in der die Wirtschaftlichkeit des Projektes unter Einbezug aller monetär bewertbaren Aspekte beurteilt wird. Hierbei finden neben rein betriebswirtschaftlichen Aspekten auch sozioökonomische und ökologische Aspekte Berücksichtigung. Einen Schritt weiter geht die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf der Makroebene, die im Rahmen einer Nutzwertanalyse die gesellschaftliche Bewer-

tung berücksichtigt und folglich alle relevanten monetär und nicht monetär bewertbaren Wirkungen gegenüberstellt.



Abbildung 1: Betrachtungsweisen von Wirtschaftlichkeit auf verschiedenen Ebenen⁸

Nachfolgend werden die Zielsetzungen, Vorgehensweise und erwarteten Ergebnisse der Untersuchungen im KREIS-Projekt vorgestellt.

2 Zielsetzungen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Bauprojekte – seien sie öffentlicher, gewerblicher und/oder privater Natur besitzen stets einen hohen Stellenwert für den Initiator im Rahmen seiner üblichen Tätigkeit, da sie i.d.R. mit vergleichsweise hohen Investitionsausgaben verbunden sind. Nach Baubeginn sind Investitionsentscheidungen zudem kaum rückgängig zu machen und können Folgekosten in beachtlicher Höhe nach sich ziehen. Im Allgemeinen dienen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit (an sich) einer Einzelmaßnahme oder deren Vorteilhaftigkeit gegenüber einer oder mehreren gleichartigen oder sich gegenseitig ausschließenden Alternativen bzw. zur Bestimmung der optimalen Nutzungsdauer oder des günstigsten Ersatzzeitpunktes einer

⁸ Eigene Darstellung.

Investition.⁹ Grundsätzlich soll durch den Vergleich verschiedener Alternativen die wirtschaftlichste Variante ermittelt werden. Als wesentliche Inputgrößen für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gilt es, die durch die Investition bedingten Kosten (sowie Einnahmen bzw. Nutzen über die gesamte Projektdauer (Lebenszyklus) möglichst umfassend zu ermitteln und transparent aufzubereiten.¹⁰ Diese Daten stellen eine wesentliche Grundlage für die Planung bzw. Projektentwicklung (ex ante) sowie die Steuerung und Optimierung (ex post) des Betriebs- und Betreiberkonzepts dar.

So werden auch mit den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im KREIS-Projekt Ansatzpunkte zur Optimierung der Betriebsplanung des in der Jenfelder Au umgesetzten technischen Konzeptes aus wirtschaftlicher Sicht erfolgen sowie Grundlagen zur Ableitung von Betreiberkonzepten geliefert. Weitere zentrale zu beantwortende Fragestellungen sind:

- Was ist die optimale Größe eines dezentralen Systems? Wie ändert sich der optimale Grad der Dezentralität in verschiedenen Umfeldern (Anschlußgröße, Siedlungsdichte)? Was ist der optimale Grad der Dezentralität in der Jenfelder Au auf den verschiedenen ökonomischen Betrachtungsebenen?
- Welches sind die Kostentreiber im Projekt?
- Welche Randbedingungen können die Umsetzung von dezentralen Konzepten auf Basis der Kosten maßgeblich positiv beeinflussen (z. B. Energie-/ Nährstoffkosten)?

Des Weiteren sollen Erkenntnisse gewonnen werden, die

- Inputgrößen zur Berücksichtigung von dezentralen Systemen in ein auf zentrale Bereitstellung ausgerichtetes Gebührenmodell bereitstellen und
- eine Darstellung von nicht monetarisierbaren Wirkungen ermöglichen, die durch ein dezentrales Abwassersystem erzielt werden können.

⁹ Vgl. Diederichs (1999), S. 158f.

¹⁰ Vgl. Alfen/ Daube (2006), S. 175f.

3 Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Zielsetzungen wurden verschiedene Bewertungsobjekte identifiziert, die zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsvergleiche notwendig sind. Anschließend wurden den Bewertungsobjekten geeignete Bewertungsmethoden zugeordnet. Tabelle 1 stellt diese Zusammenhänge dar.

3.1 Wirtschaftlichkeitsvergleiche der Bewertungsobjekte

Vergleich 1: Die für das Gebiet Jenfelder Au mögliche konventionelle Abwasserbehandlungsvariante wird mit der zu realisierenden Variante verglichen. Ebenso werden technische Variationen, die innerhalb des Forschungsprojektes untersucht werden, in die Betrachtungen einbezogen, um mögliche Optimierungen aus wirtschaftlicher Sicht für zukünftige Realisierungen des dezentralen Konzeptes vorzuschlagen zu können (Bewertungsobjekte 1a, 2a und 2b).

Vergleich 2: Ein weiterer Wirtschaftlichkeitsvergleich umfaßt die Abbildung einer skalierten, konventionellen Abwasserbehandlung sowie einer skalierten Variante des Demonstrationsvorhabens (Skalierung bspw. 100.000 EGW). Hier bei soll insbesondere der optimale Grad der Dezentralität in Abhängigkeit von der Größe der Anlage bzw. der Anschlußgröße untersucht werden (Bewertungsobjekte 1b und 3).

Vergleich 3: Abschließend erfolgt die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit für das Projektgebiet Jenfelder Au unter Standardbedingungen. In diesem Schritt wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung um die standortspezifischen Aspekte bereinigt, so daß die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung auch auf andere Umfelder übertragbar ist (Bewertungsobjekte 1c und 2c).

Diese drei Vergleiche werden jeweils auf Mikro- und Mesoebene durchgeführt. Für das Bewertungsobjekt 2a erfolgt zusätzlich die Durchführung einer Nutzwertanalyse, bei der mit den relevanten Akteuren die Aufstellung und Gewichtung eines Zielsystems vorgenommen wird.

Tabelle 1: Bewertungsmatrix¹¹

Bewertungsobjekt	Ziel der Bewertung	Methodik		
		Mikro-ebene	Meso-ebene	Makro-ebene
		Kapitalwert-Methode	Kosten-Nutzen-Analyse	Nutzwertanalyse
1) Nullvariante (konventionelle Abwasserbehandlung)				
a) Jenfelder Au (Vorplanung)	<ul style="list-style-type: none"> Grundlage Vergleich mit (2a) Identifikation von Kostentreibern/Nutzenstiftern 	X	X	
b) Skalierte Variante	<ul style="list-style-type: none"> Grundlage Vergleich mit (3) 	X	X	
c) Jenfelder Au unter Standardbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> Optimaler Grad der Dezentralität in verschiedenen Umfeldern 	X	X	
2) Wirtschaftlichkeit KREIS				
a) Umgesetzte Variante Jenfelder Au	<ul style="list-style-type: none"> Grundlage Vergleich mit (1a) Identifikation von Kostentreibern/Nutzenstiftern 	X	X	X
b) technische Variationen (aus Forschungsinhalten KREIS)	<ul style="list-style-type: none"> Identifikation von Kostentreibern/Nutzenstiftern 	X	X	(X)
c) KREIS unter Standardbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> Optimaler Grad der Dezentralität in verschiedenen Umfeldern 	X	X	
3) Übertragung KREIS auf andere Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> Prüfung Übertragbarkeit aus ökon. Sicht Prüfung Skalierbarkeit aus ökon. Sicht Vergleich mit Nullvariante (1b) Ableitung Gebührenmodell 	X	X	(X)

¹¹ Eigene Darstellung.

3.2 Kurzvorstellung der ausgewählten Methoden

Auf der **Mikroebene** findet eine reine betriebswirtschaftliche Betrachtung statt. Zur Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit einer Investition werden auf dieser Ebene statische und dynamische Verfahren unterschieden. Da jedoch aufgrund der Zeitpräferenz Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedlich bewertet werden und somit nicht beliebig addierbar sind, werden bei langfristigen Investitionsvorhaben vorwiegend dynamische Verfahren der Investitionsrechnung, wie etwa die Kapitalwert- oder die Annuitätenmethode, eingesetzt. Deren kennzeichnendes Merkmal ist, daß man nicht wie bei den statischen Verfahren mit durchschnittlichen jährlichen Kostengrößen, sondern mit Ein- und Auszahlungen rechnet, die zur besseren Vergleichbarkeit auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt auf- oder abgezinst werden.¹²

Mit der Kapitalwertmethode erfolgt die Ermittlung des Kapitalwertes einer Einzelinvestition oder von alternativen Investitionen. Die Differenz der Barwerte von Einnahmen- und Ausgabenreihen ist der Kapitalwert. Die auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt ab- oder aufgezinsten Einnahmen und Ausgaben heißen Barwerte. Der Ab- oder Aufzinsung wird ein kalkulatorischer Zinssatz zugrunde gelegt, der die Zeitpräferenz und die Finanzierungsmöglichkeiten widerspiegelt.¹³ Einbezogen werden auch die Ausgaben für die Investition selbst sowie ein möglicher Liquidationserlös am Ende der Nutzungsdauer.¹⁴ Hierzu werden im KREIS-Projekt die Kostendaten anhand Vorplanungen, Ausschreibungen, Abrechnungen, Schätzungen sowie Abfragen der Projektpartner erfaßt. Für die jeweiligen Bewertungsobjekte und einzelner Komponenten der technischen Lösungen werden die Barwerte ermittelt und miteinander verglichen, um Empfehlungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit einzelner technischer Variationen und des Gesamtkonzeptes geben zu können.

Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf der **Mesoebene** werden neben den rein betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen auch monetarisierbare Aspekte aus den Bereichen der Sozioökonomie und Ökologie einbezogen. Das Projekt wird im Kontext seines Umfeldes anhand der Wechselwirkungen mit diesem bewertet. Hierfür wird die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) genutzt, die zu den gesamtwirtschaftlichen Verfahren der Projekt- oder Maßnahmenbewertung zählt. Sie stellt zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit gesamtwirtschaftlich bedeutender Investitionen eine Beziehung zwischen dem Nutzen und den durch die Investition verursachten Kosten her. An-

12 Vgl. Domschke/ Scholl (2000), S. 244.

13 Vgl. Thommen/ Achleitner (2001), S. 602.

14 Vgl. Jung (2001), S. 798.

wendung findet sie, wenn Kosten- und Nutzenfaktoren der Investition in Geldeinheiten bewertbar sind. Dadurch werden alle positiven und negativen Auswirkungen der Maßnahmenalternativen berücksichtigt, unabhängig davon wo oder bei wem diese zum Tragen kommen. Es sind also auch die Effekte zu berücksichtigen, die nicht unmittelbar mit dem Projekt in Zusammenhang stehen oder nicht beim Maßnahmenträger anfallen.¹⁵

Nach der Bestimmung der Kosten- und Nutzenfaktoren und deren Monetarisierung entspricht das methodische Vorgehen der KNA derjenigen der Kapitalwertmethode. Die entscheidungsrelevanten Nutzen- und Kostenfaktoren der Investition werden erfaßt, bewertet und auf denselben Zeitpunkt diskontiert.¹⁶ Probleme können sich bei der Monetarisierung der Projektwirkungen ergeben.¹⁷ Soziale und ökologische Aspekte sind aufgrund unklarer Kenntnisse über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge oft schwer zu berücksichtigen, daraus resultieren hohe Anforderungen an das Daten- und Informationsmaterial.¹⁸ Um die Projektwirkungen zu monetarisieren, müssen zeitliche Strukturen der anfallenden Kosten und Nutzen berücksichtigt werden. Fallen die Wirkungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an, sind diese auf einen Referenzzeitpunkt zu beziehen.¹⁹ Die Projektwirkungen werden in Zusammenarbeit mit den KREIS – Projektpartnern evaluiert und anschließend monetarisiert. Nach Bildung der jeweiligen Barwerte für die einzelnen Ausführungsvarianten sind diese vergleichbar. Beispielsweise werden verschiedene Co-Substrat-Zusammensetzungen auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit auf der **Makroebene** wird mit Hilfe der Nutzwertanalyse (NWA) durchgeführt, die die gesellschaftliche Perspektive berücksichtigt. Alle relevanten monetär bewertbaren und nicht monetär bewertbaren Wirkungen werden im Rahmen der NWA gegenübergestellt.

Die NWA ist eine Bewertungsmethode zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei der Auswahl von komplexen Handlungsalternativen wie Projekt-, Investitions-, Produkt- oder Konzeptalternativen. Die Analyse der Alternativen erfolgt mit dem Zweck, diese entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers, in einem mehrdimensionalen Zielsystem, nach Nutzwerten zu ordnen und zu priorisieren.²⁰ Es handelt sich um ein nicht-monetäres, mehrdimensionales Verfahren, das der Ent-

15 Vgl. Fürst/ Scholles (2008), S. 415f.

16 Vgl. Fürst/ Scholles (2008), S. 417.

17 Vgl. Wirtz (2010), S. 183.

18 Vgl. Herbst (2008), S. 97f.

19 Vgl. Wirtz (2010), S. 184.

20 Vgl. Zangemeister (1976), S. 45.

scheidungsfindung durch die Bewertung von Kriterien, die verschiedene Aspekte ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Art berücksichtigen, ohne daß diese monetarisiert werden. Im Vordergrund der Analyse stehen die Nutzenwirkungen eines Vorhabens und nicht die Kostenaspekte.²¹ Der Nutzwert selbst ist ein subjektiver Wert, der durch die Tauglichkeit zur Bedürfnisbefriedigung bestimmt wird, er ist ein relativer Wert, der nicht monetär angegeben wird.²² Für die Aufstellung des Zielsystems und der Gewichtung der Ziele bzw. Zielkriterien ist innerhalb des KREIS – Projektes ein Workshop mit den relevanten Stakeholdern geplant.

Vor der abschließenden Entscheidungsempfehlung wird die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse im Rahmen der NWA empfohlen. Hierdurch kann die Robustheit der Bewertung gegenüber Veränderungen der subjektiven Komponenten der Nutzwertanalyse (z. B. Gewichte) bzw. sich im Projektverlauf möglicherweise ändernden Annahmen geprüft werden.²³

Systematische Variationen einzelner Eingangsgrößen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (**Sensitivitätsanalysen**) werden ebenso auf Mikro- und Mesoebene durchgeführt. Sie bieten die Möglichkeit, den Einfluß einer Eingangsgröße auf den Barwert der Gesamtkosten erkennen zu können. Dadurch können die Eingangsgrößen aufgezeigt werden, die in besonders hohem Maße Einfluß auf einen Wert besitzen. Dies ist insbesondere von hoher Bedeutung für Daten, die lediglich auf Schätzungen und Prognosen beruhen. Zu variierende Größen sind dabei i.d.R.:

- Relevante Kosten der Planungs- Errichtungs- und Betriebsphase
- Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensauswirkung der relevanten Risiken
- Evtl. vorhandene Erlöspositionen
- Evtl. in die Berechnung einfließende Restwerte
- Zahlungszeitpunkte der relevanten Ein- und Auszahlungen
- Preisentwicklungen
- Nutzungsdauern
- Diskontierungszins.²⁴

21 Vgl. Herbst (2008), S. 96.

22 Vgl. Zangemeister (1976), S. 45.

23 Vgl. Fürst/ Scholles (2008), S. 434.

24 Vgl. Thommen/ Achleitner (2001), S. 606.

Anschließend können in einer **Szenarioanalyse** die Eingangsdaten mit dem stärksten Einfluß auf den Barwert der Gesamtkosten für verschiedene Umweltsituationen variiert werden. Neben dem Ausgangsfall als Basisszenario werden ein schlechtestes und ein bestes zu erwartendes Ergebnis abgeleitet. Daraus läßt sich die Spanne ableiten, in der das tatsächliche Ergebnis zu erwarten ist.²⁵

4 Erwartete Ergebnisse und Implikationen für Betreiberkonzepte

Basierend auf den drei beschriebenen Vergleichsstrukturen wird es ermöglicht, die Wirtschaftlichkeit des technischen Konzeptes der Jenfelder Au für den konkreten Standort, für die Skalierung des technischen Konzeptes und einer standortbereinigten Variante zu beurteilen. Die Wirtschaftlichkeit wird sowohl auf der Mikroebene als auch der Mesoebene verglichen. Daher wird abgeleitet werden können, in welcher Bandbreite von bspw. angeschlossenen Nutzern der Bau und der Betrieb des technischen Konzeptes auf der jeweiligen Betrachtungsebene als ökonomisch sinnvoll bewertet werden kann.

Durch den Wirtschaftlichkeitsvergleich auf verschiedenen Ebenen kann beurteilt werden, auf welchen Ebenen die Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Ein auf der Mikroebene vorteilhaftes, „sich rechnendes“ Projekt kann sich auf der Mesoebene durchaus als ökonomisch nicht vorteilhaft zu bewertendes Projekt herausstellen und umgekehrt.

Die Sensitivitätsanalyse wird Aufschluß über die Eingangsgrößen mit dem größten Einfluß auf die jeweiligen Barwerte der Kosten bzw. Nutzen liefern. Dadurch können kritische Eingangsgrößen identifiziert werden.

Anhand der Nutzwertanalyse werden Präferenzen in der Entscheidungsfindung verschiedener Stakeholder aufgedeckt, die in zukünftigen Projekten integriert werden können.

25 Vgl. Thommen/ Achleitner (2001), S. 961.

Mit Hilfe der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen können ex post Optimierungen des technischen Konzeptes des KREIS-Projektes vorgenommen werden. Insbesondere durch die Bewertung der Wirtschaftlichkeit verschiedener technischer Variationen können Empfehlungen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch Anpassung des technischen Konzeptes gegeben werden.

5 Literatur

- Alfen, Hans Wilhelm; Daube, Dirk (2006) in Littwin, Frank/Schöne, Franz-Josef (Hrsg.): Public Private Partnership im öffentlichen Hochbau. W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, 1. Auflage.
- Diederichs, Claus J. (1999): Führungswissen für Bau- und Immobilienfachleute. Bauwirtschaft, Unternehmensführung, Immobilienwirtschaft, Privates Baurecht. Springer-Verlag, Berlin, 1. Auflage.
- Domschke, Wolfgang; Scholl, Armin (2000): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Springer-Verlag, Berlin, 1. Auflage.
- Fürst, Dietrich; Scholles, Frank (Hrsg.) (2008): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Verlag Dorothea Rohn, Dortmund, 3. Auflage.
- Herbst, Heinrich Bernhard (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen.
- Jung, Hans (2001): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. R. Oldenbourg Verlag, München, 7. Auflage
- Thommen, Jean-Paul; Achleitner Ann-Kristin (2001): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Gabler Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage.
- Wirtz, Bernd W. (2010): E-Government. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1. Auflage.
- Zangemeister, Christof (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Wittmann, München, 4. Auflage.

HAMBURG WASSER und der HAMBURG WATER Cycle in der Jenfelder Au

Kim Augustin, Niels-Peter Bertram,
Hamburg Wasser, Bilhorner Deich 2, 20539 Hamburg

Der unter den Prämissen von Energieeffizienz, Stoffeffizienz und Wassereffizienz entwickelte HAMBURG WATER Cycle® wird im Projekt „Jenfelder Au“ erstmalig im großtechnischen Maßstab realisiert. Knapp 2.000 Bewohner werden in dieses hochwertig gestaltete Wohnquartier zwischen 2014 und 2018 einziehen. Das Abwasser wird getrennt als Grauwater und Schwarzwater abgeleitet.

Das Schwarzwater wird mittels Vakuumtechnologie zu einer zentralen Behandlungsanlage transportiert und dort vergoren und steht anschließend als hochwertiges Düngemittel zur Verfügung. Das Grauwater wird gereinigt und dezentral in den Naturkreislauf zurückgeführt. Das bei der Vergärung gewonnene Biogas wird für eine dezentrale Wärme- und Stromproduktion verwendet.



Abbildung: Neues Quartier Jenfelder Au (Quelle: West 8)

Mit Bezug des ersten Baufeldes Anfang 2014 wird HAMBURG WASSER den Betrieb aufnehmen. Über einen Zeitraum von etwa fünf Jahren wird es zunächst einen Projektbetrieb geben, der durch das Forschungsprojekt KREIS aufwendig wissenschaftlich begleitet wird. Während dieses Zeitraumes wird die neuartige Technologie detailliert erforscht, getestet und optimiert sowie die weiteren Baufelder nach und nach angeschlossen.

Die Verantwortung für den Projektbetrieb trägt die Abteilung „Zukunftstechnologie“ und keiner der sonst verantwortlichen Betriebsbereiche. Dieses bei HAMBURG WASSER unübliche Konstrukt dient der optimalen Organisation und Abstimmung von betrieblichen Notwendigkeiten mit Forschungsaktivitäten und dem Baufortschritt. Nach Abschluss der Forschung und der Bauarbeiten ab voraussichtlich 2018 wird der Projektbetrieb sukzessive in den Normalbetrieb überführt.

Energiegewinnung beim Grauwasserrecycling durch vorgeschaltete Wärmerückgewinnung

Erwin Nolde,

Nolde & Partner, Marienburgerstr. 31a, 10405 Berlin

1 Grauwasser, eine nahezu unendliche Wasserressource

Bei einem durchschnittlichen Trinkwassertagesverbrauch von 122 Liter/P (BDEW, 2012), der im modernen Wohnungsbau durch Wasserspararmaturen und entsprechendes Verbraucherverhalten relativ einfach auf ca. 90 Liter/P gesenkt werden kann, fallen abwassermäßig ca. 25 – 30 Liter/P als nährstoffreiches Schwarzwasser an. Das restliche Abwasser, ca. 60 – 65 Liter/P, sind sogenanntes Grauwasser. Dieses kann als gering belastetes Grauwasser (nur der Anteil aus Badewannen, Duschen und Handwaschbecken) oder wenn es zusätzlich das Küchenabwasser und das aus den Waschmaschinen enthält, als hoch belastetes Grauwasser, über unterschiedliche Aufbereitungstechnologien zu einem hochwertigen Betriebswasser aufbereitet werden (fbr, 2005).

Betriebswasser kann im Haushalt für alle Verwendungszwecke zum Einsatz kommen, für die der Gesetzgeber keine Trinkwasserqualität vorschreibt (Toilettenspülung, Wäschewaschen, Raumreinigung sowie Bewässerung, Versickerung etc.). Durch Grauwasserrecycling kann der Trinkwasserbedarf relativ einfach auf 45 Liter/P/d reduziert werden.

Durch Mehrfachrecycling wird Grauwasser zu einer nahezu unendlichen Wasserressource und der Trinkwasserbedarf ließe sich noch deutlich weiter reduzieren. Dieser Aspekt und auch die gelegentlich vorgebrachte Forderung, aus Grauwasser Trinkwasser herzustellen, soll hier nicht weiter vertieft werden, denn „Trinkwasser soll“, so, wie bis 1973 in der alten, aber nicht mehr aktuellen DIN 2000 formuliert wurde „seiner Herkunft nach appetitlich sein und nach seiner äußeren Beschaffenheit zu Genuss anregen.“ Stattdessen soll hier der Fokus auf das speziell im Grauwasser vorhandene Wärmepotenzial gerichtet werden, denn in einem Passivhaus (Wärmebedarf für Raumheizung $<15\text{kWh/m}^2/\text{a}$) wird etwa 1,5 fach soviel Energie für die Warmwasserbereitung wie für die Raumerwärmung benötigt.

Während die Energie der Raumluft schon seit vielen Jahren über Wärmetauscher zurückgeführt wird, gibt es wenige Aktivitäten, die Energie, die das Gebäude über den Abwasserpfad verlässt, zu recyceln. Mit der ungenutzten Energie wird stattdessen die Umwelt geheizt – besonders gut zu erkennen im Winter – wenn dort, wo die Abwasserrohre verlegt sind, der Schnee sofort zu schmelzen beginnt. Anstrengungen, das bereits deutlich abgekühlte Abwasser Kilometer weit entfernt vom Anfallsort oder erst auf der Kläranlage zu nutzen sind vergleichbar, wie mit einem ständigen Leck im Benzintank den Wirkungsgrad des Motors verbessern zu wollen.

2 Beschreibung des Berliner Pilotprojekts am Arnimplatz

In Berlins erstem Passivhaus für Mieter wurde ein Jahr nach der Fertigstellung eine Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung nachgerüstet. Das 2. Leitungsnetz zur Erfassung des Dusch- und Badewassers, sowie die Betriebswasserleitungen für die Toilettenspülung, waren von Anfang an installiert. Eine Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser oder Grauwasser war seitens der Haus-technikplanung nicht vorgesehen.

Tabelle 1: Gebäude- und Anlagendaten Passivhaus am Arnimplatz (Heinhaus, 2012)

Wohnfläche	4.600 m ²	Gewerbefläche	650 m ²
Anzahl der WE	41	Anzahl Gewerbeeinheiten	4
Tiefgaragenplätze	23	GFZ	31
BGF	6.620	GRZ	0,46
Grundstücksfläche	2.083 m ²	Gartenfläche	1.100 m ²
EPS-Vollwärmeschutz	26 cm		
Jährl. Raumwärmebedarf	73.400 kWh/a	Jährl. Warmwasserwärmebedarf	103.636 kWh/a 284 kWh/d
Gas BHKW	16 kW _{ektr.} 35 kW _{therm.}	Photovoltaik 92 Module mit 20 kWp	18.000 kWh/a
Grauwasserrecycling	3 m ³ /d	Wärmerückgewinnung	12,5 kWh _{therm.} /m ³ ca. 13.000 kWh/a



Foto 1 und 2: Im ersten Berliner Passivhaus für Mieter – mit 41 Wohn- und 4 Gewerbeeinheiten (am Arnimplatz in Berlin-Prenzlauer Berg) – steht im Heizungsraum auf ca. 9 m² Stellfläche (ca. 0,1 m² pro Bewohner) der Prototyp einer neu entwickelten Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung. Er hat eine tägliche Reinigungsleistung von 3 m³

Das warme Grauwasser aus Badewannen und Duschen wird über ein Sieb von Störstoffen befreit, bevor ihm die Wärme mittels einer 20 Watt-Umwälzpumpe über einen Wärmetauscher (Rohrbündel) entzogen wird. Auf den Einsatz einer Wärmepumpe wurde bewusst verzichtet. Sieb und Wärmetauscher reinigen sich bei Bedarf automatisch. Die in den Pufferspeicher eingelagerte Energie wird bedarfsgerecht an das Kaltwasser abgegeben, das dann entsprechend vorgewärmt zum Boiler kommt – in diesem Fall ist es ein BHKW, was zur Warmwasserbereitung, Heizung und Stromerzeugung dient.

Das abgekühlte Grauwasser gelangt in einen anderen Pufferspeicher, wo gleichzeitig der Hauptteil der organischen Fracht oxidiert wird. Der letzte mit Schaumstoffwürfeln bestückte Wirbelbettreaktor klärt das Grauwasser auf einen Rest-BSB unter 5 mg/l mit einer Trübung von 1-2 NTU. Das mittels UV-Licht desinfizierte Betriebswasser gelangt in den letzten Speicher und wird von da aus über eine Druckerhöhungsanlage mit 4 bar an die Wohneinheiten als Toilettenspülwasser abgegeben. An keiner Stelle des Aufbereitungsprozesses werden Chemikalien in Form von Desinfektionsmitteln, Säuren oder Laugen etc. verwendet.

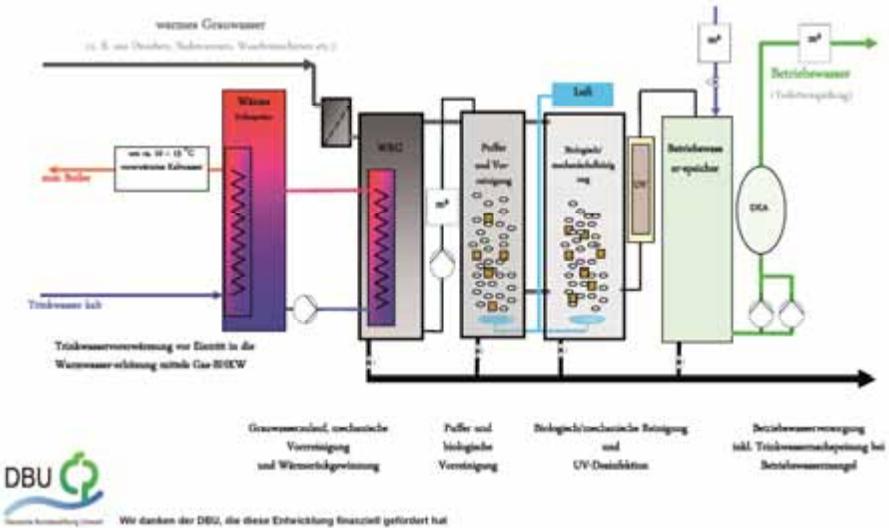


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung

3 Anlagenbetrieb und erste Ergebnisse

Da es insbesondere darum geht, dass sowohl die Grauwasserrecycling- als auch die Wärmerückgewinnungsanlage möglichst wartungsarm betrieben werden, wurde gesteigerter Wert auf eine weitestgehende Automatisierung, Fernüberwachung und wegen des Pilotcharakters zusätzlich auf ein Online-Monitoring gelegt.

Beginnend im April bis Ende August 2012 waren – abgesehen von den Messgeräten [Trübung und Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)] – keine Wartungsarbeiten erforderlich. Geringe Optimierungsarbeiten, von denen wir uns eine weitere signifikante Effizienzsteigerung versprechen, sind für Ende des Jahres 2012 vorgesehen. Die Wasserqualität ist von Anfang an sehr hoch, die Qualitätsanforderungen (Sen-BauWohn, 1995) laut Berliner Liste (BSB₇ unter 5 mg/l und Einhaltung der Hygieneanforderungen der EU-Richtlinie für Badegewässer) werden stets erfüllt.

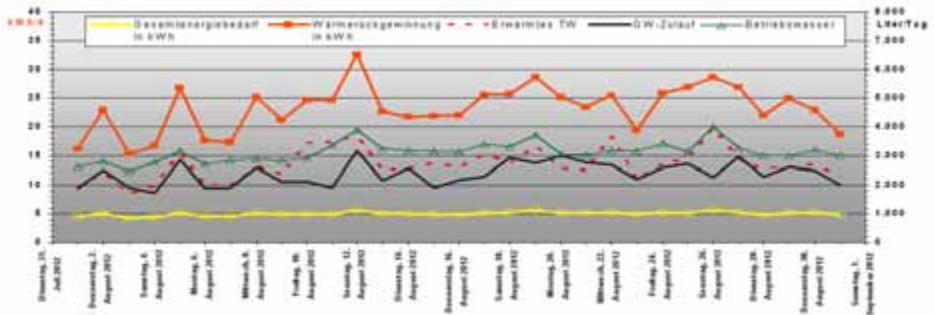


Abbildung 2: Anlagenbilanzierung für den Monat August (unter Berücksichtigung der Schulferienzeit bis zum 5.08.2012 mit verringertem Grauwasseranfall)

Dadurch, dass in diesem Projekt nur das Grauwasser aus den Duschen und Badewannen der 41 Wohneinheiten erfasst wird, fällt weniger Grauwasser (Monatsmittel August = 2.385 L/d) an, um damit neben den Wohneinheiten auch das Gewerbe, das kein Grauwasser einleitet, mit Betriebswasser für die WC-Spülung (Betriebswasserbedarf im Monatsmittel August = 3.122 L/d) zu versorgen.

Der Energieverbrauch der gesamten Anlagentechnik ist mit 5 kWh/d relativ unabhängig davon, ob täglich 2.000 oder 3.500 l Grauwasser gereinigt werden. Leichte Schwankungen im Tagesenergieverbrauch sind primär durch die Betriebswasser-Verteilung (0,3 kWh/m³) bedingt. Der Wärmeertrag hat im Monatsmittel August nunmehr ein Minimum von 23,4 kWh erreicht. An einem Ferientag, mit nur 1,7 m³ Grauwasser lag der Wärmeertrag bei nur 16,1 kWh bei 3,2 m³ Grauwasserzulauf wurden 32,6 kWh gemessen.

Der Wärmeertrag ist generell von der zulaufenden Grauwassermenge und dessen Temperatur, sowie der aktuellen Kaltwassertemperatur und dem Warmwasserbedarf, abhängig.

Während Ende März – als die Trinkwassertemperatur noch 9°C betrug – 45 kWh aus 3,2 m³ Grauwasser gewonnen wurden, waren es im August 2012, bei einer Trinkwassertemperatur von 16°C (Medianwert) nur noch 32,6 kWh. Rein optisch war auch im August keine Belagbildung auf dem Wärmetauscher zu erkennen. Der Ertragsrückgang im Sommer ist damit in erster Linie auf die höhere Trinkwassertemperatur zurückzuführen.

4 Diskussion und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die Effizienz der Wärmerückgewinnung ist im dezentralen Grauwassersystem deutlich höher als bei zentralen Anlagen, wo dem Abwasser i. d. R. selten über 1,5 °C entzogen werden. Die wesentlichen Gründe dafür liegen u. a. darin, dass die Nitrifikation des kommunalen Abwassers auch im Winter gewährleistet sein muss. Für Abwasserwärmepumpen werden i. d. R. Jahresarbeitszahlen um 3,1 genannt. Für die Raumheizung von 31 Einfamilienhäuser (280 MW-Anlage) im Schweizer Ortschaft Zwingen gibt Kobel (2008) in Verbindung mit einem nahen Abwasserkanal eine spitzenmäßige Jahresarbeitszahl von 5 an.

- Bei einem **Gesamteinsatz** von „nur“ 5 kWh/d elektrischer Energie für Wärmerückgewinnung und 3,2 m³ Grauwasseraufbereitung, sowie einer Betriebswasserverteilung mit 4 bar, wird im Winter sogar das 9 fache und im Sommer das 6,4 fache an Energie zurückgewonnen.

Neben der aktuell erwarteten Jahreswärmemengenproduktion von ca. 12 MWh/a für die Anlage am Arnimplatz sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- hochwertige Trinkwasserressourcen werden geschont,
- durch Trinkwassereinsparungen bei der Wasserversorgung und durch den geringeren Abwasseranfall bei der Abwasserentsorgung werden der Gesamtenergie- und der Chemikalienbedarf gesenkt,
- sobald weniger Abwasserwärme den Boden und damit auch das Trinkwasserleitungsnetz aufheizt, nimmt die Stadterwärmung ab. In der Berliner Innenstadt werden 15-°C Trinkwassertemperatur im Sommer ständig überschritten. Nach der alten DIN 2000 aus dem Jahr 1973 sollte die Temperatur zwischen 5 und 15°C liegen, am besten zwischen 8 und 12°C, um möglichst erfrischend zu wirken (Althaus, 1987).

Betrachtet man den hier im Projekt z. T. deutlich höheren Warmwasserverbrauch im Vergleich zum Grauwasseranfall, kann man leicht daraus schlussfolgern, dass mehr Wärmeenergie zurückgewonnen werden könnte, sobald mehr Grauwasser – also auch das aus dem Gewerbe und das von den Handwaschbecken und Waschmaschinen – in das System eingeleitet wird. Das hätte gleichzeitig den Vorteil von geringeren Trinkwassernachspeisemengen. Die Planung des zweiten Leitungsnetzes sollte so erfolgen, dass wenn überhaupt, nur geringe Trinkwassernachspeisungen erforderlich sind und möglichst viele Möglichkeiten der Betriebswassernutzung realisiert werden.

Die statistischen Daten zum häuslichen Wasserbedarf (BDEW, 2012) stimmen nach eigenen Messungen – wenn überhaupt – nur selten mit der Projektrealität überein. Über Dusch- und Badewasser fällt in diversen Hotels mehr Grauwasser an, als dort an Betriebswasser für die Toilettenspülung benötigt wird. Im Wohnungsbereich (z. B. in Altenheimen), wo man sich auf das Grauwasser aus Badewannen und Duschen beschränkt, ist mit deutlichen Trinkwassernachspeisungen zu rechnen, was sich eher negativ auf die Anlageneffizienz auswirkt.



Foto 3 und 4: Verdunstung von Regenwasser über Schilfpflanzen und Grauwasserrecycling für ca. 200 Mieter in der Berliner Innenstadt (Block 6 in Kreuzberg)

Dass das Grauwasserrecycling auch mit dem deutlich höher belasteten Anteil aus Küchen und Waschmaschinen gut funktioniert, wurde 2007 bewiesen. Im Berliner Block 6 wird hoch belastetes Grauwasser von ca. 200 Personen in einem mehrstufigen Wirbelbett – bestückt mit Schaumstoffwürfeln – im kontinuierlichen Betrieb zu hochwertigem Betriebswasser aufbereitet und den Mietern (Betreibermodell) verkauft. Die Abwasserwärme wird hier zur Raumerwärmung des Betriebsraumes und zur Vorerwärmung der angesaugten Frischluft verwendet.

4.1 Wärmerückgewinnung im Kontext zur Solarthermie und Photovoltaik

Unterstellt man der Solarthermie einen tatsächlichen Nutzen von $380 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ pro Jahr und Quadratmeter Kollektorfläche, sowie $100 \text{ kWh}_{\text{elektr}}$ pro Quadratmeter Fotovoltaikmodul und geht man ferner von durchschnittlich $12,5 \text{ kWh}$ aus, die pro Kubikme-

ter Grauwasser täglich genutzt werden, substituiert die hier beschriebenen 3 Kubikmeter-Recyclinganlage über das Jahr betrachtet ca. 36 m² Solarthermiefläche.

Mit der gleichen Fläche ließen sich stattdessen 3.600 kWh PV-Strom erzeugen, was etwa doppelt so viel ist, wie die kombinierte Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung jährlich an Strom benötigt. Ferner sei erwähnt, dass die Wärmerückgewinnungsanlage insbesondere im Winter den besten Wirkungsgrad erzielt, wenn die thermische Solaranlage wegen der kalten Umgebung so gut wie keinen Ertrag mehr erwirtschaftet. Die dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist somit ein neuer, wichtiger Baustein zum Energie-Plus-Haus.

Eine abschließenden Kostenvergleichsbetrachtung für Solarthermie, Wärmepumpen und Wärmerückgewinnung aus Grauwasser steht noch aus.

4.2 Mögliche Entwicklung des Grauwasserrecyclings

Wenn zukünftig keine Spültoiletten mehr benötigt werden, weil man über Komposttoiletten oder Terra Preta-Systeme die Toilettenwertstoffe zu einem wertvollen Bodenverbesserungsmittel bereitstellt, stellt sich die Frage, ob man dann noch Grauwasserrecycling braucht.

Ich meine ja, die Zukunft liegt im Wasserbereich eindeutig mehr bei dezentralen Anlagen, weil diese – wie hier gezeigt – eindeutig ressourceneffizienter arbeiten, als rein zentrale Systeme.

Das Gegenargument, dass z. B. große Trink- und Abwasserpumpen (momentan noch) einen besseren Wirkungsgrad erzielen als kleine Pumpen, wie sie dezentralen Anlagen verwendet werden, greift zu kurz. Der Bewertungsrahmen darf sich nicht allein auf einzelne Pumpenwirkungsgrade beschränken – er ist systembezogen zu führen. Gleichwohl soll es Anstrengungen oder auch Vorschriften geben, die dazu beitragen, dass auch der Wirkungsgrad von kleinen Pumpen deutlich verbessert wird.

Mit ein wenig mehr Aufwand als der, den wir heute betreiben, könnte das Betriebswasser ohne hygienisches Risiko auch zur Körperpflege verwendet werden. Wenn mehr umweltfreundliche Waschmittel verwendet werden würden, könnte Grauwasser problemlos mehrfach recycelt werden und die geringen Wassermengen, die der Mensch tatsächlich zum Trinken benötigt, werden in ausreichender Menge durch Regenwasser bereitgestellt, welches relativ einfach zu Trinkwasserqualität aufbereitet werden kann.

Überschüssiges Grauwasser kann in den meisten Fällen für die Bewässerung von zusätzlichen Grünflächen verwendet werden, um damit mehr CO₂ zu binden und durch mehr Wasserverdunstung der Stadterwärmung etwas entgegenzusetzen. Über die Verdunstung von einem Kubikmeter Betriebswasser wird der Umgebung – ob im Gebäude oder im Stadtraum – 680 kWh Wärme entzogen. Mit Betriebswasser zu kühlen (adiabatische Kühlung) ist besonders effizient und umweltfreundlich. Elektrisch betriebene Klimaanlage hingegen kühlen den Innenraum auf Kosten einer zusätzlichen Stadterwärmung, was die Wärmebelastung erhöht, zumal auch noch bei der Stromerzeugung für Klimaanlage zusätzliche Abwärme produziert wird.

Wie man Toilettenwertstoffe am besten wieder in die landwirtschaftliche Nutzung zurückbringt, darüber mag hier noch diskutiert werden. Aber dass Grauwasser nicht mit den Toilettenwertstoffen vermischt werden darf, lernt jeder Verfahrenstechnikstudent bereits im ersten Semester („Dilution is no Solution“).

4.3 Vorläufige Kostenbetrachtung

Der Bau der vergleichsweise noch aufwendigen Pilotanlage mit der entsprechenden Messtechnik inklusiv der Installation der Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung und Umsatzsteuer – aber ohne das zweite Leitungsnetz – hat den Quadratmeterpreis der Wohnungen um insgesamt 11,30 € (brutto) verteuert.

Dass die 11,30 € pro Quadratmeter Wohnfläche gut investiertes Geld sind, zeigt sich bereits durch die Reduzierung der zu entrichtenden Wasserkosten. Der gesamtenergetische Nutzen der dezentralen Technologie ist ohne Zweifel deutlich höher als der, der durch die jährliche Energieeinsparung für die Mieter auf dem ersten Blick sichtbar ist.

Wenn kommunale Wasserver- und -entsorger dezentralen Grauwasserrecyclinganlagen betreiben würden, würden die Endnutzer vermutlich von ermäßigten Umsatzsteuersätzen profitieren. Denn wer seine Toilette mit Trinkwasser spült, entrichtet 7% Umsatzsteuer und die Aufwendungen für die kommunale Abwasserreinigung sind umsatzsteuerfrei – während alle Aufwendungen, die im Zusammenhang mit einer privaten Betriebswassernutzung stehen, leider ausnahmslos mit 19% besteuert werden. Wartungsarme und einfach zu bedienende Anlagen können alternativ natürlich auch durch einen geschulten Hausmeister betrieben werden.

Ein früher Einbezug von Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung in die Vorplanung wirkt sich kostensenkend aus.

Da zum Zeitpunkt der Gebäudeplanung nicht an Wärmerückgewinnung aus Grauwasser gedacht wurde und noch keine belastbaren Daten zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser vorlagen, wurde der Wärmeertrag nicht in die Energieberechnungen einbezogen. Dieses wäre aber bei neuen Anlagen möglich. Ein zusätzlicher Wärmeertrag könnte Architekten und Energieplanern gleichermaßen höchst willkommen sein, sofern sich dadurch andere, konstruktiv schwierige Details effektiver gestalten ließen.

Der frühzeitige Einbezug eines erfahrenen Fachplaners kann die Installationskosten für das zweite Leitungsnetz und für die Recyclinganlage und die Betriebskosten in vielen Fällen deutlich reduzieren.

Neben einigen noch möglichen Anlagenoptimierungen an der Pilotanlage, die eine weitere Effizienzsteigerung zur Folge haben werden, ist daran zu arbeiten, dass Gebäude nicht allein nach dem Primärenergiebezug, sondern dass sie zukünftig auch im Hinblick auf Wasser- und Nährstoffeffizienz beurteilt werden.

Die hier realisierte Energierückgewinnung, die zur Vorerwärmung des kalten Trinkwassers dient, benötigt – von der Grauwasserrecyclinganlage isoliert betrachtet – deutlich weniger als $1 \text{ kWh}_{\text{elektr}}$ um je nach Randbedingungen 32 bis 45 kWh thermische Energie einzuspeisen.

5 Danksagung

Besonderer Dank gebührt der DBU, die dieses Projekt unter dem AZ 28201 bis Januar 2013 fördert, dem Architekten Herrn Heinhaus sowie dem Bauherrn Herrn Grunow, ohne die es das Projekt nicht geben würde. Planung und Ausführung lagen ganz wesentlich in den Händen der Mitarbeiter Herrn Freudenberg (Konstruktion) und Herrn Sack (Programmierung), der Anlagenbau erfolgte durch Herrn Büttner (Fa. Lokus GmbH).

6 Literatur

- Althaus, H. (1987): in K. Aurand Hrsg.: Die Trinkwasserverordnung, Erich Schmidt Verlag, S. 306, Berlin.
- BDEW (2012): BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/8DFG2N-DE_Grafiken; Trinkwasserverwendung im Haushalt 2011 vom 1. November 2011.
- fbr (2005): Herausgeber Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V. fbr-Hinweisblatt H 201, Grauwasser-Recycling – Planungsgrundlagen und Betriebshinweise, April 2005, Darmstadt.
- Heinhaus, Uwe (2012): Vortrag, Passiv Mietshaus am Arnimplatz, Berlin, Prenzlauer Berg, Werkbericht vom 21.08.2012 und mündliche Mitteilungen.
- SenBauWohn (1995): Herausgeber Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen: Betriebswassernutzung in Gebäuden – Auswertung der Berliner Modellvorhaben und der Betriebswassertagung vom 9.02.1995, Berlin 1995. Kostenlose Neuauflage in Netz unter: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/wasser/wasserkonzepte/index.shtml
- Kobel, Beat (2008): Abwasserwärmerückgewinnung – allgemein und konkret in Lyss, Vortrag, Lyss, 3. Juli 2008. http://www.energiestadt.ch/f/joomla/downloads/seminaires/Infrastructures/Vortrag_Lyss_Kobel.pdf

Stoffstrombilanzierung verschiedener Abwassersysteme – Hotspots von CO₂ und Energie

Martin Oldenburg, Fachgebiet Biologische Abwasserreinigung und Abwasserverwertung, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, An der Wilhelmshöhe 44, 37671 Höxter

Oliver Christ, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, Steingruberstraße 2, 91746 Weidenbach-Triesdorf

Jutta Kerpen, Hochschule RheinMain, Am Brückweg 26, 65428 Rüsselsheim

Franziska Meinzinger, Hamburg Wasser, Bilhoner Deich 2, 20539 Hamburg

Erwin Nolde, Nolde & Partner, Marienburgerstr. 31a, 10405 Berlin



Stoffstrombilanzierung verschiedener Abwassersysteme Hotspots von CO₂ und Energie



Prof. Dr.-Ing. Martin Oldenburg
Hochschule Ostwestfalen-Lippe
FG Biologische Abwasserreinigung und
Abwasserverwertung
An der Wilhelmshöhe 44
37671 Höxter

AG 1.6 „Bemessungshinweise“



- ▶ Prof. Dr.-Ing. Oliver Christ – Hochschule Weihenstephan, Triesdorf
- ▶ Prof. Dr.-Ing. Jutta Kerpen – Hochschule Rhein-Main, Rüsselsheim
- ▶ Dipl.-Ing. Erwin Nolde – Nolde & Partner, Berlin
- ▶ Dr.-Ing. Franziska Meinzinger – HamburgWasser, Hamburg



Ausgangssituation



- ▶ Systemgrenzen des bestehenden Entwässerungssystems werden an vielen Stellen deutlich.
- ▶ NASS-Systeme werden vielfach diskutiert und unterliegen steigendem Interesse.
- ▶ Anzahl der NASS-Anwendungsfälle derzeit noch niedrig und Anwendung vielfach kleinräumig.
- ▶ Vor- und Nachteile von NASS-Systemen sind häufig nicht direkt sichtbar.
- ▶ Hinweise zur Bemessung und zur Auslegung von Bauteilen fehlen.





Intention

- ▶ Systemvergleich auf der Basis einfacher Bilanzierungen für verschiedene NASS-Systeme
- ▶ Beurteilung der Systeme anhand der Parameter:
 - Bauvolumina
 - Nährstoffnutzungspotential
 - Energiebilanzierung
 - CO₂-Emission
- ▶ Kein Ersatz einer detaillierten Lebenszyklusbetrachtung
- ▶ **Fokus liegt auf der Darstellung von Unterschieden zwischen den Systemen und nicht auf den Absolutwerten (Relativvergleich)**





Systemgrenzen

- ▶ Kommunales Einzugsgebiet mit Trennsystem (Fremdwasserzuschlag: 30 %) Einzugsgebietsgröße 50.000 Einwohner
- ▶ Gebäudeinstallation und Kanalisationssysteme sind einzugsgebietsspezifisch und für alle Systeme ähnlich
- ▶ Zentrales System
- ▶ Betrachtung des Betriebs der Systeme incl. Produkttransport
- ▶ Bioabfallbehandlung optional möglich
- ▶ Nicht betrachtet werden:
 - Aufwand für Errichtung der Bauteile
 - Investitionen und ökonomischer Betriebsaufwand
 - Rechtl. Grenzen bzgl. der Verwertung





Vorgehen

- ▶ Identifikation der zu untersuchenden NASS-Systeme
- ▶ Wahl der Behandlungsstufen
- ▶ Identifikation von Produktströmen
- ▶ Bilanzierung der einzelnen Behandlungsstufen und des Gesamtsystems
- ▶ Belegung der Prozesse mit Kenngrößen:
 - Behandlungs- und Speichervolumen (Bemessung)
 - Energieverbrauch (Strom, Wärme)
 - Primärenergieverbrauch
 - CO₂-Emissionen
- ▶ Sensitivitätsanalysen





Systemwahl

- ▶ Referenz (1-Stoffstrom):
Konventionelle Belebtschlammanlage
- ▶ System 1 (2-Stoffstrom):
Gelbwassertrennung mit direkter landwirtschaftlicher Verwertung
- ▶ System 2 (2-Stoffstrom):
Gelbwassertrennung mit Aufbereitung und landwirtschaftlicher Verwertung
- ▶ System 3 (2-Stoffstrom):
Grau- und Schwarzwassertrennung mit teilweiser Verwertung



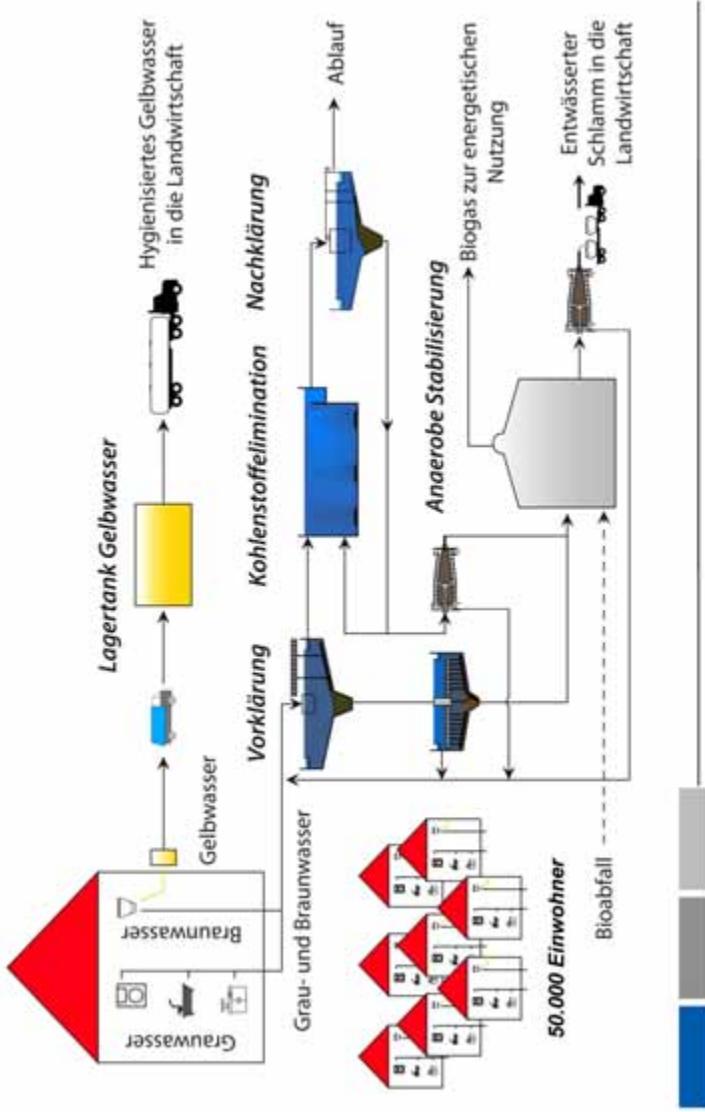


Referenzsystem

- ▶ Belebtschlammanlage mit vorgeschalteter Denitrifikation und chem. P-Fällung
- ▶ Anaerobe Schlammstabilisierung mit biolog. Behandlung des Trübwassers aus der Schlammmentwässerung
- ▶ Schlammmentwässerung und –trocknung
- ▶ Systemexport des Klärschlamm (Verbrennung)

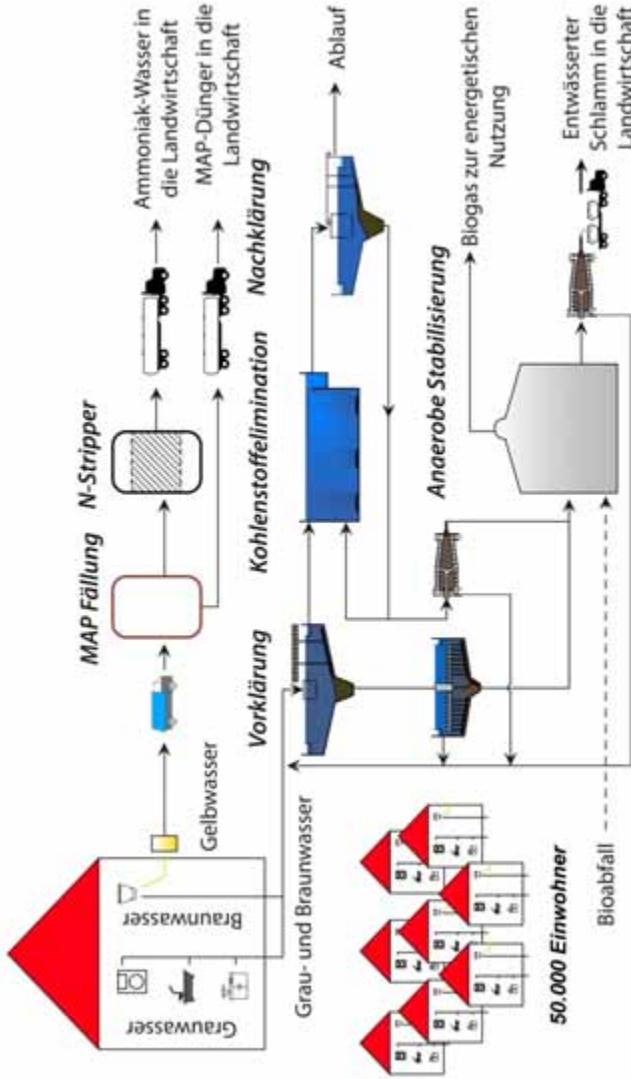


System 1: 2-Stoffstromsystem
 GW-Trennung – direkte Verwertung



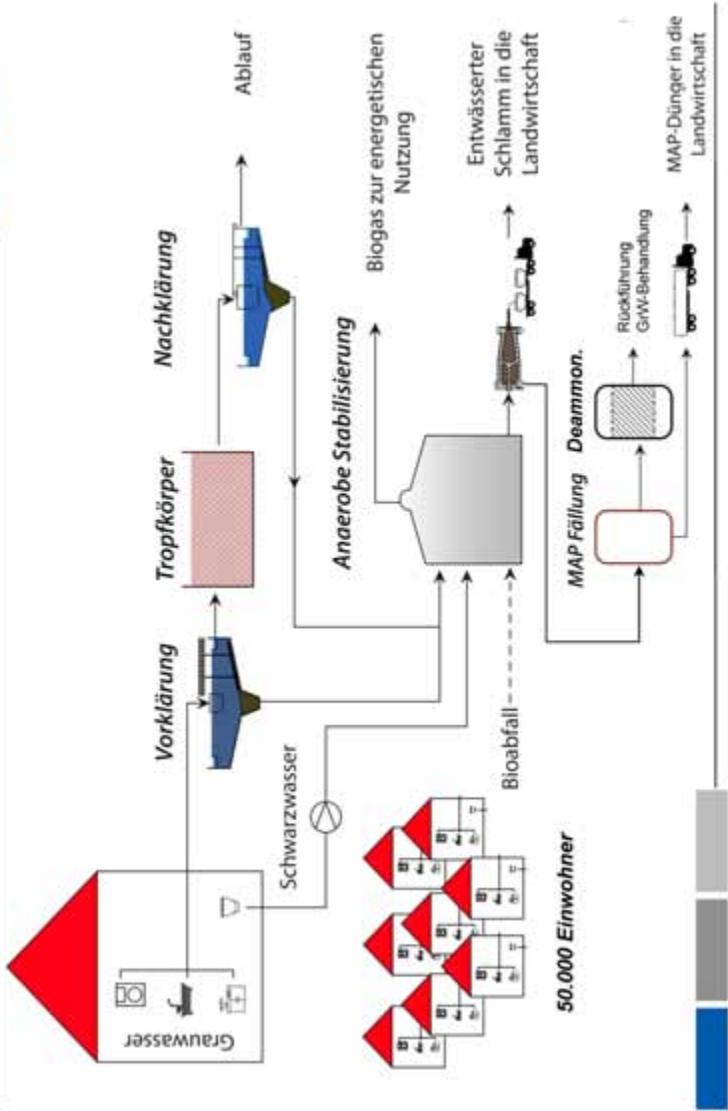
System 2: 2-Stoffstromsystem

GW-Trennung m. Aufbereitung





System 3: 2-Stoffstromsystem GrW- und SW-Trennung





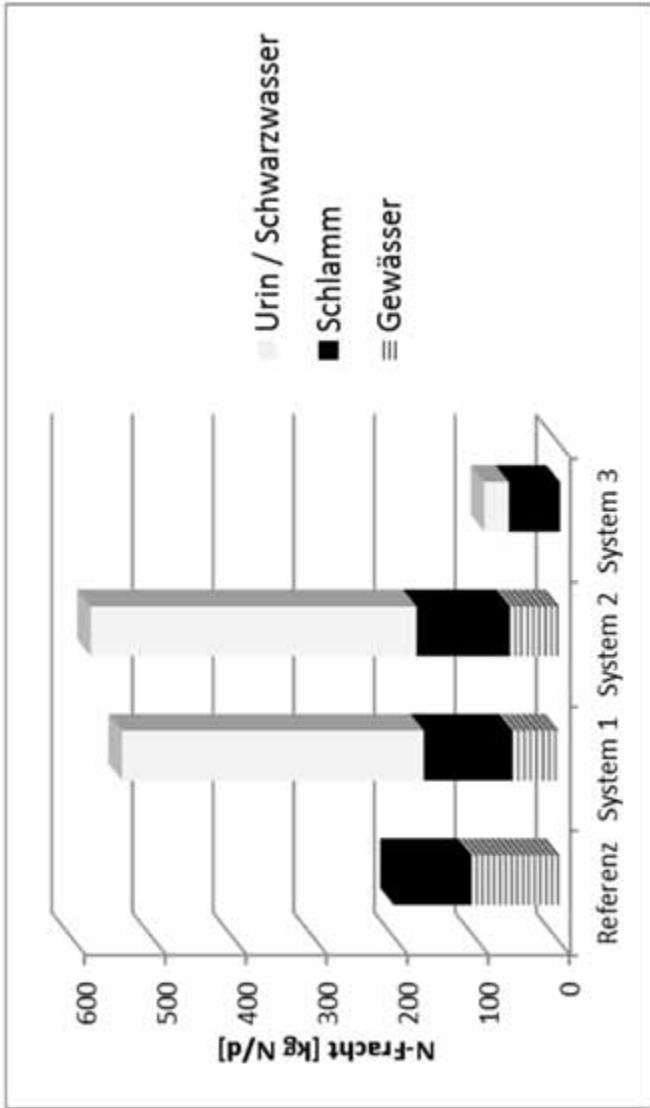
Zusammensetzung Teilströme

Param.	Einheit	Fäzes	Urin	Grauwasser	Schmutzwasser	A 198
Q	[l/(EW*d)]	0,14	1,4	80	122	(150)
BSB ₅	[g/(EW*d)]	20	5	18	55	60
TS	[g/(EW*d)]	38	0	13	74	70
oTS	[g/(EW*d)]	35	0	9	64	-
N _{ges}	[g/(EW*d)]	1,5	10,4	0,8	12,7	11
P _{ges}	[g/(EW*d)]	0,5	1	0,5	2	1,8



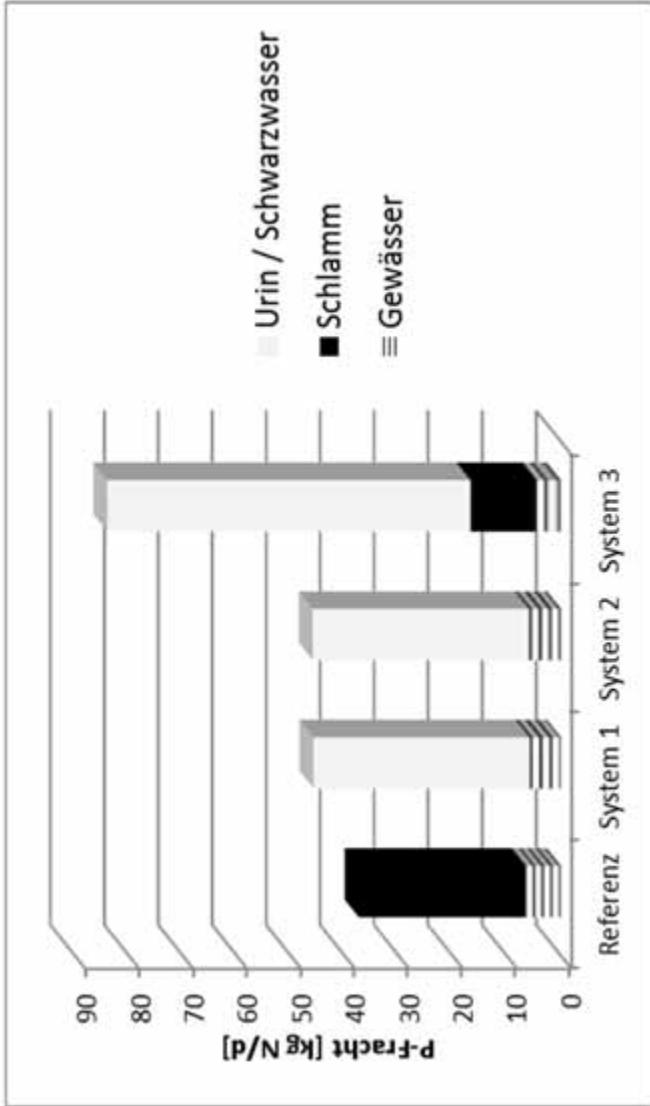


Frachten N



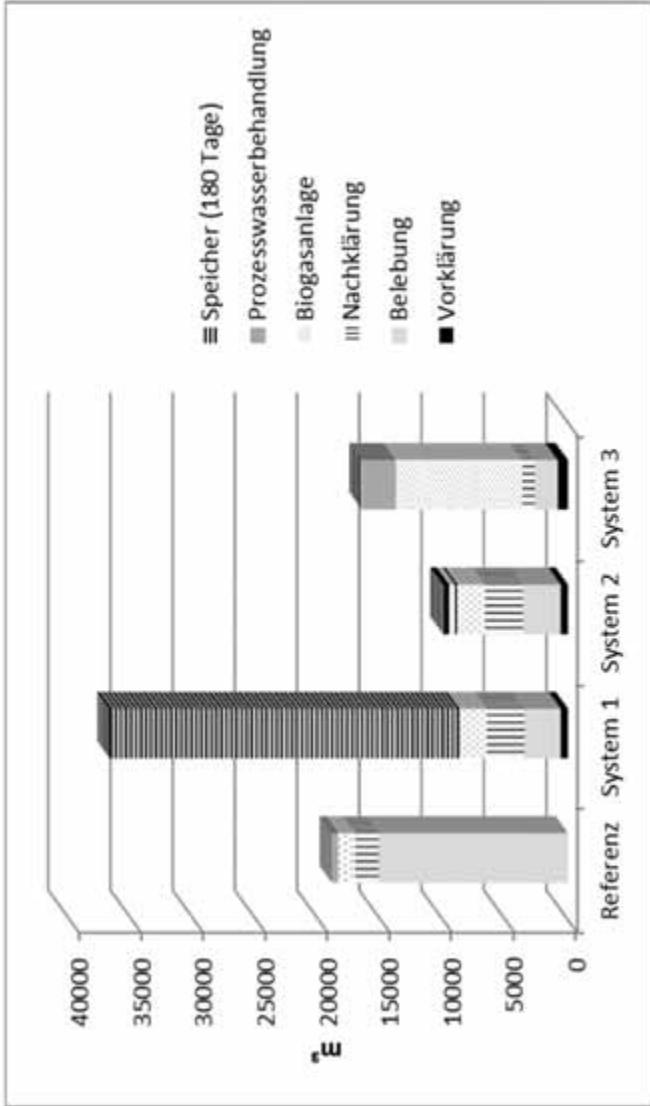


Frachten P (pflanzenverfügbar)



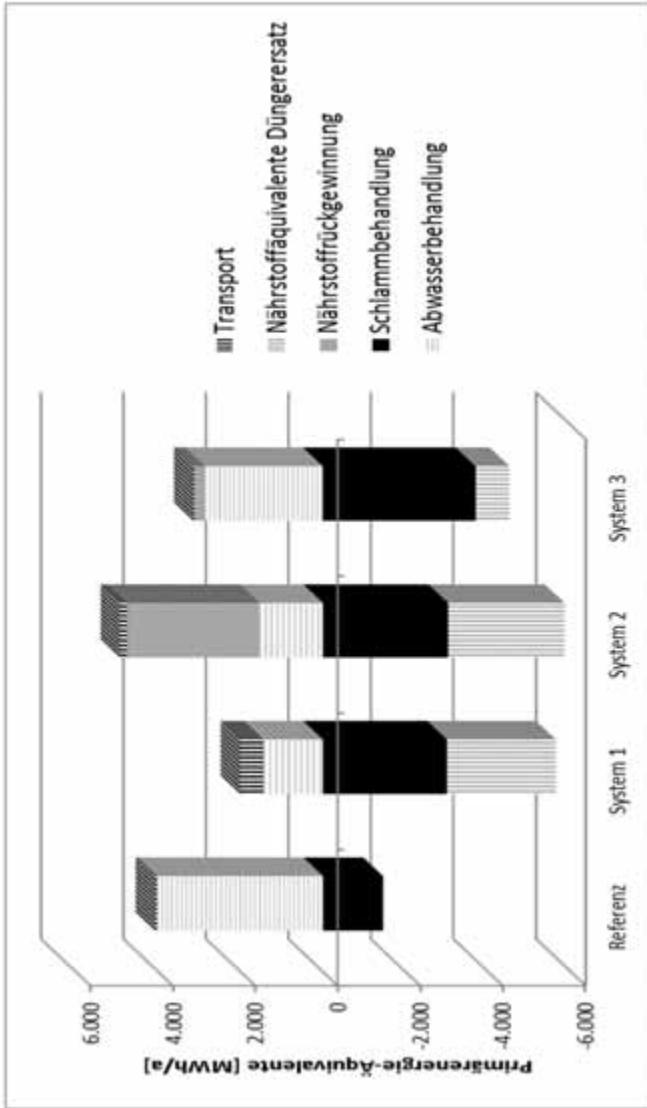


Behandlungsvolumina



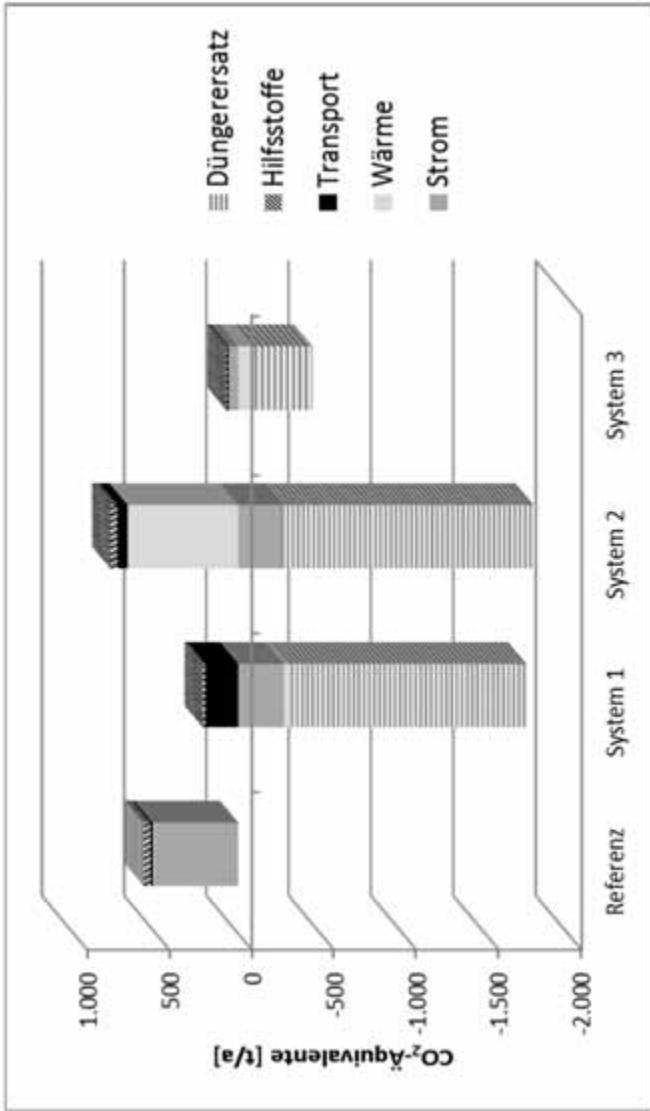


Primärenergieäquivalente





CO₂-Äquivalente





Zwischenergebnisse

- ▶ Alle Systeme weisen gut identifizierbare Unterschiede auf
- ▶ System 1 und 2 haben hohe Stickstoff-Rückgewinnungsraten
- ▶ System 3 hat eine gute Wiederverwertungsrate für Phosphor
- ▶ Speicherung der Flüssigprodukte führt zu sehr hohen Speichervolumina
- ▶ Emissionen infolge Transport sind gering
- ▶ Nutzung der Nährstoffe wirkt positiv auf die CO₂-Bilanzierung

- ▶ Alle NASS-Systeme haben eine positive Primärenergiebilanz





Sensitivitätsuntersuchungen

Variation von Parametern zur Untersuchung der Sensivität der Systeme

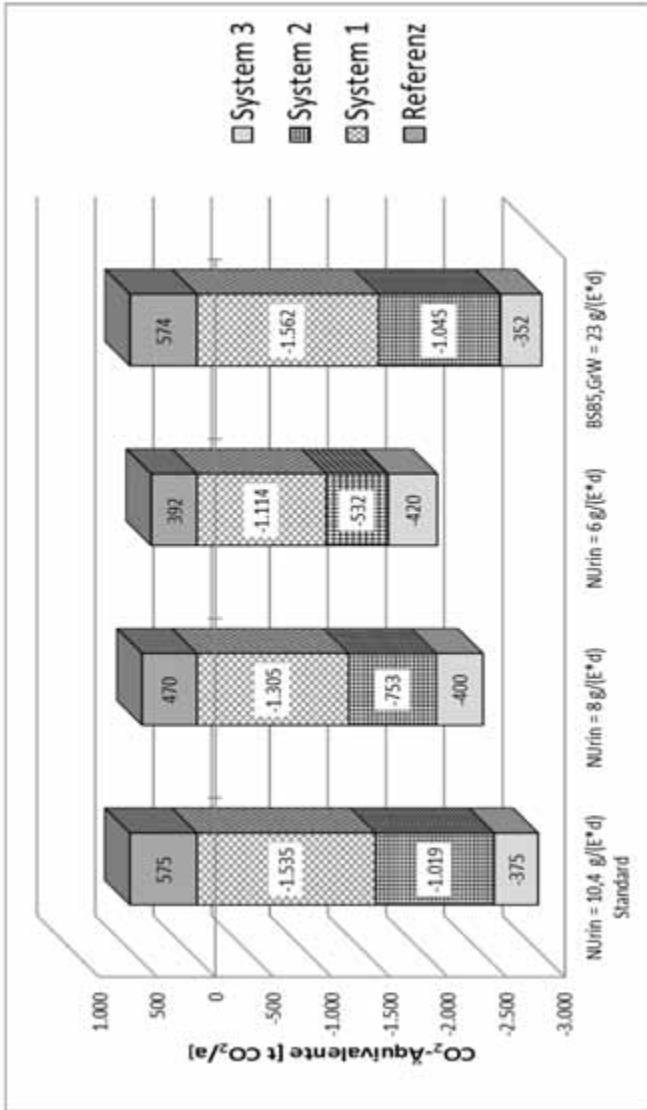
Hier vorgestellt:

- ▶ Zusammensetzung der Teilströme
- ▶ Grad der Gelbwassererfassung
- ▶ Transportentfernung





Zusammensetzung der Teilströme





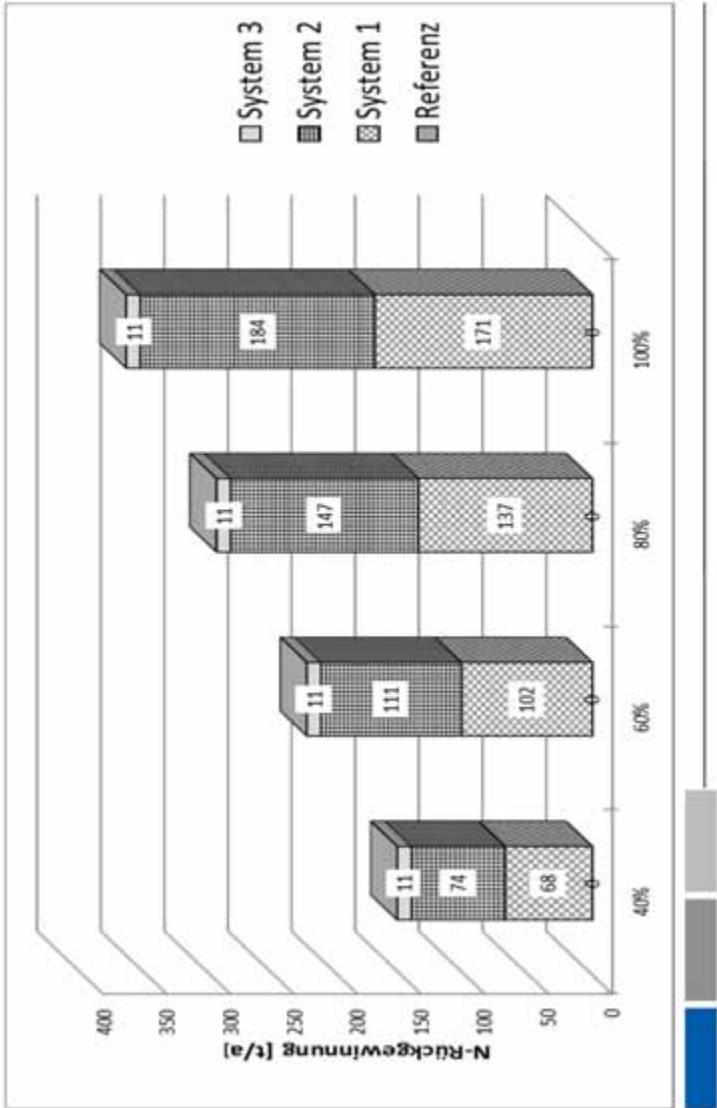
Veränderung von Eingangsparametern

- ▶ Reduzierung der Stickstoffnutzungsrate
- ▶ Kaum Änderung der erforderlichen Behandlungsvolumina
- ▶ Verringerung des Energiebedarfs bei System 1
- ▶ Verschlechterung der CO₂-Bilanz bei System 2 und 3 aufgrund fehlender Gutschrift Düngersatzstoffe
- ▶ Verbesserung der CO₂-Bilanz aufgrund geringeren Aufwands für N-Elimination bei System 3



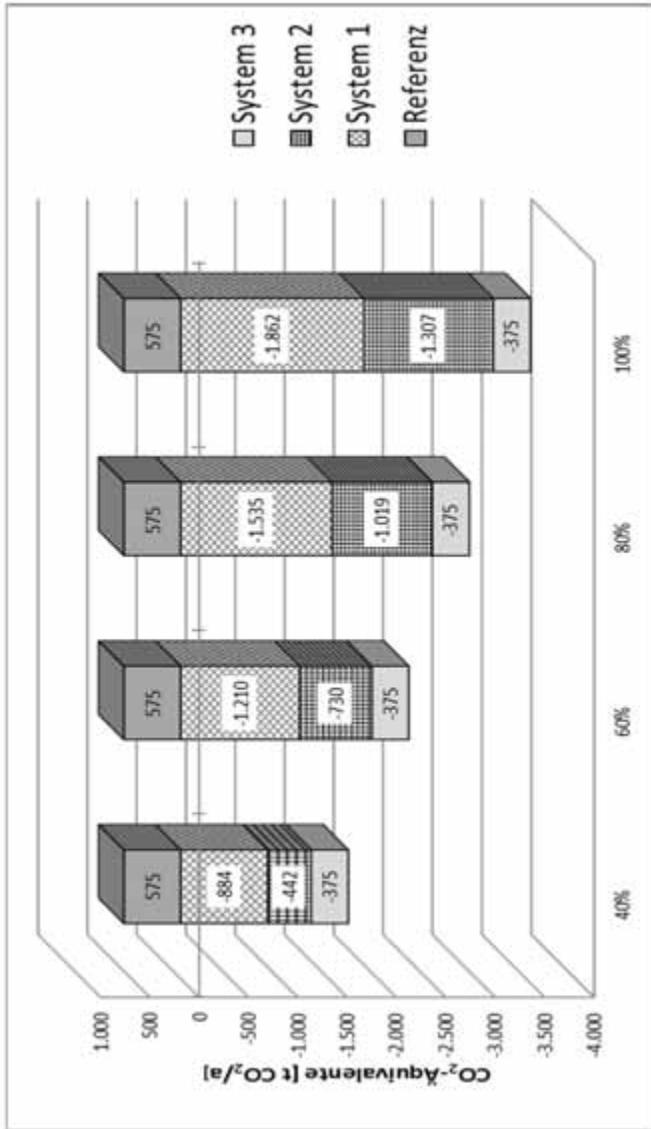


Erfassungsgrad Gelbwasser





Erfassungsgrad Gelbwasser



Erfassungsgrad Gelbwasser

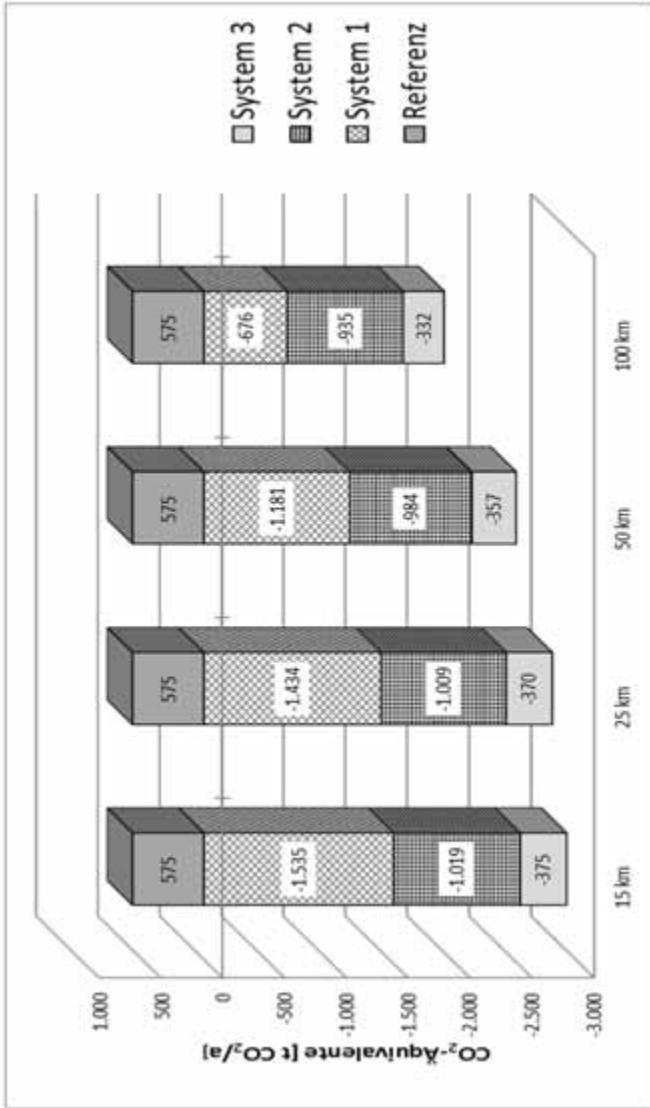


- ▶ Stickstoffrückgewinnungsrate abhängig vom Erfassungsgrad Gelbwasser
- ▶ Positive Primärenergiebilanz (Bedarf) bei niedrigen GW-Erfassungsraten bei System 2
- ▶ Auch bei schlechten Erfassungsraten noch eine positive CO₂-Bilanz





Transportentfernung





Transportentfernung

- ▶ System 2 weist höchste Sensitivität auf die Variation der Transportentfernung auf
- ▶ Auch bei großen Entfernungen (100 km) weisen alle NASS-Systeme Überschüsse bei der Primärenergiebilanz bzw. positive CO₂-Bilanzen auf
- ▶ System 3 weist niedrigste Sensitivität gegenüber der Veränderung der Transportentfernung auf



Ergebnisse Sensitivitätsuntersuchung



- ▶ Variation von Parametern wirkt positiv/negativ verstärkend aber nicht verändernd bezüglich der Unterschiede zwischen den Systemen
- ▶ Geringe Unsicherheiten in den Ausgangsdaten der Teilströme haben nur marginale Auswirkungen auf die Bilanzierung
- ▶ Erfassungsgrad Gelbwasser ist maßgeblich für den Grad der Stickstoffrückgewinnung
- ▶ Auch bei großen Transportentfernungen bleibt eine positive CO₂-Bilanz





Zusammenfassung

- ▶ Einfaches Bilanzierungsmodell zeigt signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Sanitärsystemen
- ▶ Speicherung von Flüssigprodukten führt zu großen Volumina; Behandlung und Aufkonzentrierung sinnvoll
- ▶ Alle NASS-Systeme zeigen eine positive CO₂-Bilanz und eine positive Primärenergieäquivalenz.
- ▶ Bilanzierungen können die Ansatzpunkte für zukünftige Fragestellungen an NASS-Systemen aufzeigen.



The potential contribution of NASS products on the fertilizer use and impact on greenhouse gas emissions in different countries

Joachim Clemens, bonalytic GmbH, Postbox 1161, 53821 Troisdorf

Björn Vinnerås, Håkan Jönsson, Department for Environmental Engineering,
Swedish University of Agricultural Sciences, Postbox 7032, 750 07 Uppsala,
Sweden/National Veterinary Institute, 756 89 Uppsala Sweden

Martina Winker, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH,
Sektorvorhaben Nachhaltige Sanitärversorgung – ecosan, Postbox 5180,
65726 Eschborn

Ute Arnold, University of Bonn, INRES-Department of Plant Nutrition,
Karlrobert-Kreiten-Strasse 13, 53115 Bonn

Heinz-Peter Mang, University of Science and Technology Beijing, School of
Civil & Environmental Engineerin. Centre for Sustainable Environmental Sanitation,
Xueyuan Road 30/Haidian District, Tu Mu Huan Jing Lou – Office 12.14, Beijing,
100083, P.R. China

1 Introduction

In Europe fertilisers are readily available and even if the use of mineral fertiliser has been optimised during the last decades, farmers tend to over fertilise. Therefore, in Europe we need regulations to limit fertiliser use in agriculture which usually results in pollution of groundwater and surface waters. In other areas of the world it may be different. For example in many African countries south of Sahara there exists a net nutrient depletion of soils (Figure 1). In many Asian countries the fertilisers are heavily subsidised causing economic problems for many countries. In such countries alternative fertiliser sources are of special interest as they may be available at lower prices than mineral fertiliser traded at world market prices.

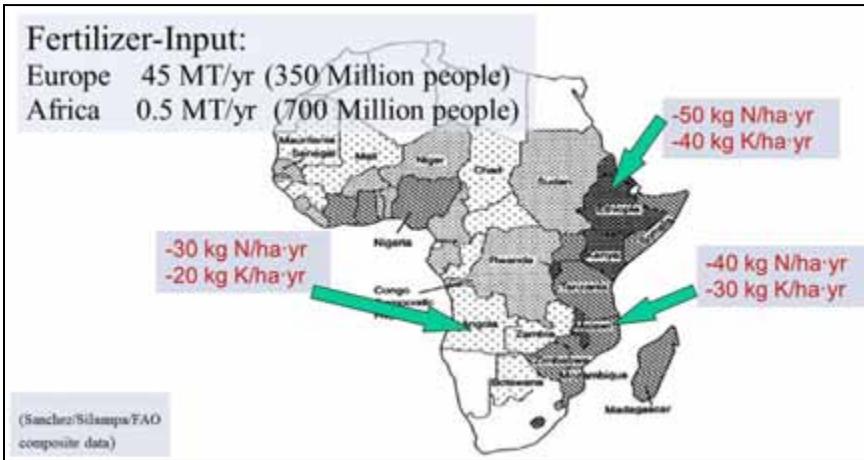


Figure 1: Example for the nitrogen deficits in different African regions (FAO, 2003). Those effects result from an unbalanced nutrient management in agriculture. More nutrients are removed with the crops than added by fertilisers

Blackwater and urine may potentially substitute a certain amount of mineral fertiliser use. However, blackwater and urine have lower nutrient concentrations compared to mineral fertilisers. As a consequence these products are only economical interesting if the distance between the sources of production and the recipient fields is small. Nevertheless, additional post treatment may concentrate nutrients and may increase the distribution possibilities.

The aim of this study is to evaluate the potential share of the “produced” nutrients by humans on the overall fertiliser consumption in different countries. Two European countries (Sweden and Germany) are compared with a developing country in Africa (Uganda) and Asia (Vietnam).

Besides the potential substitution of mineral fertilisers the economical value and the potential CO₂ savings by the direct use of blackwater and urine as fertiliser were investigated.

2 Material and Methods

The data used within this study was collected within a literature review. The country data of the yearly “nutrient production” in blackwater and the population figures of the different countries as well as CO₂ emissions of the different mineral fertilisers derived from different literature sources. The world market price for the different nutrients was of May 2012 for delivery in a Swedish harbour and the gross domestic product (GDP) was taken from Worldbank (2012, data from 2009).

The backwater concentration is based upon the calculations performed by Jönsson and Vinnerås (2004) where the excretion of plant nutrients (Vinnerås et al., 2006) were linked to the FAO statistics on food consumption. The estimated population of January 2012 for each country were used. The mineral fertiliser consumption for Sweden was taken from the official Swedish statistics (www.scb.se) and for Germany was the official German data given (www.destatis.de). For the other countries were the FAO statistics for estimated mineral fertiliser consumption of 2010 used (<http://faostat.fao.org>). The carbon dioxide emissions from each country were taken from the International Energy Agency (www.iea.org).

A very straight forward and simplified approach was applied: The required nutrients derived from wastewater sources can be added without additional treatment. This means no additional requirements of energy (or CO₂) for blackwater treatment was taken into account and nutrient losses within the treatment and transport were not regarded. If a treatment is necessary for hygienic reasons, a treatment with urea is suggested (Vinnerås et al., 2008, Nordin et al., 2009). Urea treatment sanitizes blackwater by formation of uncharged ammonia. This technique is assumed to be zero in terms of CO₂ emissions as additional nitrogen has to be applied anyway to match the plant’s nutrient demand and thereby allocated to the fertiliser rather than the sanitation and treatment. In low flush systems the intrinsic ammonia is enough and no additional ammonia addition is required. The higher ammonia concentration may increase potential NH₃ emissions and about 5-10 % can be expected to be lost in the treatment and the field application process as an application technique providing an application close to the soil with an immediate incorporation into the soil was considered to avoid most nutrient losses (Vandré et al. (1997).

3 Results and Discussion

Fertiliser production

The yearly “fertiliser production” from blackwater varies between the four countries (Figure 2). There are two main reasons for this. First of all, the population figures are different. While Germany accounts nearly 82 Mio people, the figure of Sweden (9.5 Mio) and Uganda (31.3 Mio) is much smaller. However, this does not explain the lower annual nutrient production of Vietnam as Vietnam has a population figure of 86 Mio people. The reason is the lower annual nutrient production per inhabitant. While in Sweden and Germany, each person produced approx. 4.5 kg N/pers a, the rate in Uganda and Vietnam with 2.6 respectively 2.5 kg N/pers a, is much lower and results of the different diet containing less proteins. Also the other macro nutrients vary: phosphorus shows 0.6 kg P/pers a in Europe, 0.4 kg P/pers a in Uganda and 0.3 kg P/pers a in Vietnam. Potassium shows a similar production rate for Europe (1.4 kg K/pers a) and Uganda (1.5 kg K/pers a) while in Vietnam it is much lower (0.6 kg K/pers a). For potassium there is a major effect by the diet if the staple food is potatoes, that give high potassium levels, or rice that contains considerably less potassium.

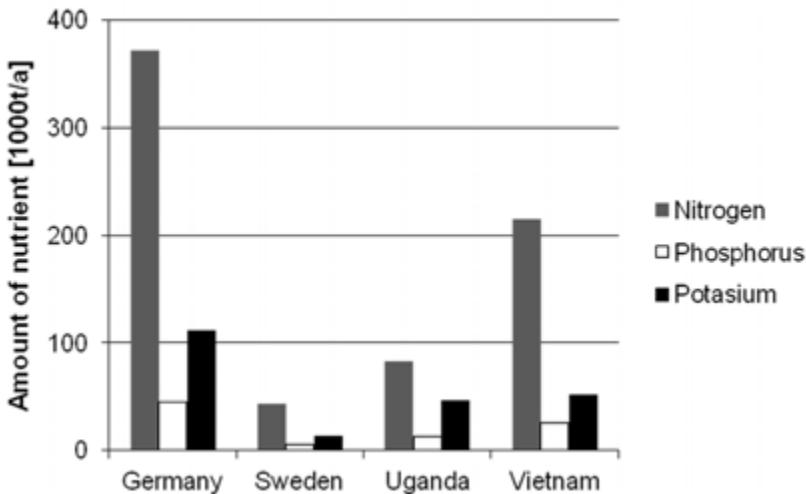


Figure 2: Annual nutrient production within blackwater for the four selected countries

Mineral fertiliser consumption

The mineral consumption in the four countries varied considerably (see Table 2). The per capita consumption of nitrogen and phosphorus varies only slightly between Germany, Sweden and Vietnam. Hence, the differences can be explained by the varying population figure. The difference in potassium consumptions is larger. While Germany consumes 5.2 kg K/pers a, Sweden and Vietnam use 2.4 respectively 1.6 kg K/pers a. This is due to the differences in soil type, crop that is produced and what fertilisers that are used, including regional recommendations for the specific soil and crop.

Table 2: Annual mineral fertiliser consumption in Germany, Sweden, Uganda and Vietnam

Country	mineral N	mineral P	mineral K
	1000 t/a		
Germany	1800	140	420
Sweden	170	10	23
Uganda	6,4	0,8	1,0
Vietnam	1500	110	140

However, Uganda shows a completely different picture. Here, the consumption is only 0.2 kg N/pers a, and even lower for phosphorus and potassium with 0.02 and 0.03 kg/pers a, respectively. The explanation is most likely the lower economic strength (e.g. lower GDP) of Uganda. Nevertheless, the overall difference even to Vietnam, the second developing country, is tremendous. A Ugandan in average consumes only 1 % of the nitrogen consumption of a Vietnamese person, as well as 2 % of the Vietnamese phosphorus and potassium consumption. Additionally, Vietnam subsidise mineral fertilisers and export large quantities of agricultural products while Uganda have no subsidies of fertilisers and in comparison small export of agricultural products.

Potential substitution of mineral fertiliser by wastewater products and its economic value

When combining the annual nutrient production in blackwater with the consumption, the potential substitution of mineral fertiliser can be calculated (see Table 3). Here, it becomes very obvious that Uganda shows a very different scenario than the other countries. While a quite decent substitution for the macronutrients between 14-37 % can be achieved for Germany and Vietnam. Sweden showing even higher replacements for phosphorus (50 %) and potassium (56 %) as the fertiliser consumption decreased over the last years, mainly due to change in fertiliser recommendation combined with soil analysis. The substituting effect for Uganda is outstanding. Even with the much lower nutrient production per capita (see also Figure 2), the whole recent nutrient consumption could be covered 13 to 46 times, depending of fertiliser. This relates directly to the effect of nutrient deficits for African countries shown in Figure 1 and shows the benefits usage of wastewater products could bring to those countries. Additionally using the local fertiliser resources have positive effect on the economy of the country as the production can increase without having to import mineral fertiliser from the international market.

Table 3: Substitution of mineral fertilisers achieved by usage of nutrients out of blackwater

Country	Substitution of mineral fertilisers		
	mineral N	mineral P	mineral K
	%		
Germany	21	32	26
Sweden	25	50	56
Uganda	1300	1700	4600
Vietnam	14	24	37

Table 4: Values of the overall substituted mineral fertiliser as well as the contribution of this substitution towards the gross domestic product (GDP) of 2010 is shown

Country	Value of subst. mineral fertiliser	GDP 2010	Contribution of mineral fertiliser to GDP
	Mio €/a		%
Germany	730	2510000	0.029
Sweden	85	355000	0.024
Uganda	200	13200	1.50
Vietnam	400	82000	0.49

The financial value of such a fertiliser substitution (see Table 4) ranges from 85 Mio €/a (Sweden) up to 732 Mio €/a (Germany). The major part of the overall value is contributed by nitrogen with 54 % (Uganda) to 70 % (Vietnam) of the overall value followed by potassium (3-22 %) and phosphorus (1-12 %). The potential contribution of the financial value to the GDP of the respective countries ranges from 0.024 % (Sweden) to 1.50 % (Uganda). The contribution in both developing countries is considerable higher than in the European ones and indicates the added value of such a contribution to their economy.

CO₂ emissions

The CO₂ emissions (see Table 5) reported from the four countries ranges between 50 Mio t CO₂/a (Uganda) up to 790 t CO₂/a in Germany. The substitution of mineral fertilisers may save from 0.24 Mio t CO₂ in Sweden up to 2.0 Mio t CO₂ in Germany per annum. The relative CO₂ savings are slightly higher in the developing countries. While Sweden and Germany show 0.3 respectively 0.4 % of potential savings from using blackwater, Vietnam would save 0.8 % and Uganda the most with 0.9 %. The overall saving potential is rather small. For example in Germany this can be compared with the CO₂ emissions from organic waste treatment (around 0.1 % of the CO₂-emissions, Cuhls et al. 2012). For countries like Uganda and Vietnam it is hard to evaluate these data in detail as the CO₂ reports are not complete. It can be as-

sumed that a more complete CO₂ assessment in these countries would lower the CO₂ emission saving potential from black water as well.

Table 5: The potential saving rate of CO₂ emission was calculated by comparing the annual substitution of mineral fertilisers with the overall emissions in the four countries

Country	CO ₂ substitution by mineral fertiliser	overall CO ₂ emissions in 2009	relative CO ₂ saving potential from blackwater
	1000 t/a		%
Germany	2000	790000	0.3
Sweden	240	66000	0.4
Uganda	460	50000	0.9
Vietnam	1200	150000	0.8

4 Conclusion

Most of all, the developing countries Uganda and Vietnam would profit from using nutrients out of blackwater as fertiliser for agriculture. This would have a major impact on their GDP but a rather low influence on their CO₂ emissions. But also for the two European countries a major substitution potential of mineral fertiliser exists as over 50 % of the Swedish consumption of mineral phosphorus and potassium could be substituted.

Although for other countries not the full data set was available, it can be assumed that similar tendencies can be observed as all four countries show the normal conditions within their continents.

This study highlights the potential of black water and does not take into account the potential limitations such as the financial costs and CO₂ emissions from treatment and transport.

5 Literature

- Carsten Cuhls, Birte Mähl, Joachim Clemens (2012): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, Hsg.: Umweltautorität (2012), FKZ: 206 33 326 & 3709 44 320, in Vorbereitung
- FAO (2003): Assessment of soil nutrient balance, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, Version 14, <http://www.fao.org/docrep/006/y5066e/y5066e06.htm> 9251050384
- Jönsson, H. Vinnerås, B. 2004. Adapting the proposed Swedish default value for urine and faeces to other countries and regions, In: Ecosan – closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation, 7th-11th April, Lübeck, Germany, pp. 623-626.
- Ministry of Natural Resources and Environment of Viet Nam (Monroe), (2005): Technical report on the identification and assessment of technology needs for GHG emission reduction and climate change adaption in Vietnam, Draft 1, Hanoi, Vietnam. URL: http://unfccc.int/ttclear/pdf/TNA/Vietnam/Vietnam_Final_Report_Phase_II.pdf
- Nordin, A. Ottoson, J. Vinnerås, B. 2009. Sanitation of faeces from source-separating dry toilets using urea. *Journal of Applied Microbiology* 107; 1579-1587.
- Statistisches Bundesamt (2012): <https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>
- Vandré Robert, Clemens Joachim, Goldbach Heiner, Kaupenjohann Martin (1997): Ammonia and nitrous oxide emissions after landspreading of slurry as influenced by application technique and dry matter-reduction. I NH₃, Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 160, 303-307.
- Vinnerås, B. Palmquist, H. Balmer, P. Jönsson, H. 2006. The composition of household wastewater and biodegradable solid waste – proposal for new norms for the flow of nutrients and heavy metals. *Urban Water* 3:1, 3-11.
- Vinnerås, B. Nordin, A. Niwagaba, C. Nyberg, K. 2008. Inactivation of bacteria and viruses in human urine depending on temperature and dilution rate. *Water Research* 42, 4067-4074
- Wohlsager Susi, Clemens Joachim, Nguyet PT, REchenburg Andrea, Arnold Ute (2010): Urine-- a valuable fertilizer with low risk after storage in the tropics, *Water Environ Res.* 2010 Sep-Oct;82(9):840-7.
- Worldbank (2012): <http://data.worldbank.org/> für 2009;

Notizen

Notizen