

Globale Nachhaltigkeit durch lokal maßgeschneiderte Lösungen – Wiederverwendung und Ressourceneffizienz



Etwa eine Milliarde Menschen haben noch immer keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, etwa 2,5 Milliarden Menschen leben auch heute noch ohne geregelte Abwasserentsorgung. Im Jahr 2002 hat der UN-Gipfel in Johannesburg die enorme Bedeutung der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung unterstrichen: Bis zum Jahr 2015 soll der Anteil der Menschen, die ohne sauberes Trinkwasser und ohne sanitäre Grundversorgung leben müssen, halbiert werden. Eine alleinige 1:1-Übertragung unserer Methoden in betroffene Gebiete kann dies nicht leisten, denn der demografische Wandel schreitet voran. Angepasste und effiziente Technologien und Konzepte sind deshalb erforderlich.

Vor Jahrzehnten für einen deutlich höheren Wasserverbrauch konzipiert, sind konventionelle, zentrale Versorgungs- und Entsorgungssysteme auf einen hohen Wasserdurchfluss in den Leitungen angewiesen. Der Wasserverbrauch der Haushalte in Deutschland sinkt jedoch seit Jahren; der demografische Wandel in Deutschland dürfte diesen Trend dort in den nächsten Jahrzehnten noch verstärken. Um den Druck zu erzeugen, der nötig ist, um die Ablagerung von Feststoffen in den Kanälen zu verhindern, muss in vielen Bereichen bereits heute zusätzliches Wasser zugeführt werden. Es sind deshalb künftig kleinere und sich an wandelnde Bedürfnisse anpassbare, sowie dezentrale Konzepte vordringlich.

Auch in Wassermangelgebieten und in ökologisch sensiblen Regionen bieten maßgeschneiderte, dezentrale Verfahren die Möglichkeit, die vor Ort vorhandenen Ressourcen effizient zu nutzen. Dieser Ansatz erfordert allerdings, den gesamten lokalen Wasserkreislauf, von der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung, Abwasserreinigung bis zum Recycling, als Einheit zu begreifen. Durch eine übergreifende Betrachtung und Bewirtschaftung lassen sich die Abwässer von Haushalten zu Brauchwasser aufbereiten, Feststoffe zu Dünger verarbeiten oder zu Biogas umwandeln und so energetisch nutzen. Wie sich erprobte Verfahren vor Ort zu Systemlösungen kombinieren lassen, haben mehrere vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekte untersucht.

Beispiel China. Als „semizentral“ wird eine Struktur bezeichnet, die über einzelne Bebauungseinheiten hinausgeht; sie unterscheidet sich damit von konventionellen zentralen Lösungen. Das Projekt „Semizentrale Versorgungs- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas“ hat

grundlegend untersucht, welches Potenzial dieser Ansatz für große und schnell wachsende Städte in China hat (Projekt 2.1.01).

Beispiel Deutschland. Im Mittelpunkt des Projektes „Sanitärrecycling Eschborn“ (SANIRESCH) steht die Frage, wie sich der Wasserverbrauch für Toiletten verringern und das anfallende Gelbwasser umweltverträglich nutzen lässt (Projekt 2.1.02). Das Projekt „Entwicklung und Kombination von innovativen Systemkomponenten aus Verfahrenstechnik, Informationstechnologie und Keramik zu einer nachhaltigen Schlüsseltechnologie für Wasser- und Stoffkreisläufe – Projekt KOMPLETT“ (Laufzeit: 2005 bis 2009) konnte zeigen, dass die Wiederverwertung aller im Haushalt anfallenden Abwasser sowie Feststoffe bei hoher Nutzungsdichte z. B. in Hotelanlagen, wirtschaftlich eingesetzt werden kann (Projekt 2.1.03). Wie sich „Produktionsintegrierte Umweltschutzmaßnahmen im Hotel- und Gaststättengewerbe unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Bausubstanz“ umsetzen lassen, untersuchte ein gleichnamiges Projekt (Projekt 2.1.04). Ob sich der knappe Rohstoff Phosphor aus Klärschlämmen effizient zurückgewinnen lässt, testet das vom BMBF geförderte Projekt „Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland“ (PhoBe). Weiterhin ermitteln die Forscher die Produktionskosten der eingesetzten Verfahren. (Projekt 2.1.05). Beim Anschluss von Neubaugebieten stellt sich für Kommunen die Frage der Erweiterung bereits bestehender Kanalsysteme. In einem Neubaugebiet in Knittlingen bei Pforzheim wurde ein „Dezentrales Urbanes Infrastruktursystem 21“ (DEUS 21) entworfen und umgesetzt (Projekt 2.1.08).

Beispiel Vietnam. Wie sich das Problem der Verschmutzung durch Mineraldünger und menschliche Exkremamente lösen lässt, untersucht das deutsch-vietnamesische Projekt „Schließen von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen über hygienisch unbedenkliche Substrate aus dezentralen Wasserwirtschaftssystemen im Mekong-Delta – SANSED“ (Projekt 2.1.06).

Beispiel Türkei. Eine umweltgerechte Abfall- und Abwasserentsorgung oder Energieversorgung ist in vielen Touristenanlagen eine Seltenheit. Eine Lösung könnten „Integrierte Module zur hocheffizienten Abwasserreinigung, Abfallbehandlung und regenerativen Energiegewinnung in Tourismus Resorts“ (kurz: MODULAARE) darstellen (Projekt 2.1.07).

Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme – Dynamische Lösungen für Chinas wachsende Großstädte

Chinas Städte wachsen rasant: Auf der Suche nach Arbeit ziehen viele Menschen in die Ballungszentren. Die Infrastruktur für die Ver- und Entsorgung ist darauf nicht ausgerichtet, erhebliche Umweltbelastungen sind die Folge. „Semizentrale“ Konzepte für die Wasserversorgung, die Abwasser- und Abfallbehandlung in schnell wachsenden urbanen Räumen sind eine Lösung: Sie lassen sich flexibel an den Bevölkerungszuwachs in Städten anpassen.

Konventionelle zentrale und vor allem sektoral angelegte Ver- und Entsorgungsstrategien stoßen in urbanen Räumen mit Zuwachsraten von bis zu 1.000 Menschen täglich schnell an ihre Grenzen. Das zeigt sich auch in der Volksrepublik China: Die schnell wachsenden Städte sind mit der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung, der Abfallbehandlung und der räumlichen Planung überfordert, entsprechend groß sind die Umweltprobleme.

Hier setzte der Projektcluster „Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume Chinas“ an (Laufzeit: 2004 bis 2010), geleitet vom Institut IWAR der Technischen Universität Darmstadt. Die noch neue räumliche Bezugsebene „Semizentral“ steht für eine Struktur, die über einzelne Bebauungseinheiten hinausgeht; sie unterscheidet sich damit von konventionellen zentralen Lösungen. Das Ziel: Ver- und Entsorgungseinheiten flexibel an die dynamische Entwicklung von Großstädten anzupassen, die in China durch ein schnelles Wachstum und sich schnell verändernde Strukturen gekennzeichnet sind.

Ein erstes Teilprojekt in den Jahren 2004/2005 galt den strukturellen und rechtlichen Grundlagen; weitere Projekte untersuchten technische Aspekte in Pilotanlagen in Deutschland und China, galten der Öffentlichkeitsarbeit (EXPO 2010 in Shanghai) sowie dem Kostenvergleich zwischen einer beispielhaften konventionellen und einer integrierten semizentralen Ver- und Entsorgungseinheit.

Ziel der zweiten Projektphase (2005 bis 2008) war es, Ver- und Entsorgungssysteme zu entwickeln, die durch eine weitgehende Kreislaufführung von Wasser und Energie einen nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen verwirklichen. Dies lässt sich nur mit einer integrierten Planung der technischen Anlagen erreichen. Das Projektteam entwickelte ein modulares Baukastensystem für die Ver- und Entsorgung (Wasser, Abwasser, Abfall), das sich flexibel an die lokalen Bedingungen anpassen lässt und technische wie organisatorische Synergien nutzt. Gegenstand der abwasserseitigen Forschung waren Untersuchungen zur



Ausstellungsstand „Semizentral“ auf der EXPO 2010 in Shanghai

Grauwasseraufbereitung ◀ und innerstädtischen Wasserwiederverwendung. Untersucht wurden verschiedene Verfahren, beispielsweise hinsichtlich der erreichbaren Ablaufqualitäten sowie des Flächen- und Energiebedarfs.

Integrierter Ansatz

Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme ermöglichen eine gleichbleibend hohe Qualität des Wasserzu- und -ablaufs, eine sichere Klärschlamm- und Abfallbehandlung und erzeugen selbst ausreichend Energie, um die Systeme autark betreiben zu können. Das Konzept integriert die verschiedenen technischen Infrastrukturelemente für Wasser, Abwasser und Abfall sowohl untereinander als auch in der Raumplanung. Dabei sind spezifische rechtliche, soziokulturelle, ökologische und ökonomische Gegebenheiten sowie die administrativen und technischen Strukturen und Ressourcen vor Ort zu berücksichtigen. Um Synergien zu fördern, ist es wichtig, Schnittstellen zwischen der räumlichen und infrastrukturellen Planung einerseits und zwischen den einzelnen technischen Modulen andererseits effizient zu nutzen, beispielsweise mittels der Energiegewinnung durch eine integrierte Abfall- und Klärschlammbehandlung oder der innerstädtischen Wasserwiederverwendung für die Toiletenspülung (integrierte Infrastrukturplanung).



Praxiserprobte Technologien

Zentrale Ziele bei der Kombination verschiedener Module zu einem technischen Gesamtsystem sind die Kreislauf-führung von Stoffströmen und die Weiterverwendung von Nährstoffen und Energie aus Abwasser und Abfall. Für die Module werden praxiserprobte Technologien eingesetzt: **aerobe und anaerobe Abwasserbehandlung** ◀, **Ver-gärung** ◀ sowie **mechanisch-biologische Abfallbehand-lung** ◀, **energetische** und **stoffliche Verwertung** ◀ sowie **Wassergewinnung und -aufbereitung**. Mithilfe von Ver-suchsanlagen im großtechnischen Maßstab wurden darü-ber hinaus neue technische Herausforderungen über-prüft wie die Membranreinigung mittels Ultraschall oder die großtechnische Grauwasserbehandlung mittels un-terschiedlicher Behandlungsverfahren.

Der semizentrale Ansatz hat inzwischen weltweit großes Interesse gefunden; das zeigte auch der Auftritt auf der EXPO 2010 in Shanghai, wo er im Themenpavillon „Urban Planet“ als zukunftsweisende Infrastrukturlösung für die Städte der Zukunft vorgestellt wurde.

Projekt-Website ▶ www.semizentral.de

Technische Universität Darmstadt Institut IWAR

Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel

Prof. Dr.-Ing. Martin Wagner

Dr.-Ing. Susanne Bieker

Petersenstraße 13

64287 Darmstadt

Tel.: 0 61 51/16 27 48

Fax: 0 61 51/16 37 58

E-Mail: v.wawra@iwar.tu-darmstadt.de

Internet: www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de

Förderkennzeichen: 02WD0398, 02WD0607,
02WD0998

Abwasser als Wertstoff – Das erfolgversprechende Demonstrationsprojekt SANIRESCH

Der Kenntnisstand über neue Sanitärsysteme in Deutschland wächst. Doch bis zur Serienreife aller Systemkomponenten bedarf es noch weiterer Forschung und Entwicklung. Das Projekt „Sanitärrecycling Eschborn“ hilft hier mit: Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich der alternative Lösungsansatz umsetzen und sich das anfallende Abwasser umweltverträglich nutzen lassen. Demonstrationsobjekt ist ein Bundesunternehmen, erste Projektergebnisse liegen inzwischen vor.

Für die großflächige Umsetzung von neuartigen Sanitärsystemen (NASS) ist der aktuelle Wissensstand in Deutschland noch nicht ausreichend: Manche der eingesetzten Technologien sind weiterzuentwickeln (z. B. Spültrenntoiletten), die landwirtschaftliche Verwertung von gewonnenen Produkten wie z. B. Urin und **Struvit** ◀ ist noch nicht zugelassen. Wie sich diese Situation ändern lassen könnte, untersucht das Forschungs- und Demonstrationsvorhaben „**Sanitärrecycling Eschborn**“ (SANIRESCH) der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), wissenschaftlich begleitet durch die Projektpartner RWTH Aachen, Universität Bonn, FH Gießen, Huber SE und Roediger Vacuum (Laufzeit: 2009 bis 2012).

Die GIZ hatte im Jahr 2006 bei der Modernisierung ihres Hauptgebäudes in Eschborn bei Frankfurt ein Sanitärsystem zur getrennten Erfassung von Urin, Braun- und **Grauwasser** ◀ eingebaut. Es umfasst Spültrenntoiletten, wasserlose Urinale, separate Leitungen für Urin, Braun- und Grauwasser sowie Urinspeichertanks. SANIRESCH kümmert sich um die Behandlung und Verwertung der Abwasserströme. Das Projekt will die Akzeptanz des neuen Sanitärsystems in der Belegschaft ebenso untersuchen wie die Einsatzmöglichkeiten von Urin in der Landwirtschaft. Außerdem betrachtet es die Wirtschaftlichkeit und internationale Übertragbarkeit.

Zahlreiche Projektbausteine

Das Projekt besteht aus verschiedenen Komponenten, die die beteiligten Projektpartner allein oder gemeinsam bearbeiten.

Sanitär- und Hausinstallationen: Im GIZ-Hauptgebäude sind für die Trennung des Abwassers 25 wasserlose Urinale (Firma Keramag) sowie 48 Trenntoiletten (Roediger Vacuum) eingebaut – das Projekt untersucht letztere im Dauerbetrieb.



Ausbringungsversuche mit Urin auf den Versuchsfeldern der Universität Bonn: Düngung (März 2010)

Anlagentechnik: Ein Fällungsreaktor behandelt den gesammelten Urin in einem chemisch-physikalischen Prozess; nach Zugabe von Magnesiumoxid entsteht Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) in fester Form, ein wertvolles Düngemittel für die Landwirtschaft. Die **Braunwasserbehandlung** ◀ erfolgt in einem Membranbioreaktor (MBR), nachdem zuvor Grobstoffe entfernt wurden. Der MBR hält mittels **Ultrafiltration** ◀ Feststoffe und Bakterien sowie nahezu alle Viren zuverlässig zurück. Das gewonnene Filtrat lässt sich hygienisch bedenkenlos für die Bewässerung nutzen. Auch Grauwasser (Küchenspül- und Handwaschwasser) bereitet ein MBR auf, das erzeugte Betriebswasser bietet sich für die Toilettenspülung an.

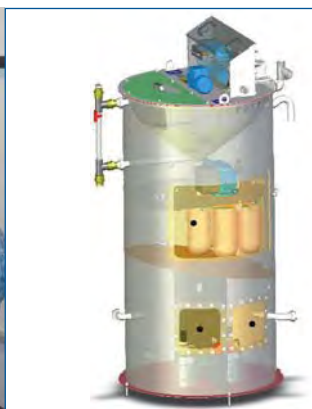
Betrieb und Überwachung: Die Anlagen werden vor Ort betreut und optimiert. Eine **Fernwirktechnik** ◀ dient dazu, die Anlagen zu steuern und zu überwachen sowie die Basisparameter des Abwassers zu analysieren.

Qualität der Produkte/Urinlagerung: Bereits bei der Lagerung von Urin kann es zum Abbau von Arzneimittelwirkstoffen kommen; diesen Abbau gilt es zu quantifizieren. Außerdem werden in Labortests die Lagerungsbedingungen gezielt angepasst (z. B. durch Variation des **pH-Werts** ◀), um die Urinlagerung hinsichtlich der Schadstoffentfrachtung verbessern zu können.

Landwirtschaftliche Produktion SANIRESCH führt Düngerversuche mit gelagertem Urin und MAP im Freiland durch. Erkenntnisse über die Folgen für nachwachsende Rohstoffe (Miscanthus) und Getreide stehen im Mittel-



Besichtigung des MAP-Reaktors durch Projektpartner



MAP-Reaktor mit Innenansicht

punkt des Interesses. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Urinverwertung in Deutschland werden geklärt und Empfehlungen für Behörden erarbeitet.

Akzeptanz: Studien sollen die Akzeptanz der Urindüngung bei Nutzern und Reinigungskräften in der GIZ sowie bei Landwirten und Verbrauchern ermitteln.

Wirtschaftlichkeit: Ein Projektbaustein gilt der Ermittlung der Investitions-, Betriebs- und Re-Investitionskosten; auch der Amortisationszeitpunkt ist zu bestimmen. Flankierend will das Projekt den wirtschaftlichen Vergleich mit anderen technischen Lösungen vornehmen.

Internationale Übertragbarkeit: Ziel ist es, die für das Sanitärkonzept und die verwendeten Technologien besonders geeigneten Regionen und Einsatzoptionen festzustellen. Zusätzlich wird der Anpassungsbedarf ermittelt, der erforderlich ist, um die Technologien auch in besonderen Fällen in Schwellen- und Entwicklungsländern erfolgreich einsetzen zu können.

Erste Projektergebnisse

Das Forschungsprojekt ist im Juli 2009 gestartet. Die folgend vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf das erste Projektjahr.

Für die Mitarbeiter sind die Urinale und Toiletten die einzigen sichtbaren Komponenten des Systems, der Zustand der Sanitäreinrichtungen ist ausschlaggebend für die Akzeptanz. Es hat sich gezeigt, dass es erforderlich ist, die Roediger Trenntoiletten zu modifizieren: Das Ventil, das für die Urin-Abtrennung verantwortlich ist, wurde bereits verbessert, um den Einbau zu erleichtern und den Durchfluss zu verbessern.

Die Urinlagerversuche haben gezeigt, dass der Urin pharmazeutische Rückstände enthält, die auch am Ende der Lagerzeit von sechs Monaten nicht vollständig eliminiert

waren. Die Schwermetallkonzentrationen lagen in ersten Messungen unter den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001); somit ist davon auszugehen, dass eine Anwendung in der Landwirtschaft diesbezüglich unproblematisch wäre. Untersuchungen des als MAP ausgefällten Urins haben ergeben, dass keine pharmazeutischen Wirkstoffe in das Fällprodukt eingeschlossen waren. Noch zu analysieren ist, ob Wirkstoffe an der Oberfläche der MAP-Kristalle haften und Bestandteil einer organischen Matrix bilden.

Hinsichtlich der Düngewirkung zeigten die mit Gelbwasser gedüngten Weizen- und Ackerbohnen-Parzellen im laufenden Feldversuch eine gute Wuchslleistung, die sich optisch nicht von den Mineraldünger-Parzellen unterscheiden. Obgleich detailliertere Ergebnisse noch ausstehen, sind nur geringe Unterschiede zu Mineraldünger zu erwarten.

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden die Investitions- und Betriebskosten der im Gebäude eingebauten Sanitärinstallationen (Toiletten, Urinale, Leitungen, Urintanks) im Vergleich zum konventionellen System analysiert, das in den Flügeln desselben Gebäudes zeitgleich installiert wurde. Die Kosten der Sanitärinstallation betragen für die SANIRESCH-Variante 0,088 Euro je Nutzung, bei der konventionellen Variante sind es 0,071 Euro. Diese Differenz erklärt sich durch die deutlich höheren Investitionskosten.

Projekt-Website ► www.saniresch.de

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Nachhaltige Sanitärversorgung – ecosan

Dr.-Ing. Martina Winker (Projektfederführung)

Postfach 5180

65726 Eschborn

Tel.: 0 61 96/79 32 98

Fax: 0 61 96/79 80 32 98

E-Mail: martina.winker@giz.de

Internet: www.giz.de/ecosan

Förderkennzeichen: : 02WD0947 bis -52

Haushaltsabwasser im Kreislauf – Das „KOMPLETT“-System

Abwasser aus Haushalten getrennt aufzubereiten und nahezu vollständig wiederzuverwenden war Ziel des Projekts „Komplett“. Gegenstand des Vorhabens war auch die Entwicklung neuer WC-Sanitärkeramiken, die leichter sind und somit Ressourcen in der Produktion sparen, den Wasserverbrauch senken und antibakterielle Eigenschaften haben.

Noch immer haben rund 1,1 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, etwa 2,5 Milliarden Menschen keinen zu sanitären Einrichtungen – ein erheblicher Teil der Weltbevölkerung kann also humanitäre Grundbedürfnisse nicht oder nur sehr unzureichend erfüllen. Nach Prognosen der UNESCO werden bis Mitte des laufenden Jahrhunderts – je nach Szenario – zwischen zwei und sieben Milliarden Menschen weltweit unter Wassermangel leiden. Davon sind insbesondere Regionen betroffen, in denen neben der einheimischen Bevölkerung auch Touristen zu versorgen sind (deren Wasserverbrauch mit etwa 400 Litern pro Kopf und Tag zudem sehr hoch ist). Die Bereitstellung von hygienisch einwandfreiem Wasser ist auch für die Staaten Mittel- und Südeuropas eine der großen Zukunftsaufgaben. Die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser aus den Haushalten kann einen entscheidenden Beitrag leisten.

Ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Verbundvorhaben hat ein Konzept zur fast vollständigen Schließung von Wasserkreisläufen in der Praxis erprobt. Die Leitung für das Projekt unter dem Titel „**Entwicklung und Kombination von innovativen Systemkomponenten aus Verfahrenstechnik, Informationstechnologie und Keramik zu einer nachhaltigen Schlüsseltechnologie für Wasser- und Stoffkreisläufe – Projekt Komplett**“ (Laufzeit: 2005 bis 2009) hatte das Sanitärunternehmen Villeroy & Boch. Das Ziel war ein System, bei dem das gesamte in Haushalten anfallende Abwasser sowie alle Feststoffe wiederverwertet werden.

Das Projekt umfasste eine Vorversuchs-, Technikums- und Pilotphase. In der ersten Phase wurden Versuche zur Charakterisierung der beiden Abwasserfraktionen (**Grau-** und **Schwarzwasser** ◀) durchgeführt. Anschließend Laborversuche dienten dazu, einzelne Anlagenkomponenten zu beurteilen und zu verbessern (insbesondere die biologische Behandlung des Abwassers). Weiterhin wurden erste Versuche zur Kompostierung der anfallenden Feststoffe durchgeführt sowie neue Sanitärprodukte entwickelt. Im Rahmen des Vorhabens konnten neue Sanitärkeramiken sowie leichtere Sanitärartikel entwickelt werden.



Vorstellung des Projektes KOMPLETT auf der Umweltmesse IFAT in München im Jahr 2008. Die Vorstellung erfolgte unter der Schirmherrschaft von German Water Partnership.

Versuchsanlage in Kaiserslautern

In der Technikumsphase wurde eine Versuchsanlage im halbtechnischen Maßstab zur Aufbereitung der beiden Teilströme Grauwasser (aus Duschen, Handwaschbecken, Waschmaschinen) und Schwarzwasser (aus Toiletten) eines Wohnblocks in Kaiserslautern zehn Monate lang betrieben. Neben biologischen Behandlungsstufen wurden Verfahrensstufen zur weitergehenden chemisch-physikalischen Wasseraufbereitung sowie zur Desinfektion und Elimination von **Spurenstoffen** ◀ erprobt. Parallel fanden Funktionstests der Sanitärprodukte, der Messtechnik im System und der Software zur Messwertdarstellung statt. Ferner führte das Projektteam Versuche zur **Vermikompostierung** ◀ (die mit speziellen Würmern arbeitet) der anfallenden Reststoffe durch.

Pilotanlage in Oberhausen

In der abschließenden Untersuchungsphase erfolgte der Betrieb der Aufbereitungsanlagen im Pilotmaßstab auf dem Gelände des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) in Oberhausen – mit dem Abwasser eines Institutsgebäudes sowie des nahegelegenen Freizeit- und Einkaufszentrums „CentrO“. Hier wurden die Systeme der Sanitär- und Aufbereitungstech-



Darstellung der Nutzungsmöglichkeiten der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt KOMPLETT unter Berücksichtigung der entwickelten Ferndiagnostik und spezieller Keramiken.

nik mit denen der Verwertung und Visualisierung gekoppelt sowie der Schwarzwasserkreislauf vollständig (aufbereitetes Wasser für die Toiletten- und Urinalspülung) und der Grauwasserkreislauf weitgehend geschlossen (aufbereitetes Grauwasser für Duschen und Waschmaschinen). Somit ließ sich die Anreicherung von nicht abgebauten Substanzen in beiden Kreisläufen untersuchen. Zur Abschätzung des Recyclingpotenzials untersuchten die Projektpartner die Akzeptanz der Sanitärprodukte und des Wasserrecyclings. Abschließend erfolgte eine Kostenanalyse des Komplett-Systems sowie ein Vergleich mit den Kosten herkömmlicher Wasserver- und Entsorgungstechnik. Es zeigt sich, dass das System in Bereichen fehlender Infrastruktur zur Ver- und Entsorgung und hoher Nutzungsdichte, z. B. in Hotelanlagen, wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Projektziele wurden damit erreicht.

Eine Spülung mit nur 3,5 Litern

Die spüloptimierten Toiletten und Urinale mit **photokatalytischen Oberflächen** wurden im Pilotobjekt in Oberhausen getestet. Im Verlauf des Projekts wurde eine neue, um 20 Prozent leichtere Sanitärkeramik entwickelt, die somit deutlich Ressourcen in der Produktion spart und außerdem über eine antibakterielle Oberfläche verfügt. Mit dem neuen 3,5-Liter-WC lassen sich Fäkalien und Papier

problemlos ausspülen, bei verminderter Spülwassermenge von zwei Litern. Gegenüber einem sechs-Liter-WC lassen sich so pro Jahr in einem Vier-Personen-Haushalt 17.000 Liter Trinkwasser einsparen. Bei Einsatz in der Komplett-Anlage fällt jedoch ein höherer Feststoffanteil im Schwarzwasseranteil an, der den Aufwand für die Schwarzwasserbehandlung zwar vermindert, jedoch bei der Hausinstallation angepasste Rohrleitungen erfordert.

Projekt-Website ► www.komplett-projekt.de

Villeroy & Boch AG Environment/Safety/Research – Corporate Coordination

Danuta Krystkiewicz
Postfach 11 20
66688 Mettlach
Tel.: 06 86/4 81 13 32
Fax: 06 86/4 81 14 16
E-Mail: krystkiewicz.danuta@villeroy-boch.com
Internet: www.villeroy-boch.com

EnviroChemie GmbH

Dr.-Ing. Markus Engelhart
In den Leppsteinswiesen 9
64380 Rossdorf
Tel.: 0 61 54/69 98 57
Fax: 0 61 54/69 98 11
E-Mail: markus.engelhart@envirochemie.com
Internet: www.envirochemie.de
Förderkennzeichen: 02 WD 0685

Wasserrecycling in Hotels – Umbauten im laufenden Betrieb

Der Wasserverbrauch in Hotels und Pensionen ist je Person deutlich höher als in Privathaushalten: Durchschnittlich verbraucht ein Gast in deutschen Hotels rund 300 Liter Wasser täglich, das ist mehr als doppelt soviel wie in den eigenen vier Wänden. Sind auch noch Golfplätze und Schwimmbäder zu versorgen, kann der Verbrauch bis zu 1.000 Liter pro Übernachtungsgast und Tag betragen. Deutlich geringer könnte der Frischwasserbezug sein, wenn das in den Betrieben anfallende Grauwasser vor Ort aufbereitet wird. Ein Projekt zeigt, dass die entsprechenden Umbauten selbst im laufenden Betrieb möglich sind.

Wie sich „Produktionsintegrierte Umweltschutzmaßnahmen im Hotel- und Gaststättengewerbe unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Bausubstanz“ umsetzen lassen, untersuchte das gleichnamige Verbundprojekt unter der Leitung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen (Laufzeit: Juni 2006 bis Mai 2009). Im Mittelpunkt stand der Nachweis, dass sich auch mit marktüblichen Anlagen zur Betriebswasseraufbereitung der Verbrauch von Trinkwasser in Hotels deutlich reduzieren lässt und die Umbaumaßnahmen im laufenden Hotelbetrieb machbar sind.

Als Projektpartner gewann das ISA das 1981 gegründete Vier-Sterne „Hotel Am Kurpark“ in Bad Windsheim (Mittelfranken); es verfügt über 50 Gästezimmer mit 90 Betten, ein Restaurant mit rund 100 Plätzen sowie Tagungsräume und eine Sauna. Das Gros der Räumlichkeiten befindet sich im Haupthaus, 20 Gästezimmer und die Seminarräume sind in einem separaten Gebäude untergebracht (1992 errichtet, 1998 erweitert). Der Wasserverbrauch des Hotels ist in den Jahren 2001 bis 2007 deutlich gestiegen (siehe Abbildung).

Aufbereitungsanlage für Grauwasser

Die Aufbereitungsanlage für das Grauwasser installierte die Firma Hans Huber AG (Berching) im November 2008. Aufgrund der Bausubstanz erwies sich der Einbau der neuen Wasserleitungen als unerwartet schwierig, da sie in die bestehenden Leitungsschächte zu integrieren waren. Weil der Hotelbetrieb nicht unterbrochen werden sollte, wurden die Stemm- und Fliesenarbeiten auf das Notwendigste beschränkt. Während die Anbindung des Seminargebäudes innerhalb der zehn Tage dauernden Bauphase erfolgte, wurden die Arbeiten im Keller des Haupthauses und im Verbindungsschacht zwischen



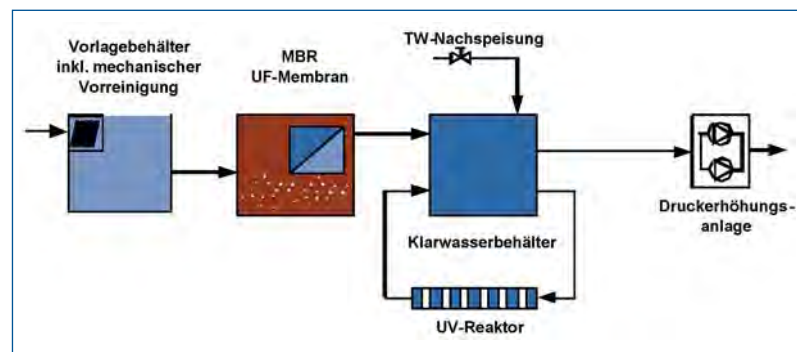
Entwicklung des Wasserverbrauchs 2001 bis 2007 im Hotel „Am Kurpark“

Haupt- und Seminargebäude außerhalb dieser Bauzeit durchgeführt. Insgesamt waren Leitungen für Grau- und Betriebswasser mit einer Länge von 460 Metern zu legen.

Weitere Quellen eingebunden

Aufgrund des geringen spezifischen Grauwasseraufkommens der Gästezimmer (Dusche, Bad, Handwaschbecken) war es notwendig, weitere Grauwasserquellen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit an das Aufbereitungssystem anzuschließen. Darauf aufbauend teilte das ISA den Anlagenbetrieb zur Auswertung in drei Betriebsphasen ein.

Innerhalb der ersten Betriebsphase wurde ein Grauwasseraufkommen von 35 bis 130 Litern je Gast und Tag ermittelt, der Durchschnitt lag bei 52 Litern. Durch den Einbezug der Waschmaschine als Quelle ließ sich das mittlere gastspezifische Grauwasseraufkommen in der zweiten



Schema der Aufbereitungsanlage für Grauwasser im Hotel „Am Kurpark“

Parameter	Einheit	Betriebsphase I Bad/Dusche, Handwaschbecken		Betriebsphase II Bad/Dusche, Handwaschbecken und Waschmaschine		Betriebsphase III Bad/Dusche, Handwaschbecken, Waschmaschine und Theke	
		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
CSB	mg/l	98,5	10	133	19	474	11,5
BSB ₅	mg/l	47	3	60	5,5	227,5	3
TOC	mg/l	30,7	2,2	42	6,75	98	4,75
NH ₄ -N	mg/l	3,4	0,1	5,2	0,3	1,4	0,1
N _{ges}	mg/l	3,6	6,24	5,35	3,8	1,2	1,63
PO ₄ -P	mg/l	0,22	1,3	0,3	0,37	7,5	4,35
P _{ges}	mg/l	0,5	1,4	1	0,63	11,8	8,25
AFS	mg/l	10		15		10	
pH	-	7,8	8,65	7,9	8,14	7,3	8
Koloniezah20 °C	n/ml	270000	710 ¹⁾ 290 ²⁾	k.A.	k.A.	780000	230 ¹⁾ 18 ²⁾
Koloniezah36 °C	n/ml	1,31·10 ⁶	2100 ¹⁾ 62 ²⁾	k.A.	k.A.	3 × 10 ⁶	730 ¹⁾ 90 ²⁾
coliforme Keime	n/100 ml	88800	3 ¹⁾ 0 ²⁾	k.A.	k.A.	130000	165 ¹⁾ 4 ²⁾
E.coli	n/100 ml	1.000	0 ¹⁾ 0 ²⁾	k.A.	k.A.	1.600	1 ¹⁾ 0 ²⁾
Erterkokkiken	KBE/100ml	1.220	0 ¹⁾ 0 ²⁾	k.A.	k.A.	1.410	0 ¹⁾ 0 ²⁾
GW-Anfall	l/(Gastd)	52 l/(Gast · d)		72l/(Gast · d)		82 l/(Gast · d)	

1) Permeat vor UV-Desinfektion
2) Permeat nach UV-Desinfektion

Vergleich der chemisch-physikalischen und der mikrobiologischen Beschaffenheit von Grau- und Betriebswasser für die drei Betriebsphasen (Mittelwerte)

Betriebsphase auf 72 Liter je Gast und Tag steigern. In der dritten Betriebsphase konnte durch den Anschluss der Theke und der Gläser-Geschirrspülmaschine das spezifische Aufkommen schließlich auf durchschnittlich 82 Liter erhöht werden. Die Berücksichtigung weiterer Grauwasserquellen im Aufbereitungskonzept machte (bedingt durch den Anschluss der Theke und der Gläser-Geschirrspülmaschine) einen automatisierten Überschlussschlammabzug erforderlich.

Die Folgen des Anschlusses weiterer Grauwasserteilströme spiegeln sich in erhöhten Ablaufkonzentrationen: Traten innerhalb der Betriebsphase I im Weißwasser nur drei mikrobiologische Grenzwertüberschreitungen auf, führte der Anschluss weiterer Grauwasserquellen zu einer schlechteren mikrobiologischen Qualität des Weißwassers. Für einige mikrobiologische Parameter, bei denen die Ultrafiltrationsmembran (Ultrafiltration ◀) eine sichere Barriere ist (insbesondere für den Parameter E. coli ◀), lassen sich die erhöhten Konzentrationen nur auf Wiederverkeimungseffekte innerhalb der Permeatleitung zurückführen. Durch Anpassung der Rezirkulationsrate

ließ sich die geforderte hygienische Qualität des Weißwassers auch am Ende der Untersuchungen der Betriebsphase III einhalten (eine zusammenfassende Darstellung der Grauwasser- und Betriebswasserbeschaffenheit aller drei Betriebsphasen zeigt nebenstehende Abbildung).

Aus Grauwasser wird Betriebswasser

Das Abwasser aus den Duschen und Badewannen wird zu hochwertigem Betriebswasser aufbereitet, das hygienisch unbedenklich ist und den Anforderungen der deutschen Trinkwasserverordnung entspricht. Das gewonnene Betriebswasser lässt sich für die WC-Spülung, die Vorwaschgänge der Geschirrspülmaschine sowie für Bewässerung und Reinigung nutzen.

Das Projekt hat gezeigt, dass sich Konzepte für das Wasserrecycling auch im laufenden Hotelbetrieb umsetzen lassen. Die erforderlichen baulichen Mehraufwendungen sind mitunter jedoch beträchtlich und erhöhen die Kosten. Wirtschaftlicher ist die Situation bei Neubauten oder im Zuge von allgemeinen Sanierungsmaßnahmen.

RWTH Aachen
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
 Prof. Johannes Pinnekamp
 Mies-van-der-Rohe Straße 1
 D-52074 Aachen
 Tel.: 02 41/8 02 52 07
 Fax: 02 41/8 02 22 85
 E-Mail: sekretariat@isa.rwth-aachen.de
 Internet: www.isa.rwth-aachen.de

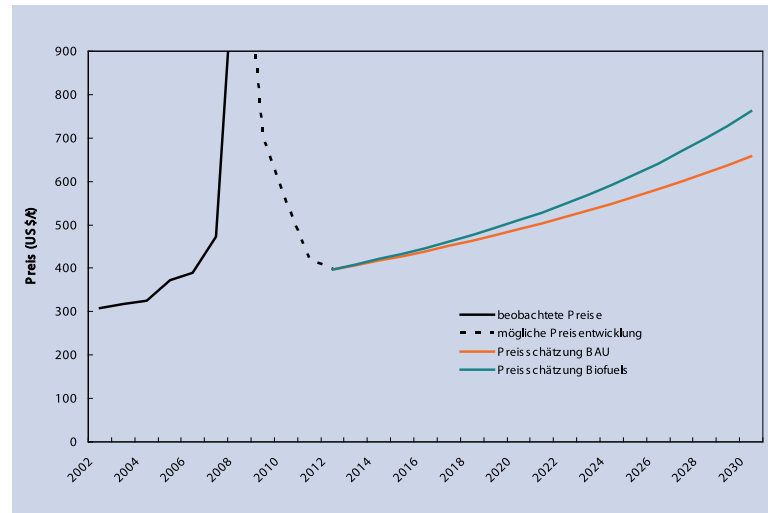
Phosphorrecycling – Abwasser- und Klärschlamm als Quellen eines wertvollen Stoffs

Phosphor ist für alle Lebewesen essentiell. Mit hohem Energieaufwand wird aus abgebautem Phosphaterz mineralischer Phosphordünger hergestellt. Doch die Erze sind endlich: Die bekannten, wirtschaftlich abbaubaren Reserven sind nach jetzigem Kenntnisstand in etwa 100 Jahren erschöpft. Deshalb arbeiten Wissenschaftler seit Jahren an Verfahren, mit denen sich Phosphor aus dem Abwasser beziehungsweise Klärschlamm effizient zurückzugewinnen lässt.

Eines dieser Forschungsvorhaben ist das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland“ (PhoBe); an ihm sind fünf Institute unterschiedlicher Fachrichtungen beteiligt, geleitet vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen. Beim Projekt PhoBe (Laufzeit bis Ende 2011) handelt es sich um ein übergreifendes Vorhaben, das die Ergebnisse der geförderten Projekte der BMBF-Förderinitiative „Kreislaufwirtschaft für Pflanzennährstoffe – insbesondere Phosphor“ resümiert und übergreifend bewertet. Die Förderinitiative wurde im Jahr 2004 zusammen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gestartet.

Da die Preise von mineralischem Roh-Phosphat als entscheidende Referenzgröße für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren dienen, erfolgt innerhalb eines der acht Arbeitspakete eine mittel- bis langfristige (2030) Abschätzung der globalen Preisentwicklung. Ferner werden die relevanten phosphatreichen Stoffströme in Deutschland identifiziert und qualitativ erfasst. Die bei den in der Förderinitiative entwickelten Rückgewinnungsverfahren gewonnenen Phosphatprodukte werden auf Verunreinigungen analysiert und anhand ihrer Düngewirkung im Vergleich zu herkömmlichen Phosphatdüngern (z. B. Tripelsuperphosphat) bewertet.

In einem weiteren Schritt werden die spezifischen Produktionskosten der entwickelten Verfahren anhand einer Kostenabschätzung ermittelt und die Verfahren unter ökologischen Aspekten bilanziert. Auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse wird ein Rückgewinnungskonzept für Deutschland entwickelt, das aufzeigt, welcher Stoffstrom sich sinnvoll für das Recycling eignet. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Technologievorausschau anhand einer Expertenbefragung sowie die Identifizierung von Zukunftschancen für das Phosphorrecycling in Deutschland.



Preisentwicklung von Phosphorsäure

Preisentwicklung prognostiziert

Für die mittel- und langfristige Preisentwicklung von Phosphat dient als methodische Vorgehensweise der Ansatz, die Ermittlung der Fundamentaldaten – somit die Entwicklung von Angebot und Nachfrage – zunächst getrennt zu analysieren und dann zur späteren Preisentwicklung wieder zusammenzuführen. Dabei wurden zwei Szenarien untersucht, in denen von einem Anstieg des Phosphatverbrauchs ausgegangen wurde (ein bzw. zwei Prozent p. a.). Der langsame Anstieg spiegelt die Entwicklung in der näheren Vergangenheit (Business as Usual, BAU); der schnellere (Biofuels) käme beim vermehrten Anbau von Pflanzen für die Biotreibstoffproduktion zum Tragen.

Da Phosphorsäure als Ausgangssubstanz für die Produktion phosphathaltiger Düngemittel dient, wurde zusätzlich zu der Preisentwicklung des Rohphosphats auch die Preisentwicklung der Phosphorsäure geschätzt: Im ersten Szenario steigt der Phosphorsäurepreis bis zum Jahr 2030 auf 660 US-Dollar, im zweiten auf 760 US-Dollar je Tonne (siehe Grafik Preisentwicklung von Phosphorsäure).

Die Analyse der in der Förderinitiative gewonnenen Sekundärphosphate hat gezeigt, dass alle hergestellten Magnesiumammoniumphosphate (MAP) die Grenzwerte (bzw. fast alle Produkte die Kennzeichnungspflicht) der Düngemittelverordnung aus dem Jahr 2008 unterschreiten. Die Düngewirksamkeit wurde mit Maispflanzen auf Sand- und Lehmboden in Erst- und Zweitfrucht im Ver-



Magnesiumammoniumphosphate (MAP) und Klärschlamm (kleines Bild)

gleich zu Tripelsuperphosphat und Rohphosphat sowie einer **Null-Kontrolle** untersucht. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gewonnenen Sekundärphosphate keine signifikante Abweichung zum Tripelsuperphosphat aufweisen und somit von ihrer Düngewirksamkeit vergleichbar sind mit herkömmlichen Düngemitteln.

Sekundärphosphat noch nicht konkurrenzfähig

Die Kostenabschätzung der in der Förderinitiative entwickelten Verfahren ergab, dass die spezifischen Produktionskosten für ein Kilogramm Sekundärphosphat – abhängig vom technischen Aufwand und dem Rückgewinnungspotenzial des Verfahrens – zwischen zwei und dreizehn Euro je Kilogramm Phosphor liegen und somit noch nicht konkurrenzfähig zu den marktüblichen Phosphatdüngern (rund 1,50 €/kg) sind. Doch schon heute kann sich das Phosphatrecycling lohnen: In den Fällen, in denen es einen zusätzlichen Nutzen gibt – etwa vermiedene Rohrverblockungen durch Ablagerung von ausgefallenem MAP oder eine Verbesserung der Entwässerung des Klärschlammes.

Die für Deutschland erstellte Stoffstrombilanz gibt die theoretisch für das Phosphorrecycling zur Verfügung stehende Phosphormenge aus dem Abwasser beziehungsweise Klärschlamm mit rund 70.000 Tonnen im Jahr an. Besonders bedeutend ist hier der Klärschlamm, der gegenwärtig zu etwa einem Viertel in Monoklärschlammverbrennungsanlagen entsorgt wird. Die Verbrennung zerstört weitgehend Keime, geruchsverursachende Stoffe und organische Schadstoffe, der Phosphor bleibt jedoch vollständig als Rückstand in der Asche. Untersuchungen zeigten, dass der Phosphoranteil in den Klärschlamm-

schlamm bei etwa sechs Prozent liegt und somit im Vergleich zu den übrigen Quellen (Kläranlagenablauf, Schlammwasser, Klärschlamm) die höchste Phosphorkonzentration aufweist.

Potenzial von bis zu 45.000 Tonnen

Die Monoverbrennungskapazitäten betragen in Deutschland rund 520.000 Tonnen Klärschlamm im Jahr und sind momentan zu etwas mehr als 90 Prozent ausgelastet. Sollten alle Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden, ließen sich jährlich etwa 13.000 Tonnen Phosphor rückgewinnen. Durch den Einbezug von Klärschlämmen, die keiner Monoverbrennung oder landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden, ließen sich in den großen Kläranlagen (>100.000 Einwohner) weitere 5.000 Tonnen gewinnen. Ausgehend davon, dass die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in Zukunft weiter eingeschränkt wird und somit die thermische Verwertung zunimmt, wurde ein Szenario berechnet, bei dem der gesamte Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen verbrannt und einer Rückgewinnung angedient wird: In diesem Fall ließen sich etwa 45.000 Tonnen Phosphor jährlich zurückgewinnen, was einer Substitution der Phosphordüngemittel von rund 60 Prozent entspräche.

Fachleute sind der Ansicht, das Phosphatrecycling könne bis 2030 in den Industrieländern umgesetzt und wirtschaftlich tragfähig sein – dies ist das Ergebnis einer durchgeführten Umfrage, die unter dem Titel „Dringlichkeit der Phosphorrückgewinnung, Erfolgspotenzial der Phosphorrückgewinnung aus Abwasserbehandlung und Klärschlamm, Potenziale der Rückgewinnung aus Klärschlamm-Asche und Phosphatrückgewinnung im Kontext eines Systemwandels in der Wasser- und Abfallwirtschaft“ stand.

Projekt-Website ► www.phosphorrecycling.eu

RWTH Aachen
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp
 Mies-van-der-Rohe Straße 1
 52074 Aachen
 Tel.: 02 41/80-2 52 07
 Fax: 02 41/80-2 22 85
 E-Mail: isa@isa.rwth-aachen.de
 Internet: www.isa.rwth-aachen.de
 Förderkennzeichen: 02WA0805 – 02WA0808

Vietnam – Sauberes Wasser für das Mekong-Delta

Obwohl es in Vietnam ausgiebig regnet, mangelt es in vielen Regionen an sauberem Trinkwasser ebenso wie an Nutzwasser für die Landwirtschaft. Eine dieser Regionen ist das Mekong-Delta: Ein deutsch-vietnamesisches Projekt entwickelt für die dortigen Verhältnisse Lösungen für die Wasserver- und -entsorgung. Dabei gilt es, nicht nur Trinkwasser für die Menschen zu gewinnen, sondern aus der Abwasserbehandlung auch verwertbare Produkte für die Landwirtschaft zu gewinnen, beispielsweise Kompost und Biogas.

Mit rund 17 Millionen Menschen lebt rund ein Fünftel der Vietnamesen im Mekong-Delta, das im Süden des Landes liegt – die meisten arbeiten in Landwirtschaft und Fischzucht. In den Städten hat etwa die Hälfte der Einwohner Zugang zu einer geregelten Wasserver- und Abwasserentsorgung, auf dem Land sind es etwa nur zehn Prozent. Weil es nur wenige Kläranlagen gibt, gelangt ein großer Teil der Abwässer unbehandelt in die Flüsse, in ländlichen Regionen oft auch in Fischteiche.

Aufgrund des steigenden Wasserverbrauchs sinkt der Grundwasserspiegel im Mekong-Delta. In den küstennahen Regionen dringt häufig Meerwasser ins Grundwasser ein, steigende Salzkonzentrationen sind die Folge. Der größte Wasserverbraucher ist die Landwirtschaft: Rund 90 Prozent des Wassers verwenden die Bauern für den Reisbau; trotz der ausgiebigen Niederschläge sind die Reisfelder zusätzlich intensiv zu bewässern.

Organischer Dünger aus Schmutzwasser

Um den Ertrag ihrer Reisfelder zu steigern, setzen die Bauern große Mengen teuren Mineraldüngers ein. Dabei gäbe es günstigere und umweltverträglichere Möglichkeiten, den Böden Nährstoffe zuzuführen: menschliche Exkremente, die bisher das Wasser verschmutzen. Wie sich dies bewerkstelligen lässt, untersuchte das deutsch-vietnamesische Projekt „Schließen von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen über hygienisch unbedenkliche Substrate aus dezentralen Wasserwirtschaftssystemen im Mekong-Delta“ (SANSED). Beteiligt waren die Universitäten Bonn und Bochum, die vietnamesische Universität Can Tho sowie mehrere deutsche Unternehmen.

Dezentrale Anlagen sollen möglichst kostengünstig Trinkwasser aufbereiten und zugleich Abwasser so behandeln, dass Landwirte vor Ort die Schlämme und den Kompost



Biogasanlage in der Landwirtschaft

nutzen können. Die rund 120.000 Tonnen Nitrat und 19.000 Tonnen Phosphor, die im Mekong-Delta jährlich anfallen, könnten im Idealfall so wieder umweltverträglich in die Stoffkreisläufe gelangen.

Sieben Teilaspekte

Vor allem dezentrale Abwasserentsorgungs- und Wasserversorgungssysteme sind sinnvoll, die an die Strukturen vor Ort angepasst sind und auch das geringe Einkommen der Bevölkerung berücksichtigen. In der zweiten Phase wurden Demonstrationsanlagen errichtet und gemeinsam mit den vietnamesischen Partnern betrieben: SANSED will zeigen, dass sich die Kosten für den Bau und Betrieb der Anlagen durch den Verkauf der erzeugten Produkte (Biogas, Dünger, Kompost) refinanzieren lassen. SANSED hatte sieben Teilprojekte.

Biogas: Landesübliche Biogas-Anlagen, in denen Bakterien Abfälle zersetzen, produzieren zu wenig Gas oder lassen Überschüsse ungenutzt entweichen. In dem von SANSED verfolgten Ansatz zerlegen Pilze schwer abbaubare Polymere in Zucker, der die Bakterien zu stärkerer Aktivität anregt und so die Gasausbeute erhöht. Überschüssiges Gas kann in Strom umgewandelt oder in Flaschen abgefüllt werden.

Abwasserteilstrombehandlung: Als Modelle für die Abwasserreinigung installierte das Projektteam in zwei Studentenwohnheimen Toiletten, die das Abwasser von den Fäkalien trennen. Aus dem Urin und den Feststoffen ließ sich Dünger für die Landwirtschaft oder Biogas gewinnen. Krankheitserreger und organische Schmutzstoffe aus dem Gelbwasser wurden durch Trocknung an der Sonne beseitigt oder zumindest deutlich reduziert. Den Feststoffen zugefügte Regenwürmer wandelten das Substrat in Kompost um (Kaltrotte).



Anlage zur Trinkwasserversorgung

Abwassersiebung/Bodenfiltration: Aus den Abwässern eines der Studentenwohnheime filterten Feinsiebe Feststoffe heraus. Das Wasser wurde anschließend über Bodenfilter weiter gereinigt, die Feststoffe kompostiert.

Trinkwasser aus Oberflächenwasser: Eine Anlage bereitete mit organischen Stoffen und Mikroorganismen belastetes Oberflächenwasser – unter anderem mittels Langsandsfiltern und Sonnenlicht (UV-Desinfektion) – zur Wasserversorgung eines Studentenwohnheims auf.

Trinkwasser aus Grundwasser: Für rund 100 Haushalte optimierten die Wissenschaftler die Trinkwasserversorgung: Schnellsandfilter bereiten das stark eisenhaltige Grundwasser auf.



Natürliche Düngung in der Landwirtschaft

Weiterbildung: Zahlreiche Bezirke der Stadt Can Tho werden zentral mit Trinkwasser versorgt, das sich allenfalls als Brauchwasser bezeichnen lässt. Zudem existiert eine Anlage, die Trinkwasser in Gebinde abfüllt. Für die Beschäftigten der Can Tho Water Supply and Sewerage Company erarbeitete das Projektteam ein spezielles Informations- und Trainingsprogramm.

Handlungsempfehlungen: Für einen Stadtteil von Can Tho, der bislang keine geregelte Wasserver- und -entsorgung hat, erstellte das Team zusammen mit dem örtlichen Versorgungsunternehmen eine exemplarische Machbarkeitsstudie: Sie zeigt, wo der Einsatz (de)zentraler Anlagen sinnvoll ist.

Prüfung der Übertragbarkeit

Auf Grundlage des Projekts SANSED sollte auch für andere infrastrukturschwache Regionen der Einsatz von dezentralen Abwasser- und Wasserversorgungssystemen geprüft werden.

Der SANSED-Abschlussbericht ist als Band 31 in der Reihe „Bonner Agrikulturchemische Reihe“ erschienen (kostenpflichtige Bestellungen unter www.ipe.uni-bonn.de/publikationen).

Weitere Informationen sind auf der Projekt-Website abrufbar. Projekt-Website ► www.sansed.uni-bonn.de

Universität Bonn INRES-Pflanzerernährung

Dr. Ute Arnold
Karlrobert Kreiten Straße 13
53115 Bonn
Tel 02 28/73 36 39
Fax 02 28/73 24 89
Internet: www.ipe.uni-bonn.de
Förderkennzeichen: 02WD0620

Sauber und effektiv – Dezentrale Entsorgungssysteme für Hotelanlagen

In vielen Tourismusgebieten in südlichen Ländern gibt es keine umweltgerechte Abfall- und Abwasserentsorgung oder Energieversorgung. Das Forschungs- und Demonstrationsprojekt MODULAARE testete in einer türkischen Hotelanlage eine zukunftsfähige Lösung für diese Probleme: Das entwickelte Verfahren verbindet die Vergärung organischer Abfälle mit der Membrantechnik zur Abwasserreinigung. Dabei entstehen Brauchwasser, Dünger und Biogas.

Ohne eine intakte Umwelt ist eine stabile wirtschaftliche Entwicklung von Tourismusgebieten nicht möglich. Vor allem in stark frequentierten Regionen, schnell wachsenden neuen Standorten sowie in ökologisch sensiblen Gebieten gilt es, den Tourismus am Leitgedanken der Nachhaltigkeit auszurichten – und die Energie- und Wasserversorgung sowie die Abfall- und Abwasserentsorgung umweltverträglich zu gestalten.

Stichproben in internationalen Ferienhotels haben einen täglichen Wasserverbrauch von bis zu 1.200 Litern je Gast ermittelt (einschließlich des anteiligen Verbrauchs für Grünanlagen und Schwimmbäder). Zum Vergleich: Die Haushalte in Deutschland verbrauchen heute mit durchschnittlich 123 Litern pro Einwohner und Tag ein Zehntel dieser Menge. Abwässer fließen häufig schlecht gereinigt in Flüsse oder direkt ins Meer, weil Kläranlagen in den Hotelanlagen fehlen oder schlecht gewartet sind; der Anschluss an die zentrale Abwasserentsorgung beziehungsweise Kläranlagen ist oft nicht möglich, da sich die Tourismusgebiete häufig außerhalb von Ortschaften befinden. Ebenso problematisch ist die Müllentsorgung: In großen Hotels entstehen bis zu 2,5 Kilogramm Abfall je Gast und Tag, der oft auf wilden Müllhalden entsorgt wird.

Integriertes Konzept für Tourismusregionen

Eine Antwort auf diese Probleme besonders in ökologisch sensiblen Regionen sind „**Integrierte Module zur hocheffizienten Abwasserreinigung, Abfallbehandlung und regenerativen Energiegewinnung in Tourismus Resorts**“ (MODULAARE) so der Titel des Projekts, indem es die **Membrantechnik** ◀ in der Abwasserbehandlung und die **anaerobe** ◀ Vergärung bei der Behandlung von Bioabfällen verbindet, ermöglicht es ein gezieltes Stoffstrommanagement für Abwasser und organische Abfälle. So entsteht ein nahezu geschlossener Stoffkreislauf in einem fast abwasserfreien Hotel – in dem ferner hochwertige Nebenprodukte wie Brauchwasser, Dünger und Energie anfallen.



Die Hotelanlage „Sarigerme Park“ in der Türkei

Um das Verfahren in der Praxis zu testen, errichtete das internationale Projektteam im Jahr 2005 eine Versuchsanlage im „Hotel Sarigerme Park“, das an der türkischen Ägäisküste liegt. Die Projektleitung des 2008 abgeschlossenen Projekts hatte der Verband zur Förderung angepasster, sozial- und umweltverträglicher Technologien e.V. (AT-Verband, Stuttgart); die wissenschaftliche Leitung lag beim Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, MEMOS Membranes Modules Systems (Pfullingen) realisierte die Membrantechnik, die Bio-System Selecta GmbH (Konstanz) die Anaerobanlage. Die Verwaltung der Bodensee-Insel Mainau lieferte Basisdaten und unterstützte das Projekt in der Öffentlichkeitsarbeit.

Membranen reinigen das Abwasser

Das angewandte Verfahren gewinnt Biomasse aus dem Abwasser mittels Membranen – nicht wie üblich durch eine **Nachklärung** ◀ (Sedimentation). Membranen halten nicht nur Feststoffe vollständig, sondern auch Keime und Viren in hohem Maße zurück. Der Membranbelebungs vorgeschaltet ist eine mechanische Reinigung, die Grobstoffe entfernt. Die Membranfiltration erlaubt höhere Biomassekonzentrationen (Experten sprechen von einer höheren Raum-Zeit-Ausbeute): **Biomembranreaktoren** ◀ arbeiten mit Biomassegehalten von 10 bis 15 Gramm je Liter. Dieser Wert liegt etwa dreimal so hoch wie in konventionellen **Belebtschlammreaktoren** ◀ (circa 4 g/l), weil die Biomassekonzentration in der Belebungs nicht mehr vom Sedimentationsverhalten im Nachklärbecken abhängt. Im MODULAARE-Verfahren wird **Überschussschlamm** ◀ zusammen mit Küchen- und Gartenabfällen im Vergärungsmodul weiterbehandelt.



Ein MODULAARE Biogas-Modul

Die Membrananlage bietet verschiedene verfahrenstechnische Möglichkeiten, Nährstoffe zu eliminieren. Darüber hinaus lassen sich Kohlenstoff, Stickstoff und/oder Phosphor teilweise wiederverwerten – je nachdem, wofür das gereinigte Abwasser zu verwenden ist. Bei der Gartenbewässerung etwa dient Phosphor als Dünger, besonders in Gebieten mit negativer Humusbilanz wie dem Mittelmeerraum kann das Verfahren gleichzeitig dem Bodenschutz dienen. An saisonal schwankende Gästezahlen lässt sich die Anlage aufgrund ihrer Modulbauweise leicht anpassen, sei es durch einen anderen Feststoffgehalt oder durch zu- beziehungsweise abgeschaltete Membranmodule.

Biogas deckt den Energiebedarf

Hotelabfälle können zu mehr als 70 Prozent aus organischen Materialien bestehen. Bedingt durch die Eigenschaften der Abfälle ließe sich nur etwa ein Drittel davon ohne größeren verfahrenstechnischen Aufwand **aerob** ◀ behandeln (Kompost). Denn aufgrund des hohen Wassergehalts und der Struktur des Materials können **anaerobe** ◀ Bereiche in einer Menge entstehen, die zu erheblichen Geruchsbelästigungen führt; zudem kann Kompost in mediterranen und ariden Gebieten aufgrund der hohen Lufttemperaturen leicht austrocknen. Die **Vergärung** ◀ kann hingegen bis zu 90 Prozent der organischen Abfälle behandeln, Gärückstände lassen sich in der Landwirtschaft nutzen.

Das MODULAARE-Projekt hat ein praxistaugliches Konzept erarbeitet, wie sich das Biogas optimal nutzen lässt: entweder für die Wärmeversorgung oder – in Strom umgewandelt – zur Deckung des hohen Energiebedarfs



MODULAARE Membran-Modul

der Membranbelegung. Eventuell anfallendes Abwasser (z. B. bei der Entwässerung) lässt sich wiederum der Membranbelegung direkt zuführen.

Projekt-Website ► www.modulaare.de

Verband zur Förderung angepasster, sozial- und umweltverträglicher Technologien e.V. (AT-Verband)

Dr. Udo Theilen (Koordinator)
Dieter Steinbach, Andrea Schultheis (MODULAARE Gesamtkonzept)
Waldburgstraße 96
70563 Stuttgart
Tel.: 07 11/7 35 52 79
Fax: 07 11/7 35 52 80
E-Mail: atverband@aol.com
Internet: www.at-verband.de
Förderkennzeichen: 02WD0440

Universität Stuttgart Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft

Abteilungen Abwassertechnik und Siedlungsabfall
Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert
(Wissenschaftliche Leitung)
Bandtäle 2
70569 Stuttgart
Tel.: 07 11/68 56 55 00
Fax: 07 11/68 56 54 60
E-Mail: martin.kranert@iswa.uni-stuttgart.de
Internet: www.iswa.uni-stuttgart.de
Förderkennzeichen: 02WD0441

Semi-dezentrales Konzept für ein Neubaugebiet – Das Wasserhaus Knittlingen

Beim Anschluss von Neubaugebieten an die Wasser- und -entsorgung stehen Kommunen vor der Wahl: Sollen sie das bereits bestehende Kanalsystem erweitern oder eine dezentrale Lösung umsetzen? In einem Modellprojekt in Knittlingen bei Pforzheim zeigt das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik, welche Vorteile ein semi-dezentrales Konzept bietet: Weil es Regenwasser nutzt, senkt es den Frischwasserverbrauch. Außerdem erzeugt es Dünger für Landwirte und ist energieautark zu betreiben.

Industriestaaten setzen bei der Abwasserentsorgung in der Regel auf das Prinzip der Schwemmkanalisation: Regenwasser verdünnt das Abwasser, bevor es zur zentralen Kläranlage gelangt. Dieses Verfahren ist kontraproduktiv, denn die Kläranlage muss die Inhaltsstoffe dem Wasser mit hohem Aufwand entziehen. Eine wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Alternative können kreislauforientierte semi-dezentrale Systeme für die Wasser- und Abwasserentsorgung sein – auch in Schwellen- und Entwicklungsländern.

In dem Projekt „**Dezentrales Urbanes Infrastruktursystem 21**“ (DEUS 21) hat das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) ein solches Konzept für ein 2005 erschlossenes Neubaugebiet mit 100 Grundstücken in Knittlingen bei Pforzheim umgesetzt. Projektbegleitend vergleicht das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) die ökologischen und ökonomischen Aspekte der Anlage mit herkömmlichen Verfahren.

Aufbereitetes Regenwasser

Herzstück der Anlage ist das „Wasserhaus“ am Rande des DEUS 21-Wohngebiets. Es ist sowohl technisches Betriebsgebäude als auch Informationszentrum für Anwohner und Besucher. Das von den Dächern und Straßen abfließende Regenwasser wird in unterirdischen Zisternen gespeichert und im Wasserhaus aufbereitet. Ziel ist es, das Regenwasser so aufzubereiten, dass es Trinkwasserqualität erreicht, um es in einem separaten Netz in die Wohnhäuser leiten zu können: für die Toilettenspülung und Gartenbewässerung, Wasch- und Spülmaschinen sowie zum Waschen und Duschen. Zunächst wird das aufbereitete Regenwasser noch über einen längeren Zeitraum untersucht; in dieser Testphase erhalten die Anwohner über eine zweite Leitung Trinkwasser der Stadt Knittlingen.



Das Wasserhaus in Knittlingen

Ein Vakuumkanalsystem saugt das Abwasser der Haushalte aus Übergabeschächten vor den Häusern ab, im Wasserhaus wird es in einem **anaeroben** ◀ Reinigungsreaktor mit integrierter **Membrantechnik** ◀ aufbereitet. Den nötigen Unterdruck erzeugt die eingebaute, 2005 in Betrieb genommene zentrale Vakuumstation. Die Bauherren können auch eine Vakuumleitung in ihr Haus verlegen lassen und somit eine wassersparende Vakuumtoilette und einen Shredder für Küchenabfälle installieren.

Abgetrennte Feststoffe

Vorversuche hatten gezeigt, dass die Abwasserreinigung besser funktioniert, wenn die Feststoffe vorher abgetrennt werden. Die abgesetzten Feststoffe werden deshalb separat bei 37 Grad Celsius nach dem am Fraunhofer IGB entwickelten Verfahren der **Hochlastfaulung** ◀ mit integrierter **Mikrofiltration** ◀ behandelt. Täglich entstehen aus der Vergärung der Feststoffe bis zu 5.000 Liter Biogas. Die hydraulische Verweilzeit im Reaktor beträgt etwa zehn Tage, die Verweilzeit der Feststoffe ist in gewissem Umfang frei einstellbar, liegt jedoch deutlich höher. Ein unbeheizter, voll durchmischter **Bioreaktor** ◀ mit einem Volumen von zehn Kubikmetern behandelt den Überlauf des Absetzbehälters (circa 99 Prozent des Zulaufs); der Ablauf erfolgt über vier parallele Rotationsscheibenfilter (Porendurchmesser: 0,2 µm).

Selbst bei niedrigen Temperaturen funktioniert die anaerobe Kläranlage zuverlässig: Die Ablaufwerte lagen selbst bei Temperaturen im Reaktor bis 13° C unter 150 Milligramm des chemischen Sauerstoffbedarfs (**CSB** ◀) je Liter (Grenzwert für Kläranlagen für weniger als 1.000 Einwoh-



Eine Vakuumstation (links) und Bioreaktoren im Wasserhaus

ner). Die Zulaufkonzentrationen liegen zwischen 400 und 1.100 Milligramm CSB je Liter, der durchschnittliche Abbaugrad lag bei 85 Prozent. Im Reaktor zur Reinigung des Überlaufs der Vorklärung betrug die maximale Biogasproduktion zusätzlich rund 3.000 Liter täglich. Der Zuwachs der Biomasse ergibt etwa zehn Prozent der beim **Belebtschlammverfahren** zu erwartenden Menge von **Überschussschlamm**. Die Membranfiltration ist seit Inbetriebnahme im März 2009 durch automatisches Rückspülen mit Filtrat gereinigt worden, eine erste chemische Reinigung fand im April 2010 statt.

Nutzen für die Landwirtschaft

Der Wasserablauf der Anlage ließe sich für die Bewässerung und Düngung landwirtschaftlicher Flächen nutzen. Der Bioreaktor baut die Nährstoffe Ammonium und Phosphat kaum ab, die sich in relativ hohen Konzentrationen im Abwasser befinden. Durch die Membranfiltration ist das Wasser keimarm, somit gefahrlos als Dünger geeignet. Bei stichprobenartigen Untersuchungen wurden im Ablauf der für die Membranfiltration eingesetzten Rotations-scheibenfilter keine **Escherichia coli** Bakterien nachgewiesen, obwohl sie im Reaktorschlamm in Größenordnungen von einer Million pro Milliliter vorkommen.

Ist der Einsatz als Dünger nicht möglich, sind Verfahren zur Rückgewinnung des Ammoniums und Phosphats eine Alternative: Ein elektrochemischer Prozess fällt die Nährstoffe als **Struvit** aus (MAP, Magnesiumammoniumphosphat). Überschüssiges Ammonium wird durch einen Ionenaustauschprozess an Zeolith gebunden und durch Luftstrippung als Ammoniumsulfat zurückgewonnen.

Energieautarker Betrieb

Die rein anaerobe Verfahrenstechnik kann die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers zum größten Teil zu Biogas umsetzen: Täglich sind es 40 bis 60 Liter je Einwohner – eine herkömmliche Abwasserreinigung durch Schlammfäulung erzielt hingegen lediglich 25 Liter. Der Energiegehalt des durch anaerobe Abwasserreinigung produzierten Biogases beträgt mehr als 100 Kilowattstunden je Einwohner im Jahr. Große Kläranlagen verbrauchen jährlich etwa 30 Kilowattstunden elektrische Energie pro Einwohner (zudem etwa 30 kWh thermisch); Im Vergleich dazu ist eine mindestens energieautarke Abwasserreinigung unter anaeroben Bedingungen möglich.

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB)

Prof. Dr. Walter Trösch
Dipl.-Ing. Marius Mohr
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Tel.: 07 11/9 70-42 20
Fax: 07 11/9 70-42 00
E-Mail: walter.troesch@igb.fraunhofer.de
marius.mohr@igb.fraunhofer.de
Internet: www.igb.fraunhofer.de
Förderkennzeichen: 02WD0457