

Hans-Peter Tietz

# Systeme der Ver- und Entsorgung

Hans-Peter Tietz

# Systeme der Ver- und Entsorgung



Teubner

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Tietz** lehrt an der Fakultät Raumplanung der Universität Dortmund das Fachgebiet Ver- und Entsorgungssysteme in der Raumplanung.

Email: [Hans-Peter.Tietz@uni-dortmund.de](mailto:Hans-Peter.Tietz@uni-dortmund.de)

Internet: [www.raumplanung.uni-dortmund.de/ves/](http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/ves/)

1. Auflage Januar 2007

Alle Rechte vorbehalten

© B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

Lektorat: Dipl.-Ing. Ralf Harms / Sabine Koch

Der B.G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.

[www.teubner.de](http://www.teubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-519-00497-4

# Vorwort

Mit diesem Buch sollen alle, die in Ausbildung und Beruf mit Ver- und Entsorgungssystemen in Berührung kommen, in die Lage versetzt werden, diese Systeme in ihrer Gesamtheit zu verstehen, Grundkenntnisse über ihre Funktion zu erlangen und deren Raum- und Umweltwirkungen kennen zu lernen. Jeweils einzeln beschäftigen sich eine ganze Reihe unterschiedlicher fachlicher Disziplinen mit der technischen Weiterentwicklung und den Wechselwirkungen im Raum und mit der Umwelt - gemeinsam für alle zusammen mit einer einheitlichen Systematik geschieht dies in einem Fachbuch hier zum ersten Mal in diesem Umfang.

Den Systemen ist gemeinsam, dass diese dazu dienen, Siedlungsgebiete weitgehend leitungsgebunden mit dem zu versorgen, was man dort zur Grundversorgung braucht (Strom, Wärme, Wasser, Nachrichten), bzw. von dem zu entsorgen, was man nicht mehr braucht (Abwasser, Abfall). Ihre Besonderheit besteht in der technischen sowie betrieblichen Vielfältigkeit und dem sehr unterschiedlichen Zugang über recht verschiedenartige Fachdisziplinen. Dies bedeutet einerseits, dass auch die Fachingenieurin oder der Fachingenieur häufig grundlegende Zusatzkenntnisse aus dem jeweils anderen Fachgebiet benötigt, andererseits, dass es für den Raum- und Umweltplaner oftmals sehr mühsam ist, bei der Vielfalt der Literatur, den richtigen Einstieg in Umfang und Detaillierungsgrad zu bekommen.

Die Elektrotechnik, der Maschinenbau, das Bauingenieurwesen beschäftigen sich traditionell im Rahmen der Gesamtsysteme mit den unterschiedlichen Anlagen der Ver- und Entsorgung, jeder für sich, jeder in seinem Teilbereich. Hinzu kommen inzwischen spezialisierte Ingenieurdisziplinen, die sich mit weiteren Details befassen (Verfahrenstechnik, Nachrichtentechnik, Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft). Diese benötigen einerseits einen Überblick über die Systeme als Ganzes, andererseits nicht-technisches Grundwissen, um deren Funktion als Bestandteil unseres Siedlungsraumes zu verstehen.

Aber auch die Ökologen, Geographen, Raumplaner oder Stadtplaner wollen die Ver- und Entsorgungssysteme mit Hilfe ihrer Fachdisziplin nicht nur in eine Gesamtplanung integrieren, sondern auch unseren zukünftigen Lebensraum gestalten. Auch dazu benötigen sie ausgewähltes technisches Grundwissen.

Intention dieses Buches ist es, mit einer einheitlichen Systematik, die Grundlagen hierfür als Einstieg für alle Fachdisziplinen zu schaffen, welche die Voraussetzungen liefert, sich anschließend gezielt in den jeweiligen Teilbereichen je nach Bedarf weiter zu vertiefen. In der nachfolgenden Auseinandersetzung mit den einzelnen Teilsystemen nimmt das Kapitel zur Stromversorgung deutlich mehr Raum ein, als die Übrigen. Die ist der Tatsache geschuldet, dass sich in diesem Bereich in jüngsten Vergangenheit weitgehende Veränderungen ergeben haben, die darzustellen waren.

Hans-Peter Tietz

Dortmund, im September 2006

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ver- und Entsorgung als System</b>	<b>1</b>
1.1 Systembetrachtung	1
1.2 Definitionen	5
1.3 Funktionen und Merkmale	8
1.3.1 Funktionen der Ver- und Entsorgungssysteme	8
1.3.2 Merkmale der Ver- und Entsorgungssysteme	10
1.3.3 Privatisierung und Liberalisierung der Netzindustrien	12
1.4 Systemelement „natürliche Ressource“	15
1.4.1 Definitionen zu den natürlichen Ressourcen	15
1.4.2 Funktion und räumliche Strukturen der Ressourcen	17
1.4.3 Empfindlichkeiten der Ressourcen	20
1.5 Systemelement „Siedlung“	23
1.5.1 Definitionen zu den Siedlungen	23
1.5.2 Funktionen und räumliche Strukturen der Siedlungen	23
1.5.3 Bedarf, Aufkommen und Kosten der privaten Haushalte	27
1.6 System „Ver- und Entsorgung“	30
1.6.1 Teilelement Umwandlung	30
1.6.2 Teilelement Transport	34
1.6.3 Teilelement Verteilung und Sammlung	37
1.7 Literatur zu Ver- und Entsorgung als System	40
<b>2 Stromversorgung</b>	<b>43</b>
2.1 Stromversorgung als System	43
2.1.1 Systemeigenschaften der Stromversorgung	43
2.1.2 Regelungsmöglichkeiten im System Stromversorgung	45
2.2 Grundlagen zum System Stromversorgung	48
2.2.1 Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	48
2.2.2 Rechtliche Grundlagen	56
2.3 Stromversorgung in Deutschland	60
2.3.1 Geschichte der Stromversorgung	60
2.3.2 Aktuelle Situation der Stromversorgung	61
2.3.3 Pflichten und Aufgaben von Netzbetreibern	65
2.4 Verfügbare Ressourcen und Strombedarf	68
2.4.1 Fossile Energieträger	68
2.4.2 Regenerative Energieträger	69
2.4.3 Strombedarf der Siedlungen	73
2.4.4 Die Ressourcennutzung der Stromwirtschaft	75
2.5 Stromerzeugung	77
2.5.1 Komponenten der Stromerzeugung und deren Funktion	79
2.5.2 Raum- und Umweltwirkungen der Stromerzeugung	85

2.6 Stromtransport	92
2.6.1 Komponenten des Stromtransports und deren Funktion	92
2.6.2 Raum- und Umweltwirkungen des Stromtransports	103
2.7 Stromverteilung	111
2.7.1 Komponenten der Stromverteilung und deren Funktion	113
2.7.2 Raum- und Umweltwirkungen der Stromverteilung	115
2.8 Literatur zur Stromversorgung	116
<b>3 Wärmeversorgung</b>	<b>119</b>
3.1 Wärmeversorgung als System	119
3.1.1 Systemeigenschaften der Wärmeversorgung	119
3.1.2 Regelungsmöglichkeiten im System Wärmeversorgung	122
3.2 Grundlagen zum System Wärmeversorgung	123
3.2.1 Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	123
3.2.2 Rechtliche Grundlagen	126
3.3 Wärmeversorgung in Deutschland	129
3.3.1 Geschichte der Wärmeversorgung	129
3.3.2 Aktuelle Situation der Wärmeversorgung in Deutschland	130
3.4 Verfügbare Ressourcen und Wärmebedarf	131
3.4.1 Primärenergiefaktor	131
3.4.2 Regenerative Energieträger	132
3.4.3 Wärmebedarf	134
3.5 Wärmeerzeugung	137
3.5.1 Komponenten der Wärmeerzeugung und deren Funktion	137
3.5.2 Raum- und Umweltwirkungen der Wärmeerzeugung	138
3.5.3 Kosten der Wärmeerzeugung und deren Trägerschaft	139
3.6 Wärmetransport	141
3.6.1 Komponenten des Wärmetransports	141
3.6.2 Raum- und Umweltwirkungen des Wärmetransports	145
3.6.3 Kosten des Wärmetransports und deren Trägerschaft	145
3.7 Wärmeverteilung	147
3.7.1 Wärmeverteilung und deren Funktion	147
3.7.2 Raum- und Umweltwirkungen der Wärmeverteilung	149
3.8 Literatur zur Wärmeversorgung	150
<b>4 Nachrichtenversorgung</b>	<b>151</b>
4.1 Nachrichtenversorgung als System	151
4.1.1 Systemeigenschaften der Nachrichtenversorgung	151
4.1.2 Regelungsmöglichkeiten im System Nachrichtenversorgung	153
4.2 Grundlagen zum System Nachrichtenversorgung	154
4.2.1 Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	154
4.2.2 Rechtliche Grundlagen	158

4.3	Nachrichtenversorgung in Deutschland	160
4.3.1	Geschichte der Nachrichtenversorgungssysteme	160
4.3.2	Aktuelle Situation der Nachrichtenversorgung	162
4.4	Verfügbare Systeme und Nachrichtenbedarf	170
4.4.1	Verfügbare Kommunikationssysteme	170
4.4.2	Kommunikations- und Nachrichtenbedarf	171
4.5	Senden und Empfangen von Nachrichten	172
4.5.1	Anlagen zur „Umwandlung“	172
4.5.2	Raum- und Umweltwirkungen von Sendeanlagen	173
4.6	Nachrichtenübertragung	176
4.6.1	Übertragungsverfahren	176
4.6.2	Raum- und Umweltwirkungen der Nachrichtenübertragung	179
4.7	Nachrichtennetze	183
4.7.1	Telekommunikationsnetze	183
4.7.2	Mobilfunk- und Richtfunknetze	185
4.7.3	Raum- und Umweltwirkungen der Nachrichtenverteilung	186
4.8	Literatur zur Nachrichtenversorgung	187
<b>5</b>	<b>Wasserversorgung</b>	<b>189</b>
5.1	Wasserversorgung als System	189
5.1.1	Systemeigenschaften der Wasserversorgung	189
5.1.2	Regelungsmöglichkeiten im System Wasserversorgung	192
5.2	Grundlagen zum System Wasserversorgung	193
5.2.1	Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	193
5.2.2	Rechtliche Grundlagen	195
5.3	Wasserversorgung in Deutschland	198
5.3.1	Geschichte der Wasserversorgungssysteme	198
5.3.2	Aktuelle Situation der Wasserversorgung	199
5.4	Verfügbare Ressourcen und Wasserbedarf	203
5.4.1	Verfügbare Ressourcen	203
5.4.2	Wasserbedarf der Siedlungen	205
5.5	Wasseraufbereitung	210
5.5.1	Komponenten der Wasseraufbereitung und deren Funktion	210
5.5.2	Raum- und Umweltwirkungen der Wasseraufbereitung	213
5.6	Wassertransport und Wasserspeicherung	215
5.6.1	Komponenten des Wassertransportes und deren Funktion	215
5.6.2	Komponenten der Wasserspeicherung und deren Funktion	216
5.6.3	Raum- und Umweltwirkungen von Transport und Speicherung	219
5.7	Wasserverteilung	220
5.7.1	Komponenten der Wasserverteilung und deren Funktion	221
5.7.2	Raum- und Umweltwirkungen der Wasserverteilung	223
5.8	Literatur zur Wasserversorgung	224

<b>6 Abwasserentsorgung</b>	<b>227</b>
6.1 Abwasserentsorgung als System	227
6.1.1 Systemeigenschaften der Abwasserentsorgung	227
6.1.2 Regelungsmöglichkeiten im System Abwasserentsorgung	228
6.2 Grundlagen zum System Abwasserentsorgung	230
6.2.1 Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	230
6.2.2 Rechtliche Grundlagen	233
6.3 Abwasserentsorgung in Deutschland	238
6.3.1 Geschichte der Abwasserentsorgungssysteme	238
6.3.2 Aktuelle Situation der Abwasserentsorgung in Deutschland	240
6.4 Abwasseraufkommen und Entsorgungsbedarf	242
6.4.1 Abwasseranfall aus den Siedlungen	242
6.4.2 Abwasseranfall aus der Industrie	244
6.4.3 Klärschlammanfall	245
6.4.4 Ressourcenschutz	247
6.5 Abwassersammlung	257
6.5.1 Komponenten der Abwassersammlung und deren Funktion	257
6.5.2 Raum- und Umweltwirkungen der Abwassersammlung	260
6.6 Abwassertransport	261
6.6.1 Komponenten des Abwassertransportes und deren Funktion	261
6.6.2 Raum- und Umweltwirkungen des Abwassertransportes	262
6.7 Abwasser- und Klärschlammbehandlung	263
6.7.1 Komponenten der Abwasserbehandlung und deren Funktion	263
6.7.2 Komponenten der Klärschlammbehandlung und deren Funktion	269
6.7.2 Raum- und Umweltwirkungen der Abwasserbehandlung	274
6.8 Literatur zur Abwasserentsorgung	277
<b>7 Abfallentsorgung</b>	<b>279</b>
7.1 Abfallentsorgung als System	279
7.1.1 Systemeigenschaften der Abfallentsorgung	279
7.1.2 Regelungsmöglichkeiten im System Abfallentsorgung	281
7.2 Grundlagen zum System Abfallentsorgung	282
7.2.1 Physikalische Maßeinheiten und technische Erläuterungen	282
7.2.2 Rechtliche Grundlagen	283
7.3 Abfallentsorgung in Deutschland	291
7.3.1 Geschichte der Abfallwirtschaft	291
7.3.2 Aktuelle Situation der Abfallentsorgung in Deutschland	294
7.4 Abfallaufkommen und Entsorgungskapazitäten	296
7.4.1 Abfallanfall	296
7.4.2 Entsorgungskapazitäten	299

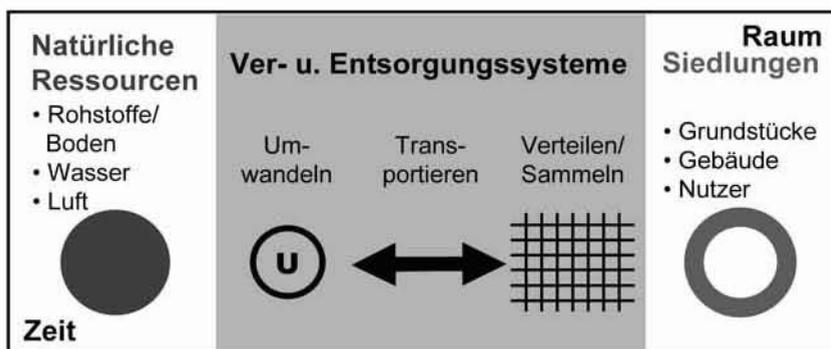
7.5 Abfallsammlung	300
7.5.1 Komponenten der Abfallsammlung und deren Funktion	300
7.5.2 Raum- und Umweltwirkungen der Abfallsammlung	303
7.6 Abfalltransport	304
7.6.1 Komponenten des Abfalltransportes und deren Funktion	304
7.6.2 Raum- und Umweltwirkungen des Abfalltransportes	306
7.7 Abfallbehandlung	307
7.7.1 Komponenten der Abfallbehandlung und deren Funktion	307
7.7.2 Raum- und Umweltwirkungen der Abfallbehandlung	319
7.8 Literatur zur Abfallentsorgung	321
<b>8 Systemkoordination im Raum</b>	<b>323</b>
8.1 Einbindung in den Siedlungsraum und Freiraum	323
8.2 Systemoptimierung im Raum	325
8.2.1 Optimierung der einzelnen Ver- bzw. Entsorgungssysteme	325
8.2.2 Bündelung	328
8.2.3 Regionalplanung	330
8.3 Ver- und Entsorgungskonzepte und -pläne	332
8.4 Raum- und Umweltverträglichkeit	337
8.4.1 Genehmigungsverfahren	337
8.4.2 Raumordnungsverfahren	341
8.4.3 Umweltverträglichkeitsprüfung	342
8.4.4 Natura 2000 und FFH-Verträglichkeit	345
8.5 Ver- und Entsorgungssysteme in der Bauleitplanung	347
8.6 Literatur zu Systemkoordination im Raum	350
<b>Abkürzungen</b>	<b>351</b>
<b>Verzeichnis der Bilder</b>	<b>353</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>356</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>358</b>

# 1 Ver- und Entsorgung als System

Die Versorgung der Siedlungen mit Strom, Wärme, Nachrichten und Wasser sowie deren Entsorgung von Abwasser und Abfällen erfolgt jeweils in Ver- bzw. Entsorgungssystemen. Diese werden in räumlichen Planungsprozessen und bei der Beurteilung ihrer Umweltwirkungen fast ausschließlich mit ihren spezifischen Systemeigenschaften berücksichtigt und damit selten gemeinsam betrachtet, obwohl sie zahlreiche strukturelle Gemeinsamkeiten aufweisen und ihre vielfältigen Wirkungen auf die Umwelt im Raum kumulieren.

## 1.1 Systembetrachtung

Eine Systembetrachtung erleichtert es, gedankliche „Ordnung“ in die einzelnen Aufgaben und die Anlagen zur Ver- und Entsorgung zu bringen und Parallelen und Gemeinsamkeiten zwischen den Systemen aufzuzeigen. Dabei werden die *Ver- und Entsorgungssysteme* jeweils als eine dreiteilige Systemkomponente verstanden, deren Aufgabe es ist, den räumlich und zeitlich notwendigen Austausch zwischen anderen Systemkomponenten, hier definitionsgemäß den ‚natürlichen Ressourcen‘ und den ‚Siedlungen‘, herzustellen (Bild 1-1). Diese setzen sich jeweils wiederum aus den Systemelementen Umwandeln, Transport und Verteilen/Sammeln zusammen.



**Bild 1-1** Ver- und Entsorgungssysteme, natürliche Ressourcen und Siedlungen

Die *natürlichen Ressourcen* umfassen die Rohstoffe für die Strom- und Wärmeversorgung sowie das Wasser für die Trink- und Brauchwasserversorgung. Rohstoffe und Wasser müssen hierfür zunächst gewonnen bzw. gefördert werden. Schließlich müssen die Ressourcen die nach der Nutzung übrig bleibenden Reststoffe wieder als Abfälle oder als Abwasser aufnehmen, soweit diese Reste nicht wieder verwertbar sind. Es findet somit gewissermaßen ein Stoffwechsel (Metabolismus) statt. Es gibt zwar auch eine Versorgung der Siedlungen mit

Frischluft, die Ressource Luft nimmt jedoch bei den Ver- und Entsorgungssystemen eine besondere Stellung ein. Ähnlich wie das Wasser für den Transport fester und flüssiger Abfälle ist sie in erster Linie ein Trägermedium für die Nachrichten und dient zur Aufnahme von Abfallstoffen (hier den „Luftschadstoffen“) aus den Ver- bzw. Entsorgungsprozessen..

Die *Siedlungsräume* (kurz als ‚Siedlungen‘ bezeichnet) stehen für die Grundstücke und die Gebäude, die versorgt werden müssen und für die Nutzer mit ihren Bedürfnissen und ihrem Aufkommen an zu entsorgenden Stoffen.

Einzelne Elemente der Ver- und Entsorgungssysteme überlagern sich räumlich meist mit den natürlichen Ressourcen bzw. den Siedlungen. Dies bedeutet, dass z.B. die Kraftwerke in den Rohstoffabbaugebieten oder sämtliche Systemelemente der Abwasserentsorgung innerhalb der Siedlungen liegen können.

Die Systeme werden jeweils von Strom, Wärme, Wasser, Abfall oder von Nachrichten „durchflossen“. *Durchfluss* bedeutet hier, dass von außen etwas zugeführt wird (input), dass das System dieses ‚Etwas‘ umwandelt, transformiert und zum Aufbau von Ordnungsmustern oder von Leistung nutzt und schließlich in anderer Form und nach einer gewissen Zeit irgendwo im Raum wieder abgibt (output).

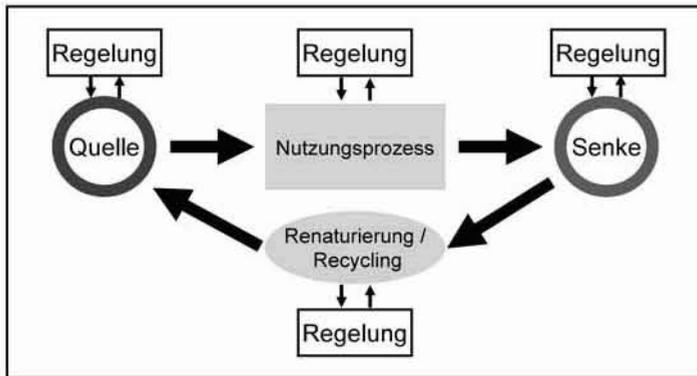
Bei globalen Modellierungen geht es darum, inwieweit bestimmte Variablen noch gesteigert werden können (Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, Outputs in Atmosphäre und Umwelt etc.), ob durch negative Feedbacks angetriebene Prozesse in katastrophenartige Zustände führen (Aufbrauchen der Rohstoffe, endgültige Verseuchung von Boden, Wasser und Luft) oder ob ein System auch über Bremsmechanismen (positive Rückkoppelungen) verfügt, welche die eingeführte Tendenz der Abweichungsverstärkung zu hemmen oder zu blockieren vermögen. Ziel muss es dabei sein, die anthropogenen Systeme so zu betreiben, d.h. durch vorausschauende Planung und umweltverträglichen Betrieb so einzuregulieren, dass diese langfristig nicht nur wirtschaftlich, sondern auch sozial- und umweltverträglich (also „nachhaltig“) funktionieren.

Bei der Betrachtung von Ver- und Entsorgungssystemen sind somit drei Aufgaben von besonderer Bedeutung:

(1) In Ver- und Entsorgungssystemen finden Prozesse statt, die in dem dazugehörigen System jeweils in spezifischer Form *geregelt* oder *gesteuert* werden. Das bedeutet, dass Elemente (bzw. Strukturen) zu entwickeln sind, welche den ‚Versorgungsfluss‘ der Zustände, Stoffe oder Materialien charakterisieren (in Form von Strom, Wärme, Nachrichten, Wasser, Abwasser, Abfall) und solche, die der Regelung oder der Steuerung des Ver- bzw. Entsorgungsflusses dienen. Bezieht man darüber hinaus die Systemelemente ‚natürliche Ressource‘ (die Sozialwissenschaftler würden ganz allgemein ‚Natur‘ sagen) und dem ‚Siedlungsraum‘ (der hier entsprechend räumlich konkreter, ganz allgemein für die ‚Gesellschaft‘ steht) mit in die Betrachtung ein, dann müssen die aus Versorgungsfluss und Versorgungsregulation zusammengesetzten Versorgungssysteme im Übergangsbereich zwischen den Ressourcen und den Siedlungen einen geregelten Nutzungsprozess erfüllen - entweder in dem Fluss zwischen Quelle und Senke, oder umgekehrt.

Bei einer Modellierung von Prozessregulationen für Ver- und Entsorgungssysteme in Anlehnung an die *systems dynamics* kann man innerhalb einer Systemgrenze allgemein zwischen den verschiedenen Elementen und speziell zwischen Flussgrößen, Ventilen, Verzögerungen und Rückkopplungen als Regelungselemente unterscheiden [1.1]. Damit ein so konzipiertes

System auch bei Versorgungs- oder Entsorgungsaufgaben als selbstreguliertes adaptives System operieren kann, muss eine eigene Ebene der Steuerung und Regelung organisatorisch und technisch aufgebaut und mit der Ebene des Versorgungsflusses verbunden werden (siehe Bild 1-2).



**Bild 1-2** Allgemeine Regelung eines Versorgungssystems nach [1.1]

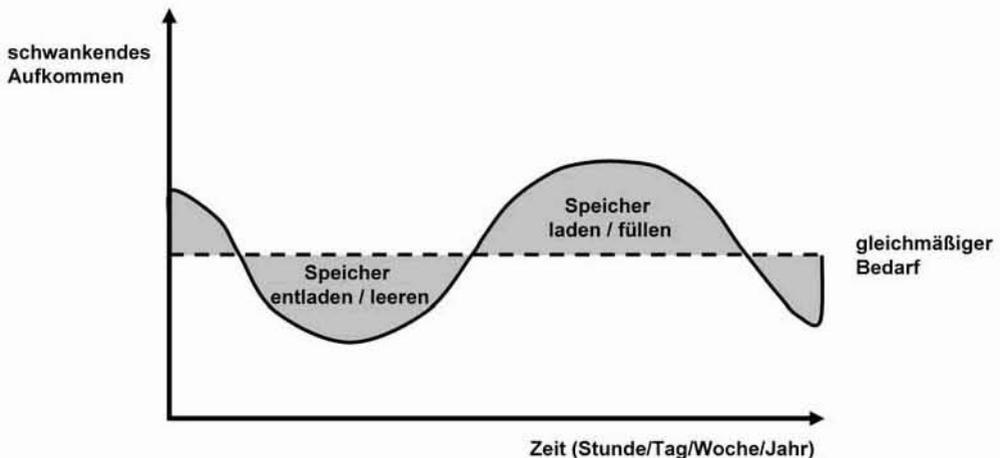
(2) Systeme müssen optimiert werden. Planerisches Ziel ist es hier, die zunächst linear ausgelegten Systeme in Kreisläufe umzuwandeln, damit diese möglichst energie- und ressourcenschonend funktionieren. Das heißt, dass die einzelnen Systeme möglichst wenige Ressourcen verbrauchen und möglichst wenig belastete Ressourcen an die Natur zurückgeben. Während ihrem Funktionsablauf sollten diese auch selbst so wenig Energie wie möglich benötigen. Damit kommt den Ver- und Entsorgungssystemen eine besondere Bedeutung zu, weil sie das Bindeglied zwischen den Siedlungen mit ihren Nutzern und den natürlichen Ressourcen darstellen. Eine Optimierung der Siedlungsplanung kann daher nicht ohne eine Einbeziehung der natürlichen Ressourcen erfolgen – und auch nicht ohne Einbeziehung der Ver- und Entsorgungssysteme.

Klassische Rückkopplungssysteme erfassen Abweichungen von einem Sollwert immer erst dann, wenn sie auch tatsächlich aufgetreten sind. Für die Ver- und Entsorgungssysteme gilt aufgrund teilweise fehlender Sollwerte darüber hinaus, dass solche Abweichungen oft erst dann wahrgenommen werden, wenn bereits irreparable Schäden eingetreten sind (Waldsterben, aufgebrauchte Ressourcen, Ausgestorbene Arten). Für eine vorsorgende Planung sollten aber Abweichungen schon erfasst werden, wenn sie in der Regelstrecke auftreten, um dann antizipierend gegenzusteuern. Eine solche *feed-forward-control* durch ‚vorwärts geregelte Regelkreise‘ werden bei der technischen Prozessoptimierung in Kombination mit Rückkopplungen angewendet [1.2]. Man spricht hier dann von (planerischer) ‚Vorwärtsoptimierung‘ und (technischer) ‚Rückwärtsoptimierung‘. Diese Prozessoptimierung muss aber nicht nur im technischen System, sondern auch im Gesamtsystem aus natürlichen Ressourcen, Ver- und Entsorgungssystemen und den Siedlungsräumen und ihren Nutzern erfolgen.

(3) Sämtliche Systeme benötigen Speicherelemente. Da im Nutzungsprozess jeweils nur eine ganz bestimmte Menge an *input* erforderlich ist (bedarfsabhängige Systeme) oder nur eine bestimmte Menge an *output* entstehen soll (aufkommensabhängige Systeme), muss es eine

Regelung zwischen dem Nutzungsprozess und der Quelle bzw. der Senke geben (Bedarfsanpassung), damit diese nicht alleine zur Systemerhaltung betrieben werden. Bei den Ver- und Entsorgungssystemen ist eine solche Regelung der Quellen und Senken nicht immer möglich (z.B. ist der Wind für die Stromerzeugung oder die Aufnahmekapazität für Abwasser in einem Fluss nicht für jeden Zeitpunkt bestimmbar – allenfalls ist er mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorhersehbar). Daher sind im System der Ver- und Entsorgung immer auch Komponenten für die Speicherung des *inputs* oder des *outputs* vorzusehen.

Die ungenügende zeitliche Übereinstimmung zwischen Angebot und Bedarf von Wasser, Energie u.a. gehört zu den Grundproblemen der Planung von Ver- und Entsorgungssystemen. Obwohl sich die Motivation für die stoffliche Speicherung – auch Energiespeicherung ist nahezu ausschließlich an eine stoffliche Speicherung gebunden – im Laufe der Zeit geändert hat, ist es in der Praxis im Allgemeinen weder sinnvoll noch wirtschaftlich, eine Anpassung der Momentanwerte von Bedarf und Angebot anzustreben. Stattdessen müssen Speicherprozesse als eine Möglichkeit des zeitlichen Ausgleichs in das System eingebaut werden.



**Bild 1-3** Speichervorgang: laden und entladen

In der Energiewirtschaft z.B. kommt hinzu, dass Anlagen mit einer möglichst konstanten Leistung betrieben werden sollten, weil An- und Abfahr- sowie Teillastvorgänge stets mit zusätzlichen Verlusten oder zusätzlichen Umweltbelastungen verbunden sind. Von nicht so großem Einfluss, aber dennoch nicht zu vernachlässigen, ist auch die Möglichkeit, dass trotz der thermodynamischen Verluste die gespeicherte Energie eine „Werterhöhung“ erfahren kann, wenn beispielsweise tarifzeitlich unterschiedliche Preise fixiert sind.

Grundprinzip der Konzipierung einer Speicherung ist es (Bild 1-3), effektiv arbeitende und den benötigten Stoff- oder Energiestrom bereitstellende Systeme mit einer konstanten Leistung zu installieren. Bei Bedarfswerten, die kleiner als das Angebot sind, wird der Speicher vom System geladen (bzw. gefüllt) und bei Bedarfswerten, die größer als das Angebot sind, wieder entladen (bzw. entleert). Unter Berücksichtigung der Verluste und bei Kenntnis der Belastungsganglinien (Stunde, Tag, Woche, Saison, Jahr) sind damit Handlungsregelungen für die Speicherdimensionierung und den Systembetrieb gegeben.

## 1.2 Definitionen

Für eine raum- und umweltverträgliche Planung steht nicht die Beschreibung von Systemen in Form von mathematischen Modellen [1.3], sondern die qualitative Abbildung von Systemen der technischen Ver- und Entsorgung zum Verständnis der Wirkungszusammenhänge und deren Qualitäten im Vordergrund. Dabei sollen zunächst die Raum- und Umweltwirkungen abgeleitet werden mit dem Ziel einer Integration der jeweiligen Fachplanung in die raumbezogene Planung – und dies auf allen Betrachtungsebenen (lokal, regional, national).

Eine quantitative Untersuchung des Stoff- beziehungsweise des Energieumsatzes (teilweise für ganze Industriezweige, zum Beispiel den Energiesektor) wurde in den vergangenen Jahren im Rahmen von so genannten Stoffstromanalysen durchgeführt. Hierbei wurden drei Bilanzierungsarten unterschieden: prozessbezogen, produktbezogen und stoffbezogen.

Im Falle der Stoffstromanalysen werden für eine bestimmte räumliche Einheit die Energie und Materialflüsse bestimmt und für einen bestimmten Zeitraum bilanziert. Mathematisch entspricht dies einer so genannten Diskretisation (Unterteilung) in Raum und Zeit, physikalisch einer orts- und zeitspezifischen Erfassung. Solche Untersuchungen sind entweder stationär, das bedeutet Zeitunabhängigkeit des Systems und damit auch Zeitunabhängigkeit aller Größen oder quasistationärer, das heißt alle Flüsse sind zeitunabhängig.

Für die prozessbezogene quasistationäre Systembetrachtung der Ver- und Entsorgung wird diese zunächst in die Systeme *Versorgung* und *Entsorgung* eingeteilt. Diese beiden bestehen jeweils aus den gleichen Systemkomponenten, verlaufen jedoch in ihrem Systemablauf spiegelbildlich (siehe später Bild 1-4 und Bild 1-5). Diese beiden können weiter entsprechend ihrer Funktion in Teilsysteme aufgeteilt werden, die dann unterschiedliche Versorgungsträger bzw. Aufgabenträger repräsentieren.

### **Definition „Ver- und Entsorgung“**

Als Ver- und Entsorgung werden diejenigen Anlagen und Einrichtungen bezeichnet,

*welche den Nutzern in den Siedlungsräumen Wasser, Energie und Nachrichten bereitstellen bzw. welche das anfallende Abwasser und die anfallenden Abfälle wieder den Ressourcen zuführen oder diese schadlos beseitigen.*

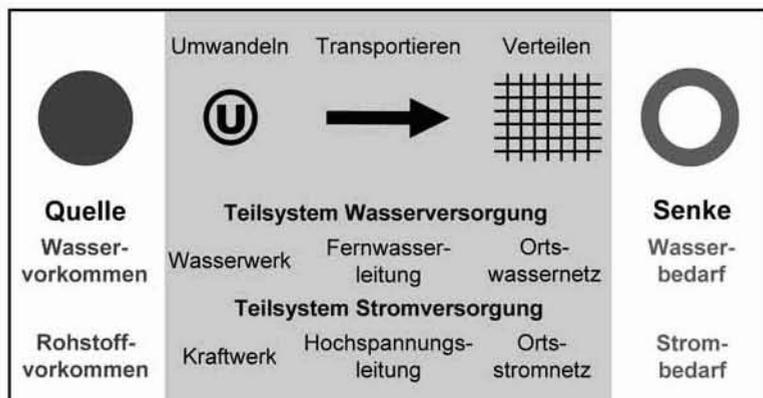
Unter Einbeziehung sektoraler Fachdisziplinen wie Ökonomie, Recht, Soziologie, Geographie, Bodenordnung und Vermessung beschäftigen sich dort auch die Fachplanungen wie Wohnungswesen, Gewerbeplanung, Finanzen und Haushaltsplanung, Landschaftsökologie, Landschaftsplanung oder Verkehrswesen mit den Ver- und Entsorgungssystemen.

Nachfolgend erfolgt eine mehrdimensionale Betrachtung der unterschiedlichen Systeme in Raum und Zeit unter Berücksichtigung der Umweltfaktoren Boden, Wasser, Luft (Klima), Pflanzen/Tierwelt, Landschaft und Kultur und Sachgüter unter besonderer Berücksichtigung des Faktors „Mensch“ als Verbraucher, als Produzent oder als Akteur; als Betroffener von Umweltwirkungen, von Gefahren oder von Kosten und als Gestalter des Lebensraumes (individuell, politisch oder administrativ).

*Versorgung* lässt sich im Bereich der technischen Infrastruktur definieren als:

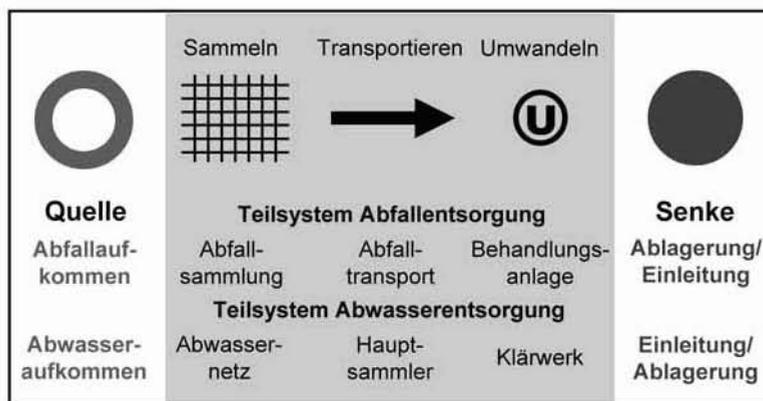
*die Versorgung der Siedlungsräume mit Energie (Strom, Gas, Fernwärme), Wasser und Nachrichten.*

Als Versorgungssysteme werden allgemein Systeme der sozialen, technischen oder institutionellen Infrastruktur bezeichnet, welche zur Versorgung mit Gütern (insbesondere Nahrungsmittel) und Dienstleistungen dienen. Hier wird die Versorgung mit Wasser als Trink- und Brauchwasser und mit Strom sowie mit Raumwärme und mit Nachrichten verstanden.



**Bild 1-4** Systemkomponenten und Teilsysteme des Systems Versorgung

Für die Funktion *versorgen* muss zunächst das Gut aus einem geförderten oder gewonnenen Rohstoff an einem Standort „erzeugt“, das heißt veredelt, umgewandelt oder aufbereitet, dann über eine gewisse Strecke kontinuierlich oder diskontinuierlich transportiert und schließlich an die Nutzer verteilt werden (Bild 1-4). Als Güter werden dabei räumlich und zeitlich differenziert Licht, Kraft, Wärme, Trink- oder Brauchwasser nachgefragt, aber auch immaterielle Nachrichten.



**Bild 1-5** Systemkomponenten und Teilsysteme des Systems Entsorgung

Allgemein versteht man unter *Entsorgungssystemen* die Entsorgung von Gütern (insbesondere von Abfällen) und Dienstleistungen der technischen und institutionellen Infrastruktur.

Für die Funktion *entsorgen* muss das Gut, dessen sich jemand im Raum entledigen will (oder muss), zunächst eingesammelt, dann über eine gewisse Strecke transportiert, um schließlich an einem Standort abgelagert, dort in ein Gewässer eingeleitet oder in einen Stoffkreislauf rückgeführt zu werden (Bild 1-5). Dabei handelt es sich um die ‚Güter‘ *Abfall* und *Abwasser*.

Entsorgung lässt sich im Bereich der technischen Infrastruktur definieren als:

*Abtransport und geordnete Beseitigung, wie Aufbereitung, Behandlung (Konditionierung) und/oder gefahrlose Deponierung von Abfallreststoffen aller Art (einschließlich Abgase und Abwasser) unter Einbeziehung der Abfallverwertung (Recycling).*

Wie die Bilder 1-4 und 1-5 ebenfalls zeigen, bestehen die Teilsysteme Versorgung bzw. Entsorgung weiterhin aus einzelnen Systemelementen, die jeweils auch einen bestimmten Infrastrukturtyp repräsentieren. Zusätzlich kann danach unterschieden werden, ob die Systemelemente oberirdisch oder unterirdisch verlaufen (z.B. Hochspannungsfreileitung oder -kabel bzw. offenes Abwassergerinne oder Abwasserrohr).

Besondere Beachtung aus sicherheitstechnischer Sicht erfordern die nukleare Entsorgung, welche die Wiederaufarbeitung, Zwischenlagerung und Endlagerung radioaktiver Abfälle umfasst, und die Entsorgung von Sonderabfall. Beide werden wegen ihrer sehr speziellen planungs- und Umweltprobleme nicht weiter betrachtet.

### **Definition Infrastruktur**

Unter „Infrastruktur“ versteht der Ökonom öffentliches Kapital und unter „Infrastrukturinvestitionen“ öffentliche Investitionen. Der Begriff fand in den 1960er Jahren Verbreitung im Zusammenhang mit Engpässen, die im Zuge des raschen Wirtschaftswachstums der Nachkriegszeit auftraten. Er entstammt ursprünglich der Fachsprache der französischen Eisenbahnen, die unter „infrastructure“ die erdgebundenen Einrichtungen mit langer Lebensdauer (Bahnkörper, Tunnel, Brücken, Sicherungsanlagen usw., nicht aber Fahrzeuge) versteht. Über die NATO, die mit „Infrastruktur“ Kasernen, Versorgungsdepots, Radarstationen u. dgl. bezeichnet (nicht aber Waffensysteme), ging der Begriff ins wirtschafts- und regionalwissenschaftliche Vokabular über [1.4].

Infrastruktur wird auch als „Unterbau der Wirtschaft“ übersetzt. Diese Bezeichnung weist daraufhin, dass es sich um das Fundament einer Volkswirtschaft, welches Voraussetzung für die Herstellung, Verteilung und Verwendung von Waren und Dienstleistungen ist, handelt.

Zu den klassischen Bereichen der Infrastruktur gehören die Verkehrseinrichtungen (Verkehrsinfrastruktur; Straßen, Gleise, Flughäfen usw.), die Anlagen der Energieerzeugung und -verteilung, der Wasserversorgung (Pumpstationen, Wasseraufbereitung, Wasserwerke, Hochbehälter), der Entsorgung (Kläranlagen, Deponien, Müllverbrennungsanlagen) und Nachrichtenübermittlung (Telekommunikation, Radio und Fernsehen). Man spricht dann auch von „Technischer Infrastruktur“. Bei den Anlagen des Bildungs-, Kultur-, Gesundheits- und Freizeitbereichs spricht man dann von „Sozialer Infrastruktur“; gelegentlich wird auch von einer immateriellen Infrastruktur gesprochen.

## 1.3 Funktionen und Merkmale

Trotz gleicher Systemkomponenten weisen die einzelnen Ver- und Entsorgungssysteme sehr unterschiedliche Funktionen und Merkmale auf, die nachfolgend beschrieben werden. Wesentlicher Einfluss geht zudem von den Bestrebungen zur Privatisierung und Liberalisierung der jeweiligen Systeme aus, die jedoch zahlreiche Gemeinsamkeiten aufweisen.

### 1.3.1 Funktionen der Ver- und Entsorgungssysteme

Mit den Verkehrssystemen bilden die Ver- und Entsorgungssysteme die technische Infrastruktur. Für sie sind Größe, Lage und Einzugsgebiete von Standorten sowie Verlauf und Breite von Trassen sowohl auf lokaler als auch auf regionaler und (inter)nationaler Ebene zu bestimmen. Dabei sind die jeweiligen Anforderungen an die Umwelt-, Gesundheits- und Sozialverträglichkeit, die Versorgungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen.

Anlagenstandorte sind bei der Planung einerseits im Hinblick auf die räumlichen Anforderungen des Bedarfs bzw. des Anfalls zu optimieren, andererseits sind Nutzungskonflikte am Standort selbst sowie Schutzabstände zu Nachbarschaften mit unverträglichen Nutzungen zu berücksichtigen. Trassen zum großräumigen Transport in Leitungen sind einerseits zur Reduzierung der Eingriffe und der Kosten möglichst mit direkter Linienführung zu planen und gegebenenfalls mit anderen Trassen zu bündeln, soweit hierdurch keine Überlast im Raum auftritt. Zusätzlich sind die Zerschneidungs- und Barrierewirkungen der Trassen zu berücksichtigen. Oberirdische Leitungsführungen sind auf solche Fälle zu beschränken, wo eine unterirdische Leitungsführung technisch nicht durchführbar oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Innerhalb der Siedlungsflächen verlaufen die Ver- und Entsorgungsleitungen in der Regel unterirdisch im Straßenraum, so dass diese mit ihren Trassierungsparametern neben den verkehrstechnischen Parametern die Erschließung von neuen Siedlungen mitbestimmen. Gleichzeitig stellen diese eine bleibende Randbedingung für die Erneuerung im Bestand dar.

Wasserversorgung, Energieversorgung, Nachrichtenversorgung, Abwasserentsorgung und Abfallentsorgung werden als Teilsysteme der Ver- und Entsorgung betrachtet. Diese können sich überlagern, ergänzen oder teilweise auch stören. Eine Koordinierung findet regelmäßig meist nur dann statt, wenn die Teilsysteme durch die gleichen öffentlichen (Querverbund- oder Spartenunternehmen) oder privaten Unternehmen (Versorgungs- oder Entsorgungswirtschaft) geplant, gebaut oder betrieben werden. Siehe hierzu Kapitel 8.

#### a) Energieversorgung (Strom und Wärme)

Die Energieversorgung beruht in Deutschland vorwiegend auf den Primärenergieträgern Kohle, Öl und Kernenergie, zunehmend aber auch auf Gas und den regenerativen Energieträgern Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie, Biomasse, Erd- und Umgebungswärme. Zur Versorgung von Haushalten und Industrie mit Energie wird insbesondere der Sekundärenergieträger Strom eingesetzt, da er die größte Flexibilität und Nutzungsvielfalt aufweist. Über ihn können Licht und Kraft, zudem auch Wärme – und in zunehmendem Maß auch Kälte – bereitgestellt werden.

Die leitungsgebundene Wärmeversorgung erfolgt entweder direkt durch den Primärenergieträger Gas oder indirekt durch den Sekundärenergieträger Fernwärme. Anlagen der Energieversorgung sind Kraftwerke, Umspannanlagen, Gasspeicher, Gasstationen zur Druckerhö-

hung und -reduzierung sowie die Leitungstrassen zum Energietransport (Hochspannungsfreileitungen und -kabel, Gashochdruckleitungen), zum Wärmetransport (Fernwärmeleitungen), sowie Netze zur Strom-, Gas- und Wärmeverteilung.

### **b) Nachrichtenversorgung (Telekommunikation)**

Bei der „Versorgung“ mit Nachrichten, der Telekommunikation, handelt es sich genau genommen um einen Nachrichtenaustausch. In diesem Teilsystem hat in den vergangenen Jahren ein starker technologischer Wandel stattgefunden, der durch eine Vielzahl von Standorten für Mobilfunkmasten und Richtfunkanlagen sowie durch ein engmaschiges bundesweites Glasfaserkabelnetz einen hohen Raumbezug aufweist. Trotz der gegenüber der Stromversorgung deutlich kostengünstigeren Systemelemente, ihre dadurch bessere Anpassungsfähigkeit an die Siedlungsstruktur und den relativ geringen Standort- und Flächenbedarf für die Anlagen (Sender/Empfänger) und Leitungsnetze ist die Notwendigkeit zur Berücksichtigung des Systems Telekommunikation in der Raum- und Umweltplanung dennoch von großer Bedeutung.

### **c) Wasserversorgung**

Die Versorgung mit Wasser wird unterschieden nach der Versorgung der privaten Haushalte mit der elementaren Lebensressource Trinkwasser und dem bislang hauptsächlich von Industriebetrieben, aber auch von Kraftwerken zu Kühlzwecken nachgefragten Brauchwasser. 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.

### **d) Abwasserentsorgung**

Die Abwasserentsorgung von Haushalten, Industrie und Kraftwerken dient in erster Linie zur Gewährleistung der Umwelthygiene und zum Erhalt und zur Verbesserung der Gewässergüte. Die Teilsysteme werden unterschieden nach Schmutzwasser und nach 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, sowie die Ergänzung durch weitergehende (z.B. chemische) Stufen und 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.

### **e) Abfallentsorgung**

Die Entsorgung von Abfall wird unterschieden nach der Behandlung und Ablagerung von Hausmüll bzw. von industriellen Sonderabfällen sowie nach der Behandlung und Ablagerung von Klärschlämmen und Reststoffen aus der Energieerzeugung (Asche und Schlacke). Anlagen sind Deponien für Siedlungsabfälle und für Sonderabfälle, mechanische, mechanisch-biologische und thermische Anlagen zur Abfallbehandlung, Sortier- und Aufbereitungsanlagen für Recyclingprodukte und Umschlagstationen für Abfälle und Wertstoffe. Das Transportsystem für die Abfälle zur Behandlung und Ablagerung von Abfällen ist in der Regel

nicht leitungsgebunden, zählt jedoch auch zur materiellen Infrastruktur und wird daher hier bei den Ver- und Entsorgungssystemen mitbehandelt.

### 1.3.2 Merkmale der Ver- und Entsorgungssysteme

Ein wesentliches allgemeines Merkmal der Ver- und Entsorgungssysteme ist deren *Standortgebundenheit*: Infrastruktureinrichtungen sind in der Regel fest an den Standort gebunden (Wasserbehälter, Kläranlage, Kraftwerk, Funkmast), sowie deren weitgehende *Leitungsgebundenheit* (Rohrnetz, Freileitung, Kabel) ihrer Transporteinrichtungen. Die Ver- und Entsorgung der Nutzer im Raum findet in der Regel in Netzen statt. Diese „Netzinfrastuktur“ (diesen Begriff verwendet auch der Bundesraumordnungsbericht 2000) wird meist im Rahmen der Erschließung der Siedlungsgebiete geplant und bezieht sich dann auf die Grundstücke. Die Netze verlaufen ober- und unterirdisch. Sie wachsen über Jahre hinweg und passen sich dabei den Anforderungen der Siedlungsentwicklung an.

Die Einrichtung der Systeme zur Ver- und Entsorgung ist in der Regel durch hohe Investitionen sowie lange Bauzeiten und Planungszeiträume gekennzeichnet. Die Systeme gehören zum Teil zur öffentlichen Daseinsvorsorge, zum Teil aber auch zu anderen Branchen (z.B. zur Lebensmittelversorgung beim Trinkwasser). Der Anspruch auf Bereitstellung der Ver- oder Entsorgungsdienstleistung besteht unabhängig davon, ob diese durch öffentliche oder private Träger betrieben werden.

Daneben ist die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur im technischen Sinne *unteilbar*: Fernwärme- oder Abwassersysteme zum Beispiel müssen ganze Einheiten bilden. Ein weiteres Merkmal ist deren Langlebigkeit: Wasserrohre haben eine Lebensdauer von bis zu 100 Jahren, die Systeme selbst bestehen in ihrer Anlage zum Teil noch aus der Römerzeit.

Änderungen im Hinblick auf Niveau und Struktur der Infrastrukturdienstleistungsnachfrage sind vor dem Hintergrund der Technologieentwicklung in diesen Bereichen zu sehen. So ermöglicht bspw. erst der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechniken die Bereitstellung auf spezielle Kundenbedürfnisse zugeschnittener Dienstleistungen. Spezielle Tarifmodelle, die eine kontinuierliche Verbrauchsmessung voraussetzen, sind ebenso Beispiele dafür wie etwa die Fernüberwachung und Steuerung dezentraler Produktionseinheiten. In diesen Bereichen ergeben sich zudem noch unausgeschöpfte Kostensenkungspotentiale. So kann durch genauere Kenntnis der Verbrauchsgewohnheiten der Konsumenten die Spitzenlastvorhaltung etwa in der Energie- und Wasserversorgung minimiert werden.

Der technische Fortschritt fällt in den Teilsystemen jedoch sehr unterschiedlich aus: Während in der Telekommunikation die Entwicklung weitgehend durch den technologischen Fortschritt angetrieben wird und sich nicht nur in neuen Übertragungstechnologien mit höherer Leistungsdichte, sondern insbesondere in neuen Produkten und Dienstleistungen äußert, beschränkt sich der technische Fortschritt in den anderen Sektoren weitestgehend auf den Bereich Transport und Übertragung sowie auf die unmittelbare Produktion (Wasseraufbereitung, Elektrizitätserzeugung z.B. durch regenerative Energien). Aber auch diese Entwicklungen können sich längerfristig auf die Marktstrukturen auswirken, da sie zumindest theoretisch Dezentralisierungspotenziale eröffnen und Kostenstrukturen aufgrund neuer *economies of scale* („Größenvorteile“) überdacht werden müssen.

Ein wesentliches wirtschaftliches Merkmal der Ver- und Entsorgungssysteme ist deren hohe Kapitalintensität: Infrastruktureinrichtungen haben Investitionscharakter und fordern in der

Regel einen sehr hohen Kapitalbedarf. Hier stehen die Kraftwerke und die technisch hochwertigen Abfallbehandlungsanlagen im Vordergrund. Andererseits weisen die Systeme eine niedrige Kapitalproduktivität auf: Die Ergiebigkeit der Investitionen und die Gewinnmöglichkeiten sind eher gering, teilweise kaum vorhanden. Mehr noch als die Kapitalintensität ist dies auch eine wirtschaftliche Schwäche der Ver- und Entsorgungssysteme. Ein besonderes Merkmal ist auch deren Kostendegression: bedingt durch hohe Fixkostenanteile ist eine hohe Kapazitätsauslastung erforderlich, wobei sich die ökonomischen Größenvorteile besonders stark auswirken, beispielsweise bei der Auslastung eines Kraftwerkes oder einer Deponie. Ver- und Entsorgungssysteme sind teilweise auch durch eine geringe Wirtschaftlichkeit gekennzeichnet, die sich durch eingeschränkte Marktbedingungen ergibt, z.B. beim nicht vorhandenen Wettbewerb bei staatlichen Einrichtungen und Gütern (Kläranlage). Wegen der zusätzlich vorhandenen geringen Importierbarkeit der Einrichtungen und häufig defizitärem Betrieb der Anlagen wird auch von „Marktversagen“ bei Infrastruktureinrichtungen gesprochen.

Ein Verfügungsmerkmal der Ver- und Entsorgungssysteme stellt deren allgemeine Benutzbarkeit dar: die Nutzung durch eine Person schließt die Nutzung durch andere Personen nicht aus, in der Regel sind Infrastruktureinrichtungen der Allgemeinheit insgesamt jederzeit „zugänglich“, zum Beispiel die Stromversorgung oder das Abwassersystem. Häufig erfolgen die Investitionen mit öffentlichen Mitteln, zumindest beteiligt sich die öffentliche Hand an der Investition.

Eigentum und Zuständigkeit der Öffentlichkeit bestehen in den Landkreisen z.B. noch bei den Abfalldeponien und in den Gemeinden bei den Versorgungs- und Entsorgungsnetzen, gerade bei den Anlagen zur Stromversorgung und bei den Telekommunikationsanlagen ist die Privatisierung inzwischen weit fortgeschritten. Versorgungspflicht und Anschluss- und Benutzungszwang sind aber weitgehend durch vertragliche Regelungen an die privaten Betreiber übertragen worden.

### **Aktuelle Situation der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur**

Ein fortschreitender baulicher Verfall kommunaler Infrastruktur, ein deutlicher Rückgang öffentlicher Infrastrukturinvestitionen, die Privatisierung öffentlicher Unternehmen sowie die Einführung von Wettbewerb auf Infrastrukturmärkten kennzeichnen die aktuelle Situation der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur in der Öffentlichkeit. Die schwierige Finanzlage der deutschen Kommunen überlagert die Probleme und bildet den Hintergrund für aktuelle Veränderungen: die Privatisierung verhilft den kommunalen Akteuren zu dringend notwendigen Einnahmen ihrer (öffentlichen) Unternehmen, wodurch diese sich finanzieller Belastungen entledigen können.

In den Industrienationen hat sich während der letzten Jahre das traditionelle Modell der Infrastrukturbereitstellung stark verändert [1.5]. Es müssen daher auch in Deutschland neue Regulationsmodelle geschaffen und im Rahmen einer zukunftsgerichteten, nachhaltigen Infrastrukturentwicklung auf kommunaler, regionaler und nationaler Ebene implementiert werden. Hintergründe und Umsetzung der notwendigen Reformen unterscheiden sich aufgrund politisch-institutioneller oder kultureller Eigenarten, bei sektoraler Betrachtung auf europäischer Ebene lassen sich jedoch jeweils einige bestimmende Triebkräfte identifizieren (Tabelle 1-1).

Die Finanzlage der Kommunen hat sich in den letzten Jahren deutlich verschärft, selbst gut wirtschaftende Kommunen in prosperierenden Regionen sehen erheblichen Finanzproblemen

entgegen. Eine für die kommunale Entwicklung langfristig bedeutsame Folge der Finanzkrise ist ein sich beschleunigender Rückgang kommunaler Investitionen. Dem steht allerdings ein wachsender Investitionsbedarf gegenüber. Für den Zeitraum 2000-2009 ermittelt das Difu einen Investitionsbedarf von rd. 686 Mrd. €, wobei fast zwei Drittel dieser Summe auf den Ersatz und die Modernisierung der Infrastruktur fällt. Zum Vergleich: im Jahre 2002 beliefen sich die Sachinvestitionen der Kommunen auf rd. 22,5 Mrd. € [1.6].

**Tabelle 1-1** Triebkräfte der Liberalisierung in Netzindustrien (nach [1.5])

	Technische Entwicklung	Defizite öff. Unternehmen	Potentielle Wettbewerber	EU Binnenmarktregel
Elektrizität		X	X	X
Gas			X	X
Telekom	X		X	X
Wasser		X	X	

Die demographische Entwicklung wird bereits mittelfristig auch Auswirkungen auf die Infrastrukturauslastung haben, und dies wird nicht nur wie bisher auf ostdeutsche Regionen beschränkt bleiben [1.7], [1.8]. Die Rückgänge auf der Nachfrageseite werden aufgrund des hohen Festkostenanteils dazu führen, dass die Gebührenbelastung für die verbleibenden Kunden zunimmt und sich damit auch eventuell bestehende soziale Probleme verstärken. Schrumpfungprozesse können innerhalb der Versorgungsgebiete auch räumlich konzentriert auftreten, was wiederum Auswirkungen auf die Stabilität und Funktionsweise des gesamten Netzes haben kann [1.9]. Überlagert werden diese Probleme vielerorts noch durch zeitlich parallel ablaufende räumlich differenzierte Entwicklungsprozesse, d.h. einerseits die Entleerung von Kernstädten und andererseits ein oft ungebremster Suburbanisierungsprozess mit der Herausbildung neuer Verbrauchsschwerpunkte an den Rändern der Agglomerationen.

### 1.3.3 Privatisierung und Liberalisierung der Netzindustrien

Mit dem Begriff Liberalisierung wird der Prozess einer Öffnung bisher gesetzlich geschützter Monopolbereiche bis hin zur Beseitigung von Marktzutrittsbarrieren und zur Einführung von Wettbewerb bezeichnet. Liberalisierung setzt nicht zwangsläufig auch eine Privatisierung voraus. Eine Privatisierung kann auch innerhalb bestehender Monopolstrukturen erfolgen.

Wettbewerb in Sektoren, die nach wie vor Elemente von natürlichen Monopolen aufweisen, kann sehr unterschiedliche Formen annehmen, wobei aufgrund der spezifischen Bedingungen bestimmte Wettbewerbsoptionen in einzelnen Sektoren schwieriger umzusetzen sind als in anderen. Die Privatisierung öffentlicher Unternehmen ist ein weltweit zu beobachtender Prozess im Infrastrukturbereich.

Die Privatisierungsmotive sind jeweils sehr unterschiedlich: Effizienzsteigerung, finanzwirtschaftliche Motive, Know-how-Transfer bis hin zu allgemeinen ordnungspolitischen Erwägungen spielen jeweils eine Rolle [1.10]. Der Privatisierungsbegriff ist dabei sehr weit gefasst und deckt in der Praxis sehr unterschiedliche Formen des privaten Engagements im Bereich der Infrastruktur ab. Dies zeigt sich deutlich auch in den hier betroffenen Sektoren

Wasser- und Energiewirtschaft sowie der Telekommunikation. Grundsätzlich ist in allen Teilsystemen eine Umwandlung öffentlich-rechtlicher Unternehmen in Unternehmen mit privater Rechtsform im Gang (Organisationsprivatisierung). Öffentliche Unternehmen gewinnen damit an Entscheidungsfreiheit und sind nicht mehr unmittelbar den engen Restriktionen des kameralistischen Rechnungswesens und des öffentlichen Dienstrechts unterworfen. In vielen Fällen ist die Umwandlung eines Unternehmens in eine privatrechtliche Organisationsform der erste Schritt zu einer Vermögensprivatisierung, bei der auch die Eigentumsanteile ganz oder teilweise auf private Dritte übergehen. Insbesondere auf der kommunalen Ebene sind in der Zwischenzeit zahlreiche Zwischenformen entwickelt worden, mit jeweils unterschiedlicher Verteilung von Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten und Eigentumsrechten zwischen privaten und öffentlich-rechtlichen Akteuren (Bsp. Betriebs- und Betreibermodelle, Konzessionsmodelle). Im Telekommunikationssektor sind vorwiegend private Unternehmen tätig, der Staat als Anteilseigner verliert zunehmend an Bedeutung.

In der Energiewirtschaft gab es bereits traditionell einen Mix aus öffentlichen und privaten Unternehmen, auch hier ist eine Zunahme privater Organisationsformen festzustellen, allerdings mit sehr unterschiedlichen Ausprägungen in den Bereichen Erzeugung, Transport und Verteilung. In der Wasserwirtschaft herrschen allerdings immer noch kommunale öffentlich-rechtliche Unternehmen vor, hier spielen private Anbieter bislang eine nachrangige Rolle.

Der Wegfall von Marktzutrittschranken führt zwangsläufig dazu, dass neue Anbieter auch mit teilweise neuen Angeboten auf den Markt treten können. Hohe Anfangsinvestitionen, unzureichende Marktkennntnisse, Probleme beim Zugang zu vorhandenen Ressourcen und zur bestehenden Infrastruktur aber auch ein hohes Beharrungsvermögen der Konsumenten sind Gründe, warum sich neue Marktteilnehmer in allen liberalisierten Sektoren schwer tun, sich gegen die marktmächtigen *incumbents* (Amtsinhaber) durchzusetzen und nennenswerte Marktanteile zu gewinnen.

Die Möglichkeit der Ausnutzung von *economies of scale* (Größenvorteilen) begünstigt in den Infrastruktursektoren mit ihren hohen Investitionskosten Konzentrationsprozesse. Dies bedeutet, dass sich die kleinen kommunalen Unternehmen von ihrer traditionellen lokalen Bindung lösen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Dadurch gewinnt auch für diese die regionale Ebene als Handlungsraum an Bedeutung. Andererseits bilden sich neben diesen horizontalen Konzentrationsprozessen auch so genannte *multi utilities* (Mehrfachversorger) heraus, da die organisatorische Zusammenfassung verschiedener Infrastrukturdienstleistungen erlaubt, Verbundvorteile zu realisieren. Andererseits ist dies aber auch eine Reaktion auf veränderte Kundenbedürfnisse (Leistungen aus einer Hand) und der Versuch von Unternehmen, über das Engagement in anderen bisher nicht bedienten Sektoren Zugang zu neuen Kundengruppen zu bekommen.

Bei den klassischen deutschen Stadtwerken hat die Zusammenfassung von Infrastrukturdiensten eine große Tradition. Dort wurden die Kunden mit allen Leistungen (Energie, Wasser, Telekommunikation, Abfall, aber auch Nahverkehr) versorgt, um lokale Synergieeffekte auszuschöpfen [1.11]. Das Gemeindefinanzrecht und das Örtlichkeitsprinzip haben die kommunalen Unternehmen bislang daran weitgehend gehindert, großräumiger tätig zu werden, während die europäischen Großkonzerne weltweit agieren und dabei selten an einem Standort mehrere Leistungen zusammen anbieten.

Neben der Tendenz zur Zusammenfassung verschiedener Dienste sind auch in allen Infrastruktursektoren Entkopplungsprozesse festzustellen, verbunden mit der Auflösung der tradi-

tionell vertikal integrierten Struktur der Ver- und Versorgungsunternehmen. Zur Steigerung der Effizienz und der Erhöhung der Flexibilität werden Wertschöpfungsketten aufgebrochen und teilweise über regionale und sektorale Grenzen hinweg neu zusammengestellt. Dabei kommt das klassische betriebswirtschaftliche Instrument des Outsourcing zur Anwendung. Kennzeichen ist die Ausgliederung vor allem technisch und wirtschaftlich unterstützender Unternehmensfunktionen bei gleichzeitiger Konzentration auf die Kernkompetenzen.

Von größerer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang jedoch die Trennung von Netz und Betrieb, die aufgrund wettbewerbsrechtlicher Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene von den Ver- und Versorgungsunternehmen umzusetzen ist. Ein solches zumindest kostenrechnerisches oder organisationsrechtliches „Unbundling“ soll den Wettbewerb in diesen Sektoren stärken und neuen Anbietern einen fairen und diskriminierungsfreien Zugang zur vorhandenen Netzstruktur ermöglichen. Diese in der Telekommunikation und in der Energiewirtschaft gesetzlich vorgegebene Variante der „vertical separation“ findet man zwischenzeitlich auch in Ansätzen in der Wasserversorgung (Auslagerung der Wassergewinnungsaktivitäten in eigene Unternehmen) sowie im Bereich des Öffentlichen Personennahverkehrs mit der organisatorischen Trennung von Netz und Fahrbetrieb [1.12].

Die Konsumenten gewinnen durch die Liberalisierung an Wahlmöglichkeiten, sowohl zwischen Anbietern als auch zwischen Produkten und Dienstleistungen. Der erwartete Rückgang der Preise für die Endverbraucher war zunächst beträchtlich, nach einer Phase der Marktkonsolidierung erfolgte dann wieder ein erneuter Preisanstieg. Negative Auswirkungen auf die Umweltqualität haben sich bislang nicht eingestellt, da private Unternehmen den gleichen Umweltauflagen unterliegen wie öffentlich-rechtliche.

### **Ausblick**

Vor allem bei der Netzinfrastruktur zeichnet sich zunehmend ab, dass der Staat die Hauptverantwortung für den Netzausbau übernimmt. Der Betrieb kann dagegen eher privaten Unternehmungen und dem Wettbewerb überlassen werden. Sache des Staates oder besonderer Kommissionen ist es, den zu liberalisierenden Netzzugang („free access, open access“) unter fairen Bedingungen zu regeln [1.4]. Liberalisierung, Privatisierung und Deregulierung haben zur Folge, dass die Infrastruktur nicht mehr wie früher in den Dienst der Raumordnungspolitik gestellt werden kann. Will der Staat mit diesem Instrument weiterhin strukturgestaltend agieren, so muss er mit den privaten Infrastrukturgesellschaften partnerschaftliche Leistungsvereinbarungen abschließen und die Zusatzkosten aus Steuermitteln abgelten [1.4].

Infrastrukturtheorie und -politik gehören in den Wirtschaftswissenschaften zu den etablierten Subdisziplinen. Größere Durchbrüche sind in den letzten Jahrzehnten nicht zu verzeichnen gewesen. Eine Ausnahme stellen die Privatisierung und Deregulierung dar. Vieles spricht dafür, dass die Suche nach dem optimalen Verhältnis zwischen der Staats- und privatwirtschaftlichen Steuerung und Finanzierung der Infrastruktur noch nicht abgeschlossen ist. Die unterschiedlichen technischen Bedingungen und die unterschiedlichen gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Anforderungen dürften in den verschiedenen Bereichen der Infrastruktur mit der Zeit zu spezifischen Lösungen führen [1.4].

## 1.4 Systemelement „natürliche Ressource“



Im hier verwendeten Gesamtsystem Ver- und Entsorgung (siehe Bild 1-1) wird der Begriff ‚natürliche Ressource‘ als Quelle der Stoffströme verstanden, mit denen die Versorgungssysteme die Siedlungen versorgen (Brennstoffe, Wasser) bzw. die Senke, zu der hin die Entsorgungssysteme die Siedlungen entsorgen (Abwasser, Abfall). Da Nachrichten lediglich ausgetauscht werden, benötigen diese im Sinne der hier verwendeten Definition keine natürlichen Ressourcen. Im Gegensatz zum Systemelement Siedlung sind die Ressourcen hier definitionsgemäß in den Freiräumen (in der „Landschaft“) konzentriert und beinhalten somit die Natur mit ihren Schutzziele.

### 1.4.1 Definitionen zu den natürlichen Ressourcen

#### Ressourcen (natürliche)

Das in seiner französischen Schreibweise ins Deutsche übernommene Wort „Ressource“ (engl. resource) leitet sich von *source* = Quelle ab. Die Vorsilbe „re(s)“ bedeutet so viel wie Wiederholung und damit Dauer; es bezeichnet daher eine ständig fließende, sich immer wieder erneuernde Quelle von Stoffen, die von der Natur bereitgestellt und für menschliche Zwecke nutzbar gemacht werden können. Man unterscheidet erneuerbare und nichterneuerbare Ressourcen. Zur Abgrenzung von den Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Boden, die teilweise auch als Ressourcen bezeichnet werden, wird auch der Begriff der natürlichen Ressourcen verwendet. Erneuerbare Ressourcen wachsen innerhalb eines überschaubaren Zeitraums nach (z.B. landwirtschaftliche Güter wie Getreide, Raps oder Zuckerrüben). Nichterneuerbare Ressourcen werden durch Produktions- oder Umwandlungsprozesse aufgezehrt und wachsen nicht nach (z.B. fossile Energieträger wie Kohle und Mineralöl).

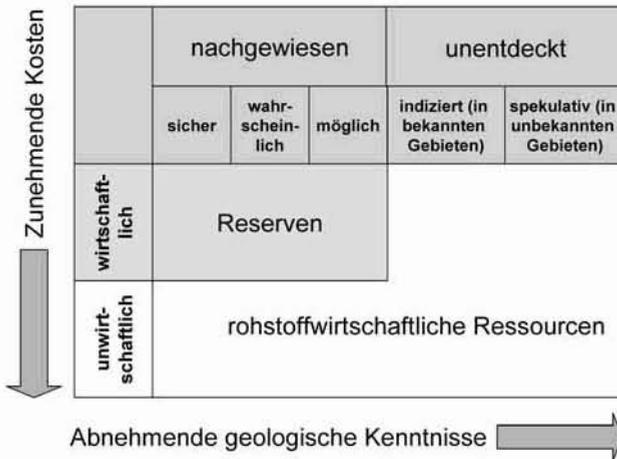
Gegenstand der Ressourcenökonomik sind Regeln und Strategien für deren Nutzung. Für erneuerbare Ressourcen gilt eine Nutzung als günstig, wenn sie unterhalb der Regenerationsrate liegt. Aus der Forstwirtschaft ist dies als „nachhaltige Nutzung“ bekannt. Für nichterneuerbare Ressourcen gilt die Nutzungsregel einer funktionalen Substitutionsfähigkeit, nach der die geschaffenen Werte den Wertverlust der Ressourcen selbst kompensieren sollen.

Ressourcenknappheit wurde insbesondere im Jahr 1972 vom Club of Rome mit seinem Bericht *Limits to Growth* (Grenzen des Wachstums) thematisiert [1.13]. Aus ökonomischer Sicht hängt die tatsächliche Erschöpfung wesentlich von der Preisentwicklung ab. Ressourcenknappheit bedingt steigende Preise, steigende Preise stimulieren den technischen Fortschritt und führen zur sparsameren Nutzung bzw. zur Entdeckung geeigneter Ersatzstoffe. Prognosen über Ressourcenknappheit waren in der Vergangenheit häufig zu pessimistisch. Oft liegen die Knappheiten weniger beim Ressourcenangebot, sondern in der begrenzten Aufnahmefähigkeit der Ökosysteme für Schadstoffe, die aus der Ressourcennutzung entstehen.

Unter Ressourcenproduktivität versteht man das Verhältnis von erbrachter wirtschaftlicher Leistung zum Verbrauch an Ressourcen. Dabei wird der Ressourcenverbrauch über die gesamte Wertschöpfungskette ermittelt. Nach Forschungsarbeiten am Wuppertal Institut werden die verwendeten Ressourcen als „Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS)“ aufaddiert

[1.14]. Nicht verwertete Stoffmengen beim Ressourcenabbau wie z. B. Bodenaushub werden als „Ökologische Rucksäcke“ mitgerechnet. Das Statistische Bundesamt ermittelt den Rohstoffverbrauch jährlich in seinen umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR).

Ein Anstieg der Ressourcenproduktivität führt zu einer Entkoppelung der erwirtschafteten Leistungen von der Menge der eingesetzten Ressourcen; der Leistungsschwerpunkt verschiebt sich dabei von der kurzfristigen Fertigungs- zur langfristigen Nutzenoptimierung. Entsprechende Strategien umfassen Vorsorgeaspekte, Produktverantwortung, technische Innovation und Unternehmenskommunikation. Es wird erwartet, dass diese Dynamik eine Halbierung des Naturverbrauchs bei Verdoppelung der Wohlstandsleistungen („Faktor 4“) bewirken [1.15].



**Bild 1-6** Definition von Reserven und Ressourcen bei den Energierohstoffen [1.16]

### Reserven

Reserven sind eindeutig identifizierbare Vorräte, die sich unter heutigen oder in naher Zukunft zu erwartenden Bedingungen technisch und wirtschaftlich abbauen lassen. Es handelt sich demnach um geologische Vorräte, die sicher nachgewiesen sind (siehe Bild 1-6).

Demnach werden im Bereich der Rohstoffwirtschaft als Ressourcen solche Vorräte bezeichnet, die über die Reserven hinaus reichen. Sie sind nachgewiesen bzw. wahrscheinlich, aber technisch und/oder wirtschaftlich zurzeit nicht gewinnbar. Zu den Ressourcen gehören ferner noch nicht nachgewiesene, geologisch aber mögliche Lagerstätten [1.17].

### Die Begriffe ‚natürlich‘, ‚naturnah‘ und ‚Empfindlichkeit‘

Mit den Begriffen ‚natürlich‘ und ‚naturnah‘ wird der Zustand eines Geoökosystems (eines Naturraumes, einer Landschaft oder einer Ressource im ökologisch-naturwissenschaftlichen Sinn) bezeichnet, der sich aufgrund des menschlichen Einflusses ergeben hat. Als ‚Hemero-bie‘ wird die anthropogene Abweichung eines Objektes von einem durch Selbstregulation gekennzeichneten Zustand bezeichnet. Dabei wird unter anderem zwischen den Hemero-biestufen ‚natürlich‘, (ahemerob) und ‚naturnah‘ unterschieden [1.18].

Naturnähe ist definiert als die Übereinstimmung eines Untersuchungsobjektes mit einem historischen Zustand. Im Bezug auf die natürlichen Ressourcen spricht man von Empfindlichkeit, wenn das Risiko für Beeinträchtigungen hoch ist. Mit zunehmender Wirkungsintensität auf eine Ressource wächst das Beeinträchtigungsrisiko. Störungen können jedoch schon bei geringen Wirkungen auftreten, wenn die Empfindlichkeit hoch ist.

### 1.4.2 Funktion und räumliche Strukturen der Ressourcen

Die Ressourcen stellen entweder eine Quelle für die Versorgungssysteme dar oder dienen als Senke für die Entsorgungssysteme. Ihre Inanspruchnahme verpflichtet zu nachhaltigem Wirtschaften und zum Schutz der Umwelt. Ressourcen werden von den Ver- und Entsorgungssystemen zum einen *beansprucht*, in dem sie umgewandelt werden. Man spricht dabei auch von „Einkommensressourcen“, wenn man sozusagen nur die Zinsen des Ressourcenkapitals entnimmt und von „Vermögensressourcen“, wenn diese das unwiederbringliche Naturkapital darstellen [1.19].

Andererseits werden die Ressourcen *belastet*, indem sie entweder direkt die verbrauchten und dabei teilweise kontaminierten natürlichen Ressourcen oder indirekt die Immissionen aus den Umwandlungs- und Transportprozessen aufnehmen müssen.

Ressourcenschutz ist damit ein wesentlicher Bestandteil des Umweltschutzes. Er bezieht sich in dem umfangreichen ordnungsrechtlichen System in Deutschland meist direkt auf eines der Schutzgüter Boden, Wasser, Luft/Klima oder Natur, welche auch gleichzeitig die natürlichen Lebensgrundlagen für den Menschen darstellen. Ressourcen werden in Anspruch genommen und dabei „verbraucht“, das heißt sie werden so umgewandelt, dass sie ihren natürlichen Zweck nicht mehr oder nur noch eingeschränkt erfüllen können.

Das heißt zum einen, dass die in den Ressourcen (Rohstoffen) enthaltene Energie umgewandelt wird und damit mit dem ursprünglichen Stoff (Brennstoff) nicht mehr zur Verfügung steht oder zum anderen, dass die Ressource nicht mehr in dem „reinen“ Ausgangszustand vorliegt (Trinkwasser) und damit nicht mehr ihrer eigentlichen Aufgabe im Naturhaushalt dienen kann. Insbesondere der Naturschutz befasst sich ganzheitlich mit dem Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und damit mit allen Ressourcen Boden, Wasser, Luft/Klima, Pflanzen- und Tierwelt und deren Wechselwirkungen untereinander.

Für eine ressourcenschonende Planung von Ver- und Entsorgungssystemen erfolgt eine nähere Betrachtung der jeweils betroffenen Ressourcen in den jeweils zugehörigen Kapiteln. Nachfolgend werden daher nur kurz die wesentlichsten hierbei betroffenen Ressourcen allgemein betrachtet.

#### a) Brennstoffe

Als Ressourcen für die Strom und Wärmeversorgung dienen in Deutschland zum einen die fossilen Energien (Brennstoffe) wie Kohle, Öl oder Gas, zum anderen die regenerative Energieträger wie Wasser, Wind, Sonne und Biomasse. Die räumliche Verfügbarkeit der fossilen Energien in Deutschland ist nicht nur durch die eigenen nationalen Rohstofflagerstätten (Kohle und in geringem Umfang Gas), sondern insbesondere durch die großräumigen nationalen Transportsysteme mit ihren Zwischenlagerplätzen oder Speichern bestimmt (siehe Kapitel 2 und 3).

Die regenerativen Energien sind zwar „ubiquitär“ (= überall verbreitet) verfügbar, in ihrer Intensität jedoch nur räumlich sehr differenziert nutzbar. Die Vorkommen regenerativer Energieträger werden bei den Teilsystemen Stromversorgung und Wärmeversorgung dargestellt.

### **b) Boden**

Die Ressource Boden dient im Bereich der Ver- und Entsorgungssysteme als Fläche für Standorte für Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung, zum Senden und Empfangen von Nachrichten, zur Wasseraufbereitung, zur Abwasserbehandlung und zur Abfallbehandlung und Ablagerung sowie Flächen für Trassen zum Strom und Wärmetransport sowie für Wasser- und Abwasserleitungen. Der Bodenverbrauch für Verkehr und Siedlung in Deutschland nimmt täglich um 105 Hektar zu. Zwar ist die Flächeninanspruchnahme aufgrund der schwachen Baukonjunktur im zweiten Jahr in Folge weniger stark gestiegen, das Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, im Jahr 2020 nur noch täglich 30 Hektar zusätzliche Flächen für Siedlung und Verkehr zu verwenden ist jedoch nur zu erreichen, wenn neben den Schwerpunkten ‚Aufwertung des Wohnungsbestandes‘ und ‚Attraktivere Gestaltung des Wohnumfeldes in bestehenden Siedlungsgebieten‘, wenn brachgefallene, ehemals gewerblich oder industriell genutzte, und damit bereits erschlossene Flächen verwendet werden. So können öffentliche Fehlinvestitionen bei der Erschließung von Baugebieten vermieden werden. Zusätzlich sind hier jedoch ökonomische Anreize (z.B. Befreiung von Grundsteuer und Grunderwerbsteuer beim Kauf von Wohnungen im Bestand, Abschaffung der Wohnbauförderung). Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Flächeninanspruchnahme allein hierdurch um rund 15 Prozent verringern würde.

Das ‚Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten‘ (BBodSchG) vom März 1998, kurz Bundes-Bodenschutzgesetz genannt, regelt zum Schutz der Ressource Boden entsprechend seinem § 1 folgendes:

*Zweck dieses Gesetzes ist es, nachhaltig die Funktion des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden.*

Die Empfindlichkeit des Bodens ist wie bei jeder anderen Flächeninanspruchnahme auch bei den Ver- und Entsorgungssystemen jeweils mit in die Bewertung einzubeziehen. Dies kann zum Beispiel aufgrund der Bodengüte oder der Bodenwerte erfolgen.

### **c) Wasser**

Die Ressource Wasser dient im Bereich der Ver- und Entsorgung als Trinkwasser für die Bevölkerung und die Lebensmittelproduktion, als Brauchwasser für Industrie und Landwirtschaft sowie als Kühlwasser in der Industrie und für die Energieversorgung. Daneben wird die Ressource Wasser für den Transport von Fäkalien und Abfallstoffen benötigt. Das Wasserdargebot in Deutschland wird mit 188 Mrd. m<sup>3</sup> pro Jahr angegeben, wovon derzeit (Stand 2001) nur etwa 20 % (38 Mrd. m<sup>3</sup>) genutzt werden [1.20]. Hauptverbraucher der genutzten Wasserressourcen sind die Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung mit einem Anteil von 65 %, gefolgt von Bergbau und verarbeitendem Gewerbe mit rund 20 %. Auf die Landwirtschaft entfällt weniger als ein halbes Prozent. Die öffentliche Wasserversorgung liegt mit ihrem jährlichen Wasserverbrauch von 5,4 Mrd. m<sup>3</sup> bei rund 15 % des genutzten Wasserdar-

gebotes. Trotz eines insgesamt ausreichenden Wasserdargebots gibt es auch in Deutschland Wassermangelgebiete mit nur geringen nutzbaren Grundwasservorkommen. Vor allem in Ballungsgebieten übersteigt der Wasserbedarf das Dargebot. Mit Fernversorgungsleitungen wird für den Ausgleich zwischen Wassermangelgebieten und Wasserüberschussgebieten gesorgt. Fernwasserleitungen gibt es vor allem in Bayern, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, im Ruhrgebiet und im Raum Frankfurt/Main.

Für die Wasserbilanz eines Gebietes muss der gesamte Wasserhaushalt betrachtet werden, der im Wesentlichen durch die Größen Niederschlagshöhe, Abflussmenge und Verdunstung repräsentiert wird.

Wasser wird in Deutschland (1998) vorwiegend aus Grund- und Quellwasser (74 %) sowie Oberflächenwasser (21%) oder als Uferfiltrat (5%) den natürlichen Ressourcen entnommen. Das ‚Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) vom 19. August 2002, kurz Wasserhaushaltsgesetz genannt, legt in seinem § 1a zum Ressourcenschutz folgendes fest:

*Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktion unterbleiben. ...*

Die meisten Fließgewässer unterliegen einer mehr oder weniger intensiven menschlichen Nutzung, wobei eine der Hauptnutzungsformen die Abführung von Abwasser ist. Durch den Abbau kommt es zum Verbrauch von Sauerstoff sowie zur Eutrophierung (Anregung des Pflanzenwachstums durch Nährstoffe – der Abbau der Pflanzen führt wiederum zur Sauerstoffzehrung = Sekundärbelastung). Verschiedene Zeigerorganismen reagieren unterschiedlich auf den Mangel an Sauerstoff. Zur Bestimmung der Gewässergüte werden daher die Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthon) erfasst. Aus der Artenzusammensetzung kann dann der Saprobien-Index errechnet werden. Die Bestimmung der Gewässergüte erfolgt in Deutschland nach dem Saprobien-System [1.21]. Ziel aller wasserwirtschaftlichen Maßnahmen ist es schließlich, die Gewässergüte (von Oberflächengewässer oder Grundwasser) zu erhalten oder zu verbessern.

#### **d) Luft**

Die Ressource Luft dient im Rahmen der Ver- und Entsorgungssysteme zum einen in ihrer Form als Wind (= bewegte Luft in der Atmosphäre) als regenerativer Energieträger. Zum anderen werden in die Luft Schadstoffe übertragen, die direkt negativ auf den Menschen wirken können. Auch werden durch die Luft stoffliche, thermische und akustische Belastungen auf das Wasser, den Boden sowie die Pflanzen und Tierwelt und damit auch indirekt auf den Menschen übertragen. Um in dieser systemorientierten Betrachtung auch den Klimaschutz angemessen berücksichtigen zu können, ist es erforderlich, auch das Klima (= mittlerer Zustand der Atmosphäre, z.B. 30-40 Jahre, im Unterschied zu dem Begriff Wetter = momentaner Zustand der Atmosphäre; 1 Stunde, 1 Tag) in Verbindung mit der Ressource Luft zu betrachten.

Die Luft und das Klima sind im Prinzip ubiquitär vorhanden, deren Belastungen treten jedoch lokal und regional in ihrem Umfang sehr unterschiedlich auf. Daher sind diese auch je nach Empfindlichkeit des Natur- und Siedlungsraumes unterschiedlich zu bewerten. Ressourcenschutz muss daher auch bei den Ver- und Entsorgungssystemen im Hinblick auf die globalen Klimaschutzziele grundsätzlich und umfassend berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere

dann schwierig, wenn lokale Interessen und kurzfristige Vorteile für andere Ressourcen entgegenstehen.

Das ‚Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge‘ (BImSchG) vom 26. September 2002, kurz Bundes-Immissionsschutzgesetz genannt, legt in seinem § 1 folgendes zum Ressourcenschutz fest:

*Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umweltwirkungen zu schützen und dem Entstehen von schädlichen Umwelteinwirkungen vorzubeugen.*

*Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt dient dieses Gesetz auch*

- *der integrierten Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen, sowie*
- *dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden.*

Teilweise werden für besonders belastete Gebiete Luftqualitätspläne aufgestellt und zu diesem Zweck Luftgüte- oder Luftqualitätskarten erstellt. Im Rahmen der Luftqualitätspläne erfolgte eine Abschätzung der Luftqualität durch die kombinierte Anwendung von Monitoring-Methoden und Modellen auf verschiedenen räumlichen Ebenen (von Hotspots über Straßenschluchten bis hin zu einem kontinentalen Level). Dabei werden unterschiedliche Verursacher auf lokaler, regionaler, nationaler und europäischer Ebene sowie verschiedene Schadstoffe betrachtet. Die Erstellung von Luftqualitätskarten erfolgt in Deutschland und in Europa auf den verfügbaren Datensätzen mittels ausgewählter Methoden zur Abschätzung der Luftqualität. Dabei werden Karten auf Europaebene bereitgestellt, welche die räumliche Verteilung der Immissionsbelastungen für die Stoffe PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> (Feinstaub „Particulate Matter“ < 10 bzw. 2,5 µm) NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> und Benzol abbilden.

### 1.4.3 Empfindlichkeiten der Ressourcen

Die Ver- und Entsorgungssysteme entfalten bei ihrem Bau, bei ihrem bestimmungsgemäßen und ihrem nicht-bestimmungsgemäßen Betrieb (also bei einem Störfall) sowie bei ihrem Rückbau spezielle, das heißt systemspezifische Wirkungen auf die Umwelt. Diese werden für die Teilsysteme Stromversorgung, Wärmeversorgung, Nachrichtenversorgung, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Abfallentsorgung jeweils in den Kapiteln zu den Anlagen zur Umwandlung, zum Transport sowie zu den Netzen für die Verteilung oder Sammlung behandelt. Nachfolgend werden die allgemeinen Wirkungen von solchen Eingriffen auf die Umwelt, das heißt in diesem Fall auf die Ressourcen Wasser, Boden und Luft, betrachtet (Tabelle 1-2).

Umweltschutz ist immer auch Menschenschutz. Der effiziente Gesundheitsschutz steht in enger Verbindung mit Vorsorgemaßnahmen und bedarf einer stetig verbesserten Abschätzung der Folgewirkungen von Umweltbelastungen auf den Menschen. Diese können direkt und indirekt über Systemveränderungen einwirken. Direkte Belastungen sind z. B. Luftschadstoffe wie Feinstaub bzw. Ozon, Nitrat im Trinkwasser (Hausbrunnen), Schadstoffe in der Nahrung sowie Lärmbelastungen. Indirekte Belastungen reichen z. B. von einer ökologischen

Verarmung der Umwelt und der damit verbundenen Abwertung als Lebens- und Erholungsraum bis hin zum möglichen Auftreten neuer Krankheiten als Folge der Klimaveränderung.

**Tabelle 1-2** Inanspruchnahme der Ressourcen nach Schutzgut [1.22]

<b>Schutzgut</b>	<b>Schutzziel</b>	<b>Nutzung der Ressource</b>
<b>Boden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenschutz</li> <li>- Ressourcenschutz</li> </ul>	- Flächenbedarf der Anlage
		- Rückführung Abwasser
		- Rückführung Kompost
		- Rückführung Klärschlamm
		- Eintrag Luftschadstoffe
<b>Wasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gewässerschutz</li> <li>- Grundwasserschutz</li> <li>- Quellschutz</li> <li>- Klimaschutz</li> <li>- Gesundheitsschutz (Hygiene)</li> </ul>	- Flächenbedarf Wasserversorgungsanlage
		- Nutzung für Kühlung
		- Nutzung für Transport
		- Rückführung Abwasser
		- Eintrag Bodenschadstoffe
		- Eintrag Luftschadstoffe
<b>Luft / Klima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Immissionsschutz</li> <li>- Klimaschutz</li> <li>- Lärmschutz</li> <li>- Gesundheitsschutz (Hygiene)</li> </ul>	- Flächenbedarf Anlagen für Verbrennung
		- Rückführung Abluft
		- Eintrag Luftschadstoffe
		- Eintrag Geruch, Lärm
		- Eintrag Wärme
<b>Pflanzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pflanzenschutz</li> <li>- Biotopschutz</li> <li>- Naturschutz</li> <li>- Artenschutz</li> </ul>	- Nutzung für Brennstoff
		- Rückführung Abwasser
		- Rückführung Kompost
		- Rückführung Klärschlamm
		- Eintrag Luftschadstoffe
<b>Tiere</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tierschutz</li> <li>- Artenschutz</li> </ul>	- Aufnahme Schadstoffe (Nahrungsmittel)
		- Aufnahme von Wasserschadstoffen
		- Aufnahme von Luftschadstoffen
<b>Landschaft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Landschaftsschutz</li> <li>- Naturschutz</li> <li>- Denkmalschutz</li> </ul>	- Nutzung für Flächen
		- Rückführung Abwasser
		- Rückführung Kompost
		- Rückführung Klärschlamm
		- Eintrag Luftschadstoffe

#### a) Ressource Boden

Boden wird von den Ver- und Entsorgungssystemen im Raum beeinflusst oder genutzt für die Anlagenstandorte und Trassen, zur Verrieselung von Abwasser, zur Ablagerung von Klärschlamm, zum Anpflanzen von Bioenergiepflanzen und zum Schutz der Grundwasservorkommen (Filterfunktion). Als Gefahrenpotentiale sind insbesondere zu nennen:

- Stoffliche Einträge aus Umwandlungsprozessen (Kraftwerke usw.), die direkte schädigende Wirkungen haben,
- Veränderung der biologischen Bodeneigenschaften durch Störung des Nährstoff- und Wasserhaushalts (indirekte Wirkungen) und