

## Funktion und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel

Tietz, Hans-Peter

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL)

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Tietz, H.-P. (2011). Funktion und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel. In H.-P. Tietz, & T. Hühner (Hrsg.), *Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung: Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme* (S. 5-18). Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung - Leibniz-Forum für Raumwissenschaften.  
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-279838>

### Nutzungsbedingungen:

*Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.*

*Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.*

### Terms of use:

*This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.*

*By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.*

*Hans-Peter Tietz*

## **Funktion und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel**

S. 5 bis 18

Aus:

Hans-Peter Tietz, Tanja Hühner (Hrsg.)

## **Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung**

Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme

Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL 235

Hannover 2011

# Funktion und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel

## Gliederung

- 1 Funktionen kommunaler Ver- und Entsorgungssysteme
  - 1.1 Raumbedeutsamkeit der Systeme
  - 1.2 Systembetrachtung
- 2 Bisherige Strukturentwicklung
  - 3 Kennzeichen der Stromversorgung
    - 3.1 Funktion der Stromversorgung
    - 3.2 Räumliche Strukturen der Stromversorgung
  - 4 Kennzeichen der Wärmeversorgung
    - 4.1 Funktion der Wärmeversorgung
    - 4.2 Räumliche Strukturen der Gas- und Fernwärmeversorgung
- 5 Kennzeichen der Wasserversorgung
  - 5.1 Funktion der Wasserversorgung
  - 5.2 Räumliche Strukturen der Wasserversorgung
- 6 Kennzeichen der Abwasserentsorgung
  - 6.1 Funktion der Abwasserentsorgung
  - 6.2 Räumliche Strukturen der Abwasserentsorgung
- 7 Ausblick

Literatur

## 1 Funktionen kommunaler Ver- und Entsorgungssysteme

Die Funktion technischer Infrastruktursysteme ist bereits in deren Bezeichnung enthalten: Stromversorgung, Wärmeversorgung und Wasserversorgung dienen aktiv dazu, Siedlungsgebiete zu versorgen, bzw. stellen die Voraussetzung dar, dass deren Bewohnerinnen und Bewohner sich mit diesen Ressourcen versorgen können. Abwasser- und Abfallentsorgung dienen entsprechend dazu, die Siedlungsgebiete zu entsorgen, bzw. dazu, dass sich die Bewohnerinnen und Bewohner von dem entsorgen können, dessen sie sich entledigen wollen oder das sie aus hygienischen Gründen entsorgen müssen.

Die künftigen Ver- und Entsorgungssysteme werden stark durch die bestehenden Strukturen geprägt, denn in vielen Fällen handelt es sich bei den bisherigen Investitionen um *sunk costs*. Dies sind im betriebswirtschaftlichen Sinn Kosten, die bereits in der Vergangenheit entstanden sind und in der Gegenwart und in der Zukunft nicht mehr verändert werden können. Sie sind damit unwiderruflich festgelegt.

## 1.1 Raumbedeutsamkeit der Systeme

Ver- und Entsorgungssysteme lassen sich heute kaum mehr nur auf die räumliche Ebene der Kommunen, das heißt auf das eigene Gemarkungsgebiet eines kommunalen Unternehmens beziehen. Ver- und Entsorgungsgebiete für die Strom-, Wärme- oder Wasserversorgung bzw. für die Abwasser- oder Abfallentsorgung mit ihren aufwendigen Netzen haben sich im Rahmen der Suburbanisierungsprozesse ihre Kundinnen und Kunden wiederholt und sich daher über die Grenzen der Kommune hinaus ausgedehnt. Gerade bei der Versorgung größerer Städte liegen die Ressourcen (Energieträger, Wasser) oder die Entsorgungsstandorte (Kläranlagen, Deponien) weit verstreut innerhalb der Gemarkungsgrenzen oder außerhalb in benachbarten Kommunen, sodass Zweckverbände gebildet wurden, um zu gemeinsamen dezentralen Systemen für einzelne Teilgebiete oder zu regionalen, meist zentralen Lösungen im Rahmen einer Lastenteilung mehrerer Kommunen zu kommen.

Mit der Konzentration auf einzelne Sparten (Strom, Gas, Fernwärme, Wasser, Abwasser) haben die regionalen und überregionalen Ver- und Entsorgungsunternehmen eine Entwicklung eingeleitet, welche sich immer häufiger nur auf eine einzige Ver- bzw. Entsorgungsaufgabe bezieht und damit die erforderliche Koordination solcher Systeme untereinander, aber auch die Abstimmung mit den Siedlungsstrukturen deutlich erschwert. Die strategische Ausbauplanung wird somit auf der Ebene der Fachplanungen jeweils einzeln vorgenommen, wobei sich diese Systeme weitgehend der kommunalen Planung, insbesondere der Steuerung durch die Stadtplanung bzw. eine Stadtentwicklungsplanung, entziehen. Einzig in solchen Kommunen, die ihre kommunalen Querverbundunternehmen erhalten konnten, findet eine solche Koordination informell statt. Für eine formelle Planung wurden gerade im Energiebereich die sonst üblichen Planungsinstrumente häufig aufgegeben. Eine vorausschauende Planung unter Abwägung vielfältiger öffentlicher Belange wurde somit weitgehend zugunsten einer Maßnahmen- und Investitionsplanung durch die betriebswirtschaftlich agierenden Akteure einer spartenorientierten Fachplanung überlassen. Lediglich im Bereich kleinteiliger räumlicher Strukturen übernimmt diese Aufgabe teilweise die Bauleitplanung.

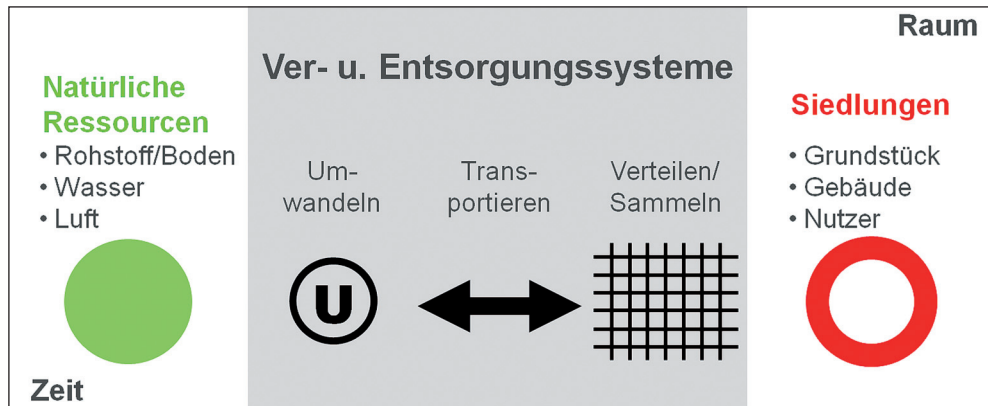
## 1.2 Systembetrachtung

Betrachtet man die öffentlichen Anlagen und Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung mit einer einheitlichen Systematik, so werden deren Gemeinsamkeiten, aber auch ihre Unterschiede deutlich. Die technischen Systeme lassen sich wiederum nach den Schritten Umwandlung, Transport und Verteilung/Sammlung unterscheiden. Diese Trennung ergibt sich sowohl aus ihren unterschiedlichen Anforderungen im Raum (als Punkt-, Linien- oder Netzinfrastruktur) als auch aufgrund der zeitlichen Unterschiede zwischen Aufkommen und Bedarf, die sich je nach ihrer Speichermöglichkeit unterschiedlich auswirken.

Bis auf die Abfallentsorgung erfolgt der Transport bei allen Systemen weitgehend leitungsgebunden, und hier meist unterirdisch. Kennzeichen der technischen Systeme sind ihre Unteilbarkeit, hohe Investitionskosten und ihre Pfadabhängigkeit – als Stoffstrom zwischen den Rohstoffen (wie Kohle) bzw. den Ressourcen (wie Wasser) und den Siedlun-

gen. In Letzteren sind die Strom-, Wärme- oder Wasserverbraucher bzw. Abwasser- oder Abfallproduzenten verortet (vgl. Tietz 2007).

Abb. 1: Ver- und Entsorgungssysteme, natürliche Ressourcen und Siedlungen



Quelle: Tietz 2007

Die Ver- und Entsorgungssysteme stellen daher eine Verbindung zwischen den natürlichen Ressourcen und den Siedlungen dar, für die einerseits ökologische, andererseits soziale Zielsetzungen gelten (vgl. Abbildung 1). Zu den ökologischen Zielen zählt der Umweltschutz, wie z. B. der Gewässerschutz, und zunehmend gewinnen dabei – durch die Umwandlung und Nutzung von regenerativen Energien für die Strom- und Wärmeversorgung – auch Ziele des Klimaschutzes an Bedeutung. Bei den sozialen Zielen ist insbesondere der Gedanke der Daseinsvorsorge zu nennen. Er zielt auf den ubiquitären Zugang zu den Systemen der Ver- und Entsorgung. Beispiele in Entwicklungsländern, in denen ein solcher Zugang weitgehend fehlt, zeigen, dass hierdurch ein nachhaltiges Wachstum und auch eine ökonomische Entwicklung des jeweiligen Versorgungsgebietes nicht mehr gewährleistet sind. Aber auch in Deutschland gilt nach wie vor – trotz einer bestehenden flächendeckenden Versorgung – , dass der Erhalt und die Anpassung an die veränderten Randbedingungen der Versorgungssysteme ein wichtiger Standortfaktor im kommunalen und regionalen Bereich ist.

Die Unterschiede hinsichtlich der zeitlichen oder räumlichen Verfügbarkeit der Systeme, deren Kosten oder Qualität oder gar deren fehlende Verfügbarkeit schaffen soziale Disparitäten. Die Systeme nehmen die Stoffströme auf, die im Raum an unterschiedlichen Orten, zu unterschiedlichen Zeiten und mit unterschiedlichen Mengen anfallen bzw. benötigt werden. Die Auswertung der Stoffstromanalysen der letzten Jahre hat allerdings verdeutlicht, dass mit Hilfe des Stoffstromansatzes allein eine Analyse der dem Stoffwechsel zugeschriebenen Vermittlungsfunktion zwischen Natur und Gesellschaft nicht möglich ist (vgl. Schramm 2006). Gleichzeitig sollen diese Systeme es ermöglichen, nicht oder nicht vollständige verbrauchte Stoffe im Kreislauf zu führen und diese wiederzuverwenden.

## 2 Bisherige Strukturentwicklung

Bevor es öffentliche Systeme zur Ver- und Entsorgung gab, haben sich Städte insbesondere dort entwickelt, wo günstige naturräumliche Voraussetzungen für eine Versorgung mit Energie oder mit Trinkwasser unmittelbar vor Ort gegeben waren. Daher sind größere Siedlungen vorzugsweise an leistungsfähigen Verkehrswegen oder an Flüssen entstanden, um günstig Brennstoffe antransportieren oder Wasserkraft lokal nutzen bzw. die Abwässer und die Abfälle schnell entsorgen zu können. Abseits solcher Standorte, also im ländlichen Raum, war die Siedlungsentwicklung meist durch die Kapazität der vorhandenen dezentralen Versorgungspotenziale oder aber bei der Entsorgung durch die Selbstreinigungskraft der Böden oder der Fließgewässer begrenzt. Erst mit Zunahme der Bevölkerung und wachsender Siedlungsdichte wurden spätestens ab dem Zeitalter der Industrialisierung auch die natürlichen Ver- und Entsorgungssysteme in Städten überlastet. So überstiegen die Einleitungen von Abwasser die Selbstreinigungskraft der Flüsse, und flussabwärts war das Wasser des Flusses nur noch bedingt für die Trinkwassergewinnung geeignet.

Gemeinwesen haben häufig ihre Standortdefizite durch Investitionen in die Infrastruktur wettmachen und sich daher auch in einem sonst ver- bzw. entsorgungstechnisch ungünstigen Umfeld behaupten können. So dürfte es selbst bis heute kaum einen Fall gegeben haben, bei dem die Siedlungsentwicklung einer Stadt durch mangelnde technische Versorgungsmöglichkeiten eingeschränkt gewesen wäre. Im Gegenteil, die stetig verbesserte Ausstattung mit Infrastruktursystemen hat neben zahlreichen anderen Gründen auch dazu beigetragen, die Bevölkerung und die Arbeitsplätze aus den ländlichen Räumen in die Städte zu ziehen. Dies hat nicht nur zu einem Siedlungswachstum beigetragen, sondern auch die Finanzierung eines fortschreitenden Ausbaus der technischen Versorgungssysteme ermöglicht (siehe hierzu auch Moss et al. 2008).

Es waren dann allerdings die Entsorgungsprobleme, welche Ende des 19. Jahrhunderts den Städten die Grenzen ihres Wachstums aufgezeigt haben. Da die Industrialisierung jedoch auch eine enorme technische Entwicklung im Bereich der Abwasserentsorgung mit sich brachte, konnte diese Gefahr, die bereits durch große hygienische Probleme offenkundig wurde, wiederum durch Investitionen in die Infrastruktur der Städte beseitigt werden (siehe auch Frank, Gandy 2006). Nun wurden dort nach und nach auch unterirdische Entsorgungsstrukturen aufgebaut, die nicht nur die Zerstörungen zweier Weltkriege überstanden, sondern mit ihren Netzen auch noch heute aufgrund der immensen Investitionen in den Untergrund die Wettbewerbsvorteile der Städte prägen.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts brachte dann unter anderem der Grundsatz der gleichwertigen Lebensverhältnisse in den ländlichen Räumen einen weiteren Schub für die Infrastruktur. Durch entsprechende Umweltziele (siehe oben) wurde nun das flächendeckende System der Ver- und Entsorgung über die Städte hinaus mit einem hohen technischen Standard ausgebaut. Wegen der im ländlichen Raum geringeren Siedlungsdichten ergab sich bei den für Städte mit hohen Dichten konzipierten Systemen nun ein erheblicher Anstieg der Kosten, der noch durch die von der Gesetzgebung etablierten hohen Umweltstandards verstärkt wurde. Umweltziele wie der Ressourcenschutz und der Klimaschutz sind inzwischen zu gesellschaftlichen Zielen erhoben worden.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die technische Infrastruktur hatten die starken Suburbanisierungstendenzen. Diese führten dazu, dass die Ver- und Entsorgungsleitungen den Einwohnern in die Stadtrandzonen nachfolgen mussten, in Gebiete mit weniger dichten Siedlungsformen, deren Erschließung mit erhöhten Kosten verbunden war. Durch die Möglichkeit, diese Erschließungskosten auf alle Nutzerinnen und Nutzer der immer größer werdenden Systeme umzulegen, ging diese Entwicklung voll zu Lasten der Gebührenzahler, die sich die Abwanderung in ein „besseres“ Wohnumfeld am Rande der Agglomerationsräume nicht leisten konnten. Somit ergab sich eine sozial fragwürdige Quersubventionierung der Suburbanisierung (vgl. Siedentop 2006).

Maßgeblich für die Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Ver- und Entsorgungssystemen ist die Dichte der Siedlungsgebiete. Daher wirken sich die geplanten, aber auch die ungeplanten Entwicklungen wie das „Schrumpfen“ der Städte durch den demographisch bedingten Bevölkerungsrückgang und die kaum planerisch zu steuernden Wanderungsbewegungen gerade bei den besonders dichteempfindlichen Systemen wie der Fernwärmeversorgung und der Abwasserentsorgung negativ aus (vgl. Westphal 2008).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Situation der Ver- und Entsorgungssysteme heute durch Strukturen geprägt ist,

- die Ende des 19. Jahrhunderts entstanden sind und durch Sanierung erhalten werden müssen,
- die auf Siedlungswachstum, jedoch nicht auf Schrumpfung ausgerichtet sind,
- die von einer öffentlichen Daseinsvorsorge ausgehen und somit nur eingeschränkt eine privatwirtschaftliche Optimierung zulassen,
- die für die dünn besiedelten ländlichen Räume weitgehend die gleichen Standards vorsehen wie für die wesentlich dichteren Städte,
- die durch die einheitliche Umlage der Bau- und Betriebskosten innerhalb gewachsener Ver- bzw. Entsorgungsgebiete keine räumlichen Steuerungsmöglichkeiten eines Wachstums-, Schrumpfungs- oder Erneuerungsprozesses vorsehen.

### 3 Kennzeichen der Stromversorgung

Zur Versorgung von Haushalten und Industrie mit Energie wird insbesondere der Sekundärenergieträger Strom eingesetzt, da er im Hinblick auf den Bedarf an Licht, Kraft und Wärme/Kälte die größte Flexibilität in der räumlichen Verteilung und die größte Nutzungsvielfalt im Hinblick auf die Versorgungsaufgaben aufweist. Raumbedeutsame Anlagen der Stromversorgung sind Kraftwerke unterschiedlicher Größenordnungen (von 0,5 MW als kleine Biogasanlage bis hin zu 1.400 MW-Blöcken bei der Kernkraft), Leitungstrassen zum Energietransport (der Hoch- und Höchstspannungsebene ausgeführt als Freileitung oder Erdkabel) und Netze unterschiedlicher Spannungsebenen zur Verteilung des Stroms innerhalb der zu versorgenden Regionen sowie in den Siedlungsgebieten selbst.



### 3.1 Funktion der Stromversorgung

Die Grund- oder Daseinsfunktion der Stromversorgung ist es, die Siedlungsgebiete ubiquitär mit Licht und Kraft zu versorgen. Bei der Versorgung mit der Nutzenergie Raumwärme, die im nächsten Abschnitt noch ausführlicher behandelt wird, ist der Endenergieträger Strom aufgrund der geringen Effizienz hinsichtlich des Primärenergieeinsatzes nur wenig geeignet. Er gewinnt bei der durch Wärmedämmmaßnahmen und Einsparbemühungen deutlich zurückgehenden Wärmedichte im Raumwärmebereich durch seine vergleichsweise geringen Transportkosten jedoch immer mehr an Bedeutung und stabilisiert damit seine Funktion als bedeutendster Energieträger.

Bei der Notwendigkeit, auch in den Randbereichen der Versorgungsgebiete und in den Versorgungsgebieten mit einer sehr geringen Dichte eine flächendeckende Versorgung wirtschaftlich sinnvoll zu gewährleisten, liegt es nahe, die Stromversorgung der Haushalte außerhalb der Kerngebiete gegebenenfalls künftig dezentral zu sichern und hier die auch dezentral vorhandenen regenerativen Energieträger vor Ort zu nutzen. Die Notwendigkeit, parallel dazu große industrielle Verbraucher mit oft stark schwankendem Bedarf jederzeit ausreichend zu versorgen und eine großräumige Spannungs- und Frequenzhaltung zuverlässig durchzuführen, macht auch künftig ein zentrales nationales System notwendig, das international eingebunden ist. Zwar steigt der Strombedarf derzeit durch neue Anwendungsbereiche, die Bemühungen um Einsparung und effizienten Einsatz beim Strom werden jedoch bei dem bestehenden Versorgungssystem lediglich einige Anpassungen und neue Akteure erfordern, die die Notwendigkeit einer ubiquitären Stromversorgung auch künftig nicht grundsätzlich in Frage stellen.

Im Umweltbereich steht die Stromversorgung nach einer erfolgreichen Anpassung im Bereich der Luftschadstoffe nun vor der großen Herausforderung einer Anpassung an die Klimaschutzziele. Der Emissionshandel und die gesetzlichen Regelungen zum Vorrang erneuerbarer Energien werden Einfluss haben auf Standorte und Trassen, sowohl im kommunalen als auch im regionalen und (inter)nationalen Bereich. Da die Verbraucher in ihren Wohnungen oder Betrieben unmittelbar für den verbrauchten Strom veranlagt werden, können im Bereich der Stromversorgung die Marktmechanismen wirken, die mit der Liberalisierung und Privatisierung des Marktes eingeführt wurden.

Bei der Ansiedlung von Industriebetrieben kam in der Vergangenheit den kommunalen Stromversorgungsunternehmen eine wesentliche Rolle zu, wenn es darum ging, Standortvorteile durch attraktive Strompreise zu bieten, auch wenn dies häufig zulasten der Strompreise für die kommunalen Haushaltskunden ging. Durch die Liberalisierung des Strommarktes haben sich hier die Bedingungen wesentlich verändert. Die erforderlichen Stromkapazitäten können nun zwar im Wettbewerb beschafft werden, unterliegen aber der Verfügbarkeit eines leistungsfähigen Stromnetzes und den hierfür anfallenden Kosten.

### 3.2 Räumliche Strukturen der Stromversorgung

Die räumlichen Strukturen im System der Stromversorgung ergeben sich aus den jeweiligen Aufkommensorten der Brennstoffe und den Verbrauchsschwerpunkten. Neben den Siedlungen mit ihren Wohn-, Dienstleistungs- und Industriestandorten sind dies auch künftig die Lagerstätten der heimischen Braunkohle und verstärkt solche Bereiche, in



denen sich die regenerativen Energieträger nutzen lassen. Durch den vorgesehenen Ersatz der Kernenergie, die derzeit etwa zu einem Viertel zur Stromproduktion beiträgt, wird sich der größte Anpassungsbedarf ergeben, insbesondere wenn hierzu die regenerativen Energien den größten Beitrag leisten sollen.

### *Standorte für die Stromversorgung*

Umstritten ist die künftige Rolle der Steinkohle, insbesondere wegen der großen Kraftwerksblöcke (ca. 600 MW), die hier zum Einsatz kommen. Etwa 60 solcher Standorte sind derzeit im Gespräch, von denen etwa 30 realisiert werden dürften. Der Grund hierfür ist, dass der Kernkraftausstieg und die Liberalisierung des Marktes in Deutschland zahlreiche ausländische Investoren als unabhängige Stromerzeuger anlocken und so den gewünschten Wettbewerb am deutschen Strommarkt ausgelöst haben. Anders als die etablierten Stromerzeuger, die auf ihre bestehenden Standorte zurückgreifen können, fragen diese neuen Marktteilnehmer betriebswirtschaftlich optimale Standorte nach. Für den Energieträger Steinkohle liegen diese zumeist im Norden Deutschlands, dort, wo der Brennstoff per Schiff oder per Bahn in möglichst großen Einheiten angeliefert werden kann und wo Kühlwasser in großen Mengen zur Verfügung steht, um den thermischen Umwandlungsprozess möglichst effektiv zu gestalten. Die Möglichkeit, dann auch noch vor Ort die Abwärme nicht nur nutzen, sondern auch mit langfristigen Verträgen für die Prozess- oder Raumwärmeversorgung an Kommunen oder industrielle Großabnehmer verkaufen zu können, hält sich damit an den überhaupt verfügbaren Standorten in Grenzen.

Die etablierten Stromerzeuger setzen dagegen ganz auf ihre bestehenden Standorte. Diese genießen meist Bestandsschutz, sodass nicht hinterfragt werden kann, ob sie tatsächlich für eine Weiternutzung geeignet sind. Aus raumordnerischer oder stadtplanerischer Sicht, aber auch aus Sicht der betroffenen Nachbarschaft wäre dies jedoch geboten (vgl. Tietz 2006). Aber auch der Umstieg auf regenerative Energieträger erfordert neue, insbesondere dezentrale Standorte, die in einem besonderen Konfliktverhältnis zur bestehenden Bebauung stehen. Eine Standortvorsorge im Rahmen der Bauleitplanung findet hier allerdings kaum statt, lediglich bei der Ausweisung von Eignungsbereichen für Windenergieanlagen in der Regionalplanung ist ein erster Schritt getan. Mit der vorsorglichen Ausweisung von Standorten für eine siedlungsnahen Kraft-Wärme-Kopplung bei jeder neuen Ausweisung von Siedlungsflächen könnte die Bauleitplanung hier zusätzlich unterstützend wirken.

Noch stärker ist der Raumbezug bei der Nutzung heimischer Biomasse wie Rapsöl für die Stromversorgung. Hier werden neben den dezentralen Standorten zur Umwandlung in Strom zusätzlich noch die Anbauflächen benötigt, die in Nutzungskonkurrenz zur landwirtschaftlichen Produktion oder zu Flächen mit ökologischen Ausgleichsfunktionen stehen.

### *Trassen und Netze*

Alle neuen Erzeugungsstandorte haben einen erheblichen Einfluss auf das bundesdeutsche Übertragungsnetz, wie eine Studie der Deutschen Energie-Agentur (DENA 2005) gezeigt hat. Netzergänzungen und Netzausbauten sind notwendig, um die künftig überwiegend im Norden Deutschlands erzeugten Kapazitäten (Windkraft und Kohle) in Richtung Süden

zu den Verbrauchsschwerpunkten zu transportieren, um einen Ersatz für einen Großteil der Kernkraftwerke zu schaffen, deren Stromerzeugungskapazitäten Schritt für Schritt zurückgebaut werden. Ein Teil dieses Ausbaus des Übertragungsnetzes wird durch Erweiterungen der bestehenden Trassen möglich sein, in anderen Fällen werden völlig neue Trassen benötigt. Die dadurch entstehenden Konflikte mit dem Landschaftsbild sowie durch die befürchteten Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit stehen in der Diskussion.

Das Bundesland Niedersachsen hat mit der Einführung des Erdkabelgesetzes, das eine Verkabelung dieser Leitungen verlangt, wenn dies wirtschaftlich zumutbar ist, auf den geplanten Nord-Süd-Ausbau reagiert. Erdkabel kosten ein Vielfaches einer Freileitung. Die Übertragungsnetzbetreiber argumentieren auch mit dem Fehlen von Erfahrungswerten zum Einsatz von Erdkabeln gegen diese Gesetzesgrundlage. Eine Entspannung dieser Situation könnten großräumige neue Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen (HGÜ) bringen, die mit geringeren Verlusten behaftet sind als die klassischen Leitungen mit Wechselstrom. Solche Systeme, die als Freileitungen sowie als Erdkabel ausgeführt werden können, benötigen jeweils auch neue Trassen, die bislang noch nicht mit den zahlreichen übrigen Nutzungsansprüchen an die Freiräume abgestimmt sind, die man jedoch jetzt schon auf Ebene der Regionalplanung vorsorglich freihalten könnte.

Große Hoffnungen werden daher in die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung gesetzt. Das sind kleine Anlagen, die in den Wohnhäusern oder Gewerbebetrieben entsprechend dem jeweiligen Bedarf (Raum-)Wärme erzeugen, parallel dabei aber auch Strom produzieren, der dann in das Stromnetz eingespeist wird (bei der stromgeführten Kraft-Wärme-Kopplung entsteht die Wärme als „Nebenprodukt“, hier ist der Strom das „Nebenprodukt“). Diese kleinen dezentralen Kraftwerke können dann auch elektrotechnisch zu „virtuellen Kraftwerken“ zusammengeschaltet werden. Zu lösen ist noch das regeltechnische Problem, innerhalb der Stromnetze neben der ungleichmäßigen Einspeisung von Strom aus der Windkraft auch noch dieses Aufkommen dem schwankenden Bedarf anzupassen. Damit kommt insbesondere der Speicherung von Strom eine neue besondere Bedeutung zu. Eine Überlegung geht dahin, einige Millionen Elektroautos, die zu Hause an der Steckdose hängen, durch eine intelligente Steuerung zum Stromspeicher und damit zu einem Bestandteil der technischen Infrastruktur zu machen.

Ein weiterer Bedarf für den Ausbau der Stromnetze geht von der Liberalisierung des Marktes und dem inzwischen etablierten Stromhandel aus. Zeitweise besteht z. B. in Süddeutschland eine große Nachfrage nach Strom aus Wasserkraft, der zu diesem Zeitpunkt eventuell nur durch eine Lieferung aus Norwegen befriedigt werden kann, zu anderen Zeiten ist es attraktiv, Windkraftstrom aus Norddeutschland nach Skandinavien zu liefern. So entsteht dann ein Bedarf an neuen Stromleitungen, zum Beispiel zwischen Norwegen und Deutschland.

#### **4 Kennzeichen der Wärmeversorgung**

Die Wärmeversorgung gehört nicht zwingend zu den kommunalen Versorgungsaufgaben, da sowohl die von den Haushalten nachgefragte Raumwärme als auch die Prozesswärme für die Industrie ebenso individuell hergestellt werden kann durch Einzelanlagen

mit Energieträgern (Holz, Kohle, Öl, Flüssiggas), die leitungsunabhängig beschafft und gelagert werden können, oder aber solche, die dezentral anfallen und daher bislang nicht wirtschaftlich zentral genutzt werden konnten. Durch den hierfür erforderlichen gezielten Ausbau von kleineren lokalen Fernwärmenetzen, zum Beispiel im Rahmen von Siedlungsgebieten, die von kommunalen Wohnungsbaugesellschaften erstellt werden, sowie durch den kleinräumigen Ausbau des Gasnetzes für die Raumwärmeversorgung ist dieser Versorgungsbereich auch künftig von besonderer Bedeutung für die Kommunen.

#### 4.1 Funktion der Wärmeversorgung

Bei den leitungsgebundenen Systemen zur Wärmeversorgung von Siedlungsbereichen wird häufig Erdgas verwendet, das entweder direkt zu den Einzelfeuerungsanlagen in den zu beheizenden Gebäuden transportiert oder in Heizwerken zu Fern- bzw. Nahwärme umgewandelt wird. Diese Art der leitungsgebundenen Wärmeversorgung über das Transportmedium Wasser nutzt häufig die Abwärme aus der Stromerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) oder erzeugt die Wärmeenergie in Heizwerken über den Primärenergieträger Kohle, zunehmend aber auch durch regenerative Energieträger (Holzpellets, Stroh usw.). Bei der Wärmeversorgung der Siedlungen konkurrieren die leitungsgebundenen Systeme mit den nicht-leitungsgebundenen Systemen unterschiedlichster Energieträger (Öl, Kohle, Biomasse), die das wirtschaftlich zu versorgende leitungsgebundene Potenzial auf dem Wärmemarkt stark einschränken.

Die Wettbewerbssituation im Wärmemarkt ist zurzeit geprägt durch die aneinander gekoppelten Brennstoffpreise für Öl und Erdgas sowie durch sinkende Wärmedichten. Diese werden hervorgerufen durch den geringeren Wärmebedarf für Neubauten insbesondere aufgrund der weitgehenden Bauvorschriften seit 1995 bzw. beim Gebäudebestand durch Isolierung und Fenstertausch im Rahmen der laufenden Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Die geringeren Wärmedichten führen gerade bei den leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen zu höheren spezifischen Verteilungskosten. Diese müssen dann meist durch (Nach-)Verdichtung oder mögliche Erweiterungen an den Rändern des erschlossenen Versorgungsgebietes kompensiert werden.

#### 4.2 Räumliche Strukturen der Gas- und Fernwärmeversorgung

Wärmeverteilungsnetze unterscheiden sich nach Lage, Art und Anzahl der Einspeisepunkte. Wird die Wärme aus einem stadtfernen Großkraftwerk genutzt, so fällt sie entsprechend der Stromproduktion meist ganzjährig an. Dies bedeutet, dass einerseits möglichst ein oder mehrere Wärmespeicher in das System integriert sind und dass andererseits ein (verbraucherndes) Heizwerk zur Verfügung steht, welches die Leistungsspitzen abdeckt (siehe hierzu auch die Ausführungen zur Jahresdauerlinie). Solche Wärmeverteilungssysteme beinhalten meist sowohl Transportleitungen als auch Verteilungsleitungen mit einer Übergabestation zwischen diesen beiden Komponenten. Häufig besteht ein solches Netz aus mehreren Teilnetzen, die zum Teil einzeln aufgebaut (man spricht dann von Inselnetzen) und dann zu einem Gesamtnetz zusammengeführt wurden.

Kleinere Wärmeversorgungssysteme mit stadtnahen Heizkraftwerken können häufig stärker nach dem Wärmebedarf dimensioniert werden. Hier ist jedoch zur Anpassung an

den jahreszeitlich bedingten Wärmebedarf ein Wärmespeicher sinnvoll. Die Abdeckung der Bedarfsspitzen erfolgt auch hier durch eine Heizwerk-Komponente oder durch einen modularen Aufbau der Wärmeversorgungseinheiten („Blöcke“). Die Systeme beinhalten dann meist keine Transport-, sondern nur Unterverteilungsleitungen. Teilweise wird eine Mittelverteilungsebene mit größeren Rohrleitungsquerschnitten eingeführt.

Fernwärmeversorgungsnetze müssen nicht zwingend flächendeckend ein Siedlungsgebiet versorgen. Es ist möglich, dies auf diejenigen Verbraucher zu beschränken, die sich mit den geringsten Leitungskosten erschließen lassen. Anders als bei der Fernwärmeversorgung kann durch eine Gasversorgung neben der Raumwärme auch die Versorgung mit Energie zum Kochen in den Haushalten bereitgestellt werden.

Da sich die Gasversorgung sowohl beim großräumigen Transport als auch bei der Verteilung in den Siedlungsgebieten durch die deutlich geringeren Leitungskosten (niedrigere Baukosten und Leitungsverluste) auszeichnet, ist sie auch sehr viel flexibler dem Bedarf und der Siedlungsstruktur anzupassen. Damit können auch weniger dichte Versorgungsgebiete wirtschaftlich versorgt werden. Die kommunale Gasversorgung ist aus der Abgabe von meist innerstädtisch erzeugtem Stadtgas entstanden, liegt jedoch in der Zwischenzeit fest in der Hand regionaler und nationaler Gasversorger. Diese haben in den letzten Jahrzehnten umfangreich in ein Gasversorgungsnetz investiert, sodass Letzteres eine fast flächendeckende Versorgung der Haushalte ermöglicht. Lediglich bei der Verwendung von Erdgas als Brennstoff für die Stromerzeugung in großem Umfang (z. B. durch Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke) sind Netzergänzungen erforderlich.

Insbesondere wenn es darum geht, die nachwachsenden Rohstoffe, die regenerativen Energien vor Ort zu nutzen, tritt der Bereich der Wärmeversorgung stärker in den Vordergrund, denn hier ist eine gewisse Speichermöglichkeit gegeben (Lagerung der Holzhackschnitzel und Pellets bzw. Speicherung von Biogas bzw. dessen Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz).

Standorte für die Wärmeversorgung sind deutlich entfernungsempfindlicher hinsichtlich des Transportaufwandes der umgewandelten Energie zum Verbraucher als Standorte für die Stromversorgung. Von einem (hinsichtlich Brennstoffanlieferung und Kühlwasserkapazitäten) günstigen Erzeugungsstandort lässt sich Strom meist kostengünstig zu den Verbrauchern in vorhandenen Netzen transportieren. Die gleichzeitige Nutzung der Abwärme von solchen Standorten ist dagegen meist sehr aufwendig, da die hierzu erforderlichen Fernwärmeleitungen spezifisch hohe Baukosten erfordern und mit erheblichen Wärmeverlusten behaftet sind. Diese Standorte liegen zudem aus Gründen des Umweltschutzes meist fernab von Siedlungsgebieten. Die Erzeugung von Prozesswärme (z. B. für Papierfabriken oder Raffinerien) erfolgt bislang weitgehend räumlich autark nach dem Wärmebedarf und damit ohne Berücksichtigung der Möglichkeiten zur gekoppelten Produktion von Strom und Wärme.

## 5 Kennzeichen der Wasserversorgung

Bei der Versorgung mit Wasser wird unterschieden zwischen der Versorgung der privaten Haushalte mit Trinkwasser und dem bislang hauptsächlich von Industriebetrieben, aber auch von Kraftwerken zu Kühlzwecken nachgefragtem Brauchwasser. Raumbedeutsame

Anlagen der Wasserversorgung sind Quell- und Grundwasserfassungen mit den dazugehörigen Schutzgebieten, Trinkwassertalsperren sowie die Anlagen zur Wasseraufbereitung (Wasserwerke) und -speicherung (Hochbehälter, Talsperren). Bei der Planung sind insbesondere hygienische Belange zu berücksichtigen. Dort wo es möglich ist, sollten künftig Brauchwassersysteme die Trinkwassernutzung reduzieren.

## 5.1 Funktion der Wasserversorgung

In Deutschland stehen neben der unmittelbaren Nutzung von Regenwasser zahlreiche Grundwasser- und Oberflächenwasservorkommen für die Nutzung durch die Haushalte zur Verfügung. Die verfügbare Menge an Regenwasser ist durch die lokale Regenspende, die verfügbare Grundstücksfläche pro Nutzer und die Qualität des Wassers bestimmt. Hat das Regenwasser keine Trinkwasserqualität, muss es aufbereitet werden. Dies ist in kleinen Einheiten spezifisch teurer und die bestimmungsgemäße Handhabung lässt sich nur unzureichend kontrollieren. Die verfügbare Grundstücksfläche reicht in der Regel in den stark verdichteten städtischen Siedlungsgebieten trotz der bundesweit ergiebigen Regenspende nicht aus. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung von Grund- und Oberflächenwasser gibt es in Deutschland eindeutig identifizierbare Wassermangel- und -überschussgebiete.

Betrachtet man die Siedlungsentwicklung der letzten 150 Jahre, so war diese kaum durch das Fehlen verfügbaren Trinkwassers geprägt. Dort, wo es aus stadt- und regionalplanerischen oder strategischen Gründen gewünscht war, Siedlungsflächen auszuweisen oder zu erweitern bzw. Industrie- oder Gewerbegebiete zu erschließen, hat es die Wasserwirtschaft immer ermöglicht, auch die entsprechenden Ressourcen bereitzustellen. Letztlich waren nicht einmal solche Bereiche, in denen sich ein ausgeprägtes System an Fernwasserversorgung etabliert hat (Ruhrgebiet, Frankfurt, Stuttgart), durch Wassermangel geprägt. Hier spielten meist ökonomische Überlegungen eine Rolle, die den Antransport selbst aus weit entfernten Gegenden kostengünstiger erscheinen ließen als die Aufbereitung von eigenem Oberflächenwasser.

## 5.2 Räumliche Strukturen der Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung ist nach wie vor dezentral organisiert. Derzeit gibt es in Deutschland mehr als 6.000 Unternehmen, der größte Teil mit Eigengewinnung. Es können im Wesentlichen vier Betriebsformen unterschieden werden: (1) Betrieb durch Gemeinde im Rahmen der allgemeinen Gemeindeverwaltung (Regiebetrieb); (2) Betrieb durch Gemeinde als Sondervermögen mit eigenständiger Buchführung (Eigenbetrieb); (3) Unternehmen in privater Rechtsform in der Hand der Gemeinde (Eigengesellschaft); (4) Übertragung des Anlagenbetriebes auf einen privaten Unternehmer, wobei die Verantwortung für die Aufgabenerfüllung bei der Gemeinde verbleibt (Betreibermodell).

Für Überlegungen zur Anpassung der Netzinfrastruktur ist die grundlegende Frage für die Zukunft, ob an zentralen Ver- und Entsorgungsanlagen festgehalten wird und die Netze entsprechend angepasst werden, oder ob durch eine Dezentralisierung von Netzen und Anlagen zwar auf die wirtschaftliche Nutzung von Skaleneffekten verzichtet wird, dafür aber eine höhere Anpassungsflexibilität der Systeme erreicht wird. Eine pauschale Bevorzugung einer Strategie ist nicht möglich, zumal zusätzlich die erhöhte Versorgungssicherheit bei vermaschten und Verbund-Netzen zu berücksichtigen ist.

Die Potenziale einer Dezentralisierung sind für Wasserversorgungssysteme anders zu bewerten als für Systeme der Abwasserentsorgung. Verbrauchsrückgänge verursachen im System der Wasserversorgung vergleichsweise leichter zu bewältigende Probleme als Mengenveränderungen in der Abwasserentsorgung. Somit ist der Veränderungsdruck geringer. Eine dezentrale Wasserversorgung scheidet vielerorts an den verfügbaren Wasserressourcen und bringt Sicherheitsbedenken bei der Überwachung und Steuerung vieler kleiner Anlagen mit sich. Da Trinkwasser ein Lebensmittel ist, werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt und eine lückenlose Qualitätskontrolle muss gewährleistet sein. Das Risiko bei Versagen dezentraler Anlagen ist in diesem Fall anders zu bewerten als es in der Abwasserentsorgung der Fall ist. Es kann also bei der Wasserversorgung keine Nutzengleichheit zentraler und dezentraler Alternativen angenommen werden.

## 6 Kennzeichen der Abwasserentsorgung

Die Abwasserentsorgung von Haushalten, Industrie und Kraftwerken dient in erster Linie zur Gewährleistung der Umwelthygiene in den Siedlungsgebieten sowie zum Erhalt und zur Verbesserung der Gewässergüte. Die Teilsysteme werden unterschieden nach Schmutzwasser und Regenwasser. Bei der Schmutzwasserentsorgung steht zum einen die Erhöhung des Anschlussgrades durch die Ausweitung des Einzugsgebiets bestehender Kläranlagen im Vordergrund, zum anderen die Ergänzung der bestehenden Systeme durch kleinere, dezentrale Anlagen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit, die Ergänzung durch weitergehende (z. B. chemische) Stufen sowie der Ausbau und die Organisation der Klärschlamm Entsorgung. Eine wesentliche Herausforderung der nächsten Jahre wird die Anpassung der bestehenden Systeme in Qualität und Quantität an die sich verändernden demographischen Bedingungen in den Entsorgungsgebieten darstellen.

### 6.1 Funktion der Abwasserentsorgung

Das System Abwasserentsorgung weist eine sehr starke Raumbezogenheit auf, da das Abwasser aus hygienischen Gründen möglichst von den Siedlungsbereichen räumlich abgetrennt werden soll, dieser Vorgang jedoch aus Gründen der Energieeinsparung mit Hilfe der Schwerkraft stattfinden sollte. Das heißt, das Wasser im Abwassersystem sollte bergab fließen und auf möglichst direktem Weg den Gewässern, technisch auch Vorfluter genannt, zugeführt werden. Ein wesentlicher Bestandteil der Regelung ist es daher, das System Abwasserentsorgung so den Siedlungsbereichen zuzuordnen, dass dieses mit möglichst geringem Aufwand betrieben werden kann.

Aus diesem Grund führen die Abwassersammler aus der Stadt heraus meist bergab in Richtung des nächsten Fließgewässers, welches das Abwasser aufnimmt und durch die Selbstreinigungskraft klärt. Durch die steigende Abwasserbelastung war es nötig, das Wasser vor der Wiedereinleitung zu behandeln. Zunächst wurde eine mechanische Behandlung eingeführt, später eine biologische und schließlich eine chemische Behandlung. Die Kläranlagen nahmen stets an Größe zu und die gesammelten Abwässer erzeugten unangenehme Gerüche, sodass diese Anlagen schließlich zwangsläufig möglichst weit außerhalb der Stadt und doch am Abwassersammler errichtet wurden, noch bevor die Leitungen in den Fluss mündeten. Das heißt, eine Regelungsmöglichkeit hinsichtlich des



Kläranlagenstandortes besteht so gut wie nicht (solche Anlagen gelten daher im Außenbereich als baugenehmigungsrechtlich privilegiert).

Geregelt werden können jedoch die Größe der Teilsysteme und der Ort der Einleitung in ein Gewässer. Dies muss nicht immer der nächstgelegene größere Fluss sein, diese Aufgabe kann auch das Grundwasser übernehmen, wenn die Restbelastung des geklärten Abwassers nur noch gering ist oder wenn es sich von vornherein um das wenig belastete Regenwasser handelt.

Gesellschaftliches und politisches Ziel ist es derzeit immer noch insbesondere aufgrund des Umweltschutzes (inzwischen weniger aus hygienischen Gründen), den Anschlussgrad der Siedlungsflächen weiter zu erhöhen. Darüber hinaus lässt sich das System Abwasser durch seine Größe und seinen Einzugsbereich steuern. Hierbei spielen sowohl die Siedlungsdichte als auch die Topographie sowie die Skaleneffekte bei dem Transport und der Behandlung großer Abwassermengen eine Rolle. Auch hier bestimmt die Siedlungsstruktur maßgeblich, welches System raumplanerisch am besten geeignet ist.

## 6.2 Räumliche Strukturen der Abwasserentsorgung

Technische Entwicklungen haben im Bereich der Abwasserentsorgung eine Unabhängigkeit der erzielbaren Ablaufwerte von der Systemgröße ermöglicht und dabei mehr Entscheidungsfreiheit bei Lage und Größe der Kläranlagenstandorte gebracht. Die grundsätzliche Entscheidung zwischen zentralen und dezentralen Abwassersystemen muss nicht nur die räumliche Siedlungsstruktur (Dichte, Lage der Vorfluter, Standortpotenziale) einbeziehen, sondern auch die individuellen Kosten aufgrund der lokalen Rahmenbedingungen.

Bei dem Vergleich von Systemalternativen stößt allerdings die etablierte Kostenvergleichsrechnung, wie sie in der Abwasserwirtschaft häufig angewendet wird, an ihre Grenzen, da dort nur monetär bewertbare Elemente für festgelegte Abschreibungszeiträume in die Überlegungen einbezogen werden. Eine wirtschaftliche Vergleichsrechnung für kurze Zeiträume begünstigt nicht die Entscheidung für langfristig kostengünstigere Lösungen. Insbesondere bei alternativen Sanitärkonzepten fallen die Kostenvergleichsrechnungen desto positiver aus, je länger der betrachtete Zeitraum in die Zukunft reicht. Bisher vorliegende Studien zu Kostenvergleichen zwischen konventionellen und alternativen Sanitärkonzepten zeigen, dass die neuen Sanitärkonzepte nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch vorteilhaft sein können (vgl. Peter-Fröhlich et al. 2006).

## 7 Ausblick

Funktionen und räumliche Strukturen der Ver- und Entsorgungssysteme sind derzeit einem starken Wandel unterworfen. Einerseits wandelt sich die Marktsituation durch organisatorische Neuregelungen wie die Liberalisierung und Privatisierung der Systeme, andererseits treten neue Systeme zur Regulierung und zum Marktanreiz in den Vordergrund und bestimmen die weitere Entwicklung. Neue Akteure am Markt bringen mehr Wettbewerb, aber auch weitere Randbedingungen, die es in der Planung zu berücksichtigen gilt. Ebenso tragen neue technische Entwicklungen, die sowohl neue Anlagen als auch neue Regelungs- und Steuerungstechniken zum Einsatz bringen, dazu bei, Lösungen zu ermöglichen, die die räumliche und zeitliche Verschiebung zwischen Angebot und Nachfrage wettmachen.



Die Funktionen der traditionellen Ver- und Entsorgungssysteme werden erhalten bleiben. Es ist aber der Frage nachzugehen, welche Aufgaben die Kommunen künftig als Daseinsfunktion wirklich übernehmen müssen und was in Eigenverantwortung (dezentral) von den Verbrauchern (Strom, Wärme, Wasser) oder den Produzenten (Abwasser, Abfall) übernommen werden kann. Dabei muss auch die Frage nach der räumlichen Verfügbarkeit erlaubt sein. Muss jeder (abgelegene) Standort gleichermaßen ver- und entsorgt werden können, oder können hier im Sinne eines Ressourcenschutzes Grenzen eingeführt und die Ver- bzw. Entsorgungsaufgaben den Betroffenen in Eigenverantwortung überlassen werden? Schließlich stellt sich künftig vermehrt die Frage nach der Gebührengerechtigkeit, wenn die Nutzer alter, abgeschriebener Systeme weiterhin zur Neuerschließung von Siedlungsgebieten beitragen müssen, ohne dass die Mittel für die Sanierung bzw. Werterhaltung ihrer Systeme bereitgestellt werden.

## Literatur

- DENA – Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (2005): Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020. dena-Netzstudie. Berlin.
- Moss, T.; Naumann, M.; Wissen, M. (Hrsg.) (2008): Infrastrukturnetze und Raumentwicklung. Zwischen Universalisierung und Differenzierung. München.
- Frank, S.; Gandy, M. (Hrsg.) (2006): Hydropolis – Wasser und die Stadt der Moderne. Frankfurt a. M.
- Peter-Fröhlich, A. et al. (2006): EU-Demonstrationsprojekt: Sanitärkonzepte für die separate Erfassung und Behandlung von Urin, Fäkalien und Grauwasser – erste Ergebnisse. In: Pinnekamp, J. (Hrsg.): Gewässerschutz – Wasser – Abwasser. 39. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen, 27/1-27/17.
- Schramm, E. (2006): Kreislauf, Metabolismus, Netz: Leitbilder für einen veränderten städtischen Umgang mit Wasser. In: Frank, S.; Gandy, M. (Hrsg.) (2006): Hydropolis – Wasser und die Stadt der Moderne. Frankfurt a. M., 41-56.
- Siedentop, S. (2006): Zum siedlungsstrukturellen Einfluss auf die Kosten der technischen Infrastruktur. In: Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung (Hrsg.): Was die Stadt im Innersten zusammenhält. Stadtentwicklung als Gemeinschaftsaufgabe. Almanach 2005/2006. Berlin, 297-303.
- Tietz, H.-P. (2006): Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Netzinfrastruktur. In: Gans, P.; Schmitz-Veltin, A. (Hrsg.): Demographische Trends in Deutschland. Folgen für Städte und Regionen. = Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL 226. Hannover, 154-171.
- Tietz, H.-P. (2007): Systeme der Ver- und Entsorgung. Funktionen und räumliche Strukturen. Wiesbaden.
- Westphal, C. (2008): Dichte und Schrumpfung. Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadtechnischen Infrastruktur. = IÖR-Schriften 49. Dresden.