

Städtische Siedlungsstrukturen und dezentrale Abwassersysteme

Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Abwasserreinigungsanlagen im Bestand

Die heutige zentral organisierte Abwasserentsorgung weist, besonders hinsichtlich der Ressourceneffizienz und Flexibilität, eine Reihe von Schwächen auf. Neuartige, dezentral angesiedelte Reinigungssysteme, die einzelne Grundstücke oder ganze Quartiere entsorgen und dabei eine Verwertung des Abwassers und seiner Inhaltsstoffe zum Ziel haben, bieten hier große Chancen. Diese Anlagen werden jedoch vorrangig in neuen Baugebieten unter günstigen Bedingungen getestet. Über die Einsetzbarkeit im Bestand, wo sehr viel mehr Beschränkungen bestehen, sagen die so gewonnenen Erkenntnisse noch zu wenig aus. Dieser Beitrag stellt dar, welche Aspekte städtischer Siedlungstypologien bei der Einrichtung neuer Entsorgungssysteme zu beachten sind und unter welchen Umständen eine Umrüstung am sinnvollsten erscheint.

Die Abwasserentsorgung in Deutschland ist traditionell zentral organisiert. Dabei entwässern die Haushalte über ein annähernd flächendeckend ausgebautes Kanalisationsnetz in eine kommunale Kläranlage. Dieses System bietet eine hohe Entsorgungssicherheit und gewährleistet eine stetige Kontrolle der Abwasserreinigung durch geschultes Personal.

Seit einigen Jahren nimmt die Kritik an diesem System jedoch zu, da es eine Reihe von Schwächen aufweist. Zum einen führen Starkregenereignisse in Mischkanalisationen immer wieder zu Kapazitätsengpässen, infolge derer zum Teil stark verschmutzte Abwässer mittels Überläufen in die Umwelt entlassen werden. Zum anderen werden für den Transport der Schmutzfracht große Mengen an Trinkwasser verbraucht, was einen Fehleinsatz der Ressource bedeutet. Moderne Sanitäranlagen und ein gewissenhafter Umgang mit Wasser setzen hier an und senken den Verbrauch derzeit schon messbar. Allerdings führt diese Entwicklung dazu, dass die Kanalsysteme bei verringerten Abwassermengen ggf. zusätzlich durchgespült werden müssen, um ein Absetzen von Feststoffen zu vermeiden.

Essenzieller Kritikpunkt aber ist der lineare Charakter des Systems, also der Funktionsablauf Ableiten – Reinigen – Entledigen. Hierbei werden alle Siedlungsabwässer vermischt und auf die gleiche Weise behandelt. Auf eine Rückgewinnung enthaltener Nährstoffe wird so verzichtet. Auch eine gezielte Behandlung einzelner, unterschiedlich verschmutzter Teilströme ist nicht möglich. Zudem verbleibt ein Anteil der gelösten Nähr- und Schadstoffe im gereinigten Wasser und gelangt so in die Oberflächengewässer. Dies trägt nicht unmaßgeblich zu deren Überdüngung bei (vgl. Larsen et al. 2001: 192-193).

Ebenso stellt die enorme Bindung von Finanzmitteln im bestehenden Netz ein großes Problem dar. Da Abwasserleitungen auf Lebenszeiten von 50 bis 100 Jahren ausgelegt sind, ist es nahezu unmöglich, außerhalb anstehender

Sanierungsarbeiten oder Reinvestitionen in das Netz im laufenden Betrieb kosteneffektiv Alternativsysteme zu installieren (vgl. Kluge/Schramm 2005: 330). Diese Inflexibilität macht es zudem schwierig, angemessen auf Veränderungen von Abwasseranfall und -menge zu reagieren. Eine höhere Flexibilität ist gefordert, denn insbesondere im Zuge der Bewältigung des demografischen Wandels treten bereits heute Probleme auf und sind solche zukünftig in noch steigendem Maße zu erwarten (vgl. Koziol et al. 2006: 31).

Dezentrale Entsorgung als Alternative?

Aus den genannten Gründen wird derzeit diskutiert, ob und wie ein ökologisch verträglicheres, dezentral organisiertes Abwassersystem aufgebaut werden könnte, das als Alternative zum zentralen System fungiert und dem Nutzer zugleich wie gewohnt Entsorgungskomfort und -sicherheit bietet.

Dezentrale Lösungen setzen auf eine Behandlung der Abwässer möglichst nahe am Anfallort und übertragen den Gedanken der Kreislaufwirtschaft in den Bereich des Abwassermanagements. Dies wird häufig durch eine Trennung der einzelnen Teilströme erreicht, das heißt die unterschiedlichen Abwasserströme, wie z. B. Grauwasser (Abwasser aus Küche und Bad) und Schwarzwasser (Toilettenabwasser), werden getrennt erfasst, entsprechend ihres Verschmutzungsgrades behandelt und aufbereitet. Hierbei können gezielt Nährstoffe wie Phosphor oder Stickstoff aus dem Abwasser zurückgewonnen werden, welche bislang unter erheblichem Energieaufwand in Kläranlagen aus dem Abwasser entfernt werden und damit in der Regel für eine landwirtschaftliche Verwertung verloren gehen. Knapper werdende Phosphatreserven sowie steigende Energiekosten lassen allerdings erwarten, dass in Zukunft die Preise für Mineräldünger ansteigen und damit alternative Nährstoffquellen – wie eben beispielsweise auch das Abwasser – benötigt werden.

Bei einem Verzicht auf eine zentrale Schwemmkanalisation und der Verwendung von Trocken- oder Vakuumtoiletten anstelle konventioneller Spültoiletten reduziert sich zudem der Bedarf an Trinkwasser für den Transport. Weiterhin sind dezentrale Anlagen und ihre zugehörigen Netze auf Grund ihrer nur geringen räumlichen Ausdehnung zumeist recht flexibel und somit weniger kostenintensiv um- oder zurückzubauen. Dies ermöglicht die Implementierung von Systemen, die an die Lage vor Ort angepasst sind und auch auf Veränderungen reagieren können.

Dezentrale Systeme weisen naturgemäß auch Nachteile auf. So können sie oftmals anfällig gegenüber größeren Schwankungen von Abwasseranfall und -zusammensetzung sein, was bei der Planung berücksichtigt werden muss. Einige Anlagen stellen zudem besondere Anforderungen, z. B. an ausreichend Flächen für ihre Implementation. Daher ist nicht jedes dezentrale System in jedem Umfeld einsetzbar.

Eine weitere, nicht zu unterschätzende Problematik stellt die emotionale Natur des Themas dar: Das zentrale System hat für den Menschen den Umgang mit seinem Abwasser auf ein Minimum reduziert. Persönliche Hygiene hat sich zu einem Tabuthema entwickelt. Aufbau und Betrieb dezentraler Anlagen hingegen rücken es wieder in den Fokus. Es ist zu erwarten, dass solch eine Umstellung zumindest anfangs auf Zurückhaltung und Vorurteile stoßen und ein Umgewöhnungsprozess Zeit in Anspruch nehmen wird.

Integration dezentraler Systeme im Gebäudebestand

Für den großmaßstäblichen Einsatz dezentraler Anlagen stellt sich heute insbesondere der Umstand als hinderlich dar, dass Erfahrungen hiermit vorrangig in neuen Baugebieten gemacht werden, wo bereits im Planungsprozess günstige Bedingungen für ihren Einsatz geschaffen werden können. Darüber, wie sie sich im Bestand einsetzen lassen, sagen die Ergebnisse dieser Beobachtungen jedoch nur wenig aus. Für die schrittweise Einrichtung alternativer Abwassersysteme ist es daher notwendig, sich eingehender mit dem Zusammenwirken städtischer Strukturen und technischer Bausteine der Abwasserreinigung auseinanderzusetzen. Dies ist notwendig, um zum einen die generelle Umsetzbarkeit dieser Systeme im Bestand überprüfen, zum anderen Randbedingungen für die Implementation erkennen zu können: Welche Einflüsse haben Aspekte wie Gebäudeabmessung, Freiflächenanteil, Ensemblebildung oder auch die Sozialstruktur eines Quartiers auf die Implementationsmöglichkeiten neuartiger Abwasserentsorgungen?

Um hierzu Aussagen treffen zu können, sind im Vorfeld zwei grundsätzliche Aspekte zu klären: Welche Siedlungstypologien sollten sinnvollerweise betrachtet werden und anhand welcher Abwassersysteme findet die Untersuchung statt?

Für die bauliche Eingrenzung empfiehlt sich die Verwendung eines Katalogs aus acht Siedlungsstrukturtypen (vgl. Abb. 1). Dieser Zusammenstellung liegen vier bestimmende Merkmale zugrunde: Die Strukturen sollen

- einen städtischen Charakter haben,
- in Deutschland allgemein verbreitete Typen abbilden,
- sich hinsichtlich der räumlichen Faktoren deutlich voneinander unterscheiden und
- nur Typen umfassen, die für eine Wohnnutzung geeignet sind.

Siedlungstyp	GFZ	Geschosse	Grundstücksfläche in m ²	Gebäude pro ha	EW pro ha
Freistehende Einzel- und Doppelhäuser	0,2-0,4	1,5-2	400	8-16	40
Stadt villen	0,6	2,5	750	10	60
Verdichtete Reihenhäuser	0,3-0,8	2	250	10-20	130
Blockbebauung	1,2-3,5	3-4	350	8-16	260
Zeilenbebauung	0,8-1,3	3-4	700	5-10	400
Scheibenhäuserbebauung	1,6	10-15	11.500	1	184
Großformbebauung	1,0-1,8	4-10	26.400	0,5	125
Punkthochhäuser	3,5-7	8-15	2.000	4-6	500

Abb. 1: Siedlungstypenkatalog

Diese Liste umfasst naturgemäß nicht alle vorstellbaren Typologien. Es existiert eine große Vielfalt an Gebäudearten, und bei vielen kann darüber diskutiert werden, ob sie einem der hier vorgestellten Strukturtypen zugeordnet oder als eigenständig bewertet werden sollten. Zur Beantwortung der Fragestellung sind diese acht Strukturen allerdings ausreichend differenziert.

Bei der Abwasserreinigung existiert ebenfalls eine Vielzahl an Anlagenbausteinen, die im dezentralen Bereich eingesetzt werden können. Aus diesen wurden hier exemplarisch drei Reinigungssysteme erstellt, die beispielhaft verschiedene Grade der Dezentralisierung abbilden. Dies ermöglicht es aufzuzeigen, wie unterschiedlich komplex solche neuen Systeme zusammengesetzt werden können. Sie stellen jedoch keinesfalls die einzig denkbaren Möglichkeiten für einen Aufbau dar.

	Schwarzwasser		Grauwasser
	Urin	Fäzes	
System 1	Separierung, Nährstoffgewinnung, Verwendung als Düngemittel	Herkömmliche zentrale Behandlung	
System 2	Vakuumtoiletten, stadtteilweite Sammlung, Vergärung zur Biogasgewinnung		Herkömmliche zentrale Behandlung
System 3	Separierung, Nährstoffgewinnung, Verwendung als Düngemittel	Vakuumtoiletten, quartiersweite Sammlung, Vergärung zur Biogasgewinnung	Dezentrale Aufbereitung zu Brauch- oder Trinkwasser mittels Membranbelebungsanlagen

Abb. 2: Behandlung der Stoffströme in den konzipierten Abwassersystemen

■ **System 1** dient vorrangig der Nährstoffrückgewinnung (vgl. Abb. 3). Da der größte Teil der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe aus dem Urin stammt, wird dieser hier über Separationstoiletten abgetrennt und einzeln erfasst. Alle anderen häuslichen Abwässer werden weiterhin über eine zentrale Schwemmkanalisation abgeleitet.

Die Abtrennung der Nährstofffracht aus dem Urin bedeutet eine Reduzierung des Reinigungsaufwandes in den zentralen Kläranlagen und kann zu einer Reduktion der Emissionen in die Umwelt beitragen. Zudem können die Nährstoffe aufbereitet und, beispielsweise als Dünger, in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

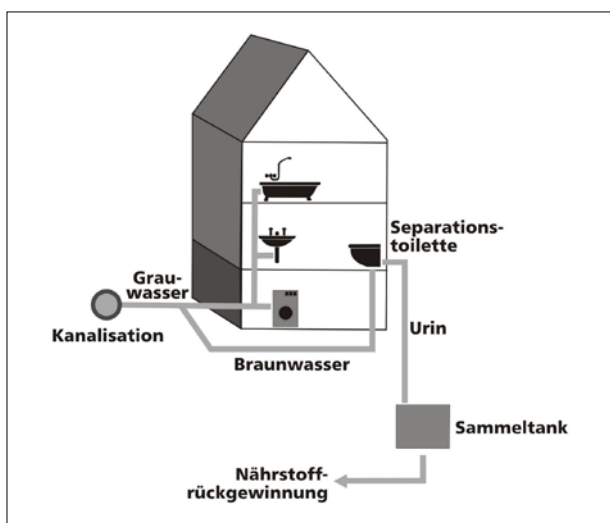


Abb. 3: Schematischer Aufbau von System 1

■ **System 2** trennt die Toilettenabwässer vom Grauwasser (vgl. Abb. 4). Während dieses weiterhin herkömmlich zentral abgeführt und gereinigt wird, wird das Schwarzwasser in kleinerem Maßstab, beispielsweise auf Stadtteilebene,

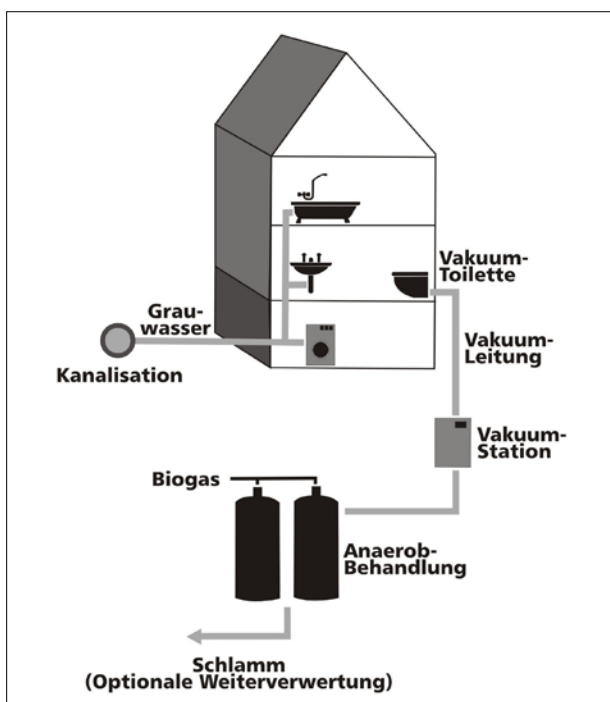


Abb. 4: Schematischer Aufbau von System 2

gesammelt. Hierzu wird ein zweites Abwassernetz benötigt, welches mit Vakuumtechnologie arbeitet. Der für das Transportmedium Luft notwendige Unterdruck wird dabei über Pumpstationen, die gleichzeitig als Sammler dienen, erzeugt.

Dieses System benötigt für eine Toilettenspülung nur noch knapp einen Liter Wasser, das gesammelte, nur gering verdünnte Schwarzwasser kann anaerob behandelt werden; das hierbei entstehende Faulgas lässt sich anschließend zur Wärme- und Energieerzeugung einsetzen.

■ **System 3** schließlich behandelt sämtliche Abwasserteilströme dezentral (vgl. Abb. 5). Der Urin wird separiert und aufbereitet. Die Feststoffe (Fäzes) werden über ein Vakuumnetz abgeführt und anaerob behandelt. Das Grauwasser lässt sich mittels Membranbelebungsanlagen zu Brauch- oder sogar Trinkwasser aufbereiten, welches im Haushalt genutzt werden kann.

Hierdurch kann ein Quartier vollkommen unabhängig von der zentral organisierten Abwasserreinigung und evtl. sogar der zentralen Trinkwasserversorgung werden.

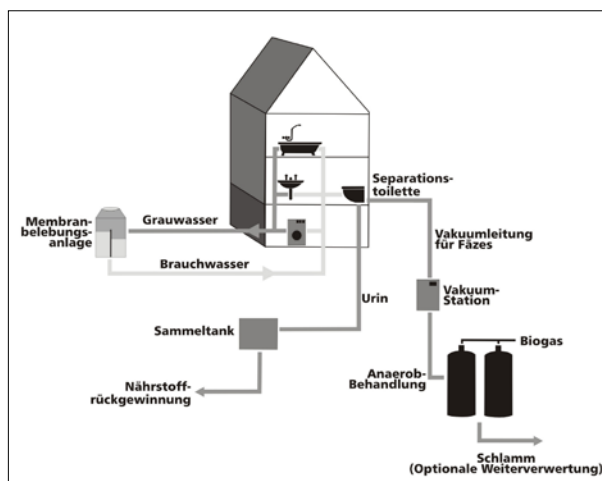


Abb. 5: Schematischer Aufbau von System 3

Einsatzmöglichkeiten der Systeme

Um konkrete Aussagen zu den Wechselbeziehungen zwischen Systemen und Quartiersmerkmalen machen zu können, ist es notwendig, real existierende räumliche und soziale Daten zu nutzen. Dabei bietet es sich an, für die acht definierten Siedlungstypen Beispielquartiere zu identifizieren, für die möglichst umfassende statistische Daten vorliegen – im konkreten Fall wurden Quartiere in Hamburg genutzt (vgl. Ziedorn 2007).

Diese Berechnungsgrundlage ermöglicht es, siedlungstypspezifisch die notwendigen Größen der einzusetzenden Anlagenbausteine zu errechnen. Das beinhaltet z. B. auch maximale Stranglängen der Kanalrohre sowie Abholungs-rhythmen bei der Urinsammlung. Es zeigte sich, dass die Systeme 1 und 2 prinzipiell in allen Siedlungstypen integriert werden können, System 3 hingegen in einigen Quartieren – insbesondere solchen mit hoher Bevölkerungsdichte und geringem Freiflächenanteil – nur bedingt einsetzbar

ist. Obwohl natürlich objektgebunden lassen sich anhand dieser Untersuchung Tendenzen erkennen, die es erlauben, verallgemeinerbare Aussagen über die Einsetzbarkeit unterschiedlicher dezentraler Abwassersysteme oder -reinigungsanlagen zu treffen.

An dieser Stelle sollen exemplarisch die wichtigsten Erkenntnisse zu den drei Bereichen Urinsammlung, Schwarzwasser- und Grauwasseraufbereitung kurz dargestellt werden:

- Die Urinsammlung lässt sich annähernd problemlos in allen Siedlungstypen durchführen. Der Einbau spezieller Separationstoiletten, eigener Leitungen und Sammel-tanks setzt in der Regel keinen großen Eingriff in die Bau-substanz voraus. Die größte Herausforderung ist hierbei die Abfuhrlogistik: Die Einwohnerdichte eines Quartiers bestimmt die anfallende Urinmenge. Entsprechend seiner Kostenkalkulationen muss der Entsorger Abfuhrhythmen, Anschlusszahlen und Behältergrößen gegeneinander abwägen. Dies ist jedoch primär eine wirtschaftliche Abwägung und kann nicht anhand der Raumwirkung von Strukturen bewertet werden (vgl. Grünauer 2007).
- Die Sammlung und der Transport von Schwarz- oder Braunwasser für eine anaerobe Behandlung findet über ein Vakuumkanalisationsnetz statt. Bestimmend für den Aufbau dieser Netze sind Einwohnerzahlen und -dichte sowie die räumliche Ausdehnung des Entsorgungsgebietes. Diese Faktoren bestimmen die für die Erhaltung des Unterdrucks im Netz aufzubringenden Leistungen und darüber Anzahl und Anordnung der notwendigen Pumpen sowie der Leitungsstränge (vgl. DWA 1992). Derzeit werden Vakuumsysteme allerdings noch fast ausschließlich für die Entsorgung gemischter häuslicher Abwässer eingesetzt, sodass sämtliche Berechnungsgrundlagen hierauf aufbauen. Wie sich die Anforderungen verändern, wenn allein die im Verhältnis geringere Menge des Schwarzwassers transportiert wird, ist noch nicht ausreichend erforscht.
- Bei der Erzeugung von Biogas aus dem gesammelten Schwarzwasser sind weiterhin größere Flächen für die Behandlung und Energieumwandlung bereitzuhalten. Dies stellt für den Einsatz im Bestand eine große Herausforderung an Unterbringungsmöglichkeit und Gestaltung dar. Gerade in dicht bebauten Gebieten, wie beispielsweise Reihenhaus-siedlungen, ist eine nachträgliche Einrichtung solcher Anlagen nur schwer möglich.
- Für die Aufbereitung des Grauwassers über Membran-belebungsanlagen sind bereits heute eine Vielzahl an Anlagen für unterschiedliche Anschlussgrößen erhältlich. Sie können daher sehr gut entsprechend den Gegebenheiten vor Ort dimensioniert werden. Je dichter ein Quartier allerdings besiedelt ist, desto mehr oder größere Anlagen müssen errichtet werden.

Fazit

Die Eignung bestimmter Siedlungstypen für dezentrale Abwasseranlagen lässt sich an Faktoren festmachen, die in zwei Themenfelder eingeteilt werden können: räumlich und sozial relevante Aspekte. Der räumliche Aspekt beinhaltet im Wesentlichen vier Einflussfaktoren:

- Die **Grundstücksaufteilung** beeinflusst die Möglichkeit, mehrere Nutzer an eine Kleinkläranlage anzuschließen. Je nach Quartiersausprägung werden so die notwendigen Leitungsnetze und damit die Einrichtungskosten bestimmt. Zudem steigert die Möglichkeit, eine Anlage grundstücksübergreifend einzurichten, die Akzeptanz durch die Nutzer, da so vermieden wird, einen Anschluss-teilnehmer stärker als andere zu belasten. Dieses erfordert natürlich einen generellen Willen zur Kooperation.
- Der **Freiflächenanteil** bestimmt bei vielen Anlagenbau-steinen maßgeblich, ob ein System sich in einer Siedlung implementieren lässt. Besonders bei verdichteten Wohn-formen stellt dies einen kritischen Faktor dar. Neben der technischen Umsetzung schränkt auch der Umstand, dass Freiflächen hier normalerweise als Erholungsbereiche verwendet werden, die Akzeptanz der Anlagen bei einer Be-influssung der Wohnqualität ein.
- Über den Faktor **Einwohnerdichte** wird maßgeblich die notwendige Anzahl an Bausteinen in einer Siedlung be-stimmt. Je höher die Dichte ist, desto mehr Anlagen müssen eingerichtet werden, wodurch mehr Raum oder Flächen benötigt werden. Allerdings kann eine höhere Bevölkerungsdichte die benötigte Rohrlänge pro Einwoh-ner reduzieren und Systeme somit profitabler machen.
- Zudem ist wichtig zu beachten, dass mit der **Anzahl der Anlagen** auch die Anforderungen an den Betrieb steigen. Sollten bereits die Nutzer von einzelnen Kleinanlagen bei der Wartung durch fachkundiges Personal unterstützt werden, ist es besonders bei dichteren Strukturen, wo viele Anlagen auf einer geringen Fläche anzutreffen sind, notwendig, diese regelmäßig überprüfen oder generell betreiben zu lassen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die durch die Dezentralität der Anlagen beabsichtigten positiven Umweltauswirkungen durch eine fehlerhafte Bedienung zunichte gemacht werden.

Auf den sozialen Aspekt wurde in dieser Ausführung bisher nicht eingegangen. Trotzdem ist festzuhalten, dass das sozio-demografische Profil eines Quartiers einen sehr relevanten Einflussfaktor darstellt. Ausprägungen wie Altersstruktur, Anteil Erwerbstätiger oder Haushaltsgrößen bestimmen den mengenmäßigen und zeitlichen Anfall von Abwasser und beeinflussen die Akzeptanz neuer Anlagen. Allerdings ist es schwer, in diesem Bezug allgemeine oder gar absolute Aus-sagen zu treffen, da die Reaktion stark von der Mentalität der Anwohner abhängt, die nicht statistisch erfassbar ist. Es

kann aber ausgesagt werden, dass die soziale Zusammensetzung eines Quartiers deutliche Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit eines dezentralen Abwassersystems hat. Die genauen Ausprägungen sind jedoch objektbezogen im Einzelfall zu untersuchen.

Die hier aufgeführten Erkenntnisse der Untersuchung können nicht als alleinige Entscheidungshilfe in Bezug auf eine Veränderung des bestehenden Abwassersystems hin zu einer Dezentralisierung angesehen werden. Für eine konkrete Umsetzung werden zusätzliche Faktoren eine große Rolle spielen, wie z. B. anstehende Sanierungen und Dringlichkeit der Probleme mit dem konventionellen System.

Die identifizierten Einflussfaktoren ermöglichen es jedoch, die für die Einrichtung dezentraler Abwasserreinigungsanlagen im Bestand relevanten Kenngrößen von Siedlungen einzuschätzen und sie bei der Konzeption der technischen Systeme entsprechend zu berücksichtigen. Dabei ist allerdings immer zu beachten, dass neben den angeführten räumlichen und sozialen Aspekten auch andere Überlegungen, wie z. B. Logistik- oder Kosteneffizienz, in diesem Themenfeld eine Rolle spielen und letztlich nur eine ganzheitliche Betrachtung zu einem wirtschaftlichen und nachhaltigen Abwassersystem führen wird.

Zuletzt stellt sich noch die Frage, welche Rolle dieses Thema für die zukünftige Siedlungsentwicklung spielt. Für die Anpassung und Veränderung des heutigen Abwassersystems hin zu dezentralen Konzepten stellen die bereits bestehenden städtischen Strukturen eine große Herausforderung dar. Sicher ist, dass das heutige, zentral organisierte System mit seinen Schwächen nicht *ad infinitum* weiter bestehen kann und im Sinne von Ressourceneffizienz und Zukunftsfähigkeit Veränderungen unterworfen werden muss. Im Zuge von Sanierungsarbeiten, die bereits jetzt sowohl im Bereich von Gebäuden als auch hinsichtlich der Abwassernetze anliegen und auch weiterhin zu erwarten sind, bietet sich die Chance, sukzessive den Aufbau eines neuen Abwassersystems zu betreiben, ohne an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit zu stoßen. Bei diesen Prozessen sind alle Akteure einer Stadt zur Mitarbeit aufgefordert.

Anmerkungen

- 1 Der Artikel basiert auf Ergebnissen der Diplomarbeit des Autors am Department Stadtplanung der HCU Hamburg (vgl. Ziedorn 2007).
- 2 Es wird davon ausgegangen, dass etwa 18,5 % des Abwassers auf diese Weise ungereinigt in die Umwelt gelangen (vgl. Lange, Otterpohl 2000: 205).
- 3 Dies geschah über eine Zusammenschau unterschiedlicher zu diesem Thema erstellter Studien – z. B. Buchert et.al 2004, Pauleit 1998, Roth 1980 – und eigener empirischer Untersuchungen.
- 4 Für einen umfassenden Überblick über die derzeit einsetzbaren Anlagenbausteine sei beispielhaft auf folgende Internetquellen verwiesen: Stadt Münster (<http://www.muenster.de/stadt/umwelt/anlagearten.html>), Bauhaus Universität Weimar (<http://www.aufgang.org/koch/homepage/study/kka-web/>), Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GTZ (<http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm>). Bei der Erstellung und Untersuchung der Beispielsysteme wurden der Stand von Wissenschaft und Technik sowie bereits umgesetzte Projekte zu dezentralen Abwasserkonzepten berücksichtigt.

- 5 Hier sei angemerkt, dass der Aspekt der Regenwassernutzung aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet wurde. Über diesen sind natürlich gerade im Bereich Brauchwasser große Synergieeffekte zu erreichen und es empfiehlt sich eindringlich, ganzheitliche Lösungen für die Abwasser- und Regenwasseraufbereitung umzusetzen.
- 6 Für weitere Details wird auf Ziedorn (2007) verwiesen.

Literatur

- Buchert, L./Deilmann, M./Fritsche, U./Jenseit, W./Lipkow, A./Rausch, C./Schiller, G./Siedentop, S.: Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland, Schriftenreihe Texte des Umweltbundesamtes, H. 01/04. Berlin 2004
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef): Arbeitsblatt ATV A 116, Besondere Entwässerungsverfahren: Unterdruckentwässerung – Druckentwässerung, Stand September 1992
- Grünauer, J.: Logistics of source separating waste water systems: Proposal for a truck based concept for Hamburg. Masterarbeit im Studiengang Environmental Engineering an der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2007 (unveröffentlicht)
- Kluge, T./Schramm, E.: Zwischen Kommune, Versorgungsunternehmen und Kundschaft – Herausbildung und Transformation der industriegesellschaftlichen Wasserinfrastruktur. In: Loske, R./Schaeffer, R. (Hg.): Die Zukunft der Infrastrukturen. Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung. Ökologie und Wirtschaftsforschung, Bd. 57. München 2005
- Kozioł, M./Veit, A./Walther, J.: Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung? Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadtechnischen Transformationsprozess. netWORKS-Papers, Heft 22. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin 2006
- Lange, J./Otterpohl, R.: Abwasser – Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft, Donaueschingen-Pföhren 2000
- Larsen, T./Peters, I./Alder, A./Eggen, R./Maurer, M./Muncke, J.: Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. In: Environmental Science and Technology, H. 35/IX, Mai 2001
- Pauleit, S.: Das Umweltgefüge städtischer Siedlungsstrukturen. München 1998 (Dissertation an der Technischen Universität München, Fachbereich Landschaftsökologie)
- Roth, U.: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungsanlagen. Schriftenreihe Raumordnung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bd. 06.044. Bonn 1980
- Ziedorn, V.: Städtische Siedlungsstrukturen und dezentrale Abwassersysteme – Eine Untersuchung der Zusammenhänge von baulichen Strukturen und dezentraler Abwasserbehandlung. Diplomarbeit am Department Stadtplanung der HafenCity-Universität Hamburg 2007 (unveröffentlicht)
- Volker Ziedorn**, Dipl.-Ing. Stadtplanung, arbeitet bei der Entwicklungsgesellschaft Brunsbüttel. **Franziska Meinzingler**, Dipl.-Ing., M. Appl. Sc., ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz der Technischen Universität Hamburg-Harburg. **Irene Peters**, Ph. D., ist Professorin für Infrastrukturplanung und Stadttechnik an der HafenCity-Universität Hamburg. ■