

## SCHWERPUNKT

## Globale Herausforderung für die Siedlungswasserwirtschaft

Ein Roadmapping für dezentrale Wassertechnologien im Jahr 2020

von Eckhard Störmer, Christian Binz und Bernhard Truffer, Eawag, Dübendorf (CH)<sup>1</sup>

Dezentrale Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft sind vielversprechende Lösungsansätze, wenn Wasserinfrastruktursysteme neu errichtet werden müssen. Heute sind dezentrale Kleinkläranlagen etablierte Lösungen in Nischenanwendungen im ländlichen Raum von Industrieländern; Grauwasseraufbereitungsanlagen stellen ein relativ neues Produkt dar, das in wasserintensiven Gebäuden zunehmend eingesetzt wird. Hauptsächlich in Deutschland hat sich ein führendes Herstellerfeld entwickelt. In diesem Beitrag wird der Möglichkeit nachgegangen, dass in Zukunft weiterentwickelte dezentrale Wassertechnologien im Weltmarkt zu einer dominanten Standardlösung werden könnten. In diesem Feld könnte sich ein neuer starker Umwelttechnologie-Sektor entwickeln, der von der Kleinserienfertigung zur Massenproduktion wechselt. Andere Sektoren, wie die Hersteller von Windkraft, haben diese Entwicklung bereits vorgemacht. Basierend auf einer prospektiven Innovationssystemanalyse und einem Technology-Roadmapping-Workshop zeigt dieser Beitrag, in welchen Märkten und mit welchen Produkten eine derartige Sektorentwicklung mittel- bis langfristig vorstellbar ist.

### 1 Einführung

Dezentrale Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft fristen hierzulande ein Nischendasein – seien es Kleinkläranlagen, die v. a. in wenig dicht besiedelten Gebieten im ländlichen Raum die Abwasserentsorgung übernehmen, oder seien es Grauwasserbehandlungsanlagen, die als relativ neues Konzept eine Möglichkeit zum hausinternen Wasserrecycling bieten. Deutsche Hersteller von dezentraler Wassertechnologie sind zwar Weltmarktführer gemessen am Welthandelsanteil (Sartorius 2008; Henzelmann et al. 2007), sind jedoch allesamt kleine und mittelständische Unternehmen und beschränken sich hauptsächlich auf den inländischen und europäischen Markt.

Gerade außerhalb Europas können dezentrale Wassertechnologien als sinnvolle Alternative zu zentraler Abwasserentsorgung werden: In wasserarmen Gebieten ermöglichen sie Wassersparen und -recycling, in infrastrukturell unerschlossenen Gebieten kann auf die kostenintensive Errichtung von Kanalnetzen verzichtet werden, in schnell wachsenden Städten können dezentrale Systeme flexibel realisiert werden. Allerdings bedeutet die Fokussierung auf dezentrale Wassertechnologien einen radikalen Paradigmenwechsel in der Gestaltung der Siedlungswasserwirtschaft städtischer Räume. Bislang ist das Paradigma der zentralen kanalgebundenen Infrastruktursysteme dominant, das vor etwa 40 Jahren in wasserreichen Industrieländern fast flächendeckend implementiert wurde. Mit der Umsetzung der EU-Abwasserrichtlinie im Jahr 2015 ist zu erwarten, dass sich der deutsche Inlandsmarkt für Kleinkläranlagen deutlich abschwächt und die Hersteller verstärkt auf den Auslandsmarkt setzen müssen. Gelingt es den Unternehmen, mit weiterentwickelten Produkten mit komparativen Vorteilen gegenüber zentralen Abwasserinfrastrukturen, einen globalen Massenmarkt zu erschließen, dann kann aus den Nischenanbietern ein neuer erfolgreicher Umwelttechniksektor werden, der durch Massenproduktion „economies of scale“ realisieren kann.

Das Forschungsprojekt „International Systems of Innovation for On-Site Treatment Technology in Urban Water Management“ (OST) verfolgt das Ziel, Perspektiven für die Sektorformierung von Herstellern im Feld dezentraler Wassertechnologien aufzuzeigen. Dies beinhaltet folgende Kernfragen: Wo befinden sich potenzielle Massenmärkte für dezentrale Wassertechnologien und welche Anforderungen haben sie an die Gestaltung neuer Wasserinfrastruktursysteme? Wie müsste die nächste Generation an Produkten aussehen, die sich für die potenziellen Massenmärkte eignet?

Dieses Projekt orientiert sich konzeptionell an der Innovationssystemanalyse als theoretische Basis für prospektive Innovationsstudien (Markard et al. 2009). Während diese Konzepte, wie auch ähnlich gelagerte Studien, die der Kategorie „Transition Management“ (Kemp, Loorbach 2006) zugeordnet werden, i. d. R. Innovationsdurchsetzung im Inland (oder im gleichen Wirt-

schaftsraum) betrachten, wird in diesem Projekt explizit nach Marktregionen im internationalen Raum gesucht, in denen sich dezentrale Wassertechnologie leichter im großen Stil durchsetzen könnte. Das Forschungsdesign lässt sich folgendermaßen skizzieren: In der „Kontextanalyse“ wurden mit einer globalen Analyse von Problemtreibern der Siedlungswasserwirtschaft die Marktregionen identifiziert, in denen dezentrale Wassertechnologien komparative Vorteile gegenüber zentraler Abwasserentsorgung haben können (Kap. 2). In der anschließenden „Basisanalyse“ wurde die Akteurslandschaft der Hersteller von dezentralen Wassertechnologien aus Deutschland untersucht. Interviews mit Herstellern und Experten lieferten einen Überblick über Zukunftserwartungen für dezentrale Technologien im Weltmarkt und die mögliche Rolle der deutschen Hersteller darin (Kap. 3). In der „Variationsanalyse“ wurden technische und organisatorische Alternativen ausgearbeitet, wie sie sich einerseits aus der Analyse von heutigem Produktangebot und Entwicklungsvorhaben sowie andererseits aus Marktanforderungen ergeben (Kap. 4). In einem partizipativen Roadmapping-Workshop (Phaal, Muller 2009; Speith 2008; Fleischer et al. 2005) mit 16 Herstellern und Experten wurden aus den technologisch-organisatorischen Variationen drei erfolgversprechende Produktkonstellationen für einen potenziellen Massenmarkt ausgewählt und die Roadmap der notwendigen Forschungs- und Entwicklungsbemühungen abgeleitet (Kap. 5). Dieser Beitrag fokussiert auf die Frage, welche Perspektiven die deutschen Hersteller für den Aufbau von internationalen Massenmärkten besitzen und damit welche Formation eines neuen Wassertechnologiesektors damit verbunden sein kann.

## 2 Identifizierung globaler „Hotspots“

Das heute dominierende soziotechnische Paradigma der Siedlungswasserwirtschaft entstammt der Suche nach Lösungen für gesundheitlich prekäre Situationen in mitteleuropäischen Städten ab Ende des 19. Jahrhunderts (Geels 2006). Das unterirdische Schwemmkanalisationsnetz diente dem Transport von Abwasser und Abfällen. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurde Gewässerschutz zum wichtigen Thema und damit die Einführung von

zentralen Kläranlagen. Heute hat diese technische Lösung einen Anschlussgrad von über 90 Prozent in mehreren mitteleuropäischen Ländern und hat Vorbildfunktion für Abwasserentsorgungskonzepte in Städten weltweit. Jedoch wird zunehmend Kritik am zentralen Entsorgungssystem laut, da es für den Betrieb der Schwemmkanalisation viel Wasser benötigt, zu einer Vermischung von gering und stark verunreinigtem Abwasser führt und geringe Flexibilität bei Wachstum oder Schrumpfung des Abwasseranfalls besitzt.<sup>2</sup>

Basierend auf einer Literaturstudie<sup>3</sup> zu Kritikpunkten und Defiziten zentraler Abwasserentsorgung wurden folgende Problemtreiber für die Siedlungswasserwirtschaft in städtischen Gebieten identifiziert, die gleichzeitig „windows of opportunity“ für den Einsatz dezentraler Technologie bedeuten können:

- *Wasserknappheit*: Sie und ihre Verschärfung durch Klimawandelfolgen können zu einem Versagen der Schwemmkanal-Funktionalität führen und eine direkte Wiederverwendung des gereinigten Abwassers notwendig machen.
- *Demographischer Wandel in Stadtregionen*: Das zentrale Entsorgungssystem besitzt eine begrenzte Flexibilität um sich an Nachfrageschwankungen anzupassen. Man geht davon aus, dass der Infrastrukturausbau ab einem jährlichen Städtewachstum von 2 Prozent nicht mehr mit der Bevölkerungsdynamik mithalten kann. Auch schrumpfende Regionen stellen zentrale Infrastruktursysteme vor finanzielle und technische Herausforderungen.
- *Anschlussgrad städtischer Siedlungen an ein bestehendes Kanalisationsnetz*: Dieses Kriterium weist auf allfällige Pfadabhängigkeiten eines bereits installierten Systems hin. Bei geringem Anschlussgrad bieten sich Möglichkeiten einer flexiblen Infrastrukturnachrüstung ohne die Kapazitätsgrenzen bestehender zentraler Anlagen zu sprengen. In bislang unerschlossenen Gebieten besitzt der Aufbau abwassernetzfreier dezentraler Systeme i. d. R. komparative Kostenvorteile gegenüber zentralen.

Weitere Faktoren sind Hochwasser- und Erdbebenanfälligkeit mit besonderen Herausforderungen an das Kanalisationsnetz sowie Gewässer-

schutzprobleme mit besonderen Herausforderungen an spezifische Reinigungsmethoden, die teilweise dezentral am besten angegangen werden können.

In einer globalen Hotspot-Analyse wurden diese Kriterien operationalisiert. Für die entsprechenden Variablen wurden raumbezogene Daten recherchiert und in einem GIS-System zusammengeführt. Die Überlagerung der einzelnen Variablen zeigt regionalisierte Problemkonfigurationen auf und ermöglicht es, Ländertypen abzuleiten, die ähnliche Ausprägungen der Problemtreiber besitzen (s. Tab. 1).

Die Typologie unterscheidet Industrieländer mit hohen Pfadabhängigkeiten des zentralen Systems ohne bzw. mit Wasserknappheit (Ländertyp A), schrumpfende Regionen wie v. a. osteuropäische Transitionsländer (Ländertyp B),

Schwellen- und Entwicklungsländer mit mittlerer Kanalisationsausstattung in Städten wie in Teilen Mittel- und Lateinamerikas, außereuropäischen Mittelmeerstaaten, Südafrikas und der Golfregion (Ländertyp C). Sehr geringe Kanalisationsausstattung in den Städten kennzeichnet die Regionen in Indien und Nordwestchina, Zentralafrika und Indonesien (Ländertyp D). Die Subkategorien bezeichnen unterschiedliche Ausprägung von Wasserknappheit und städtischer Bevölkerungsentwicklung.

Regionen mit einer kritischen Kombination von Problemtreibern – große Wasserknappheit, starkes Städtewachstum und niedrige Pfadabhängigkeit durch bestehende Kanalisation sowie einem Mindestmaß an wirtschaftlichem Entwicklungsstand – bieten ein hohes Potenzial für die Entwicklung eines Massenmarkts für dezentrale

**Tab. 1: Typisierung von Hotspot-Regionen (nach Ländertypen)**

<i>Ländertyp</i>	<i>Name</i>	<i>Wasserknappheit*</i>	<i>Wachstumsrate der städtischen Bevölkerung*</i>	<i>Defizite bei der Abwasserentsorgung*</i>
A	Eutrophierung in Industrieländern			
A-I	Starke Eutrophierung	0	0	--
A-II	Starke Eutrophierung und Wasserknappheit	+	0	--
A-III	Starke Eutrophierung, Wasserknappheit und Erdbeben	+	0	--
B	Schrumpfende Bevölkerung in Regionen mit zentralem Abwasserentsorgungssystem			
B	Schrumpfende Bevölkerung in Regionen mit zentralem Abwasserentsorgungssystem	0	--	-
C	Entwicklungsländern mit mittlerem bis hohem Anschlussgrad an zentrale Abwasserentsorgungssysteme			
C-I	Eutrophierung, Vulnerabilität und urbanes Wachstum (keine Wasserknappheit)	0	+	0
C-II	Wasserknappheit, viele schnell wachsende Städte, Vulnerabilität	+	+	0
C-III	Vulnerabilität, Wasserknappheit und Eutrophierung (kein starkes Städtewachstum)	+	0	0
C-IV	Starke Wasserknappheit, schnell wachsende Städte und Eutrophierung (keine Vulnerabilität)	++	+	0
D	Entwicklungsländer mit geringem Anschlussgrad an zentrale Abwasserentsorgungssysteme und Städtewachstum			
D-I	Arme, aber schnell wachsende Städte (mit Wasserknappheit)	+	++	++
D-II	Starke Wasserknappheit und schnell wachsende Städte	++	+	+
D-III	Sich dynamisch entwickelnde Regionen mit großen Herausforderungen im Bereich Infrastruktur	+	++	+

\* = Faktorausprägung ++ = sehr hoch; + = hoch; 0 = durchschnittlich; - = gering; -- = sehr gering

Quelle: Eigene Darstellung

Wasserinfrastrukturen, da dort komparative Vorteile gegenüber der Errichtung zentraler Systeme am stärksten zur Geltung kommen. Diese Länder sind Schwellenländer wie Indien, Nord-Ost-China (Typ D-III), Mexiko und Südafrika (C-II), aber auch der Nahe und Mittlere Osten (C-II und D-II) mit den Maghreb-Staaten und die Türkei (C-IV). Die Infrastrukturversorgung in Städten durch leistungsfähige dezentrale Anlagen würde ein „Leapfrogging“ (Rock et al. 2009) in den Ländern bedeuten, da sie die in westlichen Industrieländern dominante Technologiestufe netzgebundener Systeme überspringen würden.

### 3 Heutige Akteurslandschaft im Feld dezentraler Wassertechnologien

Um mögliche Träger des Innovationsprozesses zur Entwicklung dezentraler Wassertechnologien zu ermitteln, wurde die „Landschaft“ der heute aktiven Hersteller in diesem Segment analysiert. Dabei handelt es sich um die Hersteller von Kleinkläranlagen (DIBt 2009), von Grauwasser-aufbereitungsanlagen (fbr 2009) sowie internationale Hersteller von Industrieabwasseranlagen, die potenziell Produkte für häusliches Abwasser anbieten könnten. Daneben sind es Experten, die sich mit „Neuartigen Sanitärsystemen“ v. a. in der fachtechnischen Vereinigung DWA engagieren (DWA 2008). Der regionale Fokus wurde auf Deutschland gelegt, da die Hersteller insgesamt den höchsten Welthandelsanteil besitzen (Henzelmann et al. 2007). Die Unternehmen wurden entsprechend ihres Produktangebots, ihrer Innovationskraft und ihrer internationalen Markterfahrung mit Hilfe der Auswertung ihres Internetauftritts beurteilt und innovative und international erfahrene Unternehmen für eine Telefonbefragung ausgewählt. In den Interviews wurden 17 Geschäftsführer bzw. FuE-Verantwortliche aus den Unternehmen sowie 30 weitere Experten befragt, wie die nächste Generation an dezentralen Wassertechnologien in zehn Jahren aussehen könnte, welche Bedeutung Massenproduktion und Masseneinsatz der Anlagen haben könnte und was erfolversprechende Märkte für die Technologie seien.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Kleinkläranlagen mit biologischer Reinigungsstufe werden in Deutschland seit den

1990er Jahren aufgrund verschärfter Gewässerschutzvorschriften hergestellt, sie haben sich in einem Nischenmarkt als Abwasserentsorgungslösung für periphere Siedlungsgebiete etabliert. In Deutschland rechnet man mit etwa 1,5 Mio. installierten Kleinkläranlagen, jährlich werden zwischen 15.000 und 30.000 Anlagen verkauft und installiert. Entsprechend der EU-Abwasserrichtlinie müssen bis 2015 alle Altanlagen mit einer biologischen Reinigungsstufe ausgestattet oder ersetzt werden, was nach der Umrüstungswelle zu einem deutlich niedrigeren Absatzmarkt führen könnte. Es gibt etwa 80 Hersteller von Kleinkläranlagen, wobei die Mehrheit der Anbieter einen erheblichen Teil ihres Umsatzes mit der Herstellung von Beton- oder Kunststofftanks erwirtschaftet. Die technische Anlagenentwicklung erfolgt nur bei einem Teil der Hersteller im eigenen Haus; diese liefern die Anlagentechnik dann als „Original Equipment Manufacturer“ an Behälterhersteller und Vertriebspartner. Die Anlagentechnik selbst hat sich in den letzten zehn Jahren stark geändert. Neue Verfahrenstechniken des biologischen Reinigungsprozesses haben sich am Markt durchgesetzt und etablierte Verfahren verdrängt. Es ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozesstechniken auf dem Markt verfügbar. Die Entwicklung von möglichst robusten und energiesparenden Verfahrenstechniken ist in „vollem Gange“, was erkennbar wird am Markteintritt von neuen energieeffizienteren, robusteren und/oder reinigungsleistungsoptimierten Anlagen. Die Kleinkläranlage in der heutigen Form ist eine End-of-pipe-Lösung, die das häusliche Abwasser reinigt, damit es in den Vorfluter wieder abgegeben werden kann.

Deutsche Hersteller entwickeln die Anlagen in erster Linie für den für sie wirtschaftlich besonders relevanten – aber in Zukunft möglicherweise weniger sicheren – Heimatmarkt. Der Exportmarkt wird teilweise durch leicht modifizierte Anlagen bearbeitet. Im osteuropäischen Markt braucht es vorwiegend preisgünstige und wartungsexensive Anlagen. Kunden im mediterranen Raum (v. a. Hotelanlagen in Spanien) fordern zunehmend die Weiterverwendung von gereinigtem Wasser (z. B. zur Bewässerung der Gartenanlagen und Golfplätze). Dies wird mit modularen Ergänzungen erfolgreich realisiert,



die den Lösungen für Kleinkläranlagen in besonders wassersensiblen Gebieten in Deutschland ähneln. Auch eine weitergehende Aufbereitung zum höherwertigen Einsatz des Wassers für die Bewässerung von Lebensmittel-Anbauflächen, für die Toilettenspülung oder sogar in Trinkwasser-Qualität für das Duschen ist heute technisch möglich, wird jedoch meist lediglich in Pilotanlagen getestet. Hier stehen regulative Hemmnisse und auch Akzeptanzprobleme einer Vermarktung dieser Anlagen im Weg.

An dieser Stelle setzen die Hersteller von Grauwasseranlagen an. Diese Anlagen erfassen nicht das gesamte Abwasser, sondern nur das leichter verschmutzte Abwasser aus Duschen und Handwaschbecken und bereiten es zum Einsatz in Toilettenspülungen oder als Putz- und Bewässerungswasser auf. Es wird auch hier an Lösungen gearbeitet, um die Reinigungsqualität weiter zu verbessern, um auch trinkwasserähnliche Qualität zu erreichen. Wärmerückgewinnung aus dem Grauwasser befindet sich als Zusatzmodul in der Markteinführung. Es gibt etwa ein halbes dutzend Hersteller von Grauwasseranlagen weltweit, die sich ausnahmslos in Deutschland befinden. Ihr Hauptmarktsegment sind Hotelanlagen, Studentenwohnheime und Gebäude mit großen Duschanlagen (Sportstätten u. ä.); diese befinden sich z. T. in Deutschland, vor allem aber in Gebieten mit Wasserknappheit (etwa dem Mittelmeerraum, Großbritannien, Golfstaaten). Ausschlaggebend für den Einsatz von Grauwasseranlagen ist einerseits das ökonomische Argument der Reduktion von Wasserkosten, andererseits das Argument der Versorgungssicherheit, um ausreichende Wasserverfügbarkeit sicherzustellen.

#### 4 Die Anforderungen des Massenmarkts

Neben dieser Situationsanalyse der Herstellerlandschaft wurden in der Befragung die Entwicklungsbedarfe für eine Erschließung eines Massenmarkts für dezentrale Wassertechnologien in wasserarmen Hotspot-Regionen ermittelt. Dies sind einerseits marktspezifische Anforderungen an die Wassereffizienz des Produkts, um komparative Vorteile zu erreichen. Andererseits sind das neue Anforderungen an das Unternehmen im Wandel vom Kleinserienanbieter zum internatio-

naln Massenanbieter, was Auswirkungen auf die Produktionsweise, den internationalen Marktauftritt sowie den Betrieb von Anlagenflotten hat.

- a) *Technologien zum Wassersparen:* Neben den oben genannten, bereits heute am Markt befindlichen Verfahren des Grauwasserrecyclings und der Weiterverwendung von gereinigtem Abwasser für Bewässerungszwecke sind weitergehende Technologien noch nicht am Markt. Eine Kombination von dezentraler Behandlung des Grauwassers und der übrigen Abwässer mit einer Kleinkläranlagen-Technik ist derzeit nur in einzelnen Pilotvorhaben realisiert (z. B. Schmitt 2009). Das Konzept der Stoffstromseparierung, das die Auftrennung von Abwasserströmen verschiedener Qualität und Herkunft beinhaltet (z. B. Urinseparation in der Toilette), ist zentraler Bestandteil von „Neuartigen Sanitärsystemen“ oder „No-Mix“-Konzepten, die von wissenschaftlichen Experten als mögliche Zukunft der Abwasserentsorgung angesehen werden (z. B. DWA 2008; Larsen, Lienert 2007). Die Mehrzahl der Hersteller steht diesen Konzepten noch sehr kritisch gegenüber, da sie die Realisierung von sehr kleinen, robust funktionierenden Anlagen für ausgesprochen schwierig halten.
- b) *Massenproduktion in der Anlagenfertigung:* Die größten Hersteller von Kleinkläranlagen produzieren heute maximal 7.000 Anlagen im Jahr, Grauwasseranlagenhersteller eher wenige hundert. Trotzdem würde es für einige der interviewten Hersteller nach eigenen Aussagen kein größeres Problem darstellen, auch eine vielfache jährliche Produktionsmenge zu realisieren. Gerade Grauwasseranlagenhersteller sehen darin erst die Realisierung des eigentlich vorgesehenen Produktionskonzepts. Dezentrale Wassertechnologie ist in der heutigen Herstellungsart eine spezialisierte Endmontage von massenproduzierten Komponenten. Dieser Fertigungsprozess ist nach Aussagen mehrerer Hersteller sehr effizient und wenig personalintensiv. Eine Massenproduktion würde nach Ansicht der Kleinkläranlagenhersteller den Preis der Anlagen um zehn bis 30 Prozent senken, v. a. durch sinkende Einkaufspreise bei Großabnahme

von Komponenten. Eine Erhöhung der Wertschöpfungstiefe erwägen die Hersteller nicht.

c) *Internationalisierung*: Dezentrale Wassertechnologie ist ein betriebs- und wartungsintensives immobiles Produkt. Es bedarf nach dem Verkauf der Anlage einer fachkundigen Installation und einer regelmäßigen Kontrolle und Wartung. Bei technisch komplexen Anlagen muss zusätzlich permanent ein fachkundiger Betrieb der Anlage sichergestellt werden. Nahezu ausnahmslos arbeiten die Kleinkläranlagenhersteller in diesem Gebiet mit Partnerunternehmen in den Zielländern zusammen, die sie in Installation, Betrieb und Wartung der Anlagen schulen. In organisatorischer Hinsicht existieren somit Konzepte zum Aufbau einer Präsenz in internationalen Zielmärkten, die in Variationen auch Grundlage für die Bearbeitung von Massenmärkten sein kann. Allerdings wird es zu einer weitergehenden internationalen Arbeitsteilung in der Herstellung der dezentralen Wasserbehandlungsanlagen kommen müssen: Die Behälter müssen zielmarktnah gefertigt werden, da der Transport der raumintensiven und bei Betonbauweise auch gewichtsintensiven Tanks den Export zu teuer macht. Diese Arbeitsteilung besteht heute schon bei dem Export von Kleinkläranlagen in Ländern mit hohen Absatzzahlen. Es zeichnet sich als Alternative eine Entwicklung von transportoptimierten Behältern ab, etwa Kunststoffhalbschalen, die erst im Zielland verschweißt werden.

d) *Flottenmanagement und Mess-, Steuer- und Regeltechnik*: Ein Massenmarkt dezentraler Wassertechnologie bedeutet neue Anforderungen an die Organisation des Betriebs von Anlagenflotten. Die Funktionsfähigkeit muss permanent sichergestellt werden, um einerseits den Gewässerschutz und andererseits die Recyclingwasserqualität garantieren zu können. Dies bedarf innovativer Betriebskonzepte sowie einer Erweiterung der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, die die Funktionalität der Anlagen an Hand verschiedener Parameter misst und Fehler automatisch meldet. Konzepte dafür werden in ersten Pilotregionen umgesetzt, bei Industrieabwasseranlagen ist eine Fernüberwachung von Anlagen Stan-

dard. Es arbeiten verschiedene Gruppierungen daran, effiziente technische Lösungen für eine Fernüberwachung und -anlagensteuerung bei Kleinkläranlagen zu entwickeln (Flasche 2008). Diese kann zusammen mit geeigneten Organisationskonzepten von Wartungs- und Betreiberfirmen sowie dem Facility-Management des Gebäudes eine Grundlage für den Betrieb von größeren Flotten dezentraler Wasserbehandlungsanlagen darstellen.

### 5 Roadmapping dezentrale Wassertechnologie 2020

In einem von den Autoren organisierten und geleiteten zweitägigen Technology-Roadmapping-Workshop im Februar 2010 haben 16 Hersteller und Experten aus Deutschland und der Schweiz verschiedenartige Entwürfe für die nächste Generation an Anlagentechnik und Betriebsmodellen erstellt, um plausible Konzepte für die in Kapitel 4 genannten Entwicklungsbedarfe zu erarbeiten.

Als Orientierungspunkt für die Entwicklung einer neuen Generation an dezentralen Wassertechnologien diente der in Kapitel 2 beschriebene Zielmarkttyp von Regionen mit hohem Massenmarktpotenzial. In diesen Regionen mit Wasserarmut, sehr hohem Städtewachstum und geringer Kanalisationsanschlussrate besteht ein großer Bedarf an schnell und flexibel zu errichtenden Abwasseranlagen, die Wasserarmut in der Region führt zur Forderung nach wassereffizienten Systemen und zu Schwierigkeiten mit der Funktionsfähigkeit einer Schwemmkanalisation. Solche Regionen befinden sich z. B. in China, Indien oder den Golfstaaten. Als Gebäudetyp, für den die Lösung entwickelt werden sollte, wurde ein großes Neubau-Wohnhaus mit ca. 300 Einwohnern bestimmt. Als Lösungsansätze wurden Wassertechnologien diskutiert, die für ein Gebäude installiert werden, was wiederum semi-dezentrale Konzepte ausschloss.

Arbeitsgruppen entwickelten drei verschiedene Produktkonzeptionen als ganzheitliche Lösungsansätze für die oben genannte Problemlage:

1. Das „effiziente-Einstrom“-Konzept beinhaltet einen Gesamtabwasser-Behandlungs-Reaktor, der das Abwasser zu einer hochwertigen Brauchwasserqualität reinigt, um es für Toi-

lettenspülung und zur Bewässerung von Garten- und Parkflächen zu nutzen. Dieses Konzept erfordert mit dem zusätzlichen Einbau einer Brauchwasserleitung für die Toilettenspülkästen lediglich einen geringen Eingriff in die Gebäudestruktur. Für die Abwasserbehandlungstechnik können verschiedene, heute am Markt vorhandene Prozessverfahren eingesetzt werden. Die nachgeschaltete Hygienisierung des gereinigten Abwassers bedarf hingegen der Weiterentwicklung, um dieses eine gewisse Zeit ohne Wiederverkeimung lagern zu können. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, ist eine Fernwirktechnik vorgesehen, bei der ein Fachunternehmen zentral den Betrieb überwacht und bei Störmeldungen online oder durch Personal vor Ort eingreift. Dafür braucht es in Zukunft v. a. die Entwicklung kostengünstiger Sensoren, die in hinreichender Qualität die Daten zur Brauchwasserqualität und zur Funktionsfähigkeit der Abwasserreinigung ermitteln.

2. Als zweites Konzept unter dem Schlagwort „Safe Water Cycler“ wurde ein Zweistrom-System aus einem dezentralen Schwarzwasser-Reaktor für das Toilettenspül- und Küchenabwasser und einen Grauwasser-Behandlungsreaktor für das übrige Abwasser entwickelt. Das behandelte Grauwasser wird für die Toilettenspülung und die Waschmaschine verwendet. Dabei werden Wasserspar-WCs eingesetzt, damit das verbleibende Brauchwasser an die Landwirtschaft als Bewässerungswasser mit abgestimmtem Nitrat- und Phosphorgehalt verkauft werden kann. Um den Energieverbrauch der Wassertechnik zu kompensieren wird die Wärme aus dem Grauwasser-Reaktor zurückgewonnen und der anaerobe Schwarzwasserreaktor mit einer Biogasverwertung ergänzt. Das Geschäftsmodell bei dieser Lösung ist ein „Contracting“, bei dem der Umwelttechnikhersteller Besitzer und Betreiber der Anlage ist. Ergänzend zu dem Entwicklungsbedarf der Einstrom-Anlage (Hygienisierung des Wassers und Sensoren) müssen bei dieser Lösung neue Tarifmodelle konzipiert werden, die als technische Voraussetzung intelligente Verbrauchszähler benötigen. Als technisches Kernmodul der Schwarzwasser-Behandlung ist der anaerobe Membranbiore-

aktor mit Biogas-Verstromungsanlage bislang noch nicht marktreif.

3. Das dritte Konzept „Aquasave 2020“ basiert auf der Idee, den zusätzlichen Wasserbedarf des Gebäudes über ein zentrales Frischwasser-Versorgungsnetz möglichst stark zu reduzieren: Weniger als 30 Liter pro Person und Tag soll in das Gebäude geliefert werden. Da keine Komforteinbußen toleriert werden, soll dies durch hocheffiziente Wasserverbrauchseinrichtungen, wie ein 1-Liter-WC und durch intensive Wasserrecycling-Bemühungen erreicht werden. Recycling findet sowohl an der „Quelle“ (z. B. bei einer Dusche mit internem Wasserrecycling) als auch mit einer zentralen Grauwasseraufbereitung für das gesamte Haus statt. Das überschüssige Brauchwasser dient zur Bewässerung der Parkflächen zur Verbesserung des Mikroklimas im Stadtteil. Das Trinkwasser zum Kochen und Trinken wird in der Küche nochmals aufbereitet. Das Betriebsmodell läuft hier über spezialisierte Facility-Management-Firmen mit Fernwirktechnik in Zusammenarbeit mit dem Hausmeister vor Ort. Spezifische FuE-Anstrengungen sind nötig für die Entwicklung von 1-Liter-WCs und Recyclingduschen.

Diese drei von den Workshopeteilnehmenden entwickelten Konzepte zeigen einen unterschiedlichen Grad an Komplexität und Entwicklungsbedarf auf. Während die Einstrom-Lösung die meisten marktgängigen Komponenten beinhaltet, benötigen die Stoffstromseparierungslösungen jeweils weitergehende technische und organisatorische Entwicklungen.

Die hier bearbeitete Fragestellung beinhaltet zwei unterschiedliche Anforderungen für die Hersteller: (a) Produktentwicklung und (b) Erschließung neuer Märkte. Die Produktentwicklung im bekannten Markt vereinfacht diesen Prozess. Gerade die Einstrom-Lösung kann breit eingesetzt werden – z. B. im Gebäudebestand und auch bei Einfamilienhäusern. Dies ist bei den anderen beiden Konzepten nur bedingt möglich. Insbesondere „Aquasave 2020“ ist fast nur in dem Marktsegment Neubausiedlung in wasserarmen Regionen umsetzbar. Es wäre ein wichtiger Zwischenschritt, in Pilotanlagen im Inland und in wasserarmen Regionen Südeuropas integrierte Wassertechnologien zu realisieren,

bevor Massenmärkte im außereuropäischen Ausland erschlossen werden können. Dabei könnten wichtige Erfahrungen gesammelt werden in der Gewinnung von Akzeptanz bei den Nutzern und der Zusammenarbeit mit relevanten Entscheidungsträgern, deren Spektrum von Gewässerschutzbehörden bis zu Architekten reicht. Daneben ist die erfolgreiche Anwendung neuartiger Technologien in den Industrieländern ein wichtiges Verkaufsargument für Schwellenländer.

## 6 Perspektiven der Sektor-Formierung

Die Ergebnisse des OST-Projekts zeigen, dass in der wissenschaftlichen Diskussion weitgehende Konzepte für eine Integration von dezentralen Wassertechnologien in die Gebäudetechnik auf der Ebene der Grundlagenforschung und erster Pilotprojekte bestehen. Dieser eher wissenschaftliche „technology push“ erreicht die Wasserindustrie jedoch – bis auf weniger Ausnahmen – noch kaum. Einerseits sind die im Sektor aktiven klein- und mittelständischen Unternehmen oft zu klein, um aktiv diese Entwicklungen voranzutreiben, andererseits fehlen mit wenigen Ausnahmen konkrete Demonstrationsprojekte integrierter dezentraler Wassertechnologien, weshalb sich wiederum die wirtschaftliche Umsetzung auf mittlere Frist vielen Akteuren noch als unrealistisch darstellt. Integrierte Konzepte erscheinen aus heutiger Sicht technisch zu komplex, um daraus ein robustes Produkt zu gestalten. Dafür fehlen einerseits Vorarbeiten für die Miniaturisierung von Anlagen und andererseits das Know-how aus und die Vernetzung zu den Bereichen Wasserversorgung, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie Gebäudeplanung. Für letztere bräuchte es Systemanbieter, der diese Vermittlungs- und Vernetzungskompetenz besitzen.

Der „market pull“ von der Seite der Hotspot-Regionen ist erst schwach ausgeprägt, wobei insbesondere in China, der Golfregion und z. T. in Indien das Interesse an alternativen Wasserentsorgungslösungen wächst. Dort werden erste regulatorische Anpassungen vorgenommen – etwa die Definition einer Brauchwasserqualität für das Wasserrecycling. Im Allgemeinen führen regulatorische Hemmnisse, Infrastrukturbauausschreibungen, die auf konventionelle Lösungen

zugeschnitten sind, und (vermeintliche oder reale) Akzeptanzprobleme für die Nutzung von Recyclingwasser zu einer geringen Intensität des „market pulls“. Die meisten deutschen Unternehmen in diesem Feld fokussieren dementsprechend hauptsächlich auf derzeit ertragreiche Märkte in Industrieländern und sind noch kaum an der Bearbeitung der in vielerlei Hinsicht unsicheren Hotspot-Märkten in Schwellenländern interessiert. Dennoch haben einzelne Hersteller mit kleinen Projekten einen Fuß in der Tür. Die Mehrzahl wird kurz- bis mittelfristig diesen Markt nicht intensiv bearbeiten.

Durch ihr zunehmendes Engagement v. a. in wasserarmen Regionen im Mittelmeerraum und der Golfregion, in denen Wasserwiederverwendung in Brauchwasserqualität gefordert ist, werden die Hersteller erstens zunehmend Erfahrung in der Auslandsmarktbearbeitung in wasserarmen Regionen gewinnen. Zweitens werden sie das Angebot an Wassersparsystemen weiterentwickeln; mittelfristig gehören dazu auch weitergehende gebäudeintegrierte Lösungen à la „Safe Water Cycler“ und „Aquasave 2020“. Gleichzeitig sollte in Zukunft der „market pull“ mit zunehmender Verschärfung der Problemtreiber klimawandelinduzierte Wasserknappheit und Urbanisierung sowie steigenden Lebensstandards und Kaufkraft zunehmend spürbar werden.

Ergibt sich nach 2015 eine Flaute auf dem Heimatmarkt, sind die Hersteller auf die Intensivierung der Exportmärkte angewiesen. Unternehmen ohne Auslandserfahrung könnten in Schwierigkeiten kommen, während innovative Produzenten dann verstärkt wassereffiziente Lösungen für Südeuropa entwickeln und vermarkten. Mit erfolgreichen Produkten – sowohl mit einfacher Wasseraufbereitung als auch mit komplexen gebäudeintegrierten Lösungen – ist der Schritt in die hier aufgezeigten Hotspot-Regionen dann weniger groß als er heute erscheint. Diese Sektor-Formierung deutet sich bereits heute durch die Markt- und Produktorientierung innovativer Unternehmen an.

## Anmerkungen

- 1) Das Projekt OST wurde freundlicherweise von der Eawag finanziert (<http://www.eawag.ch>). Wir bedanken uns sehr herzlich bei unseren KollegInnen Tove Larsen und Max Maurer für die fruchtbare interdis-



ziplinäre Zusammenarbeit und Martin Scherler für die Umsetzung der Hotspot-Datenanalyse. Dank gilt insbesondere auch den Teilnehmenden der Expertenbefragung und des Roadmapping-Workshops für den Einblick in die Praxis, die sie uns gewähren ließen.

- 2) Siehe z. B. Larsen, Gujer 2001 und Wilderer 2005.
- 3) Siehe dazu z. B. Scheele et al. 2008; Weinberger 2009 und Könnölä, Eerola 2007.

## Literatur

*DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik*, 2009: Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen – Zulassungsbereich Klärtechnik. Stand: 3.7.2009. Berlin; [http://www.dibt.de/de/zv%5CNAT%5Czv\\_referat\\_I13%5CSVA\\_55.pdf](http://www.dibt.de/de/zv%5CNAT%5Czv_referat_I13%5CSVA_55.pdf) (download am 3.7.09)

*DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.*, 2008: Neuartige Sanitärsysteme. Hennef

*fbr – Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.*, 2009: Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung – Ausgabe 2009/2010. Darmstadt

*Flasche, K.*, 2008: Fernüberwachung als Baustein des Kleinkläranlagenbetriebs. In: Pinnekamp, J. (Hg.): 2. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur. Aachen, S. 14/1–14/14

*Fleischer, T.; Decker, M.; Fiedeler, U.*, 2005: Assessing emerging technologies – Methodological challenges and the case of nanotechnologies. In: *Technological Forecasting and Social Change* 72/9 (2005), S. 1112–1121

*Geels, F.W.*, 2006: The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840-1930): The dynamics of regime transformation. In: *Research Policy* 35/7 (2006), S. 1069–1082

*Henzelmann, T.; Mehner, S.; Zelt, T.*, 2007: Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen. Dessau

*Kemp, R.; Loorbach, D.*, 2006: Transition management: a reflexive governance approach. In: Voss, J.-P.; Bauknecht, D.; Kemp, R. (Hg.): *Reflexive Governance for Sustainable Development*. Cheltenham, S. 103–130

*Könnölä, T.; Eerola, A.*, 2007: Future Outlook on Water Treatment. Deliverable D1.1b1 of TESTNET project. Espoo; <http://est-testnet.net/servlet/getBin?name=440CFE10C90E3BD2D19097B0EDCCE65E1197382083530.pdf> (download 26.3.10)

*Larsen, T.A.; Gujer, W.*, 2001: Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management. In: *Water Sci. Technol.* 43/5 (2001), S. 309–317

*Larsen, T.A.; Lienert, J.*, 2007: Novaquatis Abschlussbericht. NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Dübendorf: Eawag

*Markard, J.; Stadelmann, M.; Truffer, B.*, 2009: Prospective analysis of technological innovation systems: Identifying technological and organizational development options for biogas in Switzerland. In: *Research Policy* 38/4 (2009), S. 655–667

*Phaal, R.; Muller, G.*, 2009: An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. In: *Technology Forecasting and Social Change* 76/1 (2009), S. 39–49

*Rock, M.; Murphy, J.T.; Rasiah, R. et al.*, 2009: A Hard Slog, not a Leap Frog: Globalization and Sustainability Transitions in Developing Asia. In: *Technology Forecasting and Social Change* 76/2 (2009), S. 241–254

*Sartorius, C.*, 2008: Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit technologieanbieterender Länder. Karlsruhe; <http://www.wasser2050.de/ftp/ap2.pdf> (download 3.3.10)

*Scheele, U.; Libbe, J.; Schramm, E.*, 2008: Transformation städtischer Wasser-Infrastrukturen: Internationale Erfahrungen. Berlin, Networks-Papers 25

*Schmitt, T.G.*, 2009: Komplet – Ein innovatives System zur Schliessung von Wasser- und Stoffkreisläufen. Kaiserslautern

*Speith, S.*, 2008: Vorausschau und Planung neuer Technologiepfade in Unternehmen – Ein ganzheitlicher Ansatz für das strategische Technologiemanagement. Kassel, Dissertation an der Universität Kassel

*Weinberger, N.*, 2009: Integrierte Urbane Infrastrukturen. Vertiefungsstudie zum BMBF-Projekt „Roadmap Umwelttechnologien 2020“. Karlsruhe: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse im KIT, 45 S.

*Wilderer, P.A.*, 2005: Sustainable Water Management in Rural and Peri-Urban Areas: What Technology do We Need to Meet the UN Millennium Development Goals? In: *Water Science and Technology* 51/10 (2005), S. 1–6

## Kontakt

Dr. Eckhard Störmer

Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

Cirus, Innovation Research in Utility Sectors

Überlandstraße 133, 8600 Dübendorf, Schweiz

Tel.: +41 (0) 44 / 8 23 - 56 73

E-Mail: [eckhard.stoermer@eawag.ch](mailto:eckhard.stoermer@eawag.ch)

« »