

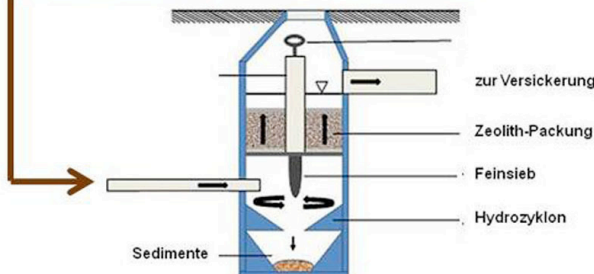
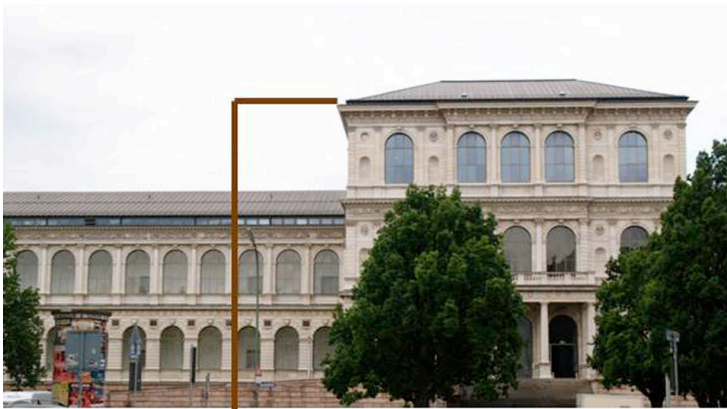
## 4.5 Nachhaltige Wasserwirtschaft in städtischen Ballungszentren

PETER A. WILDERER

*Sustainable water management in urban areas: During the past decades a most elaborated water management system has been developed and installed in cities and villages of the industrialized countries. Reliable supply of safe drinking water and advanced treatment of wastewater has been achieved. The »once-through« system which basically originates from the ancient Romans is not fully in line with the general concept of sustainable development, however, and implementation, operation and maintenance of the system in low-income countries is difficult. In particular the layout of the sewer system requires high investments. To avoid sediment build-up and biogenic corrosion an enormous amount of tap water is needed – high quality water which is scarce in many parts of the world. To meet the Millennium Development Goals of the United Nations novel solutions are needed. Separate collection of the various wastewater fractions discharged from households, enterprises and industry, on site treatment and recovery of valuable substances for direct or indirect reuse are important measures to reduce the number of people who have not yet access to proper water supply and sanitation.*

Schätzungen der Vereinten Nationen (UN 2010) zufolge mussten im Jahr 2008 immer noch mehr als 900 Mio. Menschen Wasser trinken, das in hohem Maße verschmutzt war – dies auch mit krankheitserregenden Mikroorganismen. Die Cholera-Epidemie auf Haiti war die jüngste der vielen schmerzlichen Folgen. Mehr als 2,6 Mrd. Menschen hatten 2008 immer noch keinen Zugang zu einer Sanitärtechnik, die dem allgemeinen Standard in den Industrieländern entspricht. Die Meinungen gehen auseinander, wie hoch der Anteil der Menschen ist, die an eine funktionierende Kanalisation und eine effiziente Abwasserreinigung angeschlossen sind. Der Wert liegt vermutlich nicht sehr viel höher als 10%.

Diese Zahlen sind bereits dramatisch genug. Sie erfahren aber noch eine Steigerung, wenn man den Blick auf die Stadtregionen unserer Erde lenkt. Man rechnet damit, dass die städtische Bevölkerung derzeit bereits über die Hälfte der Erdbevölkerung ausmacht. Die Tendenz ist steil ansteigend. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird damit gerechnet, dass bis zu 80% der Menschen in Städten leben werden. Mit dieser Steigerung eng verbunden ist die Globalisierung des »westlichen« Lebensstils. Das führt zu einem überproportionalen Anstieg des Bedarfs an Energie, Wasser, Lebensmitteln und Gütern des täglichen Gebrauchs. Selbst in wasserreichen Gebieten wird dieser Bedarfsanstieg zu Engpässen bei



**Abb.4.5-4:** Reinigung und Versickerung von Dachablaufwasser am Beispiel München, Akademie der bildenden Künste (Siehe HELMREICH 2009 für mehr Details).

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)  
- Hrsg. Lozán, J. L. H., Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

der Wasser- und Lebensmittelversorgung führen. Viele der rasch wachsenden Ballungszentren befinden sich aber in wasserarmen Regionen. Um drohende Katastrophen abzuwenden, müssen Methoden gefunden und eingesetzt werden, mit denen Versorgungs- und Entsorgungseingänge in Städten, Stadtrandgebieten und in ländlichen Regionen vermieden werden können. Andernfalls drohen uns weltweit Instabilitäten nicht nur des Finanz- und Wirtschaftssektors, sondern auch der Gesellschaftssysteme. Die Gerechtigkeitsschere weitet sich und die nationale Sicherheit gerät in Gefahr, dies weltweit (EDENHOFER et al. 2010).

Gesucht sind nicht nur Lösungen, die sich auf Technik abstützen. Entscheidende Fortschritte werden nur durch eine zügige Anpassung der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen an die sich rasch ändernden Gegebenheit in den Städten und auf dem Lande erzielbar sein. Für den Erhalt und die Steigerung der politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Stabilität wird es wichtig sein, Lösungen zu finden, die an die klimatischen und geographischen Gegebenheiten der jeweiligen Region angepasst sind, ebenso aber auch an das jeweilige kulturelle Erbe, an Traditionen und Verhaltensmuster (WILDERER et al. 2004). Statt nach universell anwendbaren Lösungen zu suchen, sollten die regionalen Besonderheiten eine besonders hohe Wertschätzung erfahren. Eine konfliktfreie Einbindung von Wasser-Technik in das landestypische Umfeld ist der beste Garant für die effiziente, nachhaltige Nutzung der anfangs getätigten Investitionen. Ein partizipatives Vorgehen unter Einbeziehung führender Vertreter aller gesellschaftlichen Gruppen ist eine zwingende Voraussetzung für die dauerhafte Entwicklung von Stadtregionen, für einen nachhaltigen wirtschaftlichen Aufschwung und für dauerhafte Sicherheit, Wohlbefinden und Zufriedenheit der Stadtbevölkerungen.

### **Zu dem Begriff der Nachhaltigkeit**

Der Begriff »Nachhaltigkeit« wurde im 18. Jahrhundert von dem Forstwirtschaftler Hanns Carl von Carlowitz geprägt (HASEL 1985). Zur damaligen Zeit waren und wurden in Mitteleuropa Wälder in großen Stil abgeholzt, um Brennmaterial für den Bau von Schiffen, zur Abstützung von Minen und für die Verhüttung von Erzen zu gewinnen. Von Carlowitz forderte, dass pro Zeiteinheit nur so viel Holz gefällt werde, wie im gleichen Zeitraum nachwächst. Nur unter diesen Bedingungen sah er eine Chance, die wirtschaftliche Entwicklung langfristig zu sichern. Seine Gedanken gingen in den 1980er Jahren des letzten Jahrhunderts in die Beratungen der Brundtland Kommission ein. Diese

war unter dem Eindruck der Prognosen von MEADOWS et al. (1972) von den Vereinten Nationen eingerichtet worden, um Perspektiven für die Zukunftsentwicklung der Weltwirtschaft zu erarbeiten. Es entstand die Agenda 21, die 1992 auf dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro verabschiedet wurde. In diesem »Fahrplan für das 21. Jahrhundert« wurde die nachhaltige Entwicklung als politische Zielvorgabe definiert. Die heutige Generation wird dazu verpflichtet, die Nutzung von Ressource zur Sicherung des eigenen Wohlstands an dem Bedarf künftiger Generationen zu orientieren. Im Grunde handelt es sich bei dieser Definition um die verbale Umschreibung des in Lebewesen genetisch verankerten Arterhaltungstriebes – hier nun übertragen auf die Menschheit und deren wirtschaftliche und gesellschaftliche Systeme. Es geht um die dauerhafte Erhaltung der Lebensgrundlagen der Menschheit.

Die Umsetzung dieses Leitbilds ist aus vielerlei Gründen nicht einfach. Woher sollten wir beispielsweise wissen, wie sich künftige Generationen entfalten, welche Ressourcen gebraucht und welche durch technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt substituiert werden? Konnten unsere Vorfahren sich vorstellen, wie wir heute leben und wirtschaften? Da sich die Menschheit kraft ihrer eingeborenen Fähigkeit zur Wissensvermehrung und technischer Innovation stetig fortentwickelt, ist das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung nicht statisch zu definieren. Vielmehr handelt es sich um ein Ziel, das sich in Zeit und Raum stetig fortentwickelt, solange das Erdsystem seine Fähigkeit behält, Leben auf unserem Planeten möglich zu machen. Es scheint allerdings, dass der Mensch durch Übernutzung von Landflächen und fossilen Ressourcen sowie durch Emission von Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden eben diese Fähigkeit zerstört (LOVELOCK 1979, 2006). Nachhaltiges Handeln erfordert demnach den Verzicht auf alle Interventionen in die Selbstregulationsfähigkeit der belebten Natur.

Die Tatsache, dass auf der Erde seit 3–4 Mrd. Jahren Wasser in flüssiger Form verfügbar und eine mittlere Oberflächentemperatur von  $15 \pm 5$  °C gegeben ist, muss als Voraussetzung für das aquatische und terrestrische Leben in seiner ganzen Vielfalt gewertet werden. Umgekehrt ist nicht auszuschließen, dass diese Grundbedingungen für Leben durch die selbstregulativen Kräfte der Ökosysteme erhalten werden. In diesem Zusammenhang kommt der Resilienz der durch Artenvielfalt geprägten Ökosysteme eine entscheidende Bedeutung zu. Um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen, gilt es also, die Resilienz nicht nur von Ökosystemen, sondern auch von Wirtschafts- und Gesellschaftssystemen zu erhalten. Das entscheidende Stichwort dabei ist »Vielgestaltigkeit« der Arten, der Branchen und Fir-

mengrößen sowie der Kulturen.

Heruntergebrochen auf die Ebene der urbanen Wasserwirtschaft wird nachhaltiges Handeln befördert, wenn wir die Wasserentnahme aus natürlichen Ressourcen an der Neubildungsrate orientieren und den Mehrbedarf an Wasser durch Wiederverwendungsmaßnahmen decken. Mehrfachnutzung und Wiederverwendung von Wasser sind geeignete Mittel, dem Absinken des Grundwasserspiegels mit teils dramatischen Auswirkungen auf die Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung entgegenzuwirken (MERVIS 2009). Abwasser ist als alternative Wasserressource zu verstehen und als Substitut für Wasser, das der Natur entnommen wird. Folglich ist Abwasserreinigung nicht vorrangig an dem »guten Zustand« der Oberflächengewässer auszurichten, sondern an den Güteanforderungen, die eine sichere und effiziente Nutzung des aufbereiteten Wassers möglich machen – eine Nutzung in Haushalten, in der Industrie, im Gartenbau oder zur Pflege von Grünanlagen, um nur einige Beispiele zu nennen.

**Das traditionelle Konzept der urbanen Wasserwirtschaft**

Um den Ablauf des städtischen Lebens zu organisieren, wurden bereits im Altertum ausgefeilte Techniken entwickelt (COOPER 2001). Dazu gehören Anlagen zur Versorgung der Bevölkerung mit Trink- und Löschwasser sowie zur Ableitung von Abwasser und Regenwasser. Die von den Römern gebauten Aquädukte gelten bis heute als Meisterleistungen römischer Baukunst. Die »cloaca maxima« in Rom wurde beispielgebend für die moderne städtische Abwasserentsorgung.

Wasser- und abwassertechnische Anlagen wurden im Mittelalter und bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts eher stiefmütterlich behandelt und kaum weiterentwickelt. So entstanden wegen des Fehlens von Löschwasser immer wieder verheerende Brände. Weil fäkale Ausscheidungen auf Straßen und in Stadtbäche gekippt wurden und pathogene Keime von dort aus den Weg ins Trinkwasser fanden, kam es zu immer wiederkehrenden Seuchen wie Cholera, Typhus und Pest. Diese wurden im Mittelalter als »Strafe Gottes« verstanden und schicksalhaft hingenommen. Mit dem Beginn der Industrialisierung wurden Seuchen aber zu einem empfindlichen Hemmnis für die wirtschaftliche Entwicklung. Deshalb wurde zur Mitte des 19. Jahrhunderts erst in England, später dann aber auch in Deutschland und in den USA damit begonnen, die Ursachen für die Verbreitung von Seuchen aufzudecken und Abhilfemaßnahmen zu ergreifen. Hygiene wurde zu einem Merkmal des öffentlichen Gesundheitswesens. Leistungsfähige Einrichtungen zur Wasserversorgung sowie Vorrichtungen zur Ableitung und Reinigung von Abwässern wurden gebaut und hinfort weiterentwickelt.

Abb. 4.5-1 zeigt das System der städtischen Wasser- und Abwasserentsorgung, wie es in den westlichen Industriestaaten mittlerweile zur Selbstverständlichkeit geworden ist. Wasser wird aus Grundwasserleitern, aus Talsperren oder aus Fließgewässern entnommen, aufbereitet und über ein weit verzweigtes Rohrleitungsnetz den Verbrauchern zugeführt. Durch den Gebrauch des Wassers entstehen in den Haushalten, in Bürogebäuden, Gewerbebetrieben und in der Industrie verschiedenar-

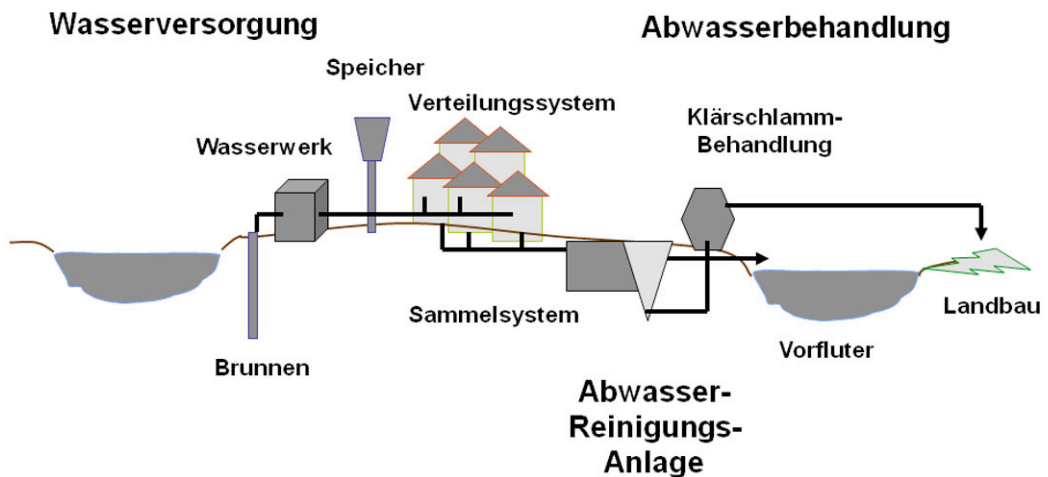


Abb. 4.5-1: Kommunales Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssystem herkömmlicher Prägung.

tig zusammengesetzte Abwässer, die gesammelt, vermischt und aus dem Siedlungsgebiet hinaus befördert werden, bei Regenereignissen häufig gemeinsam mit dem Ablauf von Dächern und Strassen. Aus Kostengründen erfolgt die Ableitung so weit wie möglich im freien Gefälle. Um Ablagerungen zu vermeiden, muss dafür gesorgt werden, dass die Schwemmkraft des fließenden Wassers ausreichend hoch ist. Die mit hochreinem Trinkwasser betriebenen Spültoiletten liefern dazu das erforderliche Schwemmwasser. Man spricht deshalb auch von der Schwemmkanalisation.

Das Wasser erreicht schließlich die Abwasserbehandlungsanlage, wo versucht wird, die im Abwasser enthaltenen organischen und anorganischen Substanzen abzuscheiden, bevor das Wasser in ein öffentliches Gewässer eingeleitet wird. Anfänglich gab man sich zufrieden, wenn Stoffe entfernt wurden, die für die Trübung des Abwassers verantwortlich sind. Man wollte das Wasser klären. Der Begriff »Kläranlage« stammt aus dieser Zeit. Heute verfolgen wir in Abwasserbehandlungsanlagen viel weitreichendere Ziele. Wichtig ist es, den Gehalt an Pflanzennährstoffen zu senken, um der Eutrophierung der Oberflächengewässer entgegen zu wirken. Zu entfernen sind auch Stoffe, die auf aquatische Organismen schädigend wirken. Dazu gehören Schwermetalle sowie organische Substanzen, die wir in den Haushalten und in der Industrie für vielfältige Zwecke einsetzen. Dazu gehören auch Arzneimittelrückstände.

Bau und Betrieb derartiger Ver- und Entsorgungssysteme ist teuer. Der Bau und die Erhaltung der Rohrnetze für Trink- und Abwasser schlagen dabei mit bis zu 80% zu Buche. Die Kosten für derartige Baumaßnahmen blieben dennoch bezahlbar, da die notwendigen Ausgaben in den Industriestaaten auf viele Jahrzehnte

verteilt werden konnten. Wasserwerke und Kläranlagen wurden gebaut und über Jahre hinweg schrittweise den neuen Erkenntnissen und technischen Möglichkeiten entsprechend angepasst.

Ganz anders stellt sich die Situation in den rasch wachsenden Ballungsgebieten dieser Erde dar. Dort bestehen Wasserverteilungsnetze und Kanalisationsanlagen oft nur in Ansätzen. Kläranlagen fehlen meist vollständig, ebenso aber auch das Geld für den Bau solcher Anlagen. Auf der anderen Seite besteht aber ein enger zeitlicher Zwang, Infrastrukturmaßnahmen nicht nur auf dem Verkehrs- und dem Telekommunikationssektor, sondern auch im Bereich Wasser durchzuführen. Um die Zahl der unterversorgten Menschen bis zum Jahr 2015 auf die Hälfte senken, wie dies in den Millennium-Entwicklungszielen der UN verankert ist, müssten Tag für Tag Wasserversorgungsanlagen für 200.000 Einwohner gebaut werden. Tag für Tag müssten für fast eine Million Einwohner Abwasserkanäle verlegt und Einrichtungen zur Behandlung von Abwasser installiert werden. Die Weltbank schätzt die dazu aufzubringenden Kosten auf jährlich 180 Mrd. US\$, voraussetzend, dass die herkömmliche Technik der Wasserver- und Abwasserentsorgung eingesetzt wird. Diese Zahlen belegen, dass die Millenniumsziele ohne einen Technologiewandel nicht erreichbar sind. Ein Paradigmawechsel ist allerdings nicht nur zur Kostensenkung notwendig. Das herkömmliche System, so erfolgreich es im Einsatz auch sein mag, erfüllt die Nachhaltigkeitskriterien, auf die sich die Weltgemeinschaft verständigt hat, nur in Ansätzen. Die Mängel, die in dem System inhärent sind, müssen also ohnehin beseitigt werden, wenn wir das Nachhaltigkeitsgebot ernst nehmen.



Abb. 4.5-2: Konzept für ein urbanes wasserwirtschaftliches System, das auf Mehrfachnutzung von Wasser und Rückgewinnung von Wertstoffen ausgerichtet ist.

## Grundprinzipien der nachhaltigen urbanen Wasserwirtschaft

Was sind nun die Kritikpunkte an dem herkömmlichen System der kommunalen Wasserversorgung und der Abwasserbehandlung? Im Wesentlichen sind es fünf Bereiche, die zu hinterfragen sind:

- Störung des regionalen Wasserhaushalts durch Übernutzung der natürlichen Wasserressourcen,
- Nutzung von qualitativ hochwertigem Leitungswasser zur Aufrechterhaltung der Schwemmkraft in der Kanalisation,
- Vermischung und Verdünnung von Abwasserinhaltsstoffen,
- Vernichtung von Wertstoffen (z.B. biologischer Abbau) und von Wärme statt deren Rückgewinnung und Verwertung.
- Ableitung von Straßen- und Dachabläufen statt deren Reinigung und Infiltration zur Verstärkung der Grundwasserneubildung unterhalb versiegelter Flächen.

Eine Neuausrichtung der kommunalen Wasserwirtschaft erscheint vor diesem Hintergrund ein Gebot der Stunde. Das Fließschema in *Abb. 4.5-2* zeigt die Struktur eines nachhaltigen Wasserwirtschaftssystems für urbane Räume. Es besteht aus den Komponenten Wasserversorgung, Wasserkreislaufführung, Rückgewinnung von Wertstoffen und sichere Ablagerung von Reststoffen. Die zentrale Wasserversorgung spielt in diesem Konzept weiterhin eine bedeutende Rolle. Sie wird durch dezentrale Einrichtungen zur Wasserwiederverwertung ergänzt (LARSEN & GUJER 1997; WILDERER 2004).

Auf ein leistungsfähiges Wasserverteilungsnetz können wir aus Gründen der Stadthygiene nicht verzichten, auch um im Notfall genügend Löschwasser zur Verfügung stellen zu können. Es besteht aber kein wirklich zwingender Grund, Trinkwasser als Mittel zur Aufrechterhaltung der Schwemmkraft in Kanalrohren als das non plus ultra zu verstehen.

Durch den Gebrauch des Wassers in Haushalten, Gewerbebetrieben und Industrieanlagen gelangen eine Vielzahl Substanzen in das Wasser, organische und anorganische, nieder- und hochmolekulare, biologisch aktive und inaktive, krankheitserregende, toxisch wirksame und inerte. Viele der Stoffe haben Wertstoffcharakter und können direkt oder nach entsprechender Aufbereitung wieder in den Stoffkreislauf eingeschleust werden (CORNEL et al. 2011). Das Wasser selbst ist ein Rohstoff.

Die Rückgewinnung von Wertstoffen ist umso schwieriger und kostspieliger, je verdünnter das Ab-

wasser ist. Erschwerend wirkt auch die Stoffvielfalt, die durch Vermischung verschiedenartiger Abwasserteilströme zustande kommt. Ziel muss es also sein, Abwasserteilströme nach Möglichkeit getrennt zu erfassen und auf jegliche Art der Verdünnung zu verzichten.

Auf Seiten der festen Abfallstoffe praktizieren wir das getrennte Sammeln bereits seit geraumer Zeit und mit großem Erfolg. Wir tragen damit zur Schonung von Ressourcen bei und damit auch zur nachhaltigen Entwicklung. Gleiches fehlt auf der Seite der flüssigen Abfallströme noch weitgehend. So haben LARSEN & GUJER bereits 1996 sowie LANGE & OTTERPOHL 1997 vorgeschlagen, Urin durch Einsatz von Separationstoiletten oder wasserlosen Urinalen getrennt von Fäkalien und Grauwasser zu sammeln und zu Düngemittel zu verarbeiten. Durch Ausschleusung von Urin aus dem Abwasser könnte die Stickstofffracht im Zulauf zu zentral oder dezentral angeordneten Reinigungsanlagen entscheidend, im Idealfall um nahezu 85% gesenkt werden. Ressourcenaufwendige Verfahren zur Nitrifikation und Denitrifikation, also der biologische Abbau von Stickstoffverbindungen bis zum molekularen Stickstoff ( $N_2$ ) könnten damit entfallen. Auch dies wäre ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung.

Getrennt gesammelte Küchenabfälle und Fäkalien lassen sich mittels anaerober biologischer Prozesse (Hydrolyse und Versäuerung) in niedermolekulare Verbindungen umwandeln, die entweder zur Herstellung von Biogas verwendet werden können, als Elektronendonatoren in biologischen Brennstoffzellen (FREGUIA et al 2009) oder aber auch als Rohstoffe in der technischen Chemie. Letzteres ist eine interessante, bisher aber nicht näher untersuchte Option zur stofflichen Verwertung organischer Abwasserinhaltsstoffe und eine Alternative zur bisher üblichen Verbrennung von Methangas.

Grauwasser enthält neben Schmutz waschaktive Substanzen in relativ hoher Konzentration. Sie lassen sich durch Adsorptionsverfahren mit nachgeschalteter Membranfiltration auf einfache Weise entfernen. Es entsteht ein Wasser, das frei von pathogenen Keimen ist und daher gefahrlos zur Toilettenspülung, zu Reinigungszwecken sowie zur Bewässerung von Grünanlagen verwendet werden kann.

Viele Abwasserteilströme sind relativ warm. Die Rückgewinnung und Nutzung von Wärme aus Abwasser kann als positiver Beitrag zur effizienten Nutzung von Energie in urbanen Gebieten verstanden werden (CORNEL et al. 2011).

Getrennt gesammelte Teilströme sollten möglichst nahe am Ort der Entstehung aufbereitet werden. Wir sprechen dann von dezentraler Abwasserbehandlung. Dezentrale Behandlungsanlagen sind aber auch in Be-

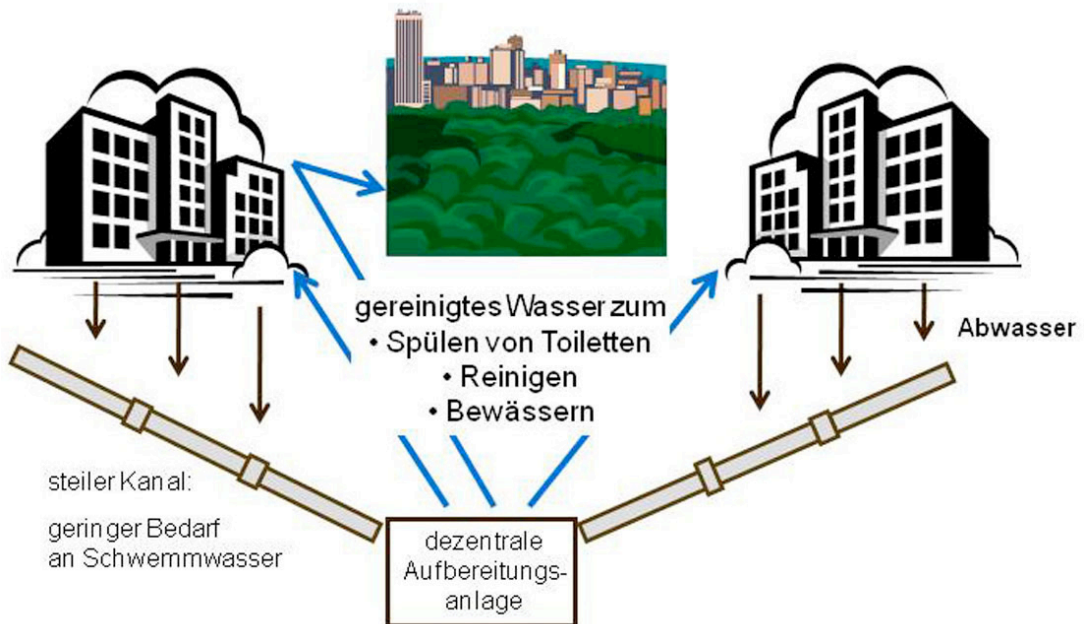
tracht zu ziehen, wenn das Abwasser, wie bisher üblich, als Mischung aufbereitet und einer Wiederverwendung zugeführt werden soll. Generell bezieht sich der Begriff »dezentrale Wasserwiederverwendung« auf ein Konzept, das darauf ausgerichtet ist, die im Abwasser enthaltenen Wertstoffe (Wasser, Pflanzennährstoff, Kompost, Industriechemikalien, Energieträger) auf kurzem Weg in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Die Abwasseraufbereitungsanlage wird nahe dem Entstehungsort des Abwassers platziert, auch nahe dem Ort, wo die gewonnenen Wertstoffe nutzbringend eingesetzt werden. Damit kann es auch gelingen, die Abwassertransportleitungen steil zu verlegen, so dass mit einer relativ geringen Menge an Spülwasser gearbeitet werden kann (Abb. 4.5-3). Anlagen zur Aufbereitung von Abwasser und Nutzung der gewonnenen Wertstoffe lassen sich beispielsweise im Keller eines frei stehenden Hauses (z.B. Wohnhaus, Hochhaus, Hotelkomplex) installieren oder im Zentrum einer Wohnsiedlung oder eines Industrieparks.

Schließlich sei noch auf den üblicherweise stark unterschätzten Wertstoffcharakter von Straßen- und Dachabläufen hingewiesen. Natürlicherweise ist der Wassertransport aus der Atmosphäre in den Boden hinein durch eine starke vertikale Komponente gekennzeichnet. Regenwasser versickert zu einem großen Teil im Boden, vorausgesetzt natürlich, die hydrogeologischen Verhältnisse lassen dies zu. Es kommt zur

Neubildung von Grundwasser als wichtige Voraussetzung für die Erhaltung ökologischer Gleichgewichte in terrestrischen Systemen. Erst im Grundwasserleiter sowie in Fließgewässern tritt eine Änderung des Transportvektors in die horizontale Richtung ein.

Durch weiträumige Versiegelung und einfache Durchleitung von Niederschlagswasser durch das Siedlungsgebiet greifen wir massiv in den regionalen Wasserhaushalt ein. Daraus entstehen gleich zwei negative Folgewirkungen, nämlich die Absenkung des Grundwasserspiegels im stadtnahen Gebiet sowie die Verstärkung von Hochwasserwellen durch Einleitung von Regen- und Abwasser in Fließgewässer. Durch dezentrale Reinigung (z.B. unter Einsatz von Filtern und Zeolith-Granulat als natürlichem Ionenaustauscher) und Versickerung von Straßen- und Dachablaufwasser (Abb. 4.5-4) lassen sich die negativen Folgen städtischer Versiegelung mindern.

Eine urbane Wasserwirtschaft, die den Grundgesetzen der Nachhaltigkeit entspricht, muss also darauf ausgerichtet sein, die negativen Folgen der Oberflächenversiegelung durch Straßen, Hofflächen und Gebäude durch gezielte dezentrale Regenwasserbewirtschaftung entgegen zu wirken. Dies kann durch Sammeln, Reinigen und Versickern von Dach- und Straßenabläufen erfolgen. Die entsprechenden Methoden sind bereits weitgehend verfügbar (ATHANASIADIS et al. 2006; HELMREICH 2009).



**Abb. 4.5-3:** Dezentrale Abwasserbehandlung und Verwertung der gewonnenen Wertstoffe am Beispiel einer Wohnsiedlung (Prinzipiskizze).

## Schlußbetrachtungen

Wasser-Abwasser-Systeme, die auf die Wiederverwendung von Wasser in Siedlungsgebieten und auf die Rückgewinnung von Wertstoffen und deren Rückführung in den Stoffkreislauf ausgerichtet sind, bergen Chancen für einen zeitnahen Wandel hin zu einer nachhaltigen urbanen Wasserwirtschaft.

Um die Gewinnung wiederverwertbarer Stoffe zu ermöglichen, sind zentrale und dezentrale Lösungen in Betracht zu ziehen. Für die zentrale Variante bietet Singapur mit seinem NEWATER-Konzept ein bemerkenswertes Beispiel (TORTAJADA 2006). Das hoch gereinigte Abwasser, ursprünglich für den menschlichen Konsum bestimmt, wird qualitativ an die Bedürfnisse industrieller Anwender angepasst und in Produktionsprozesse eingespeist (siehe Abb. 4.5-2).

Dezentrale Lösungen sind überall dort angezeigt, wo Neubaugebiete entstehen. Die Investitionskosten für den Aufbau eines flächendeckenden Kanalisationsystems zum Transport von Abwasser hin zu einer weit entfernten Kläranlage können entfallen. Bei Applikation des herkömmlichen Systems verschlingt der Bau der Transportkanäle hohe Investitionssummen, ohne dass damit schon ein positiver Beitrag zum Gewässerschutz geleistet wäre. Und selbst mit einer Kläranlage am Ende des Rohrs verschlechtert sich die wasserwirtschaftliche Situation in der Region, weil massiv und schädlich in den regionalen Wasserhaushalt eingegriffen wird. Durch schrittweise Implementierung dezentraler Systeme wird auf lokaler Ebene Schritt für Schritt und mit überschaubaren Investitionssummen eine nachhaltige Wirkung erzielt.

Das neue wasserwirtschaftliche System birgt jedoch auch erhebliche Risiken. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand machen zwei Risiko-Kategorien Sorgen, ein betriebliches Risiko und ein Risiko, das stoffbezogen ist. Um die Leistungsfähigkeit technischer Anlagen auszuschöpfen, ist eine fachkundige Betriebsführung eine Grundvoraussetzung. Die Prozessabläufe, die ordnungsgemäß ablaufen müssen, um die vorgegebenen Behandlungsziele zu erreichen, sind von sich aus bereits komplex. Sie werden durch die hohe Variabilität der Zulaufströme noch komplizierter. Die Übertragung der Wartung solcher Anlagen an Grundstückseigner oder Mieter ist in keinem Fall zielführend. Zeitgleich zur Implementierung dezentraler Anlagen muss der Ausbildung von Fachpersonal hohe Priorität eingeräumt werden, ebenso dem Aufbau eines leistungsfähigen Überwachungs- und Wartungsnetzes. Robuste Sensoren müssen eingesetzt werden, die eine Fernüberwachung der dezentral angeordneten Anlage-teile möglich machen.

Ein hohes Risiko entsteht auch durch die Stoffe, die in einigen der Abwasserteilströme zumindest potenziell enthalten sind. Es muss sichergestellt werden, dass pathogene Keime sicher zurückgehalten und unschädlich gemacht werden. Sorgen bereiten in diesem Zusammenhang besonders Viren. Unter den chemischen Stoffen, die im Abwasser, auch in den Dach- und Straßenabläufen enthalten sein können, sind solche zu finden, die langfristig schädliche Wirkungen auf Flora und Fauna ausüben, auch auf den Menschen. Zu diesen Stoffen gehören unter anderem Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Öle, Medikamente einschließlich Hormone und deren Abbauprodukte sowie Wirkstoffe, die in Haushaltschemikalien enthalten sind. Um eine gesicherte Wiederverwertung von Wasser und Abwasser möglich zu machen, muss die Abtrennung und Zerstörung solcher Stoffe sichergestellt sein. Dazu besteht noch ein ganz erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

## Literatur

- ATHANASIADIS K., HELMREICH B. & WILDERER P.A. (2006): Infiltration of a copper roof runoff trough artificial barriers. *Water Science and Technology* 54: 281-289.
- CORNEL P., MEDA A & BIEKER S. (2011): Wastewater as a source of energy, nutrients and service water, *Treatise on Water Sciences*, Elsevier Publisher, 3(92) in print.
- COOPER P.F. (2001): Historical aspects of wastewater treatment. In: LENS P., G. ZEEMAN & G. LETTINGA (Eds), *Decentralized Sanitation and Reuse*, IWA Publ., London, UK, 11-38.
- EDENHOFER O., WALLACHER J., REDER M. & LOTZE-CAMPEN H. (Eds.) (2010): *Global aber gerecht – Klimawandel bekämpfen, Entwicklungen ermöglichen*. C.H. Beck Verlag, München. 240 pp.
- FREGUIA S., TEH E.H., BOON N., LEUNG K.M., KELLER J. & RABAEY K. (2009): Microbial fuel cells operating on mixed fatty acids, *Bioresource Technology*, 101(3): 1233-1238.
- HASEL K. (1985): *Forstgeschichte: Ein Grundriss für Studium und Praxis*. Verlag Paul Parey, Hamburg, 258 pp.
- HELMREICH B. (2009): *Stoffliche Betrachtung der dezentralen Niederschlagswasserbehandlung*. Berichte aus Siedlungswasserwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, TU München, 164 pp.
- LANGE J. & OTTERPOHL R. (1997): *Abwasser – Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft*. Mallbeton-Verlag, Donaueschingen, 225 pp.
- LARSEN T.A. & GUJER W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34(3-4), 87-94.
- LARSEN T.A. & GUJER W. (1997): The concept of sustainable urban water management, *Water Science and Technol.* 35(9), 3-10.

- LOVELOCK J. (1979): A new look of life on Earth. Oxford University Press, UK. Press, 150 pp.
- LOVELOCK J. (2006): The revenge of Gaia. Penguin Books, London, UK, 222 pp.
- MEADOWS D., MEADOWS D., ZAHN E. & MILLING P. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 183 pp.
- MERVIS J. (2009): Northern India's groundwater is going down. Science 325: 798.
- TORTAJADA C. (2006): Water management in Singapore. Water Resources Development 22: 227-240.
- UN (2010): The Millennium Development Goals Report. UN Department of Economic and Social Affairs, New York, USA,
- WILDERER P.A. (2004): Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs. Water Science and Technology 49(7), 7-16.
- WILDERER P.A., SCHROEDER E.D. & KOPP H. (Hrsg.) (2004): Global Sustainability: A New Perspective for Science and Engineering, Economics and Politics. Wiley-VCH, Weinheim, 240 pp.

*Dr.-Ing. Drs. h.c. Peter A. Wilderer  
Technische Universität München  
Am Coulombwall, 85748 Garching  
peter.wilderer@mytum.de*