

Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Wasserwirtschaft

Förderkennzeichen 3708 16 305

Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung  
und Entwicklung einer kosten- und  
ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur

von

Thomas Hillenbrand, Jutta Niederste-Hollenberg,  
Eve Menger-Krug, Stefan Klug  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)

Robert Holländer, Sabine Lautenschläger, Stefan Geyler  
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement (IIRM), Universität Leipzig

unter Mitarbeit von:

Uwe Winkler  
Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH  
Silke Geisler  
Emschergenossenschaft/Lippeverband  
Thomas Völkner, Stefan Böttger, Cäsar Dziuba  
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement (IIRM), Universität Leipzig

IM AUFTRAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES

Mai 2010



## Berichts-Kennblatt

<b>Berichtsnummer</b> 1.	2.	3.
<b>4. Titel des Berichts</b> Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur (Kurztitel: Anpassung der Abwasserinfrastruktur an den demografischen Wandel)		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Thomas Hillenbrand, Jutta Niederste-Hollenberg, Eve Menger-Krug, Stefan Klug, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger, Stefan Geyley		<b>8. Abschlussdatum</b> November 2009
		<b>9. Veröffentlichungsdatum</b>
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe (Projektleitung) Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement (IIRM), Universität Leipzig		<b>10. UFOPLAN-Nr.</b> FKZ 3708 16 305
		<b>11. Seitenzahl: 258</b>
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b> Umweltbundesamt, Postfach 1406, 06813 Dessau-Roßlau		<b>12. Literaturangaben: 299</b>
		<b>13. Tabellen und Diagramme: 30</b>
		<b>14. Abbildungen: 20</b>
<b>15. Zusätzliche Angaben</b> unter Mitarbeit von: Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH; Emschergenossenschaft/Lippeverband		
<b>16. Kurzfassung</b> Der demografische Wandel wird in Deutschland insgesamt zu einem deutlichen Rückgang der Bevölkerungszahlen führen, kann jedoch regional bzw. lokal sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Sowohl eine Zunahme als auch eine drastische Abnahme der Bevölkerungszahlen sind voraussehbar. Für die raumbezogenen technischen Infrastrukturen wie Wasser, Abwasser oder Energie ergibt sich daraus ein evtl. deutlicher Anpassungsbedarf. Aufgrund der sehr langen Nutzungsdauer wichtiger Komponenten konventioneller Abwasserinfrastruktursysteme (Kanäle bis zu 100 Jahre), verbunden mit hohen Investitions- und Unterhaltungskosten, sind weit vorausschauende Planungen und die langfristige Berücksichtigung aller sich verändernden Umfeldbedingungen notwendig. Die systematische Analyse der Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur zeigt die besondere Relevanz der ökonomischen Auswirkungen: abnehmende Einwohnerzahlen bei hohen Fixkostenanteilen bedeuten höhere spezifische Belastungen für den einzelnen Nutzer. Die beschriebenen Lösungsansätze können zum einen helfen, den je nach den lokalen Bedingungen zu erwartenden, betrieblichen Probleme zu begegnen, zum anderen zeigen sie innovative technische Nutzungen vorhandener Systemkomponenten sowie übergreifende organisatorische Ansätze auf. Zusätzlich werden alternative Organisationsmodelle für die Umsetzung dezentraler Konzepte beschrieben. Die mit der Zielsetzung einer möglichst hohen Ressourceneffizienz (Energie, Wertstoffe) und unter Berücksichtigung weiterer sich wandelnder Einflussgrößen in den letzten Jahren entwickelten Abwasserinfrastruktursysteme werden dargestellt. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen richten sich vor allem an die Abwasserentsorger und Kommunen als die lokal verantwortlichen Akteure. Ihr Ziel muss es sein, sich frühzeitig auf die evtl. stattfindenden Veränderungen einzustellen, Stadtentwicklung und Unternehmensstrategie aufeinander abzustimmen und eine langfristig orientierte, an die sich verändernden Rahmenbedingungen angepasste Investitionsplanung durchzuführen. Darüberhinaus sind wichtige Randbedingungen über das Umfeld zu beeinflussen. Dazu zählen Maßnahmen zur Raumordnung, Fördermaßnahmen für Infrastrukturmaßnahmen, Anpassungen im rechtlichen Umfeld sowie unterstützende Forschungsaktivitäten.		
<b>17. Schlagwörter</b> Demografischer Wandel, Abwasserinfrastruktur, Handlungsempfehlungen, technische und organisatorische Maßnahmen, neuartige Konzepte, langfristige Strategieentwicklung		
<b>18. Preis</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## Report Cover Sheet

<b>Report No.</b> 1.	<b>2.</b>	<b>3.</b>
<b>4. Report Title</b> Demographic change as a challenge to secure and develop cost- and resource-efficient wastewater infrastructure (Short title: Adaptation of wastewater infrastructure to demographic change)		
<b>5. Author(s), Name(s), First Name(s)</b> Thomas Hillenbrand, Jutta Niederste-Hollenberg, Eve Menger-Krug, Stefan Klug, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger, Stefan Geyler		<b>8. Report Date</b> November 2009
		<b>9. Publication Date</b>
<b>6. Institution (Name, Address)</b> Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI), Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe (Project Management) Institute for Infrastructure and Resource Management (IIRM), University of Leipzig		<b>10. UFOPLAN-Ref.No.</b> FKZ 3708 16 305
		<b>11. No. of Pages: 258</b>
<b>7. Sponsoring Agency (Name, Address)</b> Umweltbundesamt, Postfach 1406, 06813 Dessau-Roßlau		<b>12. No. of References:</b> 299
		<b>13. No. of Tables: 30</b>
		<b>14. No. of Figures: 20</b>
<b>15. Supplementary Notes</b> with the collaboration of: Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH; Emschergenossenschaft/Lippeverband		
<b>16. Abstract</b> Demographic change will lead to an overall significant decline in Germany's population, but this can vary greatly at regional and local levels. Both increases and drastic reductions in population are being predicted. This means that spatially-based technical infrastructures such as water supply, sewage or energy networks and facilities will have to be adapted, perhaps considerably. Because important components of conventional wastewater infrastructure systems are in use for very long periods (up to 100 years for sewers) and because they are associated with high investment and maintenance costs, it is necessary to plan for the very long-term future and take all the changing framework conditions into account. A systematic analysis of the consequences of demographic change on wastewater infrastructure shows the special relevance of economic impacts: a declining number of inhabitants plus a high proportion of fixed costs mean a higher specific cost burden for each user. The approaches described help to counter expected operating problems, which vary locally. They also indicate innovative technical uses of existing system components as well as overarching organisational approaches. In addition, alternative organizational models are described for implementing decentralized concepts. Wastewater infrastructure systems are presented which have been developed in the past few years with the objective of achieving the highest possible resource efficiency (energy, nutrients) and which take into account continued changes in the factors of influence.  The recommendations for action are directed mainly at the wastewater utilities and the municipalities as the locally responsible actors. They must aim to adjust to possible changes in the framework conditions at an early stage, to coordinate urban development and corporate strategy and to develop a long-term capital investment plan. Additionally it is necessary to influence the framework conditions. This can be done by measures of spatial planning, funding of infrastructure as well as adjusting the legal framework and promoting supportive research activities.		
<b>17. Key words</b> Demographic change, wastewater infrastructure, recommendations for action, technical and organisational measures, innovative concepts, long-term strategy development		
<b>18. Price</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Hintergrund .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Zielsetzung.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Relevanz des demografischen Wandels für die Abwasserinfrastruktur .....</b>	<b>7</b>
3.1    Identifizierung demografischer Veränderungen mit Auswirkungen auf die Abwasserentsorgung .....	8
3.1.1    Entwicklung der Bevölkerungszahlen .....	8
3.1.2    Entwicklung der Alters- und Haushaltsstruktur.....	12
3.1.3    Haushaltsstruktur - Private Haushalte.....	14
3.2    Siedlungsstrukturelle Charakterisierung des Bundesgebietes.....	16
3.2.1    Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche .....	17
3.2.2    Siedlungsdichte .....	18
3.3    Demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte .....	20
3.3.1    Altersstruktur der demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte .....	24
3.3.2    Siedlungsstruktur der demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte .....	24
3.4    Erweiterung der demografischen Typisierung durch Abbildung sonstiger interferierender Entwicklungen .....	25
3.4.1    Auswirkungen des Klimawandels.....	26
3.4.2    Topografische Randbedingungen .....	29
3.4.3    Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs .....	33

<b>4</b>	<b>Identifizierung von Infrastruktursystemen und -anlagen mit besonderer Sensibilität bezüglich der demografischen Veränderungen .....</b>	<b>37</b>
4.1	Charakterisierung der Abwasserinfrastrukturausstattung und der Siedlungs- und Verkehrsfläche .....	37
4.1.1	Anschlussgrad.....	38
4.1.2	Länge und Struktur der Kanalisation.....	39
4.1.3	Alter und Zustand der Kanalisation sowie Sanierungsbedarf.....	40
4.1.4	Qualität der Abwasserbehandlung .....	42
4.1.5	Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen .....	43
4.1.6	Entwicklung der Abwasserinfrastrukturausstattung.....	44
4.2	Nähere Charakterisierung der typisierten Gebiete .....	45
4.2.1	Typ 1 - Wachsende kreisfreie Städte .....	48
4.2.2	Typ 4 - Wachsende Kreise .....	48
4.2.3	Typ 2 - Stabile Kreisfreie Städte .....	49
4.2.4	Typ 5 - Stabile Kreise .....	51
4.2.5	Typ 3 - Schrumpfende Kreisfreie Städte .....	51
4.2.6	Typ 6 - Schrumpfende Kreise .....	52
4.3	Identifikation von vom Bevölkerungsrückgang besonders betroffener Gebiete .....	53
<b>5</b>	<b>Detailanalysen zu aktuellen Auswirkungen des demografischen Wandels auf Abwasserinfrastrukturen anhand von Interviews .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>Auswirkungen der demografischen Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur .....</b>	<b>63</b>
6.1	Betriebliche Auswirkungen .....	64
6.2	Ökonomische Auswirkungen.....	67
6.3	Ökologische Auswirkungen .....	68
6.4	Strukturelle Auswirkungen: .....	70

<b>7</b>	<b>Maßnahmenoptionen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung (Umgestaltung) bestehender Anlagen .....</b>	<b>71</b>
7.1	Betriebliche Maßnahmen Kanal .....	74
7.1.1	Maßnahmen gegen Ablagerungen.....	74
7.1.2	Schutz gegen Korrosion .....	82
7.1.3	Maßnahmen gegen Geruchsprobleme .....	85
7.2	Nutzung freier Kapazitäten im Kanalnetz .....	102
7.2.1	Kanalnetzsteuerung .....	102
7.2.2	Regenwassermanagement .....	109
7.2.3	Nutzung frei werdender oder stillgelegter Entwässerungsanlagen .....	112
7.3	Innovative Maßnahmen Kanal .....	114
7.3.1	Vakuumsysteme als Alternative zur konventionellen Kanalsanierung .....	114
7.3.2	Abwasserwärmenutzung .....	116
7.4	Betriebliche Maßnahmen Kläranlage .....	120
7.4.1	C/N-Verhältnis .....	120
7.5	Energiemanagement.....	125
7.5.1	Steigerung der Energie-Effizienz auf Kläranlagen .....	126
7.5.2	Steigerung der Eigenenergieerzeugung auf Kläranlagen .....	129
7.5.3	Zusammenfassend: Randbedingungen und Hemmnisse für die Steigerung der Energie-Effizienz und der Eigenenergieerzeugung .....	137
7.6	Nutzung freier Kapazitäten auf der Kläranlage .....	139
7.6.1	Mögliche Maßnahmen - Überblick.....	139
7.7	Innovative Maßnahmen Kläranlage .....	140
7.7.1	Nährstoffrückgewinnung .....	140
7.7.2	Deammonifikation .....	146
7.7.3	Verfahrensänderung von aerober zu anaerober Behandlung von Siedlungsabwasser .....	148
7.7.4	Zweistufige anaerobe Verfahren (getrennte Hydrolyse).....	153
7.7.5	Eigenanbau von Co-Substraten .....	157

---

7.8	Organisatorische Maßnahmen .....	162
7.8.1	Zusammenschluss benachbarter Anlagen .....	162
7.8.2	Mitbehandlung Industrieabwasser .....	164
7.8.3	Strategische Sanierungs- und Investitionsplanung .....	168
7.8.4	Strategien zu Rückbau und Stilllegung .....	174
7.8.5	Neue Geschäftsfelder und Möglichkeiten der Zusammenarbeit .....	181
7.8.6	Tarifgestaltung .....	184
<b>8</b>	<b>Neuartige technische Konzepte zur Abwasserentsorgung .....</b>	<b>189</b>
8.1	Beschreibung neuer technischer Ansätze.....	190
8.2	Umsetzung neuartiger technischer Entsorgungskonzepte.....	192
8.3	Hemmnisse bei der Umsetzung innovativer Konzepte.....	196
<b>9</b>	<b>Organisatorische Anpassungsstrategien .....</b>	<b>199</b>
9.1	Innovative Organisationsmodelle für dezentrale technische Entsorgungskonzepte .....	202
9.2	Umsetzung neuer organisatorischer Systemkonzepte.....	206
<b>10</b>	<b>Technologievorausschau – Erkenntnisse aus dem BMBF-Foresight- Prozess .....</b>	<b>209</b>
<b>11</b>	<b>Ableiten von Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>211</b>
11.1	Handlungsempfehlungen für die Abwasserentsorger und die Kommunen .....	211
11.2	Handlungsempfehlungen Umfeld .....	213
<b>12</b>	<b>Ergebnisse Fachgespräch .....</b>	<b>217</b>
<b>13</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>219</b>
<b>14</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>225</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Entwicklung der Bevölkerungszahl in Deutschland nach Statistischem Bundesamt (2006) .....	2
Abbildung 3-1:	Veränderung der Bevölkerungszahlen in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 24) .....	10
Abbildung 3-2:	Veränderung der Bevölkerungszahlen – Ausblick bis 2050 (BBR, 2006, S. 29) .....	11
Abbildung 3-3:	Entwicklung der Altersstruktur in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 31) .....	13
Abbildung 3-4:	Veränderung der Zahl privater Haushalte in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 51) .....	15
Abbildung 3-5:	Entwicklung der Siedlungsdichte (BBR, 2005, S. 61) .....	19
Abbildung 3-6:	Demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte (eigene Darstellung) .....	23
Abbildung 3-7:	Relative Änderung der Sommerniederschläge in Deutschland (eigene Darstellung unter Verwendung von mpimet 2009: relative Änderung der Sommerniederschläge (Juni/Juli/August) für das A1B Szenario zwischen den Perioden 2071-2100 und 1961-1990) .....	28
Abbildung 3-8:	Überlagerung demografischer Entwicklungsmuster mit den topografischen Bedingungen des Versorgungsgebietes (eigene Darstellung) .....	32
Abbildung 4-1:	Verbreitung der identifizierten Problemtypen (eigene Darstellung) .....	47
Abbildung 5-1:	Lokalisierung der befragten Abwasserentsorger (eigene Darstellung) .....	56
Abbildung 6-1:	Überblick über die betrachteten Auswirkungen .....	63
Abbildung 6-2:	Arzneimittelverbrauch in DDD (definierte Tagesdosen) pro Jahr nach Altersgruppen - Vergleich 2005/2006 (Quelle: Schwabe, Paffrath, 2006 und 2007) .....	69
Abbildung 6-3:	Prozentuale Zunahme des Verbrauchs an definierten Tagesdosen gegenüber 2006 - Vergleich Variante 1-W1 - Variante 1-W2 .....	69

---

Abbildung 7-1:	Zweistufiges Fest-Flüssig-Biogas-Verfahren mit offener Hydrolyse .....	155
Abbildung 7-2:	Auswahl von Sanierungslösungen (Winkler, 2009).....	169
Abbildung 7-3:	Infrastrukture geprägte städtebauliche Risikoanalyse als Instrument zur Sicherung der Nachhaltigkeit von Investitionen .....	171
Abbildung 8-1:	Schematische Darstellung eines 2-Stoffstromsystems (Schwarzwasser) und eines 3-Stoffstromsystems (Urintrennung) (DWA, 2008) .....	191
Abbildung 9-1:	Klassifizierung der Betriebs-/ Organisationsformen in der Abwasserbeseitigung .....	199
Abbildung 9-2:	Ergebnis von Szenariobetrachtungen zur zunehmenden Nutzung von Kleinkläranlagen im deutschen Elbegebiet bis 2020 (aus Sartorius/Hillenbrand, 2008b) .....	207
Abbildung 13-1:	Überblick über untersuchte Lösungsansätze für betroffene Gebiete.....	221

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Demografische Typisierung der kreisfreien Städte .....	22
Tabelle 3-2:	Demografische Typisierung der Kreise .....	22
Tabelle 3-3:	Einteilung der Siedlungsdichte der erfassten Kreise (eigene Einteilung, in Anlehnung an BBR, 2005, S.61) .....	25
Tabelle 3-4:	Topografische Charakterisierung der demografischen Typisierung.....	30
Tabelle 4-1:	Parameter zur Identifizierung von Problemtypen .....	46
Tabelle 4-2:	Anzahl der von demografischen Veränderungen besonders betroffenen Gebiete .....	53
Tabelle 5-1:	Übersicht über durchgeführte Interviews zur Betroffenheit von Abwasserentsorgern .....	55
Tabelle 5-2:	Ergebnisse der Interviews hinsichtlich betrieblich/technischer Auswirkungen.....	58
Tabelle 5-3:	Geplante oder durchgeführte Maßnahmen der befragten Abwasserentsorger .....	61
Tabelle 7-1:	Allgemeine Gliederung der Maßnahmenblätter .....	71
Tabelle 7-2:	Übersicht über die beschriebenen Maßnahmen .....	73
Tabelle 7-3:	Kosten von Spülverfahren zur Kanalreinigung (Dettmar, 2005, S. 217ff; Müller, 2007, S.12f) .....	76
Tabelle 7-4:	Korrosionsschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Angriffsgrad der Korrosion (Tränckner, 2009).....	84
Tabelle 7-5:	Problematische Orte des Entstehens von Geruchsbelästigungen in Entwässerungssystemen (Barjenbruch, 2007: S. 5).....	85
Tabelle 7-6:	Chemische und biologische Substanzen zur Geruchsbekämpfung (Barjenbruch/Dohse, 2004).....	87
Tabelle 7-7:	Kosten ausgewählter chemischer Maßnahmen zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung (nach Barjenbruch/Dohse, 2004, Eiswirth et al., 2000, Matsché et al., 2005) .....	89

Tabelle 7-8:	Beeinflussende Faktoren der untersuchten Behandlungsverfahren zur Geruchsbekämpfung (Matsché et al., 2005: S. 82).....	93
Tabelle 7-9:	Überblick über verschiedene Praxisbeispiele zur Maßnahme Kanalnetzsteuerung .....	104
Tabelle 7-10:	Maßnahmen zur direkten biologischen Nährstoffwiederverwendung .....	142
Tabelle 7-11:	Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser.....	142
Tabelle 7-12:	Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm / Zentratwasser.....	143
Tabelle 7-13:	Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammmasche .....	143
Tabelle 7-14:	Vor- und Nachteile der anaeroben Behandlung von Abwasser im Vergleich zum aeroben Abbau .....	150
Tabelle 7-15:	Vor- und Nachteile des Eigenanbaus von Co-Substraten auf Kläranlagen .....	158
Tabelle 7-16:	Kosten für Rückbau und Stilllegung von Abwasserleitungen (Siedentop et al., 2006, S.149f) .....	178
Tabelle 8-1:	Mögliche Anwendungsbeispiele neuartiger Sanitärsysteme (NASS) nach Ergebnissen der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 "Systemintegration" im DWA-Fachausschusses KA-1 "Neuartige Sanitärsysteme" (DWA, 2008) .....	193
Tabelle 8-2:	Kommunen in Deutschland mit mindestens gleichbleibenden Bevölkerungszahlen (Zeitraum 1995 bis 2004) und starker Neubautätigkeit.....	194
Tabelle 8-3:	Kommunen in Deutschland mit Bevölkerungsrückgang von über 15 % (Zeitraum 1995 bis 2004) und niedrigem spezifischen Trinkwasserverbrauch .....	195
Tabelle 9-1:	Organisationsmodelle für dezentrale (technische) Entsorgungskonzepte .....	203
Tabelle 13-1:	Notwendige Prozessschritte zur langfristigen Strategieentwicklung aus der Sicht eines Abwasserentsorgers vor dem Hintergrund des demografischen Wandels.....	222

## Abkürzungsverzeichnis

AbfklärV	Klärschlammverordnung
ABL	Alte Bundesländer
AbwV	Abwasserverordnung
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminiumoxid
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
Bea	Bremerhavener Energiemanagement-Agentur GmbH
BFE	Bundesamt für Energie (Schweiz)
BGB-Gesellschaft	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz)
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BioAbfV	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden
BiomasseV	Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse
BK	Betriebskosten
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
C/N-Verhältnis	Kohlenstoff:Stickstoff Verhältnis
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Calciumnitrat
Ca(OH) <sub>2</sub>	Calciumhydroxid (gelöschter Kalk, Kalkmilch)
CaCO <sub>3</sub>	Calciumcarbonat (Kalk)
CaO	Calciumoxid (gebrannter Kalk)

---

CaSO <sub>4</sub>	Calciumsulfat, Anhydrit
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
C-Quelle	Kohlenstoff-Quelle
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DDD	Defined daily dose; angenommene mittlere tägliche Einnahmedosis (=“Erhaltungsdosis“)
DL	Druckleitung
DN	Diameter Nominal, Nennweite
DüMV	Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln
DüngeV	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung)
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD-KOSTRA	Deutscher Wetterdienst - Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen
E	Einwohner
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EEG	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energie (Erneuerbare Energien Gesetz)
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare Energien Wärme-Gesetz)
EGLV	Emschergenossenschaft/Lippeverband
EW	Einwohnerwert
F&E	Forschung und Entwicklung
FA	Filteranlage
FeCl <sub>2</sub>	Eisen(II)Chlorid
FeCl <sub>3</sub>	Eisen(III)Chlorid
FeSO <sub>4</sub>	Eisen(II)-Sulfat
(g)	gasförmig

---

GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GG	Grundgesetz
GK	Größenklasse
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Schwefelsäure
HD	Hochdruck
HS-Zement	Zement mit hohem Sulfatwiderstand
IK	Investitionskosten
IKT	Institut für Unterirdische Infrastruktur
ISiE	Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung
IVU-Richtlinie	Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
JAZ	Jahresarbeitszahl
KA	Kläranlage
KAG	Kommunalabgabengesetz
KKA	Kleinkläranlagen
KMnO <sub>4</sub>	Kaliumpermanganat
kW <sub>el</sub>	Einheit für elektrische Leistung – Kilo Watt
KWK	KraftWärmeKopplung
KWL	Kommunale Wasserwerke Leipzig
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LUA NRW	Landes-Umweltamt Nordrhein-Westfalen
MAP	Magnesium-Ammonium-Phosphat
MSR	Messen Steuern Regeln
N	Stickstoff
NaAl(OH) <sub>4</sub>	Natriumaluminat
NaOH	Natronlauge
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NawaRos	Nachwachsende Rohstoffe
NBL	Neue Bundesländer

---

NH <sub>4</sub> -N-Sonde	Ammonium-Stickstoff-Sonde
NKP	Stickstoff Phosphor Kalium
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
O <sub>3</sub>	Ozon
ÖIR	Österreichisches Institut für Raumplanung
OMV	Organische Mikro-Verunreinigungen
oTR	Organischer Trockenrückstand
oTS	Zugeführte organische Trockensubstanz
PE-HD	Polyethylen – high density
PVC-	Polyvinylchlorid
RTC	Real Time Control
STARDEX	Statistical and regional downscaling of extremes
SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
TierNebV	Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes
TKN	Total Kjeldahl-Stickstoff (org. N + NH <sub>4</sub> -N)
TOC	Total organic carbon
TZW	Technologiezentrum Wasser
TZW	Technologiezentrum Wasser
UASB-Anlage	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Anlage
USt	Umsatzsteuer
UStG	Umsatzsteuergesetz
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfung
v <sub>F</sub>	Fließgeschwindigkeit
VO	Verordnung
W/m <sup>3</sup> <sub>BB</sub>	Einheit für Umwälzleistung – Watt pro Kubikmeter Belebungsbecken
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

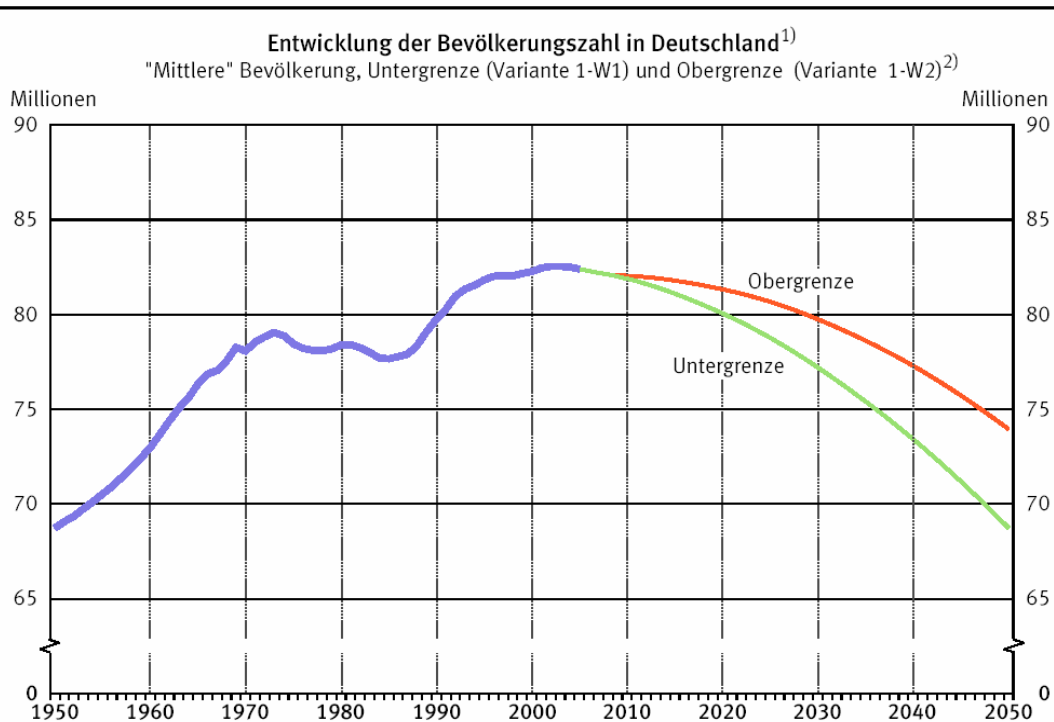


## 1 Hintergrund

Der demografische Wandel in Deutschland ist in vollem Gange. Seit über dreißig Jahren werden weniger Kinder geboren, als zur Bestandserhaltung der Bevölkerung notwendig wären. Ohne Zuwanderung aus dem Ausland würde die Bevölkerungszahl in Deutschland bereits seit den 1970er-Jahren schrumpfen. In den letzten Jahren sind jedoch die Wanderungsgewinne aus Zu- und Abwanderung zurückgegangen. Seit 2003 reichen sie nicht mehr aus, den Überschuss der Sterbefälle über die Geburten auszugleichen, so dass die Gesamtbevölkerungszahl in Deutschland abnimmt. Aufgrund der bereits erfolgten Veränderungen im Altersaufbau der Bevölkerung – auf die geburtenstarken Jahrgänge der 1960er folgen deutlich geburtenschwächere Jahrgänge – wird sich die Schere zwischen Geburten- und Sterberate zukünftig weiter öffnen und wird nach den vorliegenden Prognosen auch nicht mehr durch eine erhöhte Zuwanderung zu schließen sein. Die Wanderungsüberschüsse müssten dazu weit höher sein als in der Vergangenheit (Statistisches Bundesamt, 2006).

Von den statistischen Ämtern des Bundes und der Länder liegen detaillierte Analysen zur künftigen demografischen Entwicklung in Deutschland vor. In Variantenberechnungen werden für die wesentlichen Komponenten (insbesondere Geburtenhäufigkeit, Sterblichkeit und Wanderungen) unterschiedliche Annahmen zu Grunde gelegt. Abbildung 1-1 zeigt Ergebnisse der 11. koordinierten Vorausberechnung (Statistisches Bundesamt, 2006): Wenn es zu keiner grundlegenden Änderung der aktuellen demografischen Entwicklung kommt, ist für Deutschland mit einem deutlichen Rückgang der Bevölkerungszahl um 10 % (Variante mit fast konstanter Geburtenhäufigkeit und moderatem Anstieg der Lebenserwartung, Wanderungssaldo von 200.000 Personen) oder um 17 % (Wanderungssaldo von 100.000 Personen) auf 74 bzw. 69 Mio. im Jahr 2050 zu rechnen. Werden für alle drei Komponenten die höheren Annahmen eingesetzt, würde sich eine maximale Bevölkerungszahl von 79,5 Millionen Einwohnern, bei den niedrigeren Annahmen dagegen von 67,0 Millionen ergeben.

Abbildung 1-1: Entwicklung der Bevölkerungszahl in Deutschland nach Statistischem Bundesamt (2006)



1) Ab 2006 Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.–

2)

Variante	Geburtenhäufigkeit	Lebenserwartung	jährlicher Wanderungssaldo
1-W1	konstant	Basisannahme	100 000
1-W2	konstant	Basisannahme	200 000

Statistisches Bundesamt 2006 - 15 - 1316

Die Entwicklung der Bevölkerungszahl wird dabei für die einzelnen Regionen sehr unterschiedlich ausfallen. Bereits während der 90er Jahre zeigte die Bevölkerungsentwicklung große Unterschiede zwischen dem Osten und Westen Deutschlands: Während in Westdeutschland ein relativer Dekonzentrationsprozess stattfand – die ländlich-peripheren Räume erwiesen sich als besonders wachstumsstark - ergab sich in Ostdeutschland ein relativer Konzentrationsprozess, da hier die peripheren Regionen besonders von Schrumpfungsprozessen betroffen waren. Es ist davon auszugehen, dass die geringen Geburtenraten und die hohe Bevölkerungsmobilität zu einer starken Polarisierung der west- und ostdeutschen Entwicklung führen (Deilmann et al., 2005). Entsprechend den Ergebnissen des Raumordnungsberichts wird Ostdeutschland generell von einem weiteren Bevölkerungsrückgang gekennzeichnet sein. Gleichzeitig finden jedoch in den Neuen als auch in den Alten Bundesländern verstärkte räumliche Ausdifferenzierungsprozesse statt, d. h. Wachstums- und Schrumpfungsprozesse werden innerhalb verdichteter Regionen in enger räumlicher Nachbarschaft stattfinden.

Diese demografischen Entwicklungen sind mit erheblichen Konsequenzen für unterschiedlichste Lebensbereiche verbunden wie z. B. Alterssicherung, Gesundheit, Migration und Integration, Arbeit und Wirtschaft (vgl. Schlussbericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Demografischer Wandel - Herausforderungen unserer älter werdenden Gesellschaft an den Einzelnen und die Politik"). Auch im Bereich der Infrastrukturversorgung sind Anpassungen an geringer werdende Bevölkerungszahlen und deren veränderte Zusammensetzung erforderlich. Grundsätzlich ist die Effizienz städtischer Infrastrukturen – insbesondere der raumbezogenen technischen Infrastruktur wie Wasser, Abwasser oder Fernwärme - maßgeblich von der Bevölkerungsdichte abhängig.<sup>1</sup> In schrumpfenden Gebieten ist deshalb mit Effizienzverlusten zu rechnen, zumal die Anpassungsmöglichkeiten an zurückgehende Nutzerzahlen begrenzt sind und in der Regel nur langfristig umgesetzt werden können. Zusätzlich können technische Probleme beim Betrieb der für eine größere Nutzerzahl ausgelegten Anlagen entstehen, die unabhängig von den Effizienzverlusten mit zusätzlichen Kosten verbunden sein können. Infrastrukturen, die durch hohe Kapitalintensität und lange Nutzungsdauer von wichtigen Komponenten gekennzeichnet sind, verlangen deshalb weit vorausschauende Planungen und die langfristige Berücksichtigung aller sich ändernden Umfeldbedingungen (vgl. Hillenbrand/Hiesl, 2006 und 2007).

Für den Bereich der Abwasserentsorgung werden bspw. folgende wichtige Aspekte als Auswirkungen des demografischen Wandels genannt (vgl. z. B. Gemeinschaftstagung DWA – Dt. Städtetag: "Wasserwirtschaft - Demographischer Wandel -Auswirkungen auf die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur"):

- sinkende Abwassermengen und damit verbundene betriebliche Probleme aufgrund von verstärkten Ablagerungen im Kanalnetz und erhöhter Geruchsbildung,
- geringere mittlere Auslastungen der Anlagen zur Abwasserbehandlung, so dass technische oder betriebliche Anpassungen notwendig werden,
- höhere spezifische und einwohnerbezogene Kosten aufgrund des hohen Fixkostenanteils im Bereich der Wasserinfrastruktur sowie aufgrund des höheren spezifischen Betriebsaufwands,
- oder auch - unter stärker ökologischen Gesichtspunkten - ein höherer Verbrauch von Pharmaka und damit höhere Konzentrationen von Arzneimitteln und deren Rückstände im Abwasser.

---

<sup>1</sup> Demzufolge sieht der Koalitionsvertrag der 17. Legislaturperiode vom 26. Oktober 2009 die Förderung von dezentralen Systemen sowie die Nutzung alternativer Technologien zu Energie-, Wasserver- und Abwasserentsorgung insbesondere in dünn besiedelten Räumen vor.



## 2 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist die systematische Aufarbeitung der möglichen Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur und darauf aufbauend die Beschreibung und Bewertung von Lösungsansätzen sowohl aus technischer, betrieblicher und konzeptioneller Sicht. Wichtige, zusätzlich sich verändernde Randbedingungen von Wasserinfrastruktursystemen sind mit zu berücksichtigen. Hierzu zählen bspw. die Wechselwirkungen mit dem Bereich der Wasserversorgung, da durch eine weitere Verringerung des Trinkwasserverbrauchs die Probleme auf der Seite der Abwasserentsorgung weiter verschärft werden können.

In einem ersten Arbeitsschritt werden dazu die Ausprägungen der Auswirkungen des demografischen Wandels abgeschätzt und besonders stark betroffene Gebiete identifiziert. Anschließend werden die Möglichkeiten des Einsatzes von verschiedenen innovativen Abwasserentsorgungstechniken, Betriebsführungsstrategien und baulichen Veränderungen in den durch demografischen Wandel geprägten Regionen geprüft. Dazu dient u. a. auch die Aufarbeitung der Erfahrungen in den identifizierten, stark betroffenen Gebieten. Es ist zu ermitteln, ob und durch welche Maßnahmen das gewachsene zentrale Abwasserentsorgungssystem an die neuen Randbedingungen angepasst werden kann bzw. welche ökologisch und ökonomisch sinnvollen, alternativen Nutzungsmöglichkeiten sich für dieses System ergeben können. Auf der Grundlage der ermittelten Auswirkungen des demografischen Wandels und unter Berücksichtigung weiterer sich wandelnder Einflussgrößen ist zu analysieren, welche Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft der Zukunft zu stellen sind. Entsprechend sind auch mögliche neuartige Konzepte und Organisationsmodelle aufzuzeigen.

Die verschiedenen Arbeitsschritte des Projektes lassen sich wie folgt untergliedern:

- Beschreibung der Ausprägungen des demografischen Wandels und Identifikation stark betroffener Gebiete,
- Auswirkungen des demografischen Wandels auf Abwasserinfrastruktursysteme,
- kurz- bis mittelfristige Lösungsansätze: verfahrenstechnische, konzeptionelle und organisatorische Handlungsempfehlungen zur Nutzung bzw. Umgestaltung bestehender Anlagen,
- mittel- bis langfristige Lösungsansätze: Aufzeigen von Alternativen, die der Siedlungswasserwirtschaft der Zukunft gerecht werden und
- Erarbeitung von übergreifenden Handlungsempfehlungen sowohl für Betreiber und Planer von Abwasserentsorgungssystemen als auch hinsichtlich der Ausgestaltung von Fördermaßnahmen und rechtlichen Rahmenbedingungen.



### **3 Relevanz des demografischen Wandels für die Abwasserinfrastruktur**

Die demografische Entwicklung ergibt sich im Wesentlichen aus den demografischen Komponenten Geburtenhäufigkeit, Sterblichkeit und Wanderungen. Nach Variantenberechnungen des Statistischen Bundesamtes mit unterschiedlichen Annahmen zur künftigen Entwicklung dieser Komponenten ist für Deutschland mit einem deutlichen Rückgang der Bevölkerungszahl bis 2050 von rund 82,5 Mio. Einwohner im Jahr 2005 auf möglicherweise unter 70 Millionen zu rechnen (Statistisches Bundesamt, 2006, S. 5). Dabei wird die Entwicklung in einzelnen Regionen sehr unterschiedlich ausfallen. Generell ist davon auszugehen, dass die neuen Bundesländer besonders vom Bevölkerungsrückgang betroffen sein werden. Hierbei werden in den alten wie auch in den neuen Bundesländern Wachstums- und Schrumpfungsprozesse in enger räumlicher Nachbarschaft stattfinden und durch Veränderungen der Alters- und Haushaltsstruktur begleitet (BBR, 2005).

Diese demografischen Entwicklungen interferieren mit Veränderungen sonstiger Randbedingungen von Abwasserinfrastruktursystemen. Hierzu zählen klimatische Veränderungen, die Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs sowie sich verändernde Siedlungsstrukturen und Nutzerdichten der Abwasserinfrastruktursysteme. Naturräumliche Gegebenheiten wie die Topografie gehören ebenso dazu. Die Entwicklung der oben genannten Randbedingungen beeinflusst die technische und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Abwasserinfrastruktur regional differenziert in unterschiedlicher Art und Weise.

Im Folgenden werden die relevanten demografischen Veränderungen einschließlich der oben aufgeführten, sich überlagernden Entwicklungen beschrieben. Es erfolgt zunächst eine für das Bundesgebiet flächendeckende Abbildung der prognostizierten zukünftigen Veränderung der Bevölkerungszahlen sowie der Alters- und Haushaltsstrukturen. Um die Auswirkungen dieser demografischen Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur beurteilen zu können, werden im Anschluss die Kreise und kreisfreien Städte des Bundesgebietes auf Grundlage der Entwicklung der Bevölkerungszahlen<sup>2</sup> demografisch typisiert. Die gebildeten Typen werden anschließend im Hinblick auf Altersstruktur, Siedlungsdichte, klimatische Veränderungen, Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs sowie topografische Randbedingungen untersucht.

---

<sup>2</sup> Hierbei wird auf Daten und Prognosen des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) zurückgegriffen.

### 3.1 Identifizierung demografischer Veränderungen mit Auswirkungen auf die Abwasserentsorgung

Wichtige Kennzeichen des aktuellen demografischen Wandels sind

- eine sich verändernde Dynamik des Bevölkerungswachstums, die insgesamt mit einer Abnahme der Bevölkerungszahl einhergeht;
- eine sich verändernde Altersstruktur der Bevölkerung mit einem zunehmenden Anteil älterer Menschen und
- eine sich verändernde Haushaltsstruktur – charakterisiert durch eine stabile bis wachsende Anzahl privater Haushalte bei Abnahme der Haushaltsgröße.

Weiteres Charakteristikum des demografischen Wandels stellt die wachsende Internationalisierung der Bevölkerung durch Zuwanderungen aus dem Ausland dar. Im Folgenden werden die verfügbaren Prognosen zur Dynamik des demografischen Wandels<sup>3</sup> zusammengefasst.

#### 3.1.1 Entwicklung der Bevölkerungszahlen

Gesamträumlich betrachtet wuchs die Bevölkerungszahl in Deutschland bis zum Jahr 2002 an, seitdem ist die Bevölkerungszahl insgesamt rückläufig. Diese Entwicklung ist kurz- bis mittelfristig nicht umkehrbar. Bis zum Jahr 2050 wird bei Fortschreibung der bisherigen Entwicklung im Vergleich zum Jahr 2005 mit einem Rückgang von 10 bis 17 % der Einwohner Deutschlands gerechnet (Statistisches Bundesamt, 2006: S. 5). Bei einer regional differenzierten Betrachtung ergeben sich dabei erhebliche Unterschiede in der Ausprägung der Entwicklung der Bevölkerungszahlen.

Abbildung 3-1 zeigt die relative Veränderung der Bevölkerungszahl in den (Verbands-) Gemeinden<sup>4</sup> Deutschlands zwischen den Jahren 1993 und 2002 sowie zwischen den Jahren 2002 und 2020. Auffällig dabei ist ein Ost-West-Unterschied bezüglich der Richtung der Bevölkerungsentwicklung. Abweichend hiervon finden sich in den neuen Bundesländern Gemeinden und Regionen mit steigender und in den alten Bundeslän-

---

3 Ohne explizite Abbildung von Zuwanderungen aus dem Ausland.

4 *Verbandsgemeinden* sind eine Art Verwaltungsgemeinschaft mehrerer selbstständiger Gemeinden, die zur Erledigung ihrer Verwaltungsgeschäfte eine neue Gebietskörperschaft, die Verbandsgemeinde bilden. Das BBR verwendet eine entsprechende Darstellung der Daten zur Entwicklung der Bevölkerungszahlen auf der Ebene von Gemeinden und Gemeindeverbänden (z. B. Ämter in Schleswig-Holstein, Samtgemeinden in Niedersachsen, Verbandsgemeinden in Rheinland-Pfalz, Verwaltungsgemeinschaften in Baden-Württemberg). Für die Darstellung wird die Bezeichnung *Verbandsgemeinden* verwendet. (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2005, S. 31).



den Gemeinden und Regionen mit stagnierender oder abnehmender Bevölkerungszahl. Weiterhin steigende Bevölkerungszahlen werden für den Süden, Südwesten und Nordwesten der Bundesrepublik sowie in den Randbereichen der Agglomerationen bis zum Jahr 2020 erwartet. Zuzüge aus dem Ausland und innerdeutsche Binnenwanderung konzentrieren sich vor allem auf die Ballungsgebiete und städtische Zentren. In peripheren, ländlichen Gebieten kommt es dagegen zur teilräumlichen Entleerung (BBR, 2006: S. 19ff.).

Der Ost-West-Gegensatz bleibt auch zukünftig erhalten, schwächt sich aber ab. Während mit Ausnahme des engeren suburbanen Raumes die Bevölkerungszahl in den neuen Bundesländern weiter zurückgeht und ländliche Räume hier weiter an Bevölkerung verlieren, ist in den alten Bundesländern eine deutliche Zunahme an Regionen mit Schrumpfungstendenzen zu verzeichnen. Deutlicher Bevölkerungsrückgang setzt insbesondere in den altindustrialisierten Verdichtungsgebieten einschließlich deren engem Umland und in einigen dünn besiedelten Gebieten in der Mitte Deutschlands ein. Regionen mit Bevölkerungszuwachs werden nur noch außerhalb der Großstädte und Agglomerationszentren in deren erweitertem Umland erwartet (BBR, 2005: S. 29ff.).

Insgesamt ist festzustellen, dass das räumliche Nebeneinander wachsender und schrumpfender (Verbands-) Gemeinden und Regionen auch zukünftig vorzufinden sein wird. Allerdings werden der Anteil der Regionen mit Wachstumstendenzen abnehmen, der Anteil schrumpfender (Verbands-) Gemeinden und Regionen zunehmen und sich die Unterschiede in der regionalen bzw. lokalen Entwicklung verschärfen.

Langfristig, über das Jahr 2020 hinaus, nimmt der Anteil der Regionen mit Schrumpfungstendenzen weiter zu. Ein Wachstum der Bevölkerungszahl wird nur noch in wenigen Gebieten stattfinden. Räume mit über das Jahr 2020 hinaus steigenden Bevölkerungszahlen nehmen drastisch ab; und werden sich weiterhin auf den Süden, Südwesten und Nordwesten Deutschlands konzentrieren (BBR, 2006, S. 29).

Abbildung 3-1: Veränderung der Bevölkerungszahlen in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 24)

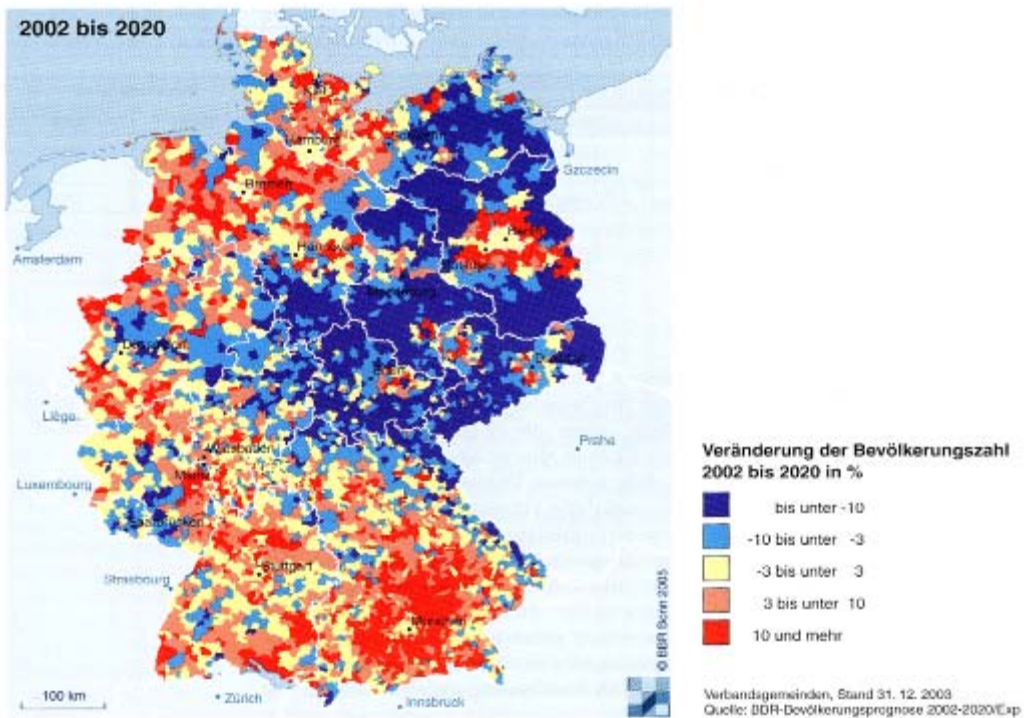
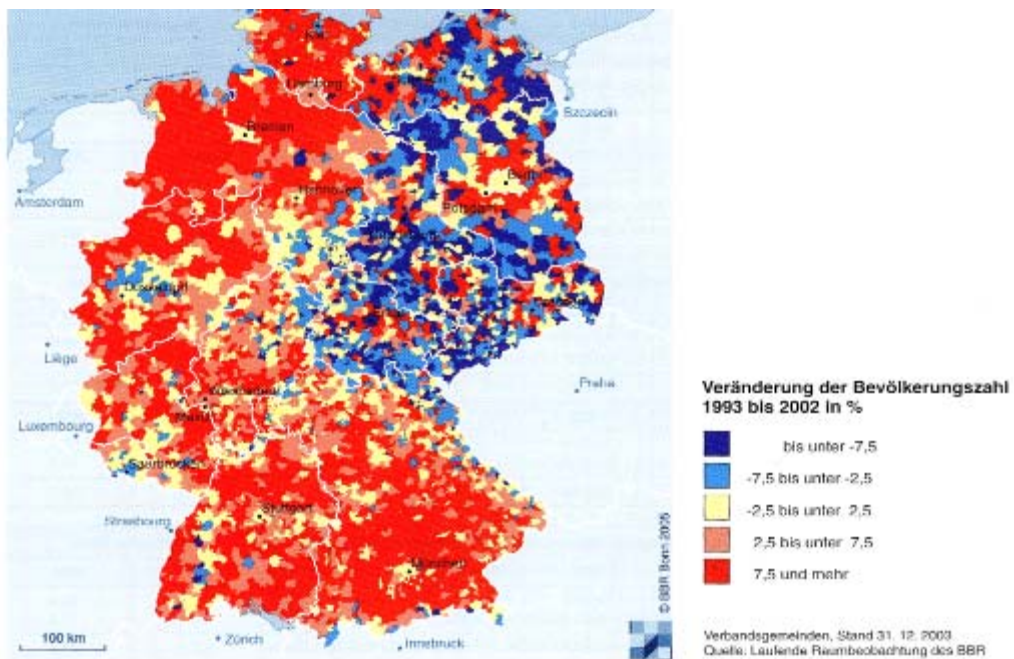
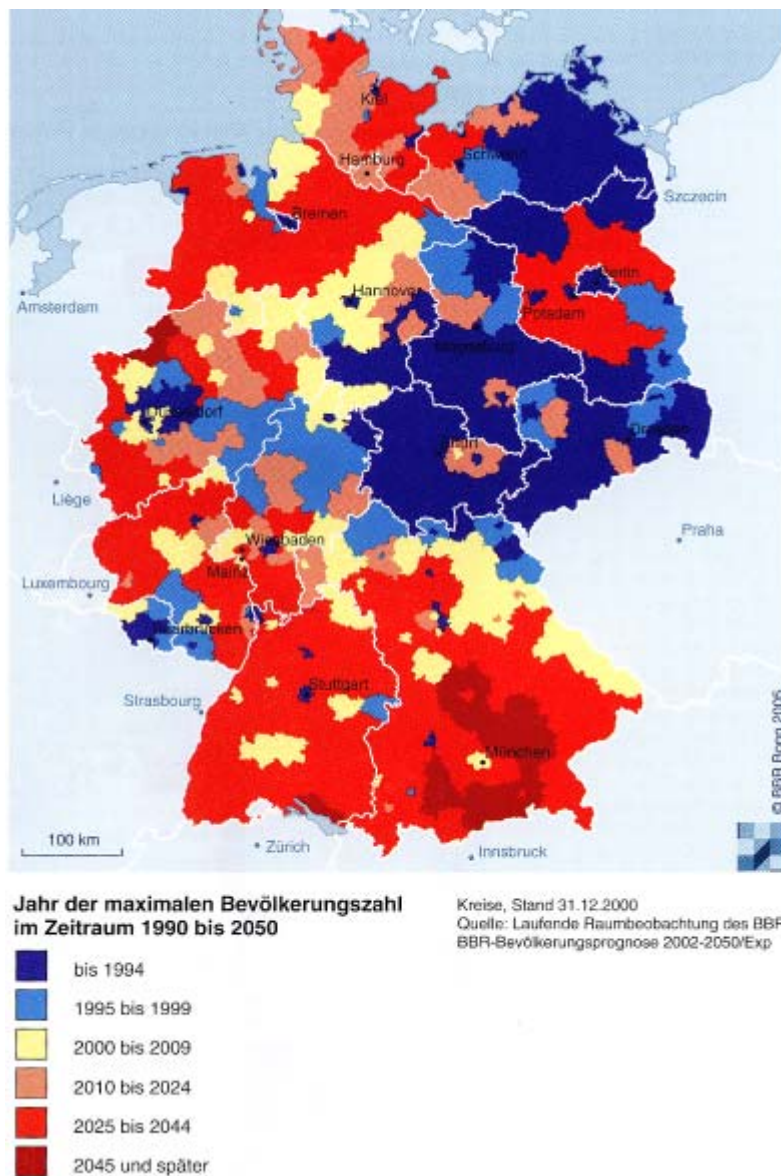


Abbildung 3-2 verdeutlicht räumlich differenziert den Zeitraum des Wechsels von wachsenden oder stabilen zu schrumpfenden Regionen innerhalb Deutschlands. Sie stellt die Jahre der maximalen Bevölkerungszahl auf Kreisebene dar.

Abbildung 3-2: Veränderung der Bevölkerungszahlen – Ausblick bis 2050 (BBR, 2006, S. 29)



Der Zeitpunkt des Übergangs von steigenden zu abnehmenden Bevölkerungszahlen schwankt zwischen den Regionen erheblich. In vielen Kreisen ist das Jahr der maximalen Bevölkerungszahl bereits überschritten. Insbesondere in den neuen Bundesländern begann eine Vielzahl von Kreisen bereits vor dem Jahr 2000 in oft erheblichem Ausmaß zu schrumpfen. Während im laufenden Jahrzehnt viele Regionen noch als stabil

bezüglich der Entwicklung der Bevölkerungszahlen einzuordnen sind, überschreitet in den zwei Jahrzehnten nach 2025 der größte Teil der Kreise in den alten Bundesländern voraussichtlich den Zeitraum der maximalen Bevölkerungszahl. Über das Jahr 2025 hinaus wird nur noch für wenige Kreise im suburbanen Raum von München und im Großraum Alpenrand-Bodensee von zunehmenden Bevölkerungszahlen ausgegangen (BBR, 2006: S. 29).

### **3.1.2 Entwicklung der Alters- und Haushaltsstruktur**

Neben dem Rückgang der Bevölkerungszahl stellen die Alterung der Bevölkerung und Veränderungen der Haushaltsstruktur wesentliche Charakteristika des demografischen Wandels dar, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

#### **Alterung der Bevölkerung**

Die Alterung der Bevölkerung ist ein kaum umkehrbarer Prozess. Die Entwicklung der Altersstruktur der Bevölkerung weist ein Grundmuster auf, das sich mittelfristig nur verstärken oder abschwächen, nicht jedoch völlig verändern wird (Statistisches Bundesamt, 2006: S. 17). Die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes weist für Ende 2005 in Deutschland einen Anteil der Bevölkerung jünger als 20 Jahre von 20 % aus; die Gruppe 65-Jährige und älter macht 19 % der Gesamtbevölkerung aus (Statistisches Bundesamt, 2006: S. 17). 61 % sind im erwerbsfähigen Alter (20 bis unter 65 Jahre). 2050 wird in der genannten Vorausberechnung etwa die Hälfte der Bevölkerung im Erwerbsalter, über 30 % 65 Jahre und älter und ca. 15 % unter 20 Jahren alt sein. Der Höhepunkt des Alterungsprozesses ist zu diesem Zeitpunkt jedoch schon überschritten, er wird nach diesen Prognosen in den 2030iger Jahren erreicht (BBR, 2005).

Die Alterung der Bevölkerung ist für das gesamte Bundesgebiet kennzeichnend. Geringe Geburtenraten und zunehmende Lebenserwartung haben eine verstärkte Alterung der Bevölkerung zur Folge. Die im Abschnitt zuvor beschriebenen regional differenzierten Entwicklungen der Bevölkerungszahlen führen auch zu regional differenzierten Ausprägungen des Alterungsprozesses der Bevölkerung. In wachsenden Regionen basiert der Alterungsprozess in der Regel auf einer Zunahme der Zahl älterer Menschen und weniger auf der Abnahme der jüngeren Altersgruppen. Charakteristisch für schrumpfende Regionen und typisch für die ländlichen Räume in den neuen Bundesländern ist dagegen die Abnahme schulpflichtiger Jahrgänge bei gleichzeitig starker Zunahme der Hochbetagten. Hier entstehen Problemräume, die auch aus Sicht der Abwasserentsorgung besonderen Handlungsbedarf aufweisen (BBR, 2006: S. 35ff.).



Abbildung 3-3: Entwicklung der Altersstruktur in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 31)

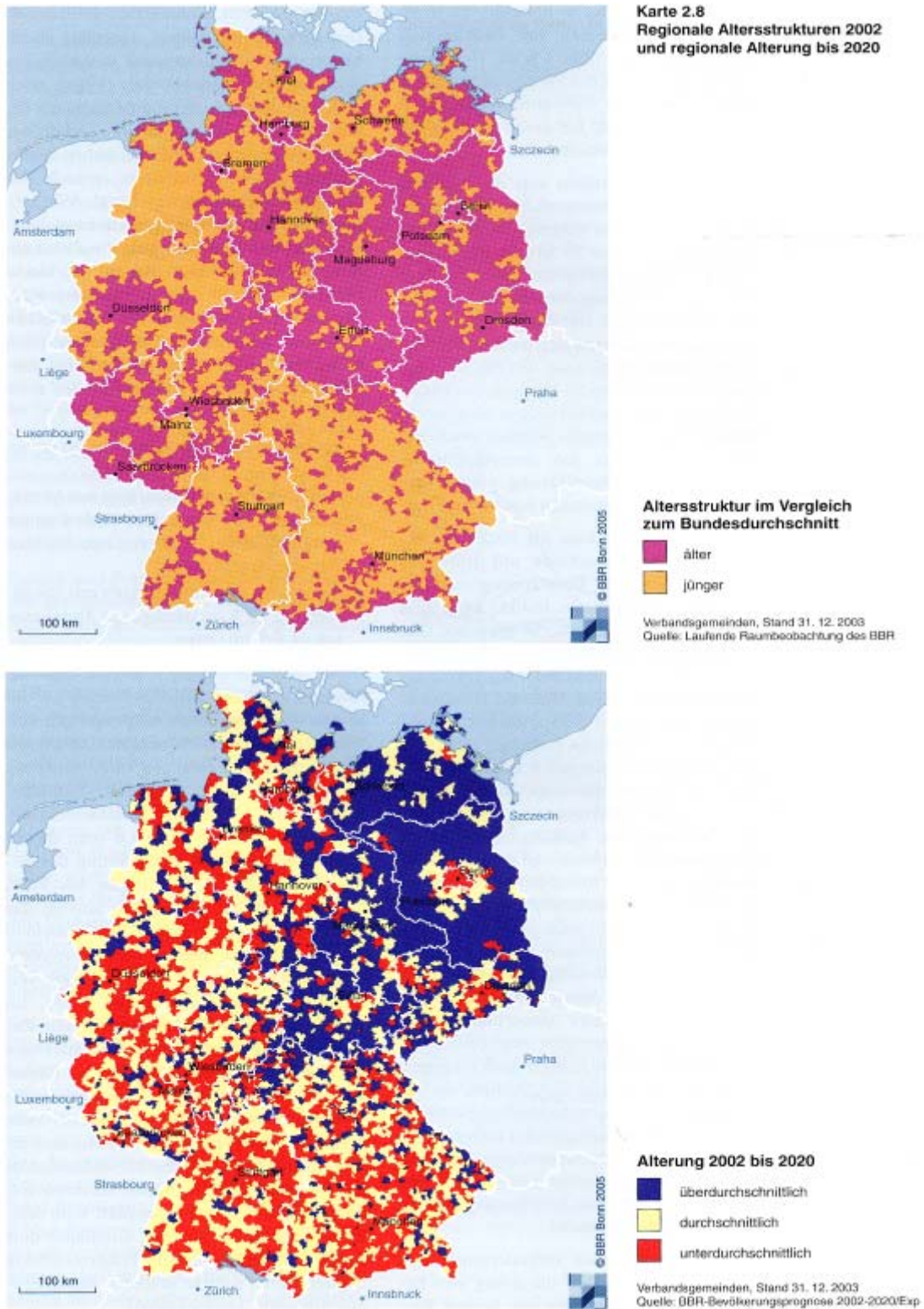


Abbildung 3-3 zeigt die regionale Altersstruktur im Jahr 2002 im Vergleich zum Bundesdurchschnitt und die zukünftige regionale Alterung bis zum Jahr 2020 für die (Verbands-)Gemeinden des Bundesgebietes.

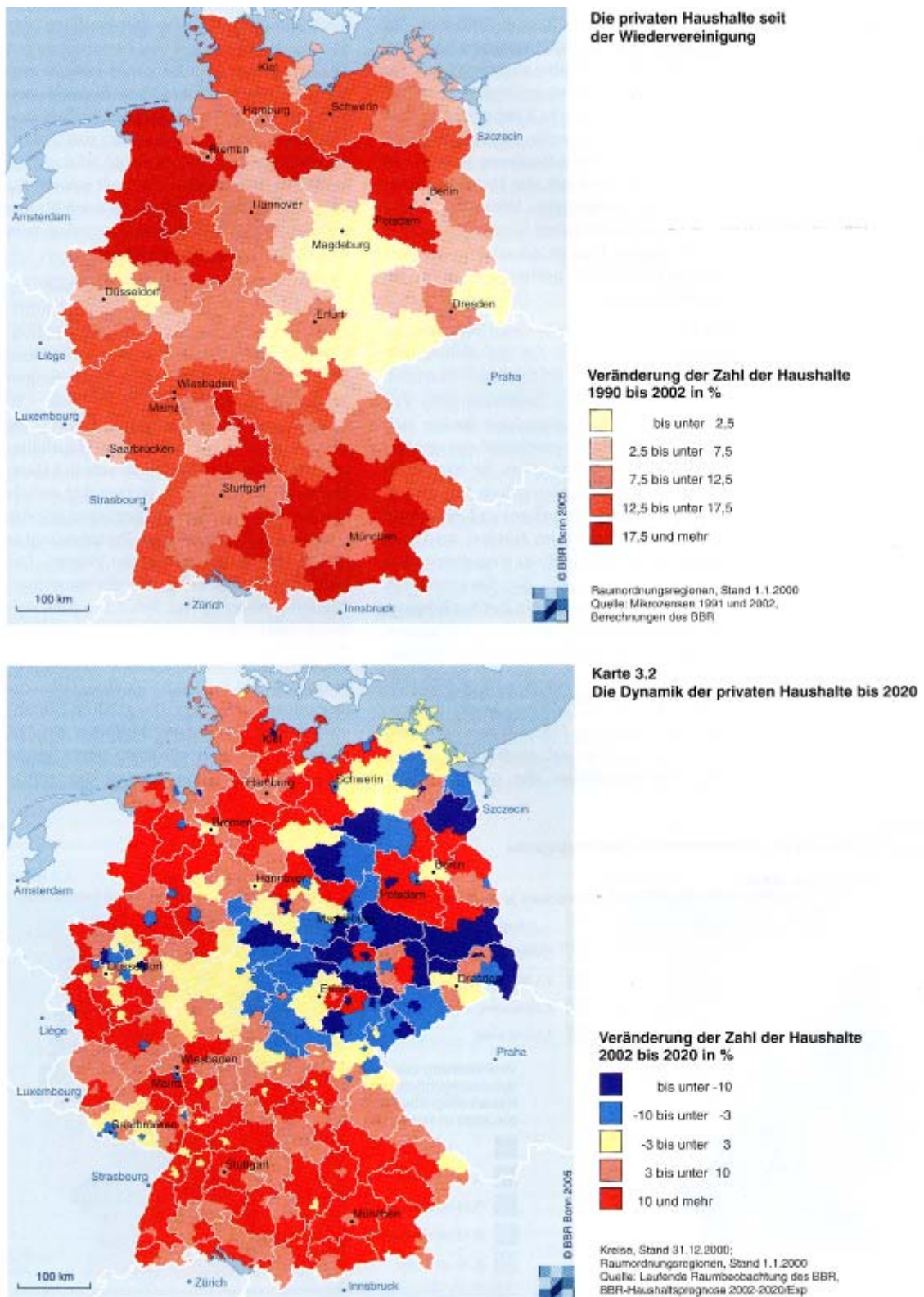
### 3.1.3 Haushaltsstruktur - Private Haushalte

Private Haushalte sind nach Definition des Statistischen Bundesamtes Gemeinschaften von Personen, die zusammen wohnen und wirtschaften, bzw. Personen, die allein wohnen und wirtschaften (Statistisches Bundesamt, 2009: S. 10f). Relevant für die Betrachtung der Auswirkungen der Haushaltsstruktur auf die Abwasserinfrastruktur sind zum einen die Größe und zum anderen die Anzahl der privaten Haushalte.

Während die Größe der privaten Haushalte seit vielen Jahren zurückgeht, stieg die Anzahl der privaten Haushalte gleichzeitig an. Vor allem Zwei-Personen-Haushalte nahmen zu, während größere Haushalte mit drei oder mehr Mitgliedern abnahmen. Derzeit beträgt der Anteil der Ein- und Zweipersonenhaushalte in Deutschland gut 70 % (BBR, 2005, S. 39). Dieser Anteil wird sich bis zum Jahr 2020 weiter erhöhen. In den neuen Bundesländern liegt die Haushaltsgröße deutlich unter dem Durchschnitt der alten Bundesländer. Im Bundesgebiet fiel zwischen den Jahren 1991 und 2003 die Zunahme der Haushaltsanzahl mit 10 % gegenüber einer Zunahme der Haushaltsmitglieder im selben Zeitraum von nur 3,4 % „überproportional“ aus. In den 1990er Jahren nahm (insbesondere in den neuen Bundesländern) die Zahl der Haushalte auch in den Regionen zu oder blieb zumindest stabil, in denen die Bevölkerungszahl zurückging. Während bis 2020 die Gesamtzahl der Haushalte für Deutschland relativ stabil bleiben wird, wird sich die Zahl der Ein- und Zwei-Personen-Haushalte weiter erhöhen. Gründe hierfür liegen im Zusammenhang der Altersgruppen der Bevölkerung und der Größe der Haushalte, in denen sie leben (BBR, 2005, S. 39f.).

Abbildung 3-4 zeigt die Veränderung der Anzahl der privaten Haushalte zwischen 1990 und 2020. Regional differenziert betrachtet zeigt sich bis 2020, dass „intraregional die Dynamik eindeutig zentrifugal verläuft – Städte verlieren Haushalte, das Umland gewinnt, je dünner besiedelt je mehr“ (BBR, 2005, S.40). In den alten Bundesländern sind diese intraregionalen Unterschiede stärker ausgeprägt als in den neuen Bundesländern. Insgesamt wird bei einer bis zum Jahr 2020 relativ stabilen Gesamtzahl der privaten Haushalte je nach „Veränderungen im inneren Aufbau“ (Entwicklung der Alters- und Haushaltsstruktur) auch ein Schrumpfungsprozess der Zahl der privaten Haushalte in den darauffolgenden Jahren einsetzen (BBR, 2005, S. 40).

Abbildung 3-4: Veränderung der Zahl privater Haushalte in Vergangenheit und Zukunft (BBR, 2006, S. 51)



### **Hinweise zur Aussagekraft verwendeter Prognosen**

Die bisher zusammengefassten Aussagen zu demografischen Entwicklungstendenzen lassen sich nur im Wissen um die Grenzen der Prognosetechniken sinnvoll interpretieren. Bevölkerungsprognosen – hier Entwicklung der Bevölkerungszahl sowie der Alters- und Haushaltsstruktur – bilden die aus heutiger Sicht absehbaren künftigen Entwicklungen der genannten Parameter ab. In der Regel wird bei der Erstellung der Prognosen die bisherige Entwicklung unter der Annahme weitgehend gleichbleibender Rahmenbedingungen in die Zukunft fortgeschrieben. Die auf diese Art und Weise erstellten Prognosen können somit keine potenziellen zukünftigen Entwicklungen einbeziehen, die sich beispielsweise durch veränderte politische Rahmenbedingungen ergeben könnten. Weiterhin nimmt die Unsicherheit der Prognosen mit zunehmendem Zeithorizont und zunehmender räumlicher Differenziertheit zu. Ausführliche Methodendiskussionen können folgenden Quellen entnommen werden:

- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Raumordnungsprognosen 2020/ 2050 (BBR, 2006)
- Statistisches Bundesamt; 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung (Statistisches Bundesamt, 2006)
- Bevölkerungsprognosen der Vereinten Nationen (United Nations, 2008)
- Bertelsmann Stiftung; Wegweiser Demografischer Wandel 2020 (Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), 2006)<sup>5</sup>

Den folgenden Ausführungen zur Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung liegen z. T. ebenfalls Prognosen des BBR zugrunde, so dass diese Aussagen dementsprechend vorsichtig zu interpretieren sind.

### **3.2 Siedlungsstrukturelle Charakterisierung des Bundesgebietes**

Neben der Entwicklung der Bevölkerungszahlen ist für die Beurteilung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkung auf die Abwasserentsorgung die Verteilung der Bevölkerung in der Fläche (also auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche) maßgebend. Daher wird im Folgenden auf die siedlungsstrukturelle Entwicklung, d. h. auf die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie der Siedlungsdichte eingegangen.

---

<sup>5</sup> Unter [www.wegweiser-kommune.de](http://www.wegweiser-kommune.de) können für jede Kommune mit mehr als 5000 Einwohnern Bevölkerungsprognosedaten bis zum Jahr 2025 sowie verschiedene sozioökonomische Indikatoren abgerufen werden.



### 3.2.1 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche<sup>6</sup>

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche nimmt seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stetig zu.<sup>7</sup> Für Gesamtdeutschland lag die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen den Jahren 1992 und 2003 bei 12 % (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2005, S. 56). In den alten Bundesländern waren die höchsten Zuwachsraten Anfang der 1980iger Jahre zu verzeichnen. Die Flächenzuwächse in den neuen Bundesländern fielen unter anderem aufgrund des deutlichen Nachholbedarfs im Verkehrswege- und Wohnungsbau im Zuge der Wiedervereinigung in den 1990iger Jahren besonders groß aus. Räumlich differenziert betrachtet verschieben sich – insbesondere in Agglomerationsräumen – derzeit Zonen der höchsten Zuwachsentensitäten von den verdichteten in die ländlichen Räume (BBR, 2005, S. 57).

Den Flächenzunahmen standen nicht in gleichem Maße Zunahmen der Bevölkerungszahlen gegenüber – insbesondere in den neuen Bundesländern kam es teilweise sogar zu einer Abnahme der Bevölkerungszahl. Das Siedlungsflächenwachstum hält entsprechend der Trendextrapolation „Siedlungsflächenentwicklung“ des BBR im Berechnungszeitraum bis zum Jahr 2020 weiter auf relativ hohem Niveau an. Nach dem ermittelten Trend läge der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Jahr 2020 bei über 14 % (BBR, 2005, S. 57). Eine weitere Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist in vielen Stadtstaaten und kreisfreien Städten nur noch sehr eingeschränkt möglich – hier liegen die Anteile teilweise um die 70 %.<sup>8</sup> Der durchschnittliche Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche liegt in den Kernstädten der Agglomerationsräume bereits bei 52 %, während er in den Flächenländern insgesamt von 7 % in Mecklenburg-Vorpommern bis über 21 % in Nordrhein-Westfalen reicht (BBR, 2005, S. 54).

---

<sup>6</sup> „Mit der Flächenerhebung nach der Art der tatsächlichen Nutzung erfolgt durch Auswertung des Liegenschaftskatasters eine Bestandsaufnahme der zum Stichtag vorliegenden Verhältnisse der Bodennutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Zur *Siedlungsfläche* zählen nach der Flächennutzungsstatistik Gebäude- und zugehörige Freiflächen, Erholungsflächen und Friedhöfe sowie Betriebsflächen ohne Abbauand; zur *Verkehrsfläche* gehören unbebaute Flächen, die dem Straßen-, Schienen- oder Luftverkehr dienen, einschließlich der Seitenstreifen.“ (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2005, S. 53).

<sup>7</sup> „Bei nur geringen Zunahmen von Bevölkerung und Erwerbstätigen wuchs die Siedlungsfläche in den letzten 40 Jahren (altes Bundesgebiet) nahezu stetig um weit mehr als 100 %, die Verkehrsflächen dehnten sich mit knapp 40 % wesentlich langsamer aus – im gleichen Zeitraum nahmen Bevölkerung und Erwerbstätige nur um 20 % zu.“ BBR, 2005, S.54).

<sup>8</sup> So lag beispielsweise der Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil im Jahr 2000 in Berlin bei 69 %; in Hamburg bei 57 %; in München bei 70 %, in Gelsenkirchen bei 73 % und in Herne bei 75 % (BBR, 2005, S. 54).

Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung strebt eine deutliche Verringerung der Flächeninanspruchnahme an – von täglich etwa 129 ha pro Tag im Jahr 2002 auf einen Wert von 30 ha pro Tag im Jahr 2020 (Bundesregierung, 2002: S. 288). Durch verstärkte Umsetzung entsprechender Maßnahmen einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung ist eine geringere zusätzliche Flächeninanspruchnahme möglich, jedoch zeigt der Indikatorenbericht 2006 des Statistischen Bundesamtes, dass diese Entwicklungen viel zu langsam voranschreiten (DNR e. V. et al., 2006; S. 3).

### 3.2.2 Siedlungsdichte

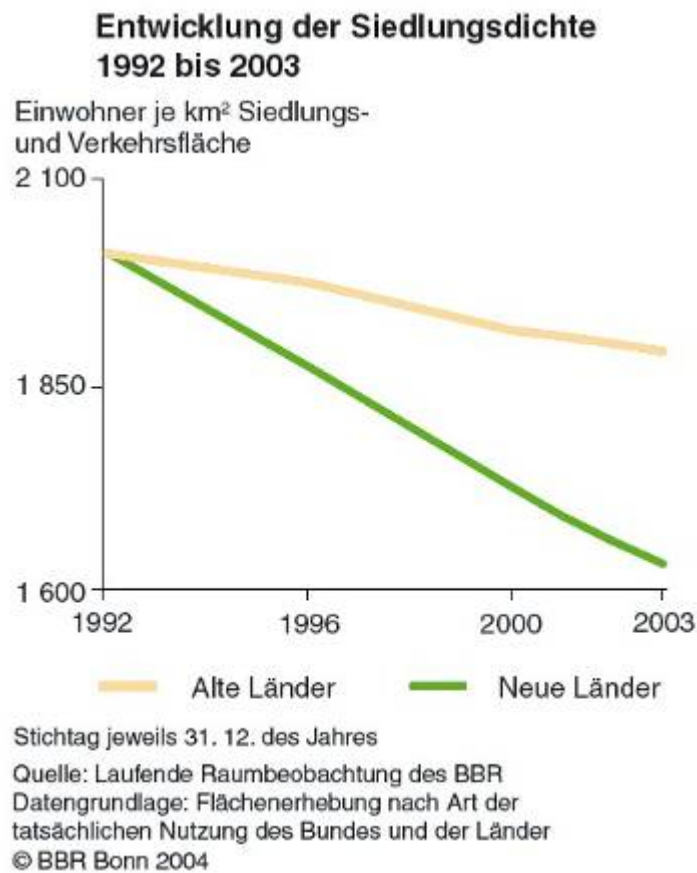
Mit der beschriebenen Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung geht eine Zunahme der einwohnerspezifischen Flächeninanspruchnahme einher. In der Tendenz sinken aufgrund der disproportionalen oder sogar gegenläufigen Entwicklung von Inanspruchnahme zusätzlicher Siedlungs- und Verkehrsfläche und Bevölkerungszahlen die Siedlungsdichten in Deutschland seit Jahren ab.<sup>9</sup> In den neuen Bundesländern ist dieser Prozess besonders ausgeprägt. .

Abbildung 3-5 zeigt die Entwicklung der Siedlungsdichte zwischen den Jahren 1992 und 2003 aufgegliedert nach alten und neuen Bundesländern. Bei gleichem Ausgangsniveau im Jahr 1992 von 2009 bzw. 2010 Einwohnern pro Quadratkilometer Siedlungs- und Verkehrsfläche ( $E/km^2SuV$ ) lag die Siedlungsdichte im Jahr 2003 bei nur noch 1890  $E/km^2SuV$  in den alten und bei 1632  $E/km^2SuV$  in den neuen Bundesländern (BBR; 2005, S. 61).

---

<sup>9</sup> Einen großen Anteil an zusätzlichen Flächeninanspruchnahmen hat der Wohnungsbau. Hier dominiert der Ein- und Zweifamilienhausbau, insbesondere in Umlandregionen und peripheren Räumen. Dispersion und Suburbanisierung im Umkreis der Kernstädte hält auch bei den gewerblich genutzten Bauflächen seit Jahren an (BBR, 2005, S. 63ff.).

Abbildung 3-5: Entwicklung der Siedlungsdichte (BBR, 2005, S. 61)



### Bedeutung für die Abwasserinfrastruktur

Bei einer zentral konzipierten Abwasserentsorgung steht die Flächennutzung in engem Zusammenhang mit der einwohnerspezifischen Kanalnetzlänge. Die Siedlungsdichte und die Siedlungsstruktur beeinflussen in diesem Fall nachhaltig die generelle einwohnerspezifische Kostenbelastung durch Netzstrukturen. Ungeachtet der Einflüsse von Siedlungsstruktur, Topografie, Boden, Oberflächenbeschaffenheit usw. auf die Infrastrukturkosten führt nach Siedentop et al. (2006) eine Veränderung der Siedlungsdichte um 1 % zu einer ebensolchen Veränderung der Infrastrukturkosten (Siedentop et al., 2006). Je höher die Siedlungsdichte ausfällt, desto kostengünstiger ist danach die Erschließung des Gebietes mit Netzinfrastruktur möglich. Zu beachten ist hierbei, dass die Kosten der Netzstrukturen in hochverdichteten, städtischen Strukturen aufgrund der hohen Baukosten wieder ansteigen bei gleichzeitig geringerer spezifischer Kanalnetzlänge, was sich teilweise ausgleichend auf die spezifische Belastung auswirkt (Siedentop et al., 2006) und (Pecher, 2002). Abnehmende Siedlungsdichten in Be-

standsgebieten führen zu einer Verringerung der Auslastung abwassertechnischer Infrastruktur.

### **3.3 Demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte**

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Entwicklung der Bevölkerungszahl, der Alters- und Haushaltsstruktur - als für die Abwasserentsorgung relevante Faktoren des demografischen Wandels - sowie die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche - als Indikator für die Entwicklung der Verteilung der Bevölkerung in der Fläche - in Art und Intensität ihrer Ausprägung überblicksartig und flächendeckend für das Bundesgebiet dargestellt. Um die Auswirkungen dieser demografischen Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur beurteilen zu können und eine Verknüpfung mit der Entwicklung sonstiger interferierender Einflussfaktoren<sup>10</sup> zu ermöglichen, wird im Folgenden auf Basis von Daten des BBR eine flächendeckende, demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte des Bundesgebietes vorgenommen (BBR, 2008; BBR, 2006).

Die Ausführungen in Kapitel 3.1 verdeutlichten, dass die demografische Entwicklung in den einzelnen Regionen sehr differenziert verläuft, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklungsdynamik können bzgl. der Siedlungsentwicklung Unterschiede zwischen den alten und den neuen Bundesländern ausgemacht werden. Aus diesem Grund wird auch bei der folgenden demografischen Typisierung zwischen den alten und neuen Bundesländern differenziert. Die Kreise und kreisfreien Städte des Bundesgebietes werden auf Basis der vergangenen und zukünftigen Entwicklung der Bevölkerungszahlen in 12 Typen (6 Haupttypen jeweils für ABL und NBL) eingeteilt (vgl. auch Kap. 4.2). Diesen demografischen Typen wurden insgesamt 322 Kreise und 115 kreisfreie Städte des Bundesgebietes zugeordnet (vgl. Abbildung 3-6).

- Als wachsend wurde ein Gebiet eingestuft, wenn die relative Änderung der Bevölkerungszahl zwischen den Jahren 1995 und 2004 um mehr als 2 % zugenommen hat und bis zum Jahr 2020 keine Abnahme der Bevölkerungszahl prognostiziert wurde.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Hier klimatische Veränderungen, topografische Randbedingungen und Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs.

<sup>11</sup> Den eigenen Datenauswertungen und Darstellungen liegen Daten des BBR in Form des Informationsmaterials INKAR 2007 (BBR, 2008) und der Raumordnungsprognose 2020/2050 (BBR, 2006) zugrunde. Diese Daten weichen teilweise erheblich von anderen Datenquellen und Bevölkerungsprognosen ab. Dies ist bei der Beurteilung der dargestellten Datenauswertungen zu berücksichtigen.

- Als schrumpfend wurde ein Gebiet eingestuft, wenn die relative Änderung der Bevölkerungszahl zwischen den Jahren 1995 und 2004 um mehr als 5 % abgenommen hat und das Gebiet bis 2020 noch einmal mindestens 5 % der Bevölkerung verliert bzw. die Summe des Zeitraumes 1995 bis 2020 bei mehr als 10 % Rückgang der Bevölkerungszahl liegt.<sup>12</sup>
- Eine Betrachtung über das Jahr 2020 hinaus ist nicht möglich, da keine Daten zur Bevölkerungsentwicklung für die erfassten Kreise und kreisfreien Städte für einen weitergehenden Zeithorizont vorlagen.

Nach dieser Einteilung wurden 72 (14 in alten Bundesländern und 58 in neuen Bundesländern) der 322 erfassten Kreise und 34 (15 in alten Bundesländern und 19 in neuen Bundesländern) der 115 erfassten kreisfreien Städte als schrumpfende Gebiete ausgewiesen (vgl. Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2).

---

<sup>12</sup> Die kreisfreien Städte Kiel, Leipzig, Erfurt und Jena wurden als stabile kreisfreie Städte eingeordnet.

Tabelle 3-1: Demografische Typisierung der kreisfreien Städte

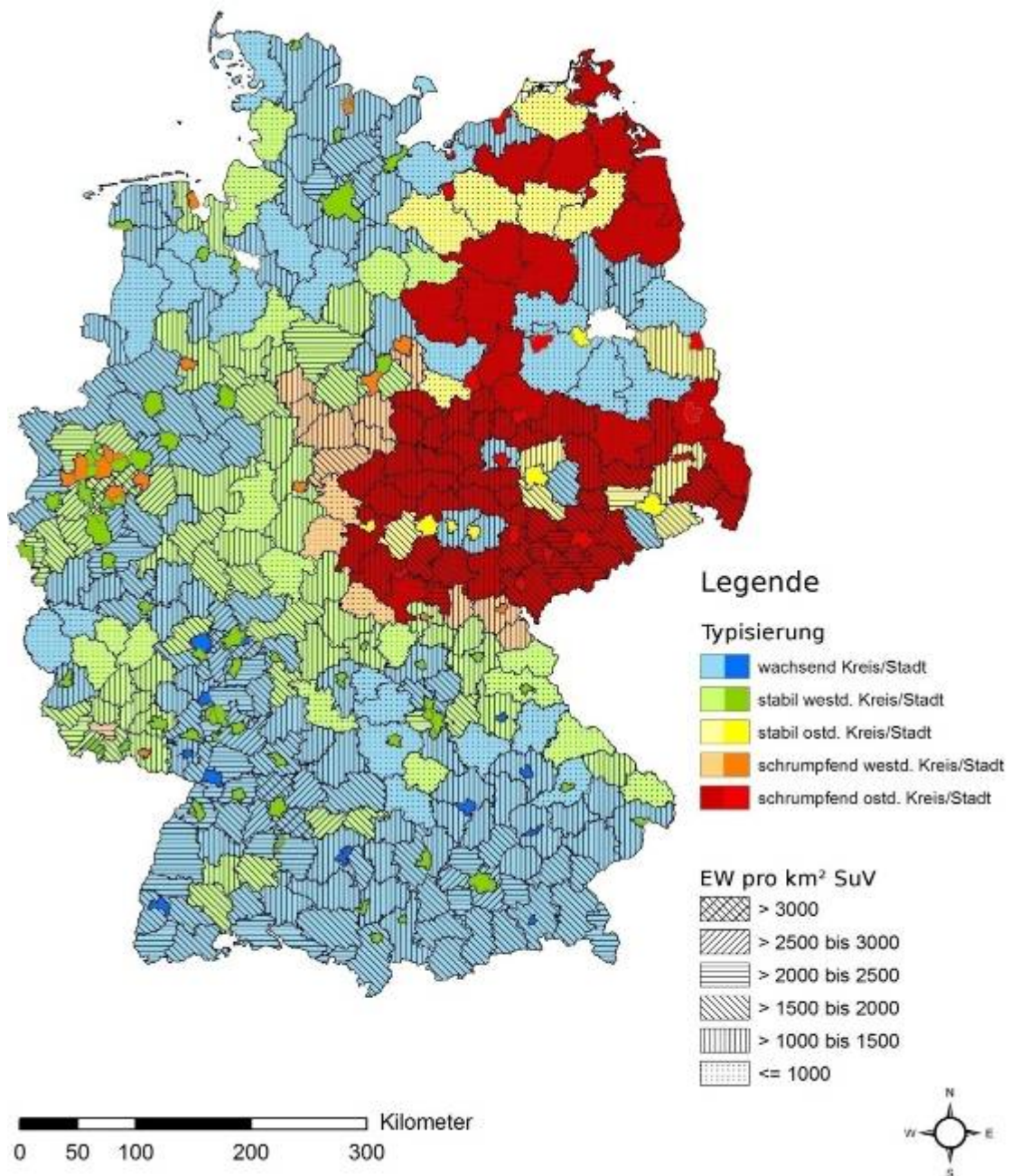
Typ	Bevölkerungsentwicklung	Anzahl	Prozent
<b>Typ 1</b>	<b>wachsend<sup>13</sup></b>	<b>12</b>	<b>10 %</b>
Typ 1.1	alte Bundesländer	12	100 %
Typ 1.2	neue Bundesländer	0	0 %
<b>Typ 2</b>	<b>stabil</b>	<b>69</b>	<b>60 %</b>
Typ 2.1	alte Bundesländer	62	90 %
Typ 2.2	neue Bundesländer	7	10 %
<b>Typ 3</b>	<b>schrumpfend</b>	<b>34</b>	<b>30 %</b>
Typ 3.1	alte Bundesländer	15	44 %
Typ 3.2	neue Bundesländer	19	56 %
<b>Kreisfreie Städte (gesamt)</b>		<b>115</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 3-2: Demografische Typisierung der Kreise

Typ	Bevölkerungsentwicklung	Anzahl	Prozent
<b>Typ 4</b>	<b>wachsend</b>	<b>162</b>	<b>50 %</b>
Typ 4.1	alte Bundesländer	147	91 %
Typ 4.2	neue Bundesländer	15	9 %
<b>Typ 5</b>	<b>stabil</b>	<b>88</b>	<b>27 %</b>
Typ 5.1	alte Bundesländer	75	85 %
Typ 5.2	neue Bundesländer	13	15 %
<b>Typ 6</b>	<b>schrumpfend</b>	<b>72</b>	<b>22 %</b>
Typ 6.1	alte Bundesländer	14	19 %
Typ 6.2	neue Bundesländer	58	81 %
<b>Kreise (gesamt)</b>		<b>322</b>	<b>100 %</b>

<sup>13</sup> Wachsende kreisfreie Städte finden sich nach der gewählten Vorgehensweise nur in den alten Bundesländern.

Abbildung 3-6: Demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte (eigene Darstellung<sup>14</sup>)



Die demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte werden im Folgenden hinsichtlich Alters- und Siedlungsstruktur charakterisiert. Die Haushaltsstruktur der Gebie-

<sup>14</sup> Unter Verwendung von Geodaten (VG 250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie.

te wird an dieser Stelle nicht näher betrachtet, da sie indirekt über die Abbildung der Siedlungsdichte Berücksichtigung findet.

### **3.3.1 Altersstruktur der demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte**

In Ergänzung zu der in Abbildung 3-6 dargestellten demografischen Typisierung aller Kreise und kreisfreien Städte Deutschlands wurden die als schrumpfend eingestuften Kreise und kreisfreien Städte zu ihrer Altersstruktur untersucht. Gebiete, in denen der Anteil der Über-65-Jährigen an der Gesamtbevölkerung im Jahr 2004 über dem bundesdeutschen Durchschnitt<sup>15</sup> lag (vgl. Kapitel 3.1), wurden als überaltert eingestuft. Nach dieser Vorgehensweise sind lediglich einer der 14 schrumpfenden Kreise in den alten Bundesländern und zwei der schrumpfenden Kreise in den neuen Bundesländern als nicht überaltert einzuordnen. Alle als schrumpfend eingestuften kreisfreien Städte der alten Bundesländer sind danach überaltert. Für die schrumpfenden kreisfreien Städte der neuen Bundesländer trifft dies auf 17 der 19 Städte zu. Damit stellen schrumpfende Regionen im Allgemeinen auch überalterte Regionen dar. Eine grafische Darstellung in Abbildung 3-6 bzw. eine differenziertere Charakterisierung der demografischen Typen erfolgt hierzu nicht.

### **3.3.2 Siedlungsstruktur der demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte**

Kreisfreie Städte stellen überwiegend Großstädte<sup>16</sup> dar. Sie zeichnen sich grundsätzlich durch einen hohen Urbanisierungsgrad und stark verdichtete Strukturen aus. Dem stehen unterschiedliche Verdichtungsgrade der Kreise<sup>17</sup> gegenüber. Der Verdichtungsgrad der Kreise kann durch die Siedlungsdichte in Einwohner pro Quadratkilometer Siedlungs- und Verkehrsfläche ( $E/km^2SuV$ ) beschrieben werden.<sup>18</sup> Zu deren sied-

---

<sup>15</sup> Von 19 % der Gesamtbevölkerung (Statistisches Bundesamt, 2006, S.5).

<sup>16</sup> Als Großstädte werden Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern eingeordnet.

<sup>17</sup> Die Betrachtungsebene Kreis aggregiert verschiedene Siedlungsstrukturen des jeweiligen Kreisgebietes. Die angegebenen Ausprägungen der Faktoren Entwicklung der Bevölkerungszahl und Siedlungsdichte stellen somit über das Kreisgebiet gemittelte Werte dar. Eine Differenzierung der Kreise in städtische und ländliche Siedlungsteile kann im Rahmen des Projektes nicht vorgenommen werden.

<sup>18</sup> Alternativ wird vielfach die Einwohnerdichte herangezogen als Einwohner pro Quadratkilometer Gesamtfläche. Zur Beurteilung der Auswirkungen demografischer und siedlungsstruktureller Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur wird jedoch die Verwendung der Siedlungsdichte als Einwohner pro Quadratkilometer Siedlungs- und Verkehrsfläche als zielführender erachtet.



lungsstrukturellen Charakterisierung werden alle Kreise einer von sechs, dem Raumordnungsbericht (BBR, 2005) angelehnten, Ausprägungsstufen des Einflussfaktors Siedlungsdichte zugeordnet; von sehr stark verdichtet bis sehr gering verdichtet (vgl. Abbildung 3-6). Im Detail ergibt sich folgende Einteilung (vgl. Tabelle 3-3):

Tabelle 3-3: Einteilung der Siedlungsdichte der erfassten Kreise (eigene Einteilung, in Anlehnung an BBR, 2005, S.61)

**Siedlungsdichte** (*E pro km<sup>2</sup> SuV*)

> 3.000		sehr stark verdichtet
> 2.500	bis 3.000	stark verdichtet
> 2.000	bis 2.500	mittel verdichtet
> 1.500	bis 2.000	wenig verdichtet
> 1.000	bis 1.500	gering verdichtet
≤ 1.000		sehr gering verdichtet

Sehr stark und stark verdichtete Kreise (mit einer Siedlungsdichte größer 2500 E/km<sup>2</sup>SuV) treten nach dieser Vorgehensweise nur bei wachsenden und stabilen Kreisen auf. Schrumpfende Kreise sind dagegen geringer verdichtet, wobei die überwiegende Zahl der schrumpfenden Kreise wenig bis sehr gering verdichtet ist, d. h. Siedlungsdichten von 2000 E/km<sup>2</sup>SuV und darunter aufweist (vgl. Abbildung 3-6).

### 3.4 Erweiterung der demografischen Typisierung durch Abbildung sonstiger interferierender Entwicklungen

Neben der Untersuchung demografischer und siedlungsstruktureller Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Abwasserinfrastruktur sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens auch Auswirkungen von mit der demografischen Entwicklung interferierenden sonstigen Randbedingungen und deren Veränderungen berücksichtigt werden. Dementsprechend wird im Folgenden die demografische Typisierung (vgl. Kapitel 3.3) um die Charakterisierung klimatischer Veränderungen, der gebietsspezifischen topografischen Verhältnisse und der Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs ergänzt.

### 3.4.1 Auswirkungen des Klimawandels

Mögliche klimatische Veränderungen in Deutschland stellen für die Ausgestaltung der Abwasserinfrastruktursysteme erhebliche Herausforderungen dar. Allgemeine Trends für Mitteleuropa zeigen eine flächendeckende Zunahme der Lufttemperatur im Jahresmittel. Damit sind grundsätzlich eine erhöhte Verdunstung, erhöhte Niederschlagsmengen und insgesamt eine Veränderung des Niederschlagsregimes verbunden. Als für die Konzeption und Auslegung von Abwasserinfrastruktursystemen besonders relevant stellen sich folgende Punkte dar:

- Veränderungen der Niederschlagsmengen
- Zunahmen von Starkniederschlägen und
- Zunahmen von Trockenperioden.

Das Ausmaß der Veränderungen wird dabei regional und lokal sehr stark variieren (Hillenbrand/Hiessl, 2006). Die möglichen Auswirkungen auf abwassertechnische Anlagen gestalten sich dementsprechend räumlich differenziert sehr unterschiedlich. Aus Sicht der Abwasserentsorgung problematisch sind beispielsweise Regionen, in denen Starkregenereignisse in Intensität und/oder Anzahl deutlich zunehmen werden, da die Dimensionierung der Kanalisation auf Parametern basiert, die anhand von Zeitreihen aus zurückliegenden Niederschlagsereignissen abgeleitet wurden (Hillenbrand/Hiessl, 2006). Die Zunahme von Starkregenereignissen und Hochwässern erfordert u. U. die Vergrößerung des Stauvolumens in den Kanalnetzen, die Vergrößerung der Sicherheitszuschläge bei der Bemessung von Entwässerungssystemen und Änderungen der Betriebsweise des Entwässerungssystems (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008). Demgegenüber können lang anhaltende Trockenperioden Ablagerungen in Mischwasserkanalisationen verstärken, da die Spülwirkung des Regenwassers ausbleibt (vgl. Kapitel 2).

Bei der wasserwirtschaftlichen Modellierung der Auswirkungen klimatischer Veränderungen besteht noch Forschungsbedarf, jedoch zeichnet sich eine hohe Relevanz der klimabedingten Veränderungen für den gesamten Bereich der Wasserwirtschaft ab (Hillenbrand/Hiessl, 2006). Deutschlandweite kartografische Darstellungen liegen für relative Änderungen der Sommer- und Winterniederschläge sowie Änderungen der Sommer- und Wintertemperaturen (Max-Planck-Institut für Meteorologie) vor; derzeit jedoch noch nicht zum Beispiel zur Entwicklung von Starkregenereignissen, obgleich

diese für die Siedlungsentwässerung von besonderer Bedeutung sind.<sup>19</sup> Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage ist somit eine nach Kreisen und kreisfreien Städten differenzierte Charakterisierung der demografischen Typisierung bezüglich klimatischer Veränderungen nicht möglich. Somit kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie viele Kreise und kreisfreie Städte von den oben beschriebenen klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen in welcher Intensität betroffen sind bzw. zukünftig sein könnten.<sup>20</sup>

Insgesamt kann für Deutschland festgestellt werden, dass sich die Niederschlagsmengen verändern, wobei die erwarteten Veränderungen zwischen Sommer- und Winterhalbjahr deutlich differieren und große regionale Unterschiede aufweisen. Trockenheit im Sommer wird nach den bisher vorliegenden Arbeiten zunehmen, verbunden mit häufigerem Auftreten ausgeprägter Dürreperioden. Zugleich wird davon ausgegangen, dass Starkniederschläge zunehmen werden.<sup>21</sup> Die detaillierte Auswertung von Niederschlagsmessdaten aus ganz Deutschland von Jonas et al. (2005) führte zum Ergebnis, dass im Winter ein Trend zu höheren Monatssummen wie auch zu einer höheren Variabilität vorliegt. Damit ist eine deutliche Zunahme von Tagen mit hohen bzw. extrem hohen Niederschlagssummen in dieser Jahreszeit verbunden. Für Süddeutschland ist mit einer Zunahme der Starkniederschläge im Winter und Frühjahr zu rechnen (vgl. Hillenbrand & Hiessl, 2006).

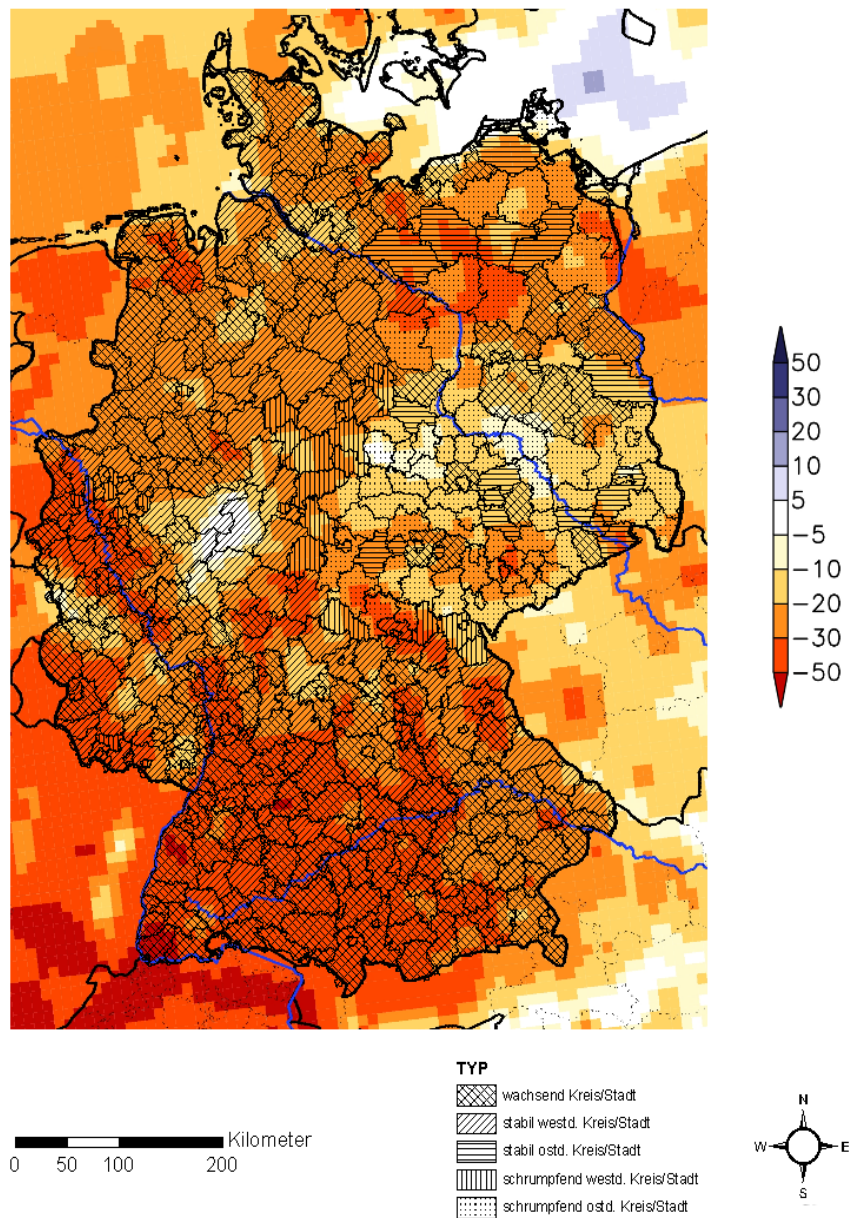
---

<sup>19</sup> Die für die Siedlungsentwässerung notwendige zeitliche und räumliche Skalierung des Niederschlagsgeschehens (< 20km<sup>2</sup> und Dauerstufen < 6h) kann aufgrund fehlender Grundlagendaten derzeit (noch) nicht abgebildet werden (Schmitt, Illgen, & Kaufmann, 2006).

<sup>20</sup> Jedoch werden in den Interviews mit den vom demografischen Wandel betroffenen Kommunen auch Erfahrungen zur Entwicklung von klimatischen Extremereignissen abgefragt. (vgl. Kapitel 4).

<sup>21</sup> Die Klimaforschung geht übereinstimmend davon aus, dass Starkniederschläge einen größeren Anteil an den Jahresniederschlägen haben und die Abstände zwischen Niederschlagsereignissen größer werden. Die Sommer in Mittel- und Westeuropa werden danach tendenziell trockener. Für die Wintermonate wird eine signifikante Zunahme von Starkregentagen für Deutschland prognostiziert. Auch Ergebnisse aus dem Projekt STARDEX („statistical and regional downscaling of extremes“) zeigen für Dauerstufen ab 24 h eine Zunahme von Starkniederschlägen im Winterhalbjahr. Für Baden-Württemberg liegen auch Ergebnisse für kleinere Dauerstufen (< 6h) vor, die lokal stark abgegrenzt einen überwiegend positiven Trend extremer Niederschlagshöhen zeigen. Eine regionalisierte Aussage erlauben die Ergebnisse jedoch nicht. Modellierungen im Rahmen der Fortschreibungen des DWD-KOSTRA (KOSTRA\_DWD 2000) zeigen demgegenüber im Kurzzeitbereich bei den Dauerstufen 5 und 10min gegenüber KOSTRA\_DWD (1997) geringere Regenhöhen. Dies verdeutlicht die kontroverse Bewertung möglicher Veränderungen in den Starkniederschlägen kleiner Dauerstufen (< 6h), die ihre Grundlage u. a. in der verwendeten statistischen Auswertemethode und der Datengrundlage haben. Durchweg bestätigt sich jedoch die offenbar lokal stark unterschiedliche Ausprägung der Extremwertentwicklung (Schmitt, Illgen, & Kaufmann, 2006).

Abbildung 3-7: Relative Änderung der Sommerniederschläge in Deutschland (eigene Darstellung<sup>22</sup> unter Verwendung von mpimet 2009: relative Änderung der Sommerniederschläge (Juni/Juli/August) für das A1B Szenario zwischen den Perioden 2071-2100 und 1961-1990)



<sup>22</sup> Unter Verwendung von Geodaten (VG 250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie.

In Abbildung 3-7 ist für Deutschland die relative Änderung der Sommerniederschläge für das so genannte A1B-Szenario dargestellt (Max-Planck-Institut für Meteorologie). Auf diese Abbildung wurden die Grenzen der Kreise und kreisfreien Städte der demografischen Typisierung projiziert. Eine genaue Charakterisierung der Kreise und kreisfreien Städte ist danach nicht möglich, jedoch lassen sich Gebiete erkennen, die neben Bevölkerungsrückgängen von verstärkter Trockenheit im Sommer betroffen sein könnten.

### **3.4.2 Topografische Randbedingungen**

Im Standardfall werden Abwasserkanäle als Freispiegelkanäle im natürlichen Gefälle verlegt. Das Kanalgefälle beeinflusst hierbei die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Kanal. Die Fließgeschwindigkeit im Kanal ist so einzurichten, dass es einerseits nicht zu Ablagerungen kommt – durch Einhalten einer Mindestfließgeschwindigkeit – und andererseits nicht zu einer übermäßigen Abnutzung der Kanäle – durch Einhalten einer Maximalgeschwindigkeit.

Die technischen Möglichkeiten und die Kosten der Kanalverlegung werden entscheidend von den Untergrundverhältnissen vor Ort bestimmt. So beeinflusst die Topografie (Reliefenergie des Gebietes) das Gefälle, mit dem die Kanäle verlegt werden können. Flaches Gelände erschwert die Einhaltung eines ausreichenden Gefälles, da hierfür ein Verlegen der Kanäle in zunehmenden Tiefenlagen des Untergrundes erforderlich wird. Bergiges Gelände mit großen bzw. wechselnden Höhenunterschieden erfordert demgegenüber erhöhten baulichen Aufwand, der zur Überwindung der Höhenunterschiede und dem Ausgleich von Gefällewechseln notwendig ist.

Gebiete, die im Flachland liegen und in denen die Einhaltung selbst des Mindestgefälles eine Herausforderung darstellt, können besonders sensibel auf eine zusätzliche Abnahme der Abwassermengen durch Rückgang der Bevölkerungszahlen und Abnahmen des spezifischen Wasserverbrauches reagieren. Unter diesen Bedingungen können Ablagerungserscheinungen zunehmen. Betrifft demzufolge der Bevölkerungsrückgang Gebiete im Flachland, können sich rückläufige Bevölkerungszahlen und damit rückläufige Abwasseranfälle stärker auswirken als in Gebieten mit günstigeren Verlegebedingungen für Freigefälleleitungen.

Im Folgenden werden die als schrumpfend ausgewiesenen Kreise und kreisfreien Städte (vgl. Kapitel 3.3) auf die topografischen Gegebenheiten Deutschlands projiziert, um die Gebiete zu identifizieren, die von der oben beschriebenen, für die Abwasserentsorgung ungünstigen Faktorenkombination betroffen sind (vgl. Abbildung 3-8). Im Ergebnis dieses Arbeitsschrittes lassen sich Kreise und kreisfreie Städte identifizieren,

die sowohl durch Schrumpfung als auch schwache oder starke Reliefenergie bzw. flache oder bergige Geländestrukturen gekennzeichnet sind. Es wurden 23 schrumpfende Kreise identifiziert, die in flachem Gelände liegen. Bis auf einen weisen diese eine geringe (8 von 23) bis sehr geringe (14 von 23) Siedlungsdichte auf. Bergigem Gelände konnten 14 schrumpfende Kreise zugeordnet werden (davon 6 in den alten und 8 in den neuen Bundesländern). Auch diese Kreise sind überwiegend durch geringe (10 von 14) bis sehr geringe (3 von 14) Siedlungsdichten gekennzeichnet. Bezüglich der kreisfreien Städte konnten 23 schrumpfende Städte flachem Gelände zugeordnet werden, davon 9 in den alten und 14 Städte in den neuen Bundesländern. Neun der als schrumpfend eingestuften kreisfreien Städte wurden bergigem Gelände zugeordnet, davon 6 in den alten Bundesländern und 3 Städte in den neuen Bundesländern.

Tabelle 3-4: Topografische Charakterisierung der demografischen Typisierung

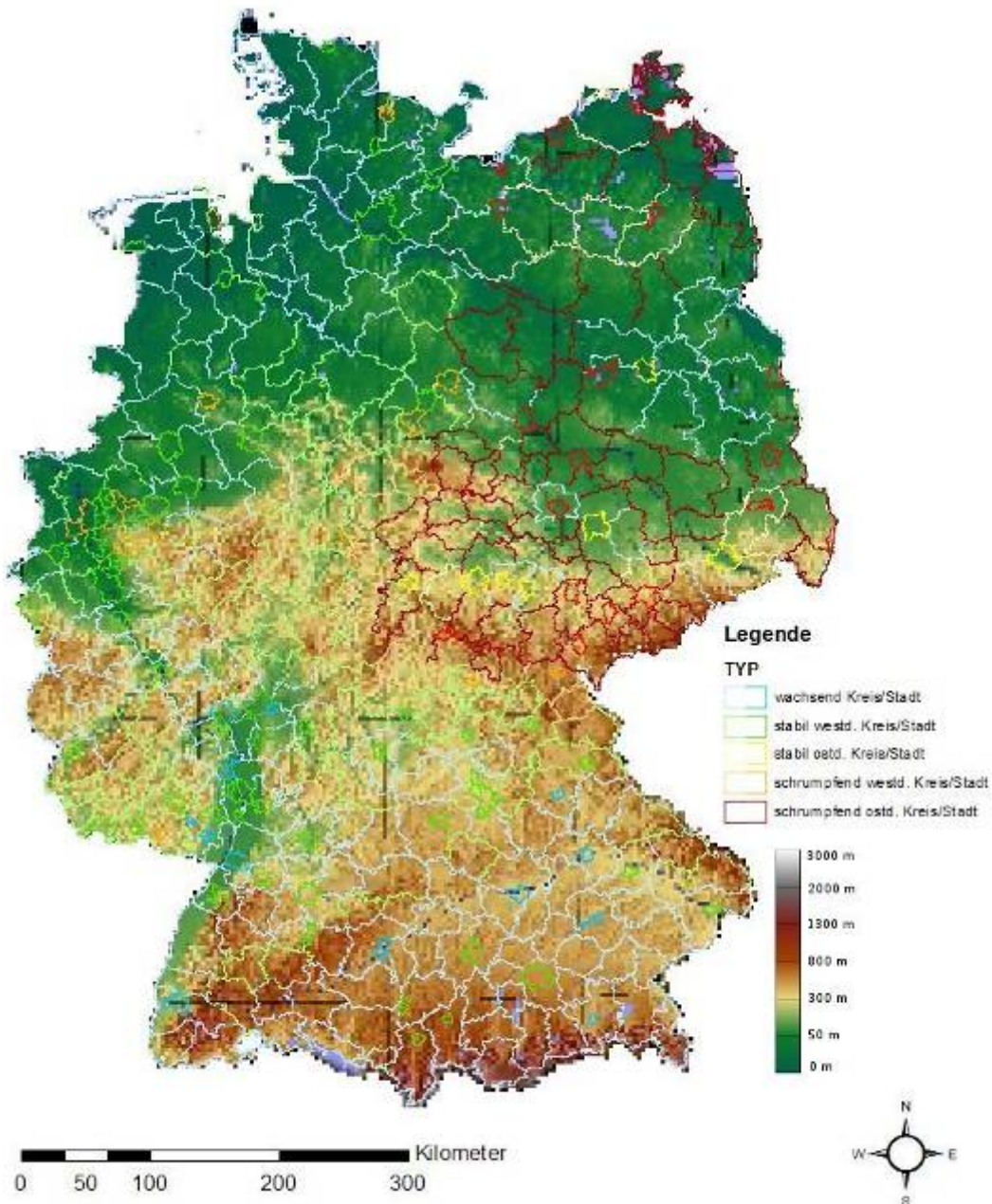
Typ	Bevölkerungsentwicklung	Reliefenergie/ Geländestruktur	Anzahl kreisfreie Städte	Prozent
<b>Typ 1</b>	<b>wachsend</b>		<b>12</b>	<b>10 %</b>
Typ 1.1	alte Bundesländer	schwach	5	42 %
		mittel	5	42 %
		stark	2	17 %
Typ 1.2	neue Bundesländer	schwach	0	0 %
		mittel	0	0 %
		stark	0	0 %
<b>Typ 2</b>	<b>Stabil</b>		<b>69</b>	<b>60 %</b>
Typ 2.1	alte Bundesländer	schwach	29	42 %
		mittel	14	20 %
		stark	19	28 %
Typ 2.2	neue Bundesländer	schwach	2	3 %
		mittel	1	1 %
		stark	4	6 %
<b>Typ 3</b>	<b>schrumpfend</b>		<b>34</b>	<b>30 %</b>
Typ 3.1	alte Bundesländer	schwach	8	24 %
		mittel	1	3 %
		stark	6	18 %
Typ 3.2	neue Bundesländer	schwach	14	41 %
		mittel	2	6 %
		stark	3	9 %
<b>Kreisfreie Städte (gesamt)</b>			<b>115</b>	<b>100 %</b>

Typ	Bevölkerungsentwicklung	Reliefenergie/ Geländestruktur	Anzahl Kreise	Prozent
<b>Typ 4</b>	<b>wachsend</b>		<b>162</b>	<b>50 %</b>
Typ 4.1	alte Bundesländer	schwach	59	36 %
		mittel	57	35 %
		stark	46	28 %
Typ 4.2	neue Bundesländer	schwach	11	73 %
		mittel	3	20 %
		stark	1	7 %
<b>Typ 5</b>	<b>stabil</b>		<b>88</b>	<b>27 %</b>
Typ 5.1	alte Bundesländer	schwach	13	15 %
		mittel	32	36 %
		stark	30	34 %
Typ 5.2	neue Bundesländer	schwach	8	9 %
		mittel	3	3 %
		stark	2	2 %
<b>Typ 6</b>	<b>schrumpfend</b>		<b>72</b>	<b>22 %</b>
Typ 6.1	alte Bundesländer	schwach	0	0 %
		mittel	8	11 %
		stark	6	8 %
Typ 6.2	neue Bundesländer	schwach	23	32 %
		mittel	27	38 %
		stark	8	11 %
<b>Landkreise (gesamt)</b>			<b>322</b>	<b>100 %</b>

In Tabelle 3-4 sind die Ergebnisse mit einer entsprechenden Einteilung für alle Demografietypen zusammengefasst.



Abbildung 3-8: Überlagerung demografischer Entwicklungsmuster mit den topografischen Bedingungen des Versorgungsgebietes (eigene Darstellung<sup>23</sup>)



<sup>23</sup> Unter Verwendung von Geodaten (VG 250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie und topografischen Karten (vgl. [http://www.mygeo.info/landkarten\\_deutschland.html](http://www.mygeo.info/landkarten_deutschland.html)) unter der [GNU Free Documentation License](#).



### 3.4.3 Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs

Die Entwicklung der Bevölkerungszahl wirkt sich direkt auf den Wasserverbrauch und damit auch auf den Abwasseranfall aus. Überlagert wird diese Entwicklung durch die Entwicklung des einwohnerspezifischen Trinkwasserverbrauchs und des Wasserverbrauchs von Industrie und Gewerbe. Anfang der 1990iger Jahre lag der spezifische Trinkwasserverbrauch in den alten und neuen Bundesländern annähernd gleich bei etwa 145 Liter pro Einwohner und Tag. Aktuell liegt der tägliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch im bundesdeutschen Durchschnitt bei 125 Liter (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008).<sup>24</sup> Besonders stark ging der spezifische Wasserverbrauch in den neuen Bundesländer zurück, so dass dort der Verbrauch rund ein Drittel unter dem Niveau der alten Bundesländer liegt (Hillenbrand/Schleich, 2009). Entsprechend zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen den Durchschnittswerten der Bundesländer bei der jüngsten Erhebung zwischen 90 und 150 Liter pro Kopf und Tag. Bezogen auf die Verbrauchswerte in einzelnen Versorgungsgebieten ist mit noch deutlicheren Unterschieden zu rechnen (Hillenbrand & Hiessl, 2006).

Der Wasserverbrauch scheint sich auf niedrigem Niveau zu stabilisieren – von einem signifikanten weiteren Rückgang wird derzeit nach dem Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008 nicht ausgegangen (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008). Allerdings könnte eine Weiterentwicklung und Implementierung neuer Technologien und Entsorgungskonzepte flächendeckend oder punktuell zu weiteren deutlichen Rückgängen des Trinkwasserverbrauchs führen – mit entsprechenden Rückwirkungen auf das derzeitige technische System (vgl. Kap. 8. – Neuartige technische Konzepte). Schon die gegenwärtig erreichten Minimumwerte von 90 Liter pro Einwohner und Tag machen deutlich, dass noch Spielräume für einen weiteren Rückgang des Wasserverbrauchs bestehen. Detaillierte Untersuchungen zu den Einflussfaktoren auf den spezifischen Wasserverbrauch zeigen, dass neben den Preisen für Wasser und Abwasser auch Randbedingungen wie die Haushaltsgrößen, das Einkommen oder die Zahl privater Brunnen einen signifikanten Einfluss auf den spezifischen Wasserverbrauch ausüben (Hillenbrand/Schleich, 2009). In Leipzig lag der durchschnittliche einwohnerspezifische Wasserverbrauch im Jahr 2008 bei 87,9 Litern und für ländlich geprägte Regionen in den neuen Bundesländern nach Winkler (2009) bei 80 Litern.

Die Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung an die Industrie, einer weiteren Determinante der Infrastrukturauslastung, ist seit Anfang der 1990iger Jahre rückläufig.

---

<sup>24</sup> Das Statistische Bundesamt weist für 2004 einen täglichen Pro-Kopf-Verbrauch von 126 Litern pro Einwohner und Tag aus (Statistisches Bundesamt, 2004).

Dies ist auf ressourcenschonendere Produktionsprozesse, strukturelle Veränderungen und eine vermehrte Eigenförderung von Wasser zurückzuführen (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008). Somit ist zu konstatieren, dass der Wasserverbrauch von Haushalten und Kleingewerbe an Bedeutung als Determinante des Gesamtverbrauches gewinnt und derzeit annähernd 80 Prozent der Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung ausmacht (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008). Auch zukünftig ist ein weiterer Rückgang der spezifischen Wasserintensitätsfaktoren in den wasserintensiven Branchen zu erwarten (Hillenbrand/Böhm, 2008).

Die demografisch typisierten kreisfreien Städte wurden bezüglich der vergangenen Entwicklung des Wasserverbrauchs<sup>25</sup> von privaten Haushalten, Kleingewerbe und Industrie untersucht. Danach bestätigten sich die oben getroffenen Aussagen zum allgemeinen Rückgang des Wasserverbrauchs. Trotz einer Zunahme der Bevölkerungszahl zwischen den Jahren 1995 und 2004 war bei 10 der 12 als wachsend ausgewiesenen kreisfreien Städten ein leichter Rückgang der Wasserabgabe an Letztverbraucher von durchschnittlich<sup>26</sup> 5,7 % zu verzeichnen. Dem stand eine Zunahme der Bevölkerungszahl im gleichen Zeitraum von durchschnittlich 3 % gegenüber. Inwieweit der Rückgang auf einer Abnahme des spezifischen Wasserverbrauches und/oder der Abnahme industrieller Wasserabnahmen beruht, konnte anhand der vorliegenden Datenbasis nicht ermittelt werden.

In den als stabil ausgewiesenen kreisfreien Städten nahm der Wasserverbrauch<sup>27</sup> im gleichen Zeitraum ab; um durchschnittlich 6,5 %<sup>28</sup>, in den alten Bundesländern und 11,5 %<sup>29</sup> in den neuen Bundesländern. Dem stand in den alten Bundesländern eine Zunahme der Bevölkerungszahl um durchschnittlich 0,7 % und in den neuen Bundesländern eine Abnahme der Bevölkerungszahl um durchschnittlich 4,6 % gegenüber. Schrumpfende kreisfreie Städte weisen noch deutlichere Rückgänge des Wasserverbrauchs auf, um durchschnittlich 11,8 %<sup>30</sup> in den alten und 25 %<sup>31</sup> in den neuen Bun-

---

25 Relative Änderung der Wasserabgabe an Letztverbraucher zwischen den Jahren 1995 und 2004 in %.

26 Alle Angaben des Durchschnitts der folgenden eigenen Datenauswertungen als Median.

27 Die Wasserabgabe an Letztverbraucher.

28 Datengrundlage: Angaben für 41 der 62 kreisfreien Städte vorliegend.

29 Datengrundlage: Angaben für 6 der 7 kreisfreien Städte vorliegend.

30 Datengrundlage: Angaben für 4 der 15 kreisfreien Städte vorliegend.

31 Datengrundlage: Angaben für 18 der 19 kreisfreien Städte vorliegend.

desländern; bei einem Rückgang der Bevölkerungszahl um durchschnittlich 6 bzw. 15,2 %. Generell nimmt der Wasserverbrauch stärker ab als die Bevölkerungszahl und verschärft somit die Auswirkungen des demografischen Wandels. Die Entwicklung des Wasserverbrauchs wirkt sich direkt auf den Abwasseranfall aus, ist aber nicht mit dessen Entwicklung gleichzusetzen. Für die Kreise liegen keine entsprechenden Daten zur Entwicklung des Wasserverbrauchs vor.



## **4 Identifizierung von Infrastruktursystemen und -anlagen mit besonderer Sensibilität bezüglich der demografischen Veränderungen**

Während in Kapitel 3 eine flächendeckende demografische Typisierung der Kreise und kreisfreien Städte des Bundesgebietes vorgenommen wurde, die anschließend eine Verknüpfung mit der Entwicklung sonstiger interferierender Einflussfaktoren<sup>32</sup> ermöglichte, wird im Folgenden die abwasserinfrastrukturelle Ausstattung in Deutschland umrissen. Anschließend werden die in Kapitel 3.3 demografisch typisierten Kreise und kreisfreien Städte zur vergangenen Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche untersucht. Aggregiert auf räumlicher Ebene der Kreise schließen sich Analysen zur Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen im Jahr 2004 an. Danach werden aus der Gesamtheit dieser Informationen für die einzelnen demografischen Typen Problemtypen für die Abwasserinfrastruktur abgeleitet sowie deren Verbreitung innerhalb Deutschlands dargestellt. Ergebnis ist eine systematische Beschreibung von potenziell gefährdeten Infrastrukturbestandteilen in Abhängigkeit von der gegenwärtigen Infrastrukturausstattung, der zukünftigen demografischen Entwicklung und anderer relevanter Randbedingungen sowie ein Set an typischen Fallregionen, auf die im Zuge der weiterführenden Bearbeitung zurückgegriffen werden kann.

### **4.1 Charakterisierung der Abwasserinfrastrukturausstattung und der Siedlungs- und Verkehrsfläche**

Wasserinfrastruktursysteme (Wasserver- und Abwasserentsorgung) stellen komplexe technische Systeme dar, die auf die simultane Erbringung verschiedener Dienstleistungen zielen. Die konventionellen Wasserinfrastruktursysteme dienen u. a. der Gewährleistung der Versorgungssicherheit (Bereitstellung von Trinkwasser) und der Löschwasserbereitstellung (Schutz von Gesundheit und Privateigentum) sowie der Ableitung von Schmutz- und Regenwasser aus privatem und öffentlichem Raum, der Siedlungshygiene und dem Gewässerschutz. Diesbezüglich sind die existierenden Wasserinfrastruktursysteme grundsätzlich als technisch ausgereift und leistungsfähig zu bezeichnen.

Die im vergangenen Jahrhundert in Deutschland errichteten konventionellen Wasserinfrastruktursysteme wurden in der Regel zentralistisch konzipiert. Die Aufbereitung des Trinkwassers erfolgt in großen zentralen Anlagen, dessen Verteilung über weit

---

<sup>32</sup> Hier klimatische Veränderungen, topografische Randbedingungen und Entwicklung des Trinkwasserverbrauchs.

verzweigte Leitungsnetze. Die Abwasserentsorgung geschieht über die Sammlung des Abwassers und dessen Ableitung über Kanalsysteme zu zentralen Behandlungsanlagen und die Ableitung des gereinigten Abwassers in Gewässer.

Es bestehen enge Wechselwirkungen zwischen der Ausgestaltung der technischen Infrastrukturen zur Ver- und Entsorgung und der Siedlungsstruktur bzw. Siedlungsentwicklung. In den letzten Jahren wurde und wird der Einfluss der Siedlungsentwicklung auf die Höhe von Infrastrukturkosten intensiv diskutiert und anhand von Modellrechnungen quantifiziert. (Siedentop et al., 2006), (Deilmann/Haug, 2008), (Doubek/Zanetti, 1999), (Gutsche, 2003 und 2006), (Koziol/Walther, 2009).

Die Wechselwirkungen zwischen technischen Infrastrukturen und Siedlungsstrukturen beschränken sich dabei nicht auf Kostenaspekte, sondern sind auch in den verschiedenen Dienstleistungen zu suchen. Umfang und Qualität dieser Dienstleistungen werden einerseits durch die Siedlungsstruktur mit beeinflusst und wirken andererseits auf die Siedlungsentwicklung zurück. So beeinflusst die Siedlungsstruktur die Anforderungen an die Regenwasserbeseitigung aus dem privaten und öffentlichen Raum, Siedlungshygiene sowie den Gewässerschutz. Während beispielsweise Einzelanwesen mit einer Kleinkläranlage ausreichend ausgestattet sein können und keine Niederschlagsentwässerung benötigen, erhöhen sich die Ansprüche an Regenwasserbeseitigung und Siedlungshygiene schnell mit steigender Siedlungsgröße und -dichte. Die rechtlichen Anforderungen an die Abwasserbehandlungsanlagen steigen mit deren Größe.

Der Ausbau der Abwasserentsorgung wurde darüber hinaus in Abhängigkeit von der Siedlungsdichte unterschiedlich forciert. So kann die durchgeführte siedlungsstrukturell charakterisierte demografische Typisierung Aufschluss darüber geben, welche Rahmenbedingungen die einzelnen Regionen für kosteneffiziente Netzstrukturen bieten sowie welcher gegenwärtige Gestaltungsspielraum der Infrastrukturen für eine Anpassung an veränderte Siedlungsentwicklungen besteht (Geyler/Prochaska, 2007).

Im Folgenden wird die Spannweite der Infrastrukturausstattung in Deutschland anhand des Anschlussgrades, der Länge und Art der Kanalisation, dem Alter und Zustand der Kanalisation, der Qualität der Abwasserbehandlung und der Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen umrissen. Außerdem werden die Daten zur Siedlungs- und Verkehrsfläche ausgewertet.

#### **4.1.1 Anschlussgrad**

Siedlungen in Deutschland sind überwiegend mit zentralen Abwasserbehandlungsanlagen und Kanalsystemen zur Ableitung des Abwassers bzw. Regenwassers ausgestattet. Der Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation lag im Jahr 2004 in Deutsch-

land bei 96 %, der Anschlussgrad an öffentliche oder betriebliche Behandlungsanlagen bei 94 % (Statistisches Bundesamt, 2004). Haushalte, die nicht an die zentrale öffentliche Abwasserentsorgung angeschlossen sind, behandeln ihr Abwasser über Kleinkläranlagen.<sup>33</sup> Dabei existieren vornehmlich in den neuen Bundesländern teilweise noch Gebiete, in denen die Kleinkläranlagen noch nicht dem Stand der Technik entsprechen. Entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie sollen bis zum Jahr 2015 in allen Oberflächengewässern ein guter Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erreicht werden, d. h. auch in weniger dicht besiedelten Gebieten ist die Abwasserbehandlung dem Stand der Technik anzupassen. Dies kann beispielsweise den Neubau oder die Nachrüstung der entsprechenden Kleinkläranlagen erfordern (vgl. auch Kap. 1).

Der Anschlussgrad an die öffentliche Abwasserentsorgung vermittelt einen ersten Eindruck, in welchem Maße das zentral-konventionelle System durch dezentrale Lösungen ergänzt wird sowie ob und in welchem Maße die Abwasserentsorgung noch ausgebaut wird und hierbei ggf. an aktuelle Veränderungen der Siedlungsentwicklung angepasst werden kann. Der Anschlussgrad steht dabei in Zusammenhang mit der Siedlungsstruktur bzw. der Siedlungsdichte (Geyler/Prochaska, 2007). U. a. aufgrund der unterschiedlichen siedlungsstrukturellen Charakteristik der Bundesländer variiert hier der Anschlussgrad an die Kanalisation zwischen 83 % in Brandenburg und 100 % im Stadtstaat Bremen; der Anschlussgrad an öffentliche oder betriebliche Abwasserbehandlungsanlagen zwischen 65 % in Thüringen und 100 % in Bremen (Statistisches Bundesamt, 2004). Neben den siedlungsstrukturellen Randbedingungen liegen weitere Gründe für die Unterschiede im Anschlussgrad dabei beispielsweise in unterschiedlichen Erschließungsstrategien und Förderpolitiken der einzelnen Bundesländer.

#### **4.1.2 Länge und Struktur der Kanalisation**

Die Länge des öffentlichen Kanalnetzes in Deutschland betrug im Jahr 2004 rund 515.000 km (Statistisches Bundesamt, 2004). Mit 46 % hatten daran Mischwasserkanäle den größten Anteil, gefolgt von Schmutzwasserkanälen mit 33 % und Regenwasserkanälen mit 21 % (Statistisches Bundesamt, 2004). Darin enthalten sind auch Sonderentwässerungssysteme wie Druck- oder Vakuumentwässerung, die bei besonderen Randbedingungen, wie sehr flachem Gelände und/oder geringer Siedlungsdichte zum Einsatz kommen. Die verschiedenen Entwässerungssysteme weisen Vor- und Nachteile auf, die sie für verschiedene Randbedingungen prädestinieren. Beispielsweise unterscheiden sie sich im Hinblick auf die Sensibilität gegenüber Schwankungen in der

---

<sup>33</sup> Behandlung von bis zu 8 m<sup>3</sup>/d häuslichen Abwassers.

Entwicklung des Schmutzwasseranfalls. Weiterhin beeinflusst der Regenwasseranfall beispielsweise die Dimensionierung der Mischwasserkanäle aber nicht die der Schmutzwasserkanalisation, so dass beim erstgenannten System einerseits auf einen zurückgehenden Schmutzwasseranfall nicht mit Querschnittsverringerung reagiert werden kann, aber andererseits das Regenwasser zur Spülung der Kanäle dient und damit auslastungsbedingte Ablagerungen zu vermeiden hilft. Querschnittsveränderungen der Trennkanalisation sind nur bis in Höhe des Mindestdurchmessers (DN 200) möglich, um Verstopfungen zu vermeiden und Erfordernissen der Sanierung gerecht zu werden.

### **4.1.3 Alter und Zustand der Kanalisation sowie Sanierungsbedarf**

Etwa 70 % der gesamten Kanalisation wurden in den letzten 50 Jahren errichtet. Circa ein Drittel der gesamten Kanalisation wurde in den letzten 25 Jahren gebaut. Die Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004 zum Zustand der Kanalisation weisen dabei deutliche Unterschiede zwischen alten und neuen Bundesländern im Hinblick auf die Altersstruktur aus (Berger/Lohaus, 2005). Danach stammen in den neuen Bundesländern noch über 50 % der Kanäle aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg. Der Anteil der Kanäle jünger als 25 Jahre liegt jedoch deutlich höher als in den alten Bundesländern (Berger/Lohaus, 2005).

Die Auswertung von Daten zum mittleren Kanalalter<sup>34</sup> ergab für die kreisfreien Städte der demografischen Typisierung, dass das mittlere Kanalalter im Jahr 2004 in den wachsenden kreisfreien Städten bei durchschnittlich 34,2 Jahren<sup>35</sup> lag. In den stabilen kreisfreien Städten der alten Bundesländer betrug das mittlere Kanalalter im Jahr 2004 36,1 Jahre<sup>36</sup> und in den neuen Bundesländern 30,8 Jahre. Für die schrumpfenden kreisfreien Städten der alten Bundesländer lag diese Kennzahl bei 36,4 Jahren<sup>37</sup> in den neuen Bundesländern bei 27,5 Jahren<sup>38</sup>.

Danach weisen die kreisfreien Städte der alten Bundesländer ein höheres mittleres Kanalalter auf als die der neuen Bundesländer. Dies gilt für wachsende, stabile und schrumpfende Städte. Das mittlere Kanalalter in den wachsenden kreisfreien Städten

---

<sup>34</sup> Der Anteil an Kanälen unbekanntes Alters wurde nicht berücksichtigt.

<sup>35</sup> Datengrundlage: Angaben für 4 der 12 kreisfreien Städte vorliegend.

<sup>36</sup> Datengrundlage: Angaben für 40 der 62 kreisfreien Städte vorliegend.

<sup>37</sup> Datengrundlage: Angaben für 11 der 15 kreisfreien Städte vorliegend.

<sup>38</sup> Datengrundlage: Angaben für 10 der 19 kreisfreien Städte vorliegend.



ist geringer als das der stabilen und schrumpfenden kreisfreien Städte, liegt aber dennoch deutlich über dem mittleren Kanalalter der stabilen und schrumpfenden ostdeutschen kreisfreien Städte.

Das Alter der Kanäle erlaubt erste Rückschlüsse auf die noch verbleibende Nutzungsdauer.<sup>39</sup> Abgeschriebene Kanäle erleichtern Anpassungsmaßnahmen der Infrastruktur an Siedlungsstrukturveränderungen, da im Falle eines Umbaus /einer Außerdienststellung Sonderabschreibungen nicht notwendig werden. Dieser Indikator trifft allerdings keine Aussage darüber, inwiefern diese Erleichterungen aufgrund der konkreten Rahmenbedingungen auch ausgenutzt werden können, d. h. ob hierfür finanzielle Ressourcen zur Verfügung stehen bzw. eine Anpassung ohne unzulässige Rückwirkung auf das restliche technische System überhaupt möglich ist (Geyler/Prochaska, 2007).

Die Altersstruktur der Kanalnetzbestände gibt unter Berücksichtigung der genannten Anmerkungen Hinweise auf den zukünftigen Sanierungsbedarf. Nach dem Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008 sind ca. 20 % der öffentlichen Kanalisation kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig. Zusätzlich müssen 21,5 % langfristig saniert werden (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008; S. 41). Somit besteht im Bereich der Kanalnetze ein großer Sanierungsbedarf. Dabei wird allgemein davon ausgegangen, dass die derzeitige Investitionstätigkeit nicht nachhaltig ist und zu geringe finanzielle Mittel eingesetzt werden, so dass mit einer Verschärfung der Situation in den kommenden Jahren zu rechnen ist.<sup>40</sup> Abnehmende Verbrauchs- und Bevölkerungszahlen verstärken die Problematik der Sicherstellung der Bereitstellung ausreichender finanzieller Mittel zum Erhalt der Anlagen der Abwasserinfrastruktur. Andererseits sind bei der Festlegung und Beurteilung einer angemessenen Investitionsrate auch die sich verändernden Randbedingungen und ggf. zukünftig geplante Transformationen am technischen System zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 7.8.3: Sanierungs- und Investitionsplanung sowie Kapitel 8: Neuartige technische Konzepte).

---

<sup>39</sup> Bei der Betrachtung des Zusammenhangs von Alter des Kanals und dessen Restnutzungsdauer sind unterschiedliche Kanalarten, Verlegebedingungen und –zeitpunkte zu berücksichtigen. Ein allgemeiner direkter Zusammenhang zwischen Alter, Zustand und Restnutzungsdauer besteht deshalb nicht. Viele Kanalarten jüngeren Datums weisen deutlich geringere Nutzungsdauern auf als ältere Kanäle. Gemauerte Kanäle werden beispielsweise in ihrer Nutzungsdauer bis 240 Jahre prognostiziert.

<sup>40</sup> Befragungen betroffener Kommunen durch Berger & Lohaus (Berger & Lohaus, 2005) ergaben hierzu differenzierte Einschätzungen, danach erwarten rund 42 % der Kommunen (8,24 Millionen Einwohner) einen Sanierungsstau, rund 39 % der Kommunen (10,29 Millionen Einwohner) waren der Meinung, dass kein Sanierungsstau zu erwarten sei (19 % machten keine Angabe).

#### 4.1.4 Qualität der Abwasserbehandlung

Im Jahr 2004 wurde in die öffentliche Kanalisation eine Jahresschmutzwassermenge von 5.271,3 Mill. m<sup>3</sup> eingeleitet und zum größten Teil (98,7 %) in öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen behandelt. Zusätzlich fielen in diesen Anlagen 4.205,7 Mill. m<sup>3</sup> Fremd<sup>41</sup>- und Niederschlagswasser an. Die sich daraus ergebende Jahresabwassermenge von 9.410,0 Mill. m<sup>3</sup> wurde fast ausschließlich mit biologischen Verfahren behandelt. Der in öffentlichen biologischen Abwasserbehandlungsanlagen angefallene Klärschlamm von 2,3 Mill. t Trockenmasse wurde zu 52 % (1,2 Mill. t) einer stofflichen Verwertung zugeführt. In der Landwirtschaft wurden nach den Bestimmungen der Klärschlammverordnung 627.989 t eingesetzt (Statistisches Bundesamt, 2004).

97 % der Abwassermenge in Deutschland werden mit dem höchsten EU-Standard behandelt (biologische Behandlung mit Nährstoffelimination, d. h. dritte Reinigungsstufe entsprechend der EG-Richtlinie Kommunales Abwasser). Bei besonderen örtlichen Anforderungen bzw. behördlichen Vorgaben können noch weitere bzw. verschärfte Anforderungen an die Reinigungsleistung hinzukommen (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008, S. 42ff.).

Für die nicht an die öffentliche Abwasserbehandlung angeschlossenen Haushalte stellen dezentrale Behandlungsanlagen (Kleinkläranlagen nach dem Stand der Technik, d. h. mit biologischer Reinigungsstufe und Ablaufwerten entsprechend der GK 1/AbwV) inzwischen anerkannte Alternativen zur vorübergehenden oder auch dauerhaften Siedlungsentwässerung dar. Betriebssicherheit und Reinigungsleistung der Systeme, die entscheidend von der ausreichenden Wartung der technischen Anlagen abhängen, konnten in den letzten Jahren erheblich verbessert werden. Diese leistungsfähige Abwasserinfrastruktur wurde in den vergangenen Jahrzehnten durch umfangreiche Investitionen errichtet. Jedoch stehen auch zukünftig zahlreiche Aufgaben an, um eine nachhaltige Abwasserentsorgung sicherzustellen. Neben notwendigen Investitionen in erneuerungsbedürftige Kanalnetze steht die Erschließung von Neubaugebieten und von sonstigen zu entwässernden Flächen an. Steigende ökologische Anforderungen z. B. bezüglich des Gewässerschutzes (z. B. neue Qualitätsziele der WRRL – Einleitungsbeschränkungen für Stoffe, die mit den bestehenden Behandlungsanlagen nicht zurückgehalten werden) erfordern über die Erneuerungen der bestehenden Anlagen hinausgehende zusätzliche investive Maßnahmen (z. B. Erweiterung bestehender

---

41 Ausgleichenden Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Kanalsysteme trotz rückläufiger Schmutzwassereinleitungen kann der Fremdwasseranfall haben. In Mischwasserkanalisationen finden sich in allen Regionen Deutschlands hohe Fremdwasseranteile. Teilweise werden Anstrengungen unternommen, um sie gezielt zu reduzieren, teilweise aber bewusst zur Spülung der Kanäle toleriert.

Kläranlagen zur Elimination von Nährstoffen und Spurenstoffen wie Arzneimittelrückständen, Hygienisierung aufbereiteter Abwässer). Weiterhin zeichnen sich komplett neue Aufgaben für die Abwasserbehandlung ab, wie die verstärkte Rückgewinnung von Nährstoffen zur Schließung von Stoffkreisläufen und ein verstärktes Energiemanagement (Hillenbrand/Hiessl, 2006).

#### **4.1.5 Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen**

Abnehmende Bevölkerungszahlen und ein sinkender spezifischer Trinkwasserverbrauch reduzieren die Auslastung technischer Anlagen der Abwasserinfrastruktur. Die demografisch typisierten Kreise (vgl. Kapitel 3.3) wurden bezüglich der Auslastung ihrer Abwasserbehandlungsanlagen<sup>42</sup> untersucht. Die Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen wurde in Form des Verhältnisses aus im Jahr 2004 angeschlossenen Einwohnern und Einwohnergleichwerten (EGW) zur Ausbaugröße bezogen auf Einwohnerwerte (EW) berechnet. Ab einer Auslastung unter 70 % erfolgte eine Zuordnung als gering ausgelastete Abwasserbehandlungsanlage. Diese Einstufung kann lediglich als Anhaltspunkt für Demografie bedingte Unterauslastungen der Abwasserbehandlungsanlagen gesehen werden. Bei der Bewertung der (mittleren) Anlagenauslastung sind neben der Vorgehensweise bei der rechnerischen Bestimmung der Auslastung besondere Rahmenbedingungen wie die Auslegung der Abwasserbehandlungsanlagen auf stark schwankenden Abwasseranfall, z. B. in stark touristisch geprägten Regionen, oder je nach Entwässerungssystem Reserven für Regenwasserstöße, zu berücksichtigen. Die Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen im Jahr 2004 lag nach eigenen Auswertungen von Daten der statistischen Landesämter im Mittel in wachsenden Kreisen der alten Bundesländer bei 79 %; in wachsenden Kreisen der neuen Bundesländer bei 87 %; in stabilen Kreisen der alten Bundesländer bei 81 % und in stabilen Kreisen der neuen Bundesländer im Mittel bei 80 %. Die durchschnittliche Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen in den schrumpfenden Kreisen der alten Bundesländer betrug 79,9 % und in den schrumpfenden Kreisen der neuen Bundesländer 73,6 %.

Bezüglich der Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen zeigt sich eine überwiegend gute Auslastung der Anlagen. Hohe Auslastungsgrade weisen tendenziell die wachsenden Kreise der neuen Bundesländer auf. Tendenziell gering ausgelastete Abwasserbehandlungsanlagen finden sich in den schrumpfenden Kreisen der neuen Bundesländer.

---

<sup>42</sup> Für alle Anlagen im Kreisgebiet gemittelter Auslastungsgrad.

#### 4.1.6 Entwicklung der Abwasserinfrastrukturausstattung

Die als schrumpfend ausgewiesenen Kreise und kreisfreien Städte wurden zwischen den Jahren 1995 und 2004 außerdem hinsichtlich der Entwicklung ihrer Siedlungs- und Verkehrsfläche untersucht. Im Ergebnis dieser Untersuchung spiegeln sich die Ausführungen zur siedlungsstrukturellen Charakterisierung des Bundesgebietes (vgl. Kapitel 3.2) wider, insbesondere wird hier noch einmal die im zeitlichen Verlauf und der Intensität der ablaufenden Prozesse unterschiedliche Entwicklung der Kreise und kreisfreien Städte in den alten und neuen Bundesländern deutlich. Im untersuchten Zeitraum der Jahre 1996 bis 2004 wies nur eine der als schrumpfend ausgewiesenen kreisfreien Städte in den alten Bundesländern eine überdurchschnittliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf, während dies auf 15 der 194<sup>3</sup> schrumpfenden kreisfreien Städte in den neuen Bundesländern zutraf.

In den wachsenden Kreisen der alten Bundesländer nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche um durchschnittlich 8,5 % zu, in den wachsenden Kreisen der neuen Bundesländer um durchschnittlich 12,4 % bei einer Zunahme der Bevölkerungszahl im gleichen Zeitraum von 5,7 % bzw. 12,2 %. In den stabilen Kreisen der alten Bundesländer nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche um durchschnittlich 6,9 % zu, die in den neuen Bundesländern um durchschnittlich 11,3 % bei einer Zunahme der Bevölkerungszahl von 1,3 % bzw. einer Abnahme der Bevölkerungszahl um 1,6 %. In den schrumpfenden Kreisen nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche in den alten Bundesländern um durchschnittlich 7,8 % zu in den neuen Bundesländern um 9,2 % bei einer Abnahme der Bevölkerungszahl um 3,8 bzw. 7,5 %.

Deutlich wird die flächendeckende Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen auch in stabilen und schrumpfenden Kreisen. Des Weiteren zeigt sich eine entkoppelte Entwicklung von Bevölkerungszahl und Siedlungs- und Verkehrsfläche – so nahmen die Siedlungs- und Verkehrsflächen in den alten Bundesländern in schrumpfenden Kreisen stärker zu als in stabilen Kreisen. Bei einem durchschnittlichen Bevölkerungsrückgang von 7,5 % nahm gleichzeitig die Siedlungs- und Verkehrsfläche in den schrumpfenden Kreisen der neuen Bundesländer um durchschnittlich 9,2 % zu. Die mittlere prozentuale Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen in den wachsenden Kreisen der alten Bundesländer fiel größer als die prozentuale Zunahme der Bevölkerungszahl aus. Somit ist im Mittel auch hier eine Verringerung der Siedlungsdichte zu verzeichnen. Die mittlere Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche und Bevölkerungszahl bewegte sich in den wachsenden Kreisen der neuen Bundesländer auf gleich hohem Niveau,

---

<sup>43</sup> Für eine kreisfreie Stadt lag hierzu keine Angabe vor.

das noch über den durchschnittlichen Wachstumsprozessen der wachsenden Kreise der alten Bundesländer lag.

## 4.2 Nähere Charakterisierung der typisierten Gebiete

Aus der Gesamtheit der Informationen zu den beschriebenen demografischen und sich hiermit überlagernden Entwicklungen werden für die einzelnen demografischen Typen des Kapitels 3.3 im Folgenden charakteristische problematische Parameterkonstellationen abgeleitet sowie deren Verbreitung innerhalb Deutschlands dargestellt.

Die Tabelle 4-1 zeigt zunächst noch einmal die erfassten Parameter bzw. Einflussfaktoren auf, stellt diesbezüglich aus Sicht der Abwasserentsorgung ungünstige Ausprägungen dar und erläutert die sich anschließende Art und Weise der Berücksichtigung ungünstiger bzw. problematischer Parameterkonstellationen.

Durch Verknüpfung mit den beschriebenen Demografietypen lässt sich in Abbildung 4-1 die derzeitige Verbreitung potenziell problematischer Ausstattungs- und Entwicklungsmuster für das Bundesgebiet abbilden.

Bezogen auf die in Kapitel 3.2 gebildeten Demografietypen lassen sich die im Folgenden beschriebenen aktuellen und zukünftigen Herausforderungen ableiten. Dabei kann an dieser Stelle nur auf grundsätzliche Problemlagen hingewiesen werden. Differenziertere Maßnahmenbeschreibungen und Handlungsempfehlungen werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Wie in Kapitel 3 gezeigt, verläuft die demografische Entwicklung in den einzelnen Regionen sehr differenziert, insbesondere können hier Unterschiede zwischen den alten und den neuen Bundesländern ausgemacht werden. Darüber hinaus differierten die einzelnen Regionen in der Vergangenheit hinsichtlich der Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen und der Ausstattung der Abwasserinfrastruktur. Kennzeichnend für die alten Bundesländer ist eine stetige Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen in den vergangenen Jahrzehnten verbunden mit einem kontinuierlichen Aus-/ oder Umbau der zentralen Abwasserinfrastruktur. Ländliche Gebiete sind mit dezentralen Behandlungsanlagen nach dem Stand der Technik ausgerüstet.

Die Entwicklung in den neuen Bundesländern war demgegenüber stärker durch einen diskontinuierlichen Aus- und Umbau der Abwasserinfrastruktur gekennzeichnet – besonders deutlich wird dies in der starken Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen und hiermit verbunden der intensiven Bautätigkeit in der Nachwendezeit der 1990iger Jahre, die mit einer umfangreichen Erweiterung des Netzbestandes und einer technischen Ertüchtigung der Abwasserbehandlungsanlagen einherging.

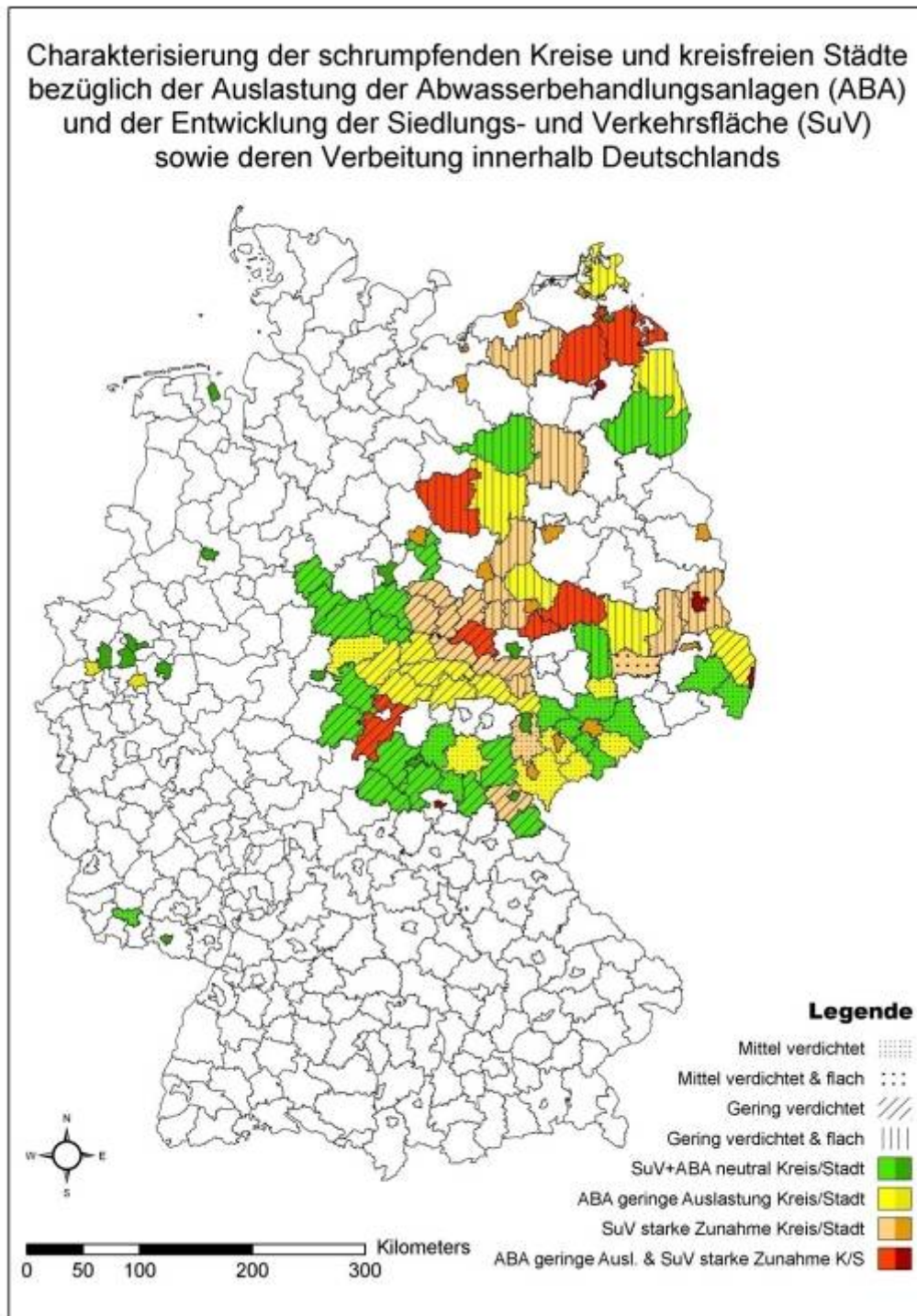
Tabelle 4-1: Parameter zur Identifizierung von Problemtypen

Parameter bzw. Einflussfaktor	Potenziell ungünstige Ausprägung	Abbildung
Entwicklung der Bevölkerungszahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Starke Abnahme</li> <li>▪ Starke Zunahme</li> </ul>	Demografische Typisierung für die Kreise und kreisfreien Städte (vgl. <i>Kapitel 3.2</i> )
Altersstruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überalterung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keine separate Ausweisung</li> <li>▪ Kreise und kreisfreie Städte, die bezüglich der Entwicklung der Bevölkerungszahl als schrumpfend eingestuft wurden, waren bis auf wenige Ausnahmen durch Überalterung gekennzeichnet</li> </ul>
Siedlungsdichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geringe Siedlungsdichte</li> <li>▪ Sehr stark verdichtete Strukturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charakterisierung der Kreise bezüglich ihrer Siedlungsdichte</li> <li>▪ Kreisfreie Städte sind im allgemeinen durch stark verdichtete Strukturen gekennzeichnet</li> </ul>
Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Starke Zunahme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charakterisierung der Kreise und kreisfreien Städte bezüglich der Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche</li> </ul>
Klimawandel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zunahme von Starkregen-Ereignissen</li> <li>▪ Zunahme von Trockenperioden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nur allgemeine tendenzielle Aussagen verfügbar</li> <li>▪ Keine Charakterisierung der Kreise und kreisfreien Städte möglich</li> </ul>
Topografie	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ flach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charakterisierung der Kreise und kreisfreien Städte bezüglich der Reliefenergie des Siedlungsgebietes</li> </ul>
Trinkwasserverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ starke Abnahme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charakterisierung der kreisfreien Städte bezüglich der Entwicklung des Wasserverbrauchs</li> <li>▪ Keine Charakterisierung der Kreise möglich</li> </ul>
Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringe Auslastung</li> <li>▪ Überlastung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charakterisierung der Kreise bezüglich der Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen</li> <li>▪ Keine Charakterisierung der kreisfreien Städte möglich</li> <li>▪ Keine Charakterisierung der Auslastung der Kanalsysteme möglich</li> </ul>

Im ländlichen Raum steht teilweise bis zum heutigen Zeitpunkt noch die Ertüchtigung der Behandlungsanlagen auf den Stand der Technik aus.

Für die Demografietypen (vgl. Kapitel 3.2) lassen sich grundsätzliche Aussagen treffen, die in den folgenden Kapiteln beschrieben sind.

Abbildung 4-1: Verbreitung der identifizierten Problemtypen (eigene Darstellung<sup>44</sup>)



<sup>44</sup> Unter Verwendung von Geodaten (VG 250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie.

### **4.2.1 Typ 1 - Wachsende kreisfreie Städte**

Wachsende kreisfreie Städte zeichnen sich allgemein durch einen hohen Urbanisierungsgrad und stark verdichtete Strukturen aus. Dem stehen geringe spezifische Kanalnetzlängen der Abwasserinfrastrukturausstattung gegenüber. Die Baukosten pro Meter Kanalisation sind aufgrund der städtischen Lage überdurchschnittlich hoch. Jedoch sind die spezifischen Kanalnetzlängen niedriger als in Gebieten niedrigerer Siedlungsdichte und damit je nach Einzelfall auch die spezifische Kostenbelastung. Die Siedlungs- und Verkehrsflächen sind in hohem Grad versiegelt, so dass nur wenige Flächen für die Versickerung von Regenwasser bzw. die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung stehen. Daraus ergibt sich der Zwang, das Regenwasser überwiegend über entsprechende infrastrukturelle Anlagen abzuleiten. In diesen Gebieten kann es durch die Nachverdichtung zu hydraulischen Überlastungen der abwasserwirtschaftlichen Anlagen kommen. Langfristig kann diese Situation hydraulischer Überlastungszustände durch eine Zunahme von Extremwetterereignissen, wie Starkregenereignissen verschärft werden, u. a. auch, weil eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung aufgrund des hohen Versiegelungsgrades nicht ausbaufähig ist.

Besonderer Handlungsbedarf besteht somit im Bereich des Regenwassermanagements, insbesondere in den Städten, wenn zukünftig mit einer Zunahme an Starkregenereignissen gerechnet wird. Aufgrund des relativ hohen mittleren Kanalalters ist außerdem in den kommenden Jahren mit einem steigenden Erneuerungs-/Renovierungsbedarf zu rechnen, was die Bereitstellung der hierfür erforderlichen finanziellen Mittel notwendig macht.

Anzumerken ist, dass das Wachstum nicht zwangsweise mit einer Zunahme der versiegelten Fläche einhergehen muss. Durch die Nutzung intelligenter Systeme wie der Kanalnetzsteuerung stehen effektive Maßnahmen für ein zentrales Regenwassermanagement zur Verfügung stehen.

### **4.2.2 Typ 4 - Wachsende Kreise**

Wachsende Kreise finden sich sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern. Wobei in den neuen Bundesländern das Wachstum überwiegend in den 1990iger Jahren – und damit zeitlich konzentrierter als in den alten Bundesländern – ergänzt durch umfangreiche Erneuerungsmaßnahmen an bestehenden Anlagen, stattfand. Dadurch ist hier vielfach ein relativ junger Anlagenbestand vorhanden.

Im Gegensatz zu den wachsenden kreisfreien Städten geht das Wachstum der Bevölkerungszahl in den wachsenden Kreisen, sofern es sich nicht um Verdichtungsgebiete handelt, in der Regel mit einer starken Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen



einher und weniger mit einer Nachverdichtung bestehender Siedlungsstrukturen. Zunehmenden Bevölkerungszahlen stehen Neuausweisungen von Gewerbegebieten und Wohngebieten der Ein- und Zweifamilienhausbebauung gegenüber. Im Rahmen von Suburbanisierungsprozessen entstanden neue Anlagen in Randgebieten von Städten oder Agglomerationsräumen. Die Versorgungsdichte ist geringer als in kreisfreien Städten, jedoch liegen die Bau- und Erschließungskosten ebenfalls tendenziell niedriger. Die Siedlungsgebiete sind weniger stark versiegelt, so dass die Möglichkeiten dezentraler Regenwasserbewirtschaftung umfangreicher genutzt und eine Zunahme von Extremereignissen so ggf. besser abgefangen werden kann.

Akuter bis mittelfristiger Handlungsbedarf besteht in diesen Gebieten nicht. Jedoch sollten bei der Erschließung neuer Gebiete vorhandene Flächenpotenziale (Brachflächenbestand) der Region berücksichtigt sowie die Nachverdichtung bestehender Strukturen und/oder alternative Formen der abwasserwirtschaftlichen Erschließung geprüft werden. Vorhandenes Potenzial unversiegelter Flächen kann hierbei sinnvoll zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung genutzt werden. So werden neue Gebiete vielfach nur noch über Schmutzwasserleitungen angebunden und Regenwasser auf dem Grundstück entsorgt.

### **4.2.3 Typ 2 - Stabile Kreisfreie Städte**

Stabile kreisfreie Städte finden sich sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern. Bei einer stagnierenden Entwicklung der Bevölkerungszahlen zwischen den Jahren 1995 und 2004 nahmen die Siedlungs- und Verkehrsflächen im gleichen Zeitraum um 3,3 % in den alten Bundesländern zu. In den stabilen kreisfreien Städten der neuen Bundesländer traf dagegen im betrachteten Zeitraum eine Abnahme der Bevölkerungszahl von durchschnittlich 4,6 % auf eine Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen von im Mittel 9,2 %. Damit einher gingen umfangreiche Erweiterungen des Netzbestandes. Der Rückgang des Wasserverbrauchs fällt sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern moderat aus und liegt im Mittel bei 6,5 % bzw. 11,5 %.<sup>45</sup>

In den alten Bundesländern weist der überwiegende Teil der Städte ein relativ hohes mittleres Kanalalter auf. Stabile kreisfreie Städte in den neuen Bundesländern weisen geringere mittlere Kanalalter und bezüglich des Alters stark differenzierte Kanalnetzbe-

---

<sup>45</sup> Dabei ist jedoch zu beachten, dass sowohl im Vergleich verschiedener Städte als auch innerhalb der einzelnen Städte hiervon sowohl nach unten als auch nach oben stark abweichende Entwicklungen des Wasserverbrauchs und damit des Abwasseranfalls vorkommen.

stände auf – so sind die Kernstädte oftmals durch alte Bestände und die Randlagen durch neue Netze gekennzeichnet. Der stattgefundene Rückgang der Bevölkerungszahlen verteilt sich nicht gleichmäßig auf das Stadtgebiet, so dass die abwasserwirtschaftlichen Anlagen der einzelnen Stadtteile unterschiedlich stark von Rückgängen des Wasserverbrauchs und damit des Abwasseranfalls betroffen sind. Hohe Wohnungsleerstandsquoten führen zu einer Verringerung der Nutzerdichte entlang bestehender Kanalnetze und reduzieren deren Auslastung. Diese Entdichtungserscheinungen treten in einzelnen Stadtteilen auf bzw. noch kleinräumiger differenziert in einzelnen Stadtquartieren oder entlang bestimmter Straßenzüge.

Während die zu verzeichnenden Rückgänge bei der Bevölkerung und dem Wasserverbrauch aus technischer Sicht noch nicht zu schwerwiegenden Problemen geführt haben, sind mit diesen Entwicklungen Einnahmerückgänge verbunden, die die nachhaltige Finanzierung der Erhaltung und Erneuerung des Anlagenbestandes erschweren. Dies wird sich in der Festlegung von Maßnahmen der Sanierung und Erneuerung widerspiegeln. Die auch innerhalb eines Stadtgebietes stark differenzierten Randbedingungen der Altersstruktur des Netzbestandes und der Auslastung der Anlagen werden entsprechend differenzierte Sanierungsstrategien erfordern.

Viele der derzeit als stabil eingestuften kreisfreien Städte in den alten Bundesländern werden über das Jahr 2020 hinaus auch einem Rückgang der Bevölkerungszahlen unterliegen. Damit kann es zu ähnlichen Auswirkungen auf die Abwasserinfrastruktur wie in den stabilen kreisfreien Städten der neuen Bundesländer oder auch der schrumpfenden kreisfreien Städte der alten Bundesländer kommen. Die diesbezüglich vorliegenden Kenntnisse und Erfahrungen sollten rechtzeitig in den Planungen berücksichtigt werden, um gemeinsam mit der Stadtplanung Veränderungsprozesse aktiv mitgestalten zu können und somit negative Auswirkungen möglichst zu minimieren. Hierzu zählt gegebenenfalls auch eine gezielte Umstrukturierung des Anlagenbestandes (vgl. Maßnahmen Kap. 7).

In naher Zukunft stehen sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländern umfangreiche Sanierungsmaßnahmen am Kanalnetz an. Hierzu kann auch die Reduzierung des Fremdwasseranteils zählen. Unter den tendenziell rückläufigen Entwicklungen der Bevölkerungszahlen und des Wasserverbrauchs eröffnen sich möglicherweise Finanzierungslücken, denen durch geeignete Planung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen und durch angepasste Tarifstrukturen begegnet werden könnte. Hierbei ist zu beachten, dass alle derzeit vorhandenen abwassertechnischen Anlagen mit Fördermitteln errichtet wurden – die Refinanzierung der Anlagen ohne Fördermittel wird im Regelfall derzeit nicht gedeckt sein. Dies gilt sowohl für die alten als auch für die neuen Bundesländer.

#### **4.2.4 Typ 5 - Stabile Kreise**

Die rückläufigen Entwicklungen der Bevölkerungszahlen in den 1990iger Jahren in den neuen Bundesländern gingen oftmals mit einer deutlichen Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen einher. Dem standen zahlreiche Neuerschließungen von Wohn- und Gewerbegebieten sowie Erneuerungen oder Ertüchtigungen der abwassertechnischen Anlagen gegenüber. Diese umfangreiche Bau- und Sanierungstätigkeit in den 1990iger Jahren zeigt sich in vielen Kreisen der neuen Bundesländer bezüglich der Infrastrukturausstattung anhand eines geringeren mittleren Kanalalters. So befinden sich in diesen stabilen Kreisen viele Gemeinden des ländlichen Raumes mit hohem Anschlussgrad und jungen Kanalnetzen.

Die Auslastung bestehender Anlagen der Abwasserinfrastruktur reduziert sich langfristig. Der Bau weiterer Anlagen in Gebieten relativ geringer Siedlungsdichte erhöht mittel- und langfristig die einwohnerspezifische Kostenbelastung – insbesondere vor dem Hintergrund der Bevölkerungsprognosen, die auch für eine Vielzahl der Kommunen in den alten Bundesländern zukünftig von rückläufigen Bevölkerungszahlen ausgehen.

#### **4.2.5 Typ 3 - Schrumpfende Kreisfreie Städte**

Schrumpfende kreisfreie Städte finden sich sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern. Die schrumpfenden kreisfreien Städte in den alten und den neuen Bundesländern unterscheiden sich zwischen 1995 und 2004 in der Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen- und der Entwicklung des Wasserverbrauchs in diesem Zeitraum. Trotz zurückgehender Bevölkerungszahlen nahm der Wasserverbrauch in fast allen schrumpfenden kreisfreien Städten der neuen Bundesländer stark ab, während in den alten Bundesländern nur eine leichte / mäßige Abnahme des Wasserverbrauchs in diesem Zeitraum zu verzeichnen war. Die Abwasserbehandlungsanlagen sind auch in den schrumpfenden kreisfreien Städten überwiegend gut ausgelastet. Während die als schrumpfend eingestuften kreisfreien Städte in den alten Bundesländern bezüglich der untersuchten Kriterien weitgehend homogen sind, unterscheiden sich die schrumpfenden kreisfreien Städte in den neuen Bundesländern.

Die Schrumpfung führt zu einer Verringerung der Siedlungs- und Versorgungsdichte. Mit dem Rückgang der Bevölkerungszahl geht in der Regel nicht die Siedlungs- und Verkehrsfläche zurück. Der Anteil leer stehender Wohneinheiten nimmt zu und vereinzelt fallen ehemals besiedelte Flächen brach. Die vorhandene Abwasserinfrastruktur kann jedoch oft aus technischen Gründen nicht oder nicht in gleichem Maße zurückgebaut werden, so dass deren Auslastung abnimmt. Wie ein möglichst infrastruktureffizi-

enter Stadtumbau aussehen kann, kann nur lokal differenziert beurteilt werden; die grundsätzlichen Ansätze und Randbedingungen werden in *Kapitel 7* erläutert.

In schrumpfenden Städten kann die Abnahme der Bevölkerungszahlen verbunden mit Rückgängen des spezifischen Trinkwasserverbrauchs zu Funktionsbeeinträchtigungen der Abwasserinfrastruktur führen (vgl. *Kapitel 7*). Weiterhin gefährdet die stark verminderte Abnehmerzahl die nachhaltige Finanzierung des Erhalts des verbliebenen Anlagenbestandes bzw. werden ggf. mittelfristig Gebührenerhöhungen notwendig.

#### **4.2.6 Typ 6 - Schrumpfende Kreise**

Schrumpfende Kreise finden sich in den alten und den neuen Bundesländern. Die schrumpfenden Kreise in den alten Bundesländern wiesen im Zeitraum von 1995 bis 2004 bis auf eine Ausnahme keine überdurchschnittliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf. Bis auf eine Ausnahme lassen sich in diesen Kreisen auch keine gering ausgelasteten Kläranlagen finden. In den neuen Bundesländern weist demgegenüber rund die Hälfte der erfassten schrumpfenden Kreise relativ gering ausgelastete Kläranlagen auf. Die Siedlungs- und Verkehrsflächen nahmen hier überdurchschnittlich zu. 17,5 % der erfassten schrumpfenden Kreise in den neuen Bundesländern sind sowohl durch überdurchschnittliche Zunahmen der Siedlungs- und Verkehrsflächen als auch durch gering ausgelastete Kläranlagen gekennzeichnet. Bezüglich der Kläranlagenauslastung sind die zu berücksichtigenden Hinweise in Kapitel 4.1.5 zu beachten.

Ein kontinuierlicher Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs fand in den vergangenen Jahrzehnten im gesamten Bundesgebiet statt. Der Rückgang in den neuen Bundesländern insbesondere in den 1990iger Jahren war dabei besonders extrem. Der spezifische Wasserverbrauch liegt heute in den neuen Bundesländern deutlich unter dem in den alten Bundesländern, wobei besonders geringe Wasserverbräuche in ländlichen Regionen vorzufinden sind. Viele dieser Kreise werden auch zukünftig, über das Jahr 2020 hinaus, von einer Abnahme der Bevölkerungszahlen betroffen sein, begleitet von einem intensiven Alterungsprozess der Bevölkerung. Daraus ergeben sich besondere technische und wirtschaftliche Herausforderungen an die Abwasserentsorgung in den betroffenen Gebieten.

Die vorgenommene Typisierung zeigt grundsätzliche Ausstattungs- und Entwicklungsmuster auf. Aufgrund der flächendeckend vorgenommenen aggregierten Typisierung können lokal z. T. stark differierenden Randbedingungen nicht abgebildet werden. Um hier den spezifischen Handlungsbedarf festlegen zu können, muss im Einzelfall stets eine Analyse der konkreten Randbedingungen und Entwicklungstendenzen erfolgen. Die vorgenommene Typisierung ermöglicht jedoch das Aufzeigen der für Deutschland

charakteristischen Parameterkonstellationen und teilweise auch -ausprägungen, die sich problematisch auf die Abwasserinfrastruktur auswirken bzw. zukünftig auswirken könnten. Sie bildet die Grundlage zur Beurteilung von Verbreitung und Intensität von Problemgebieten und ermöglicht somit auch eine erste Beurteilung des potenziellen zukünftigen Handlungsbedarfs im Bereich der Abwasserinfrastruktur.

### 4.3 Identifikation von vom Bevölkerungsrückgang besonders betroffener Gebiete

Die vorgenommene Typisierung erlaubt eine Identifikation von Gebieten, die aus Sicht der Abwasserinfrastruktur von potenziell problematischen Entwicklungen der untersuchten Parameter betroffen sind. Außerdem verdeutlicht die Abbildung 4-1 Ausmaß und räumliche Verteilung potenziell problematischer demografischer Veränderungen in Deutschland aus Sicht der Abwasserentsorgung.

Tabelle 4-2: Anzahl der von demografischen Veränderungen besonders betroffenen Gebiete

	Gesamt	Schrumpfend
<b>Kreisfreie Städte</b>	115	34
<b>Landkreise</b>	322	72
<b>Sonstige Gemeinden</b>	-	145
<b><i>Kleine Gemeinden</i></b> mit 500 bis 1.000 E; Abnahme der versorgten Einwohner um mindestens 10 % und Rückgang des Wasserverbrauchs um mindestens 20 % zwischen den Jahren 1995 und 2004	-	69
<b><i>Kleine Städte</i></b> mit 1.000 bis 10.000 E; Abnahme der versorgten Einwohner um mindestens 15 % und Rückgang des Wasserverbrauchs um mindestens 20 % zwischen den Jahren 1995 und 2004	-	42
<b><i>Mittelstädte</i></b> mit 10.000 bis 100.000 E; Abnahme der versorgten Einwohner um mindestens 10 % und Rückgang des Wasserverbrauchs um mindestens 20 % zwischen den Jahren 1995 und 2004	-	34

In Tabelle 4-2 sind von den Auswirkungen des demografischen Wandels potenziell besonders betroffene Gebiete aufgelistet. Hier wurden Gebiete erfasst, die bereits bis zum heutigen Zeitpunkt durch demografische Veränderungsprozesse betroffen sind, die negative Auswirkungen auf die Abwasserinfrastruktur vermuten lassen. Dazu zählen die als schrumpfend eingestuft Kreise und kreisfreien Städte. Darüber hinaus wurden die sonstigen Gemeinden (ergänzend zu den kreisfreien Städten) im Bundesgebiet bezüglich demografischer Veränderungen in der Vergangenheit untersucht. Entsprechend sind in Tabelle 4-2 auch Gemeinden aufgeführt, in denen zwischen den Jahren 1995 und 2004 der Wasserverbrauch unter anderem aufgrund einer Abnahme der versorgten Einwohner stark zurückgegangen ist.

Um zu beurteilen, inwieweit die vergangenen demografischen Veränderungen tatsächlich zu negativen Auswirkungen auf die Abwasserinfrastruktur in den betroffenen Gebieten geführt haben, wurde eine Auswahl von 19 Gemeinden bzw. der in diesen Gebieten mit der Aufgabe der Abwasserentsorgung Beauftragten im Rahmen telefonischer Interviews näher befragt. Die Ergebnisse der Befragungen werden im Kapitel 5 dargestellt.

## 5 Detailanalysen zu aktuellen Auswirkungen des demografischen Wandels auf Abwasserinfrastrukturen anhand von Interviews

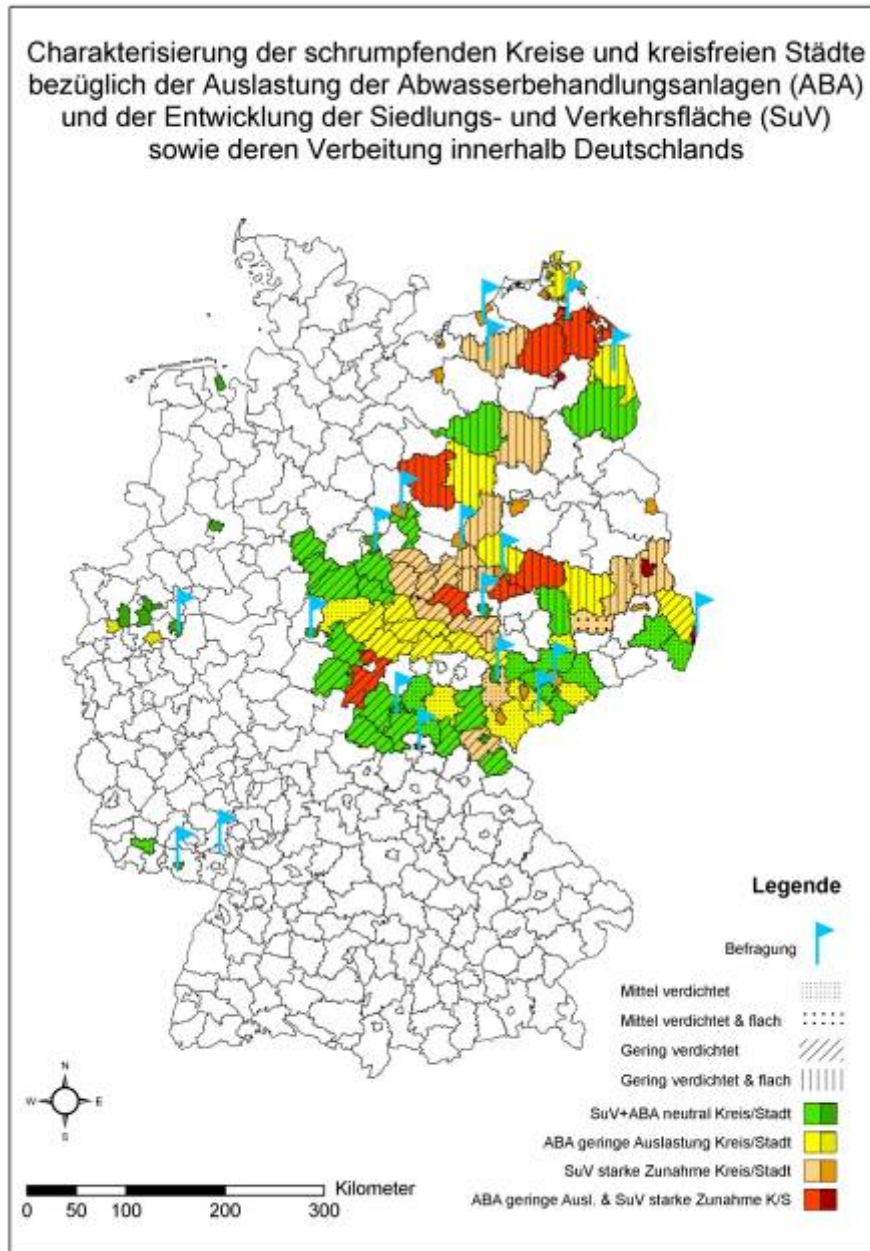
In Kapitel 4 wurden besonders betroffene Gebiete anhand von Datenanalysen identifiziert. Basierend auf den Ergebnissen der Identifikation betroffener Gebiete wurden Interviews mit einer Auswahl der Abwasserentsorger in theoretisch betroffenen Gebieten durchgeführt. Befragt wurden 19 Abwasserentsorger, davon 7 in den alten und 12 in den neuen Bundesländern. Tabelle 5-1 enthält eine zusammenfassende Übersicht über die eingebundenen Abwasserentsorger.

Tabelle 5-1: Übersicht über durchgeführte Interviews zur Betroffenheit von Abwasserentsorgern

Anzahl an Interviews		19		
Verteilung zwischen den alten/ neuen Bundesländern	alte Bundesländer 7		neue Bundesländer 12	
Verteilung innerhalb der alten/ neuen Bundesländern	Bayern	1	Mecklenburg-Vorpommern	4
	Hessen	1	Sachsen-Anhalt	3
	Niedersachsen	2	Sachsen	3
	Nordrhein-Westfalen	1	Thüringen	2
	Rheinland-Pfalz	2		
mehr als 100.000 EW	4		5	
20.000 bis unter 100.000 EW	3		5	
weniger als 20.000 EW	0		2	

Abbildung 5-1 zeigt die Lage der befragten Abwasserentsorger innerhalb des Bundesgebietes bzw. bezüglich der in Kapitel 4 identifizierten Problemtypen auf.

Abbildung 5-1: Lokalisierung der befragten Abwasserentsorger (eigene Darstellung<sup>46</sup>)



Die relative Änderung der Bevölkerungszahl zwischen den Jahren 1995 und 2004 betrug für die 7 betrachteten Kommunen in den alten Bundesländern zwischen -10,33% und 0,19%. Für die relative Änderung der Wasserabgabe an Letztverbraucher im glei-

<sup>46</sup> Unter Verwendung von Geodaten (VG 250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie.



chen Zeitraum lagen nur für 4 der 7 Kommunen Daten vor. Sie lag zwischen -15,17% und 3,46%. Eine überdurchschnittliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen im betrachteten Zeitraum war für 2 der 7 Kommunen festzustellen. Die relative Änderung der Bevölkerungszahl zwischen den Jahren 1995 und 2004 reichte bezogen auf 9 der 12 betrachteten Kommunen in den neuen Bundesländern von -17,7% bis -13% und die Wasserabgabe an Letztverbraucher im gleichen Zeitraum von -76,7% bis -8,7%. Daten zur Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen im betrachteten Zeitraum lagen für 8 der 12 betrachteten Kommunen vor, davon waren 6 durch eine überdurchschnittliche Zunahme gekennzeichnet.

Als Befragungstechnik dienten *mündliche Befragungen* (via Telefon). Die Interviews basierten auf einem einheitlichen Interviewleitfaden, der Fragen zu den folgenden Aspekten enthielt:

- Überprüfung der vorliegenden Daten zur Betroffenheit der Kommune/des Betreibers
  - Bevölkerungsentwicklung, Wasserabgabe, Kanalzustand und –alter, Gebührenentwicklung, Siedlungsentwicklung, Topografie
- Konkrete Auswirkungen beim Betreiber – Abgleich mit bislang erarbeiteten Auswirkungen
  - Technische und ökonomische Auswirkungen
- Durchgeführte oder geplante Maßnahmen – Abgleich mit bislang erarbeiteten Maßnahmen
  - Technische, ökonomische, organisatorische Maßnahmen
- Mögliche und/oder genutzte Fördermaßnahmen
- Vorschläge und Empfehlungen.

### **Übersicht über die beschriebenen Auswirkungen**

Die in Kapitel 3 und 4 beschriebenen demografischen Veränderungen sowie die Entwicklung hiermit interferierender Randbedingungen wirken sich betrieblich/technisch und ökonomisch auf den Betrieb und den Unterhalt der abwasserwirtschaftlichen Anlagen aus.

#### *Technische Auswirkungen*

Technische Auswirkungen und betriebliche Probleme werden von allen befragten Abwasserentsorgern in den neuen Bundesländern sowie von zwei der befragten Abwasserentsorger in den alten Bundesländern benannt. Tabelle 5-2 enthält eine Übersicht der genannten betrieblich/technischen Probleme.

Ablagerungen, Geruch und Korrosion als betrieblich/technische Auswirkungen im Bereich des Kanalnetzes treten nach den Angaben auch unabhängig vom demografischen Wandel auf, sie werden durch den demografischen Wandel nur geringfügig verstärkt. Flache topografische Rahmenbedingungen werden nicht direkt als problemverschärfend angesprochen. Jedoch werden Geruchsprobleme hauptsächlich für kritische Punkte wie Pumpwerke und Einleit- bzw. Übergabestellen von Abwasser anderer Herkunft/Beschaffenheit bzw. von Druckentwässerungssystemen angegeben. Auswirkungen auf die Kläranlagen, die sich beispielsweise durch ein ungünstiges C/N-Verhältnis ergeben können, treten nur bei einer geringeren Zahl der befragten Abwasserentsorger auf.

Tabelle 5-2: Ergebnisse der Interviews hinsichtlich betrieblich/technischer Auswirkungen

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
<b>Geruchsprobleme</b> Geruchsprobleme werden insbesondere für kritische Punkte wie Pumpwerke und Einleit- bzw. Übergabestellen von Abwasser anderer Herkunft oder Beschaffenheit angegeben.	1 von 7	10 von 12
<b>Ablagerungen</b> Mit Ausnahme von einem Abwasserentsorger wird angegeben, dass Ablagerungen nur geringfügig durch demografische Veränderungen verstärkt werden.	0 von 7	6 von 12
<b>Korrosion</b> Korrosionsprobleme werden insbesondere für Gebiete mit Druckentwässerung angegeben.	0 von 7	6 von 12
<b>Ungünstiges C/N-Verhältnis durch Vorabbau im Kanal</b> Als Auswirkung auf die Kläranlage.	0 von 7	4 von 12
<b>Unterlastprobleme auf der Kläranlage</b> Nur zum Teil auf demografische Veränderungen zurückzuführen.	1 von 7	0 von 12

Die befragten Abwasserentsorger in den alten Bundesländern geben überwiegend an, bislang keine oder nur geringe demografiebedingten technischen Probleme in Kanalnetz und Kläranlage zu haben.

### *Ökonomische Auswirkungen*

Von den Befragten in den neuen Bundesländern werden die durch die betrieblich-technischen Veränderungen bedingten, ökonomischen Auswirkungen derzeit als nicht gravierend bezeichnet. Teilweise werden erhöhte Betriebsaufwendungen angegeben. Angesprochen werden angespannte Kostensituationen aufgrund der sinkenden Einnahmen. Zwei befragte Abwasserentsorger in den neuen Bundesländern gehen von steigenden Gebühren in der Zukunft aufgrund des Bevölkerungsrückganges aus. Mehrfach wurde auf größere Probleme in kleineren Kommunen des Verbandsgebietes hingewiesen. Die befragten Abwasserentsorger in den alten Bundesländern erwarten keine Gebührenerhöhungen durch demografische Veränderungsprozesse in den kommenden Jahren. Sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern wird von einem zunehmenden Kostendruck bei der Aufgabenerfüllung gesprochen, dem durch Realisierung von Optimierungsmaßnahmen begegnet wird.

### **Umgang mit Auswirkungen des demografischen Wandels**

Um den genannten Auswirkungen zu begegnen, geben die befragten Abwasserentsorger an, die in Tabelle 5-3 aufgelisteten Maßnahmen durchzuführen oder zu planen.

Geruchsprobleme, Ablagerungen und Korrosion stellen in den neuen Bundesländern häufig auftretende Probleme dar – die in der überwiegenden Zahl jedoch als gering oder nur punktuell bedeutsam eingestuft werden. Die hierdurch entstehenden zusätzlichen Betriebskosten werden als geringfügig angegeben. Querschnittsreduzierungen sind im Mischsystem in der Regel nicht umsetzbar, da die Notwendigkeit der Ableitung des Regenwassers bestehen bleibt. Trennsysteme in kleineren Städten oder Stadtrandgebieten weisen vielfach bereits nur den Mindestdurchmesser auf, so dass hier weitere Querschnittsreduzierungen nicht möglich sind. Rückbau- und Stilllegung von stadttechnischer Infrastruktur spielte in den Kommunen der Interviewpartner eine untergeordnete Rolle. Vielfach findet im Rahmen des Stadtumbaus eine Ausdünnung der Gebiete statt, die Infrastruktur bleibt bestehen. Hydraulische Anpassungsmaßnahmen erfolgen nur im Rahmen ohnehin stattfindender Sanierungsmaßnahmen. Fördermaßnahmen des Stadtumbaus Ost werden nur in geringem Umfang genutzt.

Neben dem demografischen Wandel wird insbesondere die problemverschärfende Bedeutung des geringen spezifischen Trinkwasserverbrauchs angegeben. Dem Fremdwasser im Kanalsystem wird eine ausgleichende Wirkung zugesprochen. Die Reduzierung des Fremdwasseranteils durch Kanalsanierungsmaßnahmen kann problemverschärfend wirken bzw. bedeutsamer sein als Rückgänge des Abwasseranfalls durch Bevölkerungs- und/oder Verbrauchsrückgang. In einem Fall wurde als positive

Auswirkung klimatischer Veränderungen eine Verringerung des Spülaufwandes trotz sinkender Schmutzwassermengen genannt.

Auswirkungen des Klimawandels werden von der Mehrzahl der Befragten sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländern als wichtiges Zukunftsthema angesprochen. Die derzeitige Betroffenheit beispielsweise von Extremwetterereignissen wie Starkniederschlägen wird unterschiedlich bewertet. Zwei Abwasserentsorger (ABL) geben an, dass die Auswirkungen deutlich spürbar sind. Nach Einschätzung der Interviewpartner (NBL) (Messdaten/statistische Daten i. d. R. hierzu nicht verfügbar) wird bis auf wenige Ausnahmen tendenziell von einer zumindest lokal ausgeprägten Zunahme von Starkniederschlägen gesprochen.

Bauliche Anpassungsmaßnahmen in Reaktion auf zunehmende Extremereignisse sind in der Regel derzeit nicht geplant. Einzelne Abwasserentsorger geben diesbezüglich an, innerstädtisch die Bemessung nach einer erhöhten Regenspende vorzunehmen, Neuberechnungen und die Errichtung von Stauraumkanälen zu planen, Maßnahmen im Zusammenhang mit Hochwasserschutzkonzeptionen durchzuführen oder bei Neubauten im Trennsystem Regenwasserkanäle eher größer und Schmutzwasserkanäle eher kleiner zu dimensionieren.

Die Bedeutung von Maßnahmen im Bereich der Flächennutzung und eine diesbezügliche Zusammenarbeit mit der Stadtplanung wurden mehrfach angesprochen und als verbesserbar eingestuft.

Zukünftige Investitionsschwerpunkte werden vielfach (im Fall großer und mittelgroßer Städte) in der Sanierung der innerstädtischen Kanalnetze gesehen. Im Rahmen der Umsetzung von Abwasserbeseitigungskonzepten war und ist der Anschluss von Nachbargebieten an zentrale Kläranlagen relevant – dies jedoch nicht aus demografischen Gründen.

Als Anregungen und Empfehlungen (an Politik, Aufgabenträger und andere Entsorger) werden darüber hinaus folgende Aspekte genannt:

- Schaffung verbesserter Möglichkeiten der Verrechnung von Investitionen/Erneuerungen mit der Abwasserabgabe, um Mittel freizusetzen für die Erneuerung des Kanalnetz-Altbestandes und die Anpassung an aktuelle Entwicklungen wie Querschnittsanpassungen,
- Verbesserung und Intensivierung der Abstimmungsprozesse mit der Stadtplanung,
- Aufheben rechtlicher Hemmnisse bei der Übernahme von Abwasserbeseitigungspflichten anderer Kommunen,
- Berücksichtigung der kostensteigernden Wirkung durch Zunahme der Anforderungen an Betrieb und Unterhalt des Anlagenbestandes sowie

- Änderungen der Bezugsgröße der Abgrenzung von Gebietszuständigkeiten (Berücksichtigung geografischer/topografischer Kriterien).

Tabelle 5-3: Geplante oder durchgeführte Maßnahmen der befragten Abwasserentsorger

Auswirkung	Maßnahmen
Ablagerungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• punktuell oder allgemein häufigeres Spülen</li> <li>• Spülen von Endsträngen</li> </ul> <p>Die Beseitigung von Ablagerungen durch Spülungen ist gut zu beherrschen und kann relativ problemlos in die ohnehin stattfindenden Kanalspülungen integriert werden.</p>
Geruch- und Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zudosierung von Chemikalien gegen Geruch und Korrosion</li> <li>• Einrichtung von Ent- bzw. Belüftungsanlagen oder Biofiltern sowie von Verschluss- und Abdecksystemen</li> <li>• Beschichtung von Betonbauwerken bzw. Vermeidung von Betonschächten</li> </ul>
Ungünstiges C/N-Verhältnis durch Vorabbau im Kanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zudosierung von C-Quellen</li> </ul>
Störung der Stromversorgung des Anlagenbestandes durch Gewitter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versicherungs- und/oder Überspannungsschutz</li> </ul>
Unspezifisch/ Übergreifend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenschluss von benachbarten Anlagen</li> <li>• Einsparungen, u. a. beim Personal</li> <li>• Umorganisation der Aufgabenwahrnehmung, z. B. Übertragung der Betriebsführung an andere Aufgabenträger oder private Betreiber</li> <li>• Steigerung der Energieeffizienz und des Eigenanteils der Stromversorgung auf den Kläranlagen</li> <li>• Spülen als Dienstleistungen</li> </ul>



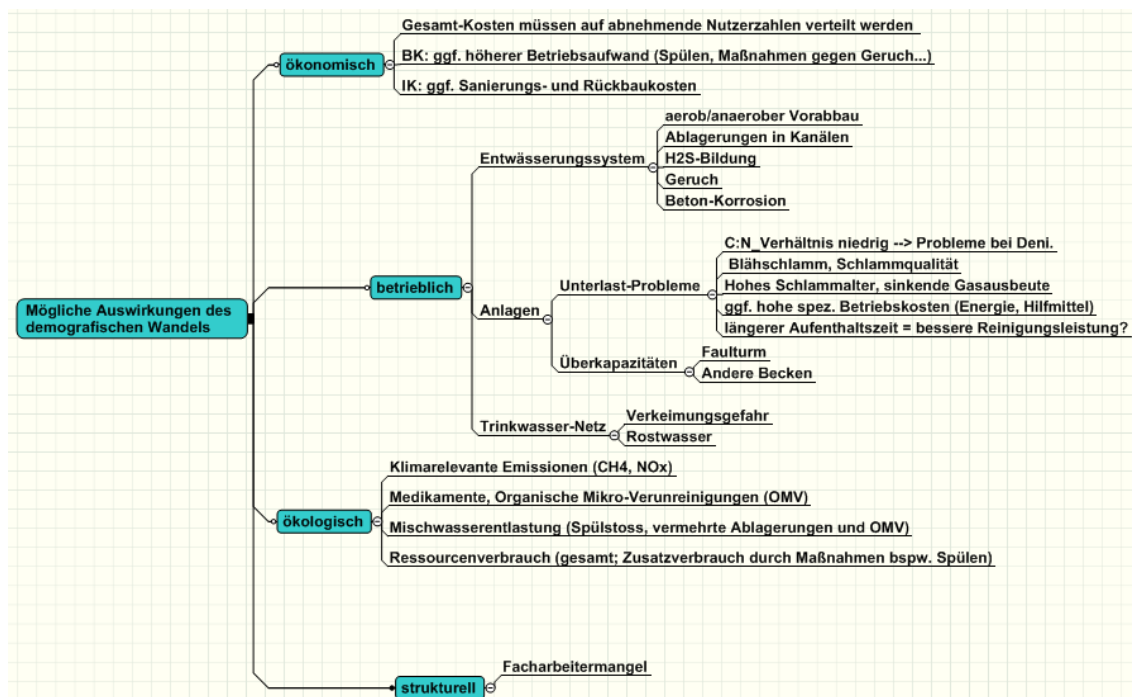
## 6 Auswirkungen der demografischen Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur

Zur Beschreibung der betrieblichen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der demografischen Veränderungen auf die Abwasserinfrastruktur wurden vorliegende Kenntnisse und Erfahrungen einschließlich der verfügbaren Literatur ausgewertet. Im Einzelnen wurden folgende Quellen herangezogen:

- Literaturlauswertungen,
- Erfahrungen Praxispartner,
- (Zwischen-)Ergebnisse BMBF-Forschungsvorhaben DEMOWAS,
- ergänzende Experteninterviews sowie
- Ergebnisse aus Interviews mit aktuell bereits stark betroffenen Kommunen.

Einen Überblick über die im Folgenden benannten Auswirkungen gibt Abbildung 6-1.

Abbildung 6-1: Überblick über die betrachteten Auswirkungen



Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass es Auswirkungen auf unterschiedlichen Ebenen geben kann. Ob und in welchem Ausmaß der Betrieb von wasserwirtschaftlichen Unternehmen überhaupt betroffen ist, hängt stark von den spezifischen Randbedingungen ab. Ökonomische Auswirkungen werden von allen Quellen angeführt. Ein Rückgang der verbrauchten Wassermengen wirkt sich aufgrund der hohen Fixkostenanteile direkt auf die spezifischen Kosten aus. Dabei ist es unerheblich, welche Ur-

che der Wasserverbrauchsrückgang tatsächlich hat. An dieser Stelle kumulieren verschiedene Faktoren, die zu einem Verbrauchsrückgang führen. Einer davon ist der demografische Wandel, andere Faktoren sind ein stärker Wasser sparendes Verhalten in den Haushalten, der zunehmende Einsatz von Wasserspartetechnologien sowie der Rückgang des Wasserbedarfs in Industrie und Gewerbe bspw. aufgrund der Schließung von Wasserkreisläufen oder aufgrund des strukturellen Wandels (vgl. Hillenbrand, Schleich, 2009; Hillenbrand, Böhm, 2008).

## 6.1 Betriebliche Auswirkungen

### Betriebliche Auswirkungen im Kanalnetz

Im Kanalnetz hat ein mit zurückgehenden Einwohnerzahlen verbundener Rückgang des Wasserverbrauchs einen zurückgehenden Trockenwetterabfluss zur Folge. Daraus können unterschiedliche betriebliche Veränderungen und Probleme entstehen (vgl. auch: BMVBS/BBR, 2006; Winkler, 2006):

- Verringerung der Gesamtabwassermengen aufgrund zurückgehender Einwohnerzahlen.
- Parallel wird eine Tendenz zur Vergleichmäßigung der Tagesganglinie aufgrund weniger gleichförmiger Tagesrhythmen erwartet.
- Eine damit verbundene, sinkende Schleppspannung führt ggf.
  - zu Ablagerungen und Verstopfungen im Kanalnetz,
  - zu einem unerwünschten Vorabbau organischer Substanz ("angefaultes" Abwasser) und
  - zur Bildung korrosiver Gase ( $H_2S$ ), die neben der Gefahr der Betonkorrosion auch Geruchsprobleme verursachen können.

Die Auswirkungen des demografischen Wandels lassen sich in der Regel nicht eindeutig identifizieren, da es zu Überlagerungen kommt mit Effekten aus dem Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs bzw. dem Rückgang des gewerblichen Wasserverbrauchs (s. o.). Darüber hinaus wird zukünftig der Klimawandel eine stärkere Rolle spielen. Sowohl mögliche Veränderungen bei Zahl und Ausmaß von Starkregenereignissen als auch die für Sommerhalbjahre teilweise prognostizierten längeren Trockenperioden werden Einfluss auf den Betrieb von Kanalnetzen haben.

Die Bildung von  $H_2S$  findet in Kanalnetzen dort statt, wo längere Zeit anaerobe Zustände herrschen. Das ist in der Praxis häufig an Übergabestellen von Druckrohrleitungen in Freigefällekanäle der Fall. Diese Problematik ist zunächst unabhängig vom demografischen Wandel, kann sich aber mit geringer werdendem Trockenwetterabfluss ver-



schärfen und kommt u. a. dann verstärkt zum Tragen, wenn ein Lösungsansatz für die resultierenden Probleme in der räumlichen Zusammenlegung von Netzen besteht und das Abwasser über längere Distanzen gepumpt werden muss.

Die wichtigste Auswirkung des rückgängigen Wasserverbrauchs im Kanal, nämlich der zurückgehende Trockenwetterabfluss, ist in seiner Problematik stark abhängig von der Topografie und der Bauweise des Kanalnetzes. In der Literatur wird dieser Punkt häufig beschrieben, in der Praxis aber eher selten als identifizierbares Problem genannt. Stärker wahrgenommen werden hier die aus dem Klimawandel resultierenden Probleme, die vor allem kurzzeitige Starkregenereignisse für das Kanalnetz mit sich bringen.

*Bedeutung:*

*Die Auswirkungen sind regional stark unterschiedlich ausgeprägt. Sie sind abhängig von der Topografie und Netzcharakteristik. Insgesamt ist der Einfluss des demografischen Wandels eher gering.*

### **Betriebliche Auswirkungen auf der Kläranlage**

Bei der Abwasserreinigung auf der Kläranlage können sich unterschiedliche betriebliche Konsequenzen ergeben.

- Verschlechterung der Abwasserbeschaffenheit als Konsequenz aus dem Kohlenstoffvorabbau im Kanalnetz und in überdimensionierten Anlagenteilen der mechanischen Reinigungsstufe. Dies kann bspw. zu einem für die Denitrifikation ungünstigen C/N-Verhältnis führen. Ungünstige Nährstoffverhältnisse können außerdem die Gefahr von Blähschlambildung erhöhen.

*Bedeutung:*

*Die Auswirkungen sind regional stark unterschiedlich ausgeprägt und analog zu den Auswirkungen auf den Netzbetrieb u. a. abhängig von der Topografie des Gebietes. Der Einfluss des demografischen Wandels ist insgesamt eher gering.*

- Hydraulische und stoffliche Unterauslastung von Anlagenkomponenten (z. B. Belebungsbecken, Faultürme, etc.).
- Längere Aufenthaltszeiten und eine damit ggf. verbundene Erhöhung des Schlammalters kann auf der anderen Seite auch zu einer Erhöhung der Reinigungsleistung führen (Weyand, 2003).

*Bedeutung:*

*Die Bedeutung für die Kläranlage ist je nach Anlagenkonfiguration mehr oder weniger hoch und hängt nicht zuletzt von den Anpassungsmöglichkeiten ab wie z. B. der möglichen Außerbetriebnahme von Anlagenteilen, einer lastabhängigen Steuerung oder einer Änderung von Verfahrensschritten.*

**Betriebliche Auswirkungen Wasserversorgung**

Für die Wasserversorgung kann der, durch die Kumulation der Faktoren

- Bevölkerungsrückgang,
- wassersparendes Verbraucherverhalten,
- Weiterentwicklung und verstärkter Einsatz wassersparender Technologien sowie
- zurückgehender Wasserbedarf im gewerblichen und industriellen Bereich

entstehende, starke Rückgang des Wasserverbrauchs zu betrieblichen Problemen führen. Bspw. hat sich in Magdeburg der Wasserverbrauch seit 1990 von 32 Mio. m<sup>3</sup> auf noch 11 Mio. m<sup>3</sup> und damit auf ein Drittel reduziert (Kempmann, 2008). Die mittleren Aufenthaltszeiten des Trinkwassers haben sich in Teilen des Leitungsnetzes demzufolge von 5 auf 22 Tage erhöht. Als Folge der langen Verweilzeiten werden die folgenden betrieblichen Probleme für die Trinkwasserversorgung beschrieben:

- erhöhte Ablagerungsbildung verbunden mit einem Zuwachsen der Leitungen,
- problematische Erwärmung des Trinkwassers (insbesondere in Sommermonaten) verbunden mit einem erhöhten Sauerstoffverbrauch,
- die sich daraus ergebende Gefahr der Bakterienentwicklung und Verkeimung des Trinkwassers und
- die verstärkte Bildung von Rostwasser.

Das Technologiezentrum Wasser (TZW) Dresden hat detailliertere Untersuchungen zu den potenziellen Risiken verminderter Fließgeschwindigkeiten bzw. verlängerter Fließzeiten durchgeführt. Danach ist keine direkte Abhängigkeit zwischen Fließgeschwindigkeiten und Keimbildung nachzuweisen. Kurzzeitige Stagnationen führten nicht zur Aufkeimung, kritisch sind dagegen längere Stagnationszeiten. Wichtig für die Keim- und Rostfreiheit sind stabile Biofilmverhältnisse in den Leitungen (Wricke/Korth 2007).

Das Risiko der Rostwasserbildung steigt in ungeschützten Guss- und Stahlleitungen, da bei längeren Fließzeiten der Eisengehalt im Wasser und damit verbunden die Sedimentbildung zunimmt.

*Bedeutung:*

*Bei der Beeinflussung der Trinkwasserqualität durch einen Rückgang der Wasserabgabe handelt es sich um komplexe Wirkungszusammenhänge. Sowohl lange Stagnationszeiten als auch auf der anderen Seite zu intensives Spülen können sich nachteilig auswirken. Demografischer Wandel hat ggf. eine hohe Bedeutung und ist beim Betrieb gezielt zu berücksichtigen (optimierte Spülpläne, Vermeidung von Stagnationszonen).*

## 6.2 Ökonomische Auswirkungen

Die ökonomischen Auswirkungen sind in erster Linie der von hohen Fixkosten geprägten Kostenstruktur bei der Wasserver- und Abwasserentsorgung geschuldet. Die Veränderungen, die mit dem demografischen Wandel einhergehen, können sich sowohl auf die Betriebskosten als auch auf die Kapitalkosten auswirken. Auf Seiten des Betriebes sind Zusatzkosten aufgrund zusätzlicher betrieblicher Maßnahmen möglich. Auf Seiten der Kapitalkosten kann es zur Notwendigkeit konkreter Investitionen kommen. Dazu gehören z. B.

- Kapazitätsanpassungen der Kanalisation,
- Kapazitätsanpassungen von Kläranlagen oder auch
- Stilllegung bzw. Rückbau von Anlagen (u. a. im Rahmen des Stadtumbaus).

Zusätzlich kann es auf Seiten der Kapitalkosten zu buchhalterisch bedingten Zusatzkosten kommen, indem übliche technische und wirtschaftliche Nutzungsdauern von Einrichtungen und Anlagen aufgrund demografischer Veränderungen unterschritten werden.

Unabhängig von ggf. zusätzlich anfallenden Kapital- und Betriebskosten bedeutet ein Rückgang der Einwohnerzahlen immer ein Umlegen des vergleichsweise hohen Anteils an Fixkosten auf eine geringere Nutzerzahl, so dass es zu einem Anstieg der auf die Nutzer bezogenen, spezifischen Kosten kommt (vgl. Hoffmeister et al., 2008; Einig et al., 2006). Die Effekte des demografischen Wandels sind damit aus Sicht der Verbraucher andere, als die Effekte aus dem spezifischen Verbrauchsrückgang. Während ein demografisch bedingter Rückgang der Bevölkerungszahl höhere Gesamtkosten pro Einwohner bedeutet, führt ein Rückgang des spezifischen Trinkwasserverbrauchs nicht zu einem Anstieg der absoluten Gesamtkosten für den Verbraucher, wenngleich die spezifischen Kosten pro Kubikmeter ansteigen. Diese Effekte wirken sich selbst verstärkend: ein stärkerer Rückgang der Bevölkerungszahlen in strukturschwachen Gebieten führt gerade dort zu immer höheren Kosten pro Einwohner („Verliererkommunen“).

*Bedeutung:*

*Die Bedeutung ist für alle beteiligten Akteure sehr hoch. Aus den zu erwartenden Entwicklungen wird ein hoher Handlungsdruck entstehen, der auch als Treiber für Effizienzverbesserungen und Innovationen wirken wird.*

### **6.3 Ökologische Auswirkungen**

Die durch eine verringerte Schleppspannung bedingte, mögliche Zunahme von Ablagerungen im Kanal kann zu erhöhten Frachten bei Mischwasserentlastungen führen. Dabei sind sich überlagernde Effekte durch Auswirkungen des Klimawandels sowie durch die weitere Zunahme der spezifischen Siedlungs- und Verkehrsflächen und die damit direkt korrelierende Zunahme an versiegelter Fläche zu berücksichtigen. Eine vorsorgende Gegenmaßnahme in diesem Zusammenhang ist ein verbessertes Regenwassermanagement.

Eine weitere erwartete umweltrelevante Auswirkung ist dem zunehmenden Medikamentenkonsum geschuldet. Dabei spielt die alternde Gesellschaft ebenso eine Rolle wie die Zunahme rezeptfreier Pharmaka auf dem Markt. In Abbildung 6-2 ist der Arzneimittelverbrauch in Deutschland nach Altersgruppen dargestellt. Die Bezeichnung DDD (defined daily dose) hat sich in der Arzneimittelanwendungsforschung als unabhängige Vergleichsgröße etabliert. Als DDD wird die angenommene mittlere tägliche Einnahmedosis (= „Erhaltungsdosis“) eines Arzneimittels für die Hauptindikation bei Erwachsenen bezeichnet. Eigene grobe Abschätzungen unter Zugrundelegung der 11. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung ergeben eine Erhöhung der Verbrauchsmengen um ca. 20 bis 25 % (vgl. Abbildung 6-3).

Grundsätzlich bedeutet die demografische Entwicklung analog zum Rückgang der Bevölkerungszahlen einen Rückgang der absoluten stofflichen Belastung eines Gewässers bspw. hinsichtlich der Einträge von Nährstoffen. Dieser Zusammenhang gilt allerdings nicht für die anthropogen bedingte Umweltbelastung mit Medikamentenrückständen, da wie eben beschrieben durch die zunehmende Alterung der Bevölkerung der Medikamentenverbrauch pro Einwohner deutlich zunimmt.

Abbildung 6-2: Arzneimittelverbrauch in DDD (definierte Tagesdosen) pro Jahr nach Altersgruppen - Vergleich 2005/2006 (Quelle: Schwabe, Paffrath, 2006 und 2007)

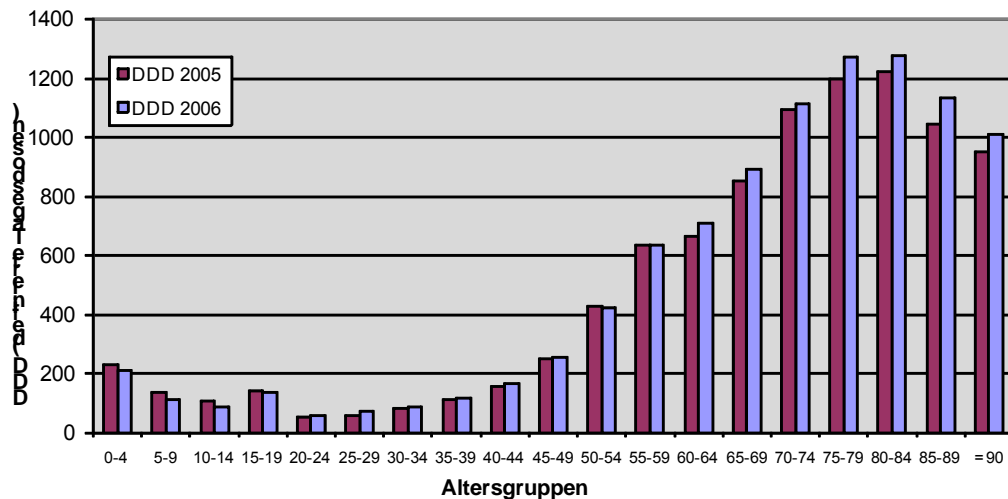
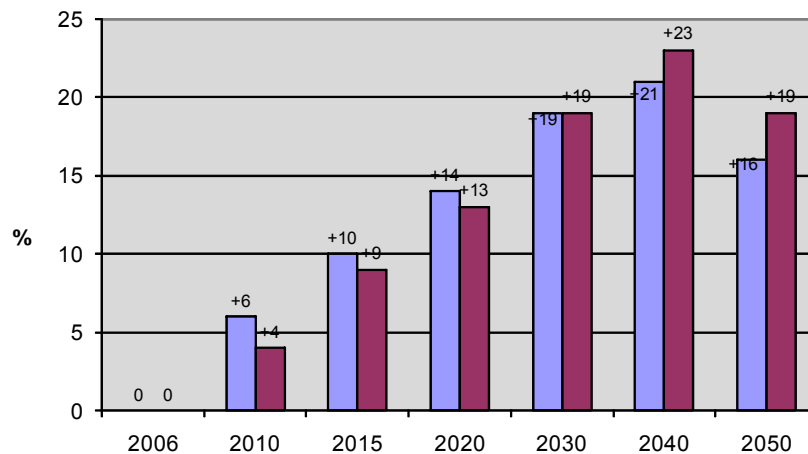


Abbildung 6-3: Prozentuale Zunahme des Verbrauchs an definierten Tagesdosen gegenüber 2006 - Vergleich Variante 1-W1 - Variante 1-W2<sup>47</sup>



47 Ergebnisse der 11. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Basis: 31.12.2005). Annahmen der Varianten der Bevölkerungsvorausberechnung:  
 - mittlere Bevölkerung: Geburtenhäufigkeit durchschnittlich 1,4 Kindern pro Frau, Lebenserwartung steigt bis 2050 für Mädchen auf 88,0 und für Jungen auf 83,5 Jahre; die 'fernere' Lebenserwartung beträgt 2050 für 60-jährige Frauen 29,1 weitere Lebensjahre und für 60-jährige Männer 25,3 weitere Lebensjahre  
 Untergrenze (Variante 1-W1): Außenwanderungssaldo 100 000 jährlich.  
 Obergrenze (Variante 1-W2): Außenwanderungssaldo 200.000 jährlich.  
 (Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008).

Hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen des Wasserverbrauchs sind folgende Punkte zu beachten:

- zurückgehender Trinkwasserbedarf bei abnehmenden Einwohnerzahlen (Überlagerung mit Rückgang des spezifischen Wasserbedarfs);
- ggf. erhöhter Wasserbedarf aufgrund verstärkter Spülungen (aber: im Abwasserbereich Verwendung von gereinigtem Abwasser, in der Trinkwasserversorgung i. A. relativ geringe Mengen im Vergleich zum Wasserverbrauch);

*Bedeutung:*

*Die ökologische Bedeutung ist stark regional abhängig. Dabei spielen zum Beispiel die Leistungsfähigkeit des aufnehmenden Gewässers (Anteil Abwasser) ebenso eine Rolle, wie die Größenordnung des Bevölkerungsrückgangs, durch den grundsätzlich eine Verringerung der Gewässerbelastung erwartet werden kann. Hinsichtlich der Bedeutung der zu erwartenden Zunahme an Gewässerbelastungen mit Medikamenten bzw. Medikamentenrückständen besteht noch Forschungsbedarf. Regelungen zur Begrenzung des Eintrags durch kommunales Abwasser bestehen derzeit noch nicht.*

#### **6.4 Strukturelle Auswirkungen:**

Als strukturelle Auswirkungen werden in Gesprächen vereinzelt Facharbeitermangel und der Rückgang der Studierendenzahlen genannt. Diese Auswirkung des demografischen Wandels trifft die Wasserwirtschaft ebenso wie andere Industrie- und Gewerbezweige. Es handelt sich mindestens beim Facharbeitermangel um einen sich selbst verstärkenden Effekt der Binnenmigration. Mit Bezug auf wasserwirtschaftliche Unternehmen wird dieser Effekt von Londong (2008) beschrieben.

## 7 Maßnahmenoptionen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung (Umgestaltung) bestehender Anlagen

Als Reaktion auf die Auswirkungen des demografischen Wandels kommen unterschiedlichste Maßnahmen in Betracht. Sinn und Nutzen der jeweiligen Maßnahme sind stark von den spezifischen Randbedingungen und Möglichkeiten des Anlagenbestands abhängig. In vielen Fällen ergeben sich erst aus dem spezifischen Wissen über die eigene Anlage in Kombination mit Anregungen und Erfahrungen von außen geeignete Maßnahmen, mit denen den Randbedingungen vor Ort Rechnung getragen werden kann. In diesem Sinn versteht sich die Beschreibung der Maßnahmenoptionen als ein Portfolio von Ansätzen, die als Gegenmaßnahmen in Frage kommen. Nicht alle aufgeführten Maßnahmen bieten in jedem Fall die richtigen Handlungsoptionen und nicht alle aufgeführten Maßnahmen sind unter den Gesichtspunkten von Zukunftsfähigkeit und Nachhaltigkeit gleichermaßen empfehlenswert. Die Struktur der Maßnahmenbeschreibung ist weitgehend an die in Tabelle 7-1 dargestellte Gliederung angelehnt.

Tabelle 7-1: Allgemeine Gliederung der Maßnahmenblätter

1. Beschreibung der Maßnahme:  
*Allgemeine Beschreibung der Maßnahme/Technologie und Bezug zu demografischem Wandel.*
2. Erfahrungen und Probleme:  
*Entwicklungsstand, Anwendung, Technische Aspekte, mögliche technische Probleme, Praxisbeispiele.*
3. Randbedingungen und Hemmnisse:  
*Nicht-technische Aspekte: ökonomisch, ökologisch, rechtlich, sozial*
4. Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels:  
*Betrachtung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels. Mögliche Wechselwirkungen. Potenzialabschätzung (ökonomisch, ökologisch, rechtlich, sozial).*

Die in den folgenden Kapiteln behandelten Maßnahmen werden analog zu den in Abbildung 6-1 dargestellten Auswirkungen unterschieden in

- Betriebliche Maßnahmen – Kanal
- Nutzung freier Kapazitäten – Kanal
- Innovative Maßnahmen – Kanal
- Betriebliche Maßnahmen – Kläranlage
- Energiemanagement
- Nutzung freier Kapazitäten – Kläranlage
- Innovative Maßnahmen – Kläranlage
- Organisatorische Maßnahmen / Management.

Tabelle 7-2 gibt einen Überblick über die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Maßnahmen. Zielrichtung der Maßnahmen ist das Angehen der direkt durch den demografischen Wandel verursachten Probleme in der Abwasserinfrastruktur (z. B. Ablagerungen im Kanalnetz, unerwünschter Vorabbau organischer Substanz und damit verbundene, ungünstigere Abwasserzusammensetzung für die biologische Behandlung). Diese Auswirkungen des demografischen Wandels sind sehr stark von den lokalen/regionalen Bedingungen abhängig (vgl. Kapitel 6). Ihre Bedeutung wird deshalb nur teilweise als hoch eingestuft. Als wesentlich bedeutsamer sind die zu erwartenden, ökonomischen Auswirkungen einzuschätzen. Ein starres Festhalten an bestehenden Infrastrukturen verbunden mit dem hohen Fixkostenanteil führt bei zurückgehenden Einwohnerzahlen zu einer deutlich höheren finanziellen Belastung der verbleibenden Nutzer. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden deshalb intensiv innovative Möglichkeiten identifiziert und bearbeitet, die es erlauben, durch zusätzliche Nutzungen teilweise in Verbindung mit gezielten Anpassungen der Infrastruktur eine bessere Auslastung zu erreichen, um damit die Effizienz zu erhöhen, Anlagen flexibler betreiben zu können oder ggf. auch ökologische Vorteile zu erzielen (z. B. verbessertes Regenwassermanagement). Diese ggf. nur indirekt vorhandenen Bezüge zu den Auswirkungen des demografischen Wandels werden bei der Beschreibung der einzelnen Maßnahmen gezielt dargestellt.



Tabelle 7-2: Übersicht über die beschriebenen Maßnahmen

Maßnahmen- gruppen	Maßnahmen- bündel	Einzelmaßnahmen	Kapitel
betriebliche Maßnahmen Kanal	Ablagerungen/ Korrosion (H <sub>2</sub> S)	Spülen	7.1.1.1
		sonstige Reinigungsmaßnahmen (Entfernen der Selhaut)	7.1.1.2
		Anpassen der Hydraulik	7.1.1.3
	Korrosion (H <sub>2</sub> S)	Übersicht	7.1.2.1
		Auskleiden von Schächten	7.1.2.2
	Geruch (H <sub>2</sub> S)	Chemische Zusätze	7.1.3.1
		Konstruktive Sauerstoffanreicherung und Belüftung	7.1.3.2
		Abluftfilter	7.1.3.3
		Biologische Kurzzeitbehandlung	7.1.3.4
		Planerische Maßnahmen	7.1.3.5
Nutzung freier Kapazitäten im Kanalnetz	Kanalnetzsteuerung		7.2.1
	Regenwasser- management	Abkopplung versiegelter Flächen	7.2.2.1
		Regenwassernutzung	7.2.2.2
Nutzung freier An- lagenteile	Speicher für Kanalspülwasser	7.2.3.1	
	Kopplung mit anderen Infrastrukturnetzen	7.2.3.3	
Innovative Maßnahmen Kanal		Vakuumsystem als Alternative zur Kanalsanierung	7.3.1
		Abwasserwärmenutzung	7.3.2
betriebliche Maßnahmen Kläranlage	C/N-Verhältnis	externe C-Quelle	7.4.1.1
		Verkleinerung der Vorklärung	7.4.1.2
		Reduzierung der Belüftung im Sandfang	7.4.1.3
		Lastabhängige Beschickung / MSR	7.4.1.4
Energie- management	Energieeffizienz- steigerung	Übersicht	7.5.1.1
		Praxisbeispiele	7.5.1.2
	Energieproduktions- steigerung	Übersicht	7.5.2.1
		Praxisbeispiele	7.5.2.2
		Klärschlammdeintegration	7.5.2.3
		Co-Vergärung	7.5.2.4
Nutzung freier Kapazitäten auf Kläranlagen	Übersicht	7.6.1	
Innovative Maßnahmen Kläranlagen		Nährstoffrückgewinnung	7.7.1
		MAP-Fällung	7.7.1.2
		Deammonifikation des Zentratwassers	7.7.2
		Verfahrensänderung aerob --> anaerob	7.7.3
		2-stufige anerobe Verfahren	7.7.4
		Eigenanbau von Co-Substraten	7.7.5
Organisation/Management		Zusammenschluss benachbarter Anlagen	7.8.1
		Mitbehandlung Industrieabwasser	7.8.2
		Strategische Sanierungs- und Investitionsplanung	7.8.3
		Strategien zu Rückbau und Stilllegung	7.8.4
		Neue Geschäftsfelder	7.8.5
		Tarifgestaltung	7.8.6
Neuartige Entsorgungskonzepte und Organisationsmodelle		8 und 9	

## **7.1 Betriebliche Maßnahmen Kanal**

### **7.1.1 Maßnahmen gegen Ablagerungen**

#### **7.1.1.1 Spülen**

Zur Entfernung und Vermeidung von Ablagerungen werden Abwasserkanäle durch Spülverfahren gereinigt. Am häufigsten zum Einsatz kommen dabei die Hochdruck- (HD) und die Schwallspülung. Die beiden Verfahren unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit als auch ihrer verfahrenstechnischen Merkmale.

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Ein konventionelles Reinigungsverfahren zur Beseitigung von Ablagerungen in Kanälen ist die Spülung mittels Hochdruckdüsen. Zum Einsatz kommen hierbei Spülwagen, die in vorgegebenen Zeitintervallen die jeweiligen Haltungen durch Hochdruckspülung reinigen. Zur besseren Beurteilung des Kanalzustandes und des Ausmaßes der Ablagerungen erfolgt zunehmend der Einsatz von Reinigungsdüsen mit integrierten Kameras. Durch eine gezielte Inspektion kann der Verschmutzungsgrad der jeweiligen Kanalabschnitte dokumentiert und die zeitlichen Intervalle der Spülpläne sowie die Intensität der Reinigung an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden (Coburg, 2006).

Eine weitere Möglichkeit ist die Reinigung durch Schwallspülung. Besonders von Bedeutung ist sie in Kanälen, in denen eine Reinigung mit Hochdruck, aufgrund der möglichen Schädigung der Bausubstanz, nicht in Frage kommt. Ein Verfahren, das in der Praxis Anwendung findet, ist die Schwallspülung mit selbsttätigen Spülklappen. Die elektronisch gesteuerte Spülklappe staut hierbei das Wasser im Kanal bis zu einer bestimmten Höhe auf und öffnet sich anschließend selbsttätig. Der abfließende Spülschwall führt zu einer Lockerung der Ablagerungen in den stromabwärts liegenden Kanalabschnitten. Der Vorteil gegenüber der HD-Reinigung ist die Reinigungswirkung über größere Distanzen (Lorenzen et al. 1997). Von einer generellen Vorteilhaftigkeit gegenüber der HD-Reinigung kann jedoch nicht gesprochen werden, da dies von den jeweiligen standortspezifischen Gegebenheiten abhängt. Die Schwallspülung kann eher als präventive Maßnahme eingesetzt werden, da stark verfestigte Ablagerungen durch sie nicht gelöst werden können.

Verfahrenstechnisch ähnlich der Schwallspülung ist die Eigen- oder Regenwasserspülung. Bedingung ist allerdings, dass das Entwässerungsnetz weit verzweigt ist und ausreichend Umleitungsmöglichkeiten für das Abwasser bestehen. Um eine effiziente Reinigungsleistung zu erzielen, müssen für eine Spülung mit gesammeltem Regenwasser die Speichervorrichtungen (Stauraumkanal, Regenrückhaltebecken) in örtlicher Nähe

zu dem entsprechenden Kanalabschnitt liegen, um eine effiziente Reinigungsleistung liegen. Dieses Verfahren beschränkt sich daher i. d. R. auf Entwässerungssysteme in urbanen Gebieten. Hier sind beispielsweise auch gezielte Fehlanbindungen im Trennsystem am Endstrang zur Spülung durchführbar (Winkler, U., 2009).

### **Erfahrungen und Probleme**

Die Spülung von Kanälen wird standardgemäß unabhängig von demografischen Veränderungsprozessen als Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

#### **Technische Randbedingungen**

Während die Hochdruckspülung mit Hilfe mobiler Reinigungsfahrzeuge durchgeführt wird, kann die Schwallspülung durch fest eingesetzte oder durch mobile Schwallspüleinrichtungen erfolgen.

In jedem Fall ist der Einsatz technischer Gerätschaften notwendig, die im Falle mobiler Geräte (Spülwagen, mobile Ballons/Schläuche) ggf. von benachbarten Betreibern gemeinsam angeschafft und genutzt werden können.

#### **Ökonomische Randbedingungen**

Die beiden Spülverfahren zeichnen sich auch durch unterschiedliche Kostenstrukturen aus. Während die Kosten für die HD-Spülung im Wesentlichen von der Größe der zu reinigenden Kanäle und den jährlichen Einsatztagen der Spülfahrzeuge abhängig sind, werden die finanziellen Aufwendungen der SW-Spülverfahren maßgeblich durch die Investitionskosten für die entsprechenden Anlagen bestimmt (Tabelle 7-3).

Weiterführende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen finden sich bei Matsché et al. (2005); Barjenbruch (2007) und Tränckner (2009). Winkler (2009) führte vor dem Hintergrund demografischer Veränderungsprozesse im Einzugsgebiet der Kommunalen Wasserwerke Leipzig Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Reinigungsleistung versus baulicher Anpassungen an Kanälen in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad, der Nennweite und dem Reinigungsintervall durch. Dabei zeigte sich, dass bei normalen Verschmutzungsgraden eine bauliche Anpassung aufgrund erhöhter Spülaufwendungen nicht wirtschaftlich ist. Bei starker Verschmutzung und mehrmaliger jährlicher Reinigung können sich bei größeren Nennweiten bauliche Anpassungen unter Umständen rechnen. Für kleine Nennweiten wird eine größere Sensibilität gegenüber Ablagerun-

gen bei verringertem Abwasseranfall angegeben, jedoch sind die Spülkosten geringer als bei größeren Nennweiten.

Tabelle 7-3: Kosten von Spülverfahren zur Kanalreinigung (Dettmar, 2005, S. 217ff; Müller, 2007, S.12f)

Verfahren	Kosten		
		Kanalnennweite	Kosten €/m (bei mittlerem Verschmutzungsgrad)
Hochdruckspülung	Leistungskosten	DN 200	0,60
		DN 300	1,13
		DN 400	1,51
		DN 500	2,48
		DN 600	2,88
		DN 700	3,78
		DN 800	5,19
	Fahrzeughtageskosten	Einsatztage / Jahr	€/d/HD-
		200	1211
		250	1084
Schwallspülung		Investitionskosten (mit Einbau)	Betriebskosten
	Selbsttätige Schwallspülklappe	2000 – 12.000 €	1000 – 3000 €/a
	Vakuum-Kammer-Anlage	15.000 – 13.000 €	500 – 1400 €/a
	Hydraulische Schwallspülklappe	80.000 – 170.000 €	1100 – 2200 €/a

### Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels

Der Einsatz von betrieblich-technischen Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Beseitigung von Ablagerungen beschränkt sich nicht nur auf Abwassersysteme, deren Funktionsfähigkeit durch den demografischen Wandel beeinflusst wird. Auch in Abwassersystemen, die nicht von einer Unterauslastung betroffen sind, treten Ablagerungen auf. Festzustellen ist jedoch, dass Störungen in unterausgelasteten Systemen stärker oder häufiger auftreten können, was gegebenenfalls einen vermehrten Einsatz von betriebstechnischen Maßnahmen erfordert. Dabei trifft Winkler (2009) die Aussage, dass Prob-

leme aufgrund geringer Fließgeschwindigkeiten vielfach überschätzt werden und es selbst in Stadtumbaugebieten wie Plattenbaugebieten mit Trennsystem bei starkem Bevölkerungsrückgang nicht zwangsweise zu problematischen Auswirkungen kommt.

Sollte es durch rückläufige Abwassermengen verstärkt zu Ablagerungen kommen, können entsprechende Gegen- oder auch vorbeugende Maßnahmen direkt in die Spülplanung integriert werden. Viele Reinigungen können dabei im Zusammenhang mit Kanalzustandserfassungen durchgeführt werden. Durch eine bedarfsorientierte Reinigung können die Spülhäufigkeiten reduziert werden. Dadurch lässt sich in der Regel eine gute Beseitigung von Ablagerungen erreichen.

### **Weiterführende Quellen**

Diverse. (2006): Abflusssteuerung - Schwallspülung - Gewässerschutz. DBU, IAKS & FDJ (Hrsg.). Tagungsband, Osnabrück, 30.-31.07.2006. Darmstadt,. 159 S. Online verfügbar unter: [http://www.fdy.tu-darmstadt.de/publikationen/buecher/Tagungsband\\_2006.pdf](http://www.fdy.tu-darmstadt.de/publikationen/buecher/Tagungsband_2006.pdf).

Schaffner, J. (o. J.): Einsatz und Anwendungsgrenzen von Schwallspülungen in Abwasserkanälen. Online verfügbar unter: [http://www.dwa-hrps.de/Termine/17 %20Schwallspuelung, %20Schaffner.pdf](http://www.dwa-hrps.de/Termine/17_%20Schwallspuelung,%20Schaffner.pdf).

Hans Huber AG. Schwallspülreinigung von Abwasserkanälen mit innovativer Technik und innovativen Ideen. In: <http://www.huber.de/de/huber-report/ablage-berichte/regenbecken-kanalausruetzung/schwallspuelreinigung-von-abwasserkanaelen-mit-innovativer-technik-und-innovativen-ideen.html>.

Liebau - Wasser- und Abwassertechnik (o .J.): LIWATECH Pulsator - Das Liwatech Reinigungssystem zur Reinigung von Schmutzwasserkanälen. In: <http://www.liwatech.de/Schmutzwasserkanale/schmutzwasserkanale.html>.

#### **7.1.1.2 Sonstige Reinigungsmaßnahmen / Entfernung der Sielhaut**

In (Druck-)Rohrleitungen kommt es zur Bildung eines Biofilms (Sielhaut), der Ausgangspunkt anaerober Umsetzungsprozesse von Sulfat zu Sulfid ist. Durch eine Entfernung dieses Biofilms kann die Sulfidbildung unterbunden werden. Zur Entfernung des Biofilms bzw. der Sielhaut können folgende mechanische Verfahren eingesetzt werden:

- Druckluftspülung – Erhöhung der Fließgeschwindigkeit
- Molchen – direkte mechanische Einwirkung von Festkörpern
- Einsatz von Leca als Molchersatz.

## **Beschreibung der Maßnahmen**

Die Molchung von Druckleitungen stellt eine Form der mechanischen Reinigung zur Entfernung von Biofilmen und Ablagerungen dar. Dabei werden Molche unterschiedlicher Form und Härte durch die Leitung gepumpt.

Alternativ zur Molchung kann der Druckleitung auch Leca zugesetzt werden. Leca (Blähton, Lecaton<sup>®</sup>) ist geblähter Ton aus ausgesuchten Tonschichten, der in einem langen, zweigeteilten Drehrohrföfen bei ca. 1200° C gebrannt wird. Die Bezeichnung Leca steht dabei für die englische Bezeichnung „Light expanded clay aggregate“ (Matsché et al., 2005). Zur Verstärkung des Reinigungsprozesses können zusätzlich geringe Mengen Tenside in die Druckrohrleitung eingebracht werden. Leca wird in die Druckrohrleitung eingespült, bildet einen Pfropfen und wird ähnlich einem Molch durch die Leitung gedrückt (Matsché et al., 2005).

## **Erfahrungen und Probleme**

Molche werden häufig zur Reinigung von Druckrohrleitungen eingesetzt (Stier, et al. 2003). Matsché et al. (2005) untersuchten die Wirksamkeit dieser Maßnahme zur Sielhautentfernung als Maßnahme gegen Geruchsbildung in Druckrohrleitungen. Danach lässt sich durch Molchung zwar ein guter Reinigungsgrad erzielen bzw. die Sielhaut entfernen, jedoch kam es schon kurze Zeit nach Durchführung der Molchung wieder zu Geruchsbelästigungen.

Durch den Einsatz von Leca kann eine gute, teilweise bessere Reinigungswirkung im Vergleich zur Molchung erzielt werden. Allerdings konnte auch hierdurch keine langfristige Unterbindung der Geruchsbildung erreicht werden.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

Der Einsatz von Molchen kann an Umlenkungen und Engstellen in den Leitungen zu Verstopfungen führen. Auch umfangreichere Ablagerungen in den Leitungen können ein „Steckenbleiben“ der Molche hervorrufen. Die Durchführung dieser Maßnahme ist technisch relativ aufwendig. Sie kann durch Fremdfirmen oder das Einbringen einer Schleuse realisiert werden.

Der sich bildende Leca-Pfropfen ist in sich flexibel und damit ist die Verstopfungsgefahr im Vergleich zur Molchung gering. Bei der Wahl der Größe der Leca-Kugeln ist darauf

zu achten, dass das Material mit dem Rechengut auf der Kläranlage abgeschieden werden kann.

### **Ökonomische Randbedingungen**

Die Reinigung von Druckleitungen durch Molchung stellt eine sehr kostenintensive Maßnahme dar. Der Einbau einer Schleuse und die Durchführung der Molchung durch eigenes Betriebspersonal erwies sich in den untersuchten Fällen nach Matsché et al. (2005) kostengünstiger als eine Vergabe dieser Maßnahmen an Fremdfirmen.

### **Ökologische Randbedingungen**

Der Einsatz von Tensiden zur Erhöhung der Wirksamkeit der Reinigung wird von Matsché et al. (2005) bezüglich negativer Auswirkungen auf die Kläranlage als unbedenklich eingestuft.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Zur gezielten langfristigen Vermeidung von Geruchsproblemen in Druckleitungen erwiesen sich sowohl die Molchung als auch der alleinige Einsatz von Leca in Kombination mit Tensiden als nicht ausreichend. Vor dem Hintergrund ihrer Kostenintensität können beide Maßnahmen zur Geruchsbekämpfung nicht empfohlen werden. Nach Matsché et al. (2005) kann sich jedoch der Einsatz von Leca in Kombination mit Tensiden in Verbindung mit einem anderen Verfahren zur Vermeidung von Geruch und Korrosion in Druckleitungen (wie der Zugabe von Chemikalien zur Geruchsbekämpfung) als sinnvoll erweisen.

### **Weiterführende Quellen**

Abwasserverband AIZ (2000): Biokorrosion „Untersuchung und Darstellung der biochemischen Umwandlungsprozesse im Bereich der Druckrohrbeileitung Achenkirch“. In: <http://www.aiz.at/files/Biokorrosion.pdf>.

em.consult GmbH (2007): SULFID-Probleme in Abwasseranlagen. In: [http://www.h2s-problem.com/image/20070910\\_emconsult\\_h2s\\_kv-1.pdf](http://www.h2s-problem.com/image/20070910_emconsult_h2s_kv-1.pdf).

Hans Huber AG: Schwallspülreinigung von Abwasserkanälen mit innovativer Technik und innovativen Ideen. In: <http://www.huber.de/de/huber-report/ablage-berichte/regenbecken-kanalausruistung/schwallspuelreinigung-von-abwasserkanaelen-mit-innovativer-technik-und-innovativen-ideen.html>.

Liebau - Wasser- und Abwassertechnik (o. J.): LIWATECH Pulsator - Das Liwatech Reinigungssystem zur Reinigung von Schmutzwasserkanälen. In: <http://www.liwatech.de/Schmutzwasserkanale/schmutzwasserkanale.html>.

### **7.1.1.3 Anpassung der Hydraulik**

Der Rückgang des Abwasseranfalls aufgrund des demografischen Wandels und ein sinkender spezifischer Trinkwasserverbrauch können zur Unterauslastung der Kanalisation führen mit Folgen für deren Funktionsfähigkeit und wirtschaftlichen Betrieb. Starke Unterauslastungen können bauliche Anpassungsmaßnahmen am Kanalsystem erforderlich machen.

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Der Entstehung von Ablagerungen kann durch

- Querschnittsverringering,
- Querschnittsanpassung oder
- Gefällevergrößerung

begegnet werden.

Die Reduzierung des Kanalquerschnittes soll die Fließgeschwindigkeit des Abwassers erhöhen, um einen ablagerungsfreien Betrieb im Kanal zu ermöglichen. Eine signifikante Erhöhung der Fließgeschwindigkeit erfordert dabei eine erhebliche Reduzierung des Querschnitts. Neben der Erneuerung der Kanäle durch Kanäle mit kleinerem Durchmesser besteht, durch Anwendung von Relining- oder Beschichtungsverfahren im Rahmen von Renovierungsmaßnahmen, auch die Möglichkeit, den Kanalquerschnitt zu reduzieren. Im Rahmen einer Querschnittsanpassung können beispielsweise Eiprofile zum Einsatz kommen, die sich weniger sensibel gegenüber Auslastungsschwankungen erweisen als Kreisprofile.

Möglich sind darüber hinaus Neutrassierungen zur Vergrößerung des Gefälles der Kanäle.

#### **Erfahrungen und Probleme**

Bezüglich der Funktionsfähigkeit der siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen stellt Winkler (2007) fest, dass trotz erheblicher Unterauslastungen der Trink- und Abwassernetze keine Funktionsverluste zu verzeichnen sind. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zwischen erhöhten Betriebsaufwendungen und einer baulichen Erneuerung des Anlagenbestandes führten zum Ergebnis, das bestehende System weiter zu betreiben.



## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

Einschränkungen ergeben sich durch die Anwendbarkeit einzelner Verfahren. Beispielsweise eignen sich Beschichtungsverfahren nur für Kreisprofile während Reliningverfahren an das Vorhandensein einer gut erhaltenen Bausubstanz im Kanal gebunden sind.

### **Ökonomische Randbedingungen**

Die beschriebenen Maßnahmen der Renovierung bis hin zur baulichen Erneuerung der Kanäle sind mit erheblichen (Investitions-)Kosten verbunden. Zur Bewertung dieser Maßnahmen im Vergleich mit anderen betrieblich-technischen Verfahren gegen Ablagerung, Geruch und Korrosion sind entsprechend Wirtschaftlichkeitsberechnungen wie Kostenvergleichsrechnungen nach LAWA durchzuführen (vgl. auch Winkler, 2009). Je nach Grad der Unterauslastung des Systems bzw. dem Verschmutzungsgrad, der Nennweite und des erforderlichen Reinigungsintervalls können auch bauliche Maßnahmen der Erneuerung der Kanäle notwendig bzw. wirtschaftlich sinnvoll sein (vgl. Winkler, U., 2009 und Koziol/Walther, 2006).

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die technische Funktionsfähigkeit leitungsgebundener Infrastrukturen wird maßgeblich von der Systemauslastung bestimmt. Innerhalb bestimmter Grenzen sind Schwankungen der Systemauslastung ohne nennenswerte Beeinträchtigungen der Funktion möglich. Weitergehende Unterauslastungen des Systems führen dann zu Funktionseinschränkungen, die das Ergreifen betriebstechnischer Maßnahmen erfordern. Dauerhaft starke Unterauslastungen können schließlich bautechnische Maßnahmen wie den Ersatz von Leitungsabschnitten erfordern. Unterauslastungen des Systems äußern sich in Folgekosten für den Betrieb der Abwasserinfrastruktur. Nach Herz et al. (2005) ergaben Befragungen ausgewählter Unternehmen der Ver- und Entsorgungswirtschaft aus dem Jahr 2002 Schwellenwerte für betriebstechnische Maßnahmen ab einem Trinkwasserverbrauchsrückgang von etwa 10 bis 20 % und Anpassungs- bzw. Rückbaumaßnahmen ab einem Verbrauchsrückgang von etwa 30 bis 50 % (vgl. auch Koziol/Walther, 2006). Die Entscheidung über den Einsatz betriebstechnischer oder bautechnischer Maßnahmen ist vor dem Hintergrund der lokalen Rahmenbedingungen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu unterziehen.

Durch die Querschnittsverringeringung kann eine Abnahme der Reinigungskosten und der Aufwendungen zur Geruchsbekämpfung erzielt werden. Inwieweit sich durch eine Reduzierung des Kanalquerschnitts Kostenvorteile für die Entsorgungsunternehmen ergeben, ist von den standortspezifischen Gegebenheiten sowie dem Umfang der Auswirkungen des demografischen Wandels abhängig. Man kann davon ausgehen, dass diese Art von baulichen Maßnahmen erst bei einer Einschränkung der Funktionsfähigkeit durch einen erheblichen Rückgang des Abwasseranfalls Verwendung findet.

### Weiterführende Quellen

Clausen et al. (2003): Innovationen in der Abwasserentsorgung. Ergebnisse einer Umfrage. KA 12/2003.

## 7.1.2 Schutz gegen Korrosion

Ablagerungen können unter bestimmten Randbedingungen zur Bildung von betriebstechnisch relevanten Gasen führen. Bei längeren Standzeiten des Abwassers und dem Vorherrschen einer sauerstoffarmen Umgebung kann es zur Bildung von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) kommen. Schwefelwasserstoff bildet die Grundlage zur Entstehung biogener Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ). Die daraus hervorgehende biogene Schwefelsäurekorrosion stellt eine der aggressivsten Formen von Korrosion in Abwasserentsorgungsanlagen dar.

### 7.1.2.1 Maßnahmenübersicht

Bedingung für die Entstehung von biogener Schwefelsäurekorrosion sind die Benetzung der Kanalwand mit kondensiertem Wasserdampf und ein niedriger pH-Wert (Thienel 2007). Der im Gasraum vorhandene Schwefelwasserstoff reagiert mit Sauerstoff zu Schwefelsäure:

Formel  $H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4$  (Matsché et al., 2005: S. 14)

$(H_2S (g) + O_2 \rightarrow Thiobacillus \rightarrow H_2SO_4$

Betonkorrosion:

$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2 H_2O =$  (Bildung von Gips)

$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$

$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 26H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O =$  (Bildung von Ettringit [Trisulfat]) (Tränckner, 2009)).

Je nach pH-Wert kann es zu unterschiedlich starken Angriffen auf die Zementbauteile in den Entwässerungsanlagen kommen. Bei einem pH-Wert von 0-2 können bereits nach ca. 5 Jahren erhebliche Bauschäden auftreten (Thienel, 2007; S. 9). Insbesondere betroffen von der biogenen Schwefelsäurekorrosion sind Pumpwerke, Kanalschächte, Druckrohrleitungen sowie Übergabepunkte zwischen Abwasserleitungen.

Folgende Maßnahmen können zur Vermeidung von Korrosion in abwassertechnischen Anlagen eingesetzt werden:

**Spülen** zur Beseitigung von Ablagerungen und damit Reduktion vorhandenen organischen schwefelhaltigen Substrates sowie anaerober Bedingungen – und damit vorbeugende Verringerung der Bildung von Schwefelwasserstoff → *vgl. Kap. 7.1.21*

**Belüften** zur Vermeidung des Entstehens anaerober Bedingungen und/oder Austrag gebildeter Gase aus dem System  
→ *vgl. Kap. 7.1.3.2*

**Zugabe von Chemikalien** zur Vermeidung der Bildung schädlicher Gase oder Abbau dieser Gase  
→ *vgl. Kap. 7.1.3.1*

**Auskleiden von Schächten** um die Widerstandsfähigkeit der Bauteiloberfläche gegenüber korrosiv wirkenden Substanzen zu erhöhen und /oder entstandene Schäden zu reparieren *und sorgfältige Materialwahl* für besonders gefährdete Anlagenteile sowie

**Vorbeugende Maßnahmen bei der Planung** der abwasserwirtschaftlichen Anlagen  
→ *vgl. Kap. 7.1.3.5.*

### 7.1.2.2 Auskleiden von Schächten

#### Beschreibung der Maßnahme

Durch die biogene Schwefelsäurekorrosion werden auf Zement basierende Bauteile der Abwasserinfrastruktur angegriffen. Tränckner (2009) gibt entsprechende Korrosionsschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Angriffsgrad der Korrosion an (Tabelle 7-4).

Tabelle 7-4: Korrosionsschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Angriffsgrad der Korrosion (Tränckner, 2009)

pH-Wert	Angriffsgrad der Korrosion	Korrosionsschutzmaßnahmen
13 bis ca. 6	Zwischen 7,5 und 6: schwach	Dichter Beton, keine besonderen Maßnahmen erforderlich
Ca. 6 bis 3,5	mittel	HS-Zement, Hartkalkstein, Opferbeton
Kleiner 3,5	stark	Schutz des Betons durch Auskleiden

Bei einem pH-Wert größer 3,5 kommen allgemeine betontechnologische Maßnahmen und Zement mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN 1164 zum Einsatz. Bei pH-Werten kleiner 3 bedarf der Beton eines Oberflächenschutzes durch Auskleidungen beispielsweise aus PVC-Hart, PE-HD oder GFK (Tränckner, 2009).

Im Rahmen einer *HD-Spülung* besteht zusätzlich die Möglichkeit, Abwasserkanäle oder Schächte mit einer *korrosionshemmenden Schicht* zu versehen. Die Schutzwirkung gegenüber Korrosion entsteht durch das Anheben des pH-Wertes an der mit dem Hemmstoff benetzten Oberfläche. Die Schutzschicht wird im Anschluss an den Spülvorgang durch Besprühen mit dem entsprechenden Hemmstoff, z. B. *AS&FS* (System Clean Product – Antischimmel spezial und Fettlöser spezial), aufgetragen. Erforderlich für die Durchführung einer solchen Maßnahme ist das Vorhandensein der notwendigen Technik auf den Spülfahrzeugen (Barjenbruch/Dohse, 2004: S. 39).

### Erfahrungen und Probleme

Die Verfahrenskombination von Reinigung durch HD-Spülung und dem anschließenden Auftragen einer Schutzschicht wurde von Barjenbruch/Dohse (2004) im Praxistest untersucht. Die Wirksamkeit erwies sich als zeitlich begrenzt. Das Verfahren ist jedoch als Sofortmaßnahme bei saisonalen Belastungen gut geeignet, Korrosionserscheinungen in Druckrohrleitungen und Schächten zu vermeiden.

### Weiterführende Quellen

Barjenbruch, M. (2007): Geruchsbelästigungen – die biogene Schwefelsäurebildung in Kanälen, Ursachen und Maßnahmen. 11. Abwasserbilanz Brandenburg, Wildau, 10.12.2007. INFRANEU, S. 1-17. Online verfügbar unter: [http://abwasserbilanz.de/downloads/2007/071210\\_profbarjenbruch\\_referat.pdf](http://abwasserbilanz.de/downloads/2007/071210_profbarjenbruch_referat.pdf).

Bank, S.; Auer, B.; Hagemann, J. (2007): Geruchsbekämpfung und Verhinderung von Korrosion in Kanalsystemen. GWF Wasser/Abwasser.

### 7.1.3 Maßnahmen gegen Geruchsprobleme

Geruchsbildung in der Kanalisation kann auf der Einleitung von Geruchsstoffen mit dem Abwasser in die Kanalisation oder aeroben sowie anaeroben Abbauprozessen von Abwasserinhaltsstoffen beruhen. Besonders geruchsintensiv sind Schwefelverbindungen. Unter anaeroben Bedingungen im Kanal kann es zur Bildung und Freisetzung von geruchsintensiven Schwefelverbindungen an die Umgebungsluft und damit Geruchsbelästigungen kommen (Freudenthal et al., 2003).

Problematische Orte des Entstehens von Geruchsbelästigungen in Anlehnung an Haydt (1984) aus Barjenbruch (2007) stellen dar:

Tabelle 7-5: Problematische Orte des Entstehens von Geruchsbelästigungen in Entwässerungssystemen (Barjenbruch, 2007: S. 5)

Ort des Entstehens	Ursachen	Probleme
Freispiegelkanäle	anaerober Zustand (lange Fließzeit; geringes Gefälle, geringe $v_F$ , z. B. bei Trockenwetter im Mischkanal)	abhängig von Bauausführung und Betrieb
Absturzbauwerke	hängt vom zufließenden Abwasser ab: anaerob → Geruch aerobe → Geruch gering	Ausstrippen von vorher gebildeten Geruchsstoffen und ggf. Geruchsbelästigung
Abzweigbauwerke	Richtungs- oder Gefällewechsel (Turbulenz)	s.o.
Abwasserpumpwerke	lange Standzeiten im Sammelbehälter Befüllen des Sammelbehälters oberhalb des Minimalwasserstandes	Bildung eines anaeroben Milieus, Ausstrippen von Gerüchen
Übergabepunkt von Druckleitungen	Abwasser aus Druckrohrleitung ist bei langen Fließzeiten ggf. angefault	Geruchsstoffe werden ausgestrippt
Vermischen von sulfidhaltigem Abwasser	Bei pH-Änderung oder unterschiedlicher Temperatur	Ausstrippen von Geruchsstoffen
Industrielle Einleitung	mit Geruchsstoffen belastetes Abwasser, Abwasser mit hoher Temperatur	Indirekteinleiterkontrolle

Mögliche Maßnahmen gegen Geruchs- (und Korrosions-)bildung sind: (Eigene Darstellung nach Barjenbruch (2007) und Tränckner (2009):

- der *Einsatz chemischer Zusätze* zur Vermeidung oder Fixierung geruchswirksamer oder korrosiv wirkender Substanzen sowie zur Vermeidung der Wahrnehmung dieser Substanzen,
- *bauliche Maßnahmen* am Entwässerungssystem durch konstruktive Sauerstoffanreicherung, kleinere Rohrquerschnitte, eine Abwasserbehandlung im Kanal, geschlossene Schachtdeckel oder Filtereinsätze sowie
- *betriebliche Maßnahmen* am Entwässerungssystem in Form einer Kanalnetzreinigung oder Fremdwasserzugabe.

### 7.1.3.1 Einsatz chemischer Zusätze gegen Geruchsbildung und Korrosion

Der Geruchsbildung durch Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) kann durch den Einsatz von chemischen Substanzen begegnet werden.

#### Beschreibung der Maßnahme

Nach Barjenbruch (2007) können folgende chemisch-biologischen Verfahren zur Verminderung der Geruchs- und Korrosionsbildung eingesetzt werden:

- Oxidationsmittel
- Fällungsmittel
- pH-Wert – Regulatoren
- Kombinationsprodukte
- Geruchskorrigentien und
- Biologische Wirkstoffe.

Zusatzstoffe, die in der Praxis Verwendung finden sind in Tabelle 7-6 aufgelistet.

*Oxidationsmittel*, die bei der Geruchs- und Korrosionsbekämpfung eingesetzt werden, lassen sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise unterscheiden. Stoffe wie Kalziumnitrat ( $Ca(NO_3)_2$ ) oder Luftsauerstoff verhindern die Einstellung eines anaeroben Milieus im Abwasserkanal und beugen dadurch der Bildung von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) vor. Chemische Substanzen wie Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) oder Kaliumpermanganat ( $KMnO_4$ ) hingegen oxidieren reduzierte Schwefelverbindungen, als auch andere Abwasserinhaltsstoffe, so dass diese nicht in Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) umgewandelt werden können. Häufig werden Nitratsalze verwendet. Ihr Einsatz ist bei kommerziellen Produkten mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden (Barjenbruch, 2007: S. 10).

Die Wirkung von *Fällmitteln* zur Eindämmung von Geruchs- und Korrosionserscheinungen beruht auf der Bildung von elementarem Schwefel und schwerlöslichen Eisen-

sulfiden durch die Fällung der im Abwasser enthaltenen Sulfide mit Eisensalzen (Barjenbruch/Dohse, 2004: S. 80). Dadurch stehen nur noch wenige oder keine Schwefelverbindungen für die Bildung von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) zur Verfügung.

Der Einsatz von *pH-Wert - Regulatoren* hingegen soll die Entstehung von Sulfiden im Abwasserkanal verhindern. Durch eine Anhebung des pH-Wertes des Abwasserstroms auf über 9 wird einer Bildung von Sulfiden vorgebeugt, so dass diese nicht zu Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) umgewandelt werden können. Bereits entstandene Sulfidverbindungen können dadurch jedoch nicht entfernt werden.

Tabelle 7-6: Chemische und biologische Substanzen zur Geruchsbekämpfung (Barjenbruch/Dohse, 2004)

Prinzip /Verfahren	Zusatzstoff
Oxidation	Kalziumnitrat ( $Ca(NO_3)_2$ ), Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ), Luftsauerstoff, technischer Sauerstoff, Ozon ( $O_3$ ), Kaliumpermanganat ( $KMnO_4$ )
Fällung	Eisen(II)chlorid ( $FeCl_2$ ), Eisen(III)chlorid ( $FeCl_3$ ), Eisen(II)-sulfat ( $FeSO_4$ )
pH-Wert Regulation	Natriumaluminat ( $NaAl(OH)_4$ ), Natronlauge ( $NaOH$ ), Kalkmilch ( $Ca(OH)_2$ )
Kombinationsprodukte	Kemwater-Anaerite (Produkt auf Basis von Fe und $NO_3$ ); Fa. Sachtleben ( $Al+ NO_3$ ); ABS-Kanalprogramm ( $Na[Al(OH)_4] + FeCl_3$ )
Geruchskorrigentien	maskierende Mittel; Überdeckung des belästigenden Geruchs - Kompensierung oder "Bindung"
Biologische Wirkstoffe	Mikroorganismen, Enzyme, Pflanzenextrakte, Tenside (Wirkung als Bio-Katalysator); Hemmstoffe

### Erfahrungen und Probleme

Die Dosierung chemischer Zusatzstoffe wie Oxidationsmittel zur Vermeidung anaerober Zustände in abwassertechnischen Systemen zur Vermeidung von Geruchsbildung und Korrosion stellt eine etablierte und weit verbreitete betriebstechnische Maßnahme dar. Kombinationsprodukte, die Vor- und Nachteile der jeweiligen Ausgangsstoffe vereinen, sind zum Teil jedoch noch wenig erprobt. Bisher ebenfalls nur wenige Erfahrungen liegen zum Einsatz biologischer Wirkstoffe vor. Die Wirkung von Geruchskorrigentien ist umstritten (Barjenbruch, 2007).

Umfangreiche Untersuchungen zu Kosten und Wirkung verschiedener Maßnahmen bzw. Zusatzstoffe gegen Geruchsbildung und Korrosion wurden u. a. von Barjenbruch/Dohse (2004) und von Matsché et al. (2005) in Österreich durchgeführt.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

*Oxidationsmittel* eignen sich gut bis sehr gut zur Kompensation der verstärkten Geruchsemissionen aus dem Kanalnetz aufgrund erhöhter Schwefelwasserstoffkonzentrationen. Sie sind auch als vorbeugende Maßnahme einsetzbar. Das Kompensationspotenzial ist abhängig von der Wahl des Oxidationsmittels. Die Wirkung unterhalb der Dosierstelle ist allerdings gering. Zudem können einige der eingesetzten Verfahren/Substanzen zu einem zusätzlichen Abbau organischer Stoffe führen. Die daraus resultierende Reduzierung des C/N-Verhältnisses im Abwasser, beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit der Denitrifikation auf der angeschlossenen Abwasserbehandlungsanlage (Barjenbruch/Dohse, 2004: S. 68ff). Beim Einsatz von Oxidationsmitteln zur Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen kommt es zu einem hohen Mehrverbrauch durch Reaktion mit anderen Abwasserinhaltsstoffen (Barjenbruch, 2007).

Fällungsmittel zeigen ebenfalls eine gute Wirksamkeit gegen verstärkte Geruchsemissionen aus dem Kanalnetz aufgrund erhöhter Schwefelwasserstoffkonzentration. Sie wirken auch im weiteren Verlauf des Kanalnetzes. Es wird jedoch keine Wirkung gegen andere Geruchsstoffe erzeugt. Allerdings kann es durch den Einsatz von Fällmitteln zu zusätzlichen Ablagerungen im Kanalnetz kommen und eine Abtrennung des entstehenden Schlammes (Bildung von schwerlöslichem Eisensulfid) in der Abwasserbehandlungsanlage erforderlich werden (Barjenbruch, 2007: S. 10). Es kann außerdem zur Senkung des pH- Wertes und der Säurekapazität kommen (Barjenbruch, 2007).

pH-Wert-Regulatoren besitzen eine gute Wirksamkeit. Die Wirkung hält allerdings nur kurz an und richtet sich nicht gegen andere Geruchsstoffe. Die Einsetzbarkeit der pH-Wert-Anhebung beschränkt sich allerdings auf Abwasserkanäle ohne unterhalb liegende Zusammenflüsse, da dadurch die Wirkung der verwendeten chemischen Substanzen aufgehoben wird. Unter anoxischen Bedingungen können pH-Wert – Regulatoren auch zu einer Ausstrippung von Ammoniak führen (Barjenbruch, 2007: S. 10). Eine online-Messung des pH-Wertes zur Überwachung der Wirksamkeit ist ratsam.

Geruchskorrigentien besitzen keine korrosionsschützende Wirkung (Barjenbruch, 2007).



## Ökonomische Randbedingungen

Die einzelnen chemischen Maßnahmen weisen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der entstehenden Kosten auf. Der Einsatz von Oxidationsmitteln ist mit relativ hohen Kosten verbunden (Barjenbruch, 2007).

In Tabelle 7-7 sind Kosten ausgewählter chemischer Maßnahmen zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung dargestellt.

Tabelle 7-7: Kosten ausgewählter chemischer Maßnahmen zur Geruchs- und Korrosionsbekämpfung (nach Barjenbruch/Dohse, 2004, Eiswirth et al., 2000, Matsché et al., 2005)

Verfahren	Zusatz	Kosten		
		Zusatzstoff	Betriebskosten	Sonstige Kosten
Oxidation	Kalziumnitrat (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	240 €/t (Nutriox)	0,02 – 0,52 €/m <sup>3</sup> Abwasser 0,50 – 0,60 €/kg H <sub>2</sub> S	Dosierstation: 15.000 €/Stk
	Wasserstoffperoxid (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	320 €/t	0,02 €/m <sup>3</sup> Abwasser 0,30 – 0,40 €/kg H <sub>2</sub> S	
	Luftsauerstoff (Drausy-Verfahren)	-	0,002 – 0,07 €/m <sup>3</sup> Abwasser	
	Kaliumpermanganat (KMnO <sub>4</sub> )	670 €/t	2,40 €/kg H <sub>2</sub> S	
Fällung	Eisen(II)chlorid (FeCl <sub>2</sub> )	345 €/t (Bellair green)	(0,02 – 0,12 €/m <sup>3</sup> Abwasser) 0,30 – 0,35 €/kg H <sub>2</sub> S	Schlammabtrennung auf KA: 0,1 €/kg gebundenen Schwefel
	Eisen(III)chlorid (FeCl <sub>3</sub> )	245 – 427 €/t	0,01 – 0,10 €/m <sup>3</sup> Abwasser 0,25 – 0,30 €/kg H <sub>2</sub> S	Schlammabtrennung auf KA: 0,1 €/kg gebundenen Schwefel
pH-Wert Regulation	Kalkmilch (Ca(OH) <sub>2</sub> )	97 €/t	0,6 – 0,8 Ct/m <sup>3</sup> Abwasser (bei 60 – 80 g Kalk/m <sup>3</sup> Abwasser)	

## Ökologische Randbedingungen

Der Zusatz von Eisenpräparaten kann unter bestimmten Voraussetzungen Einsparungen an Fällungsmitteln auf der Kläranlage mit sich bringen. Entsprechende Untersuchungen für Druckrohrleitungen wurden von Matsché et al. (2005) durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass das der Druckrohrleitung zugegebene Eisen im Belebungsbecken bei der Oxidation von Sulfid zu Sulfat wieder frei wird und somit für die Phosphorfällung zur Verfügung steht (Matsché et al., 2005).

Bei den eingesetzten Zusatzstoffen handelt es sich teilweise um gefährliche Chemikalien. Eine Einhaltung dementsprechender gesetzlicher Vorgaben zu Transport, Lagerung und Anwendung ist erforderlich (Matsché et al., 2005).

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Der Rückgang des Abwasseranfalls in bestehenden Entwässerungssystemen vergrößert die Aufenthaltszeiten des Abwassers im Kanal und begünstigt die Entstehung von Ablagerungen und anaeroben Zuständen und kann somit das Geruchsbildungspotenzial erhöhen (s. Kap. 6.1 bzw. Freudenthal et al., 2003). Der Einsatz chemischer Zusätze gegen Geruch und Korrosion ist hier als schnelle und nachträgliche, im bestehenden System zu implementierende Maßnahme, anzusehen. Die Dosierung chemischer Zusatzstoffe stellt deshalb eine verbreitete, sehr gut geeignete und wirksame Maßnahme gegen Geruchsbildung und Korrosion im Kanalsystem dar. Allerdings ist diese Maßnahme mit einer Erhöhung der Betriebskosten und damit einer steigenden spezifischen Kostenbelastung verbunden.

Die einzelnen Verfahren/Stoffe weisen signifikante Unterschiede hinsichtlich Wirkungsgrad, Kosten, Einsetzbarkeit und Nebenwirkungen auf. Die Wahl der Chemikalien muss sich nach den lokalen Verhältnissen richten. Sie bestimmen das konkrete Sulfidbildungspotenzial und damit den erforderlichen Chemikalieneinsatz und die jeweiligen Chemikalienkosten (Matsché et al., 2005).

### **Weiterführende Quellen**

Barjenbruch, M, Lange, G. & Bohatsch, A. (2006): Vermeidung von Geruch- und Korrosion. In: wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik, 10/2006, S. 47-51.

Feldhaus, R., Frechen, F.-B., Frey, M., Mertsch, V. & Poppe, A. (2006): Bekämpfung der Geruchstoffentstehung in Abwasserkanälen durch Dosierung geruchsreduzierender Stoffe. In: FH Köln, Forschungsbericht 2006. S. 67-70.

Frank, A. (2007): Geruchs- und Korrosionsbekämpfung mit Eisennitrat. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 205. 10 S. Online verfügbar unter: [http://www.acat.com/static/files/Downloads/null/WienerMitteilungen\\_Eisennitrat.pdf](http://www.acat.com/static/files/Downloads/null/WienerMitteilungen_Eisennitrat.pdf).

### 7.1.3.2 Konstruktive Sauerstoffanreicherung und Belüften von Kanälen

#### Beschreibung der Maßnahme

Eine weitere Möglichkeit, Geruchsbelästigungen zu verhindern, ist die Belüftung von Kanälen. Bei den Belüftungselementen kann zwischen Über- und Unterdruckbelüftung unterschieden werden. Das Ziel der Belüftung ist es, anaerobe Zustände im Kanal zu vermeiden oder  $H_2S$  aus dem Abwasser zu entfernen. Hierbei können die Belüftungssysteme auch in Kombination mit Biofiltern oder biologischen bzw. chemischen Wärschern eingesetzt werden.

In der Praxis am weitesten verbreitet sind die Druckbelüftung und die pneumatische Abwasserförderung. Bei der Druckbelüftung wird über Kompressoren und Druckluft Abwasser während des Transports belüftet. Beim pneumatischen Abwassertransport wird Abwasser mit Hilfe von Druckluft durch die Druckleitung transportiert und mit Sauerstoff angereichert. Dabei fließt das Abwasser in einen Druckkessel bis ein gewisses Niveau erreicht wird. Anschließend wird der Zulauf unterbrochen und das gesammelte Abwasser mit einem Druck von ca. 5-8 bar in die Druckleitung befördert. Durch die intermittierende Beschickung mit Abwasser und Druckluft kann auch eine gewisse mechanische Reinigungswirkung an der Rohrwandung erzielt werden (Matsché et al., 2005).

Beim System Bühler wird Druckluft in den Pumpenpausen direkt in die mit der Abwasserpumpe beschickte Druckleitung eingebracht. Durch das kurzzeitige Einblasen von Druckluft kommt es zu stoßförmigen Beschleunigungen des Abwassers in der Druckleitung. Dadurch kann es auch zu einem Ablösen der Sielhaut an der Rohrwandung kommen. Das System erfordert einen Kompressor und einen Druckkessel, um die Luftspülung mit 4 bis 7 bar zu realisieren. Hochpunkte dürfen hierbei nicht entlüftet werden (Matsché et al., 2005).

Durch den Einbau von Kaskaden oder Stürzen in das Kanalsystem (Freispiegelsysteme) kann die Vermischung des Abwassers mit der Umgebungsluft erhöht werden, was zu einem Erhalt des aeroben Milieus führen kann. Gebunden ist diese Maßnahme allerdings an ein großes Gefälle im Abwassernetz. Zudem entstehen erhebliche Investitionskosten (Barjenbruch/Dohse, 2004). Liegt jedoch bereits anaerobes Abwasser vor, sollte dies schonend transportiert werden, um einen Gasaustritt zu vermeiden (Barjenbruch, 2007).

## **Erfahrungen und Probleme**

Für die Druckluftsysteme liegen nur begrenzte Erfahrungen vor und die bisherigen Untersuchungen beschränken sich nur auf wenige Anlagen mit relativ geringer Kapazität. Beispielanwendungen für Druckluftsysteme und pneumatische Förderung finden sich bei Matsché et al. (2005) und Barjenbruch/Dohse (2004).

Der Abwasserzweckverband Oberharz in Sachsen-Anhalt (Freystein, 2003) betreibt ein ausgedehntes Kanalnetz mit Freispiegel- und Druckrohrleitungen. Über ein druckausgleichendes Schlauchsystem (DRAUSY), das über die gesamte Länge in gleichen Abständen mit kleinsten Löchern versehen ist, wird durch einen Kompressor Luft eingepresst und das Abwasser in den Druckrohrleitungen mit Sauerstoff versorgt.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

In den Untersuchungen von Matsché et al. (2005) konnte durch die Druckbelüftung nur während der Spülzeit eine ausreichende Erhöhung der Sauerstoffkonzentration erreicht werden. Schwefelwasserstoffkonzentrationen in der Gasphase waren Messungen zufolge permanent hoch. Durch eine Verlängerung des Nachblasezyklus kann mehr Luft bzw. Sauerstoff in die Druckrohrleitung eingebracht werden. Der erhöhte Stromverbrauch führt allerdings auch zu erhöhten Betriebskosten. Durch die mechanische Reinigungswirkung konnte eine Vergrößerung des Innendurchmessers der Druckleitungen erreicht und damit ein kontinuierlicher Anstieg der Förderleistung der Pumpen erzielt werden. Hierdurch ließ sich in den untersuchten Beispielanwendungen nach dem Einsatz der Druckluftspülung bei bestehenden, mit Sielhaut und anderen Ablagerungen belasteten Druckleitungen eine Reduzierung des Strombedarfs der Abwasserpumpen erzielen.

Der Sauerstoffeintrag bei der pneumatischen Förderung ist abhängig von der Dauer des Pumpvorganges (Kompressorlaufzeit). Ein zusätzlicher Lufteintrag durch „Nachblasen“ zwischen den Pumpvorgängen ist möglich. Es ist eine fachgerechte Planung und Ausführung der pneumatischen Pumpwerke erforderlich. Ebenso notwendig ist ein Stromanschluss. Es kann zu Lärmbelästigungen durch den Kompressor oder durch Geräusche in der Entspannungsleitung kommen. Die eingeschlossenen Luftpolster können hohe Betriebsdrücke in der Leitung erzeugen. Einsatzbereich sind Druckleitungen. Nach Barjenbruch (2007) zeichnen sich pneumatische Förderungen durch eine sehr gute Wirksamkeit aus. Nach Matsché et al. (2005) beruht die weitgehende Unterbindung der Schwefelwasserstoffproduktion dabei zum einen auf einer Erhöhung der

Sauerstoffkonzentration und zum anderen auf der Entfernung der Sielhaut durch mechanische Reinigungsprozesse.

Beim System Bühler werden durch die eingeleitete Luft Veränderungen der Fließbedingungen und der manometrischen Förderhöhen erzeugt, so dass ein Leistungsnachweis der Pumpen für die veränderten Bedingungen notwendig ist (Matsché et al., 2005).

### Ökonomische Randbedingungen

Im Vergleich mit dem Einsatz von Zusatzstoffen ist der Einbau der genannten Systeme mit höheren Investitionskosten verbunden. Beim System Bühler fallen alle zwei Jahre zusätzlich Kosten durch die erforderliche TÜV-Überprüfung an. Der erhöhte Energieaufwand ist den eingesparten Chemikalienkosten gegenüberzustellen.

Tabelle 7-8: Beeinflussende Faktoren der untersuchten Behandlungsverfahren zur Geruchsbekämpfung (Matsché et al., 2005: S. 82)

Behandlungsverfahren	Zusatzmittel Preis (Gitterbox Tankzug)	Faktoren für Investitionskosten	Faktoren für Betriebskosten	Erforderliche Infrastruktur
Klassische Molchung	-----	Molchschleuse, Molche	Molche Personal	-----
Leca Molchung	135 €/m <sup>3</sup>	Anschluss an der DL	Kanalwagen Personal	-----
Kalk	97 €/t	Anschluss an der DL	Mischanlage Personal	Stromanschluss
Wasserspülung	-----	Anschluss an der DL Pumpe	Strom für die Pumpe	-----
Zeolith	350 €/t	Dosieranlage (Container)	Containermiete Lieferungskosten	Einhausung Stromanschluss
Nutriox	240 €/t	Dosieranlage (Container) unter Sicherheitsvorkehrungen	Containermiete Lieferungskosten	Einhausung/Einfriedung Stromanschluss
Anaerite 263 Hi	790 €/t 400 €/t	Dosieranlage (Container) unter Sicherheitsvorkehrungen	Containermiete Lieferungskosten	Einhausung/Einfriedung Stromanschluss
Donau klar classic Bellair green Bellair green plus	245 €/t 145 €/t 345 €/t 235 €/t 427 €/t 255 €/t	Dosieranlage (Container) unter Sicherheitsvorkehrungen	Containermiete Lieferungskosten	Einhausung/Einfriedung Stromanschluss
Luftspülung (System Bühler)	-----	Kompressor Windkessel Steuerung Luftleitung	Strom TÜV	Einhausung Stromanschluss
Pneumatischer Abwassertransport	-----	Kompressor Abwasserdruckbehälter Steuerung	Strom TÜV	Einhausung Stromanschluss
Biofilter		Biofilteranlage	Filtermaterial	Strom- und Wasseranschluss
Dosierung von Rücklaufschlamm		Pumpe Rücklaufschlammleitung	Strom	

### Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels

Durch einen drastischen Rückgang des Abwasseranfalls, z. B. auch durch demografische Veränderungen, kann es zu verlängerten Aufenthaltszeiten des Abwassers im Kanalisationssystem, der verstärkten Bildung von Ablagerungen und anaeroben Zuständen kommen. Anoxische oder anaerobe Zustände stellen sich insbesondere leicht in Druckleitungen ein. Teilweise weist das Abwasser aber auch in Freigefällekanälen

unzureichende Sauerstoffkonzentrationen auf. Durch den konventionellen Abwassertransport mittels Abwasserpumpen kann nicht genügend Sauerstoff in die Druckleitung eingebracht werden. Der gezielte Sauerstoffeintrag ist geeignet, anaerobe Zustände zu vermeiden oder zu vermindern.

Werden Druckleitungen neu errichtet, ist die Wirtschaftlichkeit des Einbaus einer pneumatischen Förderung oder einer Luftspülung zu prüfen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn konzentriertes Abwasser mit einem hohen Sulfidbildungspotenzial in Leitungen mit geringem Durchmesser gefördert werden soll. In diesen Fällen ist die Anwendung von Druckluft beim Betrieb der Leitungen zu empfehlen. Ein nachträglicher Einbau kommt für die pneumatische Förderung nicht in Frage, während bei dem Verfahren mit Luftspülung auch ein nachträglicher Einbau möglich ist. Beim pneumatischen Abwassertransport ist zusätzlich die Behandlung mit Chemikalien durchführbar (Matsché et al., 2005).

### **Weiterführende Quellen**

Frechen, F.-B. (2008a): Technische und bauliche Maßnahmen zur Bekämpfung von Gerüchen. OdorVision 2008, Rapperswill, 20.06.2008. Universität Kassel, UMTEC. 26 S. Online verfügbar unter: [http://www.umtec.ch/dokumente/dokumente/downloads/presentationen %20OdorVision/06 %20Frechen %20Massnahmen.pdf](http://www.umtec.ch/dokumente/dokumente/downloads/presentationen%20OdorVision/06%20Frechen%20Massnahmen.pdf).

Frechen, F.-B. (2008b): Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen: Grundlagen, Messtechnik, Geruchsemissionspotenzial. Symposium des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin, Berlin, 25.-26.09.2008. Universität Kassel. 42 S. Online verfügbar unter: [http://hrz-vm162.hrz.uni-kas-  
sel.de/web/SiwawiDokumente/pdf/publikationen/vortraege/2008/G\\_Berlin\\_2008-09-26\\_P\\_SD.pdf](http://hrz-vm162.hrz.uni-kassel.de/web/SiwawiDokumente/pdf/publikationen/vortraege/2008/G_Berlin_2008-09-26_P_SD.pdf).

### **7.1.3.3 Abluftfilter für Kanalabluft**

Die möglichen Gründe für Geruchsprobleme im Kanalnetz wurden in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. Eine weitere Möglichkeit, die Geruchsproblematik anzugehen ist der Einsatz von Abluftfiltern im Kanal.

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Belüftungssysteme können auch in Kombination mit Biofiltern oder biologischen bzw. chemischen Wäschern eingesetzt werden. Durch einen Einsatz von Biofiltern mit oder

ohne Zwangsbelüftung wird  $H_2S$  an ein Trägermaterial gebunden, während in Wäschern die Geruchsstoffe absorbiert werden. Biofilteranlagen werden zur Abluftreinigung bzw. zur Vermeidung möglicher Geruchsbelästigungen installiert. Betroffene Anlagenteile werden gezielt abgedeckt und mit einer Absaugung an die Biofilteranlage angeschlossen. Die Abluft wird in einem Reaktionsstank eingeblasen, in dem sich Trägersubstrat (wie Kokosfasern oder Rindenmulch) befindet (Matsché et al., 2005). Je nach Art der Belüftung sind ein Stromanschluss sowie ein Wasseranschluss- und -ablauf erforderlich, da ein definierter Feuchtegehalt des Trägermaterials aufrechterhalten werden muss. Die Handhabung der Biofiltermaterialien ist unkritisch, erfordert jedoch eine regelmäßige Wartung. Für das Trägermaterial geben Barjenbruch/Dohse (2004) eine Standzeit von 2 bis 5 Jahren an. Findet keine Zwangsbelüftung statt, ist auf die Sicherstellung einer ausreichenden Be- und Entlüftung der abwassertechnischen Bauwerke zu achten, außerdem ist eine Verlagerung der Geruchsproblematik auf nachfolgende Schächte möglich (Barjenbruch/Dohse, 2004).

Bei biologischen Wäschern werden der Abluftstrom mit Waschflüssigkeit in Kontakt gebracht und die Geruchsstoffe im Wasser oder auf Füllkörpern biologisch abgebaut. Die Maßnahme ist bei hoher Geruchsstoffkonzentration einsetzbar. Es sind ein Strom- und Wasseranschluss sowie -ablauf und ggf. eine Dosieranlage für Nährstoffe und/oder pH-Regelung erforderlich. Die volumenbezogene Abbauleistung liegt in der Größenordnung der Biofilter. Die relativ kurze Verweilzeit der Abluft in den Wäschern kann eine Nachbehandlung mit anderen Verfahren notwendig machen (Barjenbruch/Dohse, 2004).

Chemische Wäscher absorbieren den Schwefelwasserstoff. Hierbei wird eine Waschflüssigkeit mit Düsen versprüht oder über ein Festbett verrieselt. Auch hier sind Strom- und Wasseranschluss sowie eine Dosieranlage erforderlich. Der Wirkungsgrad ist stark von der Geruchsstoffzusammensetzung und -konzentration abhängig.

Auch durch Filtereinsätze in Schächten kann ein Austreten geruchsbelästigender Stoffe aus dem Kanalnetz verhindert werden. Eine Reduzierung der  $H_2S$ -Konzentration am Kanalnetz ist dadurch nicht möglich. Zum Einsatz kommen können hierbei Formverschlusssysteme (Emissionssperrventil) oder amorphe Abdecksysteme. Die Formverschlusssysteme verhindern einen Austritt von Abluft aus dem Kanal. Da der Schwefelwasserstoff hierbei in der Kanalluft verbleibt, kann hierdurch kein Korrosionsschutz erreicht werden. Der Einsatz ist nur bei ordnungsgemäßer Dachentlüftung sinnvoll. Das so genannte amorphe Abdecksystem verhindert die Ausstrippung von Schwefelwasserstoff und die Schwefelsäurekorrosion in den Pumpwerken oder sonstigen Abwasserbauwerken mit veränderbarem Wasserspiegel (Barjenbruch/Dohse, 2004).

## **Erfahrungen und Probleme**

Anwendungsbeispiele finden sich in (Barjenbruch/Dohse, 2004).

Amorphes Abdecksystem – ([www.unitechnics.de](http://www.unitechnics.de)):

- Betriebserfahrungen liegen seit gut fünf Jahren vor; Wirksamkeit wurde nachgewiesen (Barjenbruch/Dohse, 2004).
- Einsatz in den Landkreisen Stendal, Rügen ;Wittenberg und Nordvorpommern

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Ökonomische Randbedingungen**

Der Einsatz von biologischen und chemischen Wäschern ist in der Regel sehr kostenintensiv und mit hohen verfahrenstechnischen Aufwendungen verbunden. Je nach verfahrenstechnischer Gestaltung der Belüftung fallen zusätzlich Energiekosten oder auch Chemikalienkosten an. Biofilter erfordern zusätzlichen Wartungs- und Überwachungsaufwand. Die Verwendung von Filtereinsätzen ist ebenfalls mit Investitionen aber nur geringen Betriebskosten für die Wartung verbunden (Barjenbruch/Dohse, 2004).

Halbach (2003) gibt für den Einbau einer Biofilteranlage mit ca. 6 m<sup>3</sup> Filtermaterial für ein Zwischenpumpwerk für das Abwasser eines ländlichen Einzugsgebietes, in dem 10.000 Einwohner leben 11,6 TEuro zzgl. Fundamentplatte, Stromzuführung, frostfrei verlegte Wasserzuführung und Umsatzsteuer (USt.) an (Halbach, 2003: S. 36).

### **Ökologische Randbedingungen**

Das Biofiltermaterial kann nach Barjenbruch/Dohse (2004) im Allgemeinen als Bioabfall entsorgt werden.

Beim Einsatz chemischer Wäscher ist auf das Wassergefährdungspotenzial durch die eingesetzten Stoffe sowie entsprechende arbeitsschutzrechtliche Maßnahmen zu achten. Abstimmungen zu Gebrauch, Lagerung und Entsorgung der eingesetzten Stoffe sollten mit der zuständigen Wasserbehörde erfolgen.

## **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Aufgrund der Kostenintensität von biologischen und chemischen Wäschern eignen sie sich nur bedingt zur Kompensation von Geruchs- und Korrosionserscheinungen (Barjenbruch/Dohse, 2004: S. 48-51).



### **Weiterführende Quellen**

Barjenbruch, M.; Lange, G.; Bohatsch, A. (2006): Vermeidung von Geruch- und Korrosion. In: wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik, 10/2006, S. 47-51.

VDI-Richtlinie 3477 (1989).

ATV-DVWK-M 154 (2003).

#### **7.1.3.4 Biologische Kurzzeitbehandlung**

Ein relativ neuer Ansatz zur Geruchsbekämpfung innerhalb der Kanalisation ist die biologische Kurzzeit-Behandlung des Abwassers vor der Förderung in einer Druckrohrleitung. Durch die Reduzierung der Ausgangssubstanzen für die Bildung von geruchsintensiven Schwefelverbindungen kann auf diese Weise die Bildung und Emission von Geruchsstoffen gehemmt werden.

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Durch die kurzzeitige aerob-biologische Behandlung werden vorrangig leicht abbaubare, organische Substanzen abgebaut. Dadurch werden die von den sulfatreduzierenden Bakterien benötigten Substrate limitiert und die Sulfidbildung gehemmt (Freudenthal et al., 2003).

#### **Erfahrungen und Probleme**

In Lübeck wurde eine entsprechende Pilotanlage mit Scheibentauchkörpern errichtet. Dabei konnte die grundsätzliche Funktion des Verfahrens sowie die Eignung des gewählten Reaktortyps für den Einsatz in der Kanalisation ohne mechanische Vorreinigung erfolgreich getestet werden. Betriebsprobleme traten durch Fettablagerungen während der Stillstandszeiten auf. Außerdem erwies sich der Standort der Anlage in den Räumlichkeiten des Pumpwerks als ungünstig, da es bereits vor dem Pumpwerk zu anaeroben Zuständen und Sulfidbildung gekommen war (Freudenthal et al., 2003).

Durch den vorzeitigen Abbau von leichtabbaubaren C-Verbindungen kann es zu negativen Auswirkungen bezüglich Denitrifikation und einer qualitativen Verschlechterung des Primärschlammes bezüglich Faulung/Gasausbeute kommen.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

Aufgrund der kurzen Verweilzeit des Abwassers erfordert die biologische Abwasserbehandlung im Pumpensumpf eines Pumpwerks ein Verfahren mit immobilisierter Biomasse. Hierzu eignen sich Biofilmverfahren, die sich durch hohe Abbauraten bei kurzen Kontaktzeiten auszeichnen. Bei der Wahl des Verfahrens ist auf verstopfungssicheres Trägermaterial zu achten. Der Einbau im Kanal bedingt besondere Anforderungen an Betrieb und Konstruktion der gewählten Technik.

### **Ökologische Randbedingungen**

Vorteile des Verfahrens liegen im Verzicht auf einer Zugabe von Chemikalien oder Hilfsstoffen. Hierdurch können Betriebskosten reduziert und ein zusätzlicher Schlamm-anfall vermieden werden.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Nach derzeitigem Wissensstand kann davon ausgegangen werden, dass die biologische Kurzzeitbehandlung eine Alternative zu den bestehenden chemisch/physikalischen Methoden darstellen kann. Für eine deutliche Reduzierung der Schwefelwasserstoffbildung ist dabei auf eine ausreichende Auslegung der Anlage zu achten. Forschungsbedarf besteht nach Freudenthal et al. (2003) bezüglich der Leistung des Verfahrens bei unterschiedlichen Belastungen der Weiterentwicklung des Antriebssystems und notwendiger Spüleinrichtungen.

Unter dem Gesichtspunkt einer Verschlechterung des C/N-Verhältnisses auf der Kläranlage, ist die biologische Kurzzeitbehandlung kritisch zu prüfen.

#### **7.1.3.5 Planerische Maßnahmen**

Zur Vermeidung von Geruchsproblemen ist folgenden Punkten besondere Beachtung zu schenken (Barjenbruch/Dohse, 2004):

- Orte an denen Abwasser mit geruchsintensiven Stoffen direkt eingeleitet wird (Industrie und Gewerbe); Indirekteinleiterkontrolle,
- Freigefällekanäle mit geringem Gefälle, geringer Teilfüllung und langen Aufenthaltszeiten,
- Stellen mit starker Turbulenz (Richtungs- oder Gefällewechsel, Absturzbauwerke etc.), wenn dort anaerobes Abwasser zufließt,

- Bereiche in denen sulfidhaltiges mit saurem oder warmen Abwasser zusammen fließt,
- Sammelbehälter (Saugräume) in Pumpstationen,
- Dükerober- und –unterhäupter,
- Rückstaubecken sowie
- Ausmündungen von Druckleitungen.

Im Einzelnen betreffen planerische Maßnahmen zur Vermeidung von Geruchsproblemen:

- Planung und Bewertung von Einzelmaßnahmen in bestehenden Systemen,
- Vorbeugende Berücksichtigung geruchsmindernder Maßnahmen in der Planung von Entwässerungssystemen bzw. Geruchspotenzial vermindernde Gestaltung des Entwässerungssystems sowie
- Beschwerde- und Konfliktmanagement bei vorhandenen Geruchsproblemen.

## **Beschreibung der Maßnahmen**

### **Planung und Bewertung von Einzelmaßnahmen in bestehenden Systemen**

Zur Auswahl geeigneter Maßnahmen der Geruchs- und Korrosionsbekämpfung kann das Sulfidbildungspotenzial im Kanalsystem berechnet werden. Matsché et al. (2005) haben eine Auswahl der bekanntesten Berechnungsverfahren zur Abschätzung der Sulfidentwicklung in Druckleitungen zusammengestellt (vgl. Matsché et al., 2005, S.7f). Weitere Hinweise zur Berechnung finden sich auch bei Barjenbruch (2007). Die Eignung der Berechnungsverfahren ist jeweils vor dem Hintergrund der örtlichen Bedingungen zu prüfen. Dabei ist darauf zu achten, dass das Abwasser in Druckleitungssystemen vielfach mit Sulfid vorbelastet ist. Über die ermittelte Sulfidmenge kann der theoretisch erforderliche Chemikalienverbrauch berechnet werden.

Bei der Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten zur Geruchs- und Korrosionsverringern sind Verfahren in Anpassung an die verschiedenen spezifischen örtlichen Randbedingungen in technischer und wirtschaftlicher Art zu bestimmen. Dabei können ergänzend zu theoretischen Überlegungen wie der Berechnung des Sulfidbildungspotenzials, Praxistests hilfreich sein. Nach Barjenbruch (2007) werden derzeit vielfältige neue Produkte und Maßnahmen auf dem Markt angeboten, die einer neutralen Beratung, Erprobung und kritischen Bewertung bedürfen.

### **Vorbeugende Berücksichtigung geruchsmindernder Maßnahmen in der Planung von Entwässerungssystemen**

Über die Planung von Einzelmaßnahmen hinaus ist bei der Konzeption von Entwässerungssystemen, der Festlegung der zu entwässernden Gebiete und der Wahl des Entwässerungsverfahrens bezüglich des Geruchsbildungspotenzials des Systems besondere Beachtung zu schenken. Eine praktische Hilfestellung hierzu liefern Barjenbruch/Dohse (2004). Im Einzelnen können dabei folgende Punkte relevant sein:

- Einflussnahme auf die Entscheidung für eine zentrale oder dezentrale Abwasserentsorgung, um die Kanallängen und/oder Anzahl von Pumpwerken zu begrenzen.
- Reduzierung der Emissionsquellen, beispielsweise durch eine Verringerung der Anzahl von Kleinpumpwerken oder einer Begrenzung der maximalen Aufenthaltszeit – dabei sind die örtlichen Verhältnisse zu beachten, um eine Verschiebung oder Vergrößerung des Problems zu vermeiden.
- Reduzierung auf maximal einen Übergabepunkt mit gezielter Abluftbehandlung sowie Integration von Druckluftspülungen bei Druckentwässerung.
- Vermeidung der H<sub>2</sub>S-Bildung durch aeroben Transport des Schmutzwassers bei Vakuumentwässerung durch Begrenzung der Systemlänge.
- Fachgerechte Dachentlüftung durch gezielte Bewetterung der Kanäle durch Entlüftung der Grundleitung der einzelnen Bauwerke (Einhaltung entsprechender sanitär-technischer Standards).
- Fachgerechter Pumpwerksbau - Grundsätzlich sollten bei aerobem Abwasser, dieser Zustand erhalten und bei anaerobem Abwasser, Turbulenzen vermieden werden (vgl. auch Frechen, 2008a und 2008b – sachgerechter Pumpwerksbau).

### **Gezieltes Beschwerde- und Konfliktmanagement**

Neben betrieblich-technischen Maßnahmen kann für bestehende Systeme beim Auftreten von Geruchsproblemen ein gezieltes Beschwerde-/ und Konfliktmanagement implementiert werden. Hierbei ist u. a. auf eine ausreichende Information und Einbeziehung der Öffentlichkeit zu achten. Hinweise zu Instrumenten einer entsprechenden Informationspolitik finden sich beispielweise in ATV-DVWK M 154 (2002) oder auch in der VDI-Richtlinie 3883. Hier finden sich Hinweise darauf, wie durch die Einbeziehung der Bürger die Ursachenermittlung der Geruchsbildung unterstützt werden kann (Barjenbruch, 2007).

### **Erfahrungen und Probleme**

Planerische Maßnahmen zur Vermeidung von Geruchsproblemen wurden insbesondere von Barjenbruch/Dohse (2004) untersucht. Für Mecklenburg-Vorpommern wurden

für ausgewählte emissionsrelevante Orte verschiedene Maßnahmen im praktischen Einsatz untersucht. Für die Landeshauptstadt Schwerin wurde ein sich über das gesamte Entwässerungssystem der Stadt erstreckender Prioritätenplan zur Geruchsbe-kämpfung entwickelt.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die Einbeziehung der Bürger durch eine entsprechende Informationspolitik und Beschwerdemanagement kann einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten zwischen Bürgern und dem Ver- und Entsorger leisten. Darüber hinaus ist bei der (Neu-) konzeption von Entwässerungssystemen, der potenziellen Entstehung von Geruchsbelästigungen – auch durch Berücksichtigung von Prognosen der Entwicklung der Bevölkerungszahlen, der spezifischen Trinkwasserverbräuche und der Siedlungs- und Verkehrsfläche – besondere Beachtung zu schenken. Entsprechende geruchsmindernde Maßnahmen wie die Integration von Einrichtungen zur Belüftung des Abwassers sind bereits bei der Konzeption des Entwässerungssystems, in die Planungen zu integrieren.

#### **7.1.3.6 Zusammenfassende Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Prinzipiell sind an den im vorangegangenen Kapitel genannten Orten innerhalb des Entwässerungssystems eine problematische Geruchsbildung sowie Korrosion unabhängig von demografischen Veränderungen möglich. Lange Fließstrecken, geringe Fließgeschwindigkeiten und eine Überdimensionierung von Kanalsystemen durch rückläufige Bevölkerungszahlen sowie abnehmende spezifische Trinkwasserverbräuche, vergrößern die Aufenthaltszeiten des Abwassers im Kanal, begünstigen die Entstehung von Ablagerungen und anaeroben Zuständen und erhöhen somit das Geruchsbildungs- und Korrosionspotenzial. Punktuell können besonders in Flachgebieten erhebliche Geruchsbelästigungen im Bereich der Kanalisation entstehen, wo Abwasserkanäle mit sehr kleinen Neigungen gebaut werden müssen. Hier finden sich außerdem oft Druckentwässerung und Übergabestellen aus Drucksystemen in Freispiegelleitungen, wo besonders günstige Bedingungen für die Freisetzung von Geruchsstoffen herrschen (Freudenthal et al. 2003). Die potenziell vermehrt auftretenden Geruchs- und Korrosionserscheinungen können mit den beschriebenen Maßnahmen kontrolliert oder zumindest ausreichend reduziert werden. Sie sind jedoch mit zusätzlichen Betriebs- und Investitionskosten verbunden und erhöhen damit die spezifische Kostenbelastung der Nutzer des Abwasserentsorgungssystems.

Die einzelnen Maßnahmen weisen signifikante Unterschiede hinsichtlich Wirkungsgrad, Kosten, Einsetzbarkeit und Nebenwirkungen auf. Die Wahl geeigneter Maßnahmen oder auch Maßnahmenkombinationen muss sich nach den lokalen Verhältnissen richten. Alternative Möglichkeiten sollten in Betracht gezogen und einer detaillierten Bewertung unterzogen werden.

Betrieblich- technische Maßnahmen wie die Zugabe von Chemikalien zeigen eine gute Wirksamkeit und lassen sich auch in bereits bestehende Entwässerungssysteme integrieren. Dies gilt auch für Abluftfilter. Andere Maßnahmen wie die Installation von Belüftungseinrichtungen und Behandlungsanlagen im Kanal können nur bedingt nachgerüstet werden und sollten bereits bei der Planung der abwasserwirtschaftlichen Anlagen an besonders gefährdeten Punkten Berücksichtigung finden. Darüber hinaus ist bereits bei der Planung des Entwässerungssystems, dem Zusammenhang zwischen Systemgestaltung und –nutzung und der daraus resultierenden potenziellen Geruchs- und Korrosionsbelastung vorbeugende Beachtung zu schenken. Durch eine Einbeziehung betroffener Bürger können Konflikte vermieden und die Bürger in die Ursachenermittlung bestehender Geruchsbelästigungen einbezogen werden.

Langfristig sollten unter finanziellen Gesichtspunkten, bei einem zunehmenden Auftreten von Korrosions- und Geruchserscheinungen alternative bzw. konstruktive Maßnahmen, d. h. Änderungen am Kanalnetz, in Erwägung gezogen werden, da die Geruchsbekämpfung zu erheblichen Betriebsaufwendungen führt.

## **7.2 Nutzung freier Kapazitäten im Kanalnetz**

### **7.2.1 Kanalnetzsteuerung**

Vor dem Hintergrund der klimatischen und demografischen Veränderungen, die sich in vermehrten Starkregenereignissen und zurückgehenden Trockenwetterabflüssen manifestieren können, bietet die Kanalnetzsteuerung eine Möglichkeit des hydraulischen Ausgleichs für das Kanalnetz, für die Kläranlage und für das Gewässer.

Die Einführung bzw. Optimierung einer Kanalnetzsteuerung zielt auf eine bessere und gleichmäßigere Ausnutzung von Speicherräumen der Abwasserinfrastruktur durch die aktive Bewirtschaftung des Kanalsystems mittels einer geeigneten Steuerstrategie (Lange et al., 2006) ab. Folglich können notwendige bauliche Maßnahmen zur Anpassung sowie Entlastungserscheinungen reduziert werden. Durch die Vergleichmäßigung des Zulaufs zur Abwasserbehandlungsanlage kann deren Betriebsführung verbessert werden. Das Ziel einer Abflusssteuerung kann weiterhin sein, Abwasserströme so zu

regulieren bzw. zu lenken, dass sie in bestimmten Kanalabschnitten eine Spülwirkung erzielen.

### **Beschreibung der Maßnahme**

Zielgerichtete Eingriffe in die laufenden Abfluss- und Speichervorgänge von Entwässerungssystemen werden nach Schilling (2000) (zitiert in Erbe (2006)) als Kanalnetzbewirtschaftung oder Abflusssteuerung bezeichnet. Synonym finden die Begriffe Kanalnetzsteuerung, Echtzeitsteuerung (RTC – Real time control), online Betrieb oder auch operationaler Betrieb Verwendung (Erbe, 2006). Zur Reduktion der qualitativen Gewässerbelastung wird die Bewirtschaftung von Kanalnetzen in vielen Städten großtechnisch eingesetzt. Dabei basieren die meisten Steuerungskonzepte auf einer Reduzierung der Entlastungsmengen (Erbe, 2006). Die meisten Steuerungseingriffe beschränken sich auf lokale Maßnahmen. Üblich ist eine abfluss- oder füllstandsabhängige Drosselsteuerung mit beweglichen Schiebersystemen.

Als Eingangsgrößen für die Abflusssteuerung werden Messungen des Wasserstands und/oder Durchflusses im Kanalnetz sowie optional Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet benötigt. Teilweise erfolgt eine Vorhersage des Abflussverhaltens durch eine Online-Simulation, die bei großen Systemen auf einer Radarmessung der Niederschläge und der Vorhersage des zukünftigen Niederschlagsverhaltens aufbauen kann. Mittels Optimierung oder regelbasierten Systemen werden die jeweiligen Stellgrößen für die Regeleinrichtungen, wie z. B. Pumpen, bewegliche Wehre, Schieber etc. ermittelt, um Speichervolumen im Kanalnetz zu aktivieren und Abwasser zurückzuhalten. Dies wiederum führt zu einer Reduzierung der Entlastungsmengen bzw. –frachten.

Die Abbildung von Kanalnetzen in Modellen wird auf unterschiedliche Weise durchgeführt. Entweder werden detaillierte hydrodynamische Modelle erstellt oder das Kanalnetz wird durch ein einfaches hydrologisches Modell abgebildet. Die hydrologische Abbildung von Kanalnetzen hat in Deutschland eine lange Tradition. Allerdings können diese Modelle im Gegensatz zu dynamischen Modellen besondere hydraulische Situationen, wie z. B. Rückstau, nicht oder nur unzureichend abbilden.

### **Erfahrungen und Probleme**

In Deutschland werden die Möglichkeiten einer Kanalnetzsteuerung als Verbundsteuerung nur von wenigen Kanalnetzbetreibern genutzt (Lange et al., 2006). Die integrierte Simulation von Kanalisation, Kläranlage und Fließgewässer hat sich aufgrund der Komplexität von Modellen der Abwasserentsorgung bisher nicht als allgemeines Hilfsmittel zu Analyse und Management von Stadtentwässerungssystemen durchgesetzt (Schindler et al., 2007; HSGSim, 2008). Komplexe Steuerungskonzepte unter Berück-

sichtigung aller Systeme der Abwasserentsorgung (Kanalnetz – Kläranlage – Gewässer) wurden bisher nur im Rahmen weniger Einzelvorhaben im Forschungs- und Entwicklungsbereich implementiert. Die sinnvolle Nutzung dieser Technologie stößt derzeit auf wesentliche gesetzliche Hürden, da alle Teilkomponenten des Systems genehmigungsrechtlich in vielen Bundesländern noch als Einzelanlagen betrachtet werden.

Für die Umsetzung von Steuerungskonzepten in der Siedlungswasserwirtschaft ist eine solide Datenbasis erforderlich, die nur selten vorhanden ist. Dennoch sind Potenzial und Nutzen einer Abflusssteuerung prinzipiell positiv zu bewerten (Grüning, 2008). Grundsätzlich ist jedes Gesamtentwässerungssystem bestehend aus den Komponenten „Kanalnetz – Kläranlage – Gewässer“ unter Berücksichtigung der gebietsvariablen Niederschlagscharakteristik steuerungswürdig. Tools zur Modellierung und Simulation stehen zur Verfügung. Im Folgenden werden ausgewählte Praxisbeispiele angeführt.

Tabelle 7-9: Überblick über verschiedene Praxisbeispiele zur Maßnahme Kanalnetzsteuerung

	Leipzig (KWL)	Dresden (Stadtentwässerung Dresden)	Wien (Fuchs et al. 2007)
Beschreibung	Kanalnetzsteuerung als Verbundsteuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokal automatisierte Anlagen zur Mischwasserrückhaltung und –behandlung inkl. Datenübertragung zur zentralen Leitwarte</li> <li>• Erarbeitung automatisierter Steuerungsbefehle durch hydrodynamisches Steuerungsmodell zur Bewirtschaftung vorhandener Kanäle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Echtzeitsteuersystem</li> </ul>
Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überlastung der zentralen KA bei Starkregenereignissen</li> <li>• Aktivierung von 40.000 m<sup>3</sup> Einstauvolumen</li> <li>• Reduzierung der Mischwasserentlastungen um 30 %</li> <li>• Begrenzung des Zuflusses auf 13.000 m<sup>3</sup>/h für zentrales Klärwerk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Mischwasserentlastung</li> <li>• Reduzierung der mittleren Emissionsfracht bei Regenüberlauf von 507 kg CSB/ha auf unter 250 kg CSB/ha befestigter Fläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimierung der Mischwasserüberläufe durch Stauraumkanäle</li> <li>• Vergleichmäßigung der Zulaufmengen zur HauptKA</li> <li>• autom. Spülungen zur Reduzierung von Ablagerungen</li> </ul>
Zeitliche Angaben	Bau und Planungszeitraum: seit 2000 in Bau (1996 erste Studie zur Kanalnetzsteuerung)	Bau und Planungszeitraum: 1995- 2006	Bau und Planungszeitraum: 2001- 2005



	Leipzig (KWL)	Dresden (Stadtentwässerung Dresden)	Wien (Fuchs et al. 2007)
Ökonomische Angaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkosten: 12 Mio. €</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtkosten: 40 Mio. €; davon 1,4 Mio. € für Software und Voruntersuchung</li> <li>• Einsparung zu konventioneller baul. Anpassung: 60 Mio. €</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Mischwasserentlastungsmengen um 30 %</li> <li>• max. 50 % bei vollständiger Umsetzung erreichbar</li> </ul>
Probleme, Besonderheiten, Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbundsteuerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbundsteuerung</li> <li>• vollautomatischer Betrieb</li> <li>• keine Zunahme von Ablagerungen in aufgestauten Kanälen erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbundsteuerung</li> <li>• Verzögerungen bei Aufbau und Inbetriebnahme des Messsystems</li> <li>• Verzögerungen bei Fertigstellung von Steuereinrichtungen</li> </ul>

Weitere Praxisbeispiele finden sich im Wasserverband Eifel-Rur (Lange et al., 2008) sowie in Bremen (Broll-Blickhardt, 2004). Zur Förderung einer breiteren Umsetzung der Abflussteuerung im regulären Betrieb, hat die Arbeitsgruppe „Abflussteuerung in Kanalnetzen“ der DWA eine Planungshilfe und das DWA-Merkblatt M180 erstellt. Für die Modellierung und dynamische Simulation von Teilsystemen in der Abwassertechnik und deren Zusammenspiel sind verschiedene Software-Produkte verfügbar.

## Randbedingungen und Hemmnisse

### Technische Randbedingungen

Die Implementierung einer Kanalnetzsteuerung erfordert Detailkenntnisse zum Entwässerungssystem und vorhandenen Messeinrichtungen sowie zum Einzugsgebiet und den vorhandenen Gewässern. Darüber hinaus ist eine Kalibrierung empfehlenswert.

Zur Datengewinnung sind an wichtigen Punkten im Abwassernetz Messsonden bzw. Messaufnehmer zu installieren (Grüning, 2008). Zudem bedarf es einer Einbindung der Daten in ein dafür vorgesehenes, betriebliches Steuerungssystem. Für eine optimierte Regulation des Abwasserabflusses sind neben der Datenverarbeitung auch die technischen Steuerungselemente anzupassen. Dies betrifft besonders Drosseleinrichtungen im Kanalnetz.

Neben dem klassischen Steuerungsaspekt des Volumenausgleichs (gleichmäßiges Füllen aller Becken und Stauräume) bieten Photometersonden bisher ungenutzte Möglichkeiten der Gewässerentlastung durch kontinuierliche Qualitätsidentifikation mit Feststoff- oder auch Mehrparameter sonden. Kontinuierliche Parametermessungen

(Photometersonden) stellen nach Grüning, H., 2008, künftig einen wesentlichen Baustein für eine immissionsorientierte (gewässerbezogene) Verbundsteuerung dar.

Die erforderlichen Daten zur Planung und zum Betrieb von Entwässerungssystemen zeichnen sich durch hohe Komplexität aus. Zu Beginn der Planungen ist eine stetig wachsende Datenvielfalt zu beherrschen, was sowohl ingenieurtechnische als auch IT-Kenntnisse erfordert. Die Verfügbarkeit geeigneter und realistischer Messdaten stellt eine Grundvoraussetzung für eine breite Anwendung gesteuerter Systeme dar. Die Messeinrichtungen sind einer regelmäßigen Wartung durch das Betriebspersonal zu unterziehen. Teilweise ist die Installation von redundanten Mess- und Steuerungsorganen in Betracht zu ziehen bzw. eine Steuerstrategie zu wählen, auf die auch bei Ausfall oder Störung einzelner Bauwerke bzw. Messeinrichtungen zurückgegriffen und eine ausreichende Entwässerung sichergestellt werden kann (Lange et al., 2006).

### **Ökonomische Randbedingungen**

Grundsätzlich können sich durch den Einsatz von Kanalbewirtschaftungssystemen Kosteneinsparungen, beispielsweise durch eine Reduzierung baulicher Anpassungsmaßnahmen an Regenentlastungsanlagen, ergeben. Die Bewertungstabelle des Merkblattes DWA-M 180 (DWA, 2006) liefert eine erste Grobeinschätzung zu Aufwand und Nutzen der jeweiligen Maßnahmen. Häufig kann aber bereits durch eine Optimierung der vorhandenen Steuerungselemente eine Verbesserung des Abflussverhaltens erreicht werden (Grüning, 2008). Aus diesem Grund ist für den Nachweis der Effizienz einer Steuerung grundsätzlich eine Optimierung der Drosselabflüsse oder Wehrschwellen vorzunehmen. Allein damit ist oftmals bereits eine maßgebliche Systemoptimierung erreichbar (Grüning, 2008).

### **Ökologische Randbedingungen**

Hauptziel der Bewirtschaftung ist die Reduzierung der Entlastungsfrachten. Jedoch basiert die Konzeption der meisten Steuerungssysteme auf einer Betrachtung der Entlastungsmengen und einer Steuerung nach den gemessenen Abflüssen und oder Wasserständen. Die Auswirkungen der Abflussteuerung auf die Kläranlage bleiben in der Regel unberücksichtigt. Dabei könnte nach (Fuchs et al., 2003) durch den integrierten Betrieb von Kanalnetz und Kläranlage die Gewässerbelastung deutlich reduziert werden.

Im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie werden darüber hinaus immissionsorientierte Betrachtungsweisen an die Einleitung von Abflüssen aus Siedlungsgebieten erforderlich. Traditionell erfolgt die Bewertung der Anforderungen an die Einleitung von Abflüssen aus Siedlungsgebieten emissionsorientiert (HSGSim,

2008). Hinweise zur Planung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen nach dem Emissions- und Immissionsprinzip liefert das Arbeitsblatt DWA-A 100 (DWA, 2007). Das System sollte auch bei Ausfall der Steuerung so leistungsfähig sein wie vor Umsetzung des Bewirtschaftungskonzeptes (Lange et al., 2006).

### **Soziale Randbedingungen**

Die Komplexität der Systeme und damit der Anforderungen an die Steuerung erfordern eine entsprechend hohe Qualifikation des Betriebspersonals sowie dessen Bereitschaft zur aktiven Auseinandersetzung mit dem jeweiligen System vor Ort und den potenziellen Reserven des bestehenden Systems. Darüber hinaus ist eine rechtzeitige Einbeziehung und Information der Anwohner erforderlich, da viele Gebäude nicht über die erforderlichen Rückstausicherungen verfügen.

### **Rechtliche Randbedingungen**

Das Bewirtschaftungskonzept einer Kanalnetzsteuerung bedarf einer Abnahme bzw. Genehmigung der Aufsichtsbehörde (Lange et al., 2006). Eine enge Zusammenarbeit mit der Behörde bereits zu Beginn der Planungen sollte angestrebt werden. Das Konzept sollte transparent darstellbar sein und die Ausfallsicherheit bei Versagen von Steuer- und Messeinrichtungen dokumentieren. Die Möglichkeiten der Simulation der Dynamik von Steuerungseingriffen ist derzeit begrenzt und damit auch die Möglichkeit einer Kontrolle und Nachweisführung der Steuerungseingriffe. Damit verbundene Bedenken eines möglichen Versagens der Steuerung z. B. bei Systemüberlastungen erschweren die Genehmigungsfähigkeit gesteuerter Systeme.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Durch den demografischen Wandel aber auch durch Klimaveränderungen wird die Betriebsführung von Entwässerungsanlagen maßgeblich beeinflusst. Durch einen Rückgang der Abwassermenge erscheinen Kanalisationen zunehmend unterausgelastet, während durch den Klimawandel die Entlastungshäufigkeit in Mischsystemen zunimmt. Konventionelle Handlungsoptionen sind in der Regel bauliche Maßnahmen. In vielen Fällen bestehen jedoch Kapazitäten in Mischsystemen, die häufig nicht genutzt werden (können). Eine dynamische Kanalnetzsteuerung ist eine Möglichkeit, diese Reserven besser auszulasten. Zudem kann durch eine gezielte Abflusssteuerung der Betrieb des Kanalnetzes verbessert werden.

Das Verfahren der Kanalnetzsteuerung eignet sich bedingt zur Kompensation der Auswirkungen des demografischen Wandels in Entsorgungssystemen, in denen lokale

Unterauslastungen auftreten. Durch die gezielte Steuerung des Abwasserabflusses kann in diese Abschnitte mehr Abwasser umgeleitet werden, um beispielsweise Ablagerungen zu vermeiden. Durch eine effiziente Ausnutzung aller Speicherkapazitäten können zudem weitere Anpassungsmaßnahmen auch im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung vermieden werden. Die Abflussteuerung kann, auch unabhängig von den Auswirkungen des demografischen Wandels, als potenzielles Instrument zur Verbesserung des Betriebes der Abwasserinfrastruktur verstanden werden. Grundsätzlich ist das Instrument der Kanalnetzsteuerung erst ab einer bestimmten Kanalnetzgröße sinnvoll einsetzbar.

### **Weiterführende Quellen**

- Oberlak, M.; Kirchheim, N.; Scheer, M.; Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Hrsg. (2006): Abflussteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz. Tagungsband. Zentrum für Umweltkommunikation Osnabrück. Darmstadt: 2006.
- Seggelke, K. et al. (2009): Fuzzybasierte Regelung des Mischwasserzuflusses. Großtechnische Untersuchung zur Integration von Kanalnetz und Kläranlage. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (2009) (56) Nr. 2; S. 144 ff.
- Seggelke, K.; Rosenwinkel, K.-H. (2004): Integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage. Möglichkeiten durch das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198. In: KA-Abwasser, Abfall 2004 (51), Nr. 8.
- Pirsing, A., Rosen, R., Obst, B.; Montrone, F. (2006): Einsatz mathematischer Optimierungsverfahren bei der Abflussteuerung in Kanalnetzen, GWF Wasser Abwasser.
- ATV-DVWK Merkblatt M 165 Anforderungen an Niederschlags- Abflussberechnungen in der Siedlungsentwässerung (ATV DVWK, 2004).
- BWK Merkblatt 3 (2004): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagseinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse (BWK, 2004).
- Entwurf des BWK-Merkblattes M7 zur detaillierten Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3 (BWK, 2007).
- Leitfaden für das Erkennen ökologisch kritischer Gewässerbelastungen durch Abwassereinleitungen in Hessen (HMULV, 2004a) + Begleitband mit Anwendungsbeispielen (HMULV, 2004b).

ATV-DVWK Arbeitsblatt A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen (ATV, DVWK, 2003).

ÖWAV Regelblatt 19 Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen (ÖWAV, 2007).

Schweizer VSA Richtlinie Regenwasserentsorgung (VSA, 2002).

VSA Richtlinie Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter – STORM (VSA, 2007).

Schmitt, T. G.; Thomas, M. (2005): Spezielle Fragestellungen beim Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit großstädtischer Entwässerungssysteme. In: KA-Abwasser, Abfall 2005 (52) Nr. 7.

## **7.2.2 Regenwassermanagement**

In die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen der Abwasserinfrastruktur müssen, neben dem Rückgang der Abwassermenge, aufgrund des weiterhin zunehmenden Flächenverbrauchs bzw. der Zunahme der pro Person zu entwässernden Fläche auch ein verstärkter Anfall und die Nutzung von Regenwasser mit einbezogen werden. Die Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten kann konventionell durch Ableitung des Regenwassers über Trenn- oder Mischsysteme oder alternativ über Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung erfolgen. Neue Entsorgungskonzepte setzen im Sinne der Regenwasserbewirtschaftung folgendes voraus:

- Abkopplung versiegelter Flächen im Rahmen einer Regenwasserbewirtschaftung,
- De- oder semizentrale Aufbereitung und Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser oder nach entsprechend weitgehender Aufbereitung und Hygienisierung als Pflegewasser,
- dezentrale Speicherung und Nutzung von Regenwasser als Kanalspülwasser sowie
- Einsatz von Druck- und Vakuumentwässerung in Zusammenhang mit einer Umstellung von Misch- auf Trennsystem.

### **7.2.2.1 Abkopplung versiegelter Flächen**

Für eine Abkopplung vom Gesamtnetz eignen sich größere abflusswirksame Flächen von Bebauungen wie beispielsweise die von Industrie- oder Gewerbeflächen, öffentlichen Einrichtungen (z. B. Schulen) oder auch Verkehrsflächen (Becker/Wesels, 2007). Das anfallende Regenwasser kann, soweit es nicht verschmutzt ist, im Gegensatz zur konventionellen Niederschlagswasserentsorgung, dezentral abgeleitet oder versickert werden. Darüber hinaus ist eine Regenwasserbewirtschaftung in Neubaugebieten in

Betracht zu ziehen. Bei bestehenden Siedlungsstrukturen ist eine Änderung der Entwässerung oft schwierig umzusetzen aber unter bestimmten Voraussetzungen durchaus als vorteilhaft zu erachten.

Eine Möglichkeit der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ist die Versickerung. Diese wird in der Praxis z. B. über Flächen-, Mulden-, Rohr-, Rigolen-, Schacht- oder Beckenversickerung realisiert. Daneben kann anfallendes Regenwasser auch in ein ortsnahes Gewässer eingeleitet werden. Gegebenenfalls sind hierfür Retentionsräume zu schaffen (Wolf/Milojevic, 2003). In Abhängigkeit der Bebauungsstruktur ergeben sich unterschiedliche Abkopplungspotenziale versiegelter Flächen. Unter normalen Randbedingungen kann von durchschnittlich 10 bis 30 % abkoppelbarer Fläche ausgegangen werden (Wolf/Milojevic, 2000).

In Kombination mit anderen Maßnahmen in Richtung eines Netzumbaus oder einer Verfahrensänderung auf der Kläranlage vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, kann die Abkopplung versiegelter Flächen eine notwendige Maßnahme sein.

### **Weiterführende Quellen**

Becker, M.; Wessels, K. (2007): Das Bewirtschaftungssystem Regenwasser – Ein GIS Portal für die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in der Emscherregion. 2007. Korrespondenz Abwasser/Abfall (54), Nr. 6, S. 589-594.

Hillenbrand, T.; Böhm, E. (2004): Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen im Bereich der Regenwasserbehandlung und -bewirtschaftung. Korrespondenz Abwasser/Abfall (51), Nr. 8, S. 837-844.

Sieker, F.; Sieker, H.; Zweynert, U.; Schlottmann, P. (2009): Konzept für bundeseinheitliche Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung. UBA-Umweltbundesamt 2009. Texte Nr. 19/2009.

Sieker, F.; Schlottmann, P.; Zweynert, U. (2007): Ökologische und ökonomische Vergleichsbetrachtung zwischen dem Konzept der konventionellen Regenwasserentsorgung und dem Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. UBA-Umweltbundesamt 2007. Texte Nr. 19/2007.

### **7.2.2.2 Regenwassernutzung**

Die dezentrale Regenwassernutzung ist in diesem Zusammenhang als ergänzende Maßnahme zu werten.

Sind in Arealen, in denen eine Regenwasserbewirtschaftung einsetzbar ist, ungenutzte Kanalabschnitte der Abwasserinfrastruktur vorhanden bzw. werden Kanalabschnitte frei, so wäre eine Nutzung dieser als Speichervolumen denkbar. Gebunden ist dies an die bauliche und hygienische Eignung des Teilabschnitts als Sammelbehälter. Die Reinigung des zwischengespeicherten Regenwassers, für eine Nutzung als Brauchwasser, kann beispielsweise mit einer Membranfiltration durchgeführt werden. Anschließend wird das gereinigte Wasser in das Brauchwassernetz der Haushalte eingespeist. Hierfür ist in den entsprechenden Gebäuden ein separates Netz für das gereinigte Brauchwasser zu installieren (Koziol et al., 2006a: S. 99) Genutzt werden kann das Brauchwasser z. B. für die Toilettenspülung oder zur Gartenbewässerung.

Bei quartiersbezogener Sammlung und Speicherung sind eine Bewässerungsnutzung im öffentlichen Raum (z. B. Energiepflanzen) oder die Bereitstellung von Löschwasser denkbar.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Eine Abnahme der Abwassermenge führt je nach spezifischen Randbedingungen entweder zu nachteiligen hydraulischen Verhältnissen in Entwässerungsnetzen oder aber auch zu einer gewinnbringenden hydraulischen Entlastung, mit dem positiven Effekt, auch querschnittverringende Sanierungsverfahren einsetzen zu können. Außerdem kommt es an dieser Stelle zu Interessenkonflikten mit Unternehmen der Trinkwasserversorgung.

Unabhängig von den demografischen Veränderungen, kann es zunehmend zu Starkregenereignissen kommen, die vermehrt zu Entlastungserscheinungen in zentralen Mischwassersystemen führen. Aus planerischer Sicht ist diesen Erscheinungen unter anderem mit baulichen Maßnahmen entgegen zu wirken. Eine Alternative zur Erweiterung/Anpassung von Entlastungsbauwerken und Abwasserkanälen besteht in der Erweiterung der Regenwasserbewirtschaftung. Durch eine Abkopplung von versiegelten Flächen können die Kapazitätsanpassungen am Kanalnetz reduziert werden und Entlastungserscheinungen bei Regenereignissen besser kompensiert werden. Dies führt wiederum zu einer Abnahme der Emissionen in das Kanalnetz (Becker/Wessels 2007).

Ein sinnvolles Regenwassermanagement ist die Voraussetzung für viele ökologisch und ökonomisch sinnvolle Umbaumaßnahmen, die als Reaktion auf demografische Veränderungen ergriffen werden. Daneben ist es mit Blick auf klimatische Veränderungen unabdingbar, sich der Regenwasserthematik anzunehmen.

Vordergründig dient eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung der Entlastung des Entwässerungsnetzes sowie der Reduzierung von Überflutungserscheinungen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Oberflächenableitung von Regenwasser für die Gestaltung der lokalen Umgebung zu nutzen. Durch eine, nicht nur rein funktionell, sondern auch optisch ansprechende Gestaltung von oberirdischen Wasserläufen oder -flächen, kann das Landschafts- oder Stadtbild von bestimmten Arealen nachhaltig aufgewertet werden (Rudolph/Balke, 2000; Staben 2008: S. 44).

### **7.2.3 Nutzung frei werdender oder stillgelegter Entwässerungsanlagen**

#### **7.2.3.1 Speichervolumen für Kanalspülwasser**

Die Kombination von freiwerdenden Kapazitäten im Kanal, MSR-Technologien und Kanalnetzsteuerung sowie die klimatischen und demografischen Randbedingungen (ansteigende Starkregenereignisse und rückgängige Trockenwetterabflüsse) lassen die Überlegung zu, dezentral Regenwasser zu speichern, um es im Trockenwetterfall gezielt als Spülwasser abfließen zu lassen. Damit können sich Synergieeffekte aus den Notwendigkeiten des Regenwasserrückhalts und des häufigeren Spülens in Trockenwetterperioden ergeben.

Neben der Nutzung als Regenwasserbecken, könnten frei werdende Kanalabschnitte auch als Speicherraum für Regenwasser mit der anschließenden Verwendung zur Kanalreinigung in Form einer Schwallspüleinrichtung fungieren. Die abgetrennten Kanalabschnitte dienen dabei als dezentrale Speicherkammern für das erforderliche Spülwasser. Für eine Nutzung frei werdender Abwasserkanäle als Speichervolumen zur Schwallspülung müssen diese mit entsprechenden Rückhalte- bzw. Spülsystemen, wie Spülklappen o.ä., nachgerüstet werden (Dettmar 2005: 64ff). Die Entleerung der Speicherkammer, also die eigentliche Schwallspülung, wird im Trockenwetterfall durchgeführt. Für eine dauerhafte Reduzierung von Ablagerungen erfolgt dies in, regelmäßigen Abständen, mehrmals jährlich. Eine notwendige Randbedingung für die Umnutzung stillgelegter Kanalteile zur Schwallspülung ist, wie bei allen Schwallspüleinrichtungen zur Kanalreinigung, die Lage oberhalb von Kanalabschnitten des Abwassernetzes, deren Funktionsfähigkeit potenziell durch Ablagerungen gestört ist bzw. gestört werden kann.

#### **7.2.3.2 Kopplung mit anderen Infrastrukturnetzen**

Neben den alternativen Nutzungen von Abwasserkanälen als bleibender Teil der Abwasserinfrastruktur, ist auch eine medienübergreifende Bewirtschaftung der Entwässe-



rungsanlagen in Betracht zu ziehen. Die Möglichkeit der Kopplung mit anderen leitungsgebundenen Infrastrukturen begründet sich durch den Aufbau von Kanalnetzen der Abwasserentsorgung. Bei zentralen Entwässerungssystemen handelt es sich um verzweigte Netze, die in einem Entsorgungsgebiet meist flächendeckend vorhanden sind (Kluge et al., 2003). Da die Errichtung eines separaten Netzes leitungsgebundener Medien in Erdbauweise mit hohen Kosten verbundenen ist, liegt die Überlegung nahe, Abwasserkanäle für die Erschließung eines bestimmten Gebietes mit diesen Medien (mit-) zu nutzen.

Bedingung einer medienübergreifenden Bewirtschaftung der Abwasserkanäle sind die platztechnischen Anforderungen der zu installierenden Infrastrukturen. Wesentlich ist dabei, ob die Infrastrukturen in frei werdenden oder noch genutzten Abwasserkanälen untergebracht werden sollen. Eine Sparte, die sich aufgrund ihrer geringen Größenanforderungen besonders gut für eine Installation in noch genutzten Kanalabschnitten eignet, sind Telekommunikationskabel (Internet, Telefon). Gerade in diesem Bereich gibt es aufgrund der technischen Entwicklung und der Konkurrenz zwischen den einzelnen Unternehmen, große Anstrengungen hinsichtlich der Errichtung und Ausweitung eigener Netze (Kluge et al., 2003: A24). In der Praxis werden bereits heute Telekommunikations- bzw. Glasfaserkabel durch Abwasserkanäle geführt. Dabei werden die Kabel am Scheitel des Kanals mittels Spannschellen/Brieden-, Dübel- oder Klebebettverfahren angebracht, wobei der Kanal eine Nennweite  $> DN 250$  aufweisen sollte (Stein 2003: S.118ff). Der Abwasserkanal übernimmt bei einer solchen medienübergreifenden Kopplung die Funktion einer Produktrohrleitung. Diese ist in ihrem Betriebszustand nicht voll gefüllt und kann daher für andere Medien genutzt werden. Neben Telekommunikationskabeln können aber auch Infrastrukturen wie Wasser- oder Druckluftleitungen in teilgefüllten Abwasserkanälen installiert werden. Voraussetzung dafür ist ein ausreichender Innendurchmesser des Kanals, damit die Funktion der Abwasserentsorgung nicht beeinträchtigt wird. Ist der entsprechende Kanal allerdings häufig von Überstauereignissen betroffen, ist eine Mitnutzung durch andere Medien ausgeschlossen (Stein, 2003: S.120).

Erheblich mehr Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich bei der medienübergreifenden Bewirtschaftung frei werdender bzw. ungenutzter Entwässerungsanlagen. Hier kann der komplette Innenraum des Abwasserkanals verwendet werden. Dies setzt allerdings eine ausreichend statische Tragfähigkeit sowie einen ausreichenden baulichen Zustand/ ausreichende Restnutzungsdauer voraus. Kapazitäten für eine Nutzung durch andere Ver- und/oder Entsorgungsstrukturen entstehen durch die Stilllegung von Kanalabschnitten des Entwässerungssystems im Rahmen von Stadtumbaustrategien (vgl. Kapitel 3.2.3.1). Der Abwasserkanal übernimmt bei einer solchen Umnutzung die alleinige Funktion eines Mantelrohres oder Leitungskanals zum Schutz der in ihm verlau-

fenden Infrastrukturleitungen gegenüber der äußeren Belastung (Stein, 2003: S. 106). In Abhängigkeit der Größe können Leitungen oder Kabel unterschiedlicher Infrastrukturen in dem Abwasserkanal untergebracht werden. Dabei ist zwischen begehbaren und nicht begehbaren Kanälen zu unterscheiden. Neben den genannten Leitungen für Telekommunikation oder Wasser können auch Stromkabel sowie Abwasser-, Gas- oder Fernwärmeleitungen in ungenutzten Kanälen installiert werden (Stein, 2003: S. 117). Zu beachten ist, dass ältere Kanäle der Abwasserentsorgung in der Regel nur selten eine ausreichende Dichtigkeit gegenüber Fremdwasser aufweisen. Aus diesem Grund sollten bei einer Weiternutzung von Kanalabschnitten als Mantelrohre bzw. Leitungskanäle ohne Verfüllung des Innenraums, Sanierungsmaßnahmen getroffen werden, um ein Eindringen von Fremdwasser in den Innenraum zu vermeiden. Wird der Innenraum nach der Installation der Infrastrukturleitungen verfüllt, kann ein Eindringen von Fremdwasser zwar verhindert werden, allerdings sind in den entsprechenden Kanalabschnitt keine Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten mehr möglich.

Die Kopplung mit anderen Infrastrukturnetzen kann eine sinnvolle Möglichkeit der Umnutzung vorhandener Abwasserkanäle sein. Zu berücksichtigen sind dabei aber die bautechnischen Anforderungen. Wird das Entwässerungsnetz konventionell weiter betrieben, ist eine flächendeckende Erschließung mit den genannten Ver- und Entsorgungsstrukturen unter Nutzung stillgelegter Kanäle in den meisten Fällen nicht realisierbar. Im Falle einer Neukonzipierung des Netzbestandes mit Änderung und Errichtung eines neuen Entwässerungssystems (Druck- oder Vakuumentwässerung) würden jedoch mehr nutzbare Kapazitäten frei werden.

## **7.3 Innovative Maßnahmen Kanal**

### **7.3.1 Vakuumsysteme als Alternative zur konventionellen Kanalsanierung**

Rückgängige Bevölkerungszahlen und damit verbundene rückgängige Abwassermengen erzeugen einen Kostendruck, der gerade auch bei fälligen Sanierungsmaßnahmen deutlich wird. Entscheidende Fragen dabei sind die zukünftige notwendige Dimensionierung der Kanäle unter den Randbedingungen von Demografie- und Klimawandel und die damit verbundenen Entscheidungen für ein zukunftsfähiges Sanierungsverfahren (z. B. Inliner, Neubau, Rohr in Rohr). Vakuumsysteme bieten gerade angesichts solcher Unsicherheiten eine Möglichkeit flexibel zu reagieren und Möglichkeiten für zukünftige Veränderungen offen zu halten.

### **Beschreibung der Maßnahme**

Kernstück des Vakuumsystems ist eine zentral angeordnete Unterdruckstation, die in dem angeschlossenen Rohrleitungsnetz einen Unterdruck von mind. 0,3 bar erzeugt. Die Unterdruckstation besteht im Wesentlichen aus einem Vakuumentank, den Abwasserpumpen und den Vakuumpumpen, die Luft aus dem Tank und dem angeschlossenen Rohrleitungsnetz saugen und somit den Unterdruck im gesamten System aufrecht erhalten.

Das häusliche Schmutzwasser wird im Stauraum des Hausanschlussschachtes gesammelt. Bei einer definierten Füllstandshöhe im Stauraum öffnet das Ventil und saugt das Abwasser gemeinsam mit einer Portion Luft ab. Der Schacht bildet somit die Übergabestelle zwischen konventioneller Gebäudeentwässerung und dem Vakuumsystem.

### **Erfahrungen und Probleme**

Vakuumsysteme sind Stand der Technik und seit Jahren auch in der Abwasserwirtschaft im Einsatz. Ein Umbau des Kanalnetzes vom Freigefälle zu Druck- oder Unterdrucksystem kann unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle Maßnahme sein. Begünstigende Randbedingungen sind zum Beispiel hohe Grundwasserstände, Gefälle und Gegengefälle oder eine geringe Siedlungsdichte.

Die relativ kleineren Schmutzwasserleitungen der Unterdrucksysteme können ggf. im bestehenden Kanal verlegt und dieser weiterhin zur Regenwasserableitung genutzt werden. Stratmann und Zang (2008) belegen die wirtschaftliche Umsetzbarkeit anhand eines Praxisbeispiels.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Im Unterdrucksystem müssen alle Aggregate so abgeschirmt werden, dass die zulässige Schallimmission nicht überschritten wird. Der Betrieb einer Vakuumanlage bedarf, ebenso wie ein Drucksystem, eines geregelten Wartungsplans, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten.

Aus Unterdrucksystemen kann kein Wasser austreten, so dass eine Verlegung in besonders schutzwürdigen Gebieten (z. B. Wasserschutzgebiet) möglich ist.

### **Ökonomische Randbedingungen**

Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit kommen für diese Maßnahme z. B. zu sanierende Leitungen in Frage, die vom demografischen Wandel stark betroffene,

dünn besiedelte aber zusammenhängende Gebiete entwässern und durch starke betriebliche Probleme hinsichtlich Ablagerungen, Geruch oder Korrosion auffallen.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandel**

Die Umwidmung eines Freigefällekanals in ein Vakuumsystem kann eine sinnvolle und wirtschaftliche Alternative zur Kanalsanierung sein. In Praxisbeispielen konnte die Kosteneffizienz gegenüber herkömmlichen Kanalsanierungsmaßnahmen belegt werden (vgl. Stratmann/Zang, 2008). Vakuumsysteme lassen sich gut an etwaige Entwicklungen anpassen und sind daher gerade bei hoher Unsicherheit bezüglich der Einwohnerzahlen eine praktikable Lösung.

Ein Vakuumsystem bietet eine Möglichkeit, mit gegenüber herkömmlicher Kanalsanierung relativ geringen Investitionskosten das vorhandene Entwässerungssystem den örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Die Flexibilität des Systems, die gefälleunabhängige Verlegung, der durch den Unterdruck im System gegebene Grundwasserschutz und die geringen Leitungsdurchmesser stellen die wichtigsten Vorteile dieses Systems dar. Bei entsprechenden Randbedingungen sind Variantenbetrachtungen unter Berücksichtigung des Vakuumsystems durchzuführen.

Eine Variante, die bei einer anstehenden Kanalsanierung untersucht werden kann, ist die Nutzung des bisherigen Freigefällekanals als Leerrohr für die Schmutzwasservakuumleitung. Der Freigefällekanal kann ggf. weiterhin zur Regenwasserableitung genutzt werden.

### **7.3.2 Abwasserwärmenutzung**

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels ist Abwasserwärmenutzung im Sinne der im Kapitel 7.5 beschriebenen Idee einer „Kompetenzzentrale Energie“ als eine neues Geschäftsfeld für Abwasserentsorger zu verstehen. Sie bietet mithin die Möglichkeit, unter Nutzung vorhandener Anlagen (Kanalabschnitte) neue Einnahmequellen zu erschließen und dadurch einen Teil des durch rückgängige Bevölkerungszahlen zurückgehenden Gebührenaufkommens ohne Gebührenerhöhung aufzufangen.

### Beschreibung der Maßnahme

Der Primärenergiebedarf für die Warmwasserbereitung beträgt jährlich bundesweit ~300 PJ<sup>48</sup> (Statistisches Bundesamt, 2008). Nach der Nutzung fließt das erwärmte Wasser in die Kanalisation. Die Abwassertemperatur beträgt ganzjährig 10-15°C. Mittels Wärmetauschern kann dem Abwasser thermische Energie entzogen werden. Als kommerzielle Wärmetauschersysteme gibt es im Kanalrohr verlegte Rinnenwärmetauscher oder externe Doppelrohr- oder Plattenwärmetauscher, die im Bypass zum Kanal angeordnet sind. Eine nachgeschaltete Wärmepumpe bringt die dem Abwasser entzogene Wärme auf ein höheres, z. B. für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau. Je tiefer das Temperaturniveau der Wärmebezieher (Niedertemperaturheizung), desto effizienter können Wärmepumpen arbeiten.

Die Wärme kann zur Raumheizung genutzt werden oder zum Vorerwärmen des zufließenden Wassers. Auch eine Schwimmbadbeheizung ist eine geeignete Anwendung. Aufgrund der gleichmäßigen Temperatur des Abwassers kann die Wärmepumpe im Sommer auch zur Kühlung genutzt werden (Komfortklimaanlagen; DBU, 2005; DBU, 2009).

Von Kruse et al. (2004) und Rometsch (2004) wurden erste Potenzialstudien für Deutschland erarbeitet. Schaaf und Schröder (2008) überschlagen das deutschlandweite Potenzial ausgehend von einer Studie aus Nordrhein-Westfalen (Rometsch, 2004), laut der sich auf 70.000 km Kanal ein Potenzial von 340 MW ergibt. Bei jährlichen 5.000 Betriebsstunden (Winter und Übergangszeit) und einer Jahresarbeitszahl<sup>49</sup> (JAZ) von 4 beträgt das Potenzial übertragen auf Deutschland 36 PJ<sub>th</sub>/a bei einem Aufwand von 9 PJ<sub>el</sub>/a. Bei der Trinkwassergewinnung besteht ebenfalls ein technisches Potenzial von 4 PJ<sub>th</sub>/a bei einem Aufwand von 1 PJ<sub>el</sub>/a.

Wird das System zum Heizen und Kühlen verwendet, könnten sich deutlich mehr Betriebsstunden ergeben. Außerdem ist in Zukunft wahrscheinlich mit einer Erhöhung der JAZ zu rechnen. Die Abwasser-Abwärmenutzung hat demnach ein großes Potenzial als regenerative Wärmequelle.

---

48 1 PetaJoule = 1 Billiarde = 10<sup>15</sup> Joule.

49 Die so genannte Jahresarbeitszahl (JAZ) gibt das Verhältnis der über das Jahr abgegebenen Heizenergie zur aufgenommenen elektrischen Energie des Wärmepumpenheizungssystems an.

## Erfahrungen und Probleme

In Deutschland gibt es Pilot- und Demonstrationsprojekte für die Abwasserwärmenutzung, aber es fehlen flächendeckende Potenzialstudien oder Energiekarten (Kobel, 2008). In der Schweiz wird die Technologie bereits kommerziell eingesetzt und es werden inzwischen mehr als 70 Anlagen betrieben. Die Abwasserwärmenutzung gilt als Stand der Technik (Gutzwiller et al., 2008). Das EU-Projekt „WasteWaterHeat“ hat einen Katalog von Praxisbeispielen zusammengestellt, der unter der Projekt-Internetseite einsehbar ist.<sup>50</sup>

## Randbedingungen und Hemmnisse

Systeme zur Abwasserwärmenutzung arbeiten heute schon wirtschaftlich bei räumlicher Nähe zu einem geeigneten Kanal (angeschlossene Einwohneranzahl: 3000-5000, Trockenwetterabfluss: mind. 15 l/s) und einer hohen Wärmedichte. Geeignete Nutzer sind Wohnkomplexe, Krankenhäuser, Schulen, öffentliche Gebäude oder Sportstätten (Kobel, 2008; Gutzwiller et al., 2008; Staben, 2008). Aufgrund der großen Abwasservolumenströme genügt oft ein Wärmeentzug von wenigen Kelvin pro m<sup>3</sup> und i. d. R. gibt es keine Beeinträchtigung im Betrieb der Kläranlage (Schmid-Schmieder 2009). Es existieren Planungsleitfäden, wie viel thermische Energie im Einzelfall entzogen werden kann, ohne die Betriebssicherheit zu gefährden (Buri/Kobel, 2004; DWA, 2009). Nach DBU (2005 und 2009) verursacht die Abwasserwärmenutzung mittels Wärmepumpen etwa 60 % weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen als Ölheizungen und etwa 10 % weniger als Gasheizungen mit Brennwertkessel. In Erdgas versorgten Gebieten (und auf Kläranlagen) kann die Wärmepumpe mit einem BHKW kombiniert werden, wodurch sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz nochmals verbessert (DBU 2005 und 2009; Kobel, 2008).

Die Realisierung von Projekten zur Abwasserwärmenutzung erfordert eine intensive Zusammenarbeit zwischen den Bauträgern, den Betreibern von Kläranlage und Kanalisation und der Gemeinde. Spezifische gesetzliche Regelungen zur Wärmenutzung aus Abwasser sind in Deutschland weder im kommunalen Satzungsrecht noch im Wasserrecht enthalten (im Gegensatz zur Wärmenutzung aus Grundwasser, Flüssen und Seen). Allerdings bedürfen „sonstige Abwasseranlagen“ einer Genehmigung. Daher empfiehlt die DBU, jedes Projekt bei der zuständigen Wasserbehörde anzuzeigen. Der Bauträger kann die Realisierung selbst in die Hand nehmen oder einen Contractor suchen, der Planung, Finanzierung, Bau und Betrieb übernimmt (DBU, 2009).

---

<sup>50</sup> Es gibt auch eine deutsche Version unter [http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/bp\\_catalogue\\_070321.pdf](http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/bp_catalogue_070321.pdf).

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die bei einer Abwasserwärmenutzung notwendigen Investitionen für Wärmetauscher und ggf. Wärmepumpe sowie Versorgungsnetz (warme oder kalte Fernwärme) erschweren die Umsetzung entsprechender Maßnahmen. Negative Wechselwirkungen ergeben sich auch bei einer Abnahme der Wärmedichte durch den demografischen Wandel, die sich generell negativ auf die Wirtschaftlichkeit von Fernwärmesystemen auswirkt.

Allerdings können durch die Anforderungen einer alternden Bevölkerung (verstärkt durch Wellness-Trend und Klimawandel) neue Wärme- und besonders auch Kälteabnehmer entstehen, wie bspw. altersgerechte Schwimmbäder und Sportstätten, klimatisierte Begegnungsräume und Wohnheime. Ein anderer Ansatzpunkt ist die Umsetzung dieser Techniken bei Anpassungen von Kanalkapazitäten an verringerte Abwassermengen. Bei dann notwendigen Querschnittsverringeringen oder Kanalsanierungen bietet die Abwasserwärmenutzung eine ggf. günstige Möglichkeit zur regenerativen Energienutzung und stellt im Rahmen des EEWärmeG eine sinnvolle Wärmequelle dar. Für Abwasserentsorger kann die Erschließung eines solchen neuen Geschäftsfelds eine zuverlässige Einnahme-Quelle sein.

Auch auf den Kläranlagen kann die Nutzung der Abwasserwärme interessant sein, besonders wenn durch Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades der Biogas-Verwertung weniger Wärme zur Verfügung steht. Dem Ablauf der Kläranlage kann deutlich mehr Wärme entzogen werden als dies vor der Anlage möglich ist (Voraussetzung für die biologische Stufe ist eine Mindesttemperatur des Abwassers). Ein Wärmeentzug im Ablauf hätte sogar ökologische Vorteile für das empfangende Gewässer (geringere thermische Belastung, besseres Sauerstoffangebot). Der Ablauf enthält keine Feststoffe, deshalb gibt es weniger Probleme mit Fouling der Wärmetauscher. Aber Kläranlagen liegen meistens außerhalb von Siedlungen und sind daher als Ausgangspunkt für Fernwärme oft ungeeignet. Es fehlen praxistaugliche Wärmenutzungskonzepte für Kläranlagen, um dieses Potenzial nutzbar zu machen. Eine Möglichkeit wäre die gezielte Ansiedelung von Wärmeverbrauchern im Umfeld von Kläranlagen (bspw. Schwimmbäder, Gewächshäuser, Trocknungsanlagen o. a.).

Bei günstigen Randbedingungen wie hohe Wärmedichte, geeignete Wärmeabnehmer, ohnehin fällige Kanalsanierung oder Querschnittsverringering (Einbau von Trockenwetterinnen) bietet sich die Abwasserwärmenutzung als eine ökologisch vorteilhafte, erneuerbare Wärmequelle an. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der einge-

schränkten Rückbaufähigkeit spielen jedoch die lokalen Randbedingungen eine entscheidende Rolle.

### **Weiterführende Quellen**

[http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/01076/01077/index.html?lang=de&dossier\\_id=01693](http://www.bfe.admin.ch/infrastrukturanlagen/01076/01077/index.html?lang=de&dossier_id=01693)

<http://www.infrastrukturanlagen.ch/page6.html>

<http://www.wastewaterheat.net/>

[http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/bp\\_catalogue\\_070321.pdf](http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/bp_catalogue_070321.pdf)

## **7.4 Betriebliche Maßnahmen Kläranlage**

### **7.4.1 C/N-Verhältnis**

Durch einen verringerten Abwasserabfluss kommt es in zentralen Kanalisationssystemen zu längeren Stand- und Fließzeiten des Abwassers. Dadurch kann es vermehrt zu einem Abbau der im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe kommen. Ein solcher Abbau von organischen Substanzen im Abwasserkanal führt zu einem schlechteren C/N-Verhältnis im Abwasser und kann damit negative Auswirkungen auf die Denitrifikationsleistung der biologischen Behandlungsstufe haben. Kohlenstoff (C) wird bei der Denitrifikation zum Abbau von Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) zu molekularem Stickstoff (N) benötigt. Eine Abnahme der Kohlenstoffkonzentration im Abwasser führt folglich zu einem verminderten Abbau von Nitrat. Als Konsequenz müssen der Denitrifikation entweder Kohlenstoffquellen (C-Quellen) zudosiert werden, um ein besseres C/N-Verhältnis herzustellen oder die Denitrifikationskapazitäten müssen ausgeweitet werden (Amend et al., 2000: S. 9).

Eine Erhöhung des C/N-Verhältnisses ist dabei durch folgende Maßnahmen möglich:

- Einsatz interner oder externer C-Quellen  
alternativ: Nutzung von Küchen- und Kantinenabfällen (Amend et al., 2000)
- Umfahren oder Verkleinerung der Vorklärung
- Reduzierung der Belüftung des Sandfangs sowie
- Lastabhängige Beschickung/MSR.



### 7.4.1.1 Zugabe externer C-Quellen

#### Beschreibung der Maßnahme

Bei C/N-Verhältnissen kleiner 4 nach Amend et al. (2000) bzw. kleiner 2,5 nach Winkler (2008) sollten der Denitrifikation externe C-Quellen zugesetzt werden. Als externe C-Quellen können dabei folgende Stoffe eingesetzt werden:

- (intern) hydrolysiertes Primärschlamm
- industriell hergestellt: Methanol, Ethanol, Acetat, Acetol 20, Acetol 100, Essigsäure sowie
- industrielle Reststoffe: aus der Getränkeindustrie und Molkereien, Molkepulver, Abwässer aus Backwaren- und Eisproduktion, Brauereiabwässer.

#### Randbedingungen und Hemmnisse des Einsatzes herkömmlicher externer C-Quellen

##### Technische Randbedingungen

Zur Gewährleistung eines möglichst vollständigen Reinigungsprozesses müssen die externen C-Quellen überstöchiometrisch zudosiert werden (Bever, J., Stein, A. & Teichmann, H., 2002). Die externen C-Quellen sollten sich darüber hinaus durch einen geringen Substratbedarf, gute Verfügbarkeit, gleichmäßige Zusammensetzung, geringe bzw. keine Verunreinigungen, einen niedrigen Preis und einfache Handhabung auszeichnen.

Beim Einsatz von hydrolysiertem Primärschlamm ist der Eintrag von zusätzlichem Stickstoff möglich.

##### Ökonomische Randbedingungen

Die eingesetzten externen C-Quellen zeichnen sich durch gute und schnelle Wirksamkeit aus. Ihr Einsatz ist z. T. jedoch mit erheblichen Kosten verbunden. Dies gilt insbesondere für die Verwendung von Acetat, Acetol20. Für Methanol gibt das Landesumweltamt NRW (2005) (jetzt: Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz) beispielsweise Kosten von 200 € pro m<sup>3</sup> bzw. 0,2 € pro Liter an.

##### Weiterführende Quellen

Scheer, H.; Schlegel, S. (2008): Betriebliche Optimierung unterbelasteter Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser/Abfall (55), Nr. 12. S. 1314-1322.

Herbst, H.-B. (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Dissertation. Technische Hochschule Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen.

Fuchs, L.; Schneider, F. (2007): Studie Mischwasser Stadt Wilhelmshaven - Ergebnisse der Schmutzfrachtsimulationen, Vergleich von Handlungsoptionen. In: [http://www.web-whv.de/data/Praesentation\\_itwh\\_Stand\\_10\\_04.pdf](http://www.web-whv.de/data/Praesentation_itwh_Stand_10_04.pdf).

Thaler, S. (2003): Argumente gegen den Einsatz von Küchenabfallzerkleinerern. Korrespondenz Abwasser/Abfall (50), Nr.5. S.606-606.

#### **7.4.1.2 Verkleinerung der Vorklärung**

##### **Beschreibung der Maßnahme**

Längere Verweilzeiten aufgrund eines geringeren Abwasseranfalls können zu einem erhöhten Abbau organischer Substanzen führen. Durch eine Reduzierung der hydraulischen Aufenthaltszeit kann der Vorabbau organischer Substanz ggf. reduziert werden. Mögliche Maßnahmen zur Verminderung des Vorabbaus in der Vorklärung sind z. B.

- Eine Verkürzung der Verweilzeit des Abwassers im Vorklärbecken. Dies kann durch Reduzierung der Beckenwasserspiegelhöhe infolge einer Reduzierung der Höhe der Ablaufrinnen erreicht werden (Scheer/Schlegel, 2008).
- Bei Rechteckbecken lässt sich die Größe der Vorklärung auch durch Abtrennung eines Beckenbereiches verringern. Abgetrennte Beckenbereiche können z. B. einer alternativen Nutzung zur Erweiterung der Denitrifikationskapazitäten zugeführt werden.
- Auch ein Umfahren der Vorklärung ist denkbar. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von Feinstsiebanlagen in Kombination mit Siebgutwasch- und -pressanlagen erfolgen (Universität für Bodenkultur Wien, 2009. Mechanische Abwasserreinigung. Vorlesungsskript. In: [http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H81/H811/Skripten/811352/811352\\_04\\_SO.pdf](http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H811/Skripten/811352/811352_04_SO.pdf)).

##### **Erfahrungen und Probleme**

Sofern ein großer Anteil des Kanalnetzes im Mischsystem gebaut ist, können sich die Aufenthaltszeiten in der Vorklärung bei Starkregenereignissen als zu kurz erweisen. Für diese Fälle müssen Beckenvolumina vorgehalten werden.

Anwendungsbeispiele finden sich in der angegebenen weiterführenden Literatur.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Technische Randbedingungen**

Die Möglichkeiten des Umfahrens oder Verkleinerns der Vorklärung sind abhängig von der konstruktiven Gestaltung der Abwasserbehandlungsanlage. Dies gilt auch für die Möglichkeit der Vergrößerung des Denitrifikationsvolumens durch Nutzung freier Beckenvolumina.

#### **7.4.1.3 Reduzierung der Belüftung im belüfteten Sandfang**

##### **Beschreibung der Maßnahme**

Längere Verweilzeiten des Abwassers im Sandfang bei gleichbleibender Belüftung führen zu einem verstärkten Abbau organischer Stoffe und damit zu einer weiteren Verschlechterung des C/N-Verhältnisses. Nach Scheer/Schlegel (2008) kann die Belüftungsintensität auf  $0,5 \text{ Nm}^3/(\text{m}^3\text{xh})$  reduziert werden. Die Reduzierung der Belüftung kann insbesondere im Auslaufbereich des Sandfangs durchgeführt werden oder hier sogar vollständig abgeschaltet werden, ohne die Rotationsbewegung zu beeinflussen (Mitsdoerffer/Christ, 2008).

##### **Erfahrungen und Probleme**

Anwendungsbeispiele finden sich in der angegebenen weiterführenden Literatur.

##### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Bei einer Reduzierung der Belüftungsintensität kann die Anpassung oder der Austausch von Gebläsen und Motoren sowie der Einsatz von Absperrorganen notwendig werden (Mitsdoerffer/Christ, 2008; Kläranlage der Stadt Stadtlohn, 2005). Bei Sandfängen in mehrstraßiger Ausführung ist zur Verkürzung der Verweilzeiten auch ein wechselweiser Betrieb der einzelnen Sandfänge möglich. Auf eine Sicherstellung des Betriebs im Regenwetterfall ist auch hierbei zu achten.

Durch eine Reduzierung der Sandfangbelüftung können darüber hinaus Energiekosten eingespart werden.

##### **Weiterführende Quellen**

UBA (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Texte des Umweltbundesamtes 11/08. Dessau-Roßlau. 226 S.

#### 7.4.1.4 Lastabhängige Beschickung / MSR-Technologien

##### Beschreibung der Maßnahme

Die reduzierte Verfügbarkeit leicht abbaubarer organischer Abwasserinhaltsstoffe beeinträchtigt die Denitrifikation. Zur Gewährleistung des erforderlichen Nitratabbaus ist eine Erweiterung der Denitrifikationskapazitäten erforderlich. Bei einer vorgeschalteten Denitrifikation kann die Denitrifikationskapazität durch die Einführung einer intermittierenden Belüftung im Bereich der Nitrifikation erhöht werden. Hierdurch wird der Verbrauch von Kohlenstoffverbindungen bei der Nitrifikation reduziert, so dass diese für die Denitrifikation zur Verfügung stehen (Scheer/Schlegel, 2008). Die Belüftung im Belebungsbecken wird bei der intermittierenden Belüftung entsprechend der Zulaufkonzentration betrieben oder ausgesetzt. Der Betrieb erfolgt als oxisches, anoxisches und anaerobes Becken. Zur Regelung von Belüftungsintensität und –zeiten ist nach Karner et al. (2003), der Einsatz neuer MSR-Technik erforderlich. Der Einsatz von MSR-Technik ermöglicht eine verbesserte Erfassung und Bestimmung verfahrenstechnischer Parameter. Zum Einsatz können hierbei Fuzzy-Logic oder Fuzzy-Pattern-Regler, neuronale Netze sowie  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Sonden kommen (Steinmetz, 2006).

##### Erfahrungen und Probleme

Aus den bisherigen Erfahrungen zum Einsatz einer intermittierenden Belüftung in Kombination mit neuer MSR-Technik lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Nach Steinmetz (2006) ist eine Reduzierung der Ablaufwerte von  $N_{\text{ges}}$  zwischen 31 % und 60 % bei gleichzeitiger Einsparung von Belüftungsenergie zwischen 10 % und 25 % möglich.
- Karner et al. (2003) konnten an einem Beispiel eine Reduzierung der Ablaufwerte von  $N_{\text{ges}}$  um 31,5 % bei gleichzeitiger Erhöhung der P-Elimination um 12 % und Reduzierung des Fällmittelbedarfs um 9 % aufzeigen.
- Der Einsatz einer intermittierenden Belüftung in Kombination mit neuer MSR-Technik ist nach Martens et al. (2005) für alle Kläranlagengrößen anwendbar.
- Eine beeinträchtigte Denitrifikationsleistung aufgrund eines ungünstigen C/N-Verhältnisses kann durch eine intermittierende Belüftung behoben und die Ablauffergebnisse können verbessert werden.

##### Randbedingungen und Hemmnisse

Bauliche und technische Voraussetzungen für eine intermittierende Belüftung sind, das Vorhandensein von Rührwerken (bei simultaner Nitrifikation/Denitrifikation bereits vor-

handen) (Scheer/Schlegel, 2008) und von abschaltbaren Belüftungsaggregaten (keine Keramikbelüfter) (UBA, 2008) in den entsprechenden Becken.

### **Zusammenfassende Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Ein verschlechtertes C/N-Verhältnis bzw. die hiermit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Denitrifikationsleistung der biologischen Behandlungsstufe können durch den Einsatz externen C-Quellen gut beherrscht werden. Allerdings sind mit ihrem Einsatz z. T. erhebliche Kosten verbunden. Eine Verkleinerung der Vorklärung oder die Reduzierung der Sandfangbelüftung führen je nach konkreten Bedingungen vor Ort zu verringerten Aufwendungen oder sogar Einsparungen bei den Energiekosten. Es können hierfür jedoch auch bauliche Anpassungen erforderlich werden. Entsprechendes gilt für die Einrichtung einer intermittierenden Belüftung in Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration. Der Einsatz der genannten Maßnahmen sowie deren Kombination ist verfahrenstechnisch und wirtschaftlich für jede Kläranlage separat zu bewerten. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen eines verschlechterten C/N-Verhältnisses auf die Betriebsprozesse der Kläranlage gut beherrschbar sind.

Die dynamische Simulation zur Abbildung der Prozesse in Belebungsanlagen ist insbesondere bei komplexen Anlagen ein anerkanntes und verbreitetes Instrument zur Optimierung der Betriebsführung und wird zur Beurteilung des Einflusses geänderter Zulaufbelastungen auf die Reinigungsleistung eingesetzt. Sie liefert Informationen zur Planung strategischer Maßnahmen für den Betrieb der Anlage. Dabei kann die Optimierung der Betriebsführung (einschließlich der Gebläse oder Kohlenstoffdosieranlagen) eine Alternative zum Aus- bzw. Umbau von Kläranlagen darstellen. Je nach Einzelfall können auf diese Weise die betrieblichen Aufwendungen optimiert und unnötige Investitionen vermieden werden. Der hiermit verbundene Einsatz von MSR-Konzepten erfordert ein hohes verfahrenstechnisches Verständnis der abwassertechnischen Zusammenhänge und Know-How beim Einsatz der Regel- und Steuertechnik. Prinzipiell sind entsprechende Verfahrenstechniken für alle Kläranlagengrößen einsetzbar. Die Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Maßnahmen ist für jeden Einzelfall (u. a. abhängig von der Kläranlagengröße) zu bewerten.

## **7.5 Energiemanagement**

Ein effektives Energiemanagement ist vor dem Hintergrund steigender Energiekosten und unter klimaökologischen Gesichtspunkten angeraten. Die demografischen Veränderungen führen darüber hinaus zu einem steigenden Kostendruck, der eine Senkung der Betriebskosten trotz eventuell notwendiger Investitionskosten auch wirtschaftlich

interessant werden lässt. Die Energiekosten machen einen nicht unerheblichen Teil der Betriebskosten aus (i. d. R. etwa 10 %) und bilden damit einen effektiven Ansatzpunkt zur Kostensenkung auf Kläranlagen.

Das Energiemanagement umfasst die Steigerungen von Energieeffizienz und Eigenenergieerzeugung. Durch das Energiemanagement dürfen die primären Ziele der Abwasserreinigung nicht eingeschränkt werden.

### 7.5.1 Steigerung der Energie-Effizienz auf Kläranlagen

Die Energieeffizienz wasserwirtschaftlicher Anlagen wird derzeit verstärkt thematisiert: Es gibt umfangreiche Studien zu Energieverbrauch und Effizienzpotenzialen u. a. aus NRW (MUNLV NRW, 1999), Rheinland-Pfalz (MUFV Rh-Pf., 2007) und Bayern (Jung, 2009).

Die IVU-Richtlinie<sup>51</sup> und die nationale Umsetzung im Wasserhaushaltsgesetz (WHG)<sup>52</sup> nennt unter anderem auch Energie-Effizienz als Kriterium für die Abwasserbehandlung nach dem Stand der Technik (UBA, 2008).

In einer Studie des UBA von 2008 „Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ werden Ziel- und Toleranzwerte für Kläranlagen definiert (UBA, 2008). Demnach liegt der durchschnittliche Stromverbrauch der 10.200 kommunalen Kläranlagen in Deutschland, bezogen auf Einwohnerwerte (EW) bei 35 kWh/(EW\*a). Bezogen auf 126 Mio. angeschlossenen EW in Deutschland ergibt sich demnach ein Wert von 4.410 GWh/a. Aufgrund unterschiedlicher Verfahrenstechniken und lokaler Randbedingungen ist eine einheitliche Definition von Ziel- und Toleranzwerten schwierig. Für kleine Anlagen (<5.000 EW) ist die Streuung des Stromverbrauchs höher, obwohl generell ähnliche Werte erzielt werden können. Der (optimistische) Zielwert liegt bei 18 kWh/(EW\*a) (für GK 3-5), was einer Energieeffizienz-Steigerung um 50 % entsprechen würde (UBA, 2008).

Der größte Energieverbraucher auf Kläranlagen ist in der Regel die Belüftung für die aerobe Belebungsstufe (Steinmetz, 2008). Allerdings bedeutet ein hoher Verbrauch

---

51 Die IVU-Richtlinie ist eine EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU, engl. Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC), die 1996 in Kraft trat, Besonders umweltrelevante, neue Industrieanlagen müssen die besten verfügbaren Techniken (BVT) anwenden.  
<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/ivu-richtlinie.htm>.

52 Wasserhaushaltsgesetz WHG Anhang 2 zu § 7a Abs. 5, online verfügbar unter  
<http://www.gesetze-im-internet.de/whg/index.html>  
[http://www.gesetze-im-internet.de/whg/anhang\\_2\\_99.html](http://www.gesetze-im-internet.de/whg/anhang_2_99.html).

nicht unbedingt ein hohes Einsparpotenzial. In der Praxis ist für eine deutliche Steigerung der Energie-Effizienz die Umsetzung einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen notwendig. Durch Feinanalysen für einzelne Anlagen können spezifische Einsparpotenziale offengelegt werden.

### 7.5.1.1 Übersicht

Einen guten Überblick über Möglichkeiten der besseren Energieausnutzung auf Kläranlagen liefern die Studien MUNLV NRW (1999), MUFV Rh.Pf, (2007) und UBA (2008). Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz der Abwasserableitung und -behandlung sind danach:

- **Belüftung:**
  - die richtige Auswahl, Beaufschlagung und Anordnung der Belüfterelemente;
  - Trennung von Umwälzung und Belüftung
  - die effektive Art der Belüftungsregelung (NH<sub>4</sub>-Regelung, Kaskaden);
  - die optimal eingestellte Sauerstoffkonzentration: übliche Sauerstoffkonzentrationen im Belebungsbecken liegen zwischen 1,5 und 2 mg/l. Höhere Sauerstoffkonzentrationen erhöhen die Umsatzrate der Nitrifikanten nur geringfügig, die benötigte Luftmenge steigt aber signifikant an (vgl. MUFV Rhld-P., 2007);
  - die Reduzierung der Belüftung des Sandfangs – hier ist ggf. ein weiterer Vorteil, dass ein vorzeitiger Kohlenstoffabbau reduziert werden kann;
  - Anpassung des Schlammalters (TS<sub>BB</sub>) an den tatsächlichen Bedarf im Jahresgang. Ein hohes Schlammalter verbraucht unnötig viel Energie (Belüftung, Pumpenergie) und führt darüber hinaus zu einem verminderten oTR-Gehalt (mit entsprechend verminderter Gasausbeute).
- **Rührwerke:**
  - Wahl von Langsamläufern mit bedarfsgerechter Leistung;
  - Intervallbetrieb (in belüfteten Beckenbereiche, bzw. während der belüfteten Phase reicht der Sauerstoffeintrag i. d. R. zur Umwälzung aus (vgl. MUFV Rhld-P., 2007);
  - Optimierung der Anstellwinkel der Schaufeln;
  - gemäß MUNLV NRW (1999) sollte der spezifische Energieeintrag zur Umwälzung des Belebtschlammes bei 1,5-2 W/m<sup>3</sup><sub>BB</sub> liegen.
  - Optimierung der Beckengeometrie
- **Pumpen (siehe auch Hunze):**
  - Effiziente Laufräder, regelmäßige Wartung,

- Verminderung von Kreislaufführung (z. B. Reduzierung des Rücklaufschlammverhältnisses RV),
- Verminderung von Abstürzen und örtlichen Druckverlusten.
- **Sonstiges:**
  - Getrennte Zwischenspeicherung und/oder Behandlung von Konzentraten (Prozesswasser, etc.), z. B. in stillgelegten Becken.

Neben den betrieblichen Maßnahmen können auch verfahrenstechnische Umstellungen große Energieeffizienz-Potenziale in sich bergen, bspw. Tropfkörper statt Belebungsbecken (UBA, 2008), Außerbetriebnahme von Becken, Umstellung von aerober auf anaerobe Klärschlammstabilisierung (Mitsdörffer/Christ, 2008) oder eine Verfahrensumstellung auf eine anaerobe Behandlung des Abwassers (vgl. Kapitel 7.7.3). Nach Keicher et al. (2004: S. 120) sind Verfahrenskonzepte der Abwasserreinigung mit geringem Energiebedarf noch unzureichend erforscht.

Verfahren wie Deammonifikation oder eine grundsätzliche Umstellung der Verfahrenstechnik werden im Kapitel 7.8 vorgestellt.

### 7.5.1.2 Praxisbeispiele

Von MUFV Rhld-P. (2007) wurden anhand von konkreten Beispielkläranlagen die folgenden Maßnahmen als wesentlich identifiziert:

Modellkläranlage Speyer: Optimierungen an Hebewerken, Reduzierung des Sauerstoffeintrages und der Rührwerksleistung in der biologischen Stufe, Reinigung der Belüftungselemente, Einbau effizienterer Pumpen und Verbesserung der Auslastung des Blockheizkraftwerkes.

Modellkläranlage Bad Ems: Außerbetriebnahme eines Beckens der biologischen Reinigungsstufe, Abschaltung der Rührwerke während der Belüftung, Austausch von Pumpen, Optimierung der Klärschlamm-Faulung, Bau einer Mikrogasturbine zur Klärgasnutzung.

Modellkläranlage Billigheim: Optimierungen bei der mechanischen Reinigungsstufe, Austausch der Belüftungselemente, Reduzierung des Sauerstoffeintrages und Verfahrensoptimierung in der biologischen Reinigungsstufe.

Modellkläranlage Oberes Fischbachtal: Optimierungen in der mechanischen Reinigungsstufe, Reduzierung der Rührwerksleistung in der biologischen Stufe und Gewinnung von Wärme aus Abwasser.



Zusammenfassend lässt sich an diesen Beispielen feststellen, dass die wesentlichen Einsparpotenziale in den Bereichen Belüftung, Rührwerke und Pumpwerke liegen.

## 7.5.2 Steigerung der Eigenenergieerzeugung auf Kläranlagen

### 7.5.2.1 Übersicht

Auf Kläranlagen stehen unterschiedliche Ressourcen zur Verfügung, die energetisch genutzt werden können:

- organische Substanz im Abwasser (Chemische Energie), die zur Erzeugung von Biogas genutzt werden kann,
- getrockneter Klärschlamm als Sekundärbrennstoff,
- thermische Energie des Abwassers (vgl. Kapitel 7.3.2),
- kinetische Energie sowie
- Nährstoffe (NPK): Die Wiederverwertung der Nährstoffe kann energetisch günstiger sein als die Herstellung von Mineraldünger. Werden die Nährstoffe genutzt für den Anbau von Co-Substraten, können diese über eine Co-Vergärung energetisch genutzt werden (vgl. Kapitel 7.7.1).

Die anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes und die damit verbundene Ausbeute an Klärgas sind als Stand der Technik auf den meisten großen Anlagen etabliert. Zur Steigerung der Gasausbeute können Maßnahmen wie Klärschlamm-Desintegration (vgl. Kapitel 7.5.2.3) oder Co-Vergärung mit geeigneten Substraten (vgl. Kapitel 7.5.2.4) zum Einsatz kommen.

Klärgas enthält neben Methan auch  $\text{CO}_2$  und Schwefelverbindungen. Es kann aufgereinigt und ins Erdgasnetz eingespeist oder in Stirling-Motoren, BHKWs oder Brennstoffzellen verstromt werden. Bei einer Verstromung auf der Anlage sind Wärmekonzepte für die Abwärme sowohl aus energetischer als auch aus ökonomischer Sicht wichtig (KWK-Bonus). Der durchschnittliche Wirkungsgrad der BHKW auf Kläranlagen liegt derzeit noch bei 27 % und somit deutlich unter dem Stand der Technik ( $\eta \sim 40\%$ ) (UBA, 2008).

Auf kleineren Anlagen dagegen wird der Klärschlamm oft aerob stabilisiert, da die Gasausbeute zu gering ist, um den baulichen und verfahrenstechnischen Aufwand zu rechtfertigen. Energetisch ist die anaerobe Klärschlamm-Stabilisierung deutlich günstiger als die aerobe (Staben, 2008). Die Mitbehandlung von Biomüll, landwirtschaftlichen Reststoffen und anderen organischen Co-Substraten kann den Gasertrag steigern, so dass sich eine energetische Nutzung ggf. auch für kleinere Anlagen lohnt (Synergie von Abfallwirtschaft und Wasserwirtschaft). Weiterhin gibt es die Möglichkeit des

BHKW-Contractings: Unternehmen, z. B. einige Energieagenturen, bieten die Aufstellung und den Betrieb von BHKW auf dem Klärwerksgelände als Dienstleistung an.

Bei der Klärschlammverbrennung ist zu beachten, dass nur durch energieeffiziente Trocknung (bspw. Solar- oder Abwärmetrocknung) und gute Logistik (kurze Transportstrecke zur Verbrennungsanlage) ein Energieüberschuss erwirtschaftet werden kann.

Die Nutzung der kinetischen Energie des Abwassers kann unter bestimmten Randbedingungen für Kläranlagen interessant sein, vor allem in Abläufen von Kläranlagen und in Rückhaltebecken, aber auch in Abwasserkanälen. Turbinen oder Wasserräder wandeln die Lageenergie in elektrische Energie um. Problematisch sind die meist geringen Höhenunterschiede, stark schwankende Wassermengen und ggf. Feststoffe. Neue Technologien versprechen hohe Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Wassermengen und Fließgeschwindigkeiten. Beispielsweise arbeitet das modulare Miniwasserkraftwerk "Katamax" mit einer Antriebskette, bei der 50 % der Schaufeln gleichzeitig im Wasser sind, verbunden mit einem stufenlos regelbaren Generator (AiF, 2005).

Weiterhin gibt es in Abhängigkeit von den Randbedingungen die Möglichkeit, andere standortabhängige regenerative Energien einzubinden, z. B. Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraft (natürliche Fließgewässer), Solarthermie oder Geothermie.

### 7.5.2.2 Praxisbeispiele

#### **Kläranlage Reichenbacher Land** (<http://www.region-schafft-zukunft.de>)

Der Bedarf an externem Strom wurde durch verschiedene Maßnahmen auf 45 % gesenkt:

- Energieeffizienter Abwassertransport durch Hebewerke,
- Co-Vergärung von Grünschnitt und Biomüll,
- Bau einer Photovoltaikanlage,
- Nutzung von Wasserkraft,
- Ziel für die zweite Ausbaustufe: Steigerung der Eigenstromversorgung auf 90 %.

#### **Kläranlage Balingen (80.000 EW)**

Die Kläranlage liegt mit einem Verbrauch von 15-19 kWh/EW\*a im Bereich der in UBA (2008) beschriebenen Idealwerte. Umgesetzte Maßnahmen:

- Optimierung der Belüftung in Biologie und Sandfang: Senkung des Energiebedarfs der biologischen Stufe auf 9,5 kWh/(EW\*a) unter den deutschen Durchschnitt von

10-48 kWh/(EW\*a) (UBA, 2008) und Senkung des Energiebedarfs des Sandfangs von 2,2 kWh/(EW\*a) auf 0,6 kWh/(EW\*a),

- solare Klärschlamm-trocknung,
- Bau einer Photovoltaikanlage (18 kW<sub>el</sub>),
- Nutzung von Wasserkraft (6-18 kW<sub>el</sub>),
- Wirbelschicht-Vergasung von Klärschlamm zur Erzeugung von Produktgas zur Verstromung im BHKW,
- Faulgasverwertung mit Blockheizkraftwerk (3 Module, gesamt 150 kW<sub>el</sub>),
- Produktgas aus Klärschlammvergasung (1 BHKW, 70 kW<sub>el</sub>).

Der derzeitige Grad der Eigenstromversorgung der Kläranlage Balingen liegt bei 80 %, davon stammen 10 % aus der Klärschlammvergasung.

### **Kläranlage Moosburg**

- durch Co-Vergärung von Biomüll Verdreifachung der Biogasmenge auf 3.000 m<sup>3</sup>/d;
- Klärschlamm-trocknung als Wärmesenke für die Abwärme aus der Gasverstromung;
- pelletierter Klärschlamm als Energieträger zur Mitverbrennung;
- geplanter Eigenversorgungsgrad; 90 %;

Nach Finsterwalder (2008) werden die durchgeführten Maßnahmen vollständig aus den Energieerlösen und der Reduktion der Entsorgungskosten refinanziert. Dies zeige, dass schon heute bei einer intelligenten Planung im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung unter Ausnutzung der dort vorhandenen Infrastruktur ein wirtschaftlicher Betrieb auf Basis erneuerbarer Energie möglich sei.

Die Praxisbeispiele zeigen, dass durch Energie-Effizienz-Maßnahmen kombiniert mit erhöhter Eigenenergiegewinnung bei günstigen Randbedingungen ein hoher Eigenversorgungsgrad erreicht werden kann. Ein wichtiger Bestandteil der Konzepte ist oftmals die Co-Vergärung (vgl. Kapitel 7.5.2.4).

### **7.5.2.3 Klärschlamm-desintegration**

Mit den verschiedenen Verfahren zur Klärschlamm-desintegration werden im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt:

- die Erhöhung der Faulgasausbeute durch eine Verbesserung der Abbaubarkeit der organischen Substanz und damit verbunden;
- die Verringerung der zu entsorgenden Schlammmenge.

### **Beschreibung der Maßnahme**

Es gibt eine Vielzahl von Desintegrationsverfahren, die sich grob in mechanische und nicht-mechanische Verfahren einteilen lassen. Mechanische Verfahren sind z. B. Ultraschallverfahren oder die Zerschlagung in Rührwerkskugelmühlen. Unter nicht-mechanischen Verfahren können z. B. chemische Verfahren wie Ozonierung, die Zugabe von Lauge sowie thermische Verfahren, z. B. thermische Hydrolyse oder auch Thermodruckhydrolyse (Kläranlage Blümlental Pirmasens), verstanden werden (vgl. DWA, 2005).

### **Erfahrungen und Probleme**

Den Erträgen und positiven Auswirkungen, die über die oben beschriebenen Zielstellungen hinaus z. B. auch in einer besseren Entwässerbarkeit des Schlammes liegen können, stehen Auswirkungen gegenüber, die Aufwand und damit auch Kosten verursachen können. Zu nennen sind bspw. Erhöhung der Rückbelastung aus der Schlammbehandlung oder die Notwendigkeit einer externen C-Quelle aufgrund erhöhter Stickstoffrückbelastungen.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Die DWA-Arbeitsgruppe AK-1.6 „Wirtschaftlicher und betrieblicher Vergleich verschiedener Verfahren zur Klärschlamm-Desintegration“ beschreibt qualitativ die Betriebserfahrungen der bislang in Betrieb befindlichen Anlagen (DWA, 2005). Danach schwankt z. B. die Erhöhung der Faulgasausbeute zwischen 9 und 50 %. Es kann darüber hinaus kein Zusammenhang zwischen der Höhe des spezifischen Energieeintrags und dem Ertrag hergestellt werden.

Für alle Verfahren gilt, dass es eine Bandbreite an Kosten und Einsparpotenzialen gibt, deren Wirtschaftlichkeit letztlich von den individuellen Randbedingungen, wie z. B. Entsorgungskosten oder Netto-Energieertrag abhängen.

Bei chemischen Desintegrationsverfahren kann es eventuell zu ökologischen Auswirkungen kommen.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Klärschlamm-Desintegration ist im Sinne rückgängiger Wassermengen eine Möglichkeit, freie Kapazitäten auf der Kläranlage zu nutzen und die Betriebskosten durch eine Erhöhung der Gasausbeute zu verringern. Hierbei sind eine genaue Wirtschaftlichkeits-

betrachtung sowie die Gegenüberstellung von Energieeintrag und Energiegewinn notwendig.

### **Weiterführende Quellen**

[http://www.region-schafft-zukunft.de/nn\\_253362/DE/Modellvorhaben/WeitereProjekte/weitere\\_\\_projekte.html](http://www.region-schafft-zukunft.de/nn_253362/DE/Modellvorhaben/WeitereProjekte/weitere__projekte.html)

[http://www.pirmasens.de/index.dante?node\\_id=15037&aid=1131](http://www.pirmasens.de/index.dante?node_id=15037&aid=1131).

## **7.5.2.4 Co-Vergärung auf Kläranlagen**

### **Beschreibung der Maßnahme**

Eine Co-Vergärung bietet die Möglichkeit der besseren Ausnutzung vorhandener, bspw. aufgrund eines Rückgangs der angeschlossenen Einwohner freigewordener Faulraumkapazitäten durch die Zudosierung von Co-Substraten. Neben der Erhöhung der Klärgasausbeute sind eine Beeinflussung des Puffervermögens oder eine Verbesserung der Entwässerbarkeit des Schlammes als potenzieller Mehrwert zu nennen. Nachteilig sind die Erhöhung der Rückbelastung der Kläranlage, die Erhöhung der Menge des Nassschlammes (ggf. durch erhöhte Entwässerbarkeit kompensiert) sowie die Gefahr des Eintrags von Störstoffen.

Es muss eine ausreichende Reservekapazität der Kläranlage zur Prozesswasserbehandlung vorhanden sein (Merkblatt DWA-M 380, 2009). Darüber hinaus sind Einrichtungen zur Annahme der Co-Substrate und ggf. zur Aufbereitung und Lagerung sowie Anlagen zur Aufreinigung und Verstromung des Faulgases (BHKW, Mikrogasturbine, Stirlingmotor, Brennstoffzelle) oder zur Einspeisung in das Erdgasnetz erforderlich. Für flüssige und pastöse Co-Substrate sind bestehende Schlamm-Aannahmestellen oft geeignet, für feste Co-Substrate sind Anlagen zur Zerkleinerung, Entfernung der Störstoffe und Nassaufbereitung nötig (Roos, 2008).

### **Erfahrungen und Probleme**

Die Co-Vergärung biogener Abfälle in Kläranlagen zählt heute zum Stand der Technik (Roos, 2008) und ist auf großen Kläranlagen in Deutschland und der Schweiz etabliert. Es gibt Betriebserfahrungen auf Kläranlagen unterschiedlicher Größe und mit unterschiedlichen Co-Substraten wie bspw. Lebensmittel-, Küchen-, Kantinen- und Markttabfall (Roos, 2008), Flotatschlamm, Fettschlamm, tierische Nebenprodukte, Panseninhalte vom Schlachthof und Schleimstoffe aus Ölmühlen (Schmelz, 2007). Die Gasausbeute von Co-Substraten ist meist deutlich höher als die von Klärschlamm

(370-450 l/kg oTR für Klärschlamm vs. ~600 l/kg oTR für Biotonneninhalt, ~900 l/kg oTR für Fett- und Flotatschlamm (Schmelz, 2007)). Die Rechtsgrundlage und das Genehmigungsverfahren sind abhängig vom eingesetzten Co-Substrat. Auf diese Punkte wird in den Abschnitten „Rechtliche Randbedingungen“ und „Schlussfolgerungen“ näher eingegangen.

### **Praxisbeispiele**

#### GKA Baden-Baden/Sinzheim<sup>53</sup>

- 200.000 EW
- Co-Vergärung seit 1993
- Menge: 6500 t/a Küchenabfälle, Speisereste, Rasenschnitt, Laub
- Verfahren: Stofflösung mit KA-Ablauf, dann Vergärung der Flüssigphase und Kompostierung der Feststoffe

#### ARA Samnaun, Schweiz<sup>54</sup>

- 11.000 EW
- Co-Vergärung seit 1999
- Menge: 165 t/a Speisereste, max. 15 % der Gesamtmenge, 240 Sfr/t Erlös aus der Speisereste-Entsorgung
- Investitionskosten: 500.000 Sfr
- Energie-Ertrag: Strom aus Co-Vergärung: 45 000 kWh/a (+85 000 kWh Wärme), Steigerung Eigenversorgung Strom um 14 % auf 46 %

#### Kläranlage Schleswig<sup>55</sup>

- Auslegung: 75.000 EW, Belastung: 35.000 EW
- Co-Vergärung seit 2006
- Kosten: Wirtschaftliche Betriebsführung der Anlage bei Mitbehandlung von 15 000 t/a Speisereste, 2900 MWh/a Strom (Einspeisung), zusätzlich Beheizen einer Schule
- Speisereste (hygienisiert, pumpfähig) max. Anteil 49 %, landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes

---

<sup>53</sup> Quelle: Broschüre Gemeinschaftskläranlage Baden-Baden und Sinzheim, Ausgabe April 2005.

<sup>54</sup> Quelle: Informationsstelle Biomasse 2002.

<sup>55</sup> Quelle: Umweltmagazin 09/2008.

Zusammengefasste Erfahrungen von Emschergenossenschaft/Lippeverband (Schmelz, 2007) zeigen folgende Ergebnisse:

- keine Auswirkungen auf den laufenden Betrieb, einfache Nutzung vorhandener Infrastruktur,
- keine Vorbehandlung der verwendeten Co-Substrate notwendig,
- keine Schwimmdecken, keine Schaumbildung, keine Verschlechterung der Schlammqualität, Entwässerungsergebnisse nahezu gleich,
- Rückbelastung der Kläranlage steigt nach den Erfahrungen der EGLV nur unwesentlich.

Als mögliche technische Probleme werden genannt:

- unsichere Prozessstabilität bei wechselnder Substratqualität,
- erhöhte Rückbelastung der Kläranlage vor allem mit Stickstoff; möglicherweise alternative Behandlungsoptionen (vgl. Nährstoffrückgewinnung, Deammonifikation),
- besonders bei Fetten: möglicherweise schwierige Homogenisierung und Verschlechterung des Entwässerungsergebnisses, ggf. Ablagerungen in Rohrleitungen und Pumpen (Schmelz, 2007),
- Gefahr toxischer Inhalte mit entsprechendem Risiko für die Biologie der Anlage. Deshalb sollte die Co-Substrat-Annahme wenn möglich nur in einem Teil der Faulanlage erfolgen. Rückstellproben und die Kenntnis der Lieferanten erhöhen die Sicherheit.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Ökonomische Randbedingungen**

Die Wirtschaftlichkeit steigt mit der einfachen Verfügbarkeit von Substraten. Dabei steht die Co-Vergärung auf Kläranlagen als Abnehmer in Konkurrenz zu landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen sowie Müllvergärungsanlagen und Kompostierungsanlagen (Schattner 2006). In der Konkurrenz zu landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind Kläranlage durch die Ungleichbehandlung von Biogas und Klärgas nach EEG benachteiligt. Gemäß Christ (2007) ist eine Co-Vergärung bei Entsorgungskosten des Reststoffes (stabilisierter Klärschlamm mit Co-Substraten) von weniger als 70 €/t interessant.

Im bundesweiten Durchschnitt sind nach Roos (2008) das Angebot von geeigneten Substraten und die Kapazität von Anlagen zur Kompostierung und Vergärung ausgeglichen (Optimierungspotenzial durch Sammlung/Sammelsystem). Regional und saisonal kann aber durchaus Bedarf an Vergärungskapazitäten bestehen.

### **Rechtliche Randbedingungen**

Bau und Betrieb von Co-Vergärungsanlagen auf Kläranlagen werfen eine Reihe umweltrechtlicher Fragen am Schnittpunkt von Wasserrecht, Abfallrecht (Klärschlammverordnung), Hygienerecht und Düngemittelrecht auf. Dementsprechend sind auch die behördlichen Zuständigkeiten komplex und erfordern eine frühzeitige Koordination des Vorhabens (Meyer 2008). Neben Wasserrecht und Baurecht sind Rechtsnormen zum Immissionsschutz (BImSchV und UVP), zu Hygieneanforderungen (z. B. EG-Verordnung 1774-2002 und TierNebV), zur Verwertung der Gärreste (z. B. BioAbfV, AbfKlärV, DüMV, DüngeV) und nicht zuletzt die BiomasseV und das EEG zu beachten. Das DWA M 380 (2009) gibt in Kapitel 3 sowie in Anhang A einen ausführlichen Überblick über die rechtlichen Rahmenbedingungen.

### **Ökologische Randbedingungen**

Eine wichtige ökologische Randbedingung ist der alternative Entsorgungsweg des Co-Substrates. Die stofflich-energetische Verwertung von organischen Substraten über Vergärung ist energetisch deutlich günstiger als eine Entsorgung oder Aufbereitung über aeroben Abbau (Schattner, 2006). Wenn keine Biomasse/Müllvergärungsanlage mit freien Kapazitäten in akzeptabler Distanz verfügbar ist, ist die Co-Vergärung in den Faultürmen der Kläranlage ökologisch vorteilhaft. Klärgas ist ein Primärenergieträger aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. aus den Abfällen/Reststoffen von nachwachsenden Rohstoffen und somit CO<sub>2</sub>-neutral. In der Gesamtbilanz dürfen diese Vorteile nicht durch z. B. lange Transportwege für die Co-Substrate aufgezehrt werden.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Wenn geeignete Co-Substrate verfügbar sind, erlaubt die Vergärung von Co-Substraten die Ausnutzung vorhandener, aber bspw. aufgrund von zurückgehender Abwasserfrachten nicht mehr benötigter Kapazitäten der Faulbehälter. Damit kann die Auslastung und damit auch die Wirtschaftlichkeit in Richtung des Optimums verschoben werden. Bei abnehmenden Einwohnerzahlen sind i. d. R. auch freie Kapazitäten zur notwendigen Aufbereitung des Zentratwassers vorhanden.

**Potenzialabschätzung:** Bei einem Rückgang der angeschlossenen EW um 50 EW werden nach Angaben von Roos (2008) Faulraum-Kapazitäten von durchschnittlich 1 m<sup>3</sup> frei. Darin können etwa 1,2 t/a oTR mitbehandelt werden. Bei einer konservativen Abschätzung der Gasausbeute von 0,45 m<sup>3</sup>/kg oTR und einem Heizwert von 6,5 kWh/m<sup>3</sup> (Haberkern, 2008, Gredigk-Hoffmann, 2008) können, bezogen auf 50 EW, 3500 kWh<sub>prim</sub>/a gewonnen und zu ~1400 kWh<sub>el</sub>/a verstromt werden (Wirkungsgrad<sub>el</sub>



moderner BHKWs ~40 %, dabei werden auch ~1700 kWh<sub>therm</sub>/a erzeugt). Im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung (Strommix Deutschland) werden dadurch 980 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/a eingespart (vgl. UBA 2008).

Vor dem Hintergrund abnehmender Anschlusszahlen kann die Co-Vergärung unter bestimmten Randbedingungen zu einer Senkung der Betriebskosten der Kläranlagen beitragen. Die Verfügbarkeit geeigneter Co-Substrate und die Möglichkeit der kostengünstigen Entsorgung oder Verwertung des Klärschlamm-Gemischs (Schadstoffproblematik) sind wichtige Parameter. Ggf. besteht die Möglichkeit zum Eigenanbau von Co-Substraten auf oder im Umfeld der Kläranlage (vgl. Kapitel 7.7.5).

Ein großes Hemmnis sind die komplexen rechtlichen Rahmenbedingungen sowie oftmals schwierige und langwierige Genehmigungsverfahren mit unklaren Zuständigkeiten (Roos 2008, Meyer 2008). Durch die Ungleichbehandlung von Biogas und Klärgas nach EEG sind Kläranlagen in der Konkurrenz zu landwirtschaftlichen Biogasanlagen benachteiligt (Seibert-Erling, 2007 und 2008). Dennoch ist eine genaue Überprüfung der Machbarkeit sowohl im Sinne einer Betriebskosteneinsparung als auch im Sinne der Nutzung regenerativer Energieträger sinnvoll.

Durch die Co-Vergärung wird die Schlammmenge erhöht, was je nach Qualität und davon abhängigem Verwertungsweg (Landwirtschaft, Landbau, thermische Verwertung durch Mono- oder Mitverbrennung) ein ökologisches und/oder ökonomisches Problem darstellen kann.

### **7.5.3 Zusammenfassend: Randbedingungen und Hemmnisse für die Steigerung der Energie-Effizienz und der Eigenenergieerzeugung**

Die Steigerung der Energie-Effizienz und der Eigenenergieerzeugung ist ein kontinuierlicher Prozess über Jahre. Dabei ist die Motivation des Personals ein wichtiger Faktor. Änderungen im Betrieb der Anlage erfordern ggf. erhöhte Aufmerksamkeit und Überwachung, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Es braucht die Bereitschaft, neue Betriebserfahrungen zu sammeln. Die fehlende Transparenz des Energieverbrauchs von Komponenten und die mangelnde Datengrundlage für die Feinanalyse erschweren die Identifikation von Potenzialen.

Die dargestellten Praxisbeispiele können Anregungen und Ideen liefern, die Maßnahmen und Ergebnisse sind jedoch aufgrund lokaler Besonderheiten und Randbedingungen nur teilweise übertragbar. Nur bei genauer Kenntnis der Anlage, ggf. kombiniert mit externem Fachwissen, lassen sich effektive Einsparpotenziale offenlegen. Die Wirtschaftlichkeit von Einzelmaßnahmen zur Steigerung von Energieeffizienz und

-erzeugung, ist durch Feinanalysen in Abhängigkeit von den spezifischen Randbedingungen auf der fraglichen Anlage zu bewerten.

### **Zusammenfassende Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die Abnahme der Nutzerzahlen birgt die Gefahr einer deutlichen Verteuerung der Abwasserentsorgungsdienstleistungen für den Einzelnen. Obwohl die Kläranlagen nur einen Anteil von ~1 % am Gesamt-Strombedarf Deutschlands ausmachen, sind sie die größten Energieverbraucher in den Kommunen.

Energiekosten stellen einen Anteil von etwa 5 % an den Gesamt-Kosten, etwa 10 % an den Betriebskosten und einen deutlich höheren Anteil an den variablen Kosten (ATT et al., 2008). Die Tendenz der Energiepreisentwicklung ist steigend mit einer hohen Unsicherheit. Besonders für unterbelastete Anlagen ist Energieeffizienz ein wichtiger Ansatzpunkt, um die Betriebskosten stabil zu halten bzw. zu senken.

Für ein wirkungsvolles Energiemanagement sind anlagenspezifische Feinanalysen, eine systemische Perspektive auf die Anlage und die Stoffströme und ggf. die Zusammenarbeit mit externen Experten notwendig. Aufbauend auf den Feinanalysen können die wesentlichen Verbraucher identifiziert und Handlungsstrategien abgeleitet werden.

Eine energetische Optimierung von Kläranlagen ist aufgrund der Bedeutung der Energiekosten auch unabhängig von Auswirkungen des demografischen Wandels durchzuführen. Energiemanagement auf Kläranlagen gehört heute zum Stand der Technik. Durch verringerte Einwohnerzahlen bedingte Unterauslastungen von Anlagen bzw. Anlagenteilen erhöhen den Handlungsdruck hin zu einer möglichst effizienten Ausgestaltung der Abwasserreinigung. Bei einer energetischen Optimierung sind aber auch die langfristigen Konsequenzen des demografischen Wandels im Einzugsgebiet von Anfang an zu berücksichtigen. Maßnahmen zur Energieoptimierung stellen Möglichkeiten zur Betriebskostensenkung dar und sollten gerade vor dem Hintergrund der langfristigen demografischen Veränderungen mit einer langfristigen Perspektive angegangen werden. Dazu gehört auch der „Blick über den Tellerrand“ hin zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise, in der zukünftig auch Kläranlagen Teil eines regionalen Energiemanagements sein können. Zukünftig könnten Kläranlagen einen Energieüberschuss erwirtschaften und als „virtuelle Kraftwerke“ und Ressourcen- und Know-How-Zentren zu einem wichtigen Knotenpunkt im Netzwerk erneuerbarer Energien werden.

## Weiterführende Quellen

<http://www.umweltbundesamt.de/wasser-und-gewaesserschutz/abwasser/fg-energie.htm>.

## 7.6 Nutzung freier Kapazitäten auf der Kläranlage

Kumulierende Effekte wie sich änderndes Verbraucherverhalten, demografischer Wandel und ein sich veränderndes Niederschlagsregime unter dem Einfluss des Klimawandels stellen Kläranlagenbetreiber vor neue Herausforderungen. Während Trockenwetterabflüsse geringer ausfallen, bringen häufigere Starkregen Kläranlagen und Kanalisation an ihre Belastungsgrenzen. Für Kläranlagen kann diese Entwicklung bedeuten, dass Unterlastphasen mit den daraus resultierenden Problemen abgelöst werden von kurzzeitigen hydraulischen Überlastereignissen.

### 7.6.1 Mögliche Maßnahmen - Überblick

Den aus demografischen Veränderungen im Einzugsgebiet möglicherweise resultierenden Problemen, wie Verschiebung des C/N-Verhältnisses, erhöhte Blähschlammproblematik u. ä. kann auf Kläranlagen mit der Verkleinerung der Beckenvolumina, d. h. mit der Außerbetriebnahme redundanter Becken, begegnet werden. In Frage kommende alternative Nutzungen sind:

- Mischwasserrückhaltebecken,
- Misch- und Ausgleichsbecken (Spülstoß, Frachtenausgleich, etc.) oder
- Havariebecken.

Darüber hinaus kommt die verfahrenstechnische Erweiterung der Anlage in Betracht. Primär sind damit die Ziele verbunden, die Betriebskosten zu senken und/oder die Betriebsstabilität der Anlage zu sichern.

Verfahren, die in Erwägung gezogen werden können, sind:

- Deammonifikation/Anammox (vgl. Kap 7.7.2),
- Nährstoffrückgewinnung (z. B. MAP-Ausfällung aus Zentratwasser oder Faulschlamm) vgl. Kap. 7.7.1,
- Co-Vergärung (vgl. Kap. 7.5.2.4) und
- Primärschlammhydrolyse:  
Kohlenstoffmangel in der biologischen Stufe führt zu einem verminderten Stickstoffabbau, dem häufig mit der Zugabe externer Kohlenstoffquellen begegnet wird. Kostengünstiger wäre die Erschließung anlageneigener Kohlenstoffquellen. Die Wirtschaftlichkeit ist von der Menge und sowohl von der Anlagengröße als auch vom

C/N und C/P-Verhältnis abhängig. Denkbar ist z. B. die Hydrolyse von Primärschlamm zur Erzeugung eines kohlenstoffhaltigen Hydrolysats und die Nutzung desselben als C-Quelle für die Denitrifikation (Niederste-Hollenberg et al., 2007). Überlegungen und Untersuchungen dazu werden schon seit Jahrzehnten vor allem im Rahmen der biologischen P-Elimination immer wieder angestellt (vgl. Baumann, 2003). Darüber hinaus sind einige Anlagen in Betrieb, z. B. bei Emschergenossenschaft/Lippeverband. Nach Baumann (2003) ist die Hydrolyse von Primärschlamm derzeit nur wirtschaftlich, wenn die dafür notwendigen Bauwerke (ehemalige Eindicker) bereits vorhanden sind. Im Rahmen frei werdender Behälter auf Kläranlagen aufgrund zurückgehender Bevölkerungszahlen und Abwassermengen und vor dem Hintergrund möglicherweise fehlenden Kohlenstoffs stellt die Primärschlammhydrolyse also eine Option zur besseren Ausnutzung freier Anlagenteile dar. Baumann (2003) beschreibt Erfahrungen, Probleme und gibt auch Bemessungshinweise zu den Verfahren.

- Verfahren zur Erhöhung der vermehrten biologischen Phosphatelimination u. a. mit dem Ziel der Steigerung der Rückgewinnungseffizienz (s. auch Pinnekamp et al., 2007 und Kap. 7.7.1).

Die jeweils gewählte Nutzung hängt dabei von den individuellen Randbedingungen der Kläranlage ab. Entscheidungskriterien sind die zur Verfügung stehenden Volumina, die spezifischen Probleme oder auch die individuelle Zielsetzung des Betreibers hinsichtlich der zukünftigen unternehmerischen Ausrichtung.

## 7.7 Innovative Maßnahmen Kläranlage

### 7.7.1 Nährstoffrückgewinnung

Verfahren zur Nährstoffrückgewinnung – und hier insbesondere die Phosphorrückgewinnung – rücken seit geraumer Zeit immer mehr in den Blickpunkt des wissenschaftlichen und umweltpolitischen Interesses. Die Phosphorerzlagstätten sind endlich und ihr Erschöpfungszeitpunkt ist absehbar. In der Literatur schwanken die Angaben über die Restverfügbarkeit von Phosphor (P) zwischen 60 und mehreren 100 Jahren.<sup>56</sup> In diesem Zusammenhang wird auf Kläranlagen neben der Nährstoffelimination, mit dem

---

<sup>56</sup> Nach Wagner (2005) bzw. Pinnekamp et al. (2007) ergibt sich aus dem aktuellen Bedarf und den Reserven eine statische Reichweite von 89 Jahren (Hillenbrand, 2009). Allerdings gibt es weitere, momentan nicht abbauwürdige Vorkommen bspw. in Tiefsee und Erdkruste. Zukünftig wird von einem deutlichen Anstieg des Bedarfs vor allem in den Schwellen- und Entwicklungsländern ausgegangen. In Deutschland stehen keine Phosphaterzlagstätten zur Verfügung, d. h. die benötigte Phosphormenge muss als Rohphosphat, als Minereraldünger oder auch über Futter- und Nahrungsmittel importiert werden (Dockhorn, 2008).

Ziel des Gewässerschutzes, zukünftig auch die Nährstoffrückgewinnung, mit dem Ziel der Ressourcenschonung, eine maßgebliche Rolle spielen.

Phosphor akkumuliert zu etwa 90 % im Klärschlamm. Phosphat fällt in Anwesenheit von mehrwertigen Kationen aus. Auf Kläranlagen wird er meistens mit Eisensalzen gefällt, was die Pflanzenverfügbarkeit im Vergleich zu Kalzium- oder Magnesium-Phosphaten stark herabsetzt. Stickstoff (N) ist ebenso wie Phosphor ein essenzieller Nährstoff für das Wachstum von Pflanzen, stellt aber als  $N_2$  den Hauptbestandteil der Atmosphäre und ist somit nicht limitiert. Allerdings ist das Aufbrechen der stabilen Dreifachbindung von  $N_2$  (Stickstofffixierung) ein sehr energieaufwändiger Prozess.

Bei den derzeit eingesetzten Verfahren zur Abwasserbehandlung gelangt ein Teil der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe in den Klärschlamm. Dieser stellt aber gleichzeitig eine Senke für Schwermetalle und verschiedene, schwer abbaubare organische Verbindungen dar, die bspw. von Industrieeinleitern und vom Regenwasserablauf belasteter Flächen stammen. Bei der Rückgewinnung von P aus Klärschlamm stellt die Co-Ausfällung der enthaltenen Schwermetalle ein Problem dar.

Aufgrund der Tatsache, dass sich 20-40 % der jährlich als Düngemittel eingesetzten Menge an N und P in den Abwasser-Stoffströmen wiederfinden (Hillenbrand, 2009), sind eine stoffliche Nährstoffrückgewinnung und Produktion von Düngemitteln oder eine direkte biologische Wiederverwendung des Wassers, Klärschlammes und der enthaltenen Nährstoffe ökologisch sinnvoll. Allerdings müssen die Schwermetall-Problematik, die Kontamination mit organischen Mikroverunreinigungen<sup>57</sup> und die hygienische Belastung berücksichtigt werden.

Ergeben sich aufgrund zurückgehender Einwohnerzahlen bei der Abwasserbehandlung freie Kapazitäten, können diese ggf. in Verbindung mit ergänzenden Maßnahmen zur Nährstoffrückgewinnung verwendet werden. Dabei können Synergien mit anderen Maßnahmenfeldern entstehen, indem z. B. durch eine P-Fällung aus dem Klärschlamm die Entwässerbarkeit des Schlammes aus Bio-P-Anlagen verbessert wird oder die Nährstoffe über eine Abwasserverregnung direkt zur Produktion von Energiepflanzen/Biomasse beitragen.

---

<sup>57</sup> Vergleiche bspw. Novaquatis-Projekt, Arbeitspaket 5: Mikroverunreinigungen  
<http://www.novaquatis.eawag.ch>.

### 7.7.1.1 Übersicht

Die Entwicklungen im Bereich der Nährstoffrückgewinnung und –nutzung sind vielfältig. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über mögliche Verfahren, erheben aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 7-10: Maßnahmen zur direkten biologischen Nährstoffwiederverwendung

Maßnahme	Beschreibung	Bemerkung
Kläranlagenablauf zur Bewässerung	stickstoffreich, organische Mikroverunreinigungen, schwermetallarm	vgl. Pkt. 7.7.5 „Eigenanbau von Co-Substraten“
nutzungsorientierte Ablaufqualität	z. B. in der Vegetationszeit keine Nährstoffelimination auf der Kläranlage	
Ausbringung von Klärschlamm	P-reich, ggf. aber nicht pflanzenverfügbar; reich an humuswirksamen Stoffen, ggf. relativ hoher Schwermetallgehalt sowie organische Mikroverunreinigungen und Keime	in der Vergangenheit in großem Umfang eingesetzt; Beschränkungen aufgrund der Schadstoffgehalte
Ausbringung von Klärschlammmasche	keine organischen Mikroverunreinigungen (thermisch zerstört), aber ggf. hoher Schwermetallgehalt; keine humuswirksame Substanz, hygienisch unbedenklich	
Ablauf aus anaeroben Verfahren	P- und N-reich, ausgewogene Nährstoffratio, organische Mikroverunreinigungen vorhanden	s. Punkt 7.7.3 „Verfahrensänderung - aerob nach anaerob“

Tabelle 7-11: Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser

aus wässriger Phase (im Hauptstrom oder Teilstrom) → P-Anteil < 60 %		
Maßnahme	Beschreibung	Bemerkung
Fällung	mit z. B. MgO im Ablauf Nachklärung (Klärprozess ohne gezielte P-Elimination); Abscheidung über Lamellenabscheider	s.a. Jardin, 2003 ; Pinnekamp et al., 2007
Kristallisationsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crystalactor® -Verfahren (Giesen et al., 2005)</li> <li>• P-Roc (Berg, 2005)</li> </ul>	s.a. Pinnekamp et al., 2007; Berg/Donnert, 2005
Ionenaustausch	Brett et al. (1997) in Pinnekamp et al., 2007	
Adsorptionsverfahren	Donnert, 2001	
Magnetseparation	Krumm (2001) in Pinnekamp et al., 2007	
Das Rückgewinnungspotenzial liegt zwischen 15 und 50 %.		

Tabelle 7-12: Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm / Zentratwasser

aus Klärschlamm / Zentratwasser → P-Anteil 80-90 %		
Maßnahme	Beschreibung	Bemerkung
Phostrip-Verfahren	Fällprodukt: Calciumphosphat	Levin/Shapiro, 1965
Thermische Verfahren	z. B. Cambi-Verfahren	Sievers et al., 2005
	z. B. KEPRO-Prozess	Recktenwald, 2002
MAP-Fällung	Peco-Verfahren (Dockhorn, 2007) PRISA (Pinnekamp, Montag, 2005)	vgl. Punkt 7.7.1.2 „MAP-Fällung“
Über die beschriebenen Verfahren hinaus kann jedes Verfahren zur vermehrten biologischen Phosphatelimination als Vorstufe für Fällungsverfahren dienen, um die zurückgewonnenen Phosphatmengen zu erhöhen. In Frage kommende Verfahren sind z. B. in Pinnekamp et al. (2007) beschrieben.		

Tabelle 7-13: Maßnahmen zur stofflichen Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche

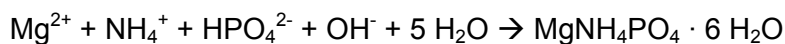
aus Klärschlammasche		
Maßnahme	Beschreibung	Bemerkung
SUSAN	Klärschlammasche aus Monoverbrennung wird zu marktfähigen, phosphorreichen Düngemitteln verarbeitet. Durch die Verbrennung werden die organischen Schadstoffe zerstört. Die in den Aschen enthaltenen Schwermetalle werden anschließend durch ein thermochemisches Verfahren entfernt, wobei gleichzeitig die Pflanzenverfügbarkeit der enthaltenen Phosphate auf bis zu 100 % angehoben wird.	Stand der Wissenschaft  (Pinnekamp et al., 2007; roadmap, 2008)
BioCon	Aufschluss der Asche mit Säure, anschl. Rückgewinnung der Nährstoffe über Ionenaustausch.	Stand der Wissenschaft
Ash-dec	Patentiertes Verfahren der Fa. Ash-dec	www.ashdec.com
Seaborne-Verfahren	Anaerobbehandlung von organischen Reststoffen (Klärschlamm, Bioabfall, Gülle) – Das Seaborne-Verfahren ist bislang nur als großtechnische Versuchsanlage unter wissenschaftlicher Begleitung in Betrieb	Stand der Wissenschaft  (roadmap, 2008; Müller, 2007)
Bislang hat keines der Verfahren Marktreife erreicht. Sie befinden sich im Stadium von Versuchsanlagen. Über die aufgeführten Verfahren hinaus sind weltweit weitere Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche in der Entwicklung (Schenk, 2009).		

### 7.7.1.2 MAP-Fällung (Magnesium-Ammonium-Phosphat)

Nährstoffrecycling auf Kläranlagen ist nach wie vor ein Forschungsthema. Vergleichsweise weit fortgeschritten ist das Verfahren der MAP-Fällung auf Kläranlagen, da dieses mit relativ wenig Aufwand auch zu einer betrieblichen Verbesserung zumindest bei Anlagen mit biologischer P-Elimination führt. Neben der Verringerung von unerwünschten Inkrustierungen durch MAP kann eine Steigerung der Entwässerbarkeit des Klärschlammes beobachtet werden (Kopp, 2009).

#### Beschreibung der Maßnahme

Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) ist eine weiße kristalline Substanz, die sich aus gelösten Magnesium-, Ammonium- und Phosphationen bei Verschiebung des Löslichkeitsgleichgewichts durch Erhöhung des pH-Werts bildet.



In den technischen Anlagen der Schlammbehandlung tritt bei CO<sub>2</sub>-Entgasung aus dem Faulschlamm eine spontane MAP-Ausfällung häufig in Form von unerwünschten Inkrustierungen auf. Wird dieses Phänomen gesteuert und hinsichtlich der Randbedingungen optimiert, kann eine effiziente MAP-Fällung erfolgen. Bei entsprechender Abtrennung und Aufbereitung kann das MAP als Dünger verwendet werden. Einen Überblick über einige Verfahren der MAP-Fällung gibt Stumpf (2007).

#### Erfahrungen und Probleme

Das Problem von unerwünschten Inkrustierungen tritt deutlich stärker bei Kläranlagen mit biologischer P-Elimination auf. Bei diesen Anlagen ist auch das Potenzial für die gezielte MAP-Fällung aus einem Schlammstrom am größten.

Anlagen zur MAP-Fällung mit anschließender Abscheidung befinden sich noch im Stadium von Versuchsanlagen. Die Fällung von MAP im Schlammstrom vermindert die Wasserbindefähigkeit von Schlamm und kann helfen, die Entwässerbarkeit zu steigern. Diese Anlagen, die lediglich die Entwässerbarkeit des Schlammes erhöhen und keine anschließende Ausfällung des MAP beabsichtigen, werden bereits erfolgreich eingesetzt. Die Berliner Wasserbetriebe planen bis Ende 2009 täglich 3 bis 4 Tonnen MAP-Dünger aus Klärschlamm zu produzieren und als mineralischen Langzeitdünger zu verkaufen.<sup>58</sup>

---

<sup>58</sup> vgl. [http://www.bwb.de/content/language1/html/299\\_6116.php](http://www.bwb.de/content/language1/html/299_6116.php).



### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Faulschlamm aus Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination weist einen hohen Anteil gelösten Phosphats auf und bietet damit gute Voraussetzungen für eine MAP-Fällung. Voraussetzung hierfür ist eine Verschiebung des Löslichkeitsgleichgewichtes von MAP durch Erhöhung des pH-Wertes nach oben. Betriebskosten entstehen z. B. als Energiekosten für die Belüftung bei CO<sub>2</sub>-Ausstrippung oder als Kosten für Betriebsmittel bei Laugenzugabe. Die Betriebskosten werden maßgeblich von der Bereitstellung des magnesiumhaltigen Fällmittels bestimmt (Dockhorn, 2007).

Einsparungen sind durch geringere Transportkosten für die entwässerten Schlamm-mengen zu erreichen. Erlöse können durch den Verkauf des reinen MAP-Düngers erzielt werden. Gemäß Dockhorn (2007) ließ sich auf dem Sekundärrohstoffmarkt im Jahr 2005 ein Erlös von 90€/t MAP erzielen.

Für die Aufbereitung des ausgefällten MAP sind die Anforderungen der Düngemittelverordnung zu beachten. Danach sind z. B. bestimmte Mindestgehalte der Komponenten vorgesehen. Die Aufnahme von MAP als mineralischen Mehrstoffdünger in die Düngemittel-VO könnte die Innovationen auf diesem Gebiet vorantreiben.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die vorgestellten Verfahren zur Nährstoffrückgewinnung auf Kläranlagen sind größtenteils noch Stand der Forschung. Unter dem Gesichtspunkt der demografischen Veränderungen bietet aber die Nährstoffrückgewinnung grundsätzlich die Möglichkeit, ungenutzte Anlagenteile wie z. B. Beckenvolumina einer Nutzung zuzuführen. Neben dem Nachhaltigkeitsaspekt (Rückgewinnung der Ressource Phosphor und ggf. Stickstoff) können z. B. durch die Steigerung der Entwässerbarkeit des Schlammes ggf. Betriebskosten gesenkt werden. So kann ein Teil des aus dem Rückgang der Abwassermengen entstehenden Kostendrucks aufgefangen werden.

Nährstoffrückgewinnung kann eine Option darstellen, freie Kapazitäten auf Kläranlagen zu nutzen. Ob die jeweiligen Verfahren bei den jeweiligen Randbedingungen wirtschaftlich sind, müssen individuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen. Zumindest das Recycling von Phosphor aus Abwasser und Abfall wird zukünftig, unabhängig vom demografischen Wandel, an Bedeutung gewinnen. So setzt z. B. die Schweiz bereits jetzt auf die P-Rückgewinnung aus Abwasser, Klärschlamm und Klärschlamm-asche, um zukünftig die benötigten Phosphormengen ohne Importe decken zu können (Schenk, 2009).

### **Weiterführende Quellen**

Giesen, A., de Boer, R., Gaillard, A. (2005): Practical Experience with Recovery of Phosphates from wastewater using Crystallization Technology. 75. Darmstädter Seminar Abwassertechnik, Schriftenreihe WAR 167.2005.

Diverse (2005): Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser und Klärschlamm und Reduzierung der Rückbelastung, Tagungsband, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft Bd. 184, 2005.

Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung DüMV).

### **7.7.2 Deammonifikation**

Deammonifikation ist ein noch nicht weit verbreitetes Verfahren zur Stickstoffentfernung aus Abwasser, das mit nur etwa 50 % des Sauerstoffs herkömmlicher Verfahren auskommt. Vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklungen bietet die Deammonifikation die Möglichkeit der Nutzung freier Kapazitäten auf dem Klärwerk und eine energieeffiziente Methode der Reduzierung von Stickstoffbelastungen aus dem Zentratwasser der Schlammbehandlung.

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Auf Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung wird ein signifikanter Anteil der Stickstoffbelastung (15-25 %, bezogen auf den Gesamtstickstoff im Zulauf) durch rückgeführtes Schlammwasser verursacht (DWA-Arbeitsgruppe AK-1.3, Arbeitsbericht).

Deammonifikation steht für einen „abgekürzten“ Reaktionsweg bei der Stickstoffentfernung aus ammoniumhaltigen Abwässern. Es ist daher für die Behandlung der vergleichsweise geringen Zentratwassermenge aus der Schlammbehandlung geeignet. Der Prozess beinhaltet die Kombination aus partieller Nitritation mit anschließender Oxidation des verbleibenden Ammoniums mit Nitrit als Elektronenakzeptor. Im ersten Schritt werden ca. 50-60 % des Ammoniums zu Nitrit oxidiert. In der anoxischen zweiten Phase wird das verbleibende Ammonium mit dem gebildeten Nitrit zu elementarem Stickstoff umgesetzt. Beide Prozessschritte können entweder räumlich getrennt in zwei verschiedenen Schlammsystemen oder in einem gemeinsamen Reaktor katalysiert werden.

Gegenüberstellung der verschiedenen Prozessschritte bei der biologischen Stickstoffelimination (Quelle: DWA-Arbeitsgruppe AK-1.3):

<b>Nitrifikation/Denitrifikation</b>					
$\text{NH}_4^+$	$\xrightarrow{\text{NO}_2^-}$	$\text{NO}_3^-$	$\rightarrow$	$\text{N}_2$	CSB/TKN: ~5,5 aerob/anoxisch
	autotroph		heterotroph		
<b>Nitritation/Denitrifikation</b>					
$\text{NH}_4^+$	$\rightarrow$	$\text{NO}_2^-$	$\rightarrow$	$\text{N}_2$	CSB/TKN: ~3,6 aerob/anoxisch
	autotroph		heterotroph		
<b>Deammonifikation</b>					
$\text{NH}_4^+$	$\rightarrow$	$\text{NO}_2^-$	+ $\text{NH}_4^+$	$\rightarrow$	$\text{N}_2$
	autotroph			autotroph	CSB/TKN: 0 aerob/anoxisch

Die Belüftungsenergie kann gegenüber der Nitrifikation/Denitrifikation um 50-60 % gesenkt werden. Dank des autotrophen Prozesses wird kein externer Kohlenstoff benötigt. Die anaeroben Ammoniumoxidierer benötigen keinen Sauerstoff, verbrauchen dagegen aber  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$ -Verbrauch: 0,4 t  $\text{CO}_2$ /tN).

### Erfahrungen und Probleme

Erfahrungen konnten bislang in folgenden Anlagen gesammelt werden:

- Kläranlagen Hattingen, Ruhrverband (Thöle, D. et al., 2005),
- Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Strass (CH) (Wett, B. 2008) und
- Großkläranlage Rotterdam (Quelle: <http://www.anammox.com/application.html>).

### Randbedingungen und Hemmnisse

Im direkten Vergleich zu Nitrifikation/Denitrifikation geben Thöle et al. (2005) folgende spezifische Kosten an:

Nitri/Deni: 8,40 €/kg  $\text{N}_{\text{eliminiert}}$

Deammonifikation: 4,18 €/kg  $\text{N}_{\text{eliminiert}}$

Darüber hinaus prognostizieren die Autoren eine weitere Kostenreduktion aufgrund der weiter zu steigenden Belastung bzw. Eliminationsleistung der Deammonifikation. Konkret werden folgende Ansatzpunkte zur Kostensenkung genannt:

- Reduktion / Wegfall externer C-Quellen,
- Senkung der Belüftungsenergie und
- Reduzierung des Schlammmanfalls.

Aus ökologischer Sicht ist ein wesentlicher Vorteil in der Verringerung des Ausstoßes klimarelevanter Gase im Vergleich zu Nitrifikation oder Nitritation mit anschließender Denitrifikation zu sehen. Zu nennen sind hier die Energieeinsparung durch die Vermin-

derung der notwendigen Belüftung sowie die Verringerung von Stickoxiden aus der Belebungsanlage. Darüber hinaus kann die Reduzierung des Schlammanfalls je nach Anlagenkonfiguration durch den Wegfall der Transportenergie ein wesentlicher ökologischer Faktor sein.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die Deammonifikation stellt grundsätzlich eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Nitrifikation/Denitrifikation in der aeroben Abwasserreinigung dar. Die Gründe sind im Wesentlichen in den oben beschriebenen Energie- und Kostenvorteilen zu suchen. Demografisch induzierte Auswirkungen, wie z. B. ein schlechtes C/N-Verhältnis im Zulauf oder freie Volumina auf der Kläranlage, können sich positiv auf die relativen Kosten der Deammonifikation auswirken.

Die Auswirkungen des demografischen Wandels können wichtige Faktoren hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit einer Teilstrombehandlung mit anaerober Stickstoffoxidation beeinflussen (C/N-Verhältnis, notwendige Beckenvolumina). Ggf. kann bei relativ geringen Investitionskosten ein hohes Einsparpotenzial auf Seiten der Betriebskosten realisiert werden. Bei der Konzeption von Anpassungsmaßnahmen sind deshalb entsprechende Ansätze zu berücksichtigen.

### **Weiterführende Quellen**

- Beier, M.; Sander, M.; Schneider, Y., Rosenwinkel, K.-H. (2008): Energieeffiziente Stickstoffelimination; KA - Abwasser, Abfall. Vol. 55, no. 6, pp. 671-678
- Hippen, A. (2001): Einsatz der Deammonifikation zur Behandlung hoch stickstoffhaltiger Abwässer; Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover 116; ISBN 978-3-921421-46-8.

### **7.7.3 Verfahrensänderung von aerober zu anaerober Behandlung von Siedlungsabwasser**

Die Verfahrensänderung von aerober zu anaerober Behandlung von Siedlungsabwasser befindet sich noch im Stadium von Forschung und Entwicklung und einzelnen Pilotprojekten, dementsprechend ist die Unsicherheit der technischen Entwicklung hoch. Die beschriebene Technologie wird aber in Zukunft, vor allem unter Berücksichtigung der energetischen Vorteile, in allen Bereichen (industrielle und kommunale Abwasserreinigung) an Bedeutung gewinnen.

Die anaerobe Abwasserbehandlung hat grundsätzliche energetische Vorteile vor den aeroben Verfahren: Über die nicht notwendigen Belüftungsenergie hinaus kann außerdem Biogas gewonnen werden. Nährstoffe, die in anaeroben Verfahren bakteriell nicht umgesetzt werden, können zurückgewonnen werden. Darüber hinaus entsteht bei anaeroben Abbauprozessen kaum Klärschlamm. Allerdings erfordert der Ablauf von Anaerobanlagen eine Nachbehandlung, um die erforderlichen Ablaufwerte einzuhalten.

Damit bieten anaerobe Verfahren mit einer grundsätzlich anderen Prozessführung vor dem Hintergrund des steigenden Kostendrucks aufgrund zurückgehender Bevölkerung eine zusätzliche Option für eine kosteneffiziente Abwasserbehandlung. Allerdings erfordert die benötigte Infrastruktur zur Verfahrensänderung ggf. hohe Investitionskosten.

### Beschreibung der Maßnahme

Mit den Haushaltsabwässern werden bundesweit jährlich ~3,5 Mio. t organische Substanz<sup>59</sup> (vor allem aus Fäkalien) in die Kläranlagen transportiert. Prinzipiell gibt es zwei mikrobielle Abbauewege für organische Substanz (schematische Summenformel:  $\langle \text{CH}_2\text{O} \rangle$ ). Bei Anwesenheit von Sauerstoff (aerob) wird die organische Substanz zum Teil (~40 %) im Energiestoffwechsel der Mikroorganismen zu  $\text{CO}_2$  abgebaut und zum Teil (~60 %) wird der enthaltene Kohlenstoff in die Biomasse eingebaut. Bei Abwesenheit von Sauerstoff wird ein großer Teil des Substrates  $\langle \text{CH}_2\text{O} \rangle$  zu Gärungsprodukten, wie organischen Säuren, Methan ( $\text{CH}_4$ ) und  $\text{CO}_2$  umgewandelt (~90 %) und nur ein kleiner Teil wird in die Biomasse eingebaut oder verbleibt in der wässrigen Phase. Das entstehende Methan kann energetisch genutzt werden (Biogas oder Faulgas).

Im konventionellen System wird die organische Substanz aerob abgebaut, d. h. in  $\text{CO}_2$  (~40 %) und in Biomasse überführt. Die Belüftung der aeroben Stufe ist ein sehr energieintensiver Prozess und verantwortlich für 30-50 % des Strombedarfs einer Kläranlage mit anaerober Klärschlammstabilisierung und für bis zu 70 % bei aerober Klärschlammstabilisierung (Steinmetz, 2008), und damit nach UBA (2008) verantwortlich für ~1-1,5 Mio. t  $\text{CO}_2$ -Emissionen. Zusätzlich werden durch die mikrobielle Stoffwechselaktivität beim aeroben Abbau ~2,2 Mio. t  $\text{CO}_2$ <sup>60</sup> emittiert. Die Biomasse (~60 %) bildet den Klärschlamm, der vor der Entsorgung weiter behandelt werden muss. Die Sta-

---

<sup>59</sup> Bei 116 g CSB/EW\*d und 81,8 Mio. E ergibt sich ein Wert von ~3,5 Mio. t CSB/a (bei 126 Mio. EW ~5 Mio. t CSB/a). Bei CSB/TOC=3,2 (empirisches Verhältnis, Braun 2000) entsprechen ~5 Mio. t CSB/a rund ~1,6 Mio. t TOC (Total organic carbon). Organischer C ist ein Hauptbestandteil der organischen Substanz (OS). Bei Faktor 2-2,5 abgeleitet aus der allgemeinen Formel  $\langle \text{CH}_2\text{O} \rangle$ , entsprechend rund ~3,5 Mio. t OS.

<sup>60</sup> 40 % des im Abwasser enthaltenen organischen C (rund ~1,6 Mio. t TOC) entsprechen ~0,6 Mio. t, und somit bei einem Faktor von  $\text{CO}_2/\text{C}=3,6$ , ~2,2 Mio. t  $\text{CO}_2$ .

bilisierung des Klärschlammes erfolgt aerob oder anaerob. Auf großen Anlagen hat sich die anaerobe Vergärung etabliert.

Tabelle 7-14: Vor- und Nachteile der anaeroben Behandlung von Abwasser im Vergleich zum aeroben Abbau

	Anaerobe Behandlung	Aerobe Behandlung
VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit zur Energiegewinnung (Biogas/Methan) aus der organischen Substanz im Abwasser</li> <li>• Geringerer Klärschlammfall<sup>61</sup></li> <li>• Rückhalt der Biomasse nötig, dadurch hohes Schlammalter und ggf. guter Abbau von organischen Mikroverunreinigungen</li> <li>• Nährstoffe verbleiben zum Großteil in der wässrigen Phase (niedriges Redoxpotenzial, geringer Biomassezuwachs) → ermöglicht Nährstoffrückgewinnung aus wässriger Phase in einem nachfolgenden Prozessschritt</li> <li>• Wärmesenke zur KWK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Prozessstabilität - aerober heterotropher Abbau ist ein unspezifischer Prozess, den viele Mikroorganismenarten durchführen können, schneller Biomassezuwachs</li> <li>• Geringer Rest-CSB im Ablauf</li> <li>• Vergleichsweise einfache Prozessführung</li> <li>• Langjährige Erfahrung vorhanden</li> </ul>
NACHTEILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ggf. hoher Wärmebedarf</li> <li>• geringere Prozessstabilität (mehrstufiger syntrophischer Prozess, geringerer Biomassezuwachs)</li> <li>• Biomasse muss zurückgehalten werden (bspw. durch Filter/Membran) mit relativ hohen Investitions- und Betriebskosten</li> <li>• CSB Ablaufwerte relativ höher, ggf. (aerobe) Nachbehandlung nötig</li> <li>• Hoher Nährstoffgehalt des Ablaufs → Rückgewinnung oder Nachbehandlung erforderlich</li> <li>• Manche organische Mikroverunreinigungen sind anaerob schwer abbaubar</li> <li>• Ggf. Geruchsproblematik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notwendige Belüftung ist ein sehr energieintensiver Prozess</li> <li>• CO<sub>2</sub>-Emissionen durch mikrobielle Aktivität<sup>62</sup> und Energieverbrauch<sup>63</sup></li> <li>• Keine Energiegewinnung</li> <li>• Großteil des P verbleibt im Klärschlamm, Großteil des N verbleibt in der wässrigen Phase, ggf. Stickstoffelimination</li> <li>• Hoher Klärschlammfall, der ggf. Schadstoffe enthält und entsorgt werden muss</li> </ul>

Prinzipiell könnte das gesamte Abwasser anaerob vergoren werden. Dadurch könnten die Gasausbeute gesteigert, die CO<sub>2</sub>-Emission vermindert und der Klärschlammfall reduziert werden. Nachteile der anaeroben Verfahrensführung sind: das langsame

<sup>61</sup> Laut Schätzungen 20 % der Klärschlammmenge beim aeroben Abbau (Hillenbrand, 2009).

<sup>62</sup> 40 % des im Abwasser enthaltenen organischen C (rund ~1,6 Mio. t TOC) entsprechen ~0,6 Mio. t, und somit bei einem Faktor von CO<sub>2</sub>/C=3,6, ~2,2 Mio. t CO<sub>2</sub>.

<sup>63</sup> Energieverbrauch der Kläranlagen 4,4 TWh/a, entsprechend 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (UBA 2008), davon 30-50 % für die Belüftung → ~1-1,5 Mio.t CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Wachstum der am anaeroben Abbau beteiligten Mikroorganismen, die damit verbundene größere biologische Störanfälligkeit des Verfahrens, das höhere Temperaturoptimum sowie der geringere Abbaugrad, so dass zum Erreichen der geforderten Ablaufwerte in den meisten Fällen eine Nachbehandlung notwendig ist.

Anaerobe Abwasserbehandlungsverfahren eignen sich besonders für Abwässer mit hoher CSB-Belastung. Eine Erhöhung der CSB-Belastung im Abwasser kann u. a. erreicht werden, durch Aufkonzentration des Abwassers mittels Membrananlagen, getrennte Ableitung von Regenwasser und Grauwasserrecycling, Mitbehandlung anderer organischer Substrate (Co-Vergärung oder Vakuumtransport mit minimierter Spülwassermenge).

### **Erfahrungen und Probleme**

Die Anaerobtechnologie ist im Abwasserbereich grundsätzlich etabliert. Ihre ökologische und ökonomische Vorteilhaftigkeit ist bspw. bei der Behandlung spezieller industrieller Abwässer nachgewiesen. Für die Behandlung von Abwässern mit hohem CSB (Industrieabwässer wie z. B. Abwässer von Molkereien oder Brauereien) ist die Anaerobtechnologie in Deutschland weit verbreitet, ebenso für kommunalen Klärschlamm. Für Haushaltsabwässer dagegen existieren in Deutschland lediglich einige Pilot- und Demonstrationsprojekte. Der Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Anaerobverfahren bei Abwässern mit niedrigen CSB-Gehalten steht noch aus.

Anaerobe Kleinkläranlagen sind insbesondere in China und in Kolumbien weit verbreitet. Große Anlagen (UASB-Anlagen (Schlammbettverfahren)) mit Durchsätzen von 30.000 - 70.000 m<sup>3</sup>/d wurden vor allem in Brasilien und Indien errichtet. Die größten Anlagen haben Durchsätze um 100.000 m<sup>3</sup>/d und behandeln Abwasser von über 400.000 EG (z. B. Veracruz/Mexiko; Atuba Sul/Brasilien; Puerto la Cruz/Venezuela). Die Anaerob-„Technologie hat einen Reifegrad erreicht, der eine breitere Anwendung möglich und sinnvoll erscheinen lässt“ (TBW 1998: 99).

Es werden kommerzielle Reaktoren angeboten, die auch im Siedlungsabwasserbereich einsetzbar sind (überwiegend Festbett- und Schlammbett-Reaktoren). Der UASB-Reaktor ist der am meisten eingesetzte Reaktortyp (Schramm, 2008). Membrantechnologien erlauben einen Rückhalt der Biomasse und damit auch die Behandlung von stärker verdünnten Abwässern. Allerdings ist Membran-Fouling ein großes Problem und die Systeme haben einen relativ hohen Energiebedarf. Der Einsatz der Anaerobtechnik ist i. A. von weitergehenden Veränderungen in der Abwasserinfrastruktur abhängig (vgl. Kap. 8.1).

- **Praxisbeispiel DEUS** (Hillenbrand, 2009)
  - Vakuumtransport von Abwasser zusammen mit Biomüll aus Küchenabfallzerkleinerer
  - Bioreaktor mit Rotationsscheibenfilter
  - <http://www.deus21.de/>
  
- **Praxisbeispiel Wohnsiedlung Lübeck-Flintenbreite** (z. B. Oldenburg et al., 2008)
  - Vakuumtoiletten
  - anaerobe Behandlung des Schwarzwassers in einer Biogasanlage
  - Mitbehandlung von häuslichem Bioabfall
  - Grauwasserbehandlung in bewachsenen Bodenfiltern
  - dezentrale Regenwasserversickerung
  - <http://www.flintenbreite.de/de/wasser2.html>
  
- **Praxisbeispiel INKONDA (Streese-Kleeberg et al., 2006 und 2007)**
  - Behandlung des Abwassers mit Membrantechnologie (Ultrafiltration)
  - Anaerobe Vergärung des Konzentrates aus der Membranstufe gemeinsam mit Bioabfällen aus Küchen und Restaurant
  - <http://www.tu-harburg.de/forschung/fobe/2007/a1998.1-04/w.15.1102428670747.html>
  
- **Praxisbeispiel ANAMEM (Bujalance et al., 2008)**
  - BMBF-Projekt: Hans Huber AG und TU München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
  - Entwicklung eines leistungsfähigen Abwasserreinigungsverfahrens ohne zusätzlichen Energieeinsatz
  - Membran-Vakuum-Verfahren
  - <http://www.wga.bv.tum.de/content/view/68/39/lang,de/>

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Bisherige Erfahrungen zur anaeroben Behandlung von Siedlungsabwässern zeigen, dass der Abbau von organischen Kohlenstoffverbindungen besonders bei Abwässern mit niedrigen Temperaturen ( $< 20^{\circ} \text{C}$ ) oft nur ungenügend zur Biogasproduktion beiträgt (diese Effekte können durch Abwässer mit geringerer CSB-Konzentration noch verstärkt werden). Ein Problem besteht darin, einen ausreichenden Gasaustrag zu er-



zeugen, da ansonsten das Biogas später unkontrolliert im Gewässer austreten kann und so zum Treibhauseffekt beiträgt. Ein weiteres Problem ist die Prozessstabilität bzw. Steuerung. Mittelfristig erfordert eine Standardisierung und Weiterentwicklung des Biogasprozesses, dass die Vorgänge im Innern des Reaktors transparent und steuerbar werden. Geeignete „selbst-lernende“ Modelle, wie in der Landwirtschaft bereits im Einsatz, können die Prozessführung erleichtern (Schramm, 2008).

Günstige Randbedingungen für den Einsatz der Anaerobtechnologie für Siedlungsabwässer sind relativ hohe CSB-Gehalte bspw. durch einen niedrigen spezifischen Wasserverbrauch, Grauwasser-Recycling, Trennkanalisation oder dezentrales Regenwassermanagement (Koziol, 2006). Eine andere Möglichkeit die CSB-Konzentration zu erhöhen, ist die Co-Vergärung des Abwassers mit biogenen Abfällen oder mit Biomasse (ggf. aus Eigenanbau, vgl. Kapitel 7.7.5).

Auch mit Stoffstromtrennung (bspw. Abtrennung/Recycling von Grauwasser) und speziellen Transportsystemen (bspw. Vakuum-Kanalisation und Mittransport Biomüll vgl. Kapitel 7.3.1) kann die CSB-Konzentration erhöht werden. Hierfür sind allerdings Investitionskosten in der Infrastruktur nötig.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Für die Verfahrensänderung von aerober zu anaerober Behandlung von Siedlungsabwässern sind Investitionen in die Anlagen und ggf. in den Abwassertransport nötig, die nicht rückbaufähig sind.

Allerdings kann bei günstigen Randbedingungen (relativ hoher CSB-Gehalt) die Umstellung auf eine anaerobe Behandlung den notwendigen (energetischen und finanziellen) Aufwand für die Abwasserbehandlung verringern. In diesem Fall muss durch eine weitere Reinigungsstufe die Einhaltung der Ablaufwerte (CSB und Nährstoffe) gewährleistet werden. Hier sind auch Nutzungsoptionen (s. Anbau von Energiepflanzen, Bewässerung etc.) oder Nährstoffrückgewinnung vorstellbar.

#### **7.7.4 Zweistufige anaerobe Verfahren (getrennte Hydrolyse)**

Bei den zweistufigen anaeroben Verfahren ist zu unterscheiden zwischen zweistufiger Klärschlammvergärung und „Co-Hydrolyse“ von Co-Substraten mit Abwasser als Perkolationswasser mit anschließender Methanogenisierung des Perkolats. Beide haben den Vorteil erhöhter Prozessstabilität.

Für die zweistufige Klärschlammvergärung gibt es einige Pilot- und Demonstrationsprojekte. Die „Co-Hydrolyse“ befindet sich noch im F&E-Stadium, dementsprechend ist die Unsicherheit der technischen Entwicklung hoch.

### **Beschreibung der Maßnahme**

Obwohl Anaerobverfahren für die Entsorgung von Abfall- und Abwasserteilströmen (bspw. Klärschlamm, industrielle Abwässer) sowie für die Behandlung von landwirtschaftlichen Reststoffen und nachwachsenden Rohstoffen (NawaRos) als Stand der Technik zu betrachten sind, gibt es noch ein großes Entwicklungspotenzial und erheblichen Forschungsbedarf (Weiland, 2009 in Bley, 2009). Eine Möglichkeit, die Prozessstabilität und Gasausbeute zu erhöhen, ist die zweistufige Vergärung. Bei diesem Verfahren wird die Hydrolyse von der Methanogenese räumlich getrennt. Die Trennung entspricht den Anforderungen der beteiligten Mikroorganismen besser als eine einstufige Vergärung (Weiland, 2009 in Bley, 2009, Busch und Sieber, 2006, Busch et al., 2008). Der mikrobielle Abbau unter sauerstofffreien Bedingungen erfolgt in vier biochemischen Teilprozessen mit verschiedenen beteiligten Mikroorganismen-Arten, die unterschiedliche Wachstumsbedingungen bevorzugen (Bischofsberger et al., 2005).

In der „Hydrolyse“-Stufe (auch Bioleaching-Stufe genannt) erfolgt eine enzymatische und mikrobielle Überführung von biogen verfügbaren Feststoffen in gelöste organische Verbindungen und eine Aufspaltung von langkettigen organischen Molekülen. Aus Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen entstehen  $H_2$ ,  $CO_2$ , organische Säuren, Alkohole und andere (kurzkettige) organische Verbindungen durch fermentative und acidogene Bakterien. Die Bedingungen sind anaerob bis schwach aerob. In der anaeroben Methanisierungsstufe entsteht durch die Aktivität von acetogenen und methanogenen Bakterien zunächst Essigsäure, dann Methan ( $CH_4$ ) sowie  $H_2$ ,  $CO_2$  und andere Biogasbestandteile wie Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ), Siloxane u.a (Bischofsberger et al., 2005).

Der Vorteil der zweistufigen Vergärung liegt in der erhöhten Prozessstabilität (Busch/Sieber, 2006; Busch et al., 2008). Die Verweilzeit in der Hydrolyse kann dem jeweiligen Substrat angepasst werden. Die empfindlichen Mikroorganismen in der Methanisierungsstufe bekommen ein relativ einheitliches Substrat mit gelösten organischen Verbindungen mit einer hohen Bioverfügbarkeit zur Verfügung gestellt, auch wenn unterschiedliche Ausgangssubstrate bzw. Ausgangssubstrate mit schwankenden Qualitäten in der Hydrolyse verwendet werden.

## Erfahrungen und Probleme

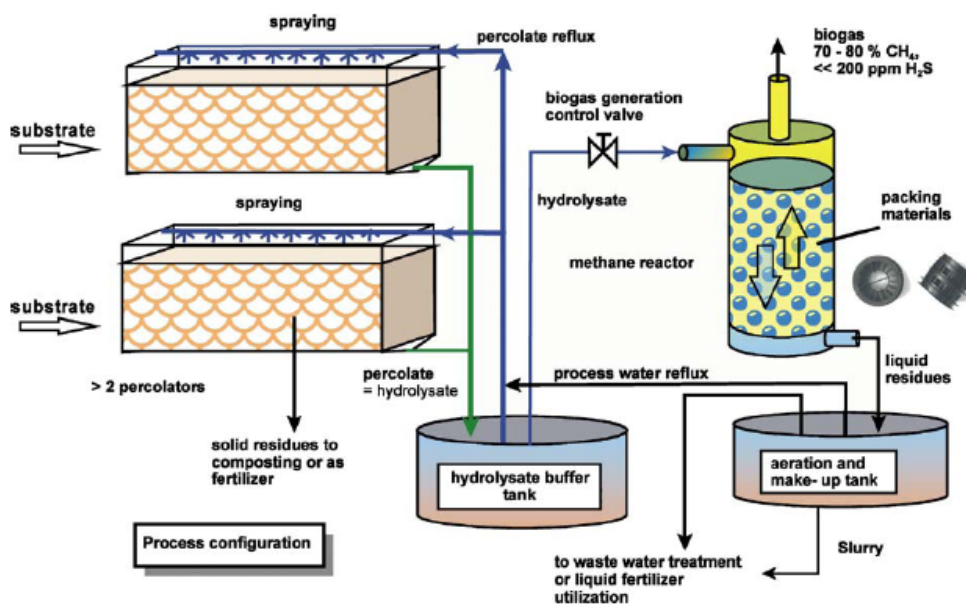
Erfahrungen mit der zweistufigen Vergärung von Klärschlamm:

In Leonberg wurde 1994 eine Pilotanlage in Betrieb genommen, in Heidelberg 2004<sup>64</sup>. Die Hydrolysestufe wird anaerob mesophil betrieben, die Methanogenese-Stufe anaerob thermophil. Die Vorteile sind: kurze Verweilzeit von zwei mal fünf Tagen, Reduktion der Organik um 60 %, Gasausbeute von 0,5 m<sup>3</sup> pro kg oTS (zugeführte organische Trockensubstanz) und stabiler Betrieb. (Kempster und Trösch 2000, Kempster-Regel et al., 2003 und 2004).

Erfahrungen im NawaRo/Biomüll-Bereich:

Im landwirtschaftlichen Bereich werden die ersten kommerziellen zweistufigen Biogasanlagen für NawaRos in Deutschland angeboten und betrieben<sup>65</sup>. Nach Aussagen der Hersteller ist die Prozessstabilität im Vergleich zu einer einstufigen Anlage verbessert und die Gasausbeute um 5-30 % erhöht. Allerdings sind diese Anlagen nicht für den Abwasserbereich ausgelegt.

Abbildung 7-1: Zweistufiges Fest-Flüssig-Biogas-Verfahren mit offener Hydrolyse<sup>66</sup>



64 Siehe Berichte des Fraunhofer IGB, online verfügbar unter <http://bwplus.fzk.de/berichte/ZBer/2004/ZBerwt22007.pdf>  
[http://www.syswasser.de/german/projects/Technologiekompetenzen/IGB\\_Bio\\_Vergaerung.pdf](http://www.syswasser.de/german/projects/Technologiekompetenzen/IGB_Bio_Vergaerung.pdf)  
[http://www.igb.fraunhofer.de/www/gf/umwelt/biogas/dt/Klaersch\\_LEO.dt.html](http://www.igb.fraunhofer.de/www/gf/umwelt/biogas/dt/Klaersch_LEO.dt.html).

65 <http://www.bioconstruct.de>, <http://www.bionovae.de/hydrolyse.html>, <http://www.rottaler-modell.de>.

66 Quelle: Busch et al. 2009.

Im Rahmen des Biogas Crops Networks, einem vom BMBF geförderten Verbundprojekts, hat der Lehrstuhl Abfallwirtschaft der Universität Brandenburg ein zweistufiges Fest-Flüssig-Biogas-Verfahren für Biomüll und NawaRos mit offener Hydrolyse entwickelt (Busch/Sieber, 2006 und Busch et al., 2008).

Durch die offene Fahrweise ist die Hydrolyse schwach aerob und der Behälter benötigt keine gasdichte Abdeckung (geringere Kosten für Behälter). Die Methanbildung in der Hydrolyse-Stufe wird fast vollständig unterdrückt. Der Methangehalt des Biogases wird erhöht, da CO<sub>2</sub> während der Hydrolyse an die Atmosphäre abgegeben wird. In der Methanisierungsstufe wird ein Reaktor mit Aufwuchskörpern aus hydrophobem Kunststoff oder Holz benutzt, um die Verweilzeit der Mikroorganismen von der hydraulischen Verweilzeit zu entkoppeln. Die Aufwuchskörper bedingen einen guten Auftrieb der Biomasse und damit guten Kontakt zum gelösten Substrat.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Die Fest-Flüssig-Verfahren mit Biomüll/NawaRos sind nicht für den Abwasserbereich ausgelegt. Es bestünde aber die Möglichkeit, Abwasser für die Hydrolysestufe zu nutzen, so dass durch Perkolation des Abwassers durch die Co-Substrate die CSB-Konzentration erhöht wird. So könnten auch Abwässer mit einer geringeren CSB-Konzentration effektiv anaerob behandelt werden (vgl. Kapitel 7.7.3).

Die Kombination der Hydrolyse von biogenen Abfällen mit Siedlungsabwasser („Co-Hydrolyse“) und die anschließende Methanogenisierung kann einen neuen Ansatz in der integrierten Entsorgungswirtschaft darstellen. Zusätzlicher Aspekt ist hierbei eine effizientere Energieerzeugung.

Für die kommerziellen Anlagen, die das zweistufige Fest-Flüssig-Biogas-Verfahren für Klärschlamm und NawaRos betreiben, liegen keine unabhängigen Informationen über Randbedingungen und Hemmnisse vor. Laut den Herstellern ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen gegeben. Die Kombination der Hydrolyse von biogenen Abfällen mit Siedlungsabwasser („Co-Hydrolyse“) wurde bislang erst im Labormaßstab erprobt. Die großtechnische Erprobung steht aus, deshalb sind keine Aussagen über Randbedingungen und Hemmnisse möglich.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die Investitionskosten für eine Hydrolysestufe müssen den Einsparungen gegenübergestellt werden. Entscheidende Faktoren hierfür sind: höhere Biogasausbeuten bei gleichem Input, geringere Ausfallzeiten der Biogasproduktion bei Störungen und beim

Hochfahren des Reaktors, geringeres nötiges Reaktorvolumen und Verhindern schädlicher Emissionen durch (abgefackeltes oder ungenutztes) Biogas. Diese Effekte sind unabhängig vom demografischen Wandel als positiv zu bewerten. Allerdings liegen bislang erst wenige Praxiserfahrungen vor.

Die beschriebene Anwendung zur „Co-Hydrolyse“ von Biomüll oder Co-Substraten mit Siedlungsabwasser als Perkolationswasser im Fest-Flüssig-Verfahren ist ein Ansatz, der eine Integration von Biomüll-Behandlung und Abwasser-Behandlung erlauben könnte. Dies kann im Hinblick auf den demografischen Wandel interessant sein, wenn es bspw. keine mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage gibt, aber auf der Kläranlage freie Kapazitäten bereitstehen. Allerdings gibt es hier erhebliche rechtliche und technische Unsicherheiten, da sich die beschriebene Technologie noch im F&E-Stadium befindet.

#### **Weiterführende Quellen**

UBA 1998: Zweistufige Klärschlammfäulung im Zuge des Ausbaus der Sammelkläranlage „Mittleres Gelmstal“, UBA Texte Bd. 62/98

Merz et al. 1999: Zweistufiges mesophil-thermophiles Verfahren zur Schlammfäulung erstmals in großtechnischem Maßstab erprobt.“ Korrespondenz Abwasser Jg. 46 1999, Nr. 8, S. 1238-1243

### **7.7.5 Eigenanbau von Co-Substraten**

Auf den Eigenanbau von Co-Substraten für die Vergärung auf Kläranlagen bzw. unter Regie der Kläranlagen wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits mehrfach und i. d. R. unter Kosten- und Energieeffizienzgesichtspunkten verwiesen. Er macht als Maßnahme mit Bezug auf den demografischen Wandel vor allem vor dem Hintergrund des steigenden Kostendrucks und ggf. bei frei werdenden Flächen auf dem Klärwerksgelände Sinn. Die damit verbundene Steigerung der Eigenenergieerzeugung senkt die Betriebskosten und die Nährstoffaufnahme der Co-Fermentate kann bei der Abwasserbehandlung zu Einsparungen bei der Nährstoffelimination führen.

Die Mikroalgen-Systeme befinden sich noch im F&E-Stadium, besonders im Hinblick auf eine Anwendung im Abwasser-Bereich, dementsprechend ist die Unsicherheit der technischen Entwicklung hoch. Die beschriebene Technologie könnte aber in Zukunft in neuartigen Konzepten (vgl. Kapitel 8) eine Rolle spielen.

### Beschreibung der Maßnahme

Auf Kläranlagen bzw. unter Regie der Kläranlagen können Co-Substrate für die Vergärung angebaut werden. Durch die Nutzung der auf den Kläranlagen vorhandenen Ressourcen Nährstoffe, Wasser, Wärme und CO<sub>2</sub><sup>67</sup> sowie der kurzen Transportwegen zur Vergärung ergibt sich die Möglichkeit eines nachhaltigen Anbaus von Biomasse.

Für den Eigenanbau von Co-Substraten gibt es umwelt-offene oder –geschlossene Systeme. Bei umwelt-offenen Systemen muss die Schadstoffproblematik (Hygienische Belastung, Schwermetalle, organische Mikroverunreinigungen, mögliche Akkumulation im Boden, Kontamination des Grundwassers) unbedingt berücksichtigt werden.

Tabelle 7-15: Vor- und Nachteile des Eigenanbaus von Co-Substraten auf Kläranlagen

Vorteile	Nachteile
Möglichkeit der Nutzung der auf den Anlagen vorhandenen Ressourcen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe</li> <li>• Wasser</li> <li>• Wärme</li> <li>• CO<sub>2</sub></li> </ul>	Schadstoffproblematik bei offenen Systemen In geschlossenen Systemen kein Austrag von Schadstoffen in die Umwelt (Ablauf kann ggf. weiterbehandelt werden)
Beitrag zum Klimaschutz durch erneuerbare Energien Nachhaltiger Anbau von Energiepflanzen mit guter Ökobilanz (Nährstoffrecycling, kurze Transportwege)	Flächenbedarf, Konkurrenz zu anderen (landwirtschaftlichen) Nutzungen (bei Mikroalgen-Systemen weniger kritisch, da auch marginale Flächen verwendet werden können)
Vergütung für Gas/Strom/Wärme	erhöhter Personalaufwand, Betriebskosten, Investitionskosten

### Erfahrungen und Probleme

Es gibt bereits (teilweise langjährige) Erfahrungen mit biologischen Produktionssystemen auf der Basis holziger Pflanzen auf bewachsenen Bodenfiltern, Rieselfeldern<sup>68</sup> und Short Rotation Plantations (SRP).<sup>69</sup>

<sup>67</sup> CO<sub>2</sub> wird im Allgemeinen nicht als Ressource betrachtet, da es ein Treibhausgas ist. Allerdings beschleunigt ein erhöhter CO<sub>2</sub>-Partialdruck das Pflanzenwachstum, was bspw. bei der CO<sub>2</sub>-Begasung von Gewächshäusern ausgenutzt wird. In diesem Sinne kann es auch als Ressource angesehen werden.

<sup>68</sup> Lühring und Walter, 2007, Braunschweig.

Besonders interessant, aber im Hinblick auf eine Anwendung im Abwasserbereich noch im Stadium von F&E und Pilotprojekten, sind geschlossene biologische Produktionssysteme mit Mikroalgen. Mikroalgen sind aquatische photo-autotrophe Lebewesen, die unter Licht aus Nährstoffen und CO<sub>2</sub> Biomasse bilden können. Die Mikroalgen wachsen in Photobioreaktoren oder offenen Teichen unter Zugabe von Wasser, CO<sub>2</sub> und Nährstoffen. Diese Systeme werden erprobt, um CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftwerken aufzunehmen<sup>70</sup> (Bley, 2009). Prinzipiell kann auch nährstoffreiches teilgeklärtes Abwasser zur Nährstoff- und Wasserversorgung der Mikroalgen genutzt werden, sowie CO<sub>2</sub> aus ggf. vorhandenen BHKWs. Durch das Wachstum der Algen werden Nährstoffe aus der wässrigen Phase eliminiert und es entsteht Sauerstoff, wodurch ggf. Schadstoffe teilweise oxidiert und abgebaut werden (Munoz/Guieysse, 2006).

Die entstehende Biomasse kann wieder dem Anaerob-Prozess zugeführt werden und so die Gasausbeute erhöhen. Mikroalgen haben einen hohen Lipidanteil und sind deshalb gut geeignete Substrate. Aufgrund der gleichmäßigen Temperatur des Abwassers und der Fähigkeit der Algen, auch geringere Lichtintensitäten photosynthetisch zu nutzen, ist eine Biomasseproduktion auch im Winter prinzipiell möglich. In einem geschlossenen System ist auch die Anwesenheit von Schwermetallen kein grundsätzliches Problem.

### **Praxisbeispiel Rieselfelder und Verregnungsfelder Braunschweig**

- Bei dem Verfahren der Abwasserverwertung in Braunschweig handelt es sich um ein umweltoffenes System.
- Der Klärschlamm weist zertifizierte Klärschlammqualität auf.
- In der Vegetationsperiode: Nutzung des geklärten Abwassers zur Bewässerung und des stabilisierten Klärschlammes als Nährstoffquelle (nach Klärschlammverordnung).
- Im Winterbetrieb wird das Klarwasser aus dem Kläranlagenablauf über Rieselfelder und eine Bodenpassage in die Oker geleitet. Der Klärschlamm wird entwässert und bis zur nächsten Vegetationsperiode gelagert.
- Auf 1000 ha landwirtschaftlicher Anbaufläche werden Mais und Roggen angebaut (Contracting). Geerntet werden etwa 44.000 t Gärsubstrat (44t/ha\*a).
- Die Gasausbeute der Biogasanlagen beträgt ca. 1.000 m<sup>3</sup>/h.

---

69 EU-Projekt BIOPROS – “Solutions for the safe application of wastewater and sludge for high efficient biomass production in Short-Rotation-Plantations” (<http://www.biopros.info/>).

70 Pilotprojekt von RWE in Niederaußem (<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/184012/data/184208/17156/rwe/innovationen/services/infothek-forschung-entwicklung/Algen-Projekt.pdf>).

- Der Großteil des Biogases wird in erdverlegter Gasleitung zu einem BHKW in Braunschweig transportiert.
- Zwei Gasmotoren (2 x 1 MW<sub>el</sub>) dienen der Stromerzeugung (16.000 MWh/a) und der Nahwärmeversorgung.

### **Praxisbeispiel Niederaußem**

- In Niederaußem steht eine Pilotanlage für ein geschlossenes System mit Mikroalgen. Allerdings wird hier nicht Abwasser als Nährstoffquelle genutzt, sondern Mineraldünger (Nährlösung). Die Mikroalgen verwenden CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Kohle-Kraftwerkes zum Aufbau von Biomasse.
- Das Projekt befindet sich zurzeit noch im Pilotmaßstab:  
600 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche → Produktion von 6000 kg/a Algen-Biomasse, das entspricht einer Sequestrierung von 12 t CO<sub>2</sub>/a (Ausstoß des Kraftwerks: 27 Mio.t/a).
- Laut Hochrechnung vom Pilotmaßstab wird im Ausbaustadium mit einer Biomasseproduktion von 100 t (TS)/ha\*a gerechnet.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Für die ökonomischen Randbedingungen für die verschiedenen Systeme liegen keine genauen Daten vor. Bei den geschlossenen biologischen Produktionssystemen mit Mikroalgen stehen prinzipiell den Einsparungen/Gewinnen durch:

- Steigerung der Gasproduktion
- Senkung der Abwasserabgabe (bessere Ablaufwerte)
- ggf. Verzicht auf energieintensive Nährstoffelimination → Senkung der Betriebskosten

die Mehrausgaben durch:

- Investitionskosten
- Betriebskosten (Mehraufwand Personal, Durchmischung/Pumpen der Algensuspension, Ernte/Aufbereitung)

gegenüber. Die höchsten Kosten bei den Mikroalgen-Systemen entstehen durch den Mineraldünger und die Ernte und Aufbereitung der Algen (Schmack et al., 2004 und 2009). Allerdings stehen auf Kläranlagen die Nährstoffe zur Verfügung, und eine Aufbereitung entfällt zum großen Teil, wenn die Mikroalgen vor Ort in die Vergärung gegeben werden.

Hinsichtlich der rechtlichen Randbedingungen sind bei umweltoffenen Systemen die Klärschlammverordnung und das Bodenschutzgesetz zu beachten.



Unter ökologischen Aspekten sind die wesentlichen Vorteile:

- Energieeinsparungen durch die Wiederverwertung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe.
- Geschlossene Systeme mit Mikroalgen: Nachhaltiger Anbau von Biomasse ohne Konkurrenz zu anderen landwirtschaftlichen Nutzungen.
- Kurze Transportwege zur Vergärung und die Nutzung von Reststoffen sprechen für eine günstige Ökobilanz.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Bei einem Rückgang der angeschlossenen EW existieren freie Kapazitäten in den Faulbehältern oder es kann sogar die Wirtschaftlichkeit der anaeroben Klärschlammstabilisierung gefährdet sein. Die Co-Vergärung von nicht abwasserbürtigen Substanzen kann eine geeignete Maßnahme sein, allerdings ist die Wirtschaftlichkeit stark abhängig von der Substratverfügbarkeit. In der vorliegenden Maßnahmenbeschreibung wird die Möglichkeit aufgezeigt, Co-Substrate unter Regie der Kläranlagen und unter Berücksichtigung der Schadstoffproblematik anzubauen,

Mit umweltoffenen Systemen bestehen langjährige Erfahrungen, allerdings bleibt immer eine Unsicherheit bezüglich der verbleibenden Schadstoffgehalte und der möglichen Akkumulation im Boden bzw. dem Austrag ins Grundwasser und in die Umwelt. Eine Alternative bieten geschlossene biologische Produktionssysteme bspw. mit Mikroalgen, die es erlauben, trotz der Schadstoffproblematik Nährstoffe und Wasser für den Anbau von Biomasse zur Energiegewinnung wiederzuverwerten.

Unter der Annahme des Anbieters Greenfuel ergibt 1 m<sup>2</sup> Photobioreaktorfläche etwa 25 kg TS/a (hochgerechnet aus der Vegetationsphase) mit einer Gasausbeute von ~800 l/kg, demnach 20 m<sup>3</sup> Biogas/a\*m<sup>2</sup>. Der Ertrag von 1 EW beträgt 7-9 m<sup>3</sup>/EW\*a (20-25 l/EW\*d). Demnach substituiert rund ½ m<sup>2</sup> einen EW im Bezug auf den Gasertrag. Bei einer konservativeren Annahme von 50 t/ha\*a (entsprechend 5 kg/m<sup>2</sup>\*a<sup>71</sup>) würden etwa 2 m<sup>2</sup> einen Einwohner im Bezug auf den Gasertrag substituieren. Im Beispiel Braunschweig haben die umwelt-offenen Systeme einen Ertrag von 44 t/ha\*a. Demnach werden etwa 2-3 m<sup>2</sup> benötigt um einen EW im Bezug auf den Gasertrag zu substituieren.

---

<sup>71</sup> Nach Angaben von RWE erreicht die Pilotanlage Niederaußem ~10 kg/m<sup>2</sup>\*a.

Trotz des Risikos, das die Erschließung eines neuen Geschäftsfeldes in sich trägt, kann der Eigenanbau von Co-Substraten bei günstigen Randbedingungen eine geeignete Maßnahme sein, die Eigenenergieerzeugung zu steigern und ggf. sogar zu einem Netto-Stromproduzenten zu werden. Dabei werden die auf der Kläranlage vorhandenen Ressourcen genutzt, was die Ökobilanz des Biomasseanbaus zur Energiegewinnung im Vergleich zum konventionellen landwirtschaftlichen Anbau mit Mineraldüngern deutlich verbessert. Je nach Konzeptausgestaltung sind eine Zusammenarbeit von und ein Know-How-Transfer zwischen landwirtschaftlichen („Energiebauer“) und wasserwirtschaftlichen Akteuren zu empfehlen.

### **Weiterführende Quellen**

<http://www.mstonline.de/mikrosystemtechnik/mst-fuer-energie/algen/>.

<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/08/H2/index.html>. „Carbon Recycling Forum 2008“ des National Energy Technology Laboratory (NETL) in den USA.

acatech (2009): Biotechnologische Energieumwandlung

[http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/acatech\\_diskutiert/acatech\\_diskutiert\\_Energieumwandlung.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/acatech_diskutiert/acatech_diskutiert_Energieumwandlung.pdf).

Algae biomass organization: <http://www.algalbiomass.org>

BMBF-geförderte Projekte/Veranstaltungen im Rahmen von „Mikrosysteme für Energie“, bspw. „Bundes-Algen-Stammtisch“, sh. Homepage.

Informationsplattform Biotechnologie des BMBF  
(<http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/themendossiers,did=66128.html>.)

## **7.8 Organisatorische Maßnahmen**

### **7.8.1 Zusammenschluss benachbarter Anlagen**

#### **Beschreibung der Maßnahme**

Im Rahmen der Umsetzung von Abwasserbeseitigungskonzepten oder bei anstehenden Sanierungen oder Erweiterungen von Kläranlagen kann das Zusammenlegen benachbarter Anlagen in Betracht gezogen werden. Der Zusammenschluss kann sowohl innerhalb einer Gemeinde als auch zwischen zwei Gemeinden erfolgen. Die Kosten für Betrieb und/oder Neubau/Sanierung mehrerer Anlagen werden den Kosten für Betrieb

und Sanierung/Erweiterung einer zentralen Anlage sowie der notwendigen Überleitung zur zentralen Anlage gegenübergestellt und in einem Wirtschaftlichkeitsvergleich die wirtschaftlichere Alternative bestimmt. Die optimale Lösung hängt dabei auch von den topografischen und siedlungsstrukturellen Randbedingungen und dem Schmutzwasseraufkommen ab. Im Flachland ist die Überleitung des Abwassers zur zentralen Anlage in der Regel als Druckleitung auszuführen.

### **Erfahrungen und Probleme**

Im Rahmen der Ertüchtigung von Ortsteilkläranlagen ist die Prüfung möglicher Zusammenlegungen bzw. der Anschluss an eine zentrale Kläranlage üblich.

Zur Auslastung vorhandener zentraler Anlagen erfolgt in der Regel je nach Siedlungsstruktur der Anschluss der Umlandgemeinden (die bspw. über eine sanierungsbedürftige oder stark unterausgelastete Kläranlage verfügen) über einen Anschluss an das entsprechende Abwassernetz oder als Überleitung zur zentralen Kläranlage.

**Beispiel Stadtentwässerung Dresden** (Presseinformation Stadtentwässerung Dresden GmbH; Pressemitteilung 2004 der Landesdirektion Dresden)

- Abwasserpumpwerk in der Stadt Heidenau befördert Abwasser über Druckrohrleitungen (4 km Länge; DN 600) in die Dresdner Kanalisation.
- Von der Zuleitung in die Dresdner Kanalisation bis zur Kläranlage Dresden-Kaditz sind es 17 km Fließstrecke; geringer Mehraufwand für die Mitbehandlung des zusätzlichen Abwassers, da das Abwasser aufgrund der langen Fließstrecke nachts in Zeiten geringer Auslastung eintrifft.
- Abwasserhauptpumpwerk: Bauzeit ca. ein Jahr; Investitionssumme von rund 4 Millionen Euro; daran Beteiligung der Stadt Heidenau mit rund 700.000 Euro.
- Auch von weiteren Nachbarkommunen wird das Abwasser von der Stadtentwässerung Dresden übernommen.
- Vereinbarung von Einleiterentgelten zwischen den Kommunen, die an die Einwohner weitergegeben werden.

### **Beispiel Lippeverband Kläranlage Unna-Uelzen**

- Überleitung des Abwassers aus Uelzen (kleine veraltete Kläranlage) zur Bönener Kläranlage, für die bei der Planung entsprechende Kapazitäten vorgesehen wurden.
- Überleitung: rund 2 Kilometer langer Kanal DN 500, der in bis zu vier Metern Tiefe zu einem Abwasserkanal geleitet wird, der das Abwasser zur Kläranlage Bönen führt.

- Investitionen von insgesamt 2,7 Millionen Euro für den Überleitungskanal und ein Pumpwerk – wirtschaftlichere Lösung gegenüber der Modernisierung der alten Kläranlage.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Die Errichtung von Transportleitungen zur Überleitung des Abwassers in die zentrale Kläranlage kann zu längeren Fließwegen und –zeiten des Abwassers führen und begünstigt damit die Entstehung von Geruchs- und Korrosionsproblemen sowie den vorzeitigen Abbau organischer Abwasserinhaltsstoffe im Kanal. Besonders gefährdete Orte bezüglich einer Geruchsemission und Korrosionserscheinungen stellen die Pumpwerke für den Betrieb von Druckleitungen dar.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Mit dem Bau von Überleitungen zu einer zentralen Kläranlage sind umfangreiche und langlebige Investitionen in abwassertechnische Anlagen verbunden, die einer plausiblen Wirtschaftlichkeitsberechnung bzw. einem geeigneten Variantenvergleich unterzogen werden sollten (unter Berücksichtigung der langfristig sich abzeichnenden Veränderungen aller Randbedingungen). Die Überleitung des Abwassers unterstützt die Auslastung der zentralen Anlage und spart die Modernisierungskosten der veralteten Anlage. Der Kostenvorteil, für die über eine Überleitung angeschlossenen Gebiete ist nachzuweisen, wobei unter Berücksichtigung potenzieller Bevölkerungsrückgänge im ländlichen Raum auch Gruppenlösungen in den Variantenvergleich einbezogen werden sollten, um flexible Lösungen zu finden und die Anpassungsfähigkeit an zukünftige demografische Veränderungen zu ermöglichen.

### **Weiterführende Quellen**

Siegl, A.; Löffler, H. (2008): Orientierung für Eigentümer und Planer. Nutzen-Kosten-Bewertung dezentraler Abwasserbehandlung. Schnelle Orientierung für Betroffene und Planer: Anschauliches Arbeitsmaterial zur Bewertung von Anlagen und Verfahren. wwt –abwasser dezentral spezial 6/2008; S. 35-42.

## **7.8.2 Mitbehandlung Industrieabwasser**

### **Beschreibung der Maßnahme**

Durch den Rückgang der an eine Kläranlage angeschlossenen Einwohner entstehen auf Behandlungsanlagen freie Kapazitäten. Durch eine Mitbehandlung nicht-

kommunaler Abwässer können diese Kapazitäten genutzt werden. Die Mitbehandlung industrieller Abwässer kann mit technischen und wirtschaftlichen Vorteilen für den Kläranlagenbetrieb verbunden sein.

Verschiedene Inhaltsstoffe industrieller Abwässer können allerdings auch zu Beeinträchtigungen der biologischen Behandlungsstufe führen. An die Einleitung von Abwasser in die öffentliche Kanalisation sind deshalb Auflagen zu stellen, um durch die Beschaffenheit des Abwassers die Funktionsfähigkeit der Kläranlage und die Einhaltung der Anforderungen an die Ableitung des behandelten Abwassers in ein Gewässer sowie die Sicherung einer umweltverträglichen Klärschlammabeseitigung nicht zu beeinträchtigen. Im DWA-Merkblatt M 115-2 werden Stoffe aufgelistet, die grundsätzlich nicht über die öffentliche Abwasseranlage beseitigt werden dürfen. Dazu zählen beispielsweise Öle, Fette, Schwerflüssigkeiten, Biozide sowie feuergefährliche oder explosionsfähige Gemische bildende Stoffe.

Für die Mitbehandlung auf kommunalen Kläranlagen eignen sich industrielle Abwässer mit leicht abbaubaren Inhaltsstoffen bspw. aus der Lebensmittel- und Getränkeindustrie.

Nach Englert (2002) wird der biologische Teil einer Kläranlage kostenwirksam beeinflusst durch:

- einen erhöhten Anteil absetzbarer Stoffe
- erhöhte BSB<sub>5</sub>/CSB-Konzentration
- hohe Stickstofffrachten
- hohe Phosphorfrachten.

Verschiedene C/N- und C/P-Verhältnisse benötigen unterschiedliche Belebungsbeckenvolumina und führen zu erhöhter bzw. geringerer Überschussschlammproduktion. Für jede Kläranlage ist eine Einzelfallprüfung zur Qualifizierung der Einflüsse der mitzubehandelnden industriellen Abwässer durchzuführen. Dabei sind auch der oft saisonale Anfall des industriellen Abwassers und erhöhte Abwassertemperaturen zu beachten.

### **Erfahrungen und Probleme**

Von Bäuerle (2000) wurden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für verschiedene Unternehmen zur Entscheidung über eine gemeinsame oder separate Behandlung des industriellen mit dem kommunalen Abwasser durchgeführt. Danach erwies sich die separate Behandlung mit Direkteinleitung als wirtschaftlicher. Weiterhin führt Bäuerle (2000) Beispiele an, bei denen eine Abkopplung von der kommunalen Kläranlage erfolgte (Fa. Müller Milch, Aretsried oder Fa. Hochland, Stadt Schongau).

### **Kläranlage Aalen-Unterkochen (Bäuerle, 2000)**

- Mitbehandlung von Textilabwasser
- Bei einem Verhältnis von kommunalem Abwasser zu Industrieabwasser von 1:1 an Trockenwettertagen Einhaltung der Grenzwerte schwierig.
- Hohe Abwassertemperaturen des Textilabwassers – im Belebungsbecken immer Temperaturen über 10°C; im Mittel zwischen 20 und 25°C; starker und schneller Temperaturabfall an Wochenenden ohne Industrieabwasserzufluss oder bei Regenereignissen mit hohen Zuläufen aus dem kommunalen Zulauf.
- Aufgrund der höheren Temperaturen Aufrechterhaltung einer stabilen Nitrifikation mit wesentlich geringerem Schlammalter als bei üblichen kommunalen Anlagen möglich.
- Überschussschlammproduktion nur halb so groß wie sie sich aus den Vorgaben des A 131 für kommunale Kläranlagen ergeben würde – Aufrechterhaltung der Nitrifikation mit einem wesentlich kleineren Belebungsbecken als bei üblichen kommunalen Anlagen.
- Gezielte Denitrifikation aufgrund des geringen Stickstoffgehaltes nicht erforderlich.
- Reinsauerstoffbegasung – Rückgang der Schaumentwicklung (eine dynamische Kosten-Vergleichsrechnung nach LAWA ergab klare wirtschaftliche Vorteile einer Druckbelüftung, dennoch wurde aufgrund des Risikos einer verfahrenstechnischen Verschlechterung auf deren Realisierung verzichtet).
- Umgestaltung der Beschickung der Nachklärung: zwei Nachklärbecken mit je 14 Beschickungsöffnungen DN 300.

Nach König (2000) zeigten Untersuchungen zum Einfluss organisch hochbelasteter Abwässer für Kläranlagen größerer Ausbaugröße für Belebungsanlagen mit getrennter Schlammstabilisierung, dass eine gemeinsame Behandlung der organisch belasteten Abwässer, insbesondere auf die Stickstoff- und Phosphorelimination Vorteile haben kann. König (2000) beschreibt den Einfluss organisch hoch belasteter Abwässer auf Ausbaugrößen unter 20.000 EW mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung am Beispiel der Mitbehandlung von Fruchtsaftabwasser.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

#### **Ökonomische Randbedingungen**

Unter bestimmten Bedingungen kann die gemeinsame Behandlung von kommunalem und Industrieabwasser verfahrenstechnisch (Begünstigung der biologischen Prozesse durch Verbesserung der Nährstoffverhältnisse im Belebungsbecken) und wirtschaftlich sinnvoll sein. Nach Bäuerle (2000) ergeben sich häufig für den Industriebetrieb nur

dann wirtschaftliche Vorteile, wenn eine direkte Einleitung in die Kläranlage möglich ist und die Abrechnung nicht über die satzungsgebundenen höheren Gebühren und Beiträge der Kommunen erfolgen muss.

### **Rechtliche Randbedingungen**

Der Betreiber einer öffentlichen Abwasserbehandlungsanlage hat das Recht und die Pflicht, Bedingungen an die Einleitung nicht häuslichen Abwassers zu knüpfen, die der baulichen Erhaltung und Betriebssicherheit, der Sicherheit des Betriebspersonals, der Erfüllung der eigenen Direkteinleiterpflichten und der Sicherstellung der Klärschlamm-entsorgung dienen. Hierzu können entsprechende Festlegungen in örtlichen Abwassersatzungen oder in privatrechtlichen Vertrags- bzw. Geschäftsbedingungen getroffen werden. Der Betreiber der öffentlichen Abwasserbehandlungsanlage ist ebenso verpflichtet die Überwachung der Einhaltung der Einleitungsbedingungen vorzunehmen (DWA-M 115-1, DWA 2004). Die Einleitung von Abwasser mit gefährlichen Stoffen in öffentliche Abwasseranlagen unterliegt einer wasserrechtlichen Genehmigungspflicht.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Die Mitbehandlung von Industrieabwasser auf kommunalen Kläranlagen kann bei Eignung des Abwassers zur Auslastung freier Kapazitäten auf der Kläranlage eingesetzt werden.

Besondere Beachtung sind der Gebühren- und Beitragsfestsetzung sowie der Vertragsgestaltung zwischen dem Betreiber der kommunalen Kläranlage und dem Industriebetrieb zu schenken. Der Verschmutzungsgrad und dessen Auswirkung auf die entstehenden Kosten bei der Abwasserbehandlung sind dabei bei der Gebührenermittlung zu berücksichtigen (vgl. Englert, 2001).

### **Weiterführende Quellen**

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Merkblatt Nr. 4.5/5. Stand 25.07.2005. Übergangswises Entsorgen von unbehandeltem und nicht ausreichend vorbehandeltem Deponiesickerwasser unmittelbar in Kläranlagen.

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2001): Anrechnung der Reinigungsleistung kommunaler Abwasseranlagen bei Indirekteinleitern.

### 7.8.3 Strategische Sanierungs- und Investitionsplanung

#### Beschreibung der Maßnahme

Die Sanierung<sup>72</sup> des Kanalnetzes ist eine kontinuierliche, generationenübergreifende Aufgabe zur Gewährleistung der dauerhaften Funktionsfähigkeit der Abwasserinfrastruktur. Ein voranschreitendes Alter der Abwasserkanäle, demografische und siedlungsstrukturelle Veränderungen und umfangreiche gesetzliche Auflagen erzeugen Handlungsbedarf bei den Betreibern von Abwassernetzen. Nach DIN EN 752 sind dabei an die Erneuerung von Kanalabschnitten die gleichen Anforderungen zu stellen wie an den Neubau.

Um auch unter Bedingungen rückläufiger bis stagnierender Bevölkerungsentwicklung eine qualitativ hochwertige und kostengünstige Abwasserentsorgung sicherzustellen, sind neben altersbedingt bzw. zustandsbedingt erforderlich werdenden Investitions- und Instandhaltungsnahmen die Potenziale einer Optimierung und Neukonzipierung des Kanalnetzbestandes zu untersuchen. Hinweise zur Aufstellung von Sanierungsstrategien bzw. zur Sanierungsplanung finden sich im DWA-M 143 und der DIN EN 752 ; zur Wertermittlung im DWA-A 133 und zur Abgrenzung von Herstellungskosten und Erhaltungsaufwand im ATV-DVWK M 807.

#### Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren

Bei der Auswahl verschiedener Sanierungsverfahren ist die Nutzungsdauer der unterschiedlichen Verfahren zu berücksichtigen. Im Verbundprojekt KANSAS BMBF (Pecher und Partner, 2005) wurden hierzu Daten zusammengestellt (vgl. auch Sander et al. 2003). Die Nutzungsdauer der sanierten Leitungen beeinflusst stark die Auswahl von Vorzugslösungen sowohl für einzelne Netzabschnitte als auch auf Ebene des Gesamtnetzes (vgl. Winkler, 2008). Dabei können die verschiedenen Verfahren den drei Gruppen Reparatur, Renovierung oder Erneuerung zugeordnet werden.

Für Abwassersysteme (Trennsysteme oder Mischsysteme mit gleichzeitiger Abkoppelung von Flächen), die von einer Unterauslastung betroffen sind, können Renovierungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies begründet sich darin, dass durch

---

72 Im Bereich der Abwasserentsorgung werden nach DWA-M 143/1 begrifflich unter Sanierung - Maßnahmen der Erneuerung, Renovierung und Reparatur verstanden. Dabei stellen Erneuerungen in der Regel baulich-investive Maßnahmen und Reparaturen Aufwendungen des Betriebsaufwandes dar. Renovierungen sind je nach Umfang und Charakter der Maßnahmen als Investition oder Aufwand einzuordnen. Die Maßnahmen wirken sich dabei u. a. unterschiedlich auf die Nutzungsdauer der sanierten Kanäle und die mit der Maßnahme verbundenen Kosten aus.





den Großteil von Renovierungsverfahren der Kanalquerschnitt verkleinert wird. Somit kann durch die Anwendung solcher Verfahren die hydraulische Leistungsfähigkeit in Kanalabschnitten angepasst werden (Plenker/Schmidt, 2003). Renovierungen können entweder als Auskleide- oder als Beschichtungsverfahren durchgeführt werden, z. B. Schlauchlining, Wickelrohrverfahren oder Close-Fit Verfahren (Clausen, 2003).

Abbildung 7-2: Auswahl von Sanierungslösungen (Winkler, 2009)

## Auswahl Sanierungslösungen unter Blickwinkel Nutzungsperspektiven/ Unsicherheiten

unter Transformationsbedingungen sind klare Prioritätensetzungen und eine Berücksichtigung von Unsicherheiten/ potentiell verringerten Nutzungsdauern bei der Erarbeitung von Kanalsanierungskonzepten erforderlich

	Reparatur	Renovierung (als Schlauchliner)	Erneuerung (offene Bauweise)
			
jährlicher Sanierungsumfang bei konst. Budget [km]	--	höher	geringer
Gesamtzustand des Netzes	(zustandsabhängig)	besser	schlechter
Prognostizierte Lebensdauer Hauptkanal	15 Jahre	40 Jahre	80 Jahre

↓ ↓

Streckung Entscheidungshorizont für Stadtbau/ unsichere Entwicklungen

Berücksichtigung in Wirtschaftlichkeitsberechnungen/ Sensibilitätsbetrachtungen, ggf. gezielte Überschreitung der wirtschaftlichen Restnutzungsdauer, Überprüfung Forderung Substanzwerterhalt

Auch durch Erneuerungsmaßnahmen kann eine Anpassung an die neuen Randbedingungen erreicht werden (Stein/Avarez, 2005). Dabei kommen Wirtschaftlichkeits- einschließlich Sensibilitätsuntersuchungen zur Ermittlung von Vorzugslösungen bei der Kanalsanierung beispielsweise über Dynamische Kostenvergleichsrechnungen nach LAWA (LAWA, 2005) zum Einsatz. Als Hilfsmittel hierzu stehen Rechenprogramme zur Abbildung der Alters- und Zustandsentwicklung des Kanalnetzbestandes einschließlich der Abbildung der Entwicklung des finanziellen Sanierungsbedarfs sowie der Entwicklung des Substanzwertes der Kanalnetzbestände zur Verfügung.

### Abstimmung mit der Stadtentwicklungsplanung

Die finanziellen Möglichkeiten, Anforderungen und Strategien der Kanalnetzbetreiber zeigen große Unterschiede bei der Kanalsanierung. Demografische Veränderungsprozesse können zu tendenziell geringeren Investitionsmöglichkeiten führen und Priorität-

tensetzungen beispielsweise bei Investitionsentscheidungen in Kanalnetzbestände durch Ausweisung infrastrukturell günstiger Stadtentwicklungsbereiche sowie der Überprüfung der Sanierungsziele und technischen Standards bei unsicheren Entwicklungen/Schrumpfungen erfordern. (Winkler 2009) Insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und tendenziell geringerer zur Verfügung stehender finanzieller Mittel sind die Belange der Träger der technischen Infrastruktur in Stadtentwicklungskonzepten zu berücksichtigen.

Dabei können Flächenumnutzungen in Verbindung mit Entsiegelungsmaßnahmen auch neue (kostensparende) Möglichkeiten der infrastrukturellen Erschließung eröffnen und beispielsweise der Umfang zu entwässernder Flächen reduziert bzw. Flächenabkopplungen vorgenommen werden.

### **Erfahrungen und Probleme**

Beispiel „Der infrastrukturelle Entwicklungsplan ISEP – als Beitrag der Stadttechnik zur integrierten Stadtentwicklungsplanung“ (Marschke et al., 2005).

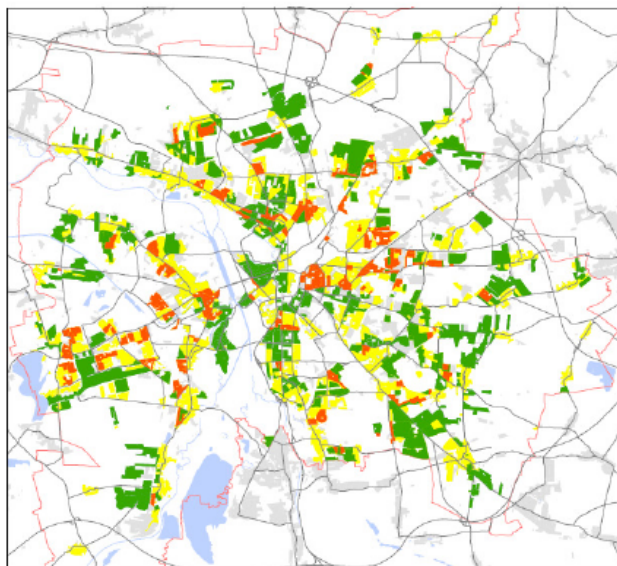
- Vereinen von Informationen aktueller Stadtentwicklungsplanungen und des jeweiligen Kanalnetzbestandes (auch medienübergreifend) und Abbilden struktureller Veränderungen im Entsorgungsgebiet
- Aufzeigen divergenter Entwicklungen der Stadtentwicklungsplanung und der Infrastrukturentwicklung
- Ziel: Begrenzung künftiger Kostensteigerungen bzw. ein effizienterer Mitteleinsatz
- Anwendungsbeispiele: Zittau, Riesa, Merseburg
- Datenbereitstellung erschwert durch: fehlende Informationen; Verwaltung der Informationen in verschiedenen Systemen, unterschiedliche Begriffsdefinitionen und räumliche Abgrenzungen bei Datenerfassungen sowie fehlende direkte Verknüpfungen technischer und kaufmännischer Angaben

Beispiel Leipzig – Infrastrukture geprägte städtebauliche Risikoanalyse als Grundlage der Priorisierung und langfristigen Sicherung der Investitionstätigkeit (vgl. Winkler, U., 2007, 2008 und 2009).

- Sehr differenziertes Bild in Alter, Zustand und Auslastung und damit in den Anforderungen an Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung des Netzbestandes der einzelnen Stadtteile.
- Stadttechnische Sanierungsschwerpunkte für die Kanalnetze liegen in den historischen Bestandsgebieten und nicht in den städtebaulichen Stadtumbaugebieten.
- Unsicherheiten über die zukünftige Nutzung von Gebieten/Flächen sowie beim Stadtumbau erfordern neue Herangehensweisen in der Sanierungsplanung.

Abbildung 7-3: Infrastrukturgeprägte städtebauliche Risikoanalyse als Instrument zur Sicherung der Nachhaltigkeit von Investitionen

## Infrastrukturgeprägte Risikoanalyse, Entwicklung von Wohngebieten bis 2030



### Risikoklassifizierung

<span style="color: green;">■</span>	geringes Risiko
<span style="color: yellow;">■</span>	mittleres Risiko
<span style="color: orange;">■</span>	hohes Risiko
<span style="color: red;">—</span>	Stadtgrenze 2005

- Lagefaktoren (Auwaldbonus, Citybonus, Hauptstraßenmalus)
- soziale Faktoren (Anteil Senioren an Gesamtbevölkerung, Sozialfaktor (Sozialhilfedichte, Arbeitslosengeld-, hilfeempfänger, Haushalte in relativer Armut))
- Gebäudebestand (Anteil der unsanierten Altbauten (MFH))

[Forschungsbericht „Entwicklung der Funktionen Wohnen und Gewerbe in Leipzig unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der mediengebunden, technischen Infrastruktur“; 2007 → Bericht unter [www.Wasser-Leipzig.de](http://www.Wasser-Leipzig.de) → Verantwortung, Umwelt, Forschung],

- Zur Sicherung der Nachhaltigkeit von Investitionen wurde die Methodik der infrastrukturgeprägten städtebaulichen Risikoanalyse (Bericht unter [www.Wasser-Leipzig.de](http://www.Wasser-Leipzig.de) – Verantwortung, Umwelt, Forschung) entwickelt und angewandt. Damit sollen die planerischen Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung in der Stadt bei Investitionen in den abwasserwirtschaftlichen Anlagenbestand Berücksichtigung finden.
- In besonders unsicheren Gebieten sind die Sanierungsziele zu überprüfen und alternative Sanierungsstrategien, gegebenenfalls abweichend von anderen Stadtgebieten, zu entwickeln. Zur Sicherung abwasserinfrastrukturell günstig zu erschließender Stadtgebiete/-teile ist von der siedlungswasserwirtschaftlichen Planung aktiver Einfluss auf die städtebaulichen Planungsprozesse zu nehmen.

Beispiel Mannheim: Abschätzung der Folgen des demografischen Wandels für den Eigenbetrieb der Stadtentwässerung Mannheim (Pinnekamp et al., 2008).

- Untersuchung zu absehbaren Veränderungen der Inanspruchnahme der abwasserseitigen Infrastruktur vor dem Hintergrund spezifischer demografischer, klimatischer und wirtschaftlicher Entwicklungen in Mannheim mit dem Kernziel, Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Abwassergebühren zu erhalten.
- Unterschiedliche Entwicklungsprognosen der Bevölkerungszahlen zwischen 1994 und 2020 zwischen 1,4 % Zunahme und 4 % Abnahme; seit vielen Jahren rückläufig

ger Wasserverbrauch privater Haushalte und des Kleingewerbes; der spezifische Trinkwasserverbrauch lag im Jahr 2005 bei 135 Litern pro Einwohner und Tag.

- Insgesamt wird langfristig mit einem verringerten häuslichen Schmutzwasseranfall gerechnet; im Mittel (Bevölkerung -4 %; Wasserverbrauch -9 %) verringert sich das häusliche Abwasseraufkommen um 9 % bis 2020.
- Kostensteigerungen aufgrund voraussichtlich fälliger Investitionen in Kanäle und Regenwasserbehandlungsanlagen, Energiekostensteigerungen und zunehmender Energieverbrauch, allgemeine Kostensteigerungen u. a. für Betriebsmittel und Reparaturen und die allgemein Personalkostenentwicklung.
- Aus den ermittelten Abwassermengen und Kostenentwicklungen resultieren bis zum Jahr 2020 Erhöhungen der Gebührensätze für die Schmutzwasserentsorgung um 27,5 % bzw. 1,75 % p.a. und für die Niederschlagswasserentsorgung um 14,6 % (=0,98 % p.a.).

Das Beispiel Mannheim, eine insgesamt hinsichtlich der demografischen Entwicklung stabil einzustufende Stadt, zeigt eine potenziell problematische Kostenentwicklung im Bereich der Abwasserentsorgung auf.

## **Randbedingungen und Hemmnisse**

### **Ökonomische Randbedingungen**

Viele (insbesondere städtische) Kanalisationen in Deutschland haben ein Alter erreicht, in dem ein gesteigerter Sanierungsbedarf anfällt, um die Funktionalität und die Betriebssicherheit des Kanalnetzes zu gewährleisten. Einem enormen, zukünftig ansteigenden Handlungsbedarf zum ordnungsgemäßen Betrieb (Zustand) und Werterhalt (Substanzwert) der Kanäle stehen vielfach angespannte Haushaltslagen der Kommunen und abnehmende Nutzer- und Absatzzahlen gegenüber. Dies erschwert eine umfassende Sanierung und Anpassung der abwasserwirtschaftlichen Anlagen.

Demgegenüber gibt es viele Regionen beispielsweise in den neuen Bundesländern, die durch einen relativ jungen Kanalnetzbestand gekennzeichnet sind.

Ein koordinierter Leitungsbau mit anderen Medien (Mehrspartenstrategie) kann Kostenvorteile bringen. Die Wirtschaftlichkeit ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, da es durchaus auch zu Mehrkosten kommen kann (vgl. auch Winkler, 2008).

### **Soziale Randbedingungen**

Vor dem Hintergrund steigender Kosten für die Unterhaltung der Abwasserinfrastruktur bei vielfach abnehmenden Abwassermengen und Nutzerzahlen ist zukünftig je nach Einzelfall mit Gebührensteigerungen zu rechnen, wodurch Fragen zur Sozialverträglich-

lichkeit der Gebührengestaltung aufgeworfen werden. Bezüglich der Verursachergerechtigkeit der Gebührenerhebung (beispielsweise Tarifzonenmodell; Marschke, 2009) werden differenzierte Tarifstrukturen innerhalb eines Entsorgungsgebietes diskutiert (vgl. Kap. 7.8.6).

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Inwieweit bzw. in welcher Höhe der demografische Wandel zu tatsächlichen Mehrkosten führt, ist vorsichtig zu bewerten. Nach den vorliegenden Aussagen betroffener Ver- und Entsorgungsunternehmen finden Anpassungsmaßnahmen wie Querschnittsverringerungen im Rahmen ohnehin erfolgreicher Sanierungsmaßnahmen statt. Ausnahmen hiervon bestehen nur stadtgebietsweise in extrem von Rückgängen des Abwasseranfalls betroffenen Gebieten (einige der Stadtumbaugebiete in den Neuen Bundesländern). So dass als Hauptproblem demografischer Veränderungsprozesse in Verbindung mit Veränderungen des Abwasseranfalls in der bestehen bleibenden Kostenbelastung durch die bestehende Abwasserinfrastruktur gesehen werden kann. Langfristig besteht die Gefahr von unzureichenden Investitionen in den vorhandenen Anlagenbestand bzw. ggf. von Gebührenerhöhungen.

Die strategische Sanierungs- und Investitionsplanung bildet die Grundvoraussetzung für eine Sicherstellung der dauerhaften Funktionssicherheit der Abwasserinfrastruktur. Zu diesem Zweck bedarf es einer Abstimmung zwischen den baulichen und den zukünftigen hydraulischen Anforderungen. Die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Entwässerungsanlagen sowie deren Entwicklung müssen daher in einer nachhaltigen Planung berücksichtigt werden. Dabei nehmen die Unsicherheit, unter der Planungsentscheidungen getroffen werden müssen, zu und der finanzielle Spielraum zur Umsetzung entsprechender Maßnahmen ab. Die Optimierung der strategischen Sanierungs- und Investitionsplanung kann dabei als übergeordnete Steuerungsmaßnahme gesehen werden. Bei der Strategieentwicklung ist der demografische Entwicklungstyp der Städte zu berücksichtigen.

Aufgrund der engen Wechselbeziehungen zwischen Stadt- und Abwasserinfrastruktur-entwicklung ist eine möglichst enge Abstimmung zwischen Stadtplanung und Entsorgungsunternehmen von großer Bedeutung. Dies betrifft zum einen die Steuerung von Flächennutzungsentscheidungen zur Beeinflussung des Umfangs und des Risikos von Investitionen in die Abwasserinfrastruktur und zum anderen die Schaffung eines Potenzials zur Abkopplung von Flächen.

Die Erfahrungen, die im Umgang mit schrumpfenden Städten gemacht werden, sollten auch in demografisch derzeit noch stabilen Städten bei Flächennutzungsentscheidun-

gen, und –ausweisungen konsequent berücksichtigt werden, um das Optimierungspotenzial stadttechnischer Erschließung zu erhöhen und damit die Kostenbelastungen der Bürger zu reduzieren und andererseits vor dem Hintergrund der Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen Folgekosten von vornherein soweit möglich zu vermeiden.

### **Weiterführende Quellen**

Hochstrate, K. (2003): Prognosegestützte Planung im baden-württembergischen Leitfaden für die kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen. Korrespondenz Abwasser/Abfall (50), Nr. 3 S. 291-301.

Gisselmann, J. (2008): Schadensbilanz und Sanierungskonzept am Beispiel der Stadt Emmrich am Rhein. Korrespondenz Abwasser/Abfall (55), Nr. 5, S. 492-506.

## **7.8.4 Strategien zu Rückbau und Stilllegung**

### **Beschreibung der Maßnahme**

Anhaltender Bevölkerungsrückgang kann stadtteilbezogen zu sehr hohen Leerstandsquoten der Gebäude und schließlich zum Rückbau bzw. Abriss einzelner Gebäude oder ganzer Wohnquartiere führen (Stadtumbaugebiete). Je nach Art der Anpassungsstrategie und Lage des Stadtumbaugebietes kann dies eine Rücknahme oder eine Stilllegung der dortigen Abwasserinfrastruktur ermöglichen bzw. erfordern. Die Wahl der siedlungsstrukturellen Rückbaustrategie beeinflussen die Anforderungen an und die Kosten für die Anpassung der Abwasserinfrastruktur (Kluge/Libbe, 2006).

Bei Rückbaumaßnahmen der Abwasserinfrastruktur kann grundsätzlich zwischen Abriss und dauerhafter Stilllegung unterschieden werden. Während „der Abriss [...] Maßnahmen der Abtrennung betroffener Abschnitte vom Netz, der zwischenzeitlichen Stilllegung betroffener Abschnitte sowie den eigentlichen Abbau der Infrastruktur“ umfasst, werden bei der dauerhaften Stilllegung „Leitungen nicht vollständig abgerissen, sondern verbleiben soweit wie möglich im Boden und werden durch entsprechende Maßnahmen langfristig gesichert“ (Siedentop et al., 2006: S. 117).

Grundsätzliche Ansatzpunkte und Leitvorstellungen für Stadtumbaukonzepte aus der Perspektive stadttechnischer Systeme finden sich bspw. bei Freudenberg/Koziol (2003). Hier werden konkrete Planungshilfen für verschiedene Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen detailliert für unterschiedliche Stadtgebietstypen und unter Berücksichtigung rechtlicher, technischer, wirtschaftlicher und planerischer Fragestellungen bereitgestellt. Folgende grundsätzliche Punkte besitzen besondere Bedeutung:

- Bei der Aufstellung von Stadtumbaukonzepten (sowohl im Bereich des eigentlichen Stadtumbaugebietes als auch im Kontext des Gesamtgebietes) sind die siedlungswasserwirtschaftlichen Belange frühzeitig in die Konzepterarbeitung zu integrieren.
- Anpassungsmaßnahmen an der Abwasserinfrastruktur wie die Verringerung von Leitungsdurchmessern und die Stilllegung von Anlagen sind insbesondere unter Berücksichtigung notwendiger altersbedingter Sanierungsmaßnahmen bzw. Ersatzinvestitionen zu planen und umzusetzen.
- Erforderliche Anpassungen der Netze sollten möglichst gering gehalten, die Nutzungsdauern der abwassertechnischen Anlagen bestmöglichst ausgenutzt und Neuinvestitionen nur in Bereichen vorgenommen werden, die eine langfristige Nutzungsperspektive besitzen.
- Zur Sicherung der Investitionen in die abwasserwirtschaftliche Infrastruktur sind klare Entscheidungen zur realistischen Nachnutzung von Abrissflächen zu treffen.
- Die Investitionsintensität ist durch Abwägung zwischen kurzfristigen betrieblichen Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Entsorgungssicherheit und längerfristig wirkenden, baulichen Maßnahmen zu optimieren.

Neben den Rahmenbedingungen im eigentlichen Stadtumbaugebiet sind stets auch Alter, Zustand und Auslastung des restlichen Kanalnetzbestandes und der daraus resultierende Sanierungsbedarf in Stadt- und abwasserinfrastrukturellen Planungsentscheidungen zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen. Gesamtstädtisch gilt es, infrastrukturell günstige (Neubau-)Gebiete zu stärken, innerstädtische Baulandausweisung zu fördern, erschließungsgünstige Korridore auszuweisen und eine Verdichtung im Bereich von Haupterschließungsachsen zu forcieren (Marschke, 2009). Die gezielte Steuerung von Flächennutzungsentscheidungen im Rahmen von Stadtumbauprogrammen bedarf einer Abstimmung und Kooperation zwischen den Akteuren der Abwasserentsorgung, der öffentlichen Behörden sowie den Gebäudeeigentümern.

Ein flächiger Rückbau, möglichst von den Netzen her, hat im Vergleich zu einem dispersen Rückbau den Vorteil, dass die bauliche Dichte als Effizienzkriterium technischer Infrastrukturen erhalten wird.

Kosteneinsparungen können durch eine Beschleunigung des Schrumpfungsprozesses auf der Quartiersebene in Richtung eines flächigen Rückbaus erzielt werden (Kozioł/Walther, 2006). Bei dispersen Rückbau des Gebäudebestandes muss die leitungsgebundene Infrastruktur nahezu vollständig erhalten bleiben. Aufgrund der vorhandenen Gegebenheiten ist ein flächenhafter Rückbau in der Praxis dagegen häufig eher schwierig. Hier kann ein disperser Rückbau Vorteile haben. Langfristig sinnvolle Perspektiven können ein flächenhafter Rückbau oder eine Kombination von dispersen Rückbau mit anschließenden dezentralen Strukturen sein.

## **Erfahrungen und Probleme**

Der Rückbau von Infrastruktur vor Ablauf des Abschreibungszeitraums stellt oft ein ökonomisches Problem dar. Aus diesem Grunde gibt es seit 2002 das Bund-Länder-Programm „Stadtumbau Ost“ (vgl. BBR, 2009), das bisher mit 2,5 Mrd. € finanziert wurde. Auf Basis von Vorschlägen der Kommission „Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel“ war das Programm eine politische Reaktion auf den wachsenden Wohnungsleerstand in vielen ostdeutschen Kommunen. Ziel ist es, den durch wirtschaftlichen und demografischen Wandel verursachten städtebaulichen Funktionsverlusten der Städte umfassend zu begegnen und die Zukunftsfähigkeit der Städte und des Wohnungsmarktes in den neuen Ländern gezielt zu stärken. Seit 2004 ist diese Förderung durch das Forschungsvorhaben „Stadtumbau West“ ergänzt worden. Damit wurde dem Umstand entsprochen, dass auch in vielen westdeutschen Städten die demografischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine Ergänzung der Schwerpunkte der Städtebauförderung erfordern.

Von Seiten der Wohnungsbauwirtschaft sind oft große Gesellschaften oder Genossenschaften eingebunden, dessen Wohnungsbestände nicht gleichmäßig über die Stadt verteilt sind. Es sind daher oft einzelfallbezogene Verhandlungen und Abmachungen erforderlich, um die städtebaulichen Interessen eines Umbaus mit denen der Wohnungswirtschaft in Einklang zu bringen (Fuhrich, 2009). Damit erfolgte zunächst eine Konzentration auf die städtebaulichen Strukturen. Das Problem der notwendigen Anpassung der stadttechnischen Infrastruktur wurde in den ersten Jahren des Stadtumbaus in den Planungs- und Umsetzungsprozessen häufig zu wenig berücksichtigt. Dabei mangelt es oft an der zeitlichen Koordination und strategischen Abstimmung der beteiligten Akteure bei Rückbauvorhaben (BBR, 2006: S. 5). Dies stellt mit einem Grund dafür dar, dass aus dem gesamten Förderprogramm nur ca. 2 % der zur Verfügung stehenden Fördermittel für die „Rückführung und Anpassung der städtischen Infrastruktur“ in Anspruch genommen wurden (Liebmann, 2009).

## **Stadtumbaugebiete aus stadttechnischer Sicht**

Stadtumbaugebiete werden aus städtebaulicher Sicht definiert und müssen nicht unbedingt den Belangen der Träger technischer Infrastruktur gerecht werden. Rückbau von Wohneinheiten findet insbesondere in Ostdeutschland vielfach in Gebieten mit dem stadttechnisch höchsten Erschließungsgrad und oftmals in relativ jungen, nicht abgeschriebenen Kanalnetzbeständen statt, da das die Gebiete mit den höchsten Leerstandsquoten sind (Plattenbaugebiete). Dies zeigte sich bei Untersuchungen von Wolff/Marschke (2008) in der Stadt Zittau und von Marschke et al. (2007) in den Städ-



ten Riesa und Merseburg und trifft auch auf die Stadt Leipzig (Winkler, 2007) und die Stadt Magdeburg (Kempmann, 2008) zu.

Prinzipiell ist ein flächenhafter Rückbau von Wohnblöcken an den Strangenden der Leitungssysteme sinnvoll, um diese Anlagen stilllegen zu können. Ein flächenhafter Abriss von ganzen Wohnkomplexen bedarf jedoch der Ab-/Zustimmung der beteiligten Akteure. In der Praxis bestimmen die betriebswirtschaftlichen Interessen der Immobilieneigentümer, unabhängig von vorhandenen Stadtumbaukonzepten, welche Gebäude tatsächlich zum Abriss kommen. Dies zeigte sich auch in Leipzig-Grünau, wo aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen der beteiligten Akteure – insbesondere der 17 unterschiedlichen Eigentümer der Immobilienbestände – die Stadtumbaukonzepte mehrfach an bereits geschaffene Tatsachen (Gebäudeabriss) angepasst und nicht in ihrer ursprünglichen Form realisiert werden konnten (Winkler, 2007). Entsprechende Aussagen trifft auch Kempmann (2008) für das Stadtgebiet Neu-Olvenstedt in Magdeburg. Trotz grundsätzlich flächenhafter Rückbauplanung verblieben hier einzelne Gebäude, die auch den Erhalt der dortigen Infrastruktur erforderlich machen. Vielfach kommt es auf diese Weise nicht zu entscheidenden Verkürzungen der Netzbestände sondern zu einer flächenhaft absinkenden Nutzer- und Absatzdichte.

### **Stadtumbaugebiete und übriges Stadtgebiet**

Weiterhin zu berücksichtigen ist die Wirkung von städtebaulichen Maßnahmen in Stadtumbaugebieten in Relation zum übrigen Stadtgebiet. Der disperse Rückbau von Gebäuden sowie die anschließenden Aufwertungsmaßnahmen in Leipzig-Grünau führten beispielsweise, im Zusammenwirken mit der gleichzeitigen Sanierung vieler Wohngebäude aufgrund der Interessen der Eigentümer zu teilweise attraktiven Plattenbauwohnlagen mit großzügigen, grünen Innenhofbereichen. Dies gilt insbesondere im unmittelbaren Vergleich mit benachteiligten Lagen (z. B. an Hauptverkehrsstraßen) im Kerngebiet der Stadt mit Altbausubstanz. Aufgrund der schwer zu prognostizierenden Attraktivität der einzelnen Stadtviertel ergeben sich so größere Risiken für die zukünftige Nutzung/Dimensionierung von Anlagen der technischen Infrastruktur in diesen Gebieten (Winkler, U., 2007).

Marschke/Wolff (2008) kommen für die Stadt Zittau zum Ergebnis, dass das gegenwärtige Rückbauprogramm ausgeweitet werden müsste und ein flächenmäßiger, in bestimmten Teilen konzentrierter Rückbau von Wohnraum stattfinden sollte. Besondere Bedeutung kommt der frühzeitigen Einbeziehung der Ver- und Entsorger in die städtebaulichen Planungsprozesse zu, um mögliche Fehlinvestitionen zu vermeiden.

## Randbedingungen und Hemmnisse

### Ökonomische Randbedingungen

Die Kosten für Rückbau und Stilllegung von Abwasserinfrastruktur sind von mehreren Faktoren abhängig und können daher variieren. Im Vergleich zum Neubau von Leitungen können beim Rückbau zusätzlich Aufwendungen für Interimslösungen anfallen. Die Höhe der Gesamtkosten wird durch die Wahl des Rückbauverfahrens beeinflusst (Thieme/Marschke, 2006). Im Durchschnitt können die baulichen Rückbaukosten, also die Kosten für den Abbau der Infrastruktur, mit 100 €/m Leitung angegeben werden (Siedentop et al., 2006; Koziol/Walther, 2006; Herz et al., 2004). Die finanziellen Aufwendungen für die Stilllegung von Leitungstrassen liegen bei 20 €/m (Siedentop et al., 2006; Koziol/Walther, 2006). Neben den Kosten für die eigentliche Rücknahme bzw. Stilllegung entstehen zusätzlich Kapitalkosten durch die Wertberichtigung noch nicht abgeschriebener Kanalnetzteile. Bei einer Annahme der Bewertung der Abwasserinfrastruktur mit 50 Prozent der Herstellungskosten über das gesamte Netz, würden sich somit Kosten für Sonderabschreibungen von 100 – 140 € pro Meter rückgebauter bzw. stillgelegter Leitungstrasse ergeben (Siedentop et al., 2006).

Tabelle 7-16: Kosten für Rückbau und Stilllegung von Abwasserleitungen (Siedentop et al., 2006, S.149f)

Maßnahme	Baukosten	Kapitalkosten
Rückbau/Abriss	100 €/m	100 – 140 €/m
Stilllegung	20 €/m	100 – 140 €/m

Nach Koziol/Walther (2006) steigen die absoluten Kosten bei disperser Schrumpfung in dichten Stadtstrukturen über den Schrumpfungszeitraum infolge höherer Betriebsaufwendungen nur geringfügig, können jedoch im Falle des Schmutzwassers um über 40 % steigen – insbesondere, wenn bauliche Anpassungsmaßnahmen (Erneuerungen) erforderlich werden. Einen exponentiellen Anstieg erfahren in jedem Fall die einwohnerspezifischen Kosten.

Eine Studie der Energieagentur Sachsen-Anhalt, die im Auftrag des Landes und mehrerer Versorgungsunternehmen anhand konkreter Rückbaupläne für große Plattenbaugebiete in Sachsen-Anhalt erstellt wurde, kam auf einen Investitionswert für Rückbaumaßnahmen stadttechnischer Infrastruktur von rund 20 Euro pro m<sup>2</sup> zurückgebauter

Wohnfläche (Herz et al., 2005). Dazu kommen Restbuchwertverluste für noch nicht abgeschriebene Anlagen in Höhe von ebenfalls 20 Euro pro m<sup>2</sup>.

Untersuchungen in Dresden und Jena wiesen Rückbaukosten der stadttechnischen Infrastruktur zwischen 11 bis 15 Euro und Restbuchwertverluste zwischen 8 und 12 Euro pro m<sup>2</sup> aus (Herz et al., 2005).

### **Soziale / Rechtliche Randbedingungen**

Die gezielte Steuerung von Flächennutzungsentscheidungen im Rahmen von Stadtumbauprogrammen bedarf der Abstimmung und Kooperation zwischen den Akteuren der Abwasserentsorgung, der Kommunalverwaltung sowie den Gebäudeeigentümern. Dabei kann es zum Auftreten stark divergierender Interessen kommen, die die Umsetzung einer aus gesamtwirtschaftlicher Sichtweise vorteilhaften Stadtumbaustrategie verhindern. Beispielsweise seien hier die Interessen der Immobilieneigentümer genannt. Sind im Stadtumbaugebiet viele unterschiedliche Immobilieneigentümer vorzufinden, wird dies die Umsetzung flächenhafter Umbaukonzepte gegebenenfalls in Frage stellen. Insbesondere in größeren Städten ist mit ggf. mehrfachen Überarbeitungsphasen der Konzepte zu rechnen (Freudenberg/Koziol, 2003).

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Ein Abriss kann die Außerbetriebnahme stark unterausgelasteter Anlagen der Abwasserinfrastruktur (Kanalnetzabschnitte) bedeuten. Am stärksten vom Bevölkerungsrückgang betroffen sind dabei vielfach Stadtteile/Gebiete ursprünglich hoher Siedlungsdichte und damit Versorgungsdichte (Beispiel: Plattenbausiedlung) (vgl. Kempmann, 2008). Mit Ausdünnung oder Rückbau dieser Gebiete entfallen bezüglich des spezifischen Aufwandes infrastrukturell günstig zu entsorgende Stadtteile (vgl. auch Koziol/Walther, 2006). Dabei ist ein flächenhafter Rückbau bzw. ein Rückbau von den Leitungsenden her nur in Ausnahmefällen möglich. In der Mehrzahl der Fälle findet ein disperser Rückbau von Gebäuden bei gleichzeitigem Weiterbetrieb des übrigen Kanalnetzbestandes statt, der die Aufrechterhaltung der vorhandenen Abwasserinfrastruktur erfordert, so dass gegebenenfalls zusätzliche Kosten für Umschließungsmaßnahmen, vorzeitige Außerbetriebnahme nicht abgeschriebener Anlagenbestände oder auch Unterhaltungsaufwendungen für stillgelegte Anlagenbestände anfallen.

Insgesamt erfolgt der Rückbau von Gebäuden in der Regel dispers und führt zu einer Reduzierung der Versorgungsdichte (Zunahme der spezifischen Kanalnetzlänge) sowohl in den Stadtumbaugebieten als auch gesamtstädtisch und damit aus Kostensichtspunkten zu ungünstigeren Rahmenbedingungen der Abwasserentsorgung. Dies

ist insbesondere auch bei der Neuausweisung von Wohn- und Gewerbeflächen – und der damit verbundenen Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen – zu berücksichtigen.

Bei Stadtumbauvorhaben sind aus Sicht des Abwasserentsorgers stets Alter, Zustand und Auslastung des restlichen Kanalnetzbestandes sowie räumlich differenzierte Bedarfsprognosen zu berücksichtigen. Dabei sollten sich die Stadtumbauprozesse nicht ausschließlich auf einzelne Stadtteile wie Plattenbaugebiete konzentrieren, sondern den siedlungswasserwirtschaftlichen Handlungsbedarf des Gesamtgebietes berücksichtigen. Beispielsweise kann in historischen Altbauquartieren der Städte besonderer Sanierungsbedarf bestehen (Winkler, 2007). Eine Stadtentwicklungsplanung, die auf die Nachverdichtung innerstädtischer Strukturen bzw. auf eine, auf die technische Infrastruktur abgestimmte, Flächennutzungsplanung ausgerichtet ist, kann begleitend zur Sicherung von Investitionen in die Kanalnetzbestände wirken.

### **Weiterführende Quellen**

BBR (Hrsg.) (2006): Eltges, M.; Koziol, M. et al.: Stadtumbau Ost. Anpassung der technischen Infrastruktur - Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen. Werkstatt: Praxis Heft 41. Bonn 2006.

Herz, R.; Werner, M.; Marschke, L., (2002): Erfordernisse und Finanzierung der Anpassung der technischen Infrastruktur im Zuge des Stadtumbaus. Teil 1: Stadttechnik und unterirdischer Städtebau. Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Technische Universität Dresden.).

Herz, R.; Marschke, L. Schmidt, T., (2005): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik (Teil 1). Die Städte schrumpfen, Ver- und Entsorger stehen vor großen Herausforderungen. Teil 1: Ursachen und Folgen für die Stadttechnik. In: wwt 10/2005, S. 8-12.

Winkler, U. (2007): Strategische Ansätze zur Anpassung der siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen der KWL im Zusammenhang mit der demografischen Entwicklung/Stadtumbau.

## **7.8.5 Neue Geschäftsfelder und Möglichkeiten der Zusammenarbeit**

### **7.8.5.1 Neue Geschäftsfelder - Überblick**

Durch die Erschließung zusätzlicher Einnahmequellen können Möglichkeiten zur Verbesserung der Einnahmesituation der Ver- und Entsorgungsunternehmen geschaffen und auf diese Weise ein Beitrag zur Sicherung der öffentlichen Daseinsvorsorge geleistet werden (vgl. Mohajeri/Wendt-Schwarzburg, 2007). Neue Geschäftsfelder ergeben sich mit der Entwicklung neuer wasserwirtschaftlicher Dienstleistungsangebote und der Vermarktung vorhandener Kernkompetenzen der Ver- und Entsorgungsunternehmen. Auf dem regionalen Markt – dem Versorgungsgebiet der Unternehmen – könnte eine neue Einnahmemöglichkeit im Angebot von Dienstleistungen zur Errichtung, Wartung, Kontrolle und Steuerung dezentraler Behandlungsanlagen (Kleinkläranlagen) liegen (vgl. Kap. 8.2).

Kernkompetenzen der Unternehmen im Bereich wasserwirtschaftlicher Dienstleistungen und Angebote wie technische oder kaufmännische Betriebsführungen, labor- und informationstechnische Infrastrukturen und Dienstleistungen sowie Fortbildungsangebote könnten überregional angeboten werden. Möglich sind auch die Durchführung von Genehmigungsverfahren für andere Verbände (Mohajeri/Wendt-Schwarzburg, 2007) oder Dienstleistungen im Bereich der Überprüfung und ggf. Sanierung privater Rohrleitungen unter Einbindung privater Dienstleister (Richter et al., 2007).

Wichtige Themen sind der Klimawandel und die sich daraus ergebenden wasserwirtschaftlichen Konsequenzen. Eine Adaptionsmaßnahme in Bezug auf die zu erwartenden stärkeren Niederschläge ist die Neukonzeption des Regenwassermanagements, bspw. durch dezentrale Versickerung oder Speicherung und Nutzung auf den Grundstücken. Hieraus ergeben sich potenzielle neue Geschäftsfelder in der Beratung (Consulting), Bau und Betrieb (Contracting) sowie Wartung und Überwachung im Bereich Versickerungsanlagen und Anlagen zur Regenwasserspeicherung und Nutzung.

Weitere mögliche neue Geschäftsfelder ergeben sich aus einer stärkeren Ausrichtung der Wasserwirtschaft hin zu erneuerbaren Energien. Sie lassen sich nach den Bereichen Beratung und Betrieb differenzieren.

#### Beratung

- für Verbraucher (Wasser- und Energie-Effizienzberatung für Haushalte, Unternehmen, Kommunen),
- für Betreiber von Biogasanlagen, die in den letzten Jahren hohe Zuwachsraten aufweisen.

## Betrieb

- von Biogas-Anlagen (NawaRo-Anlagen) zur Stromerzeugung oder zur direkten Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz (Aufreinigung zu Bioerdgas).
- der Anbau von Co-Substraten (NawaRos) kann durch bzw. unter der Regie (Contracting) von Kläranlagen erfolgen, unter Nutzung der vorhandenen Ressourcen (Wasser, Nährstoffe) und Berücksichtigung der Schadstoffproblematik (Praxisbeispiel Braunschweig, s. Kap. 7.7.5).

Die Nutzung von Abwasserabwärme, zur Einspeisung in Wärmenetze oder für Einzelverbraucher mit hohem Wärmebedarf, bspw. kommunale Einrichtungen wie Schwimmbäder, ist ein weiteres mögliches neues Geschäftsfeld am Schnittpunkt von Wasser und Energie. Auch hier gibt es die Möglichkeit, als Versorger, Betreiber (Nah/Fernwärmenetz) oder im Consulting-Bereich aktiv zu werden.

### 7.8.5.2 Möglichkeiten der Zusammenarbeit

Betrachtet man die kommunale Ver- und Entsorgung sektorenübergreifend (Wasser- und Abwasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Energieversorgung/Stadtwerke), ergeben sich weitere potenzielle neue Geschäftsfelder und beträchtliche Synergiepotenziale. Durch Bündelung der Kompetenzen aus den verschiedenen Sektoren können integrierte Effizienzberatungen und Effizienzdienstleistungen für Haushalte, Unternehmen und Kommunen angeboten werden, bspw. in den Bereichen Heizen (Wärmenetze), Kühlen, Klimatisierung, Warmwasserbereitung, dezentrale Wasserversorgung, Nutzung von Regenwasser oder Grauwasser (inkl. Wärmerückgewinnung), Versorgung mit erneuerbaren Energien (Gas, Strom und Wärme).

Neben der Beratung gibt es auch die Möglichkeit, Bau, Betrieb, Überwachung und Wartung der entsprechenden Anlagen als „nachhaltige Komplettendienstleistung“ bspw. auch für Wohngenossenschaften oder Unternehmen anzubieten.

Durch die Bildung größerer, sektorübergreifender Unternehmen (Multi-Utility-Unternehmen) oder die zielgerichtete Zusammenarbeit von Unternehmen der Ver- und Entsorgung lassen sich Synergie- und Skaleneffekte nutzbar machen. Letztgenannte gehen auf technische, betriebswirtschaftliche und ressourcenseitige Kooperationen zurück. Das Forschungsprojekt Infrafutur, Richter et al. (2007)<sup>73</sup> führt in diesem Zusammenhang u. a. folgende Beispiele an: spartenübergreifende Sanierungs- und Er-

---

<sup>73</sup> Quelle: Projekt „Perspektiven dezentraler Infrastrukturen im Spannungsfeld von Wettbewerb, Klimaschutz und Qualität (INFRAFUTUR)“, <http://www.infracfutur.com> Zwischenbericht [http://www.infracfutur.com/src/downloads/Zwischenbericht\\_INFRAFUTUR\\_2806.pdf](http://www.infracfutur.com/src/downloads/Zwischenbericht_INFRAFUTUR_2806.pdf).

neuerungsplanung der netzgebundenen Infrastrukturen in enger Abstimmung mit anderen kommunalen Baumaßnahmen und der Stadtplanung (wichtiger kostenwirksamer Faktor).

- Wissensmanagement:
  - gemeinsame Organisation von nicht spartenbezogener Fortbildung, Informationen über regionalen Wandel,
  - gemeinsame Nutzung externer Beratung und Forschung,
  - Kooperation beim Aufbau der benötigten geografischen Informationssysteme (GIS),
  - Erstellung eines technischen Katasters als Voraussetzung für den Austausch technischer Ausrüstung im Bedarfsfall,
  - Vernetzung und Standardisierung von Prozessleitsystemen,
  - gemeinsames Energie und Wasser-/Abwasser-Datenmanagementsystem,
  - gemeinsames Personal- und Ausbildungswesen sowie ein gemeinsames Beschaffungsmanagement.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Die Integration der kommunalen Ver- und Entsorgung könnte in Zukunft ein wichtiger Baustein sein für ein nachhaltiges regionales Stoffstrommanagement über traditionelle Sektorengrenzen hinweg.<sup>74</sup> In den Wasser- und Abwasserstoffströmen, sowie im Biomüll wird ein erhebliches Energie-Potenzial transportiert, das bspw. durch Vergärung und Abwärmennutzung verwertet werden kann. Außerdem werden mit den Stoffströmen relevante Mengen an Nährstoffen transportiert. Eine über das bisherige Maß hinausgehende Nutzung der Potenziale der Stoffströme erfordert eine sektorenübergreifende Planung und innovative Technologien und Konzepte.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Der demografische Wandel in Deutschland mit den beschriebenen ökonomischen, betrieblichen und ökologischen Auswirkungen kann als ein wichtiger Treiber von Innovationen in den Infrastruktursektoren gesehen werden, ebenso wie eine Verschärfung der

---

<sup>74</sup> vgl. Null-Emissions-Netzwerk: <http://www.null-emissions-netzwerk.de>  
[http://www.null-emissions-netzwerk.de/fileadmin/userdaten/bilder/ZEUN/Broschuere\\_ZE\\_1.0\\_web.pdf](http://www.null-emissions-netzwerk.de/fileadmin/userdaten/bilder/ZEUN/Broschuere_ZE_1.0_web.pdf).

Umweltgesetzgebung<sup>75</sup> und daraus resultierende neue ökologische Anforderungen. Andere Treiber sind der Klimawandel, der technologische Wandel und die Ausrichtung hin zu einer nachhaltigeren Gesellschaft.

Neben technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen werden die rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen entscheidenden Einfluss auf Umsetzung und Umsetzungsgeschwindigkeit neuer Technologien und Geschäftsfelder ausüben. Die derzeitigen Finanzierungsinstrumente und rechtlichen Regelwerke (Anlagengenehmigung und –überwachung; Entgeltkalkulation, Anschluss- und Benutzungszwang) sind in der Regel auf ein Medium (Wasser/Abwasser/Strom/Gas) ausgerichtet. Zu überprüfen ist nach Mohajeri/Wendt-Schwarzburg (2007) inwieweit die bestehenden Regelungen ökologisch und ökonomisch sinnvolle Innovationen fördern oder behindern. Zu prüfen sind beispielsweise die Genehmigungsfähigkeit der Anlagen; Kostenzuordnung und Kostenumlagefähigkeit im Rahmen der Entgeltkalkulationen sowie Emissions- und immissionsschutzrechtliche Anforderungen an medienübergreifende Anlagen und deren Überwachung. Abzusehen ist, dass eine breitere und schnellere Implementierung neuer Technologien und Geschäftsfelder nur durch flankierende rechtliche, organisatorische und finanzielle Veränderungen auf Landes- und Bundesebene möglich ist.

### **Weiterführende Quellen**

Schön, S.; H. Wendt-Schwarzburg (2009): Zukunftsfähige Infrastrukturangebote für schrumpfende Regionen – Am Beispiel von Wasser und Abwasser. BBSR-Online-Publikation 34/2009

## **7.8.6 Tarifgestaltung**

### **Beschreibung der Maßnahme**

Bei der Erhebung von Abwassergebühren sind die Kommunalabgabengesetzen (KAG) der Länder zu beachten. Danach sind kostendeckende Gebühren für die Bereitstellung abwasserwirtschaftlicher Dienstleistungen zu erheben und das Äquivalenzprinzip zu beachten. Weiterhin sind Kosten für die Substanzerhaltung und Refinanzierung der Anlagen zu berücksichtigen.

Aufgrund der Anlagenintensität und der Langlebigkeit der abwasserwirtschaftlichen Anlagen zeichnen sich die Kostenstrukturen durch einen hohen Fixkostenanteil von ca. 80 % aus. Dazu zählen u. a. die Kapitalkosten, die relativ absatzmengenunabhängig

---

<sup>75</sup> Bspw. durch die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) oder die IVU-Richtlinien.



anfallen und nur mittel- bis langfristig an veränderte Bedarfsstrukturen angepasst werden können. Entsprechend dem Kostendeckungsprinzip sind die im Rahmen der Bereitstellung abwasserwirtschaftlicher Dienstleistungen anfallenden Kosten auf die Nutzer umzulegen. Zur Umlage der angefallenen Kosten sind geeignete Gebührenmaßstäbe und Tarifstrukturen anzuwenden sowie gegebenenfalls (Anschluss-) Beiträge zu erheben.

Die Ausgestaltung der Tarifstruktur beeinflusst das Verbrauchsverhalten der Nutzer und die Refinanzierungssicherheit der entstandenen Kosten. Dabei sind gemäß WHG Anreize zum sparsamen Umgang mit Wasser zu geben, in dem die Gebührenhöhe bzw. die Entgelthöhe für den Bezug von Trinkwasser durch den Nutzer über die abgenommene Trinkwassermenge bzw. die eingeleitete Abwassermenge beeinflusst werden kann. Dementsprechend sind verbrauchsabhängige Entgeltbestandteile vorzusehen. Für die mengenunabhängigen Kosten zur Bereitstellung der notwendigen technischen Infrastruktur kann darüber hinaus eine Grundgebühr erhoben werden. Im Trinkwasserbereich ist die Erhebung einer Grundgebühr üblich. Für die Ableitung von Schmutzwasser wird nicht von allen Entsorgungsunternehmen eine Grundgebühr erhoben. Jedoch wird hier zusätzlich eine gesonderte Gebühr für die Ableitung von Regenwasser erhoben (gesplittete Gebühr).

Innerhalb eines Entsorgungsgebietes werden in der Regel einheitliche Gebührensätze veranschlagt. Als Gebührenmaßstab für die Bemessung der Abwassergebühr findet in der Regel der Frischwassermaßstab Verwendung – die eingeleitete Abwassermenge wird dem Trinkwasserverbrauch gleichgesetzt. Aufgrund der angestrebten ressourcenminimierenden Anreizwirkung macht der mengenabhängige Gebührenanteil den größeren Teil der Gesamtgebühr aus.

Mit den beschriebenen, derzeit üblichen Tarifstrukturen sind folgende Herausforderungen verbunden:

- Die Tarifstruktur (großer Anteil mengenabhängiger Gebühr und geringer Anteil mengenunabhängiger Gebühr) spiegelt nicht die Kostenstruktur der Abwasserentsorgung (hoher Anteil mengenunabhängiger Kosten und geringer Anteil mengenabhängiger Kosten) wider. Daraus ergibt sich bei sich verringernden Absatzmengen Anpassungsbedarf für die jeweilige Gebührenhöhe. Soweit diese Anpassungsmöglichkeiten eingeschränkt sind, erhöht diese Tarifstruktur die Unsicherheit der Refinanzierung der entstandenen bzw. veranschlagten Kosten.
- Es werden Anreize zur verminderten Inanspruchnahme des Abwasserentsorgungssystems gesetzt, die aber bei weitgehend gleichbleibenden Kosten zu Einnahmeverlusten führen und die wiederum in späteren Kalkulationszyklen auf die Nutzer umzulegen sind. Aufgrund der politischen und wirtschaftlichen Lage sind Gebührenerhöhungen unpopulär und teilweise nur schwer durchzusetzen.

- Unter Schrumpfungsbedingungen wird eine Mengenabnahme durch Rückgänge spezifischer Trinkwasserverbräuche durch abnehmende Nutzerzahlen überlagert – damit verschärft sich die Problematik der Umlagenotwendigkeit nahezu gleichbleibender Kosten auf geringere Nutzerzahl und Abnahmemengen und führt damit nicht nur zu spezifischen Kostensteigerungen, sondern auch zu absoluten Mehrbelastungen pro Einwohner.

Die in der Regel über das gesamte Gebiet einheitlichen Gebührensätze spiegeln nicht die aufgrund unterschiedlicher Siedlungsstrukturen vor Ort verschiedenen hohen Kosten der Bereitstellung abwasserwirtschaftlicher Dienstleistungen wider. Daraus ergeben sich folgende Ansätze für eine neue Tarifgestaltung:

- Einführung oder Erhöhung des Anteils einer verbrauchsunabhängigen Grundgebühr zur Steigerung der Kostengerechtigkeit der Tarifstruktur bis hin zur „Schmutzwasserfltrate“ sowie
- Einführung von Tarifzonenmodellen zur Steigerung der verursachergerechten Umlage der Kosten der Bereitstellung abwasserinfrastruktureller Dienstleistungen und langfristig zur Steuerung einer abwasserinfrastrukturell günstigeren Siedlungsentwicklung.

### **Erfahrungen und Probleme**

Die Erhebung einer Grundgebühr für das Einleiten von Schmutzwasser ist eine übliche aber nicht flächendeckende Form der Tarifgestaltung. Als Maßstab für die Grundgebühr wird in der Mehrzahl die Größe des Trinkwasserzählers/Nenndurchfluss angesetzt.

Eine räumliche Differenzierung zur Abbildung des tatsächlichen Aufwands der Bereitstellung abwasserwirtschaftlicher Dienstleistungen innerhalb eines Entsorgungsgebietes (Tarifzonenmodell) bedarf zunächst entsprechender Daten zum teilgebietspezifischen Erschließungsaufwand. Eine Abbildung über die Siedlungsdichte kann hier nur ansatzweise Abhilfe schaffen (weitere mögliche Bezugsgrößen für mögliche Tarifzonenmodelle für Trinkwasser finden sich in Marschke et al. (2006). Die Abgrenzung bzw. Zurechnungen entsprechender Kostenbestandteile und die Festlegung eines entsprechenden Maßstabes sind, wenn überhaupt, nur mit relativ großem Aufwand möglich und bedürfen darüber hinaus der Zustimmung im Rahmen der Prüfung der Gebührenkalkulation. Einfacher lassen sich Tarifzonenmodelle innerhalb eines Zweckverbandes realisieren, wenn die Entsorgungsgebiete voneinander abgrenzbar und damit die jeweiligen Kosten genau zuordenbar sind. In der Regel werden zur Sicherstellung einer kostengünstigen Versorgung aller im Entsorgungsgebiet lebenden Einwohner das Solidaritätsprinzip angewendet und ein über das Gesamtgebiet gemittelter Tarif erhoben.

### **Randbedingungen und Hemmnisse**

Die Zulässigkeit der Erhebung verschiedener Tarife innerhalb eines Entsorgungsgebietes (Tarifzonenmodell) ist vor dem Hintergrund der einzelnen KAG der Bundesländer zu prüfen.

Gleiches gilt für die Erhebung von Grundgebühren, wobei hierbei insbesondere zu klären ist, wie hoch der Anteil der Grundgebühr an der Gesamtgebühr gesetzt werden darf. Im Trinkwasserbereich gibt Marschke et al. (2006) unter Berufung auf Reif (2002) an, dass in Einzelfallentscheidungen verbrauchsunabhängige Gebührenanlastungen von bis zu 80 % der Gesamtkosten rechtliche Billigung erfahren.

### **Bewertung und Schlussfolgerung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels**

Vor dem Hintergrund des hohen Fixkostenanteils von ca. 80 % und etwa gleich bleibenden oder sogar steigenden Aufwendungen für Betrieb und Unterhalt der abwasserwirtschaftlichen Anlagen bei sinkenden Bevölkerungszahlen und/oder sinkendem Abwasseranfall ist trotz möglicher Kosteneinsparungen durch gezielte Rückbau- und Anpassungsmaßnahmen sowie Effizienzsteigerungen mit spezifischen Kostensteigerungen und damit Gebührenerhöhungen zu rechnen. Diese Kosten sind nach dem Kostendeckungsprinzip (ungeachtet politischer Einflussnahme auf die Gebührenhöhe) auf die Nutzer umzulegen. Veränderungen in der Tarifstruktur können dabei zur Steuerung des Verbrauchsverhaltens, möglichst sicheren Refinanzierung der angesetzten Kosten und möglichst verursachergerechten Veranlagung der entstandenen Kosten eingesetzt werden. Dabei geht es aber vordergründig um die Art und Weise der Umlage und Verteilung der entstandenen Kosten auf die verschiedenen Nutzergruppen. Die Höhe der Gesamtkosten, die umzulegen ist, wird hierdurch nicht verändert.

Entscheidender Einfluss auf die spezifische Kosten- und Gebührenbelastung geht von den Kapitalkosten des Entsorgungssystems und der Auslastung des Anlagenbestandes aus. Somit kommt einer effizienten Anlagenausstattung große Bedeutung zu. Eine Tarifstruktur, die den spezifischen Aufwand zur Versorgung mit entsprechenden Anlagen berücksichtigt, könnte steuernden Einfluss auf die Siedlungstätigkeit als entscheidender Einflussfaktor der Anlagenintensität ausüben und die wirtschaftlichen Spielräume für die Implementierung innovativer Lösungen begünstigen. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Zusammenhang der Tarifgestaltung und der Verbrauchs- und damit Absatzentwicklung zu schenken, um Einnahmeengpässe zu vermeiden.

**Weiterführende Quellen**

- Marschke, L.; Schmidt, T.; Schneider, G. (2006): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik (Teil 3). Teil 3: Langfristige Preis- und Gebührenentwicklung und Optionen für die Ver- und Entsorger. In: wwt 1-2/2006. S. 27-32.
- Eekhoff, J.; Bösch, I.; Laasch, J.; Weber, B. (2006): Gute Beispiele zur Stabilisierung der Wohnnebenkosten in der kommunalen Praxis – Trinkwasser, Abwasser und Abfall. Werkstatt: Praxis Heft 39: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR: Bonn 2006.

## 8      **Neuartige technische Konzepte zur Abwasserentsorgung**

Die in Deutschland überwiegend angewandten Konzepte zur Abwasserentsorgung bestehen im Wesentlichen aus der Ableitung von Ab- und Regenwasser über Misch- oder Trennkanalisationen als Schwemmkanalisation und der anschließenden Behandlung des Abwassers in zentralen Kläranlagen. Dadurch konnten in Deutschland ein hoher Entwässerungskomfort und weitgehende Entlastungen der Gewässer hinsichtlich leicht abbaubarer organischer Schmutzstoffe sowie der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor erreicht werden.

Durch den demografischen Wandel kommt es in Deutschland zu einer Reduzierung der Nutzerzahlen der vorhandenen Abwasseranlagen. Dies kann zum einen zu betrieblich-technischen Problemen auf den Anlagen und zum anderen zu höheren finanziellen Belastungen für den einzelnen Anlagennutzer führen (vgl. Kap. 6). Zusätzlich stellen neuere Entwicklungen und noch nicht eindeutig bestimmbare Veränderungen bei wichtigen Randbedingungen für die Siedlungswasserwirtschaft neue Herausforderungen dar. In Kap. 7 wurden unterschiedliche Maßnahmen und Handlungsoptionen zur Sicherstellung, Optimierung und Weiterentwicklung der vorhandenen Abwasserinfrastruktur unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen des demografischen Wandels beschrieben. Wichtige zusätzliche Aspekte für eine nachhaltige Ausrichtung unserer Abwasserinfrastruktursysteme sind:

- Hohe Anfangsinvestitionen für Netzstrukturen (Leitungs- und Kanalnetze) stellen Ausgaben dar, die nicht wieder rückgängig gemacht werden können („versunkene Kosten“). Gleichzeitig weisen diese Anlagen sehr lange Nutzungsdauern auf (bis teilweise über 80 Jahre), so dass es bspw. bei Änderungen wichtiger Randbedingungen zu nachteiligen Auswirkungen für den Betrieb kommen kann.
- Die wichtigsten, von der Siedlungswasserwirtschaft erfassten Ressourcen – Wasser, Nährstoffe und Energie – wurden in der Vergangenheit nur in geringem Umfang zurückgewonnen. Verschiedene Ansätze bspw. zur Phosphor-Rückgewinnung oder zur Verbesserung der Energieeffizienz wurden in den letzten Jahren weiterentwickelt (vgl. Ausführungen in Kap. 7). Der Wasserverbrauch spielt dabei vor allem in Wassermangelgebieten eine Rolle, die Phosphor-Problematik oder die Steigerung der Energieeffizienz sind dagegen von übergeordneter und zukünftig deutlich zunehmender Bedeutung.
- Zusätzliche ökologische Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft ergeben sich aus der Relevanz der in den letzten Jahren nachgewiesenen Belastungen unserer Gewässer mit Mikroschadstoffen wie z. B. Arzneimittelrückstände, die vom Menschen ausgeschieden und anschließend über die Abwasserinfrastruktursysteme in die Gewässer gelangen. Bei verstärkten Freizeitnutzungen der Gewässer spielen außerdem die im gereinigten Abwasser verbleibenden hygienischen Belastungen

eine erhebliche Rolle. Noch unklar ist deren Bedeutung hinsichtlich der Verbreitung antibiotikaresistenter Mikroorganismen.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchgeführt, um neue siedlungswasserwirtschaftliche Techniken und Konzepte zu entwickeln und zu erproben.

Im Folgenden werden die Grundzüge dieser Entwicklungen beschrieben. Es werden Möglichkeiten der Grundausstattung der Abwasserentsorgung vorgestellt, die unter bestimmten Randbedingungen eine sinnvolle Alternative sein können, u. a. für neu zu erschließende Entsorgungsgebiete, Siedlunginseln oder auch für Objekte, die durch Abriss und Rückbau von der vorhandenen Abwasserentsorgungsstruktur abgetrennt wurden. Zusätzlich werden die wichtigsten Randbedingungen identifiziert, die die Umsetzung dieser Ansätze beeinflussen. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Umsetzung neuer Wasserinfrastruktursystem-Konzepte gleichbedeutend mit sehr weitreichenden, komplexen Änderungen ist (neue technische Ausrichtung, große Zahl betroffener Akteure, umfassender rechtlicher Rahmen, etc.). Eine Umsetzung solcher Konzepte wird deshalb nicht nur von den direkten ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der unterschiedlichen, zur Auswahl stehenden Konzepte abhängen, sondern auch von den Möglichkeiten der Einbettung dieser Systeme in das sonstige Umfeld und den hier bestehenden Hemmnissen (z. B. rechtlicher Rahmen, relevante technische Regelwerke, Akteursstruktur, etc.).

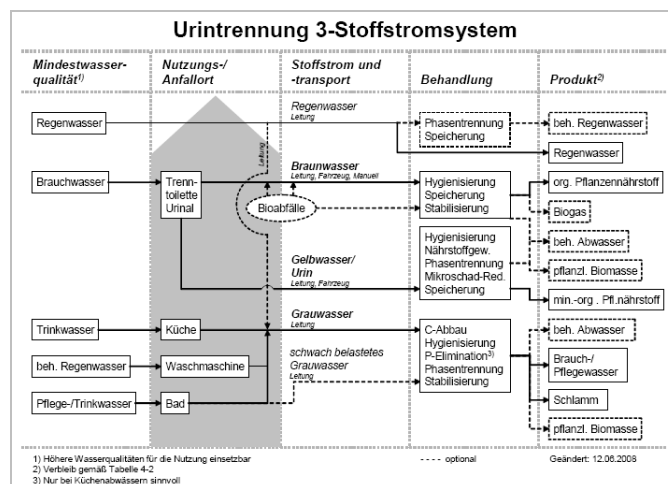
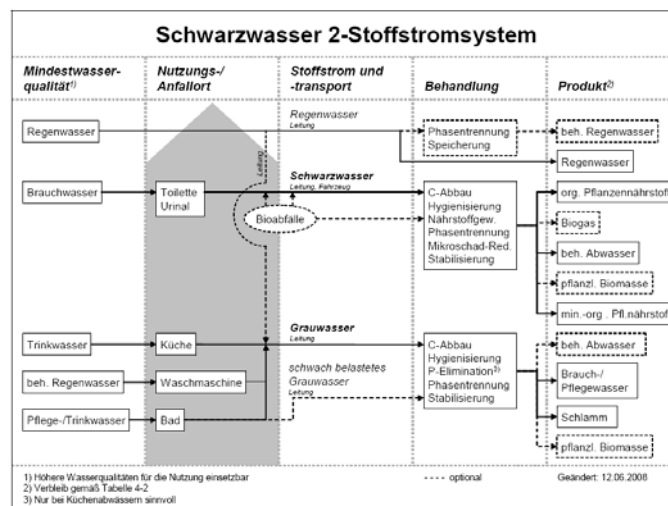
## 8.1 Beschreibung neuer technischer Ansätze

**Die beschriebenen neuen Herausforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft** führten sowohl in Deutschland als auch international zu einer größeren Zahl von Forschungs- und Demonstrationsprojekten, in denen neue technische Ansätze zur Abwasserentsorgung entwickelt und umgesetzt wurden bzw. werden (z. B. in Lübeck, Freiburg, Berlin, Lambertsmühle bei Burscheid, Berching, Hamburg, Knittlingen; Oldenburg et al., 2008; Peter-Fröhlich et al., 2008; Schonlau et al., 2008; Mohr/Trösch, 2006; Otterpohl, 2004; Oldenburg et al., 2003; Christ, 2003; Hiessl et al., 2003; Londong, 2000; Otterpohl et al. 1999). Diese Konzepte orientieren sich an den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, der Verbesserung der Ressourceneffizienz und einer ganzheitlichen Betrachtungsweise des Gesamtsystems. Wichtiger Bestandteil dieser Konzepte ist darüber hinaus eine Trennung von verschiedenen Abwasserteilströmen, teilweise bis hin zu einer getrennten Ableitung von Gelbwasser (Urin mit Spülwasser), Braunwasser (Fäzes mit Spülwasser), Grauwasser (häusliches Abwasser ohne Fäkalien) und Regenwasser.

Mit Schwerpunkt auf dem deutschsprachigen Raum wurde vom technisch-wissenschaftlichen Fachverband im Abwassersektor, der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) eine Beschreibung der bislang entwickelten und erprobten neuartigen technischen Systemen und Systemkomponenten und eine Analyse wichtiger Rahmenbedingungen, insbesondere hinsichtlich einer Systemintegration dieser Konzepte, erarbeitet sowie eine erste, halbquantitative Bewertung der „Neuartigen Sanitärsysteme“ vorgenommen (DWA, 2008).

In Abbildung 8-1 sind beispielhaft schematische Darstellungen eines 2-Stoffstromsystems (Schwarzwasser) und eines 3-Stoffstromsystems (Urintrennung) dargestellt.

Abbildung 8-1: Schematische Darstellung eines 2-Stoffstromsystems (Schwarzwasser) und eines 3-Stoffstromsystems (Urintrennung) (DWA, 2008)



### **Neue technische Ansätze zur Verbesserung der Ressourceneffizienz durch Abwasserwiedernutzung**

Zur Umsetzung neuer technischer Ansätze (z. B. NASS) sind i. d. R. weitgehende Veränderungen bei der Abwassererfassung und Abwasserableitung notwendig. Im Bestand sind solche Konzepte deshalb nur im Rahmen weitgehender Umbaumaßnahmen in der Abwasserinfrastruktur umzusetzen.

Ein anderer Ansatz, um bei bestehenden Abwasserinfrastruktursystemen die im Abwasser enthaltenen Stoffe zumindest teilweise einer Wiedernutzung zuzuführen, ist die Nutzung des Abwassers zum Eigenanbau von Co-Substraten, die dann zur energetischen Nutzung eingesetzt werden. Dabei kann zwischen umweltoffenen Systemen wie z. B. der Nutzung des geklärten Abwassers für die Beregnung von Rieselfeldern in Braunschweig und geschlossenen biologischen Produktionssystemen unterschieden werden. Umweltoffene Systeme können dem immer häufiger auftretenden Wassermangel in der Hauptwachstumsphase von Energiepflanzen entgegenwirken. Geschlossene Systeme sind möglich beim Einsatz von Mikroalgen, die unter Licht aus Nährstoffen und CO<sub>2</sub> Biomasse bilden können. Derzeit werden solche Systeme großtechnisch erprobt, um CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftwerken aufzunehmen. Prinzipiell kann auch nährstoffreiches teilgeklärtes Abwasser zur Nährstoff- und Wasserversorgung der Mikroalgen genutzt werden sowie CO<sub>2</sub> aus ggf. vorhandenen BHKWs. Durch das Wachstum der Algen werden Nährstoffe aus der wässrigen Phase eliminiert und es entsteht Sauerstoff (nähere Details s. Kap. 7.7.5).

## **8.2 Umsetzung neuartiger technischer Entsorgungskonzepte**

Im Rahmen der Arbeiten der DWA wurden mögliche Fallbeispiele beschrieben, in denen aufgrund besonderer Problemlagen ein Einsatz von NASS-Konzepten sinnvoll sein könnte. Die Entscheidung, welches Konzept tatsächlich auszuwählen ist, hängt jedoch immer von den konkreten Randbedingungen vor Ort ab und kann deshalb nur nach Prüfung des jeweiligen Einzelfalls beantwortet werden. Insgesamt wurden 7 Fallbeispiele aufgelistet (vgl. Tab. 8-1).



Tabelle 8-1: Mögliche Anwendungsbeispiele neuartiger Sanitärsysteme (NASS) nach Ergebnissen der DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 "Systemintegration" im DWA-Fachausschusses KA-1 "Neuartige Sanitärsysteme" (DWA, 2008)

1	Schrumpfende Mittelstadt	stark rückläufige Bevölkerungszahlen, überdimensionierte Ver- und Entsorgungsstruktur, Unterauslastung der Netze und Anlagen, starke betriebliche Probleme bei Wasserver- und Abwasserentsorgung
2	Wachsende Großstadt	Bevölkerungszuwachs, Verdichtung der Innenstadt und Ausweitung der Stadtrandgebiete, vermehrt auftretende Starkregenereignisse infolge lokaler Klimaänderungen
3	Ländliche Kommune	Bevölkerungsstruktur weitgehend stabil, schlechter Zustand der Abwasserinfrastruktur (sanierungsbedürftig), hoher Fremdwasseranteil
4	Neubaugebiet 1	starke Auslastung der vorhandenen Kanalisation und der Abwasserbehandlungsanlage, Anschluss eines weiteren Neubaugebiets schwierig
5	Neubaugebiet 2	vorhandene Kläranlage bzgl. Stickstoffelimination stark ausgelastet
6	Berg- und Ausflugsregion mit starken Belastungsvariationen	erhebliche Steigerung der Abwasserbelastung nach Beginn der Saison, insbesondere Probleme bei der Stickstoffelimination
7	Entkernung großer Wohnblöcke	starker Sanierungsbedarf, Strategie der Wohnungsbaugesellschaft: komplette Entkernung des Gebäudes

Eine Umsetzung neuartiger technischer Ansätze erfordert i. d. R. wesentliche Veränderungen der Abwasserinfrastruktur sowohl in den Gebäuden (z. B. Nutzung von Vakuum- oder Trenntoiletten, getrennte Ableitung von Abwasserteilströmen, gemeinsame Entsorgung von Küchenabfällen) als auch bei der Abwasserableitung und -behandlung. Mit vergleichsweise geringem Aufwand sind NASS Systeme nur bei Neubaugebieten (Fallbeispiel 4 und 5, ggf. Fallbeispiel 2) oder bei einer umfassenden Sanierung/Modernisierung von größeren Wohnblöcken (Fallbeispiel 7) möglich.

Trotz des in Deutschland stattfindenden demografischen Wandels mit insgesamt zurückgehenden Bevölkerungszahlen werden aufgrund des weiterhin steigenden spezifischen Wohnraumbedarfs in erheblichem Umfang Neubauten errichtet. Um das in diesem Zusammenhang vorhandene grundsätzliche Potenzial abzuschätzen, wurden anhand der für Deutschland zur Verfügung stehenden Daten folgende Auswertungen vorgenommen:

- Zahl der Neubauten in Gebieten mit
- in den letzten Jahren gleichbleibenden oder steigenden Bevölkerungszahlen und

- hoher Auslastung der Abwasserinfrastruktur (dazu sind allerdings nur Daten zur Auslastung der Kläranlagen auf Kreisebene verfügbar).

Die Auswertungsergebnisse in Tabelle 8-2 zeigen, dass in Deutschland in mehr als 200 Kommunen, in denen die Bevölkerungszahl zwischen 1995 und 2004 nicht abgenommen hat, die Zahl der neu fertiggestellten Wohnungen über 100 pro Jahr lag, in mehr als 300 Kommunen lag die Zahl zwischen 50 und 100 pro Jahr. Letztlich ist jedoch für die Konzeption von Wasserinfrastruktursystemen immer das Zusammenspiel der verschiedenen Randbedingungen im Einzelfall entscheidend. Besonders interessant kann die Umsetzung von „Inselkonzepten“ (NASS, Kleinkläranlagen u. a.) dann sein, wenn Kapazitätsengpässe im Kanalnetz oder bei der Kläranlage vorliegen, die nur mit sehr hohem Aufwand beseitigt werden könnten oder wenn die Entfernung zum Anschluss an die bestehende Kanalisation vergleichsweise groß ist.

Tabelle 8-2: Kommunen in Deutschland mit mindestens gleichbleibenden Bevölkerungszahlen (Zeitraum 1995 bis 2004) und starker Neubautätigkeit

	Zahl fertiggestellter Wohnungen > 100/a	Zahl fertiggestellter Wohnungen zwischen 50 und 100 /a
Anzahl Kommunen	208	328
Anzahl fertiggestellter Wohnungen in diesen Kommunen	49.847	22.543

(Datenquelle: Statistisches Bundesamt, mehrere Jahrgänge; Gesamtzahl an Kommunen mit verfügbaren Daten: 7.557 entsprechend etwa 60 % der Kommunen in Deutschland)

Ein Beispiel für die Umsetzung eines neuen Wasserinfrastrukturkonzepts in einem Neubaugebiet ist das Projekt „DEUS 21“. In diesem Konzept wird auf der Wasserversorgungsseite das anfallende Regenwasser gesammelt, semidezentral aufbereitet und neben dem Trinkwasser als Pflegewasser mit Trinkwasserqualität den Haushalten über ein zusätzliches zweites Versorgungsnetz zur Verfügung gestellt. Auf der Abwasserseite erfolgt die Abwassersammlung über eine Vakuumkanalisation, an die auch Vakuumtoiletten und Küchenabfallzerkleinerer in den Häusern angeschlossen werden können. Die ebenfalls semidezentral betriebene Abwasserbehandlung besteht aus einer anaeroben Membranbehandlungsstufe, über die Biogas gewonnen wird, sowie sich anschließenden Stufen zur Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff (s. Mohr/Trösch, 2006 bzw. Hillenbrand, 2009). Aufgrund des Einsatzes einer Vakuumkanalisation und eines anaeroben Abwasserreinigungsverfahrens ist der Einsatz von Küchenabfallzerkleinerern im Rahmen dieses neuen Wasserinfrastrukturkonzepts möglich und sinnvoll, während er üblicherweise in Deutschland durch die örtlichen Satzungen bzw. die DIN 1986 nicht erlaubt ist. Da für dieses Konzept „DEUS 21“ nur eine separate Ablei-

tung des Regenwassers und keine Trennung der verschiedenen häuslichen Abwasser-teilstrome erforderlich ist, ist für die Umsetzung des abwasserbezogenen Teils des DEUS-Konzepts nur eine Anpassung der außerhalb der Gebäude befindlichen Abwasserinfrastruktur notwendig. Die Installation bspw. von Vakuumtoiletten oder Küchenabfallzerkleinerern in den Gebäuden kann dagegen auch erst nachträglich erfolgen. Die Umsetzung dieses Konzepts kann deshalb auch in Gebieten mit betrieblichen Problemen bspw. aufgrund stark rückläufiger Bevölkerungszahlen in Kombination mit einem sehr geringen spezifischen Wasserverbrauch erfolgen. Zur groben Abschätzung der Zahl der davon betroffenen Kommunen wurden folgende Auswertungen vorgenommen (s. Tabelle 8-3):

- Kommunen mit einem starken Bevölkerungsrückgang von über 15 % in den Jahren zwischen 1995 und 2004 und
- einem deutlich unter dem Bundesdurchschnitt liegenden spezifischen Trinkwasserverbrauch.

Die Ergebnisse zeigen, dass in 90 Kommunen in Deutschland ein deutlicher Bevölkerungsrückgang stattgefunden hat bei einem gleichzeitig sehr niedrigen spezifischen Trinkwasserverbrauch von unter 80 l pro Einwohner und Tag (insgesamt lagen für 8.128 Kommunen die entsprechende Daten vor). In weiteren, vom demografischen Wandel betroffenen 111 Kommunen lag der Trinkwasserverbrauch zwischen 80 und 100 l/(E\*d). In diesen Kommunen ist damit zu rechnen, dass die tatsächlichen Trinkwassermengen unter 50 % der bei der Auslegung zugrunde gelegten Menge sinken können.

Tabelle 8-3: Kommunen in Deutschland mit Bevölkerungsrückgang von über 15 % (Zeitraum 1995 bis 2004) und niedrigem spezifischen Trinkwasserverbrauch

	spezifischer Trinkwasserverbrauch < 80 l/(E*d)	spezifischer Trinkwasserverbrauch zwischen 80 und 100 l/(E*d)
Anzahl Kommunen	90	111
Einwohnerzahl in diesen Kommunen	95.165	723.774

(Datenquelle: Statistisches Bundesamt, mehrere Jahrgänge; Gesamtzahl an Kommunen mit verfügbaren Daten: 8.128 entsprechend etwa 63 % der Kommunen in Deutschland)

### 8.3 Hemmnisse bei der Umsetzung innovativer Konzepte

Rechtliche Vorgaben und Kostensenkungspotenziale waren in der Vergangenheit die wesentlichen Triebkräfte für die Einführung technischer Neuerungen im Abwasserbereich (vgl. Sartorius/Hillenbrand, 2008a). Dabei betrafen diese Neuerungen i. d. R. Weiterentwicklungen und Ergänzungen des bestehenden Systems (z. B. Anlagenerweiterungen zur Nährstoffelimination).

Wesentlicher Antrieb für die Entwicklung neuer Systemkonzepte sind ökologische Aspekte (Recycling von Nährstoffen, Energieeffizienz), ohne dass jedoch bislang entsprechende weitergehende rechtliche Forderungen absehbar sind. Diese Ansätze bedeuten allerdings deutliche Veränderungen am zugrunde liegenden Gesamtkonzept und sind, da in Deutschland die Wasserinfrastruktur bereits weitgehend errichtet ist, mit einem erheblichen zusätzlichen Aufwand bei der Implementierung verbunden. Die spezifischen Investitions- und Betriebskosten würden erst bei einer stärkeren Verbreitung aufgrund der höheren Nutzerdichte und der mit einer größeren Anzahl hergestellter und installierter Anlagen einhergehenden Lerneffekte sinken. Um diesen Kreis zu durchbrechen, innerhalb dessen hohe Kosten zu geringer Verbreitung und diese wiederum zu hohen Kosten führen, könnte ähnlich wie bspw. bei den erneuerbaren Energien eine vorübergehende öffentliche Förderung ein angemessenes Mittel darstellen.

Bezüglich der Etablierung der neuen Systemkonzepte spielen folgende Aspekte eine wichtige Rolle:

- Wasserwirtschaftliche Vorhaben wie die Errichtung von Anlagen zur Abwasserentsorgung werden in erheblichem Umfang öffentlich gefördert. Die Vergabe dieser Mittel ist bislang jedoch an den Randbedingungen der konventionellen Konzepte orientiert.
- Wichtiger Baustein für eine verbesserte Akzeptanz ist die Erarbeitung technischer Normen, die für die Planung und Genehmigung entsprechender Anlagen eine entscheidende Rolle spielen. Durch die Arbeiten der DWA in diesem Gebiet ist hier mit Fortschritten in den nächsten Jahren zu rechnen. Allerdings werden für die Erarbeitung dieser Regelwerke Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb entsprechender Systeme benötigt.
- Zusätzlich ist eine Erweiterung von Aus- und Fortbildung notwendig, um bspw. Planer und Handwerker über die neuen Entwicklungen zu informieren (Anpassung der Inhalte von Studiengängen, Handwerkeraus- und -fortbildung).
- Die Wirtschaftlichkeit der Konzepte mit Nährstoffrückgewinnung wird auch durch die Preise der zurückzugewinnenden Ressourcen beeinflusst. Steigen diese, wie in den Jahren 2007 und 2008 geschehen, deutlich an, so steigt auch der Aufwand, der sinnvollerweise in die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen gesteckt werden kann. Wie die jüngste Vergangenheit zeigt, sind die Ressourcenpreise seit 2008

schon wieder erheblich gesunken. Ursache dafür mögen einerseits Auswirkungen von Spekulationen sein, andererseits aber auch die wegen der Wirtschaftskrise reduzierte Rohstoffnachfrage sein. In jedem Fall ist eine Vorhersage der Rohstoffpreise schwierig und Investitionen in den Ersatz primärer Rohstoffe durch sekundäre Substitute mit einem erheblichen Risiko behaftet.

- Die bestehenden Organisationsstrukturen im Bereich der Wasserinfrastruktur sind an die bestehenden Konzepte angepasst (Hiessl et al., 2003). Die Akzeptanz der neuen Konzepte bei den Betreibern ist deshalb von großer Bedeutung. Neue Systeme, bei denen bspw. eine engere Kopplung mit anderen Infrastrukturektoren notwendig ist oder die auf dem Betrieb (semi-)dezentraler Anlagen aufbaut, bedingen ggf. Veränderungen, für die jedoch - Beispiel Contracting-Modell (s. Kap. 9.1) – auch Lösungen zur Verfügung stehen.



## 9 Organisatorische Anpassungsstrategien

Die Abwasserentsorgung ist gemäß Art. 28 GG eine hoheitliche (Pflicht-) Aufgabe der Kommunen, zu deren Erfüllung sich die Gemeinden externer Dritter bedienen können (vgl. § 56 WHG). Die Organisation der Abwasserentsorgung vollzieht sich in besonderen rechtlichen Rahmenbedingungen, die sich u. a. aus

- dem Selbstverwaltungsrecht der Kommunen (Entscheidung über die (Organisations-)Form der Aufgabenerledigung der Abwasserentsorgung),
- dem Örtlichkeitsprinzip (kommunale Aufgabenträger dürfen nicht über die Gemeindegrenzen hinaus wirtschaftlich tätig werden),
- dem Anschluss- und Benutzungszwang (Gemeindeordnungen der Länder; Entwässerungssatzungen),
- den Kommunalabgabengesetzen der Länder sowie
- den relevanten steuerlichen Regelungen (gemäß § 2 (3) UStG gelten die öffentlich-rechtlichen Betriebsformen ob ihrer hoheitlichen Aufgabe steuerrechtlich als Hoheitsbetriebe und unterliegen deshalb nicht der Umsatz- bzw. Mehrwertbesteuerung) ergeben (Kampe, 2001, S. 83).

Abbildung 9-1: Klassifizierung der Betriebs-/ Organisationsformen in der Abwasserbeseitigung

<b>Betriebs-/ Organisationsformen in der Abwasserbeseitigung</b>			
<b>öffentlich-rechtlich</b>		<b>privat-rechtlich</b>	
nicht rechtsfähig	rechtsfähig	nicht rechtsfähig	rechtsfähig
Regiebetrieb	Stiftung	BGB-Gesellschaft	Verein (e. V.)
Sondervermögen	Anstalt	Offene Handelsgesellschaft	Genossenschaft
Eigenbetrieb		Kommanditgesellschaft	Stiftung
		Verein	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
			Aktiengesellschaft

<b>Betriebs-/ Organisationsformen der interkommunalen Zusammenarbeit</b>	
Zweckverband	Gemeinschaftsunternehmen (GmbH, Aktiengesellschaft)
Wasser- und Bodenverband	
sondergesetzlicher Abwasserverband	

Infolge der genannten rechtlichen Regelungen sind im Bereich der kommunalen Abwasserentsorgung neben öffentlich-rechtlichen auch privat-rechtliche Organisations- bzw. Betriebsformen typisch (Sander, 2003, S. 3f.) (vgl. Abbildung 9-1).

Aktuelle Brancheninformationen zeigen, dass kommunale Eigen- und Regiebetriebe nach wie vor dominieren und der Anteil privat-rechtlicher Betriebsformen in der Abwasserentsorgung weiterhin gering bleibt. Demgegenüber stellen der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) und Reidenbach et al. (2008) übereinstimmend fest, dass operativ die Beteiligung von privat-rechtlichen Unternehmen an der Abwasserentsorgung mittlerweile von nennenswerter Bedeutung ist (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., 2008, S. 13), (Reidenbach et al., 2008). Private werden seitens der Kommunen zunehmend über Betriebsführungs-, Betreibermodelle und Dienstleistungskonzessionen in die Erfüllung ihrer Abwasserbeseitigungspflichten eingebunden (vgl. (Quietsch, 2000, S. 250), (Steenbock, 2004, S. 410): (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2005, S. 56ff.), (Kluge/Libbe, 2006).

Vor dem Hintergrund der demografischen Veränderungen stehen die Abwasserentsorgungsunternehmen vor der Herausforderung, Schrumpfungsprozesse zu gestalten und zweckdienliche Anpassungsstrategien zu entwickeln. Dabei sind als grundsätzliche Handlungsoptionen für die Infrastrukturentwicklung eine Verkleinerung, eine Zentralisierung oder eine Dezentralisierung möglich (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2005, S. 13).

### **a) Verkleinerung**

Gegenstand der technischen Anpassungsstrategie Verkleinerung ist eine verhältnismäßige Reduzierung - Stilllegung oder Abriss - der Abwasserinfrastruktur entsprechend des demografisch bedingten Nachfragerückgangs (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2005, S. 13). Sie stellt eine Möglichkeit dar, den zu unterhaltenden Anlagenbestand zu reduzieren. Unklarheiten bestehen dabei häufig in der Frage, wer die Kosten für die Stilllegung oder den Rückbau der nicht ausgelasteten Netze und Anlagen tragen soll. So entstehen allein durch den Rückbau der Kanäle Kosten von im Mittel 5 bis 20 € pro m<sup>2</sup> abgerissener Wohnfläche. Hinzu kommen die Kosten für die Anpassung zentraler Infrastrukturelemente (Pumpwerke, Kläranlage etc.) sowie deren Restbuchwerte (Kluge & Libbe, 2006, S. 377ff.).

In der Praxis kommt es nur vereinzelt zu einem flächenhaften Rückbau von Siedlungseinheiten und abwasserinfrastrukturellen Anlagen (vgl. Kapitel 7.8.4). In der Regel beschränkt sich der Bevölkerungsrückgang nicht auf einzelne Stadtteile, weshalb häufig die vorhandene technische Erschließungsstruktur erhalten werden muss. Aufgrund der



untergeordneten praktischen Relevanz wird für die (technische) Anpassungsstrategie Verkleinerung im Folgenden keine Beziehung zu Auswirkungen auf die Organisationsform hergestellt.

### **b) Zentralisierung**

Kennzeichnend für die Anpassungsstrategie (technische) Zentralisierung ist die Zusammenlegung von unterausgelasteten Einheiten (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2005, S. 13). Die Zusammenlegung kann sowohl innerhalb einer Gemeinde als auch zwischen zwei Gemeinden bzw. Aufgabenträgern – über das vorhandene Kanalnetz oder mittels separater Überleitungen – erfolgen. So lassen sich Verbesserungen bei der Auslastung zentraler (Abwasserbehandlungs-) Anlagen erzielen, nicht jedoch bei den Kanalnetzen.

Mit welcher Intensität und welchem Gegenstand kommunale Aufgabenträger darüber hinaus zusammenwirken und/ oder mit privaten Leistungsträgern kooperieren, ist abhängig von der Ausgangssituation und den konkreten Zielstellungen der beteiligten Akteure. Im Wesentlichen können diesbezüglich die folgenden Varianten des Zusammenwirkens unterschieden werden:

- die Kooperation - je nach Bindungskraft können hier informelle, schwach institutionalisierte und formelle, stark institutionalisierte Formen unterschieden werden mit technischem, betriebswirtschaftlichem, ressourcenseitigem oder sektorübergreifendem Bezug (Kluge & Libbe, 2006, S. 282ff.);
- die Konzentration - je nach Intensität ordnen sich die beteiligten Akteure einer einheitlichen Leitung unter, wobei sie entweder ihre wirtschaftliche Selbstständigkeit behalten oder aufgeben (Graetz, 2008, S. 59);
- die Fusion - intensivste Form des Zusammenwirkens, bei der die Akteure ihre rechtliche Selbstständigkeit aufgeben (Graetz, 2008, S. 59).

Als Beispiele für die Zentralisierung der Organisationsstrukturen in der Abwasserentsorgung sind hier exemplarisch zu nennen:

- der Zusammenschluss von Aufgabenträgern bei Teilaufgaben (z. B. Übernahme der Betriebsführung von Abwasserbehandlungsanlagen durch den kommunalen Aufgabenträger),
- der Zusammenschluss von Aufgabenträgern (z. B. Zweckverbände),
- die organisatorische Vergrößerung (bei Teilaufgaben) durch Einbeziehung privater (z. B. Betriebsführungsmodell, Betreibermodell) sowie
- die Erweiterung der Produktpalette.

### c) Dezentralisierung

Der Ansatz der (technischen) Dezentralisierung<sup>76</sup> setzt auf die Zergliederung der Abwasserinfrastruktur und damit auf die Behandlung des Abwassers in unmittelbarer Nähe zum Anfallort. Seitens der Wasserwirtschaftsverwaltung wurden derartige Lösungen in der Vergangenheit lediglich als Zwischenlösung, bis zum Anschluss an die zentrale kommunale Kanalisation, angesehen. Denn nicht selten verfügen die Grundstückseigentümer nicht über die notwendige Fachkunde, um deren ordnungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten und ferner Gewässerbelastungen zu vermeiden. Hier setzen die innovativen Lösungsansätze für den „**zentralen Betrieb, dezentraler Anlagen**“ an, die nachfolgend näher beschrieben werden.

## 9.1 Innovative Organisationsmodelle für dezentrale technische Entsorgungskonzepte

Die innovativen dezentralen Verfahrenstechniken bedürfen zugleich organisatorischer Innovationen, um deren ordnungsgemäßen Betrieb und die entsprechenden Abflussergebnisse dauerhaft zu gewährleisten. Als mögliche Lösungsansätze sind diesbezüglich die in Tabelle 9-1 dargestellte Organisationsmodelle hervorzuheben (BDZ e. V. AK Dezentrale Wasserwirtschaft 2009). Darüber hinaus sind auch Lösungen als Kombinationen aus den nachfolgenden Einzel- und Gruppenlösungen denkbar.

Im Vergleich zum allgemeingebäuchlichen Individualmodell sind die Dienstleistungs- und Gruppenlösungen für die Grundstückseigentümer mit nicht unerheblichen Vorteilen verbunden. Beispielhaft zu nennen sind hier (vgl. Hiessl et al., 2007):

- die Reduzierung der Beschaffungs- und Transaktionskosten durch Einkaufsbündelung seitens des externen Dritten,
- die Reduzierung des Finanzierungsrisikos und Erhöhung der Planungssicherheit hinsichtlich des Kostenanfalls durch die Übertragung der Errichtung, des Betriebs und/ oder der Wartung auf einen externen Dritten,
- die Reduzierung des Haftungsrisikos durch den Übergang der Verantwortung für Errichtung, Betrieb und/ oder Wartung auf einen externen Dritten sowie
- die Stärkung der Verhandlungsposition gegenüber den externen Dritten (Einzel- im Vergleich zur Gruppenlösung)

---

<sup>76</sup> In der Praxis findet die Dezentralisierung bislang nicht im Sinne einer Abkopplung von Grundstücken von zentralen Strukturen statt, sondern indem bisher nicht zentral erschlossene Grundstücke einer rechtlich anerkannten dauerhaften dezentralen Entsorgung zugeführt werden.

Tabelle 9-1: Organisationsmodelle für dezentrale (technische) Entsorgungskonzepte

**Einzellösungen**

		<b>Dienstleistungsmodell</b>		
		<b>Individualmodell</b>	<b>Kümmerner-Modell</b>	<b>Contracting-Modell</b>
<b>Merkmale</b>		Errichtung, Betrieb und Instandhaltung der Kleinkläranlage durch Grundstückseigentümer, ohne Teilleistungen an externe Dritte zu vergeben	Errichtung, Betrieb und Instandhaltung der Kleinkläranlage durch Grundstückseigentümer, Teilleistungen werden an externe Dritte vergeben	Errichtung, Betrieb und Instandhaltung der Kleinkläranlage durch externen Dritten, Nutzungsdauer und -entgelt sind Gegenstand von Vertragsverhandlungen
<b>Gruppenlösungen</b>				
		<b>Vereins-, GbR-, Genossenschafts-Modell</b>	<b>Dienstleistungsmodell (Kümmerner-Modell als Gruppenlösung)</b>	
<b>Merkmale</b>		Errichtung, Betrieb und Instandhaltung der Kleinkläranlage durch Verein, GbR oder Genossenschaft, ohne Teilleistungen an externe Dritte zu vergeben	Errichtung, Betrieb und/ oder Instandhaltung der Kleinkläranlage durch Verein, GbR oder Genossenschaft, Teilleistungen werden an externe Dritte vergeben	

Die Rolle eines externen Dritten können sowohl privat-rechtliche Unternehmen als auch öffentlich-rechtliche Aufgabenträger übernehmen, letztere auch auf privat-rechtlicher Basis. Obgleich der daraus hervorgehenden Konkurrenzsituation besteht hier – wenn gewollt – ein Anreiz für kommunale Aufgabenträger, neue Geschäftsfelder mit marktreifen Dienstleistungsangeboten abseits der zentralen Abwasserbeseitigung zu entwickeln.

Ein wichtiges Beispiel hierfür ist das vom Fraunhofer ISI in Zusammenarbeit mit der Emschergenossenschaft/ Lippeverband umgesetzte Contracting-Modell (vgl. Hiessl et al., 2007; Becker et al., 2006). Inhalt des Modells ist ein Dienstleistungsvertrag zwischen Nutzer (i. A. Grundstückseigentümer) und Entsorger, welcher den Einkauf, die Montage und den Betrieb der dezentralen Kleinkläranlage durch den Entsorger regelt. Mit der Übertragung der geschilderten Tätigkeiten auf den zentralen, fachkundigen Zweckverband, kann – bei gleichzeitiger Ausnutzung der technischen Möglichkeiten der Fernüberwachung – der ordnungsgemäße Betrieb von dezentralen Anlagen gewährleistet werden („Zentraler Betrieb von dezentralen Anlagen“). Dadurch sind die inzwischen erzielbaren (gesetzeskonformen) Reinigungsleistungen fortschrittlicher Kleinkläranlagen auch in der Praxis dauerhaft zu erreichen, so dass im Vergleich zu den bisherigen Erfahrungen bei der dezentralen Abwasserentsorgung eine substanzielle Umweltentlastung möglich ist (vgl. bspw. Scheer, 2005). Durch Nutzung von ökonomischen

mischen Skaleneffekten und steuerlicher Abschreibungsmöglichkeiten kann die Dienstleistung „Dezentrale Abwasserentsorgung“ überdies kostengünstiger gestaltet werden, als dies im Betrieb durch den Endnutzer möglich ist. Außerdem ist auch die Umsetzung von Gruppenlösungen (Zusammenfassung von mehreren Häusern) deutlich vereinfacht, da bspw. die Eigentumsverhältnisse für die zu installierende und zu betreibende Anlage im Rahmen des Contracting-Vertrags geregelt werden können. Im folgenden Abschnitt ist das Projekt „AKWA-Dahler Feld“ näher beschrieben.

### **Das „Projekt AKWA-Dahler Feld“ – ein Betreibermodell für den Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen**

Hinter dem Projekt AKWA-Dahler Feld verbirgt sich die Umsetzung eines Betreibermodells für einen flächendeckenden Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen durch einen Wasserwirtschaftsverband. Mit dem Projekt wurde an das Forschungsprojekt AKWA 2100 (H. Hiessl et al. 2003) angeknüpft, welches für Alternativen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung steht, und in dem langfristige, strategische Optionen und Szenarien für die Siedlungsentwässerung vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung erarbeitet und bewertet worden sind.

Bei dem Gebiet Dahler Feld handelt es sich um ein ländlich gewachsenes Wohngebiet außerhalb des eigentlichen Stadtgebiets von Selm. Der Trinkwasserbedarf wird über Hausbrunnen gedeckt, die Abwasserbehandlung erfolgte bis zu Projektbeginn über Dreikammergruben. Im Rahmen des Projektes wurde für das Dahler Feld unter Beteiligung der Bürger ein dezentrales Entwässerungskonzept umgesetzt: Bau, Betrieb und Wartung der eingesetzten Kleinkläranlagen mit Membrantechnik erfolgen über einen Zeitraum von zehn Jahren durch den Lippeverband. Konkret wurden 21 sanierungsbedürftige Altanlagen durch Kleinkläranlagen mit Membranfiltermodulen ersetzt. Da die Investitionskosten der eingebauten Membrananlagen, die im Rahmen des Projektes hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit und ihrer erhöhten Reinigungsleistung über einen längeren Zeitraum hinweg erprobt werden sollten, über denen herkömmlicher Anlagen lagen, die die aktuellen Reinigungsanforderungen ebenfalls erfüllen, war für die Teilnahme der Grundstückseigentümer Voraussetzung, dass die Mehrkosten über Fördergelder abgedeckt werden. Diese wurden von der WestLB Stiftung Zukunft NRW bereit gestellt. Einschließlich der Förderung belaufen sich die Investitionskosten für das Betreibermodell auf rund 210.000 €. Bei einem Anschluss des Dahler Feldes an die zentrale Abwasserentsorgung der Stadt Selm wären dagegen rund 700.000 € angefallen. Der Lippeverband schloss mit jedem Hauseigentümer einen Dienstleistungsvertrag über eine Laufzeit von zehn Jahren ab. Als vertragliche Jahreskosten ergaben sich für eine Anlage mit der Kapazität von acht Einwohnerwerten im Mittel 950 € (Invest- und Betriebskosten). Die bisher für die Abwasserentsorgung selbst verant-

wortlichen Grundstücksbesitzer erhalten mit dieser Lösung ein „Rundum-Sorglos-Paket“ mit einer langfristigen Kosten- und Betriebssicherheit. Nach Ende der Vertragslaufzeit gehen die Anlagen in den Besitz der Grundstückseigentümer über, die dann auch entscheiden müssen, ob die Anlagen weiterhin durch den Lippeverband betrieben und gewartet werden sollen.

Derzeit wird der Betrieb der 21 Kleinkläranlagen des Dahler Feldes zentral durch den Lippeverband durchgeführt. Um einen sicheren Betrieb der Kleinkläranlagen zu gewährleisten, sind diese mit einer Datenfernübertragung ausgerüstet, die ebenfalls den täglichen Abruf von Betriebsparametern ermöglicht und somit die Dokumentation des Betriebstagebuches vereinfacht.

Der monatliche Personalaufwand für die Betreuung der 21 Kleinkläranlagen liegt derzeit bei durchschnittlich 15 Stunden pro Monat. Ziel ist ein Regelbetrieb mit 10 Stunden pro Monat. Der Energiebedarf pro Anlage, der jeweils durch die Anwohner zu tragen ist, liegt (unabhängig von der Anlagengröße) zwischen 25 und 40 kWh im Monat.

Für den Lippeverband, für den vor allem die Betriebserfahrungen im direkten Umgang mit Endkunden neu und wertvoll sind, hat sich durch den Betrieb der Kleinkläranlagen im Dahler Feld für sein ländlich strukturiertes Einzugsgebiet ein reizvolles Geschäftsmodell für die Zukunft aufgetan. Aufgrund der Vorteile des „Rundum-Sorglos-Pakets“ ist die Akzeptanz bei den Anwohnern für das umgesetzte Konzept sehr hoch.

#### Projektpartner:

Lippeverband; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe; Stadt Selm, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen; Ingenieurbüro Prof. Dr. Ing. Stein & Partner, Bochum; Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e. V., Bochum

Der Verzicht auf ausgedehnte zentrale Leitungsnetze bedeutet gleichzeitig eine deutlich erhöhte Flexibilität dieses Konzepts gegenüber Veränderungen wichtiger Randbedingungen (z. B. Nutzerzahlen aufgrund des demografischen Wandels) oder gegenüber technischen Weiterentwicklungen. Anpassungsmöglichkeiten sind zumindest im Rahmen der Investitionszyklen der Anlagen (im Allgemeinen zwischen 20 bis 25 Jahren) möglich. Im Rahmen des erwähnten Demonstrationsvorhabens wurde aufgrund des Pilotcharakters von einer Abschreibungsdauer von nur 10 Jahren ausgegangen und die Vertragsdauer entsprechend auf 10 Jahre festgelegt.

Bei Verfügbarkeit von ausgereiften und technisch zuverlässigen neuartigen (semi-) dezentralen Techniken (z. B. Urinabtrennung, -ableitung, -zwischenspeicherung und -behandlung) könnte dieses Organisationsmodell ggf. auch für entsprechende Entsor-

gungskonzepte erweitert werden: Durch die Abtrennung und Behandlung des Urins könnten nach DWA (2008) etwa 81 % des Stickstoffs und 50 % des Phosphors einem Recycling zugeführt werden. Der Abtransport des zwischengespeicherten Urins wäre im Rahmen der jährlichen bzw. halbjährlichen Wartungstermine der Kleinkläranlagen möglich. Weiterer Vorteil einer solchen Abtrennung und separaten Aufarbeitung des Urins wäre die Möglichkeit zur Reduktion der Emissionen an Medikamentenrückstände. Urin enthält einen Großteil der vom Menschen ausgeschiedenen Medikamentenrückstände (Lienert et al., 2007). Durch die Abtrennung und separate Behandlung könnte dieser Anteil gezielt zurückgehalten und ggf. eliminiert werden.

## 9.2 Umsetzung neuer organisatorischer Systemkonzepte

Durch die Weiterentwicklung der dezentralen Konzepte zur Abwasserentsorgung über verbesserte und prozessstabile Techniken für Kleinkläranlagen einschließlich der Fernüberwachung und über innovative Organisationsmodelle zur Sicherstellung eines dauerhaften, professionellen Betriebs stehen auch für den dispers besiedelten Raum nachhaltige und flexible Lösungen zur Verfügung. Anpassungen an geringere Nutzerzahlen sind bei geringerer Abschreibungsdauer in kurzfristigeren Zyklen/ Zeiträumen möglich, Kanalnetze für die Abwasserableitung werden nicht benötigt und die eingesetzten Kleinkläranlagen können im Bedarfsfall (zumindest teilweise) demontiert bzw. ausgetauscht werden.

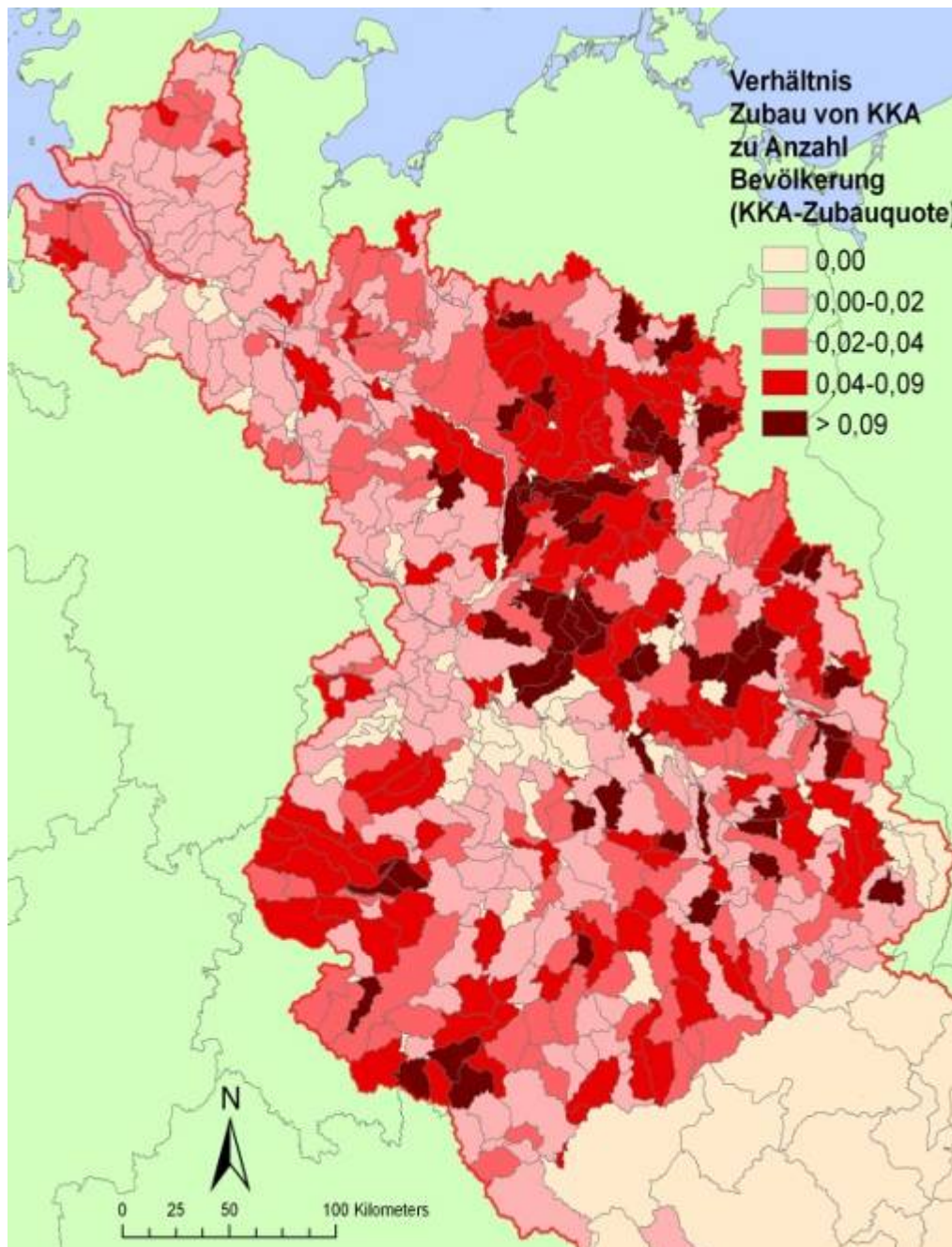
Das Umsetzungspotenzial für alternative Organisationsmodelle in Verbindung mit dezentralen Entsorgungskonzepten ist dort besonders hoch, wo diese Vorteile von besonderer Bedeutung und gleichzeitig weitere wichtige Randbedingungen erfüllt sind. Im Einzelnen sind folgende Faktoren als förderlich anzusehen:

- geringe Siedlungsdichte;
- hohe Zahl von Einwohnern mit abflusslosen Gruben bzw. mit Anschluss an eine Kanalisation, aber ohne Anschluss an eine zentrale Kläranlage, deren Abwasserentsorgung ggf. auf den Stand der Technik gebracht werden muss;
- hohe Zahl bereits vorhandener Kleinkläranlagen (als Vorteil, um eine gewisse kritische Masse zentral zu betreibender Kleinkläranlagen zu erreichen);
- ein zu erwartender, sehr starker Rückgang der Bevölkerung und der damit verbundene Handlungsdruck zum Rückbau zentraler Entsorgungseinrichtungen.

Im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „GLOWA Elbe“ wurden für das deutsche Elbeinzugsgebiet entsprechende Szenariountersuchungen im Detail durchgeführt und die dazu verfügbaren Daten ausgewertet (vgl. Sartorius/Hillenbrand, 2008b). Als Ergebnis wurde eine Karte erstellt, in der der zu erwartende Zuwachs bei der Nutzung

von Kleinkläranlagen bis zum Jahr 2020 abgebildet ist (s. Abbildung 9-2). Nach diesen Ergebnissen ist besonders in Thüringen, Brandenburg und im Süden von Mecklenburg-Vorpommern mit einem zunehmenden Einsatz von Kleinkläranlagen zu rechnen.

Abbildung 9-2: Ergebnis von Szenariobetrachtungen zur zunehmenden Nutzung von Kleinkläranlagen im deutschen Elbegebiet bis 2020 (aus Sartorius/Hillenbrand, 2008b)







## 10 **Technologievorausschau – Erkenntnisse aus dem BMBF-Foresight-Prozess**

Für die nachhaltige Sicherung der Innovationsfähigkeit des Forschungs- und Bildungsstandortes Deutschland hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in 2007 einen Foresight-Prozess gestartet. Es soll der Blick in die Zukunft (10 bis 15 Jahre - und darüber hinaus) unternommen werden, um neue Schwerpunktfelder und übergreifende Themen in Forschung und Technologie sowie Potenziale für strategische Partnerschaften und prioritäre Handlungsfelder zu identifizieren (<http://www.bmbf.de/de/12673.php>).

Im Rahmen dieses BMBF-Prozesses zur Technologievorausschau wurden relevante Wissenschafts- und Anwendungsfelder identifiziert, für die eine breit angelegte internationale Suche und Recherche im Internet, in Dokumenten, Netzwerken, über Konferenzen usw. durchgeführt wurde. Außerdem erfolgten Experteninterviews mit internationalen und nationalen Expertinnen und Experten, um einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung in den jeweiligen Gebieten sowie über die bereits existierenden Planungen für die Zukunft zu erhalten (Cuhls et al. 2009).

Die bisherigen Ergebnisse sind im ersten, noch unveröffentlichten, Arbeitspapier der des BMBF-Foresight-Prozesses zusammengefasst. Die Aussagen mit Implikationen für das vorliegende Projekt, werden im Folgenden kurz beschrieben.

Sich verändernde Umweltbedingungen erfordern in wachsendem Maße auch eine erhöhte Anpassungsfähigkeit und Sicherheit von Wasserinfrastruktursystemen. Diesbezüglich wurden im Laufe des Prozesses folgende Randbedingungen als maßgebend für das Themenfeld Wasserinfrastrukturen identifiziert: klimatische Veränderungen, demografischer Wandel und Ressourcenverknappung. Alle drei wirken als Treiber für Forschung und Entwicklung in Richtung nachhaltiger Wasserinfrastruktursysteme.

Die Entwicklung von Konzepten zur Schließung von Stoffkreisläufen ist insbesondere für Ballungszentren eine Herausforderung. Die Wiedernutzung von Wasser ist aus Expertensicht weltweit zu einem vordringlichen Thema geworden, das durch die Weiterentwicklung der Membrantechnik bereits in Großprojekten umgesetzt wird. In Deutschland manifestiert sich diese Notwendigkeit der Wiedernutzung vor allem in den sommertrockenen Gebieten, in denen landwirtschaftliche Bewässerung immer mehr zum Thema wird.

Für das Themenfeld Wasserinfrastrukturen wurde außerdem das Themenfeld Nanotechnologie als wichtigstes Bezugsthema identifiziert. Besonders für die in verschiedenen Aufbereitungsverfahren immer häufiger eingesetzten Membranen ist die Nano-

technologie ein Innovationstreiber. Die Bereitstellung sauberen Wassers im Sinne der Gesundheitsvorsorge wird eine wichtige Kernaufgabe bleiben. Eine durch den Klimawandel induzierte abnehmende Ressourcenverfügbarkeit sowie das vermehrte Auftreten von Mikroschadstoffen in der aquatischen Umwelt (z. B. Pharmakarückstände) zeigen beispielhaft den Forschungsbedarf auf. Mikroschadstoffe sind für beide oben genannten Forschungsbereiche von Relevanz.

Neue Contracting-/ Betreibermodelle bzw. Geschäftsmodelle sind ein aktuelles Thema in der Wasserwirtschaft und bilden den Gegenstand zukünftiger Forschung im Bereich Organisations- und Dienstleistungsstrukturen. Sie sind die Voraussetzung und Treiber für die Weiterentwicklung und Implementierung nachhaltiger Systeme. Mit der Erschließung neuer Geschäftsfelder lassen sich ggf. die die ökonomischen Effekte von Bevölkerungsrückgang und Migration kompensieren.

Die Forschungsfrage der Dezentralisierung der Wasserinfrastruktur hat einen engen Bezug zur Energiewirtschaft. Dabei spielen sowohl energiegewinnende Technologien (Anaerobtechnik) als auch strukturelle Veränderungen und innovationstreibende Subventionspolitik eine Rolle. In beiden Sektoren werden vermehrt dezentrale Entwicklungen vorangetrieben und fordern eine integrierte Betrachtung.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels (Desertifizierung) steigt die Bedeutung des das Konzepts des Virtuellen Wassers. Hierbei ist die Erweiterung des Begriffs von Wasserinfrastruktursystemen um effektive Rezirkulations- und Wiedernutzungsstrukturen sowie die Berücksichtigung von standortangepassten ökonomischen und politischen Aspekten in den Sektoren Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistung notwendig.

Im Einzelnen wurden im BMBF-Foresight-Prozess folgende Themengebiete näher untersucht: Nutzung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen, flexible Wasser-Infrastruktursysteme, Adaption der Wasser-Infrastruktur an Demografie- und Klimawandel sowie Bereitstellung und Nutzung unterschiedlicher Wasserqualitäten (fit for purpose). Als besonders wichtige zukünftige Forschungsthemen wurden identifiziert:

- (Semi-)Dezentrale Systeme,
- Wiederverwendung von Wasser,
- Nutzung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen (Energie, Nährstoffe) und
- Kanalsysteme mit flexiblem Durchfluss.

Diese Themen sind auch hinsichtlich der durch den demografischen Wandel verursachten Probleme von Bedeutung. Die zukünftig zu erwartenden Forschungsergebnisse können deshalb ggf. einen wichtigen Beitrag zur Lösung der im Rahmen dieser Studie aufgezeigten Probleme liefern.

## **11 Ableiten von Handlungsempfehlungen**

Im Folgenden werden übergeordnete Handlungsempfehlungen zum Umgang mit den Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur beschrieben. Dabei wird unterschieden zwischen den lokal direkt betroffenen Akteursgruppen (Abwasserentsorger und Kommunen), die direkt für die Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen verantwortlich sind, sowie dem weiteren Umfeld, das bspw. über die Regionalplanung, über rechtliche Randbedingungen oder auch über finanzielle Förderprogramme den Handlungsspielraum für die lokalen Akteure festlegt.

### **11.1 Handlungsempfehlungen für die Abwasserentsorger und die Kommunen**

Die Analysen zu den demografischen Entwicklungen selbst sowie auch zu den dadurch ausgelösten Konsequenzen für die Abwasserinfrastruktur haben gezeigt, dass die Veränderungen und der Handlungsbedarf lokal und auch regional sehr unterschiedlich ausfallen werden. Für die Kommunen und Abwasserentsorger ist es deshalb unbedingt erforderlich, in einem ersten Schritt die eigene Ausgangssituation und die zu erwartende Entwicklung genau zu analysieren. Notwendig sind dazu langfristige Betrachtungen, die den derzeit häufig verwendeten Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2020 deutlich überschreiten sollten – vor dem Hintergrund der üblichen Nutzungsdauer wichtiger Komponenten der Abwasserinfrastruktur sollten vielmehr Zeiträume von 50 Jahren oder länger betrachtet werden.

Zur Abschätzung der sich aus den demografischen Entwicklungen ergebenden Betroffenheit sind weitere Parameter auf lokaler bzw. regionaler Ebene zu betrachten wie z. B. die Topografie, die bereits stattgefunden und künftig zu erwartende Entwicklung des Wasserverbrauchs (Haushalte, Gewerbe, Industrie), Auswirkungen von Klimaveränderungen (Veränderungen im Niederschlagsregime) oder auch die Entwicklung des Sanierungsbedarfs für das vorhandene (Ab-)Wasserinfrastruktursystem. Wie in Kapitel 4 beschrieben, können sich die Auswirkungen eines Bevölkerungsrückgangs auf die Abwasserinfrastruktur bei einer Kombination mit anderen ungünstigen Rahmenbedingungen deutlich verschärfen (bspw. bei gleichzeitig sehr geringen spezifischen Wasserverbräuchen und einem flachen Gelände). Eine solche detaillierte Problemanalyse sollte Teil einer langfristigen Strategieentwicklung sein, die, basierend auf einer Analyse der erwarteten Veränderungen des handlungsrelevanten Umfelds und der vorhandenen Handlungsspielräume, geeignete Maßnahmen aufzeigt und bewertet. Aufgrund der langen Planungszeiträume und der hohen Unsicherheiten bei verschiedenen Umfeldbedingungen (z. B. Auswirkungen von Klimaveränderungen) ist hierbei zu-

nächst ein Szenarioprozess als methodischer Ansatz sinnvoll, mit dessen Hilfe verschiedene denkbare Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt werden können.

Aus diesen langfristig orientierten Betrachtungen kann anschließend in Abstimmung mit der Stadtentwicklungsplanung eine langfristige Sanierungs- und Investitionsplanung unter Berücksichtigung aller sich ändernden Randbedingungen abgeleitet werden. Positives Beispiel einer langfristig orientierten Vorgehensweise ist die *infrastrukturbezogene Risikoanalyse*, wie sie in Leipzig angesichts des stärker werdenden Problemdrucks eingesetzt wurde und deren Ergebnisse als Grundlage für unternehmerische Entscheidungen dienen (vgl. KWL et al., 2007). Dabei werden Szenarien zur Einwohnerentwicklung und Gewerbeflächenentwicklung sowie Daten über Flächennutzungen und Leerstände mit siedlungswasserwirtschaftlichen Kenndaten (die technischen Daten zum Leitungsnetz der Wasser und Abwasserleitungen, Topografie, Wasserverbrauch, Sanierungsbedarf) geographisch zusammengeführt. Die Handlungsspielräume des Entsorgers ergeben sich sowohl aus den in Kapitel 7 beschriebenen technischen und organisatorischen (Einzel-)Maßnahmen als auch aus den in Kapitel 8 aufgezeigten technisch orientierten neuartigen konzeptionellen Ansätzen. und den in Kap. 9 erläuterten Organisationsmodellen. Durch eine solche Vorgehensweise werden die Abwasserentsorger in die Lage versetzt, einen räumlich differenzierten Maßnahmenkatalog aufzustellen und dabei nach Dringlichkeit sowie technischem und ökonomischem Aufwand zu priorisieren. Zur Umsetzung können insbesondere für Stadtteile mit dringendem Handlungsbedarf zwischen den relevanten Akteuren (Kommune, Wohnungsunternehmen, Infrastrukturbetreiber, etc.) Stadtumbauverträge auf Quartiersebene nach § 171 c BauGB geschlossen werden, um einen Lastenausgleich zwischen den beteiligten Eigentümern zu gewährleisten und außerdem das Ziel einer langfristigen Wertschöpfung aus geleisteten und zu leistenden Investitionen zu erreichen.<sup>77</sup>

Den Städten und Gemeinden kommt als Adressaten von Handlungsempfehlungen eine wichtige Rolle zu – einerseits sind sie Träger der kommunalen Planungshoheit und können somit maßgeblich die Siedlungsentwicklung beeinflussen, andererseits obliegt ihnen die Abwasserentsorgung als Teil der Daseinsvorsorge. Außerdem sind Städte und Gemeinden entscheidende Akteure vor Ort bei der Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen der in Kapitel 7 beschriebenen Förderprogramme.

Durch die städtische Siedlungsstruktur und Siedlungsdichte wird ein wichtiger Kostenparameter für die Abwasserinfrastruktur gesteuert (vgl. Kapitel 7.8). Dabei sollten die

---

<sup>77</sup> In Magdeburg wurden gute Erfahrungen mit den auf dieser Grundlage geschlossenen „Quartiersvereinbarungen“ gemacht (vgl. SWM 2008).

Art und das Maß der baulichen Nutzung auf die ortsspezifischen demografischen Entwicklungen abgestimmt sein, um die Siedlungs- und damit auch die nachfolgende Infrastruktur langfristig optimal auf den Bedarf abzustimmen. Neben dem Neubau wird auch der Rückbau baulicher Strukturen, mit dem auch der Rückbau und die Stilllegung von Abwasserinfrastruktur einhergehen, immer mehr zum Thema der städtischen Planung. Kommunen verfügen hier über ein wichtiges Steuerungspotenzial, und sind grundsätzlich in der Lage, alle beteiligten Akteure aus Wohnungswirtschaft, Verwaltung und Versorgungsunternehmen rechtzeitig und zielgerichtet einzubinden (Bundestransferstelle 2006: 75).

Sollte die Anpassung der technischen Infrastruktur im Zuge von Stadtumbaumaßnahmen nötig werden, ist zu prüfen, ob eine Förderung aus dem Stadtumbauprogramm in Frage kommt. Falls ein flächenhafter Rückbau nicht möglich, nicht wirtschaftlich oder städtebaulich nicht gewünscht ist, ist es geboten, unter Einbeziehung der Wohnungsunternehmen auch innovative Konzepte technischer und/oder organisatorischer Art für eine (semi-)dezentrale Ver- und Entsorgung der verbleibenden städtischen Strukturen zu prüfen.

## 11.2 Handlungsempfehlungen Umfeld

### Raumordnung

Siedlungsdichte und Siedlungsstruktur sind wichtige Stellgrößen für die Kosteneffizienz der technischen Infrastruktur (inkl. der Abwasserinfrastruktur). Daher muss ein entscheidendes Anliegen die Dämpfung und Steuerung der Entdichtungsprozesse sein. Generell ist die Raumordnung daher zweifach gefordert (vgl. auch Siedentop et al. 2006, S. 222-226): Einerseits müssen Siedlungsentwicklungen gefördert werden, welche eine Kosten schonende Infrastrukturversorgung ermöglichen und andererseits müssen zentrale Infrastrukturstandorte überörtlich optimiert werden. Insbesondere muss einer weiteren dispersen Siedlungsentwicklung und Verringerung der Siedlungsdichte entgegengesteuert werden.<sup>78</sup>

Um die Siedlungsdichte zu stabilisieren, sollte die Raumordnung ihre Kompetenz bei positivplanerischen Ansätzen stärken, so dass ihre Steuerungsfunktion über eine häufig noch gängige Konzentration auf die Festsetzung ökologischer Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sowie naturschutzrechtlich verbindlicher Schutzgebiete hinausgeht. Mögli-

---

<sup>78</sup> Eine umfassende Analyse von Zielen eines nachhaltigen regionalen Flächenmanagements und der Wechselwirkungen mit infrastrukturellen Aspekten bietet z. B. Geyler et al., 2009.

che Ansätze betreffen z. B. die Kontingentierung des kommunalen Flächenausweisungsspielraums, um zugleich den Entdichtungsprozess bei gegebener demografischer Entwicklung zu begrenzen und Anreize für eine Mobilisierung innerer Nutzungsreserven zu erhöhen. Zugleich muss die gemeindliche Entwicklung stärker auf Innenentwicklung fokussiert werden. Schließlich erscheint eine Stärkung und Weiterentwicklung des Leitbilds der kompakten Stadt und der Ansatz der dezentralen Konzentration – unter Beachtung infrastruktureller Gegebenheiten – sinnvoll (Siedentop et al., 2006, S. 226-227).<sup>79</sup>

Besonders in Schrumpfungsregionen ist es unerlässlich, dass v. a. die Kommunen und die Abwasserentsorgungsunternehmen eine regionale Perspektive einnehmen. Um dieses zu erreichen, müssen die verschiedenen Handlungsrationitäten der vielen Einzelakteure – innerhalb der verschiedenen Ebenen und über Ebenen hinweg - integriert werden. Dabei spielen die unterschiedlichen Kooperationsformen wie Arbeitsgemeinschaften zwischen Unternehmen, Kommunen, Land und Bund oder projektbezogene interkommunale Kooperationen eine wichtige Rolle (vgl. Mohajeri/ Schön 2008: 327ff).

### **Infrastrukturförderung<sup>80</sup>**

Das in Kapitel 7 beschriebene Förderprogramm „Stadtumbau Ost“ kann ein wichtiges Instrument darstellen, nötige Rück- und Umbauprozesse anzustoßen und umzusetzen. Insbesondere in den vom demografischen Rückgang besonders stark betroffenen Gebieten, die i. d. R. in strukturschwachen Regionen liegen und keine finanziellen Spielräume besitzen, um bspw. Anpassungsmaßnahmen durchführen zu können, wäre ohne Fördermaßnahmen eine drastische Erhöhung sowohl der Gebühren als auch der Gesamtkosten pro Kopf und Jahr zukünftig unumgänglich. Solche Erhöhungen würden die Attraktivität dieser Kommunen weiter verringern und zu einer zusätzlichen Verschlechterung der Situation beitragen („Verliererkommunen“). Um eine solche Entwicklung abzuwenden, ist die Förderung – auch über den gegenwärtig beschlossenen Förderzeitraum hinaus – aufrechtzuerhalten und insbesondere im Hinblick auf die Erfordernisse aus dem Infrastrukturbereich weiter zu entwickeln.

---

<sup>79</sup> Zu bestehenden flächenwirksamen Steuerungsinstrumenten im Hinblick auf Zielstellungen eines nachhaltigen Flächenmanagements s. BBR 2007a, BBR 2007b, Köck et al. 2009 sowie Gawron et al. (im Druck).

<sup>80</sup> Die Ausgestaltung des Förderkanons hat vor dem Hintergrund der WRRL (Artikel 9, Absatz 4) zu erfolgen.

Grundsätzlich sollten alle baulichen Maßnahmen an der technischen Infrastruktur, die durch geförderte Sanierungsmaßnahmen in Stadtumbaugebieten (§171b BauGB) ausgelöst werden, als stadumbaubedingte Folgekosten durch die Förderprogramme erstattungsfähig sein (analog zu Sanierungsgebiete, § 150 BauGB). Generell sollten alle stadumbaubezogenen Förderprogramme so ausgerichtet sein, dass Gebäude- und Infrastrukturrückbau Hand in Hand gehen. Der Gesetzgeber hat bereits in der Verwaltungsvereinbarung zum Programm Stadtumbau Ost ausdrücklich klargestellt, dass die Ver- und Entsorgungswirtschaft an der Erarbeitung und Fortschreibung von städtebaulichen Entwicklungskonzepten beteiligt werden muss (vgl. BBR 2006: 4). Praktische Erfahrungen zeigen, dass auch die Wohnungsunternehmen einbezogen werden müssen und ein unabhängiger Mediator helfen kann, die gegensätzlichen Interessen auszugleichen (Erdmann 2009). Durch eine stärkere Einbindung der Wohnungsunternehmen hinsichtlich der von ihr verursachten Kosten für die infrastrukturellen Anpassungsmaßnahmen im Sinne des Verursacherprinzips würde das Interesse für effizientere Strukturen gestärkt. Dadurch könnten die Infrastrukturkosten besser in die Fördermaßnahmen integriert werden.

Zusätzlich werden im Bereich öffentlicher Abwasserinfrastrukturen traditionell von den Bundesländern erhebliche Mittel zur Förderung von Investitionsmaßnahmen zur Verfügung gestellt. Bei der Vergabe entsprechender Mittel wäre jeweils zu prüfen, ob die zu fördernden Maßnahmen auch unter Berücksichtigung der sich verändernden Randbedingungen langfristig sinnvoll sind (prüfen auf „Demografiefestigkeit“). Somit könnten die Mittel gezielt für Maßnahmen zur Anpassung an den demografischen Wandel genutzt werden. Vorstellbar wäre mit dieser Zielrichtung auch, dass Mittel aus der Abwasserabgabe eingesetzt werden, insbesondere vor dem Hintergrund, dass bei einer unzureichenden Anpassung auch ökologische Auswirkungen auftreten können. Innerhalb der Förderbedingungen können auch Anforderungen hinsichtlich einer langfristigen Investitionsplanung und –bewertung unter Berücksichtigung aller relevanten, sich ändernden Randbedingungen und unter Einbezug auch innovativer Ansätze gestellt werden. Beispielsweise gibt es in Sachsen eine Förderung von Kleinkläranlagen im bisher noch nicht erschlossenen ländlichen Raum, entsprechend der Abwasserstrategie 2007-2015 und in mehreren Richtlinien (SMUL 2009) detailliert geregelt.<sup>81</sup> Die entsprechenden Förderungen unterstützen auch vor dem Hintergrund des demografischen Wandels eine wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmenauswahl. Auch die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Rheinland-Pfalz hat in einer mit Jahresbeginn 2009

---

<sup>81</sup> In den für die Förderwürdigkeit definierten Bedingungen wird die Einbeziehung von organisatorischen Alternativlösungen (Gruppenlösungen, Betreibermodelle) in den Variantenuntersuchungen angeregt.

in Kraft getretenen Förderrichtlinie ihre Förderpolitik stärker auf Demografie und Klimawandel ausgerichtet. Neue Aspekte der Förderung sind jetzt auch Demografiefestigkeit und die Einbeziehung von Klimawandelfolgen. Zu dieser Neuausrichtung gehören die Unterstützung von interkommunalen Kooperationen, großräumigen Wasserverbänden und Energieeffizienzmaßnahmen (MUFV, 2008).

### **Technische Regelwerke und rechtliche Rahmenbedingungen**

Sowohl bei der Auslegung als auch bei Wartung und Sanierung abwassertechnischer Anlagen spielen technische Regelwerke eine große Rolle. Hier ist zu prüfen, inwieweit die besonderen Bedingungen, die sich aus zurückgehenden Nutzerzahlen (einschließlich deutlich zurückgehender Wassermengen) ergeben, stärker Berücksichtigung finden können. Ggf. sind die über das Regelwerk gestellten Anforderungen anzupassen, wenn in einem zu definierenden Zeithorizont sowieso Rückbau- und Stilllegungsmaßnahmen angestrebt sind.

Für verschiedene innovative Ansätze wie z. B. der Nutzung von Co-Substraten ergeben sich bislang in der Praxis auch vielfältige genehmigungsrechtliche Probleme, die deren Umsetzung deutlich hemmen.

### **Forschungsförderung**

Der in verschiedenen Regionen stattfindende, teilweise sehr starke Rückgang der Nutzerzahlen für die Abwasserinfrastruktur stellt eine neue Herausforderung für die Abwasserinfrastruktursysteme dar. Die Verbesserung der Flexibilität der Abwasserinfrastruktursysteme muss deshalb ein wichtiges Ziel der Forschungsförderung sein. Für einige der in Kapitel 7 aufgezeigten innovativen Maßnahmen liegen bislang nur wenige Erfahrungen vor. Hinsichtlich der in Kapitel 8 aufgezeigten neuartigen Konzepte besteht insbesondere hinsichtlich ihrer Anwendung in Regionen mit Bevölkerungsrückgang Bedarf, vor allem an umsetzungsorientierten Demonstrationsprojekten. Alle Maßnahmen und Konzepte sind auf ihre Zukunftsfähigkeit (Ressourcenschonung, ökologische Auswirkungen, Wirtschaftlichkeit, Demografiefähigkeit usw.) zu prüfen.

Darüber hinaus bergen die Thematik der Abstimmung der einzelnen fachbezogenen Instrumente sowie der Ausgleich der Interessen der beteiligten Akteure in Bezug auf das Problem des demografischen Wandels noch erheblichen Forschungsbedarf. Dies betrifft vor allem das Zusammenspiel der rechtlichen und ökonomischen Instrumente aus dem Bereich der Städtebauförderung, der Infrastrukturförderung sowie der räumlichen Planung als wichtige Strategie für den Umgang mit den stattfindenden und noch zu erwartenden Schrumpfungprozessen.



## 12 Ergebnisse Fachgespräch

Im Rahmen eines Fachgesprächs am Ende der Projektlaufzeit wurden die Ergebnisse beim Auftraggeber präsentiert und mit Experten im Rahmen eines Fachgesprächs diskutiert. Teilgenommen haben neben dem Auftraggeber und den Projektbearbeitern vor allem Vertreter verschiedener Bundesländer, sowie Abwasserverbände und Forschungsinstitutionen.

Nach der Vorstellung des Gesamtrahmens des Forschungsvorhabens wurden die Kriterien für die Identifizierung der vom demographischen Wandel stark betroffenen Gebiete erläutert sowie dessen Auswirkungen auf die Abwasserinfrastruktur zusammengefasst. Anschließend wurde von Seiten der Praxispartner (Kommunale Wasserwerke Leipzig und Emschergenossenschaft/Lippeverband) dargestellt, wie mit dem Problemfeld demografischer Wandel und den sich daraus ableitenden Anforderungen an die Abwasserinfrastruktur umgegangen werden kann. Wichtig sind sowohl das Vorhandensein von robusten und abgestimmten Konzepten und Strategien (Kommunale Wasserwerke Leipzig) als auch die Erwägung innovativer dezentraler Lösungen für dünn besiedelte Gebiete (Projekt „AKWA Dahler Feld“ im Gebiet des Lippeverbandes). Besonders diskutiert wurden die Chancen und Grenzen einer infrastrukturgeprägten räumlichen Risikoanalyse sowie das Kosten-Nutzen-Verhältnis von neuartigen innovativen Abwasserkonzepten.

Im zweiten Teil der Veranstaltung wurden Lösungsansätze für betroffene Gebiete vorgeschlagen und Maßnahmen zur Umsetzung empfohlen. Es wurden dabei nicht nur die Maßnahmen diskutiert, die hinsichtlich der direkten Auswirkungen bspw. von zurückgehenden Abwassermengen auf Abwasserableitung und –behandlung umsetzbar sind. Breiten Raum nahmen auch Maßnahmen ein, die vor dem Hintergrund der Fixkostenproblematik im Abwasserbereich (aufgrund der hohen Fixkosten steigende spezifische Kosten bei zurückgehenden Einwohnerzahlen) neue Nutzungsmöglichkeiten der Infrastruktur oder Effizienzverbesserungen ermöglichen können. In der anschließenden Diskussion hat sich herauskristallisiert, dass eine sehr große Bandbreite unterschiedlicher Bausteine möglich ist, die Bewertung und Auswahl von Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen aber stark von den lokal vorhandenen Randbedingungen abhängig sind. Dies gilt auch für die eher mittel- bis langfristigen Anwendungsmöglichkeiten neuartiger Systemkonzepte, die in den letzten Jahren in verschiedenen Forschungs- und Demonstrationsprojekten konzipiert und umgesetzt wurden. Bei der Bewertung solcher Maßnahmen oder Konzepte ist es entscheidend, entsprechend den langen Nutzungsdauern wichtiger Komponenten die langfristigen Veränderungen aller wichtigen Randbedingungen zu berücksichtigen und bspw. die Flexibilität der technischen Lösungen als Kriterium in die Entscheidung einfließen zu lassen.

Von Seiten des Auftraggebers wurde die Aktualität des Themas mit dem Hinweis auf die Inhalte des Koalitionsvertrags von CDU, CSU und FDP zur 17. Legislaturperiode vom 26. Oktober 2009 hervorgehoben: Darin ist u. a. festgehalten, dass zur Sicherung der öffentlichen Daseinsvorsorge in dünn besiedelten Räumen die Nutzung alternativer Technologien zu Energie-, Wasserver- und Abwasserentsorgung gefördert werden soll.

## 13 Zusammenfassung

Der demografische Wandel wird in Deutschland zu einem deutlichen Rückgang der Bevölkerungszahlen führen. Dabei werden sich die Bevölkerungszahlen sowohl regional als auch lokal sehr unterschiedlich entwickeln. Die großen, bereits seit den 1990er Jahren bestehenden Unterschiede in der Entwicklung im Osten und im Westen Deutschlands werden bestehen bleiben. Gleichzeitig werden in enger räumlicher Nachbarschaft Wachstums- und Schrumpfungsprozesse stattfinden. Für die raumbezogenen technischen Infrastrukturen wie Wasser, Abwasser oder Fernwärme bedeutet diese Entwicklung Anpassungsbedarf vor dem Hintergrund, dass die Effizienz dieser Infrastrukturen maßgeblich von der Bevölkerungsdichte abhängt und dass bei abnehmenden Nutzerzahlen zusätzliche technische Veränderungen aufgrund betrieblicher Probleme notwendig werden können. Für die Abwasserinfrastruktursysteme bedeuten hohe Kapitalintensität und eine lange Nutzungsdauer vor allem der Kanalnetze eine örtlich begrenzte Flexibilität. Das verlangt weit vorausschauende Planungen und die langfristige Berücksichtigung aller sich verändernden Umfeldbedingungen. Vor diesem Hintergrund waren im Rahmen dieses Projektes die möglichen Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur zu beschreiben. Schwerpunkt des Projektes war die sich daran anschließende Analyse möglicher Lösungsansätze im Sinne von technischen oder organisatorischen Anpassungsmaßnahmen einschließlich der Identifizierung alternativer Nutzungsmöglichkeiten für wichtige Systemkomponenten. Unter Berücksichtigung weiterer sich wandelnder Einflussgrößen waren außerdem mögliche neue Abwasserkonzepte und Organisationsmodelle aufzuzeigen.

Zur Identifizierung der Regionen in Deutschland, die hinsichtlich ihrer Abwasserinfrastruktursysteme besonders vom demografischen Wandel betroffen sind, wurden verschiedene **Einflussfaktoren** auf Ebene der kreisfreien Städte bzw. Kreise ausgewertet. Einbezogen wurde die Entwicklung der Bevölkerungszahl, die Siedlungsdichte, die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche, die Topografie sowie, als wasserinfrastrukturbezogene Daten, der Trinkwasserverbrauch und die Auslastung der Abwasserbehandlungsanlagen. Die Ergebnisse der Auswertungen sind als Karten dargestellt.

Die identifizierten **Auswirkungen des demografischen Wandels** können unterschieden werden in betriebliche Auswirkungen für Wasserversorgung, Abwassertransportsysteme und Kläranlagen, sowie in ökologische, strukturelle und ökonomische Auswirkungen. Dabei wurden auch die Folgen des mit zurückgehender Einwohnerzahl einhergehenden geringeren Wasserverbrauchs, aber auch qualitative Folgen wie z. B. Veränderungen im Medikamentenverbrauch einer alternden Gesellschaft identifiziert. Die Auswirkungen wurden jeweils hinsichtlich ihrer Bedeutung bewertet. Es zeigte sich, dass diese teilweise sehr stark von den lokalen Randbedingungen abhängig sind, ggf.

kann es zu einem verschärfenden Zusammentreffen verschiedener Randbedingungen kommen. Hinsichtlich der auch in der Literatur sehr häufig genannten, zu erwartenden Geruchs- und Korrosionsprobleme im Kanalnetz zeigten die Auswertungen bspw., dass diese vor allem bei einem Zusammentreffen unterschiedlicher Randbedingungen auftreten (z. B. in Verbindung mit langen Druckrohrleitungen, einem geringen spezifischen Wasserverbrauch oder bei geringem Gefälle), wobei der tatsächliche Beitrag des demografischen Wandels für das Auftreten dieser Probleme schwierig einzuschätzen ist. Als besonders wichtig werden die ökonomischen Auswirkungen eingeschätzt, die vor dem Hintergrund der Fixkostenproblematik im Bereich der (Ab-)Wasserinfrastruktur zu erwarten sind: Zurückgehende Nutzerzahlen bedeuten sowohl für die Wasserver- als auch die Abwasserentsorgung zurückgehende (Ab-)Wassermengen und bei den derzeitigen Tarifstrukturen für Wasser und Abwasser zurückgehende Einnahmen. Aufgrund des hohen Fixkostenanteils von etwa 80 % können die Kosten jedoch nur in geringem Umfang reduziert werden. Soweit nicht durch Effizienzverbesserungen oder Anpassungsmaßnahmen die Entwicklung beeinflusst werden kann, wären Erhöhungen der spezifischen Wasserpreise bzw. Abwassergebühren in den vom demografischen Wandel stark betroffenen Gebieten die Folge.

Ausgehend von den beschriebenen Auswirkungen wurde eine breite Palette an **Maßnahmen** identifiziert, die unterschieden werden können nach betrieblichen Maßnahmen, Maßnahmen mit Blick auf frei werdende Anlagenteile und innovative Maßnahmen. Ansatzpunkt der Maßnahmen können sowohl die Abwasserableitung über das Kanalnetz (z. B. Maßnahmen gegen Ablagerungen) als auch die Abwasserbehandlung in der Kläranlage (z. B. Maßnahmen zur Verbesserung des C:N-Verhältnisses) sein. Übergreifend konnten zusätzlich auch verschiedene organisatorische Maßnahmen identifiziert werden (bspw. strategische Sanierungs- und Investitionsplanung oder Strategien zu Rückbau und Stilllegung). Viele der beschriebenen Maßnahmen zielen auf eine betriebliche und ressourcenökonomische Optimierung von Abwasseranlagen ab. Sie sind damit strategisch auf eine Kostensenkung ausgerichtet und sollen vor allem die ökonomischen Auswirkungen des demografischen Wandels kompensieren helfen. Die Maßnahmen wurden hinsichtlich vorliegender Erfahrungen und Probleme und wichtiger Randbedingungen beschrieben und hinsichtlich ihrer Bedeutung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels bewertet. Abbildung 13-1 zeigt die verschiedenen Ansatzpunkte im Überblick.

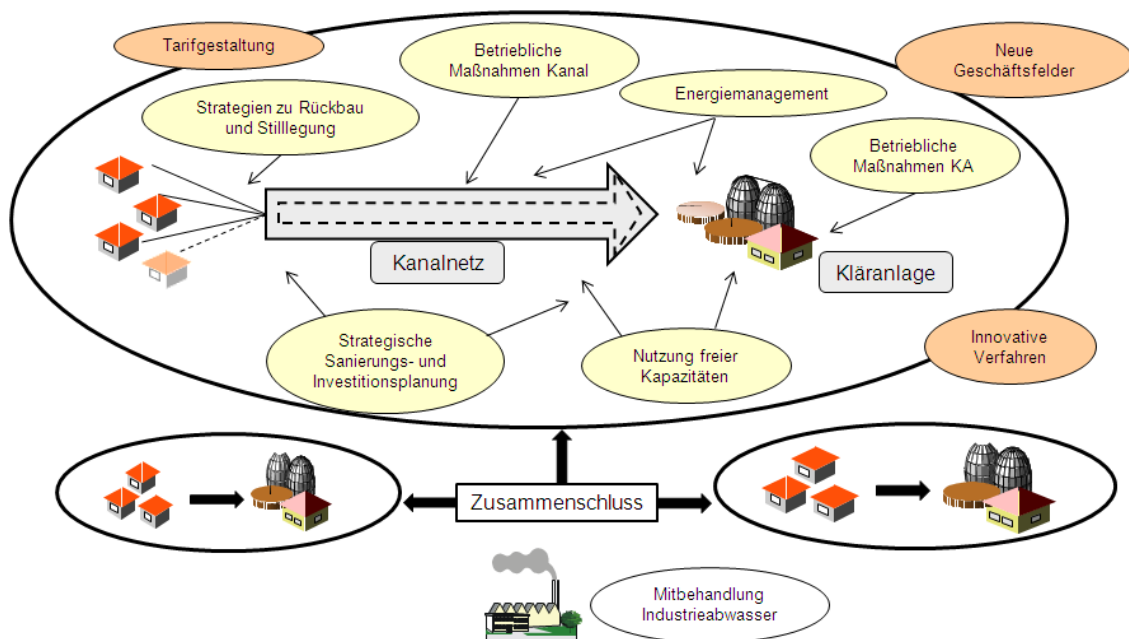


Abbildung 13-1: Überblick über untersuchte Lösungsansätze für betroffene Gebiete

Darüber hinaus wurden technisch orientierte, neuartige Abwasserentsorgungskonzepte als auch Organisationsmodelle identifiziert und behandelt. Bei allen Maßnahmen, Konzepten und Modellen steht eine Flexibilisierung der Infrastruktur bei gleichzeitiger Betriebssicherheit und möglichst hoher Ressourceneffizienz (Energie, Wertstoffe) im Vordergrund. Mögliche Ansätze wie Teilstromorientierung, zentraler Betrieb dezentraler Anlagen oder auch die anaerobe Abwasserbehandlung im Sinne der Energieeffizienz werden mit Blick auf die Anpassung der Abwasserinfrastruktur an den demografischen Wandel beschrieben.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Maßnahmen und der eher mittel- bis langfristigen, systembezogenen neuartigen Konzepte wurden sowohl für betroffene Abwasserentsorger und Kommunen als auch für das Umfeld (Raumordnung, Fördermittelgeber, rechtlicher Rahmen, etc.) **Handlungsempfehlungen** erarbeitet. Für Entsorger und Kommunen wird es entscheidend sein, sich frühzeitig auf die stattfindenden Veränderungen einzustellen, Stadtentwicklung sowie die Unternehmensstrategie aufeinander abzustimmen und eine langfristig orientierte, die sich verändernden Rahmenbedingungen berücksichtigende Investitionsplanung durchzuführen. In Tabelle 13-1 sind die wichtigsten Prozessschritte einer solchen langfristigen Strategieentwicklung aus Sicht eines Abwasserentsorgers zusammengefasst. Durch Maßnahmen zur Raumordnung als auch durch Fördermaßnahmen für Infrastrukturmaßnahmen können wesentliche

Parameter hin zu einer effizienten Ausgestaltung der aufgrund der demografischen Entwicklungen notwendig werdenden infrastrukturellen Veränderungen beeinflusst werden.

Tabelle 13-1: Notwendige Prozessschritte zur langfristigen Strategieentwicklung aus der Sicht eines Abwasserentsorgers vor dem Hintergrund des demografischen Wandels

Leitfrage	Ansatz	Inhalte
Wo stehe ich?	Ist-Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der bisherigen demografischen Entwicklung</li> <li>• Bestandsaufnahme Wasserinfrastruktursystem (Sanierungsbedarf, Wasserverbrauch Haushalte und Gewerbe, etc.)</li> <li>• Analyse relevanter Randbedingungen (z. B. Stadtentwicklung, topografische Verhältnisse)</li> </ul>
Was wird sich verändern?	Szenarientwick- lung Umfeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der künftigen Betroffenheit (zu erwartende demografische Veränderungen, Auswirkungen Klimawandel, Raumordnung/ Stadtentwicklung, Entwicklungen Industrie/Gewerbe, technischer Fortschritt, etc.)</li> <li>• Langfristige Betrachtungszeiträume notwendig (&gt; 50 Jahre), gleichzeitig teilweise hohe Unsicherheiten</li> </ul>
Was kann ich verändern?	Szenarientwick- lung zur Identifizie- rung der Hand- lungsoptionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handlungsspielräume: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen im Bereich Kanalnetz</li> <li>- Maßnahmen im Bereich Kläranlage</li> <li>- Nutzung frei werdender Kapazitäten</li> <li>- organisatorische Maßnahmen</li> <li>- alternative Konzepte</li> </ul> </li> <li>• in Abstimmung mit Kommune (Stadtplanung, infrastrukturbezogene Risikoanalyse)</li> <li>• unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts (innovative Verfahren)</li> <li>• Langfristige Betrachtungszeiträume notwendig (&gt; 50 Jahre)</li> </ul>
Wo möchte ich hin?	Zielformulierung - Strategieentwick- lung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• langfristige, strategische Ausrichtung und Gesamtkonzept</li> </ul>
Wie gehe ich vor?	Maßnahmenpla- nung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• umfassende Bewertung unterschiedlicher Handlungsoptionen</li> <li>• Bewertung: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigung sich verändernder Randbedingungen</li> <li>- Flexibilität von Techniken/ Konzepten als Bewertungskriterium</li> <li>- Berücksichtigung des technischen Fortschritts</li> </ul> </li> <li>• Priorisierung</li> </ul>

Weitergehende Forschungs- und Entwicklungsprojekte sind aufgrund der anstehenden Herausforderungen notwendig. Wichtigste Zielsetzung muss dabei die Entwicklung und Umsetzung all solcher Maßnahmen, Konzepte und Organisationsmodelle sein, die langfristig auch unter Berücksichtigung der dargestellten demografischen Entwicklung eine hohe Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit, Flexibilität, Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit der Abwasserentsorgung sicherstellen. Dabei sind die für die Implementierung notwendigen Rahmenbedingungen und Instrumente in die Untersuchungen mit einzuschließen.





## 14 Literatur

- AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (2005): Energie aus Schmutzwasser - Entwicklung eines modularen Kleinwasserkraftwerks, PRO INNO II, Köln/Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- Alvarez, J.A.; Armstrong, E.; Gomez, M.; Soto, M. (2008): Anaerobic treatment of low-strength municipal wastewater by a two-stage pilot plant under psychrophilic conditions. In: *Bioresource Technology*, 99 (15), S. 7051-7062.
- Amend, J.; Bumiller, W.; Kusche, I. & Donnert, D. (2000): Effiziente Abwasserreinigung durch einfache Prozessmodifikation und Nutzung von Küchenabfällen. Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6483. 27 S.
- ATT/BGW/DBVW/DVWG/DWA/VKU (Hrsg.) (2008): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2005. Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- ATV-DVWK M 154 (2002): Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen – Vermeidung und Verminderung DWA, ISBN 978-3-924063-82-5.
- ATV-DVWK-A 147 (2003): Betriebsaufwand für die Kanalisation, Teil 1: Betriebsaufgaben und Häufigkeiten. Arbeitsblatt – Entwurf. ISBN: 3-924063-43-5.
- Bank, S.; Auer, B.; Hagemann, J. (2007): Geruchsbekämpfung und Verhinderung von Korrosion in Kanalsystemen. *GWF Wasser/Abwasser*.
- Barjenbruch, M. (2007): Geruchsbelästigungen – die biogene Schwefelsäurebildung in Kanälen, Ursachen und Maßnahmen. 11. Abwasserbilanz Brandenburg, Wildau, 10.12.2007. INFRANEU, S.1-17. Online verfügbar unter: [http://abwasserbilanz.de/downloads/2007/071210\\_profbarjenbruch\\_referat.pdf](http://abwasserbilanz.de/downloads/2007/071210_profbarjenbruch_referat.pdf).
- Barjenbruch, M.; Dohse, C. (2004): Bewertung von Maßnahmen zur Verringerung von Geruchs- und Korrosionserscheinungen im Kanalnetz des ländlichen Raumes - Abschlussbericht. LAWA - Forschungsvorhaben im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ 2001, LAWA – Projekt – Nr. AA 1.01. Universität Rostock, Institut für Umweltingenieurwesen.
- Barjenbruch, M.; Lange, G.; Bohatsch, A. (2006): Vermeidung von Geruch- und Korrosion. In: *wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik*, 10/2006, S. 47-51.

- Bäuerle, U. (2000): Mitbehandlung von Industrieabwasser in Kommunalen Kläranlagen am Beispiel von Textilabwasser. Kläranlage Aalen-Unterkochen, Betriebsprobleme und Lösungsansätze. Vortrag beim Symposium der Firma Messer Griesheim GmbH am 19.10.2000 in Stuttgart.
- Baumann, P. (2003): Phosphatelimination aus Abwasser, München: Oldenbourg Industieverlag GmbH.
- Baumann, P. (2003): Phosphatelimination aus Abwasser, München: Oldenbourg Industieverlag GmbH.
- BBR (2005): Raumordnungsbericht 2005. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn: Selbstverlag.
- BBR (2006): Raumordnungsprognose 2020/2050 (Bd. 23). Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- BBR (Hrsg.) (2006): Eltges, M.; Koziol, M. et al.: Stadtumbau Ost. Anpassung der technischen Infrastruktur - Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen. Werkstatt: Praxis Heft 41. Bonn 2006.
- BBR (2008): Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung [Elektronische Ressource]. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- BBR (2008): Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung [Elektronische Ressource]. INKAR.Ausgabe 2007. Hrsg.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.-Bonn 2008.-CD-Rom
- BBR (2009): Stadtumbau Ost, Veröffentlichungen (zum Download). Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Bonn.
- BBR (Hrsg.) (2006): Stadtumbau Ost. Anpassung der technischen Infrastruktur - Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (=Werkstatt: Praxis; 41), Bonn.
- BBR (2007a): Was leisten bestehende Instrumente? Perspektive Flächenkreislaufwirtschaft – eine Sonderveröffentlichungsreihe des ExWoSt-Forschungsfeldes „Fläche im Kreis“, Band 02 – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
- BBR (2007b): Neue Instrumente für neue Ziele. Perspektive Flächenkreislaufwirtschaft – eine Sonderveröffentlichungsreihe des ExWoSt-Forschungsfeldes „Fläche im Kreis“, Band 03 – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

- Becker, M.; Freund, M.; Geisler, S.; Hetschel, M. (2006): Zentrale Überwachung des Betriebes von Kleinkläranlagen mit Membrantechnik – Projekt AKWA-Dahlefeld. In: 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur am 17. und 18. Oktober 2006 im Eurogress Aachen. S. 15/1-15/11.
- Becker, M.; Wessels, K. (2007): Das Bewirtschaftungssystem Regenwasser – Ein GIS Portal für die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in der Emscherregion. 2007. Korrespondenz Abwasser/Abfall (54), Nr. 6, S. 589-594.
- Beckereit, M.; Werner, W. (2007): Der Gleichordnungskonzern Hamburg Wasser. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (7), S. 709-713.
- Berg, U.; Donnert, D. (2005): Phosphorrückgewinnung durch Kristallisation im Nebenstrom; in: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 184, 2005.
- Berger, C.; Lohaus, J. (2005): Zustand der Kanalisation. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 5/2004, S. 528-539.
- Bertelsmann Stiftung (Hrsg.) (2006): Wegweiser Demografischer Wandel 2020. Analysen und Handlungskonzepte für Städte und Gemeinden. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung Verlag.
- Bever, J.; Stein, A.; Teichmann, H. (2002): Weitergehende Abwasserreinigung. München, Oldenburger Industrieverlag.
- Bischofsberger, W.; Dichtl, N.; Rosenwinkel, K.-H.; Seyfried, C.F.; Böhnke, B. (2005): Anaerobtechnik, Berlin: Springer Verlag.
- Bley, T. (2009): Biotechnologische Energieumwandlung - Gegenwärtige Situation, Chancen und künftiger Forschungsbedarf, acatech DISKUTIERT, Berlin: Springer Verlag.
- BMBF, Pecher und Partner (2005): Verbundprojekt KANSAS – Entwicklung ganzheitlicher Kanalsanierungsstrategien für Entwässerungsnetze Deutschlands, Leitfaden. München, Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, B.u.S.; BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumwesen) (2006): Stadtumbau Ost. Anpassung der technischen Infrastruktur - Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen, 41, Eltges, M.; Koziol, M.; Veit, A.; Walther, J. (Hrsg.), Werkstatt: Praxis, Bonn.

- BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen), BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) (2005): Öffentliche Daseinsvorsorge und demographischer Wandel. Erprobung von Anpassungs- und Entwicklungsstrategien in Modellvorhaben der Raumordnung. Berlin/Bonn.
- Brett, S.; Guy, J.; Morse, G.K.; Lester, J.N. (1997): Phosphorus removal and recovery technologies. London.
- Broll-Bickhardt, J. (2004): Kanalnetzbewirtschaftung in Bremen - Aktivierung bislang ungenutzter Stauraumvolumina. Abgerufen am Oktober 2009 von Karl-Hillmer-Gesellschaft e. V.: <http://www.khg-suderburg.de/fachliches/kanal-bremen.pdf>.
- Bujalance, L. et al. (2008): Increasing methane yield in municipal wastewater treatment at ambient temperature in a Vacuum Anaerobic Membrane Bioreactor (ANAMEM), Amsterdam, IWA Conference „Design and operation of membrane plants for water, wastewater, industrial effluents“.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2005): Anpassungsstrategien für ländliche/periphere Regionen mit starkem Bevölkerungsrückgang in den neuen Ländern. Werkstatt Praxis (38). Bonn.
- Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung. (2009): Werkstatt-Stadt - innovative Projekte im Städtebau. Abgerufen am 9. September 2009 von <http://www.werkstatt-stadt.de/>.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2005): Wasserleitfaden - Leitfaden zur Herausbildung leistungsstarker kommunaler und gemischtwirtschaftlicher Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung. Wernigerode: Harzdruckerei Wernigerode GmbH.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.
- Bundestransferstelle Stadtumbau Ost (2006): Stadtumbau Ost – Stand und Perspektiven. Erster Statusbericht der Bundestransferstellte. Berlin.
- Bundestransferstelle Stadtumbau Ost (2007): 5 Jahre Stadtumbau Ost – Eine Zwischenbilanz. Zweiter Statusbericht der Bundestransferstellte. Berlin.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2008): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008. Abgerufen am 19. August 2009 von <http://www.bdew.de/>.

- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (2008): Marktdaten Abwasser 2003. Abgerufen am 19. August 2009 von <http://www.bdew.de/>.
- Buri, R.; Kobel, B. (2004): Wärmenutzung aus Abwasser. Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen, Bern/Zürich: Energie in Infrastrukturanlagen.
- Busch, G.; Sieber, M. (2006): Zweistufiges Fest- Flüssig-Biogasverfahren mit offener Hydrolyse - ein neues technologisches Konzept für die Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen und bioverfügbaren Abfällen. In: Forum der Forschung, Nr. 19, 2006, S. 63-68.
- Busch, G.; Sieber, M. (2008): Die zweistufige Vergärung biogener Abfälle. In: Müll und Abfall, Nr. 2. 2008, S. 68-73.
- Christ, O. (2003): Stoffstromorientierte Abwasserbehandlung. wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 10-11, S. 26-32.
- Christ, O.; Mitsdoerffer, R. (2007): Energiepotentiale durch Co-Vergärung für Kläranlagen mittlerer Größe.
- Clausen, H.; Tauchmann, H.; Körkemeyer, K.; Lohaus, J.; Willms, M.; Schroll, M. (2003): Innovationen in der Abwasserentsorgung: Ergebnisse einer Umfrage. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (12), S. 1563-1570.
- Coburg, R. (2006): Technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz bei der Instandhaltung von Kanalisationen. Korrespondenz Abwasser/Abfall, (53) Nr.12. S. 1225-1230.
- Coburg, R. (2006): Technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz bei der Instandhaltung von Kanalisationen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, (53) Nr.12. S. 1225-1230.
- Cuhls, K.; Beyer-Kutzner, A.; Ganz, W.; Warnke, P. (2009): The methodology combination of a national foresight process in Germany. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76, Iss. 9, 2009
- DBU (2005): Deutsche Bundesstiftung Umwelt: Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden, Bern: EnergieSchweiz.
- DBU (2009): Heizen und Kühlen mit Abwasser-Ratgeber für Bauträger und Kommunen - Energierückgewinnung aus häuslichem und kommunalem Abwasser, Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

- De Gioannis, G.; Diaz, L.F.; Muntoni, A.; Pisanu, A. (2008): Two-phase anaerobic digestion within a solid waste/wastewater integrated management system. In: Waste Management, 28 (10).
- De Gioannis, G.; Diaz, L.F.; Muntoni, A.; Pisanu, A. (2008): Two-phase anaerobic digestion within a solid waste/wastewater integrated management system. In: Waste Management, 28 (10).
- Deilmann, C.; Gruhler, K.; Böhm, R. (2005): Stadtumbau und Leerstandsentwicklung aus ökologischer Sicht, München: oekom Verlag.
- Deilmann, C.; Haug, P. (2008): Infrastrukturkosten steigen! - Hat die Stadtplanung Einfluss darauf. BundesbauBlatt (10).
- Dettmar, J. (2005): Beitrag zur Verbesserung der Reinigung von Abwasserkanälen. Dissertation. Technische Hochschule Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen.
- Deutscher Bundestag (2006): Bericht der Bundesregierung zur Modernisierungsstrategie für die deutsche Wasserwirtschaft und für ein stärkeres internationales Engagement der deutschen Wasserwirtschaft. Abgerufen am 14. September 2009 von <http://www.bundestag.de/>.
- Dittrich-Wesbuer et al. (2009): Stadtumbau und Infrastruktursysteme in Nordrhein-Westfalen (Vorstudie). Wege zur kosteneffizienten Anpassung des Bestandes. Kurzfassung von Projektergebnissen zum Expertenworkshop am 26. August in Iserlohn - Hrsg. ILS/Planersocietät.
- Dittrich-Wesbuer, A.; Rusche, K.; Tack, A.; Mayr, A. (2009): Stadtumbau und Infrastruktursysteme in Nordrhein-Westfalen - Wege zur kosteneffizienten Anpassung des Bestandes. Dortmund: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung GmbH.
- Diverse (2006): Abflusssteuerung - Schwallspülung - Gewässerschutz. DBU, IAKS & FDJ (Hrsg.). Tagungsband, Osnabrück, 30.-31.07.2006. Darmstadt,. 159 S. Online verfügbar unter:  
[http://www.fdy.tu-darmstadt.de/publikationen/buecher/Tagungsband\\_2006.pdf](http://www.fdy.tu-darmstadt.de/publikationen/buecher/Tagungsband_2006.pdf).
- DNR e. V.; BUND e. V.; Nabu e. V. (2007): 5 Jahre Nationale Nachhaltigkeitsstrategie - Indikatorenbericht 2006 erschienen. Abgerufen am 2009 von Lexikon der Nachhaltigkeit:  
<http://www.nachhaltigkeit.info/download.php?file=1244547701phptC11XH.pdf>.

- Dockhorn, T. (2007): Rückgewinnung von Phosphat aus Abwasser und Klärschlamm mit dem Peco-Verfahren. In: Müll und Abfall, Nr. 39(8), S. 380-386.
- Dockhorn, T. (2008): Über die Relevanz der Nährstoffe Stickstoff und Phosphat im Abwasser eine Bilanz für Deutschland. In: Müll und Abfall, Nr. 40(9), S. 444-449.
- Donnert, D. (2001): Phosphat: Elimination und Rückgewinnung aus Abwasser und Rückhaltung in Sedimenten. In: Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt – Nachrichten, Jahrgang 33, 1/2001.
- Dorgeloh, E.; Finke, G.; Heise, B.; Hilmer, R.; Otto, U. (2005): Qualitätskriterien für den Einsatz von Kleinkläranlagen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (8), 170-179.
- Doubek, C.; Zanetti, G. (1999): Siedlungsstruktur und öffentliche Haushalte. Gutachten des Österreichischen Instituts für Raumplanung (ÖIR) (Österreichische Raumordnungskonferenz Ausg.). Wien: Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz.
- Dr.-Ing. Pecher und Partner Ingenieurgesellschaft mbH (2005): KANSAS-Leitfaden: Entwicklung einer ganzheitlichen Kanalsanierungsstrategie für Entwässerungsnetze Deutschlands. Abgerufen am Oktober 2009 von Karlsruher Institut für Technologie: [http://hikwww1.fzk.de/ptwte/w/KANSAS\\_Leitfaden.pdf](http://hikwww1.fzk.de/ptwte/w/KANSAS_Leitfaden.pdf).
- DWA (2004): DWA-M 115-1: Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2005): DWA-M 115-2: Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2005): Ergebnisse der DWA-Klärschlammhebung 2003, Hennef: DWA.
- DWA (2006): DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE). Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA (2006): DWA-M 180: Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- DWA (2008): Neuartige Sanitärsysteme. DWA-Themen, DWA, Hennef.
- DWA (2009): DWA-M 114 Energie aus Abwasser - Wärme- und Lageenergie, DWA-Merkblatt, Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).

- DWA (2009): DWA-M 380 Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen, DWA-Merkblatt, Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-Arbeitsgruppe AK-1.3 DWA-M 349 Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung, Arbeitsbericht (in Arbeit): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- Egerer, M.; Wackerbauer, J. (2006): Strukturveränderungen in der deutschen Wasserwirtschaft und Wasserindustrie 1995-2005. Abgerufen am September 2009 von <http://www.bmwi.de/>.
- Einig, K.; Siedentop, S.; Schiller, G.; Gutsche, J.-M.; Koziol, M.; Walter, J. (2006): Infrastrukturkostenrechnung in der Regionalplanung. Ein Leitfaden zur Abschätzung der Folgekosten alternativer Bevölkerungs- und Siedlungsszenarien für soziale und technische Infrastruktur. Werkstatt: Praxis Heft 43, Bonn.
- Eiswirth, M.; Hötzl, H.; Schneider, T. Weth, N. (2000): Verhinderung der Geruchsbildung und Korrosion in Abwasserkanälen durch gezielte Abwasserbehandlung mit einem neuartigen Schlauchsystem. ATV-DVWK-Schriftenreihe 20:81 93, Hennef.
- Eltges, M.; Koziol, M.; Veit, A. & Walther, J. (2006): Stadtumbau Ost. Anpassung der technischen Infrastruktur - Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen. Werkstatt: Praxis (41), Bonn.
- Englert, R. (2002): Wie können verschmutzungsabhängige Abwassergebühren ermittelt werden? Abgerufen am Oktober 2009 von Bauhaus-Universität Weimar: [http://www.uni-weimar.de/Bauing/siwawi/publikation/\\_veroe/2002/englert\\_symposium.pdf](http://www.uni-weimar.de/Bauing/siwawi/publikation/_veroe/2002/englert_symposium.pdf).
- Erbe, V. (2006): Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen. In: Oberlak, M., Kirchheim, N., Scheer, M. (Hrsg.): Abflusssteuerung - Schwallspülung - Gewässerschutz. Zentrum für Umweltkommunikation Osnabrück (2006). Tagungsband.
- Erdmann, Thomas (2009): Telefonisch Expertengespräch am 6.11.2009. Stadtwerke Magdeburg. Vertrieb und Handel. Mitglied der Lenkungsgruppe Evaluierung von Stadtumbau Ost.
- EUWID WA Nr. (03/2009): verweist auf die Förderrichtlinie der Wasserwirtschaftsverwaltung (FöRiWWV20081) „Zuwendungen für wasserwirtschaftliche Maßnahmen“ unter [www.wasser.rlp.de](http://www.wasser.rlp.de).



- EUWID WA Nr. 20/2009: „Wasser limitierender Faktor bei Energiepflanzen“, S. 5 – Julius-Kühn-Institut, Braunschweig, Teilprojekt *Bewässerung und Wasserbedarf von Energiepflanzen* im Rahmen des Verbundprojektes *Anbausysteme für Energiepflanzen*, gefördert vom Landwirtschaftsministerium.
- Feldhaus, R.; Frechen, F.-B.; Frey, M.; Mertsch, V.; Poppe, A. (2006): Bekämpfung der Geruchsstoffentstehung in Abwasserkanälen durch Dosierung geruchsreduzierender Stoffe. In: FH Köln, Forschungsbericht 2006. S. 67 - 70.
- Finsterwalder, C. (2008): Wie können biogene Abfälle in Kläranlagen verwertet werden? Bernau.
- Förtsch, S. (2008): Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Abgerufen am Oktober 2009 von [http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/Landesverbandsversammlung\\_Endfassung\\_11\\_06\\_08.pdf](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/downloads/Landesverbandsversammlung_Endfassung_11_06_08.pdf).
- Frank, A. (2007): Geruchs- und Korrosionsbekämpfung mit Eisennitrat. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 205. 10 S. Online verfügbar unter: [http://www.acat.com/static/files/Downloads/null/WienerMitteilungen\\_Eisennitrat.pdf](http://www.acat.com/static/files/Downloads/null/WienerMitteilungen_Eisennitrat.pdf).
- Frechen, F.-B. (2008a): Technische und bauliche Maßnahmen zur Bekämpfung von Gerüchen. OdorVision 2008, Rapperswill, 20.06.2008. Universität Kassel, UMTEC. 26 S. Online verfügbar unter: <http://www.umtec.ch/dokumente/dokumente/downloads/presentationen%20OdorVision/06%20Frechen%20Massnahmen.pdf>.
- Frechen, F.-B. (2008b): Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen: Grundlagen, Messtechnik, Geruchsemissionspotential. Symposium des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin, Berlin, 25.-26.09.2008. Universität Kassel. 42 S. Online verfügbar unter: [http://hrz-vm162.hrz.uni-kassel.de/web/SiwawiDokumente/pdf/publikationen/vortraege/2008/G\\_Berlin\\_2008-09-26\\_P\\_SD.pdf](http://hrz-vm162.hrz.uni-kassel.de/web/SiwawiDokumente/pdf/publikationen/vortraege/2008/G_Berlin_2008-09-26_P_SD.pdf).
- Freudenberg, D.; Koziol, M. (2003): Fachbeiträge zu Stadtentwicklung und Wohnen im Land Brandenburg – Anpassung der technischen Infrastruktur beim Stadtumbau – Arbeitshilfe. Frankfurt (Oder), ISW – Schriftenreihe 2-2003.

- Freudenthal, K.; Sekoulov, I.; Kapinos, D. (2003): Reduzierung der Geruchsbildung in der Kanalisation durch biologische Kurzzeitbehandlung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (11/2003), S. 1422-1427.
- Freystein, J. (2003): Ein neuer Weg zur Verhinderung der Geruchsbelästigung aus Abwasseranlagen. KA Betriebs-Info (33), Nr.1, S. 1126-1128.
- Fuchs, L.; Beeneken, T. (2007): Abflusssteuerung in Wien – Konzept und Erfahrungen. Hannover: 8. Kölner Kanal Kolloquium (<http://www.kanalkolloquium.de/>).
- Fuchs, L.; Beeneken, T.; Nowak, R.; Pfannhauser, G. (2007): Entwicklung und Implementierung einer Abflusssteuerung für das Kanalnetz der Stadt Wien. Korrespondenz Abwasser/Abfall (54), Nr.7. S.680-689.
- Fuchs, L.; Schneider, F. (2007): Studie Mischwasser Stadt Wilhelmshaven - Ergebnisse der Schmutzfrachtsimulationen, Vergleich von Handlungsoptionen. In: [http://www.web-whv.de/data/Praesentation\\_itwh\\_Stand\\_10\\_04.pdf](http://www.web-whv.de/data/Praesentation_itwh_Stand_10_04.pdf).
- Fuchs, L.; Seggelke, K. (2003): Gemeinsame Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage - Veranlassung und Lösungsansätze. Abgerufen am Oktober 2009 von Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie: <http://www.itwh.de/>.
- Fuchs, L.; Seggelke, K. (2003): Gemeinsame Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage. Veranlassung und Lösungsansätze. ATV-DVWK-Workshop "Mess- und Regelungstechnik Seite 1/9.
- Fuhrich, M. (2009): Telefonisch Expertengespräch am 7.9.2009. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Referat I 2 – Stadtentwicklung.
- Gawron, T., Geyler, S.; Grüttner, A.; Kübler, A.; Kuntze, M.; Selz, M.; Strauß, C.; Warner, B.; (im Druck): Instrumentendiskussion: Horizontale und vertikale Kooperation zur Verfolgung flächenpolitischer Strategien. In: Ringel, J., T. Lenk, K. Friedrich, R. Holländer, W. Kühn (Hrsg.). Schriftenreihe des Forschungsverbundes KoReMi, Band 08, Leipzig.
- Geyler, S.; Holländer, R. (2005): Ein Vergleich von zentralen und dezentralen Lösungen zur Abwasserentsorgung im ländlichen Raum. (H.-U. z. Berlin, Hrsg.) Institutional Change in Agriculture and Natural Resources (8).
- Geyler, S.; Prochaska, C. (2007): Technische Infrastrukturen der Ver- und Entsorgung. In J. Ringel, T. Lenk, K. Friedrich, R. Holländer, & W. Kühn, Die Kernregion Mitteldeutschland. Ein erster Überblick. Bevölkerung, Finanzen, Infrastrukturen, Raumstruktur und Wirtschaft (S. 65-88). Leipzig.

- Geyler, S.; Warner, B.; Brandl, A.; Kuntze, M. (2008): Clusteranalyse der Gemeinden in der Kernregion Mitteldeutschland. Eine Typisierung der Region nach Entwicklungsparametern und Rahmenbedingungen. Unter Mitarbeit von Christian Strauß, Emanuel Selz und Claudia Prochaska. Herausgegeben von Johannes Ringel, Thomas Lenk, Klaus Friedrich, Robert Holländer und Wolfgang Kühn. Leipzig. (Schriftenreihe des Forschungsverbundes KoReMi, 02). Online verfügbar unter [www.koremi.de](http://www.koremi.de).
- Gödke, K.; Lübker, R. (2004): Das Rostocker Betreibermodell. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (4), S. 158-161.
- Graetz, H. (2008): Synergiepotenzial einer fragmentierten Wasserwirtschaft: ein Beitrag zum Wert des Zusammenwirkens in fragmentierten Organisationsstrukturen der Wasserwirtschaft. (Bauhaus-Universität Weimar Hrsg.) Schriftenreihe der Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen (No.3). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar.
- Gredigk-Hoffmann, S. (2008): Energieautarke Kläranlagen - Vision oder Fiktion ? - 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA 211, Aachen.
- Grüning, H. (2008): Abflusssteuerung – quo vadis. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (55), Nr.4. S.358-364.
- Gutsche, J.-M. (2003): Fiskalische Auswirkungen neuer Wohngebiete auf die Kommunalen Haushalte. Modellrechnungen und Erhebungsergebnisse am Bsp. des Großraums Hamburg (Bd. 18/ ECTL working paper). Hamburg.
- Gutsche, J.-M. (2006): Abgerufen am 08 2009 von Kurz-, mittel- und langfristige Kosten der Baulanderschließung für die öffentliche Hand, die Grundstücksbesitzer und die Allgemeinheit.: [http://www.gertz-gutsche-ruemenapp.de/downloads/GGR\\_Kostenstudie\\_Husum\\_lang\\_gesamt.pdf](http://www.gertz-gutsche-ruemenapp.de/downloads/GGR_Kostenstudie_Husum_lang_gesamt.pdf).
- Gutsche, J.-M. (2006): Kurz-, mittel- und langfristige Kosten der Baulanderschließung für die öffentliche Hand, die Grundstücksbesitzer und die Allgemeinheit. Online verfügbar unter: [http://www.gertz-gutsche-ruemenapp.de/downloads/GGR\\_Kostenstudie\\_Husum\\_lang\\_gesamt.pdf](http://www.gertz-gutsche-ruemenapp.de/downloads/GGR_Kostenstudie_Husum_lang_gesamt.pdf).
- Gutzwiller, S.; Rigassi, R.; Eicher, H. (2008): Abwasserwärmenutzung Potenzial, Wirtschaftlichkeit und Förderung, Forschungsprogramm "Energiewirtschaftliche Grundlagen", Bern: Bundesamt für Energie (BFE).

- Haberkern, B. (2008): Potentiale und mögliche Standards für Energieeffizienz auf Kläranlagen - 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA 211, Aachen: Pinnekamp, J.
- Halbach, U. (2003): Handbuch kommunale Abwasserbeseitigung: normative Kosten und Risikoabbau. (I. f. Abwasserwirtschaft, Hrsg.) Werdau: Institut für Abwasserwirtschaft Halbach.
- Herbst, H.-B. (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Dissertation. Technische Hochschule Aachen. Fakultät für Bauingenieurwesen.
- Herdt, H. (2008): Die bisherige Rolle der technischen Infrastruktur im Stadtumbau Ost. Vortrag im Rahmen der Tagung "Perspektiven für den Stadtumbau Ost: Was wird aus der lokalen Infrastruktur und den Innenstädten? Potsdam am 6.11.2008.
- Herz, R.; Marschke, L.; Schmidt, T. (2005): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik. Teil 1: Die Städte schrumpfen, Ver- und Entsorger stehen vor großen Herausforderungen - Ursachen und Folgen für die Stadttechnik. wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik (10), S. 8-12.
- Herz, R.; Werner, M.; Marschke, L.; Schmidt, T. (2004): Handlungsoptionen von Kommunen beim Rückbau stadttechnischer Infrastruktur. Projektbericht: Umbau von Siedlungsstrukturen unter Schrumpfungsbedingungen als Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Hiessl, H.; Stemplewski, J.; Toussaint, D.; Hetschel, M.; Geisler, S.; Kersting, M. (2007): Abwasserentsorgung einer Streusiedlung mit MBR-Kleinkläranlagen im Rahmen eines Contracting-Modells. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (12), 1238-1245.
- Hiessl, H.; Toussaint, D.; Becker, M.; Dyrbusch, A.; Geisler, S.; Herbst, H.; et al. (2003): Alternativen der kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung AKWA 2100. Heidelberg: Physica Verlag.
- Hillenbrand, T. (2009): Analyse und Bewertung neuer urbaner Wasserinfrastruktursysteme. Universität Karlsruhe (TH), Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, Schriftenreihe SWW, Band 134.
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. KA - Abwasser, Abfall (53), Nr. 12, S. 1265-1271.

- Hillenbrand, T.; Böhm, E. (2004): Kosten-Wirksamkeit von Maßnahmen im Bereich der Regenwasserbehandlung und -bewirtschaftung. Korrespondenz Abwasser/Abfall (51), Nr. 8, S. 837-844.
- Hillenbrand, T.; Böhm, E. (2008): Entwicklungstrends des industriellen Wassereinsatzes in Deutschland. KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall 55 (2008), 8, S. 872-882.
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen. In: KA - Abwasser, Abfall (54), 1, S. 47-53.
- Hillenbrand, T.; Schleich, J. (2009): Determinanten der Wassernachfrage in Deutschland. energie | wasser-praxis, 6/2009, S. 38-42.
- Hobus, I.; Kolisch, G. (2005): Einsatz der dynamischen Simulation zur Optimierung der Betriebsführung einer großen Kläranlage. Gemeinschaftstagung von DWA, VDI/VDE und GMA - Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen, Wuppertal, 20.11.-21.11.2007. DWA, Hennef. 8 S. Online verfügbar unter: [http://www.wiwmh.de/WIW/wiwwys7.nsf/files/2007\\_Wuppertal\\_Simulation.pdf/\\$FILE/2007\\_Wuppertal\\_Simulation.pdf](http://www.wiwmh.de/WIW/wiwwys7.nsf/files/2007_Wuppertal_Simulation.pdf/$FILE/2007_Wuppertal_Simulation.pdf) (08.10.2009).
- Hoffmeister, J.; Tettinger, S.; Staben, N. (2008): Demografische und wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland – Konsequenzen für die wasserwirtschaftliche Infrastruktur. WASSER UND ABFALL, H.6, S. 10 – 16.
- HSGSim (2008): „Integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer“ HSG Leitfaden der Arbeitsgruppe Integrierte Modellierung. 1. Auflage 2008. Hrsg. Hochschulgruppe „Erfahrungsaustausch Dynamische Simulation in der Siedlungswasserwirtschaft“ (HSGSim). Arbeitsgruppe integrierte Modellierung. URL: <http://www.hsgsim.org/> [Datum].
- Hunze, M. (2003): Effizienzsteigerung im Kläranlagenbetrieb. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 3/4, S. 38-42.
- Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) (2008): Broschüre - Neue Wege in eine nachhaltige Industriegesellschaft. Abgerufen am 13. Oktober 2009 von: <http://www.null-emissions-netzwerk.de/>.
- Institut für Ressourcenmanagement. (2006): Zukunftsfähige Infrastrukturangebote für schrumpfende Regionen: Unternehmenskonzepte und Regulierungsinnovationen am Beispiel von Wasser und Verkehr in Brandenburg. Abgerufen am 24. August 2009 von <http://www.inter3.de/de/pfh/veroeffentlichungen.php>.

- JARDIN, N. (2003): Phosphorbilanz bei der Abwasser- und Klärschlammbehandlung. In: Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall. Tagungsband. Symposium vom 6. – 7.2.2003 in Berlin.
- Jenssen, T.; Karakoyun, E. (2005): Einfluss von Siedlungsstruktur und Siedlungsentwicklung auf Infrastrukturkosten. Dargestellt am Beispiel der Abwasserentsorgung. Diplomarbeit an der Universität Dortmund. Dortmund.
- Jonas, M.; T. Staeger, & Schönwiese, C.-D. (2005). Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland. In: <http://www.umweltbundesamt.de/>, 15.10.2009.
- Jung, R.; Franke, M.; Wagner, A.; Faulstich, M. (2009): Energieeffizienz auf Kläranlagen - Potentiale und Handlungsfelder. In: Wasser und Abfall, 6, S. 10-14.
- Kampe, H.-J. (2001). Wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen. In E. Büscher, Wasserwirtschaft im Aufbruch - Chancen der Liberalisierung - Geschäftsmodelle für Erzeuger, Verbraucher und Entsorger. Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst.
- Karner, A.; Birlinger, M.; Benz, R. & Jordy, M. (2003): Leistungssteigerung auf Großkläranlagen durch intermittierende Betriebsweise. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (50), Nr. 7. S. 901-907.
- Keicher, K. et al. (2004): Systemintegration von Brennstoffzellen auf Kläranlagen - Potenzialabschätzung für Baden-Württemberg, BWI 22006, Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS), Stuttgart: <http://www.bwplus.fzk.de/berichte/SBer/BWI22006SBer.pdf> (08.10.2009).
- Kempmann, J. (2005): Praxis des Stadtumbaus am Beispiel Magdeburg. In: GWF – Wasser/ Abwasser (146), Nr. 13, S. 34-36.
- Kempmann, J. (2008): Anpassung der Wasserversorgungsinfrastruktur in Magdeburg. In: Demografischer Wandel – Herausforderungen und Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft. DWA.
- Kempter, B.; Trösch, W. (2000): Verbessertes Abbau von kommunalen Klärschlämmen in einer zweistufigen Hochlast-Vergärungsanlage. In: KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (47), Nr. 9, S. 1290-1295.

- Kempter-Regel, B. (2004): Begleitforschung zur zweistufigen Klärschlammvergärung mit Mikrofiltration und Ammoniumgewinnung. Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS am 2. und 3.3.2004 im Forschungszentrum Karlsruhe. <http://bwplus.fzk.de/berichte/ZBer/2004/ZBerbwt22007.pdf> (08.10.2009).
- Kempter-Regel, B.; Oehlke, M.; Weber, J.; Trösch, W. (2003): Integration einer Hochlastfaulung in die herkömmliche Technik: Erste Bilanzierungsergebnisse der Schlammfaulung in Heidelberg. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, Nr. 11/2003.
- Kerpen, J.; Zapf, D. (2005): Grauwasserrecycling wirtschaftlich schon rentabel? In: Fach.Journal, 6, S. 88-92.
- Kläranlage der Stadt Stadtlohn (2005): Energiekonzept. In: <http://klaeranlage.stadtlohn.de/energie.htm> (08.10.2009).
- Kluge, T.; Koziol, M.; Lux, A.; Schramm, E.; Veit, A.; Becker, S. (2003): Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Wasser. netWORKS-Papers, Nr. 2. Berlin. 101 S.
- Kluge, T.; Libbe, J. (2006): Transformation netzgebundener Infrastruktur - Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser. Berlin: Mercedes-Druck.
- Kobel, B. (2008): Energiegewinnung aus Entwässerungssystemen - 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA 211, Aachen: Pinnekamp, J.
- Köck, W., Bovet, J.; Gawron, T.; Hofmann, H.; Möckel, S. (2007): Effektivierung des raumbezogenen Planungsrechts zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. UBA-Berichte 01/2007
- König, E. (2000): Mitbehandlung von Fruchtsaftabwasser in kommunalen Kläranlagen kleiner 20.000 EW. Getränkeindustrie (6), S. 344-347.
- Kopp, J. (2009): Theoretische Grundlagen zur Entwässerbarkeit von Schlämmen, Fachtagung der VSA-Kommission ARA, März 2009, online abgerufen am 02.10.2009 unter [www.vsa.ch](http://www.vsa.ch).
- Koziol, M. (2007): Demografische Entwicklungen in Deutschland und ihre Konsequenzen für die Ver- und Entsorgungsnetze. In: bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 10/2007, S. 24-27.

- Koziol, M.; Veit, A.; Walther, J. (2006): Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung?. Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadttechnischen Transformationsprozess, netWorks-Papers, Berlin: Forschungsverbund netWorks (Hrsg.).
- Koziol, M.; Walther, J. (2009): Abschätzung der Infrastrukturfolgekosten. Das Beispiel der Region Gießen Wetzlar. In: Preuß, T. & Floeting, H.; Folgekosten der Siedlungsentwicklung - Bewertungsansätze, Modelle und Werkzeuge der Kosten-Nutzen-Betrachtung (S. 73-84). Berlin: Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement.
- Koziol, M.; Walther, J. (2009): Abschätzung der Infrastrukturfolgekosten. Das Beispiel der Region Gießen Wetzlar. In T. Preuß, & H. Floeting, Folgekosten der Siedlungsentwicklung - Bewertungsansätze, Modelle und Werkzeuge der Kosten-Nutzen-Betrachtung (S. 73-84). Berlin: Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement.
- Koziol, M.; Walther, J. (2006): Ökonomische Schwellenwerte bei der Rücknahme von technischer Infrastruktur in der Stadt. In: BBR (Hrsg.). Zukunft städtischer Infrastruktur. Informationen zur Raumentwicklung Heft 5/2006. Bonn. S. 259-269.
- Krumm, E. (1991): Phosphatabscheidung durch Magnetseparation. In: WLB Wasser, Luft, Boden; 1991; Nr. 4 Seite 48f.
- Kruse, M.; Steffan, T.; Litzka, V.; Piller, S. (2004): Potenzialstudie zur Abwasserabwärmenutzung in Bremerhaven, Bremerhaven: Bremerhavener Energiemanagement-Agentur GmbH (bea), Gesellschaft für produktionsintegrierte Umweltsystemtechnologien und -management mbH.
- KWL – Kommunale Wasserwerke GmbH; Stadt Leipzig, Büro für urbane Projekte, Stadtwerke Leipzig (2007): Szenarien zur Entwicklung der Funktionen Wohnen und Gewerbe in Leipzig bis zum Jahr 2030 unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der mediengebundenen technischen Infrastruktur. Forschungsprojekt, Oktober 2007. <http://www.wasser-leipzig.de/index.php?session=aab27e4777efdd89a79f356d68afcdde&page=594>
- KWL. (o. J.): Die Kanalnetzsteuerung der Stadt Leipzig. In: <http://www.wasser-leipzig.de/get.php?f=9d61e18e03b003a83a1b5b344dd35463.pdf&m=download>.
- Landesdirektion Dresden (2004): PM, 01.2004 - Förderung der Abwasserleitung von Pirna nach Dresden ist nun perfekt. Abgerufen am 19. Oktober 2009 von: <http://www.rp-dresden.de/>.



- Lange, M.; Einfalt, T.; Tirok, G. (2006): Abflusssteuerung in Kanalnetzen – Kanalnetzsteuerung beim Wasserverband Eifel-Rur. Korrespondenz Abwasser/Abfall (53), Nr.6. S.576-578.
- Langkau, Jochem (Forschungsinstitut der Friedrich-Ebert-Stiftung Bonn-Bad Godesberg) (1975): Ökonomische und finanzpolitische Wirkungen von Siedlungskonzentrationen unter besonderer Berücksichtigung von Einrichtungen der Infrastruktur. Opladen: Westdt. Verl. (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, 2511).
- Lauruschkus, F. (2007): Praktische Erfahrungen mit Kooperationsmodellen in der Wasser- und Abwasserwirtschaft. InfrastrukturRecht (11), 286-291.
- Levin, G. V.; Shapiro, J. (1965): Metabolic uptake of phosphorus by wastewater organisms. Journal of Water Pollution Control, Nr. 37, 1965.
- Liebmann, H. (2009): Telefonisch Expertengespräch am 5.10.2009. Leibnitz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung, Bundestransferstelle Stadtumbau Ost.
- Lienert, J.; T. Bürki, B.I. Escher (2007): Reducing micropollutants with source control: substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in feces and urine. Water Science and Technology 56(5): 87–96.
- Londong, J. (2000): Strategien für die Siedlungsentwässerung. KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall (47), Nr. 10, S. 1434-1443.
- Lorenzen, A.; Ristenpart, E.; Pfuhl, W. (1997): Reinigung von Abwasserkanälen durch Schwallspülung - Teil 1: Feldversuche in einem Mischwasserkanal. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (44), Nr. 11. S. 1994-2002.
- LUA NRW (2005): Bemessung kommunaler Kläranlagen - Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-BER (Version 5.0). Merkblätter Band 53 des Landesumweltamtes NRW. Essen. Abgerufen am 8. Oktober 2009 von:  
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk53/merk53.pdf>.
- Lühring, A.; Walter, U. (2007): Zentrale Biogas-Verstromung nach Durchleitung durch ein separates Gasnetz: [www.freesen.de/wte/2007/com/ab\\_e/luehring\\_m.pdf](http://www.freesen.de/wte/2007/com/ab_e/luehring_m.pdf) (08.10.2009).
- Marschke, L. (2009): Instrumente zur Berücksichtigung von Infrastrukturbedürfnissen. 3. Expertenworkshop REFINA KoReMi, Leipzig, 08.01.2009.

- Marschke, L.; Schmidt, T.; Guillemenet, A. (2005): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik. Teil 2: Der infrastrukturelle Entwicklungsplan (ISEP) – ein Beitrag der Stadttechnik zur integrierten Stadtentwicklungsplanung. In: wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik (11-12), S. 37-41.
- Marschke, L.; Schmidt, T.; Schneider, G. (2006): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik. Teil 3: Langfristige Preis- und Gebührenentwicklung und Optionen für die Ver- und Entsorger. wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik (1-2), S. 27-32.
- Marschke, L.; Wolff, M. (2008): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik. Teil 7: Langfristige Infrastrukturelle Entwicklungsplanung - ISEP, Förderpolitik, Leitfaden, ein Anwendungsbeispiel aus Zittau. wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik (5), S. 54-59.
- Martens, J.; Helmer, M.; Heckerath, S.; Langanki, G. (2005): Betriebserfahrungen mit der Fuzzy-Pattern-Belüftungsregelung. Wasser, Luft und Boden (49), Nr. 6. S. 21-23. Online verfügbar unter:  
[http://www.cyklar.ch/DOWNLOADS/Betriebserfahrungen %20Fuzzy-Pattern %20TAT %202000.pdf](http://www.cyklar.ch/DOWNLOADS/Betriebserfahrungen%20Fuzzy-Pattern%20TAT%202000.pdf) (08.10.2009).
- Martin, J.; Staeger, T.; Schönwiese, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Abgerufen im August 2009 von <http://www.umweltbundesamt.de/>.
- Matsché, N.; Saracevic, E.; Bertran de Lis, F.; Brooks, L. (2005): Korrosions- und Geruchsprobleme in Abwasserdruckleitungen (KUGPIA). Herausgegeben vom Lebensministerium Österreich. Wien. 115 S.
- Max-Planck-Institut für Meteorologie. (kein Datum): Abgerufen am 08.2009 von Wissenschaft - Atmosphäre im Erdsystem - Regionale Klimamodellierung: <http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba/aktualisierte-abbildungen.html>.
- Meyer, C. (2008): Rechtsprobleme der Co-Vergärung in Abwasserbehandlungsanlagen. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 55 (3), S. 261-264.
- Milojevic, N.; Wolf, M. (2003): Dezentrale Niederschlagswasserentsorgung. Auswirkungen auf Baukosten und Bemessung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (5), S. 575-584.

- Mitsdoerffer, R.; Christ, O. (2008): Energiepotenziale erkennen und nutzen. In: wwt Wasserwirtschaft Wassertechnik, Nr. 5, S. 17-25.
- Mohajeri, S.; S. Schön (2008): Wo traditionelle Lösungen scheitern: Zukunftsfähige Abwasserinfrastruktur in schrumpfenden Regionen.
- Mohajeri, S.; Wendt-Schwarzburg, H. (2007): Herausforderung demografischer Wandel: Perspektivwechsel und Strategieansätze für die kommunale Wasserwirtschaft. Kommunalwirtschaft (3), 161-166.
- Mohr, M.; Trösch, W. (2006): Semidezentrale Infrastruktur in Knittlingen - Neubaugebiet "Am Römerweg". 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur, S. 21/1-21/9.
- Mpimet (Max-Planck-Institut für Meteorologie; 2009): Abbildung der relativen Änderung der Sommerniederschläge [JJA] für das A1B Szenario [%]. <http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba/aktualisierte-abbildungen.html>. 2009
- MUFV (2007): Ministerium für Umwelt Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz (Hrsg.): Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft - Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen. Rheinland-Pfalz.
- MUFV (2008): Ministerium für Umwelt Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz (Hrsg.): Zuwendungen für wasserwirtschaftliche Maßnahmen. Verwaltungsvorschrift, 21.11.2008.
- Müller, J. (2007): Welche Möglichkeiten der Klärschlammverwertung gibt es außerhalb der Landwirtschaft? Beispiel Seaborne Verfahren, Vortrag im Rahmen der "Internationale Konferenz zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie und ihre Auswirkungen im kommunalen Bereich und zur Problematik der Abwasser- und Klärschlambeseitigung" am 8.-10. Oktober 2007 in Osnabrück; <http://www.umweltaktion.de/magazin/artikel.php?artikel=297&type=&menuid=66&topmenu=66>.
- Müller, W. (2007): Leistungen und Kosten bei der Kanalreinigung mit dem Hochdruckspülverfahren. Online verfügbar unter: <http://typo3.mueller-umwelt.de/TYPO3/index.php?id=82>, 26.1.2009 (08.10.2009).
- Müller, W. (2007): Leistungen und Kosten bei der Kanalreinigung mit dem Hochdruckspülverfahren. Abgerufen am 8. Oktober 2009 von: <http://typo3.mueller-umwelt.de/TYPO3/index.php?id=82>, 26.1.2009.

- MUNLV (1999): Ministerium für Umwelt und Naturschutz NRW: L.u.V.N: Handbuch "Energie in Kläranlagen NRW".
- Munoz, R.; Guieysse, B. (2006): Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. In: *Water Research*, 40 (15), S. 2799-2815.
- Niederste-Hollenberg, J.; Oldenburg, M.; Weilbeer, J.; Weißmann, H. (2007): Die Vorklärung als Kohlenstoffsенke – ein Problem? Tagungsband in *Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, Schriftenreihe der TUHH, Bd. 66/2007.
- Nisipeanu, P. (1998): *Privatisierung der Abwasserbeseitigung: Optimierung der kommunalen Abwasserbeseitigung durch Umorganisation und Neukonzeptionierung*. Berlin: Parey-Verlag.
- Nolde, E. (2005): Grauwasser-Recycling - von der Idee zum Industrieprodukt. In: *Fachvereinigung Betriebs- und Regenwasser - Bestandsaufnahme und Zukunftsvision*. fbr-Schriftenreihe, 10, S. 49-54.
- Oberlak, Kirchheim, Scheer (2006): *Abflusssteuerung- Schwallspülung- Gewässerschutz*. Zentrum für Umweltkommunikation Osnabrück, Tagungsband.
- Oldenburg, M.; Albold, A.; Wendland, C.; Otterpohl, R. (2008): Erfahrungen aus dem Betrieb eines neuen Sanitärsystems über einen Zeitraum von acht Jahren. *KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall*, Nr. 10, S. 1100-1106.
- Oldenburg, M.; Bastian, A.; Londong, J.; Niederste-Hollenberg, J. (2003): Neue Abwassertechnik am Beispiel der "Lambertsmühle". *GWF Wasser Abwasser*, 144, Nr. 10, S. 660-665.
- Otterpohl, R. (2004): New technological development in ecological sanitation. In: *Eco-san – closing the loop, proceedings of the 2nd international symposium on ecological sanitation*, GTZ, Eschborn, S. 455-462.
- Otterpohl, R.; Oldenburg, M.; Büttner, S. (1999): Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement. *Korrespondenz Abwasser* 46 (2), S. 204-212.
- Pecher, R. (2002): Kosten und Gebühren für die Sammlung und zentrale Behandlung von Schmutz- und Regenwasser im ländlichen Raum. In *ATV-DVWK, Abwasserentsorgung im ländlichen Raum*. ATV-DVWK-Fortbildungskurs für die Wassergütwirtschaft und Abwassertechnik. Hennef: ATV-DVWK.

- Peter-Fröhlich, A.; Pawlowski, L.; Bonhomme, A.; Oldenburg, M. (2008): Separate Erfassung und Behandlung von Urin, Braun- und Grauwasser. Erfahrungen aus einem EU-Demonstrationsprojekt. *Korrespondenz Abwasser Abfall* (10), S. 1106-1112.
- Pinnekamp, J.; Montag, D. (2005): Phosphorrückgewinnung aus Überschussschlamm. 75. Darmstädter Seminar Abwassertechnik. Schriftenreihe WAR 167.2005.
- Pinnekamp, J.; Montag, D.; Gethke, K.; Goebel, S.; Herbst, H. (2007): Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesium-Ammonium-Phosphat – MAP“ aus Abwasser und Klärschlamm, UBA-Texte, Dessau: Umweltbundesamt.
- Pinnekamp, J.; Wienert, B.; Bolle, F.-W.; Hein, A.; Eberle, K.-D.; & Hoffmeister, J. (2008): Abschätzung der Folgen des demografischen Wandels für den Eigenbetrieb der Stadtentwässerung Mannheim. In A. u. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Demografischer Wandel - Herausforderungen und Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft (S. 173-184). Bamberg: Difo-Druck GmbH.
- Pirsing, A.; Roland, R.; Obst, B.; Montrone, F. (2006): Einsatz mathematischer Optimierungsverfahren bei der Abflusssteuerung in Kanalnetzen. *GWF – Wasser/Abwasser* (5), 376-383.
- Plenker, T.; Schmidt, T. (2003): Computergestützte Auswahl von Sanierungsverfahren für Abwässerkanäle. *Korrespondenz Abwasser/Abfall* (50), Nr. 2.
- Preuß, T. (2009): Folgekosten: Herausforderungen und Chancen einer zukunftsfähigen Siedlungsentwicklung. In: Preuß, Thomas; Floeting, Holger (Hg.): Folgekosten der Siedlungsentwicklung. Bewertungsansätze, Modelle und Werkzeuge der Kosten-Nutzen-Betrachtung ; eine Publikation des Förderprogramms "Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement" (REFINA). Berlin: Difu (REFINA, 3), S. 11–29.
- Quietsch, P. (2000): Organisationsformen in der kommunalen Abwasserbeseitigung. *Umwelt- und Planungsrecht* (7), 247-254.
- Recktenwald, M. (2002): KREPRO – Ein Verfahren zur Reduktion des Schlammvolumens und Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe. 66. Darmstädter Seminar Abwassertechnik. Schriftenreihe WAR 147.
- Reidenbach, M.; Bracher, T.; Schneider, S.; Seidel-Schulze, A. (2008): Investitionsrückstand und Investitionsbedarf der Kommunen - Ausmaß, Ursachen, Folgen und Strategien. Berlin: Mercedes-Druck.

- Richter, N.; Thomas, S.; Berlo, K.; Wagner, O.; Wallbaum, H.; Schaller, S.; Lucas, R.; Wilts, H. (2007): Perspektiven dezentraler Infrastrukturen im Spannungsfeld von Wettbewerb, Klimaschutz und Qualität. Abgerufen am 12. Dezember 2009 von: [http://www.infracatur.com/src/downloads/Zwischenbericht\\_INFRAFUTUR\\_2806.pdf](http://www.infracatur.com/src/downloads/Zwischenbericht_INFRAFUTUR_2806.pdf).
- roadmap (2008): Roadmap Umwelttechnologien 2020, Zwischenbericht, ITAS, Auftraggeber: BMBF.
- Röfle, R. (2006): Auf dem Weg zu einer energieautarken Kläranlage - Das Beispiel der Kläranlage Balingen (Baden-Württemberg), Stuttgart.
- Rometsch, L. (2004): Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen, Gelsenkirchen: Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT).
- Roos, H. J. (2008): Perspektiven der Co-Vergärung auf Kläranlagen. In: GWF – Wasser/ Abwasser (149), Nr. 4, S. 364-368.
- Rothenberger, D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser, für das Verbundprojekt "integrierte Mikrosysteme der Versorgung", Kastanienbaum: CIRUS (Centre for Innovation Research in the Utility Sector) , EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) [http://www.mikrosysteme.org/documents/Report\\_Wasser.pdf](http://www.mikrosysteme.org/documents/Report_Wasser.pdf) (08.10.2009).
- Rudolph, K.-U.; Balke, H. (2000): Wirtschaftlichkeit der naturnahen Regenwasserentsorgung. Korrespondenz Abwasser/Abfall (47), Nr. 3, S. 410-417.
- Rupp, M.; Schäfer, H.; Seewer, U.; Karsky, C. (2002): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten. Arbeitsbericht vom 3. April 2002. Bern.
- Sander, T. (2003): Ökonomie der Abwasserbeseitigung: Wirtschaftlicher Betrieb von kommunalen Abwasseranlagen. Berlin: Springer-Verlag.
- Sander, T.; Grunwald, G.; Nolte, S. (2003): Kanalrenovierung oder Kanalerneuerung? Neues Programm zur überschlägigen Kostenvergleichsrechnung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (9), S. 1179-1182.
- Sartorius, C.; Hillenbrand, T. (2008a): Abwasserentsorgungstechnologie im Elbegebiet - Bestand und Entwicklung. KA: Abwasser, Abfall 55 (2008), 4, S. 381-386.
- Sartorius, C.; Hillenbrand, T. (2008b): Ausbreitung dezentraler Ansätze der Abwasserbehandlung und des Regenwassermanagements im Elbegebiet. KA: Korrespondenz Abwasser, Abfall 55 (2008), 10, S. 1086-1094.

- Schaaf, O.; Schröder, M. (2008): Energiepotentiale der deutschen Wasserwirtschaft aus Sicht der DWA - 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen: Pinnekamp, J.
- Schaffner, J. (o. J.): Einsatz und Anwendungsgrenzen von Schwallspülungen in Abwasserkanälen. Online verfügbar unter: [http://www.dwa-hrps.de/Termine/17 %20Schwallspuelung, %20Schaffner.pdf](http://www.dwa-hrps.de/Termine/17%20Schwallspuelung,%20Schaffner.pdf) (08.10.2009).
- Schattner, S. (2006): Einsatz von Abfällen zur Cofermentation, Freising: Bayrische Landesanstalt für Landtechnik.
- Scheer, H.; Schlegel, S. (2008): Betriebliche Optimierung unterbelasteter Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser/Abfall (55), Nr.12. S. 1314-1322.
- Scheer, H. (2005): Erfahrungen in Wartung und Betrieb von Kleikläranlagen verschiedener Typen. Wasser und Abfall 6, S. 20-23
- Schenk, K. (2009): Phosphorstrategie der Schweiz – Flüsse, Potenziale, Recycling und finanzielle Aspekte, Vortrag im Rahmen der Tagung „re-source 2009“ in Berlin: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz.
- Schiller, G.; Siedentop, S. (2005): Infrastrukturfolgekosten der Siedlungsentwicklung unter Schrumpfbedingungen, Dresden: Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung.
- Schindler, N.; Krebs, P.; Ogurek, M.; Schütze, M. (2007). Vereinfachte integrierte Modelle der Abwasserentsorgung zur Analyse von Steuerungsstrategien. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (6), S. 577 - 583.
- Schleypen, P.; Meißner, E. (1999): Abflüsse aus Kanalisationsgebieten und Zuflüsse zu kommunalen Kläranlagen bei Trockenwetter - und Regenwetterverhältnissen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (1), S. 42-46.
- Schmack, D, Schneider, G und Nusko, R (2004): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie EBSIE-Zwischenbericht <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb06/511296738.pdf> (08.10.2009).
- Schmack, D, Schneider, G und Nusko, R (2004): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie EBSIE-Zwischenbericht <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb06/511296738.pdf> (08.10.2009).

- Schmack, D., Schneider, G und Nusko, R. (2009): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie EBSIE-Abschlussbericht, <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22017105.pdf>
- Schmelz, K.G. (2007): Co-Vergärung aus der Sicht eines Kläranlagenbetreibers, BMU/UBA –Fachgespräch am 29. Januar 2007: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Bonn.
- Schmack, D. (2004): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie (EBSIE), 12. C.A.R.M.E.N. Symposium (2004). [http://www.ask-eu.de/Artikel/4555/Effizienzsteigerung-der-Biogasnutzung-durch-Solarenergie-\(EBSIE\).htm](http://www.ask-eu.de/Artikel/4555/Effizienzsteigerung-der-Biogasnutzung-durch-Solarenergie-(EBSIE).htm) (08.10.2009).
- Schmack, D.; Schneider, G.; Nusko, R. (2004): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie, EBSIE I: EBSIE-Technikumsphase.
- Schmack, D.; Schneider, G.; Nusko, R. (2009): Effizienzsteigerung der Biogasnutzung durch Solarenergie, EBSIE II: EBSIE-Technikumsphase.
- Schmelz, K.-G. (2007): CO-Vergärung aus Sicht eines Kläranlagenbetreibers. Abgerufen am Oktober 2009 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/>.
- Schmid-Schmieder, V. (2009): Wärmerückgewinnung auf Kläranlagen. Alternative Energiequellen. In: wwt Wasserwirtschaft Wassertechnik, 1/2, S. 34-38.
- Schmidt, T.; Marschke, L. (2007): Stadttechnische Infrastrukturanpassung bei Rückbau in Johannegeorgenstadt. In: Wirth, Peter; Bose, Marc (Hg.): Schrumpfung an der Peripherie. Ein Modellvorhaben - und was Kommunen daraus lernen können. München: oekom-Verl.; S. 75–92.
- Schmitt, T.-G.; Illgen, M.; Kaufmann, I. (2006): Klimawandel - Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung. Korrespondenz Abwasser, Abfall (8), S. 756-779.
- Schonlau, H.; Rakelmann, U.; Li, Z.; Giese, T.; Werner, T.; Augustin, K.; Günner, C. (2008): Pilotprojekt für ein ganzheitliches Entwässerungskonzept in Städten. Korrespondenz Abwasser Abfall, Nr. 10, S. 1095-1099.
- Schramm, E. (2008): Düngerrückgewinnung aus Abwasser: Technologien für die Zukunft, ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 32, Frankfurt am Main.
- Schramm, E. (2008): Grauwasserrecycling – Abwasser als Sekundärrohstoffquelle: Technologien für die Zukunft, ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 31, Frankfurt am Main.
- Schwabe, U.; Paffrath, D.; Hrsg. (2008): Arzneimittelverordnungs-Report 2007, Springer Verlag.



- Seibert-Erling, G. (2008): Die Kläranlage im Spannungsfeld energiepolitischer Ziele, gesetzlicher Regelungen und wirtschaftlicher Betriebsführung - Beitrag zur 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft 2008, Essen: Kläerwerk.info - Aktuelle Fachinfos rund ums Klärwerk.
- Seibert-Erling, G.; Etges, T. (2007): Energiekosten von Kläranlagen und Kanalnetzen: Kläerwerk.info - Aktuelle Fachinfos rund ums Klärwerk.
- Siedentop, S.; Koziol, M.; Gutsche, J.-M.; Schiller, G.; Walter, J.; Einig, K. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten - Bilanzierung und Strategieentwicklung. Abschlussbericht Projekt Nr. 10.08.06.1.11. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Sieker, F.; Sieker, H.; Zweynert, U.; Schlottmann, P. (2009): Konzept für bundeseinheitliche Anforderungen an die Regenwasserbewirtschaftung. UBA-Umweltbundesamt 2009. Texte Nr. 19/2009.
- Sievers, M.; Bormann, H.; Ewert, W. (2005): Klärschlammhydrolyse (CAMBI) mit anschließender Stickstoffstrippung und basischer Phosphorextraktion. 75. Darmstädter Seminar Abwassertechnik. Schriftenreihe WAR 167.2005.
- SMUL (2009): Umwelt. Abwasserbehandlung. [http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/inhalt\\_re\\_981.html](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/wasser/inhalt_re_981.html).
- Staben, N. (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur, netWORKS-Paper, Nr. 24, Eine Technikrecherche im Rahmen des Projekts "Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft", Berlin: netWORKS.
- Stadtentwässerung Dresden (o. J.): Abflusssteuerung des Dresdner Mischwassernetzes. In: [http://stadtentwaesserung-dd.de/templates/content\\_db\\_infomaterial.php?topic=informationsmaterial&prevTopic=Infomaterial&print\\_version=1](http://stadtentwaesserung-dd.de/templates/content_db_infomaterial.php?topic=informationsmaterial&prevTopic=Infomaterial&print_version=1).
- Statistisches Bundesamt (2004): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (Fachserie 19, Reihe 2.1 - 2004). Abgerufen im August 2009 von <http://www.destatis.de/>.
- Statistisches Bundesamt (2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050 - 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2008): Energieverbrauch der privaten Haushalte 1995 bis 2006. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

- Statistisches Bundesamt (2009): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit (Fachserie 1, Reihe 3): Haushalte und Familien 2008, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Steenbock, R. (2004): Privatisierung der Abwasserbeseitigung? KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (4), S. 404-413.
- Stein, D. (2003): Grabenloser Leitungsbau. Berlin, Ernst & Sohn Verlag.
- Stein, R.; Trujillo Alvarez, R. (2005): Vorausschauende Sanierungsplanung von Entwässerungssystemen auf der Basis konsistenter und stabiler Prognosemodelle. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (6), S. 709-718.
- Steinmetz, H. (2006): Potential und Bedarf zur Optimierung von Belebungsanlagen. In: Rott, U. (Hrsg.). Betriebsoptimierung von Belebungsanlagen: 81. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 12. Oktober 2006, Band 186 von Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Hennef, Oldenburger Industrieverlag. S. 19-46. Online einsehbar unter:  
[http://books.google.de/books?id=ayFbTptnCGwC&dq=Betriebsoptimierung+von+Belebungsanlagen&printsec=frontcover&source=bl&ots=Z4n4jjj0ed&sig=nZkg-EiQ8l82PRQyEcsWyyPfrMg&hl=de&ei=xMGbSvzMhof0\\_AaO-9mnBQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.de/books?id=ayFbTptnCGwC&dq=Betriebsoptimierung+von+Belebungsanlagen&printsec=frontcover&source=bl&ots=Z4n4jjj0ed&sig=nZkg-EiQ8l82PRQyEcsWyyPfrMg&hl=de&ei=xMGbSvzMhof0_AaO-9mnBQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1#v=onepage&q=&f=false)  
(08.10.2009).
- Steinmetz, H. (2008): Energetische Optimierung der Abwasserreinigung - 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, GWA 211, Aachen: Pinnekamp, J.
- Stier, E. (2003): Abwassertechnik. In B. f. Berufsbildung, Handbuch für umwelttechnische Berufe (Bd. 7). Oberhaching/ München: Hirthammer.
- Stratmann, H.-J.; Zang, V. (2008): Vakuumkanalisation – Alternative zur Kanalsanierung am Beispiel Löwenhagen. In: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 55(2), S. 160-162.
- Streese-Kleeberg, J.; Bade, O.; Stegmann, R. (2006): Integriertes Konzept zur dezentralen Abwasser- und Bioabfallbehandlung. In: Pinnekamp, J. (Hg.): 1. Aachener Kongress dezentrale Infrastruktur. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser 204, S. 24/1 - 24/15.
- Streese-Kleeberg, J.; Röper, H.; Bade, O.; Stegmann, R. (2007): Zwischenbericht für das Verbundvorhaben Integrierte Konzepte zur dezentralen Abwasser- und Bioabfallbehandlung (INKONDA).

- Stumpf, D. (2007): Phosphorrecycling durch MAP-Fällung im kommunalen Faulschlamm: UBA Umweltbundesamt.
- SWM (2008): Bestens vorbereitet. Zahlen und Fakten 2008. Stadtwerke Magdeburg. [www.sw-magdeburg.de/media/gb2008.pdf](http://www.sw-magdeburg.de/media/gb2008.pdf).
- TBW (1998): Förderung der Anaerobtechnologie zur Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer und Abfälle. Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse für GTZ GmbH OE44. (Naturgerechte Technologien Bau und Wirtschaftsberatung GmbH) <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/de-anaerobtechnologie-1998.pdf> (08.10.2009).
- Thaler, S. (2003): Argumente gegen den Einsatz von Küchenabfallzerkleinerern. Korrespondenz Abwasser/Abfall (50), Nr. 5. S. 606-606.
- Thieme, G.; Marschke, L. (2006): Infrastruktur anpassen. Stadtumbau und Stadttechnik, Teil 5: Rückbau von stadttechnischen Ver- und Entsorgungsleitungen unter rechtlichen, ökologischen und ökonomischen Aspekten. wwt - Wasserwirtschaft Wassertechnik (6), S. 52-55.
- Thienel, K.-Ch. (2007): Bauschäden: Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Bundeswehr Universität München. Institut für Werkstoffe des Bauwesens.
- Thöle, D.; Cornelius, A.; Krause, S. (2005): Großtechnische Erfahrungen zur Deammonifikation von Schlammwasser auf der Kläranlage Hattingen. In: GWF Wasser Abwasser, Nr.146(2), 2005, S. 104-109.
- Tränckner, J. (2009): Auswirkung des demografischen Wandels auf die Siedlungsentwässerung. Ziele, Methoden, Stand. Projekt DEMOWAS, 2. Projekttreffen am 21.4.2006, online abgerufen am 02.10.2009 unter <http://isi.tu-dresden.de/twiki/bin/view/DemoWaS/ProjektTreffen2009>.
- UBA (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Texte des Umweltbundesamtes 11/08. Dessau-Roßlau.
- UBA (2009): Von der Außen- zur Innenentwicklung in Städten und Gemeinden. Das Kostenparadoxon der Baulandentwicklung.
- United Nations (2008): World Population Prospects: The 2008 Revision Population Database. Abgerufen 09.2009 von <http://esa.un.org/unpp>.

- Universität für Bodenkultur Wien (2009): Mechanische Abwasserreinigung. Vorlesungsskript. In:  
[http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H81/H811/Skripten/811352/811352\\_04\\_SO.pdf](http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H811/Skripten/811352/811352_04_SO.pdf) (08.10.2009).
- VDI (1997): Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie 3883 - Wirkung und Bewertung von Gerüchen (Blatt 1/2). Abgerufen am 15. September 2009 von:  
<http://www.vdi.de/>.
- Von Horn, J. (2007): Untersuchungen zur Rückgewinnung von Phosphat aus Überschussschlamm von Kläranlagen mit vermehrt biologischer Phosphatelimination, Schriftenreihe des Lehrstuhls Abfallwirtschaft und des Lehrstuhls Siedlungswasserwirtschaft Bd. 18 der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar.
- Wagner, M. (2005): Rohphosphat – Verfügbarkeit und Verbrauch, Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Aachen.
- Weismann, D. (2007): Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik. Essen, Vulkan Verlag.
- Wendler, D. (2005): Erfassung und Behandlung ausgewählter Stoffströme in der Siedlungswasserwirtschaft: ISAH Universität Hannover.
- Wett, B. (2008): Entwicklung des DEMON-Verfahrens für eine energieautarke Kläranlage.
- Weyand, M.; Xanthopoulos, C.; Schilling, W. (2003): Auswertung von Messdaten an Mischwasserentlastungsanlagen zur Beurteilung der Steuerungswürdigkeit von Mischkanalisationen. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (1), S. 33-38.
- Winkler, M. (2008): Optimale Nährstoffverhältnisse für die Abwasserreinigung. In:  
[http://www.hach-lan-ge.at/shop/action\\_q/download %3Bdocument/DOK\\_ID/14785905/type/pdf/lkz/AT/spkz/de/TOKEN/j2yTDXo3S85dfwl6OAK2xGpjJRA/M/btJzOA](http://www.hach-lan-ge.at/shop/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/14785905/type/pdf/lkz/AT/spkz/de/TOKEN/j2yTDXo3S85dfwl6OAK2xGpjJRA/M/btJzOA) (08.10.2009).
- Winkler, U. (2006): Oben Stadtrückbau – und unten?, 6. Göttinger Abwassertage 2006: TAH Hannover.
- Winkler, U. (2007). Strategische Ansätze zur Anpassung der siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen der KWL im Zusammenhang mit der demografischen Entwicklung/ Stadtbau.

- Winkler, U. (2008): Perspektivische Veränderung der Investitionsschwerpunkte im Ver- und Entsorgungsbereich der kommunalen Wasserwerke Leipzig GmbH. 6. Mitteldeutsche Fachtagung „Kanalbau-Kanalsanierung“ 29. und 30. April 2008. Bauakademie Sachsen. Leipzig.
- Winkler, U. (2009). Berücksichtigung von spezifischen Anforderungen aus dem demografischen Wandel/ Stadtumbau bei Generalentwässerungsplanung. TAH, Juni 2009.
- Wolf, M.; Milojevic, N. (2003): Dezentrale Niederschlagswasserentsorgung. Auswirkung auf Baukosten und Bemessung. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (50), Nr. 5, S. 575-584.
- Wricke, B.; Korth, A. (2007): Auswirkungen demografischer Entwicklungen auf die Wasserversorgung. In: energie / wasser-praxis, 10/2007, S. 30-34.