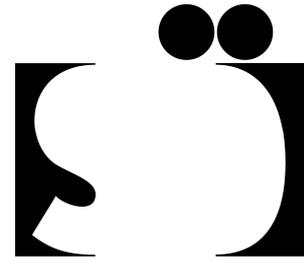


Institut für
sozial-ökologische
Forschung (ISOE)



Engelbert Schramm

**Grauwasserrecycling – Abwasser
als Sekundärrohstoffquelle:
Technologien für die Zukunft**

Engelbert Schramm

**Grauwasserrecycling – Abwasser als Sekundärrohstoffquelle:
Technologien für die Zukunft**

Zu diesem Text

Aufbauend auf einer Literaturanalyse wird der derzeitige technische Entwicklungsstand im Bereich des Grauwasserrecyclings skizziert. Neben mechanisch-biologische Anlagen treten vereinzelt Membranfilteranlagen, aber auch „Low-Tech“-Anlagen. Der Überblick half, mögliche Entwicklungsaufgaben zu identifizieren, die einerseits vordringlich (insbesondere zur Lösung künftiger Wassermengenprobleme) erscheinen und deren Lösung andererseits besonders innovative Leistungen erfordern. Die Entwicklungsaufgaben wurden thesenhaft zugespitzt, um so anschließend in einer Delphi-Befragung überprüft werden zu können.

About this text

Based on a literary analysis the current technical state of development in the field of greywater treatment for (indoor) re-use purposes is being outlined. Besides mechanic-biological treatment systems membrane filter and low-tech treatment can occasionally be found. The overview helped identify possible development tasks which on the one hand seem to be urgent (especially in order to solve future problems of water quantity) and the solving of which is on the other hand calling for particularly innovative efforts. The development tasks were subsumed thesis-like, so that they can be assessed in a subsequent Delphi-survey.

ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 31
ISSN 1436-3534

Engelbert Schramm

**Grauwasserrecycling – Abwasser als Sekundärrohstoffquelle:
Technologien für die Zukunft**

Herausgeber:
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2008

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	7
1 Vorwort	9
2 Problemlage	9
3 Stand der Technik	10
3.1 Mechanisch-biologische Anlagen	11
3.2 Membranfilteranlagen	11
3.3 Low-Tech-Ansatz	12
4 Innovationspotentiale 2050	13
4.1 Verringerung der Standzeiten und Erhöhung der Membranlebensdauer	13
4.2 Verbesserung der Wartung und Vermeidung des Membranfoulings	14
4.3 Auffangen von Lastschwankungen bzw. Stoßbelastungen	15
4.4 Neue Materialien für eine Verbesserung der Biologie	15
4.5 Verbesserung der Energieeffizienz	16
5 Zukunftsvisionen	17
6 Literatur	19

Abkürzungsverzeichnis

- AOP – Erweiterte Oxidation (Advanced Oxidation Process)
- BSB₅ – Biochemischer Sauerstoffbedarf (bezogen auf 5 Tage)
- BRICS – Brasilien, Russland, Indien, China, Republik Südafrika
- CSB – Chemischer Sauerstoffbedarf
- fbr – Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.
- SBR – Sequencing Batch Reactor
- TrWV – Trinkwasserverordnung

1 Vorwort

Die Rahmenbedingungen der Siedlungswasserwirtschaft ändern sich. Wo früher Industrialisierung und Wirtschaftswachstum, Bevölkerungszuwachs sowie Vertrauen in scheinbar unbegrenzte Energieressourcen und in eine riesige Pufferkapazität des Naturhaushalts zum Aufbau der modernen Wasserinfrastruktur geführt haben, provozieren heute technische Neuerungen, dass über einen Paradigmenwechsel nachgedacht wird. Wo früher die Städte große Durchflussreaktoren waren, durch die große Wassermengen geleitet wurden, um Schmutz und störende Materialien aufzunehmen und abzutransportieren, wird heute die Verwirklichung des Kreislaufprinzips gefordert.

Orientiert an Verfahrensalternativen, die in der Industrierwasserwirtschaft und an Sonderstandorten (z.B. der Passagierschifffahrt) Einzug gehalten haben, ist es möglich geworden, Abwasser als Sekundärrohstoff zu behandeln. In der hier veröffentlichten Untersuchung soll es nicht darum gehen, die Erfolgsbedingungen für einen derartigen Paradigmenwechsel zu untersuchen. Vielmehr war die Studie ein erster Schritt, um im Verbundvorhaben „Wasser 2050: Nachhaltige wasserwirtschaftliche Systemlösungen – künftige Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft“ eine Delphi-Befragung durchzuführen, in der ab Dezember 2007 Fachleute aus Wirtschaft und Wissenschaft an einer Technologievorschau beteiligt wurden. Auf dieser Untersuchung werden weitere Ergebnisse des Projektes aufbauen, die im Laufe des Jahres 2009 vorgestellt werden und das Ziel haben, der Wirtschaft im Wassersektor größere Gewissheit über Innovationsrichtungen zu geben.

Das Verbundvorhaben „Wasser 2050“ wird vom Institut für sozial-ökologische Forschung gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert (Förderkennzeichen 02WT0820).

Der Autor bedankt sich für Anregungen und inhaltliche Unterstützung beim Forschungsteam, insbesondere bei Dr. Harald Hiebl, Dr. Dr. Christian Sartorius und Dr. Thomas Kluge sowie bei Frau Dr. Verena Höckele vom Projektträger Karlsruhe des BMBF. Die Verantwortung für den Inhalt dieses 2007 abgeschlossenen Diskussionspapiers liegt alleine beim Autor.

2 Problemlage

Grauwasser ist nach der Europäischen Norm 12056-1 ein fäkalienfreies, gering verschmutztes Abwasser, wie es etwa beim Duschen, Baden oder Hände- und Wäsche-waschen anfällt und zur Aufbereitung von Betriebs- bzw. Nutzwasser dienen kann.

Grauwasser lässt sich – z.B. durch den Einsatz von Wasserrecycling-Systemen – für eine Zweitnutzung aufbereiten. Es wird insbesondere für die Gartenbewässerung

und die Toilettenspülung eingesetzt, kann aber auch zu weiteren Zwecken (z.B. als Putzwasser oder auch zum Wäschewaschen) verwendet werden. Bei einem 4-5 Personenhaushalt summiert sich die mögliche Einsparung auf ca. 90 m³ (90.000 Liter) Wasser pro Jahr. Im Unterschied zur witterungsabhängigen Regenwassernutzung steht die Ressource Betriebswasser stets zur Verfügung.

In den USA hat der Versuch zur Wiederverwendung von Grauwasser dazu geführt, die Gartenbewässerung nachhaltiger zu gestalten. In Japan und Europa wird vor allem der Ansatz verfolgt, Grauwasser innerhalb des Haushalts als Betriebswasser, insbesondere zur Spülung von Toiletten, wiederzuverwenden. In Deutschland setzen auch einige Institutionen auf Wasserwiederaufbereitungsanlagen, so etwa die Feuerwehr Hamburg.

Nach einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kerpen/Zapf 2005/06) lassen sich unter heutigen Rahmenbedingungen auch in Mitteleuropa Grauwasser-Anlagen ab einer angeschlossenen Nutzerzahl von etwa 150–200 Personen (also z.B. in Hotels) wirtschaftlich betreiben. Bei hohen Trink- und Abwassergebühren wird eine rasche Amortisation sogar bei geringeren Nutzerzahlen wahrscheinlich. Aufgrund des zu erwartenden Anstiegs der Kosten für Wasser und Abwasser könnte bei einem Neubau oder der Grundsanierung eines Wohnhauses in ein separates Rohrleitungsnetz für die Grau- oder evtl. auch Regenwassernutzung investiert werden. In Gebieten mit tendenzieller Wasserknappheit (z.B. bereits im Mittelmeerraum) ist nach Kerpen/Zapf (2005/06) das Grauwasserrecycling fast durchweg sinnvoll.

3 Stand der Technik

Bis vor wenigen Jahren wurden Anlagen zum Recycling von Grauwasser in der Regel durch spezialisierte Fachbetriebe als Unikat erstellt und eingerichtet. Mittlerweile können aber auch SBR als handelsübliche Wasserrecycling-Anlagen über den Installationsgroßhandel erworben und durch jeden Installateur eingebaut werden. Sie benötigen zur Aufbereitung des Grauwassers einen Energiedurchsatz von 1–2 KWh pro Kubikmeter Wasser. Diese Anlagen sind so konzipiert, dass das erzeugte Wasser ohne Qualitätsverlust über mehrere Wochen gespeichert werden kann (z.B. in der Urlaubszeit, anders einige „Low-Tech“-Anlagen, vgl. 3.3). Derzeit werden in Deutschland Anlagen von fünf Herstellern angeboten (vgl. Nolde 2005, fbr 2007). Aktuell werden dabei nur jene Teilströme verwendet, die besonders wenig mit organischen Stoffen belastet sind, insbesondere das Abwasser von der Körperreinigung.

Eine technische Norm (fbr 2005) unterstützt die Planer, Erbauer und Betreiber der Grauwasseranlagen. Aus Sicht der Anlagenbauer und -planer sind jedoch derzeit die politischen Rahmenbedingungen für einen vermehrten Einsatz des Grauwasserrecyclings in Deutschland wenig förderlich. Bei der aktuellen Novelle der TrWV stellt sich zum wiederholten Male die Frage, ob mit dieser Verordnung nicht die Einsatzzwecke für Trinkwasser gesetzlich so vorgeschrieben werden, dass damit wesentliche

Einsatzmöglichkeiten für Grauwasser entfallen. Andererseits könnte eine gesetzlich verbindliche Definition von Betriebswasserqualitäten (beispielsweise nach Berliner Vorbild – vgl. Rothenberger 2003: 76) auch für die Hersteller einen einheitlichen Standard setzen, den Anlagen erfüllen müssen. Politische Mechanismen für eine flächenhafte Umsetzung der Grauwassertechnologie (vgl. Meinecke/Vack 1997) sind bisher nicht erprobt. Wo ein Anschluss- und Benutzungszwang für Trinkwasser besteht, kann eine Diffusion der Grauwassertechnologie sogar behindert werden. Ähnlich wie in Berlin diskutiert, kann es sinnvoll sein, insbesondere bei komplexeren Anlagen dafür Sorge zu tragen, dass die Anlagen durch einen kompetenten Betreiber gefahren bzw. gewartet werden (Rothenberger 2003: 76). Derartige Anwendungen im Bereich der Wohnungswirtschaft (z.B. durch Grauwasser-Dienstleister) werden derzeit u.a. durch die Mehrwertsteuerpflichtigkeit behindert.

3.1 Mechanisch-biologische Anlagen

Bei den meisten Anlagenherstellern (z.B. Pontos) erfolgt die Aufbereitung des Grauwassers in mehreren Stufen auf mechanisch-biologischem Weg. Die Anlagen orientieren sich zumeist am Prozess der Abwasserreinigung einer konventionellen Kläranlage mit Sedimentation, Belüftung, bakteriellem Abbau im aeroben Bereich, Schlammabscheidung. Für besondere hygienische Anforderungen ist eine UV-Behandlung nachgeschaltet. Die automatisierten, „wartungsfreien“ Anlagen wurden zunächst dort installiert und betrieben, wo das Grauwasser eines Wohnblocks, Hotels usw. zusammengeführt und gemeinsam behandelt wird. Mechanisch-biologische Anlagen lassen sich auch unter extremeren klimatischen Bedingungen betreiben. Beispielsweise hat GEP in China 120 neue Wohneinheiten im Haidian District von Beijing mit einer vierstufigen Grauwasseranlage ausgerüstet (die Pilotanlage besteht aus Absetz- und Sammeltank, biologischem Abbau mit rotierenden Tauchtropfkörpern, Lamellenabscheider und UV-Desinfektion). Auch bei einer Betriebstemperatur von nur durchschnittlich 10°C funktioniert die Biologie einwandfrei (vgl. Wilhelm 2004).

Mittlerweile sind auch kleiner dimensionierte Anlagen erhältlich. Mit den in Deutschland derzeit serienmäßig angebotenen Anlagen kann allerdings Grauwasser aus Geschirrspülmaschinen und aus Waschmaschinen sowie mit Farbstoffen versetztes Wasser (Farbreste, Textil-, aber auch Haarfärbemittel) nicht aufbereitet werden, da die Grauwassertanks verhältnismäßig klein dimensioniert sind und die Biologie der Aufbereitungsanlage nicht auf die damit verbundenen Belastungsstöße eingerichtet ist.

3.2 Membranfilteranlagen

Zunehmend wird beim Grauwasserrecycling auf die in den letzten Jahren verfügbar gewordene Membranfiltertechnik gesetzt. Hier sind verschiedene Linien denkbar: 1) Bei der Nutzung der Membran zu einer rein physikalischen Trennung wird der

Grauwasserstrom aufkonzentriert und muss anschließend weiterbehandelt (z.B. dem Braunwasser zugesetzt) werden. Es kommt zu keiner Verringerung der gelösten organischen Fracht. 2) Im Membranbioreaktor werden physikalische Trennung und biologischer Abbau kombiniert. So können die abbaubaren organischen Belastungen des Grauwassers bereits während kurzer Verweilzeit deutlich verringert werden. Das eingetragene Substrat dient eher dem Erhaltungsstoffwechsel der Biologie als ihrem Wachstum (daher kommt es zu keinem bzw. nur einem geringen Schlammanfall).

Grundsätzlich lässt sich der Membranfilter entweder ins Grauwasser getaucht oder in einem externen Crossflow-Modul einsetzen: Alternativ zum Membranbioreaktor mit getauchtem Modul kommen im modernen Schiffbau zunehmend Membranbioreaktoren mit externem Modul zum Einsatz, das auch für Grauwasser mit höherer Feststoffkonzentration und Faserstoffen geeignet ist und einen einfacheren Zugang und damit auch eine unkompliziertere Wartung und Instandhaltung erlaubt (Kraume/Gildemeister 2004).

Hersteller wie GEP Umwelttechnik GmbH, Eitorf und Entwickler wie Geoterra, Aachen, verfolgen die Linie der integrierten (getauchten) Membran. In den automatisiert gesteuerten Anlagen werden zwei Reinigungsschritte vereint (aerobe Belebmembran mit Ultrafilter-Eigenschaften, der auch eine Passage von Bakterien und Viren verhindern soll), um Brauchwasser in Badewasserqualität zu erzeugen.

Serienmäßig bietet GEP seit mehr als drei Jahren auf Belebmembranen von Weise Water System basierende Hausanlagen für das Dusch- und Badewasserrecycling ebenso an wie seit etwa einem Jahr auch Großanlagen, die für Sportanlagen, Hotels, Wohnheime, aber auch für den Geschosswohnungsbau geeignet sind. Die Tankbehälter und weiteren Einzelkomponenten können dabei modular zusammengesetzt werden. Diese Anlagen haben bereits einen im Idealfall günstigen Energieverbrauch (1,5 kWh/m³).

3.3 Low-Tech-Ansatz

Daneben ist für zahlreiche Zwecke der Brauchwassernutzung auch ein Grauwasserrecycling mittels „Low-Tech“ möglich. Entsprechende Anlagen lassen sich auch selbst erstellen; entsprechende Baupläne werden z.T. bereits seit 20 Jahren verbreitet.

Der Bedarf an Toilettenspülwasser entspricht in etwa dem Abwasseraufkommen bei der Körperreinigung. Daher wird sich hier teilweise ausschließlich auf die Wiederaufbereitung des Duschwassers beschränkt; andere Grauwasserteilströme, z.B. Handwaschbecken oder Badewanne, sind nicht angeschlossen.

Dieser konstruktiven Richtschnur folgt die zunächst für Einfamilienhäuser konzipierte Anlage von Reiner Hildebrand (o.J.). Die Beschickung der Anlage, die im Wesentlichen nur der Sedimentation von Feststoffen und der Speicherung des Brauch-

wassers dient, erfolgt regelmäßig mit dem getrennt gesammelten Duschabwasser aus dem eigenen Haushalt mit seiner relativ geringen Vorbelastung (ca. 100 mg/l BSB₅). Zur Abpufferung von Spitzenverbräuchen kann die Anlage auch mit Niederschlagswasser nachgespeist werden. Mit einem Minimum an Speichervolumen, Technik, Anschaffungs- und Betriebskosten bei kurzer Standzeit des aufzubereitenden Wassers lässt sich so Grauwasser aufbereiten. Die Anlage eignet sich besonders für Einfamilienhäuser, unter günstigen Bedingungen auch für den nachträglichen Einbau. Bei Mehrfamilienhäusern können Anlagenmodule parallel geschaltet werden, was es ermöglicht, dass jede Familie bzw. Wohneinheit nur ihr eigenes Dusch- und Badeabwasser recycelt.

Wird jedoch die Verwendung von Grauwasser auch für weitere Einsatzzwecke geplant (z.B. Gartenbewässerung), kommt diese einfache Anlage an die Grenzen ihrer Auslegung. „Bei früheren Versuchen hat sich beispielsweise die Lauge aus der Wäschereinigung als zu sauerstoffzehrend erwiesen. In der Badewanne verwendete ätherische Öle führten zu unangenehmem Geruch“ (Hildebrand o.J.). Daneben ist es auch möglich, größere Wassermengen zu speichern bzw. Brauchwasser für weitere Anwendungen zur Verfügung zu stellen; dann sind jedoch technische Aufbereitungen erforderlich: Praktiziert werden hier insbesondere belüftete Sandfilter (z.B. Passivhaus Vauban), aber auch vertikal durchströmte bewachsene Bodenkörper (z.B. Modellvorhaben Flintenbreite), wo auch Grauwasser aus dem Küchenbereich mitverwendet werden kann.

4 Innovationspotentiale 2050

Im Folgenden werden einige Entwicklungsaufgaben angesprochen, die einerseits vordringlich erscheinen und deren Lösung andererseits besonders innovative Leistungen erfordern. Das zweite Auswahlkriterium wurde deshalb herangezogen, weil sich Exportchancen für die deutsche und vermutlich ebenso für einen Teil der europäischen Wasserindustrie im Technologiebereich vorrangig im Bereich der Hoch- und Spitzentechnologie eröffnen. Aufgrund der globalen Arbeitsteilung lassen sich die in 3.3 exemplarisch angesprochenen Linien von angepasster Technologie bzw. Low-Tech teilweise auch vor Ort erstellen. Ähnliches gilt für biologisch-mechanische Anlagen unter Standard-Rahmenbedingungen und bei Konzentration auf einfach strukturierte (Dusch-)Abwässer, die sich vermutlich fast immer in den BRICS-Staaten wesentlich günstiger als in der EU produzieren lassen.

4.1 Verringerung der Standzeiten und Erhöhung der Membranlebensdauer

Bezogen auf die Membranfilteranlagen ist insbesondere das Handling noch zu verbessern. In den letzten Jahren ist die Möglichkeit einer Rückspülung entwickelt worden (z.B. für Plattenmembranen).

Bisher ist die Wartung zu aufwändig (sowohl hinsichtlich des erforderlichen Personals als auch in stofflicher Hinsicht, vgl. auch 4.2). Potentiale einer Fernüberwachung sind weiter zu verbessern; hier gibt es noch zahlreiche Punkte, wo Innovationen zur Kostenreduktion möglich scheinen.

Außerdem führt die Wartung zu einer Unterbrechung der Aufbereitung, so dass für solche Zeiten eine zusätzliche Tankkapazität geschaffen werden muss bzw. parallele Membranfilterstrecken vorgehalten werden müssten. Grundsätzlich werden haltbarere und länger einsetzbare Membranen dazu führen, dass die Anlagen seltener gewartet werden müssen.

In den letzten Jahren hat in der Nanotechnologie die Entwicklung von Werkstoffen für Polymermembranen erhebliche Fortschritte gemacht. In einer maßgeschneiderten Strukturentwicklung könnten Materialien entwickelt werden, mit denen sich die Lebensdauer geeigneter Membranen für die Grauwasseraufbereitung verlängern lässt. Hierdurch werden einerseits Standzeiten vermieden und die Wartungsintervalle verlängert; andererseits führt die Erhöhung der Lebensdauer in der Regel auch zu einem längeren Verbleib in der Anlage und damit einer intensivierten Nutzung und letztlich einem rationelleren Einsatz der zur Herstellung eingesetzten Stoffe und Energie und ist vermutlich ökobilanziell vorteilig.

4.2 Verbesserung der Wartung und Vermeidung des Membranfoulings

Die Membranstandzeiten werden durch die sich anlagernden Partikel und Mikroorganismen beeinflusst. Nur zum Teil werden sie mit dem Retentat abgespült; ein anderer Teil setzt sich auf der Membranoberfläche ab und kann dort im Lauf der Zeit einen Biofilm bilden. Dieser Biofilm haftet an der Membran an (sog. Fouling) und kann im laufenden Betrieb auch bei einer Kreuzstromschaltung nicht vermieden werden. Das Membranfouling verschlechtert die Permeabilität der Membran und führt zu niedrigem Flux. Dadurch erhöht sich der Energieaufwand; evtl. werden größere Membranflächen erforderlich (Kraume/Gildemeister 2004).

Insbesondere Crossflow-Membranfilter müssen regelmäßig mit Chemikalien gereinigt werden, um wieder durchlässig zu werden. Aber auch bei Belebmembranen besteht das Risiko des Foulings. In größeren zeitlichen Abständen (alle acht bis zwölf Monate) wird der Biofilm auf der Belebmembran üblicherweise mit einer Membranregeneration beseitigt. Hierzu werden teilweise oxidative und saure Chemikalien (z.B. Chlorbleichlauge, Natronlauge, Zitronensäure) in Abfolge eingesetzt. Auf einen vorbeugenden Biozideinsatz wird im betrachteten Anwendungsgebiet verzichtet.

Wann die Regeneration erforderlich ist oder wann nicht, hängt von vielen Faktoren ab und lässt sich nur bedingt vorhersagen. Der geeignete Zeitpunkt könnte in automatisierten Tests überprüft werden. Im Weiteren könnte auch die Regeneration

selbsttätig ablaufen (z.B. in Nacht- oder anderen Zeiten, wo weniger Grauwasser anfällt bzw. aufbereitet werden muss). Hierzu sind einerseits Analysetools zu entwickeln, mit denen der Leistungsabfall eines Membranfilters bestimmt werden kann. Für eine automatische Regeneration wird es andererseits darauf ankommen, mit Chemikalien zu arbeiten, die unter den Anlagenbedingungen inert bleiben (d.h. sich nicht wie z.B. Chlorbleichlauge frühzeitig zersetzen).

Membranen, die ein Fouling verhindern, könnten eine weitere Lösung darstellen. Sie werden die Leistungsfähigkeit der Membranfilterung verbessern; sie reduzieren nicht nur die Betriebskosten, sondern führen auch zu einem rationelleren Energieeinsatz und benötigen keinen Einsatz von Chemikalien bei der Membranregeneration. Mit Hilfe einer nanotechnologischen Beschichtung von Membranen könnten beispielsweise antimikrobiell wirkende Moleküle chemisch in die Oberfläche der Membranen eingebunden werden. Aufgrund ihrer Einbindung in die Membran würden die bioziden Materialien nicht ins Wasser diffundieren, sondern über den Kontaktmechanismus auf die Mikroorganismen wirken und deren Absterben bewirken. Alternativ dazu wird derzeit auch darüber nachgedacht, dass speziell gezüchtete Mikroorganismen zur Wartung auf die Membran gegeben werden und dort die Biofilme abweiden.

4.3 Auffangen von Lastschwankungen bzw. Stoßbelastungen

Insbesondere in biologisch-mechanischen Anlagen mit geringerer Kapazität, in denen sich Grauwasser weniger gut durchmischen kann, können haushaltsübliche Stoßbelastungen, z.B. der erste Waschgang aus Wasch- und Geschirrspülmaschine oder beim Haarfärben anfallendes Waschwasser, durch die Biologie der Anlagen „durchrauschen“, sofern diese nicht an diese Belastungen angepasst ist. Um auch Grauwasser, das tendenziell entsprechende kurzzeitige stoffliche Belastungen aufweist, an die die Bakterien der Anlagen nicht adaptiert sind und die daher nicht abgebaut werden können, aufbereiten zu können, könnte es in den Anlagen sinnvoll sein, eine an im Grauwasser auftretende Extrembelastungen angepasste Abwasserbiologie biotechnologisch zu erzeugen und vorzuhalten.

Für den gleichen Zweck könnte aber auch eine alternative Entwicklungslinie angegangen werden. Diese wäre darauf gerichtet, zusätzliche Kammern in der Anlage vorzusehen, in die mit Hilfe einer elektronischen Steuerung entsprechend belastetes Abwasser (z.B. bei einer definierten Trübung) gelangt, um dort einer zusätzlichen Aufbereitung (z.B. mit Hilfe von AOP, etwa einer Ozonisierung) unterzogen zu werden.

4.4 Neue Materialien für eine Verbesserung der Biologie

Bezogen auf die mechanisch-biologischen Anlagen wird es mittel- bis langfristig darum gehen, die Trägermaterialien weiterzuentwickeln. Bisher werden hier überwiegend geschäumte organische Polymere eingesetzt. Neue Materialien und anders

gestaltete Trägeroberflächen können zu einer optimierten Grauwasserreinigung beitragen. Insbesondere die Tropfkörperform scheint jedoch bereits ziemlich ausgereizt (zudem ist auch der Platzbedarf ein limitierender Faktor); es ist wahrscheinlich, dass dies vorrangig für rotierende Anlagen interessant ist.

In den letzten Jahren hat die Entwicklung von Werkstoffen in der Materialforschung erhebliche Fortschritte gemacht. Angesichts der bestehenden Innovationsmöglichkeiten könnten Materialien mit hoher Lebensdauer entwickelt werden, die als Träger im Abwasserreaktor eingesetzt werden können und zu einer weiter optimierten Prozessführung beitragen.

4.5 Verbesserung der Energieeffizienz

Für die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Grauwasserrecyclings und eine Verbesserung seiner Wettbewerbsfähigkeit unter sich verändernden Rahmenbedingungen (z.B. steigende Energiepreise) ist es angebracht, eine größere Energieeffizienz zu erzeugen. Dies gilt für beide Anlagenlinien. Einerseits geht es darum, die Prozesse so zu optimieren, dass sie mit geringerem Energieaufwand durchführbar sind; durch eine Verbesserung der Verfahrensabläufe können evtl. auch energetische Synergien genutzt werden. Zu den anstehenden Optimierungsschritten gehört andererseits auch die hier nicht weiter zu behandelnde Energierückgewinnung aus dem Abwasser (vgl. dazu spezielle Ausarbeitung).

Grundsätzlich ist jenseits einer energetischen Optimierungsstrategie auch denkbar, dass Verfahrensschritte durch Verfahrensalternativen mit einer theoretisch günstigeren Energiebilanz ersetzt werden. Zum Beispiel könnte die Biologie der mechanisch-biologischen Anlagen auf eine Anaerob-Basis umgestellt werden, indem auf die Belüftungsstufe verzichtet wird. Der größte Teil des Energiebedarfs wird (auch bei Membrananlagen) für die Belüftung des Grauwassers benötigt.

Grundsätzlich müsste dafür der anaerobe Abbauprozess so betrieben werden, dass er auch bei den vorhandenen niedrigen Stoffbelastungen in der Lage ist, Methan zu produzieren und so aufzufangen, dass es gezielt zur Energieerzeugung eingesetzt werden kann. Bisherige Untersuchungen zur anaeroben Behandlung von Siedlungsabwässern zeigen, dass die Elimination der organischen Kohlenstoffverbindungen besonders bei Abwasser mit geringeren CSB-Konzentrationen, wie sie im Grauwasser definitionsgemäß vorliegen, zwar funktioniert, sie aber oft nur ungenügend zur Biogasproduktion beiträgt. Insbesondere bei geringer CSB-Fracht gelingt es nicht, für einen ausreichenden Austrag des Methangases im Reaktor zu sorgen; in solchen Fällen bleibt das Methangas in der flüssigen Phase und tritt erst zu einem späteren Zeitpunkt aus, etwa im Brauchwassertank, während der Anwendung oder später im Lebenszyklus, so dass die gewünschte höhere Energieeffizienz des Grauwasserrecyclings nicht oder nur teilweise erreicht wird und die Methanemissionen als klimarelevant eingestuft werden müssen.

Daher sind spezielle Verfahren zu entwickeln, mit denen die Methanausbeute im Reaktor erhöht werden kann. Für derartige Verfahrensinnovationen wird heute insbesondere auf Membrantechnologie und Vakuumbetrieb gesetzt. Derzeit wird im Labormaßstab damit experimentiert, wieweit sich anaerobe Belebmembranverfahren im Vakuumbetrieb eignen, die Biogasausbeute soweit zu erhöhen, dass auch bei einer geringen CSB-Konzentration eine energetische Nutzung des anfallenden Biogases technisch möglich wird.

Weiterhin ist auch darüber nachzudenken, ob nicht zur Erhöhung der Energieeffizienz auch die Zusammensetzung des Grauwassers geändert werden sollte. Bisher wird in Deutschland Grauwasser sehr restriktiv genutzt und bestimmte Fraktionen mit einem höheren CSB (z.B. Waschmaschinenabwasser) werden verworfen, obgleich gerade ihr Einbezug erst eine „High-Tech“-Anlage erforderlich macht. Der Einbezug von Küchenwasser in derartige Anlagen erfordert jedoch nicht nur den Einbau von Fettabscheidern, um die Membran nicht zu zerstören, sondern ist vermutlich nur für mittlere und große Anlagengrößen ökonomisch wirtschaftlich.

5 Zukunftsvisionen

Im vorausgehenden Kapitel wurden Entwicklungsaufgaben formuliert, die als vordringlich für die Lösung globaler Wasserproblemlagen eingeschätzt werden und von denen vermutet wird, dass sie ein hohes Innovationspotential besitzen. Diese Einschätzung soll mit einer Delphi-Befragung überprüft werden. Die schriftlich befragten Experten werden dabei gebeten, die Bedeutung der Technologien, ihre Realisierungschancen im genannten Anwendungsgebiet und ihren Realisierungszeitraum ebenso einzuschätzen wie den Entwicklungsaufwand und das globale Marktpotential. Der Methode der Delphi-Befragungen folgend werden die beschriebenen Entwicklungsziele in Thesen über die Zukunftsgestaltung formuliert.

Es wird vorgeschlagen, den Experten die folgenden Thesen über Zukunftsvisionen des Grauwasserrecyclings vorzulegen:

- Durch weitere Entwicklungen in der Mess- und Regeltechnik sowie spezifische Innovationen lassen sich eine Verbesserung des Handlings und eine Erhöhung der Energieeffizienz für die Grauwassertechnologie erreichen. Es wird damit insbesondere in Wassermangelgebieten technisch möglich, Grauwassertechnologie flächendeckend zu realisieren.
- Veränderte politische Rahmenbedingungen können eine solche flächendeckende Umsetzung der Grauwassertechnologie erheblich befördern. Insbesondere ist es dafür dienlich, in den staatlichen Gesetzen Betriebswasser eindeutig sowohl hinsichtlich seiner potentiellen Einsatzzwecke als auch hinsichtlich seiner Mindestqualitäten zu definieren.
- Bei Weiterentwicklung geeigneter Technologie (inhäusige Wärmetauscher/Wärmepumpen) lässt sich das Grauwasser auch energetisch nutzen. Es ist zu vermuten, dass derartige Nutzungsmöglichkeiten die inhäusige Installation von Grau-

wasserkreisläufen stark befördern werden (vgl. auch Ausarbeitung zur Energie-rückgewinnung).

- Durch Entwicklung spezieller Reaktortypen und eine optimierte Prozessführung kann es insbesondere in warmen Klimaten möglich werden, Grauwasser auch anaerob zu reinigen und so (bei Linien ohne Membran) die Energiezufuhr sehr niedrig zu halten. Entsprechende Anlagentypen werden aufgrund der Komplexität nicht für einen dezentralen, sondern nur für einen (semi)zentralen Einsatz geeignet sein.
- Nanotechnologische Entwicklungen erlauben den Einsatz verbesserter Membranfilter und eine einfache Bekämpfung des Foulings: Es werden Membranen entwickelt, die dauerhaft gegen Biofilmbewuchs (Fouling) bei der Meerwasserentsalzung geschützt sind und dabei auch keine bioziden Substanzen in das Wasser abgeben. Die Haltbarkeit und auch die Abreinigungsintervalle der Membranen verlängern sich drastisch, die Betriebskosten werden herabgesetzt und die Energieeffizienz weiter verbessert.
- Nach solchen Innovationen lassen sich Membranfilter insbesondere in semizentralen Anlagen einer Grauwasserreinigung einsetzen. Der Einsatz der Membrantechnologie erlaubt bei Berücksichtigung zusätzlicher Reinigungsstufen (Fettabscheider, AOP usw.) die Ausweitung des Grauwasserrecyclings auch auf etwas stärker verschmutztes Abwasser wie beispielsweise Küchenabflüsse. Durch entsprechende Steuerung und Zwischentanks wird es dabei möglich, Stoßbelastungen zu puffern.
- Durch den flächendeckenden Aufbau eines Grauwasserrecyclings kann unter Umständen die Erneuerung bzw. der Aufbau eines groß dimensionierten, zentralen Versorgungssystems überflüssig werden. Das koordinierte, flächendeckende Grauwasserrecycling ist zugleich auch mit dem Betrieb der Kanalisation und der (zentralen) Abwasserbehandlung zu koordinieren. Es erlaubt auch im Abwasserbereich bei Aufbau und Vernetzung differenzierter Stoffkreisläufe die geordnete Aufgabe von zentralen Strukturen.

6 Literatur

- fbr (2005) : fbr-Hinweisblatt H 201 Grauwasser-Recycling, Planungsgrundlagen und Betriebshinweise. Darmstadt
- fbr (2007): Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung. Ausgabe 2007/2008. Darmstadt
- Fröhlich, A.P. et al. (2006): EU-Demonstrationsprojekt Sanitärkonzepte für die separate Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – Erste Ergebnisse.
<http://www.gtz.de/de/dokumente/de-sanitation-concept-separate-treatment-demo-projekt-berlin-text-2006.pdf> (24.5.2007)
- Hildebrand, R. (o.J.): Sedimentationsanlage Hildebrand
<http://www.reinerhildebrand.de/grau/grau.html> (24.7.2007)
- Kerpen, J./D. Zapf (2005/06): Grauwasserrecycling wirtschaftlich schon rentabel. Fach,Journal IHKS 2005/06: 88-92.
http://www.ihksfachjournal.de/opener.engine.php?file=Grauwasserrecycling_wirtschaftlich_schon_rentabel&issue=2005_2006 (17.7.2007)
- Kraume, M./R. Gildemeister (2004): Grauwasserrecycling unter Anwendung von Membranverfahren. Vortrag auf der fbr-Veranstaltung: Grauwasser-Recycling – Chance für die deutsche Wirtschaft. 24. Februar 2004 in Hattingen/Ruhr.
http://www.fbr.de/fachinfos/pdf_grau/Kraume.pdf (24.7.2007)
- Lange, J./R. Otterpohl (2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Donaueschingen-Pföhren (2. Aufl.)
- Meinecke, Ch./A. Vack (1997): Handlungsfolgenabschätzung „Abwassersatzung“. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 11. Frankfurt am Main
- Nolde, E. (2005): Grauwasser-Recycling – von der Idee zum Industrieprodukt. In: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwasser (Hg.): Betriebs- und Regenwassernutzung – Bestandsaufnahme und Zukunftsvision. fbr-Schriftenreihe 10, 49–54
- Rothenberger, D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser.
http://www.mikrosysteme.org/documents/Report_Wasser.pdf (17.8.2007)
- Wagner, M. (2005): Wasserwiederverwendung – eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit? KA – Abwasser, Abfall 52: 976–978
- Wilhelm, Ch. (2004): Grauwasser-Recycling in der Wohnbebauung in Peking. Vortrag auf der fbr-Veranstaltung: Grauwasser-Recycling – Chance für die deutsche Wirtschaft. 24. Februar 2004 in Hattingen/Ruhr.
http://www.fbr.de/fachinfos/pdf_grau/Wilhelm.pdf (24.7.2007)

In unserer Veröffentlichungsreihe ISOE-Diskussionspapiere bisher erschienen:

Schramm, Engelbert (2008): Düngerrückgewinnung aus Abwasser: Technologien für die Zukunft. Unter Mitarbeit von Jana von Horn. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 32

Schramm, Engelbert (2008): Grauwasserrecycling – Abwasser als Sekundärrohstoffquelle: Technologien für die Zukunft. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 31

Schramm, Engelbert (2008): Energierückgewinnung aus Abwasser: Technologien für die Zukunft. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 30

Schultz, Irmgard/Immanuel Stieß (2006): Emissionshandel und Gender. Ergebnisse einer transdisziplinären Genderanalyse. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 29

Becker, Egon (2006): Gegen das Verwischen der Differenz von Gesellschaft und Natur. Kommentar zum Potsdamer Manifest 2005 „We have to learn to think in a new way“. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 28

Kluge, Thomas/Stefan Liehr/Engelbert Schramm (2007): Strukturveränderungen und neue Verfahren in der Ressourcenregulation. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 27

Liehr, Stefan (2006): Decision Support-Systeme in sozial-ökologischen Regulationsprozessen. Eine Betrachtung aus kybernetischer Perspektive. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 26

Keil, Florian/Thomas Kluge/Stefan Liehr/Alexandra Lux/Petra Moser/Engelbert Schramm (2007): Integrierte Perspektiven in der Wasserforschung. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 25

Stieß, Immanuel/Doris Hayn (2005): Ernährungsstile im Alltag. Ergebnisse einer repräsentativen Untersuchung. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 24

Schramm, Engelbert (2005): Genese und „Verschwinden“ der Kybernetik. Ein Literaturbericht. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 23

Schramm, Engelbert (2004): Monitoringbasierte Vernetzung und partizipative Synthese. Eine Auswertung integrierter Begleitaktivitäten zu einer BMBF-Förderinitiative. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 22

Röhr, Ulrike/Irmgard Schultz/Gudrun Seltsmann/Immanuel Stieß (2004): Klimapolitik und Gender. Eine Sondierung möglicher Gender Impacts des europäischen Emissionshandelssystems. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 21

Franz-Balsen, Angela/Matthias Stadler (2003): Erwachsenenbildung als Multiplikator für die Kommunikation sozial-ökologischer Forschung in die Gesellschaft. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 20

Kluge, Thomas/Engelbert Schramm (2001): Regionalisierung als Perspektive nachhaltigen Wirtschaftens. Konzeptionelle Betrachtungen. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 19

Zahl, Bente (2001): Zielgruppenspezifische Freizeitmobilität. Bestandsaufnahme der sozialwissenschaftlichen Forschung. Unter Mitarbeit von Konrad Götz. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 18

Kluge, Thomas/Alexandra Lux (2001): Privatisierung in der Wasserwirtschaft. Sozial-ökologische Forschungsperspektiven. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 17

Sons, Eric (2001): Innovative Forschungsaspekte „Nachhaltigen Wirtschaftens“. Identifikation der inhaltlichen Kernelemente einer BMBF-Förderinitiative. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 16

- Weller, Ines (2000):** Stand und Perspektiven ökologischer Innovationen im Textilbereich. Ergebnisse der ExpertInnenbefragung und -diskussion. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 15
- Jahn, Thomas/Egon Becker/Immanuel Stieß (2000):** Workshop: „Sozial-ökologische Forschung“. Protokoll des Workshops zur Einrichtung eines neuen Förderschwerpunkts „Sozial-ökologische Forschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom 30.6. bis 1.7.1999 in Bonn. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 14
- Empacher, Claudia/Peter Wehling (1999):** Indikatoren sozialer Nachhaltigkeit. Grundlagen und Konkretisierungen. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 13
- Kluge, Thomas/Engelbert Schramm (1999):** Sicherung der Innovationslinie Bio-Puten: Lösungsperspektiven für vermutete Akzeptanzprobleme. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 12
- Götz, Konrad (1999):** Ansprüche an ökologische Innovationen im Textilbereich. Zwischenergebnisse des BMBF-Projektes „Wissenstransfer“. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 11
- Empacher, Claudia/Konrad Götz (1999):** Ansprüche an ökologische Innovationen im Lebensmittelbereich. Ergebnisse einer Verbraucherbefragung im BMBF-Projekt „Wissenstransfer“. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 10
- Empacher, Claudia (1998):** Die Umweltrelevanz der Lebensmittelherstellung: Das Beispiel Joghurt und Geflügel. Zwischenergebnisse des BMBF-Projektes „Wissenstransfer“. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 9
- Jahn, Thomas (2000):** Social-Ecological Research – Conceptual Framework for a New Funding Policy. Synopsis of the Report for the German Federal Ministry of Education and Research. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 8
- Götz, Konrad/Willi Loose/Steffi Schubert (2001):** Forschungsergebnisse zur Freizeitmobilität. Zwischenergebnisse aus dem UBA-Projekt „Minderung der Umweltbelastungen des Freizeit- und Tourismusverkehrs“. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 7
- Empacher, Claudia/Engelbert Schramm (1998):** Ökologische Innovation und Konsumentenbeteiligung. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 4
- Kluge, Thomas (1998):** Das ökologische, ökonomische und soziale Potential von Umweltabgaben am Beispiel der Grundwasserabgabe. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 3
- Schultz, Irmgard (1998):** Umwelt- und Geschlechterforschung – eine notwendige Allianz. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 2
- Schramm, Engelbert (1998):** Soziale Dimensionen nachhaltiger Wassernutzung. ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 1

Informationen zu unserer Veröffentlichungsreihe ISOE-Diskussionspapiere, zu unseren weiteren Veröffentlichungsreihen und zu Bestellmöglichkeiten unter:
<http://www.isoe.de/literat/matlit.htm> sowie in unserem Literatur-Flyer, der über das Institut angefordert werden kann:

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt am Main
Tel.: +49 (69) 707 69 19 0
Fax: +49 (69) 707 69 19 11
E-Mail: info@isoe.de

Das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)

1988 in Frankfurt am Main als gemeinnütziges Forschungsinstitut gegründet, hat das ISOE Pionierarbeit zur Begründung der sozial-ökologischen Forschung in Deutschland geleistet. Das besondere Profil des Instituts besteht darin, sozialwissenschaftliche und naturwissenschaftlich-technische Umweltforschung fachübergreifend zu betreiben und mit dem Wissen verschiedener sozialer Akteure und Akteursgruppen zu verknüpfen. Das Institut gehört damit zu den wenigen Forschungseinrichtungen zur theoriegeleiteten, aber zugleich umsetzungsorientierten Erzeugung transdisziplinären Wissens im Spannungsfeld von Natur und Gesellschaft.

Unsere Informationsangebote:

Webpräsenz: <http://www.isoe.de>

ISOE-Newsletter Soziale Ökologie (vierteljährlich):

<http://www.isoe.de/service/newsjbf.htm>

ISOE-Newsletter Social Ecology (zweimal jährlich):

<http://www.isoe.de/english/nlorderf.htm>