

**Analyse und Modellierung von Transformationsprozessen
in der kommunalen Wasserwirtschaft in Deutschland**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Wirtschaftswissenschaften

(Dr. rer. pol.)

von der Fakultät für

Wirtschaftswissenschaften

der Universität Karlsruhe (TH)

vorgelegte

DISSERTATION

von

Dipl. Wirt.-Ing. (FH) Christiane Klobasa

Tag der mündlichen Prüfung: 4. November 2009

Referenten: Prof. Dr. H. Grupp und Prof. Dr. M. Wietschel

Korreferent: Prof. Dr. W. Fichtner

(2009) Karlsruhe

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe. Dort war ich von 2000 bis 2008 im Geschäftsfeld Wasser des Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme tätig. Die Arbeit wurde zunächst vom damaligen Institutsleiter des Fraunhofer ISI und Inhaber des Lehrstuhls für Systemdynamik und Innovation am Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung an der Universität Karlsruhe, Herrn Prof. Dr. Hariolf Grupp, betreut, der am 20. Januar 2009 verstarb. Mein besonderer Dank gilt als erstes Herrn Grupp für seine fachliche Unterstützung und das in mich gesetzte Vertrauen.

Mein Dank gilt des Weiteren Herrn Prof. Dr. Martin Wietschel für die schnelle und unbürokratische Übernahme der weiteren Betreuung meiner Dissertation und des Referrats sowie für seine pragmatische Unterstützung, für die Impulse und Anregungen, die er mir gegeben hat und die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Herzlich möchte ich außerdem meinen Kollegen des Fraunhofer ISI für ihre Unterstützung und Zusammenarbeit danken: Harald Hiesl für seine vielfältige Inspiration insbesondere in der Themenfindungsphase. Gerhard Angerer, Christian Sartorius und Jonathan Köhler für die fruchtbaren Diskussionen zu verschiedenen wasserwirtschaftlichen und modelltechnischen Fragen. Julia Oberschmidt, Anne Held und Vicky Duscha danke ich für ihre hilfreichen Diskussionen und Anmerkungen sowie für ihr geduldiges Korrekturlesen. Rebecca Rangnow und Bärbel Katz danke ich für ihre freundliche Unterstützung bei der Literaturverwaltung sowie beim Formatieren der Arbeit. Renate Schmitz, Wolfgang Eichhammer und Sibylle Gaisser danke ich für ihre positive Einstellung, mit der sie mir in schwierigen Phasen weitergeholfen haben.

Gerne bedanke ich mich auch bei Franziska Klügl und Kathrin Scherger vom Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz und Angewandte Informatik des Instituts für Informatik der Universität Würzburg für ihre Zusammenarbeit bzgl. der Software SeSAm und des Aufbaus des Simulationsmodells.

Ein großes Dankeschön geht natürlich auch an meine Eltern und Freunde für ihre vielfältige Unterstützung sowie an meinen Onkel Peter Marbach, der durch seine Überzeugung in meine Fähigkeit ebenfalls zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Schließlich möchte ich meinem Mann Marian und meiner Tochter Anne danken für ihre Liebe, Geduld und Zeit, die sie mir insbesondere in der Endphase meiner Dissertation entgegengebracht haben.

Karlsruhe, 20. Mai 2009

Christiane Klobasa

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung und Ziel der Arbeit.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Ziel der Dissertation.....	4
2	Theoretischer Hintergrund	6
2.1	Definitionen.....	6
2.1.1	Emergenz	6
2.1.2	Innovation, Diffusion und technischer Wandel	9
2.1.3	Infrastrukturen	11
2.1.4	Systeminnovation und Systemtransformation	13
2.2	Entwicklungsphasen und Veränderungsprozesse in Infrastruktursystemen.....	15
2.2.1	Entwicklungsphasen von Infrastruktursystemen	15
2.2.2	Veränderungsprozesse in Infrastruktursystemen	17
2.2.2.1	Ansatz der Innovationssysteme.....	18
2.2.2.2	Multi-Level Ansatz zur Analyse von Transformationsprozessen	21
2.3	Resümee	24
3	Die kommunale Wasserwirtschaft in Deutschland und Einflussfaktoren auf ihre Dynamik.....	27
3.1	Regime: Beschreibung heutiger kommunaler Wasserinfrastruktursysteme	29
3.1.1	Ausgangssituation	29
3.1.2	Entwicklungsphasen der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft	30
3.1.3	Technische Bestandteile	33
3.1.3.1	Öffentliche wasserversorgungstechnische Bestandteile	33
3.1.3.2	Öffentliche abwassertechnische Bestandteile	34
3.1.3.3	Private technische Bestandteile	37
3.1.4	Rechtliche Rahmenbedingungen und Organisation	38
3.1.4.1	Europäische Ebene	39
3.1.4.2	Bundes- und Landesebene	40
3.1.4.3	Kommunale Ebene	42
3.1.5	Ökonomische Aspekte.....	45
3.1.6	Sozio-ökonomische Aspekte	51
3.2	Systemumwelt: Systemübergreifende Einflussfaktoren	57
3.2.1	Demografischer Wandel	58

3.2.1.1	Abnehmende Bevölkerungszahl.....	58
3.2.1.2	Veränderungen im Altersaufbau.....	61
3.2.1.3	Entwicklung der Privathaushalte	62
3.2.1.4	Auswirkungen des demografischen Wandels auf die kommunale Wasserwirtschaft.....	64
3.2.2	Klimawandel	68
3.2.2.1	Globale und lokale Klimaveränderungen.....	69
3.2.2.2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft.....	71
3.2.2.3	Anpassungsstrategien an den Klimawandel.....	73
3.2.3	Rechtliche Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft	73
3.2.3.1	Interkommunale Zusammenarbeit und Dienstleistungskonzessionen	75
3.2.3.2	Institutionalisierte öffentlich-private Partnerschaften (IÖPP).....	77
3.2.4	Innovation und technischer Wandel in der Wasserwirtschaft.....	80
3.2.4.1	Technischer Wandel im Bereich der kommunalen Wasserversorgung	80
3.2.4.2	Technischer Wandel im Bereich Wassernutzung.....	82
3.2.4.3	Technischer Wandel im Bereich Abwasserbehandlung	84
3.3	Herausforderungen und Probleme der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft	85
3.4	Nischen: Alternative Systemlösungen.....	89
3.4.1	Technische Entwicklungen	89
3.4.2	Rechtliche Aspekte.....	91
3.4.3	Ökonomische Aspekte.....	98
3.4.4	Gesellschaftliche Aspekte	101
4	Analyse der Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft	103
4.1	Methodik.....	104
4.1.1	Kriterien zur Auswahl einer geeigneten Methode zur Analyse der Akteure	104
4.1.2	Methodenansätze.....	105
4.1.3	Vorgehensweise bei der inhaltlichen Strukturierung	107
4.1.3.1	Beschreibung des Ausgangsmaterials	107
4.1.3.2	Bestimmung der Fragestellungen.....	108
4.1.3.3	Festlegung des Ablaufmodells	109
4.2	Identifizierung der Akteure.....	111
4.3	Ziele der Akteure	116
4.4	Veränderungsdruck durch Rahmenbedingungen sowie Auswirkungen innovativer Technologien auf die Zielerfüllung der Akteure	120

4.5	Wechselwirkungen zwischen den Akteuren aufgrund Zielerfüllung und Integration von Innovationen.....	132
4.5.1	Aktuelle Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren	133
4.5.2	Zukünftig mögliche Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren	138
4.6	Schlüsselakteure im Transformationsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft	145
4.6.1	Bewertung der Rolle der Akteure in der Wasserwirtschaft	145
4.6.2	Bewertung der Verbindungen und Wechselwirkungen der Akteure	146
4.6.3	Bewertung der Ressourcen zur Zielerfüllung der Akteure	147
5	Untersuchungspfade zu Transformationsprozessen kommunaler Wasserinfrastruktursysteme	150
5.1	Transformationsphasen kommunaler Wasserinfrastruktursysteme	150
5.2	Ableitung wichtiger Modelleigenschaften	154
6	Modell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft.....	155
6.1	Kriterien für ein Modell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft	156
6.2	Modellansätze	157
6.2.1	Top-down Modelle	158
6.2.2	Bottom-up Modelle	159
6.2.2.1	Optimierungsmodelle.....	159
6.2.2.2	Simulationsmodelle	160
6.3	Resümee	163
6.4	Konzept eines Agentenmodells zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft	166
6.4.1	Konzeption der Systemumwelt	169
6.4.2	Konzeption des Regimes.....	172
6.4.3	Konzeption der Nischen	184
6.4.4	Zusammenfassende Darstellung des Konzepts	186
6.5	Umsetzung des Modellkonzepts in ein Simulationsmodell.....	188
6.5.1	Räumlicher Bilanzraum	189
6.5.2	Formalisierungen der Systemumwelt	189
6.5.2.1	Welt-Agent „Modelljahr“	189

6.5.2.2	Welt-Agent „Demografie“	192
6.5.2.3	Welt-Agent „Recht“	193
6.5.3	Formalisierungen des Regimes	193
6.5.3.1	Abwasserentsorger-Agent	193
6.5.3.2	Haushalts-Agenten	196
6.5.4	Formalisierungen der Nischen	198
6.5.4.1	Technischer Wandel – Niedrige Umweltpriorität	199
6.5.4.2	Technischer Wandel – Hohe Umweltpriorität	202
7	Ergebnisse	205
7.1	Startphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft	205
7.1.1	Effekte durch demografischen Wandel	205
7.1.2	Effekte durch technischen Fortschritt	208
7.1.3	Gemeinsame Effekte von demografischem Wandel und technischem Fortschritt	218
7.2	Beschleunigungsphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft	223
7.2.1	Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwangs	224
7.2.2	Fortbestand des Anschluss- und Benutzungszwangs	231
8	Diskussion der Ergebnisse	233
9	Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick	239
	Literatur	244
	Anhang: Häufigkeiten und Eigenschaften der Haushalts-Agenten	265

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Irreduzibilität der systemischen Eigenschaft E.....	9
Abbildung 2-2	Schematische Darstellung des Multi-Level-Ansatzes	22
Abbildung 3-1	Wasserdargebot und Ressourcen der Trinkwassergewinnung	30
Abbildung 3-2	Altersstruktur der Kanalisation	35
Abbildung 3-3	Entwicklung des Klärschlammverbleibs	36
Abbildung 3-4	Verteilung der Unternehmensformen in der Wasserversorgung bezogen auf das Wasseraufkommen	44
Abbildung 3-5	Organisationsformen der Träger der Abwasserentsorgung 2003	44
Abbildung 3-6	Kostenstruktur in der Wasserversorgung.....	46
Abbildung 3-7	Kostenstruktur in der Abwasserentsorgung	47
Abbildung 3-8	Preisentwicklung beim Trinkwasser	50
Abbildung 3-9	Wasserabgabe nach Kundengruppen.....	53
Abbildung 3-10	Prognosen des Haushaltswasserverbrauchs.....	55
Abbildung 3-11	Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser.....	55
Abbildung 3-12	Entwicklung des spezifischen Wasserverbrauchs in alten und neuen Bundesländern	56
Abbildung 3-13	Bevölkerungsentwicklung in Deutschland (1991-2005)	58
Abbildung 3-14	Ober- bzw. Untergrenze der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung in Deutschland nach der Variante „mittlere Bevölkerung“ der 11. Bevölkerungsvorausberechnung.....	60
Abbildung 3-15	Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Kopf und Bevölkerungsentwicklung bis 2020	61
Abbildung 3-16	Struktur der Haushalte nach Größe und Bundesland	64
Abbildung 3-17	Entwicklung von Kosten und Erlösen bei abnehmenden Wasserverbrauch	67
Abbildung 3-18	Entwicklung der Patentanmeldungen im Bereich Wasser- und Abwasseraufbereitung	81
Abbildung 3-19	Patentaktivitäten im Bereich Wassernutzung: Wasch- und Spülmaschinen.....	83

Abbildung 3-20	Entwicklung von Patentaktivitäten im Bereich semipermeabler Membranen im Abwasserbereich.....	85
Abbildung 4-1	Verfahren der Inhaltsanalyse	106
Abbildung 4-2	Ablaufmodell der strukturierenden Inhaltsanalyse	109
Abbildung 6-1	Kriterien an einen Modellansatz zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft.....	157
Abbildung 6-2	Einteilung von Modellansätzen mit Anwendung in wasserwirtschaftlichen Fragestellungen	158
Abbildung 6-3	Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Modelljahr“	169
Abbildung 6-4	Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Demografie“	170
Abbildung 6-5	Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Klima“	171
Abbildung 6-6	Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Recht“	172
Abbildung 6-7	Konzeption des Regimes – Wasserversorger-Klasse.....	174
Abbildung 6-8	Konzeption des Regimes – Abwasserentsorger-Klasse	176
Abbildung 6-9	Konzeption des Regimes – Haushalts-Klasse	184
Abbildung 6-10	Konzeption der Nische – Technologieanbieter-Klasse	186
Abbildung 6-11	Gesamtansicht Modellkonzept – Interaktionen zwischen Welt, Regime und Nische.....	187
Abbildung 6-12	Preisentwicklung bei Waschmaschinen – Niedrige Umweltpriorität	200
Abbildung 6-13	Preisentwicklung bei Spülmaschinen – Niedrige Umweltpriorität	201
Abbildung 6-14	Preisentwicklung bei Waschmaschinen – Hohe Umweltpriorität	202
Abbildung 6-15	Preisentwicklung bei Spülmaschinen – Hohe Umweltpriorität	203
Abbildung 7-1	Entwicklung der Haushaltspopulation im Simulationsmodell bis 2030.....	206
Abbildung 7-2	Wasserverbrauchsreduktion privater Haushalte durch demografischen Wandel	207
Abbildung 7-3	Demografiebedingter prozentualer Anstieg bzw. Rückgang der Gesamtabwassermenge, der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung sowie der Abwassergebühren von 2005 bis 2030.....	208
Abbildung 7-4	Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Waschmaschinen	209

Abbildung 7-5	Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Toilettenspülungen	211
Abbildung 7-6	Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Duscharmaturen.....	212
Abbildung 7-7	Gesamte Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Waschmaschinen, Toilettenspülungen und Duscharmaturen.....	213
Abbildung 7-8	Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch technischen Fortschritt bezogen auf 2005	215
Abbildung 7-9	Entwicklung der Abwassergebühren bei niedriger und hoher Umweltpriorität	216
Abbildung 7-10	Zunahme der Abwassergebühr bei niedriger und hoher Umweltpriorität auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte.....	217
Abbildung 7-11	Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel bei niedriger und hoher Umweltpriorität	218
Abbildung 7-12	Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischen Fortschritt bezogen auf 2005	219
Abbildung 7-13	Zunahme der Abwassergebühren bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischem Fortschritt	220
Abbildung 7-14	Veränderung der Abwasserkosten für einzelne Haushaltstypen bei niedriger Umweltpriorität in 2005 und 2030	221
Abbildung 7-15	Veränderung der Abwasserkosten für einzelne Haushaltstypen bei hoher Umweltpriorität in 2005 und 2030	221
Abbildung 7-16	Zunahme der Abwassergebühr bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischen Fortschritt auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte.....	222
Abbildung 7-17	Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel sowie zunehmende Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität	225
Abbildung 7-18	Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger	

	und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung bezogen auf 2005	226
Abbildung 7-19	Zunahme der Abwassergebühr im zentralen Abwasserentsorgungssystem bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung	227
Abbildung 7-20	Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel sowie zunehmende Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte.....	228
Abbildung 7-21	Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität bezogen auf 2005; Basis bundesdeutsche Durchschnittswerte.....	229
Abbildung 7-22	Zunahme der Abwassergebühr im zentralen Abwasserentsorgungssystem bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung; Basis bundesdeutsche Durchschnittswerte	230

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Gründung von Schwemmkanalisationen von 1850 bis 1899	31
Tabelle 3-2	Rückgewinnbare Phosphormenge in Deutschland und Verfahrensmaßstäbe.....	37
Tabelle 3-3	Wasserbrauchende Technologien in privaten Haushalten.....	38
Tabelle 3-4	Typische Kosten eines konventionellen Abwasserinfrastruktursystems in Deutschland	48
Tabelle 3-5	Durchschnittliche Wasserpreise in 2001 und 2007	50
Tabelle 3-6	Nach Einwohnern gewichtete Abwassergebührensätze nach verschiedenen Gebührenmaßstäben	51
Tabelle 3-7	Funktionen und Verwendungszweck von Trinkwasser aus Sicht der Endverbraucher	53
Tabelle 3-8	Anteile der Wasserverwendung (privater Endverbraucher)	54
Tabelle 3-9	Vergleich der Teilsysteme eines konventionellen Wasserinfrastruktursystems in einem Versorgungsgebiet	57
Tabelle 3-10	Variante „mittlere Bevölkerung“ der 11. Bevölkerungsvorausberechnung.....	59
Tabelle 3-11	Entwicklung der Altersstruktur in Deutschland.....	62
Tabelle 3-12	Entwicklung der Haushaltsgröße in Deutschland.....	63
Tabelle 3-13	Betriebstechnische und investive Maßnahmen beim Um- bzw. Rückbau kommunaler Wasserinfrastruktursysteme	66
Tabelle 3-14	Beispiele von Infrastrukturkonzepten nach unterschiedlichen Ausgangsbedingungen	96
Tabelle 3-15	Investitionen alternativer Wasserinfrastrukturkonzepte	100
Tabelle 3-16	Vergleich der Teilsysteme eines alternativen (dezentral strukturierten) Wasserinfrastruktursystems.....	101
Tabelle 4-1	Kriterien zur Auswahl einer Methode für die Akteursanalyse.....	105
Tabelle 4-2	Kodierschema der inhaltlichen Strukturierung	110
Tabelle 4-3	Aktuelle Wechselbeziehungen zwischen wasserwirtschaftlichen Akteuren	138
Tabelle 4-4	Zukünftig mögliche Wechselbeziehungen zwischen wasserwirtschaftlichen Akteuren.....	141
Tabelle 4-5:	Ergebnis der inhaltlichen Strukturierung – Zusammenfassende Akteursbeschreibung	142

Tabelle 4-6	Bewertung der Kerneigenschaften der Akteure	148
Tabelle 4-7	Gruppe der Schlüsselakteure.....	149
Tabelle 6-1	Beispiele agentenbasierter Computermodelle zur Untersuchung wasserrelevanter Themenbereiche	162
Tabelle 6-2	Bewertung der Modellansätze hinsichtlich ihrer Eignung für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft	164
Tabelle 6-3	Beispiele agentenbasierter Computerplattformen.....	166
Tabelle 6-4	Legende zu Grafiken der Agenten-Klassen	168
Tabelle 6-5	Mittlerer Wasserverbrauch nach Haushaltsgröße.....	177
Tabelle 6-6	Umweltbezogene Typisierung von Haushalten.....	178
Tabelle 6-7	Häufigkeit der Haushalte in Deutschland nach Konsumtypen	179
Tabelle 6-8	Investitions- und Effizienzgewicht der umweltbezogenen Haushaltstypen	180
Tabelle 6-9	Adoptortypen innerhalb einer Zielgruppe	181
Tabelle 6-10	Häufigkeit und Verteilung der Konsumstile	190
Tabelle 6-11	Altersstruktur der Haushalts-Population im Simulationsmodell	191
Tabelle 6-12	Nettoeinkommen nach Haushaltsgruppen	191
Tabelle 6-13	Verteilung der Adoptortypen in der Haushaltspopulation des Simulationsmodells	192
Tabelle 6-14	Verlauf des demografischen Wandels im Simulationsmodell	193
Tabelle 6-15	Kosten der Abwasserentsorgung im Simulationsmodell	194
Tabelle 6-16	Alternative Abwassertechnologien im Simulationsmodell – Kosten je Anlage	195
Tabelle 6-17	Technologische Ausstattung der Haushalts-Agenten und durchschnittliche Verbrauchswerte	197
Tabelle 7-1	Kostenvariante 2 der Abwasserentsorgung im Simulationsmodell auf Basis des bundesdeutschen Durchschnittswertes der Abwassergebühr.....	216
Tabelle 7-2	Abwassergebühren nach Anlagengröße von de- bzw. semizentralen Abwasserentsorgungsanlagen im Simulationsmodell	223

1 Problemstellung und Ziel der Arbeit

1.1 Problemstellung

Die Wasserver- und Abwasserentsorgung beruhen in Deutschland auf einem über lange Zeiträume gewachsenen Infrastrukturkonzept. Dies ist durch zentrale Aufbereitungsanlagen und weit verzweigte Netze für Trinkwasser sowie durch weitläufige Misch- bzw. Trennkanalisationen mit Anschluss an zentrale Kläranlagen gekennzeichnet. Da die Wasserver- und Abwasserentsorgung in Deutschland Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge in der Zuständigkeit der Städte und Gemeinden sind, spricht man auch von der kommunalen Wasserwirtschaft.

Voraussetzungen für die weiträumige Erschließung und die Gewährleistung einer qualitativ hochwertigen und sicheren Wasserver- und Abwasserentsorgung waren in der Vergangenheit stabile ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen sowie das Eintreten erwarteter Verhaltensformen beim Verbrauch von Wasser der verschiedenen Kundengruppen.

Unter den bislang stabilen Rahmenbedingungen galt, dass das zentrale Wasser- bzw. Abwasserinfrastrukturkonzept technische und ökonomische Vorteile gegenüber alternativen, bspw. semizentralen oder dezentralen Systemen der Wasserver- und Abwasserentsorgung aufweist. Angesichts sich verändernder technischer, ökonomischer, rechtlicher sowie gesellschaftlicher Rahmenbedingungen wird diese Grundannahme in jüngster Vergangenheit mehr und mehr hinterfragt. Hierzu veranlassen insbesondere folgende Sachverhalte:

- Der Verbrauch von Trinkwasser hat in den letzten Jahren insbesondere bei privaten Haushalten kontinuierlich abgenommen. Daraus resultieren längere Standzeiten des Trinkwassers in den Versorgungsleitungen sowie Probleme beim Abtransport des Abwassers in der Kanalisation. Um die negativen Folgen wie bspw. Wiederverkeimung des Trinkwassers, Geruchsbelästigungen aus der Kanalisation etc. zu beheben, sind von den Wasserver- bzw. Abwasserentsorgern verschiedene Maßnahmen zu ergreifen.
- Die Kostenstruktur in der Wasserver- und Abwasserentsorgung setzt sich gemessen an den Gesamtaufwendungen aus bis zu 80 % Fixkosten zusammen. Wiederum 80 % davon werden durch die weitläufigen Ver- und Entsorgungsleitungen verursacht. Diese Kostenstruktur führt dazu, dass bei einem Rückgang der Wasserverbrauchsmengen die Kosten pro verbrauchte Einheit steigen. Das bedeutet, dass die einzelnen Verbraucher trotz wassersparendem Verhalten unter Umständen höhere Kosten zu tragen haben.
- Der z. T. schlechte Zustand der Kanalisationssysteme macht auch zukünftig enorme Investitionen notwendig, um erforderliche Rehabilitationsmaßnahmen durchzuführen.

ren. Allerdings liegen hierfür bei den Kommunen, die als Träger der Wasserver- und Abwasserentsorgung für die Finanzierung solcher Maßnahmen zuständig sind, teilweise unzureichende finanzielle Ressourcen vor.

- Die Vermischung von häuslichen und gewerblichen Abwässern mit z. T. hohen Schadstofffrachten führt dazu, dass Klärschlämme verstärkt der landwirtschaftlichen Nutzung entzogen und stattdessen einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Dies bedeutet den Verlust von in Klärschlämmen enthaltenen Nährstoffen. Eine Wiedernutzung der im Abwasser enthaltenen Phosphorfracht erscheint mit Blick auf die endlichen Phosphorressourcen jedoch sinnvoll.
- Der demografische Wandel führt in einigen Regionen Deutschlands zu einer Abnahme der Bevölkerung und Zersiedlung und wirkt sich durch weitere Wasserverbrauchsreduktionen ebenfalls negativ auf die Funktionsfähigkeit der bestehenden zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgungsanlagen aus.
- Der Klimawandel führt je nach Region zu einer Veränderung der Niederschlagsmengen bzw. Trockenperioden sowie zu einer Zunahme an Starkregenereignissen. Dies kann sich bspw. auf das Wasserdargebot und die Rohwasserqualität sowie auf die Siedlungsentwässerung eines Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiets auswirken.
- Die zunehmende Europäisierung der Wasserwirtschaft kann durch Veränderungen in der Ausgestaltungsfreiheit der Kommunen bei der Aufgabenerfüllung der Daseinsvorsorge Auswirkungen auf die bisherigen Strukturen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung nach sich ziehen.

Die genannten Punkte verdeutlichen, dass die zentrale Grundkonzeption der heute etablierten Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme in technischer und ökonomischer Hinsicht in vielen Fällen bereits an ihre Grenzen stößt und die beteiligten Akteure vor große Herausforderungen stellt.

Die sich ändernden Rahmenbedingungen und die damit einhergehenden Herausforderungen an die kommunale Wasserwirtschaft werfen die Frage nach alternativen technischen bzw. organisatorischen Lösungen auf. In den letzten Jahren wurden bereits beachtliche Innovationen im Bereich alternativer, d. h. semi- bzw. dezentraler Wasserver- und Abwasserentsorgungstechnologien entwickelt, die den Bau und Betrieb kleinerer Einheiten ermöglichen. Diese innovativen Technologien und Konzepte werden bereits in zahlreichen Pilotprojekten erprobt und wissenschaftlich untersucht.

Weit reichende Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft sind bislang jedoch ausgeblieben. Inwieweit eine Transformation hin zu innovativen Wasserver- und Abwasserinfrastruktursystemen möglich ist, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur unscharf erkennbar, da sich die oben aufgezeigten Herausforderungen der kommunalen Wasserwirtschaft durch eine hohe Komplexität und Unsicherheiten bzgl.

ihres Eintretens auszeichnen. Sie betreffen zudem verschiedene Akteure, die unterschiedliche Ziele und Motivationen hinsichtlich der Versorgung mit Wasser bzw. der Entsorgung des Abwassers aufweisen. Besonders interessante Akteursgruppen sind hier neben den Kommunen mit ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen private Haushalte sowie Entwickler und Hersteller innovativer Technologien. Konkret stellen sich die Herausforderungen für diese Akteursgruppen wie folgt dar:

Kommunale Akteure

Die abnehmende Auslastung der vorhandenen Netze und Anlagen durch Reduktionen im Wasserverbrauch auf Seiten der privaten Haushalte sowie durch die Folgen des demografischen Wandels bei abnehmender Bevölkerungszahl stellen die kommunalen Akteure vor komplexe Probleme hinsichtlich der technischen und ökonomischen Funktionsfähigkeit der Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsanlagen. Je nach lokaler Situation werden in einigen Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebieten mittelfristig Um- bzw. Rückbaumaßnahmen der Netze und Anlagen notwendig, die finanzielle Zusatzbelastungen für die kommunalen Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsunternehmen darstellen. Zur Bewältigung der Herausforderungen sollten sich die kommunalen Akteure mit alternativen Technologien und Strukturen auseinandersetzen, um in der Lage zu sein, den Weiterbetrieb bestehender Anlagen anderen Systemalternativen gegenüberzustellen. Realisierbare Alternativen zu den vorhandenen technischen Infrastrukturen und organisatorischen Konzepten sind zu entwickeln und die damit verbundenen finanziellen Aspekte abzuschätzen.

Private Haushalte

Private Haushalte nutzen Trinkwasser für vielerlei Zwecke, bspw. zur Zubereitung von Nahrungsmitteln, zum Reinigen von Textilien und Geschirr, zum Abtransport von Fäkalien und Abfällen, etc. In den letzten fünfzehn Jahren hat der Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte allerdings kontinuierlich abgenommen. Gründe hierfür sind bspw. der zunehmende Einsatz innovativer wassereffizienter Haushaltsgeräte und Sanitärarmaturen sowie ein gesteigertes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung, so dass das Wassersparen als umweltschonende Maßnahme in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewann.

Durch die Kostenstruktur in der Wasserver- und Abwasserentsorgung mit hohen Fixkostenanteilen steigen jedoch bei abnehmendem Trinkwasserverbrauch die Tarife für die Wasserver- und Abwasserentsorgung. Verstärkt wird diese Entwicklung insbesondere in solchen Regionen, in denen der demografische Wandel zu abnehmenden Bevölkerungszahlen führt. Die privaten Haushalte geraten somit in eine Preisspirale. Die

Unzufriedenheit über die ökonomischen Zusammenhänge der zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgung nimmt zu.

Entwickler und Hersteller innovativer (ab)wasserbezogener Technologien

Die in den letzten Jahren hervorgebrachten Innovationen im Bereich Wasserver- und Abwasserentsorgungstechnologien wurden von engagierten Technologieentwicklern und -herstellern geschaffen. Diese Forschung und Entwicklung erfolgte überwiegend in Nischen der etablierten kommunalen Wasserwirtschaft bzw. in fachfremden Disziplinen (wie bspw. im Fall der Membrantechnik). Die alternativen Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass ihre Strukturen semizentral oder dezentral ausgerichtet sind. Sie zeigen, dass die Stofftrennung und neuartige Kombinationen von Frischwasser und Abwasser umsetzbar sind. Hierin liegt eine Chance für die Technologieentwickler und -hersteller aus der Nische herauszutreten und mit ihren Produkten in die breite Anwendung zu gelangen. Aber auch für die kommunalen Akteure bieten diese Technologien Lösungsmöglichkeiten, um die Herausforderungen aufgrund der veränderlichen Rahmenbedingungen zu bewältigen.

Die Integration neuer Technologien und Konzepte in das bestehende konventionelle System der Wasserver- und Abwasserentsorgung führt allerdings dazu, dass sich die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren verändern und es zu neuen Wirkbeziehungen zwischen ihnen kommt, die vorher nicht existierten oder geplant waren. Das Regime der kommunalen Wasserwirtschaft weist jedoch ein gewisses Beharrungsvermögen gegenüber technologischen bzw. organisatorischen Neuerungen auf, so dass aufgrund des Verhaltens verschiedener Akteure Hemmnisse gegenüber solchen Veränderungsprozessen auftreten. Diese können ursächlich dafür sein, dass alternative technische Möglichkeiten der kommunalen Wasser- und Abwasserinfrastruktur von ihnen bisher nicht oder nur im geringen Maße in Betracht gezogen werden.

1.2 Ziel der Dissertation

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Wirkzusammenhänge von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft aufzudecken und zu untersuchen, welche Impulse geeignet sind, strukturelle Transformationen auszulösen. Die Ausgangshypothese lautet dabei, dass Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft von den beteiligten Akteuren ausgelöst und vorangetrieben oder aber gebremst werden. Um die Wirkzusammenhänge von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft zu analysieren, ist es daher notwendig, die Motivationen und die Ziele für das Handeln der beteiligten Akteure zu ermitteln. Dabei sind sowohl etablierte Akteure wie Kommunen und ihre Wasserver- und Abwasserentsor-

gungsunternehmen als auch neue Akteure von Bedeutung, die bislang weniger prominent in Erscheinung getreten sind. Es wird dabei unterstellt, dass Veränderungsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft das Ergebnis von Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Akteuren sind, die unter veränderlichen Rahmenbedingungen stattfinden und in dem der Verlauf von Veränderungsprozessen aufgrund der hohen Komplexität der Rahmenbedingungen und der Interaktionen zwischen den Akteuren nur auf Basis detaillierter Analysen voraussagbar ist.

Um das vorgegebene Ziel zu erreichen, sind daher ein hinreichendes Verständnis der wasserwirtschaftlichen Systemzusammenhänge sowie eine Analyse der Mechanismen und Prozesse, die das Innovations- bzw. Adoptionsverhalten der Akteure bzgl. neuer Technologien bestimmen, notwendig. Daher sind zunächst folgende Fragestellungen näher zu untersuchen:

1. Wer sind die Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft?
2. Welche Ziele verfolgen diese Akteure und welche Einflussmöglichkeiten auf Transformationsprozesse stehen ihnen dabei zur Verfügung?
3. Welcher Veränderungsdruck wirkt über die Rahmenbedingungen der Systemumwelt der Wasserwirtschaft auf die Akteure und ihre Zielerfüllung ein?
4. Welche Wechselwirkungen existieren hinsichtlich der Diffusion innovativer Technologien zwischen den Akteuren?
5. Welche Akteure bzw. Wirkbeziehungen sind essenziell für Transformationsprozesse der kommunalen Wasserwirtschaft?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden unter Zuhilfenahme des analytischen Rahmens des Multi-Level-Ansatzes die kommunale Wasserwirtschaft und ihre Rahmenbedingungen beschrieben und analysiert. Neben den Kommunen und ihren Ver- und Entsorgungsunternehmen werden relevante Schlüsselakteure identifiziert und deren Ziele und Handlungsmotivationen ermittelt. Damit entsteht erstmals eine detaillierte Beschreibung der für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft relevanten Handlungsgrundlagen aller beteiligten Akteure.

Im Rahmen dieser Arbeit soll des Weiteren das notwendige Instrumentarium geschaffen werden, um diese Fragestellungen näher zu untersuchen und zu quantifizieren. Ziel ist die Entwicklung eines Simulationsmodells, das die Effekte der veränderten Rahmenbedingungen in den verschiedenen Transformationsphasen abbilden kann. Als neuer Ansatz sollen dabei die Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen der Systemumwelt der kommunalen Wasserwirtschaft sowie das Zusammenspiel der Handlungen wichtiger wasserwirtschaftlicher Akteure auf Regime- und Nischenebene und ihre Effekte auf das Gesamtsystem der kommunalen Wasserwirtschaft simuliert werden.

2 Theoretischer Hintergrund

Im vorliegenden Kapitel wird der Stand der Forschung als Grundlage für die Untersuchung von Transformationsprozessen in Infrastruktursystemen dargelegt. In Abschnitt 2.1 werden zunächst für diese Arbeit wichtige Begrifflichkeiten erklärt. Zudem werden verschiedene Perspektiven aufgezeigt, aus denen Infrastruktursysteme charakterisiert werden können. Erste Hinweise auf Transformationsprozesse in Infrastrukturen geben die Definitionen zu den Begriffen 'Systeminnovation' und 'Transition'. Abschnitt 2.2 zeigt theoretische Konzepte auf, die zur Untersuchung weit reichender Innovations- und Transformationsprozesse herangezogen werden können und die die Bedeutung der daran beteiligten Akteure betonen. Dabei wird insbesondere auf den Multi-Level Ansatz eingegangen, der sich als analytischer Rahmen zur Untersuchung komplexer sozio-technischer Veränderungen in Systemen bewährt hat und diese durch das Zusammenspiel von Prozessen auf drei unterschiedlichen Aggregationsniveaus erklärt. Abschnitt 2.3 schließt mit einem Resümee zur Nutzung der theoretischen Grundlagen für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft.

2.1 Definitionen

Die Entwicklung und Veränderung von Infrastruktursystemen wird in der Innovationsforschung häufig behandelt. Die zentralen Begriffe, die für die Beschreibung von Veränderungsprozessen der kommunalen Wasserinfrastruktursysteme relevant sind, werden in den folgenden Abschnitten definiert.

2.1.1 Emergenz

Im Allgemeinen bedeutet der Begriff der Emergenz das Auftreten neuer, nicht ohne weiteres voraussagbarer Qualitäten beim Zusammenwirken mehrerer Faktoren. Das Phänomen der Emergenz wird in der Literatur oft mit dem anschaulichen Zitat des Aristoteles „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ beschrieben. In verschiedenen Theorien wird der Emergenzbegriff allerdings mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet¹. Pfeifer und Scheier (1999) fassen zusammen, dass der Begriff der Emergenz vornehmlich in drei unterschiedlichen Ausprägungen verwendet wird: „(1) something surprising and not fully understood, (2) a property of a system not contained in any one of its parts, and (3) behavior that is not preprogrammed and arises from agent-environment interaction.“ Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die dritte Ausprä-

¹ Einen guten Überblick über die Verwendung des Emergenzbegriffs in verschiedenen Theorien gibt Stephan (1999).

gung des Emergenzbegriffs bedeutsam, da diese oft in der künstlichen Intelligenz im Bereich der autonomen Agenten verwendet wird.

Im Zusammenhang mit der so verstandenen Emergenz ist darüber hinaus der Begriff der Selbstorganisation von Bedeutung. In der Systemtheorie wird unter Selbstorganisation das spontane Auftreten neuer, stabiler, effizient erscheinender Strukturen und Verhaltensweisen in Systemen verstanden. Ein selbstorganisierendes System verändert seine grundlegende Struktur als Funktion seiner Erfahrung und seiner Umwelt. Die interagierenden Teilnehmer (Systemkomponenten, Agenten) handeln nach einfachen Regeln und erschaffen dabei aus Chaos Ordnung, ohne jedoch eine Vision von der gesamten Entwicklung haben zu müssen.

Nach Luhmann (1995; 1997) ist in der systemtheoretischen Betrachtungsweise Emergenz eine kennzeichnende Eigenschaft von hierarchisch strukturierten Systemen. Solche Systeme haben auf der Makroebene Eigenschaften, die auf der Mikroebene nicht vorhanden sind. Sie entstehen durch synergetische Wechselwirkungen zwischen den Elementen auf der Mikroebene. Das Verhältnis vom Ganzen und seinen Teilen wird durch die Differenz zwischen System und Umwelt ersetzt. Demnach ist die Gesellschaft emergent gegenüber den Individuen, die in Luhmanns Theorie in der Umwelt der Gesellschaft ihren Platz einnehmen.

Die Emergenz systemischer Eigenschaften weist zwei bedeutende Merkmale auf: (i) das Merkmal der Irreduzibilität und (ii) das Merkmal der Unvorhersagbarkeit.

In Bezug auf das Merkmal der Irreduzibilität formuliert Stephan (1999, S. 38) ein gegebenes „System S , dessen systemische Eigenschaft E gesetzmäßig von der Mikrostruktur $\langle c_1, \dots, c_n \mid o \rangle$ von S , das heißt den Bestandteilen c_1, \dots, c_n und ihrer spezifischen Anordnung o abhängt. E heißt irreduzibel, wenn das Gesetz, dem zufolge alle Systeme mit der Mikrostruktur $\langle c_1, \dots, c_n \mid o \rangle$ die Eigenschaft E haben, nicht einmal im Prinzip aus den Gesetzen abgeleitet werden kann, die angeben, welche Eigenschaften und Verhaltensweisen die Bestandteile $\langle c_1, \dots, c_n \rangle$ isoliert oder in einfacheren Systemen als S haben.“ Er führt weiter aus und erklärt: „Eine systemische Eigenschaft E eines Systems S ist irreduzibel, wenn sich aus dem Verhalten, das die Systembestandteile von S in anderen Konstellationen als der in S bestehenden Anordnung zeigen, *nicht* ergibt, und zwar im Prinzip nicht, wie sie sich in S verhalten.“ In diesem Verständnis ist die Irreduzibilität einer systemischen Eigenschaft das wesentliche Merkmal ihrer Emergenz.

Das Merkmal der Irreduzibilität korrespondiert mit dem Merkmal der prinzipiellen Unvorhersagbarkeit neuartiger Eigenschaften eines Systems. Stephan (1999, S. 47) formuliert durch die Betrachtung einer systemischen Eigenschaft E „die von einem Sys-

tem S mit der Mikrostruktur $\langle c_1, \dots, c_n \mid o \rangle$ erstmals zum Zeitpunkt t^0 in der Welt W instantiiert werde. E gilt dann als prinzipiell unvorhersagbar, wenn sich das Auftreten von E in W zum Zeitpunkt t^0 nicht aus den vor t^0 in W bestehen Weltzuständen sowie den bis dahin instantiierten Gesetzen ergibt.“ Er führt weiter aus, dass die systemischen Eigenschaften gemäß dieser These aus zweierlei Gründen unvorhersagbar sein können: „(i) Eine Eigenschaft kann unvorhersagbar sein, weil bereits die Mikrostruktur des Systems, dass sie erstmals instantiiert, unvorhersagbar ist. Denn wenn die Mikrostruktur eines neu entstehenden Systems unvorhersagbar ist, so sind auch die von ihr abhängigen Eigenschaften unvorhersagbar; (ii) Eine Eigenschaft kann aber auch unvorhersagbar sein, obwohl die Mikrostruktur des neuartigen Systems vorhersagbar ist, und zwar dann, wenn sie irreduzibel ist: Sind neuartige systemische Eigenschaften irreduzibel, so sind sie eo ipso vor ihrem erstmaligen Auftreten unvorhersagbar.“

Beschreibung der kommunalen Wasserwirtschaft als emergentes System

Der Betrachtungsweise Luhmanns folgend, wird die kommunale Wasserwirtschaft als hierarchisch strukturiertes System definiert, das emergent gegenüber seinen einzelnen, wasserwirtschaftlichen Akteuren ist. Demnach wird die Struktur des Systems der Wasserwirtschaft durch die Wechselwirkungen zwischen den wasserwirtschaftlichen Akteuren auf der Mikroebene des Systems bestimmt.

Überträgt man Stephans Formulierung der Irreduzibilität (Stephan 1999, S. 38) auf die kommunale Wasserwirtschaft, so sei die kommunale Wasserwirtschaft ein System S und die Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft die systemische Eigenschaft E . Die wasserwirtschaftlichen Akteure seien die Bestandteile c_1, \dots, c_n , die in einer spezifischen Art und Weise o durch Wechselwirkungen untereinander verbunden (oder angeordnet) sind. Dann hängt die Struktur, die die kommunale Wasserwirtschaft einnimmt gesetzmäßig von der Mikrostruktur $\langle c_1, \dots, c_n \mid o \rangle$ von S , das heißt den Bestandteilen c_1, \dots, c_n und ihrer spezifischen Anordnung o ab.

Die Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft wird hier als irreduzibel definiert, da die Zusammenhänge, denen zufolge jede Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft unter Beteiligung der wasserwirtschaftlichen Akteure $\langle c_1, \dots, c_n \mid o \rangle$ die Eigenschaft E hat, nicht daraus abgeleitet werden kann, welche Eigenschaften und Verhaltensweisen die wasserwirtschaftlichen Akteure isoliert oder in einfacheren Systemen als S zeigen. Das bedeutet, dass die systemische Eigenschaft der Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft ad hoc unvorhersagbar ist.

Abbildung 2-1 visualisiert das Merkmal der Irreduzibilität der systemischen Eigenschaft „Struktur“ der kommunalen Wasserwirtschaft.

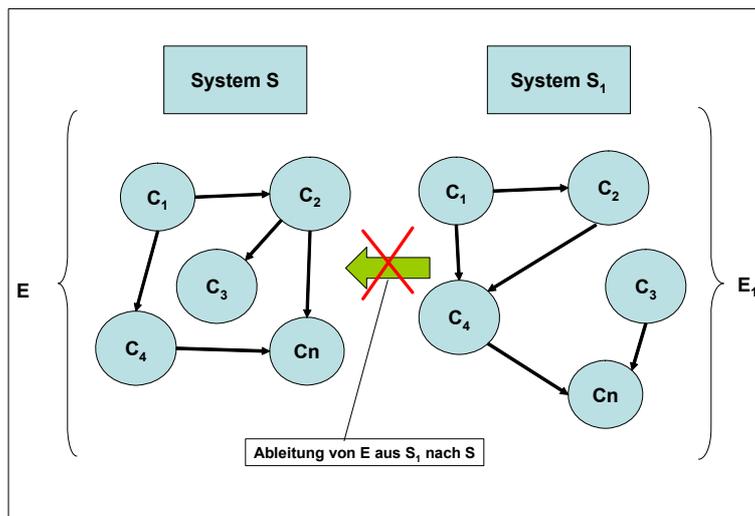


Abbildung 2-1 Irreduzibilität der systemischen Eigenschaft E

Das bedeutet zusammenfassend für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft, dass das Erreichen einer Systemstruktur abhängig ist von den Zielen, die die jeweiligen Akteure verfolgen. Die Realisierung der Ziele wird beeinflusst durch verschiedene Rahmenbedingungen, die im System vorherrschen bzw. von außen aus der Umwelt auf das System einwirken sowie von den Ressourcen, über die die Akteure verfügen und die sie zur Realisierung ihrer Ziele einsetzen können. Die Integration innovativer Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung bzw. von neuartigen Modellen zum Betrieb dieser Anlagen und Konzepte führt dazu, dass sich die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren verändern und es zu neuen Wirkbeziehungen zwischen ihnen kommt, die vorher nicht existierten oder geplant waren.

2.1.2 Innovation, Diffusion und technischer Wandel

Veränderungsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft werden u. a. getrieben vom technischen Wandel (siehe dazu Abschnitt 3.2.4). Der Begriff des technischen Wandels ist definiert als die Summe aller technischen Innovationen, d. h. die Schaffung neuer, noch unbekannter Produkte und der Übergang zu neuen Produktionsverfahren, die es gestatten, eine gegebene Menge von Produkten mit geringeren Kosten bzw. mit den gleichen Kosten eine größere Produktmenge herzustellen. Technischer Wandel beinhaltet neben solchen Effizienzsteigerungen auch die Komponente einer Qualitätsverbesserung der innovativen Prozesse und Produkte (Grupp 1997).

Neben dem technischen Wandel sind aber auch nicht-technische Innovationen an den Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft beteiligt. Der Innovationsbegriff ist weiter gefasst als der technische Wandel und wird in der Literatur zum

einen zur Beschreibung eines Prozesses und zum anderen zur Beschreibung des Ergebnisses dieses Prozesses verwendet. Der Innovationsbegriff im Sinne des Ergebnisses eines Neuerungsprozesses wird beschrieben als „...*idea, practice or object that is perceived as new by an individual or other unit of adoption*“ (Rogers 2003), wobei sich die Neuerung auf (i) technische, (ii) gesellschaftliche/soziale sowie (iii) institutionelle Innovationen beziehen kann (Lehr, Löbke 1999). Der Innovationsprozess wird in die drei Schritte (i) Invention, (ii) Innovation und (iii) Diffusion unterteilt. Die Invention ist die Erfindung einer Neuerung. Im zweiten Schritt wird die Neuerung weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht. In der Diffusionsphase breitet sich die Innovation im Markt aus. Die Diffusion von Innovationen ist demnach der Prozess, in dem eine Innovation im Zeitablauf auf bestimmten Wegen unter den Mitgliedern eines sozialen Systems verbreitet wird.

Eine weitere Klassifizierung des Innovationsbegriffs ergibt sich aus dem Grad der Erneuerung. Freeman und Perez (1988) unterscheiden vier Eingriffstiefen einer Innovation:

- **Inkrementelle Innovationen** treten kontinuierlich in allen Industriesektoren zur Verbesserung existierender Produkte oder Prozesse sowie ihrer Anwendungsmöglichkeiten, bspw. durch Effizienzsteigerungen, auf.
- **Radikale Innovationen** sind ein diskontinuierliches Ereignis, das auch nur einen oder wenige Sektoren betreffen kann. Sie stellen wesentliche Neuerungen dar, die nicht mit den bestehenden Nutzungen im betreffenden Sektor kompatibel sind und dadurch die beteiligten Akteure unter Druck setzen.
- **Veränderungen des technologischen Systems** basieren auf einer Kombination inkrementeller und radikaler Innovationen und sind weit reichender, da mehrere Branchen betroffen sein können oder neue Branchen entstehen.
- **Veränderungen des techno-ökonomischen Paradigmas** (technologische Revolution) sind in ihren Folgen so weit reichend, dass sie einen großen Einfluss auf das Handeln aller Wirtschaftsakteure ausüben.

Im vorliegenden Kontext von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft sind die Beschreibungen von radikalen Innovationen und Veränderungen des technologischen Systems besonders interessant, da in der kommunalen Wasserwirtschaft das Auftreten sowohl von inkrementellen als auch von radikalen Innovationen zu beobachten ist. Dabei geht von letzteren oftmals der Startimpuls für strukturelle Veränderungen in technologischen Systemen aus.

2.1.3 Infrastrukturen

Die Bereitstellung der Wasserver- und Abwasserentsorgung in der kommunalen Wasserwirtschaft basiert derzeit auf einem großen, zentral ausgerichteten technischen Infrastruktursystem, zu dem alle Einrichtungen und Anlagen der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung sowie des Abwasserabtransports und der Abwasserreinigung gehören. In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl von Arbeiten, die sich mit großen technischen Infrastrukturen auseinandersetzen. Das National Research Council definiert technische Infrastrukturen als „*constructed physical facilities which support the day-to-day activity for our whole society, and provides the means for distribution of resources and services, for transportation of people and goods, and for communication of information*“ (National Research Council 1995).

Eine solche technikorientierte Sicht reicht zur Behandlung von Aspekten des Systemwechsels in der kommunalen Wasserwirtschaft allerdings nicht aus. Vielmehr ist ein ganzheitliches Verständnis des Wasserinfrastruktursystems notwendig, das neben den technischen auch die ökonomischen und gesellschaftlichen Facetten berücksichtigt. Das National Research Council gibt eine umfassende funktional ausgerichtete Definition und beschreibt Infrastrukturen als „*facilities and their operations and the operating and management institutions that provide water, remove waste, facilitate movement of people and goods, and otherwise serve and support other economic and social activity or protect environmental quality*“ (National Research Council 1995). Hier werden anders als in der technikorientierten Definition nicht nur die physischen Bauwerke und technischen Bestandteile eines Infrastruktursystems sondern auch deren Betriebsweisen sowie die mit der technischen Infrastruktur befassten Institutionen berücksichtigt.

In der ökonomischen Literatur wird der Begriff des Infrastruktursystems definiert als „*die Gesamtheit der materiellen, institutionellen und personalen Anlagen, Einrichtungen und Gegebenheiten, die den Wirtschaftseinheiten im Rahmen einer arbeitsteiligen Wirtschaft zur Verfügung stehen*“ (Jochimsen 1966). In diese Definition einbezogen sind somit technische und nicht-technische Komponenten sowie die ökonomischen Akteure mit ihren wechselseitigen Beziehungen.

Die Bedeutung einer Infrastruktur für wirtschaftliche Prozesse wird durch die Definition von Smith (1997) hervorgehoben. Demnach ist ein Infrastruktursystem ein System, das aus großen, räumlich ausgedehnten, unteilbaren Investitionsgütern besteht und der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen dient, die ihrerseits von einer großen Anzahl von Nutzern als Input in viele andere ökonomische Aktivitäten benötigt werden.

Nijkamp (1986) untersucht in einer sozio-ökonomischen Herangehensweise die Bedeutung von Infrastrukturen für die Entwicklung von Regionen. Er definiert Infrastrukturen

in diesem Zusammenhang als „...*material and immaterial public capital which constitutes the breeding ground for other socio-economic activities in a county or region*“. Demnach sind Infrastrukturen nicht nur die Grundlage für jegliche wirtschaftliche Aktivität, sondern auch die Basis für weitere gesellschaftliche Prozesse.

Aus den genannten Beschreibungen leiten sich weitere Rückschlüsse auf Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft ab, die über den technischen Wandel hinausgehen. Die Schnittmenge der technischen und sozio-ökonomischen Definitionen des Begriffs der Infrastruktur, d. h. die Betonung der Bereitstellung von technischen Funktionalitäten einerseits und Grundlage für sozio-ökonomische Aktivitäten andererseits, verdeutlicht die wichtige Rolle der Infrastruktursysteme im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Entwicklung und der Wettbewerbsfähigkeit einer Wirtschaft bzw. einer Gesellschaft. In umgekehrter Wirkungsrichtung treffen aber auch Wirtschaft und Gesellschaft Entscheidungen zum Bau, Ausbau, Umbau, Betrieb etc. von Infrastruktursystemen.

Die Theorie der Social Construction of Technology (SCOT) (Bijker et al. 1993) und das Konzept der Large Technological Systems (LTS) (Hughes 1993) greifen diese Sichtweise der sich gegenseitig beeinflussenden Subsysteme „Gesellschaft“ und „technische Infrastruktur“ auf. Beide Ansätze gehen davon aus, dass es unmöglich ist, eine präzise Abgrenzung zwischen den verschiedenen Subsystemen einer Infrastruktur zu ziehen.

Das LTS-Konzept fokussiert auf die Akteure, die mit ihren Entscheidungen und ihrer Wahrnehmung von Problemen und Lösungsmöglichkeiten auf Infrastruktursysteme und deren Entwicklung einwirken. In diesem Zusammenhang wird auch das mit der Zeit zunehmende Beharrungsvermögen von großen technischen Systemen hingewiesen, das mit dem ökonomischen Konzept des technologischen Paradigmas (Arthur 1989; Dosi 1982; Rosenberg 1994) bzw. technologischen Regimes (Green et al. 1994; Nelson, Winter 1982; Rip, Kemp 1998) vergleichbar ist. Diese Konzepte beschäftigen sich mit den Mustern bzw. Pfadabhängigkeiten (Liebowitz, Margolis 1995), nach denen technischer Wandel in einem bestimmten System verläuft. Aufgrund solcher Pfadabhängigkeiten werden radikale Innovationen nur selten realisiert. Das bedeutet, dass es erst dann zu einem Systemwechsel durch radikale Innovationen kommt, wenn ein Problem nicht innerhalb des technologischen Paradigmas des bestehenden Systems durch inkrementelle Innovationen gelöst werden kann.

Der SCOT-Theorie zufolge entsteht Technologie in einem gesellschaftlichen Gestaltungs- und Aushandlungsprozess unter Beteiligung zahlreicher Akteure, die ihrerseits sehr unterschiedliche Interessen und Einflussmöglichkeiten haben und diese bei der

Gestaltung einer Technologie einsetzen. Technologie entsteht also nicht autonom und losgelöst von gesellschaftlichen Prozessen, sondern wird durch diese gestaltet. Technologischer Wandel und Innovationsprozesse bei Technologien sind demzufolge nur im gesellschaftlichen Kontext erklärbar. Nach der SCOT-Theorie kann der Funktionsumfang einer neuen Technologie erst im Verlauf ihrer Anwendung beim Nutzer bestimmt werden. Dieser Theorieansatz betrachtet daher die Entstehung von Technologie nicht als das Ergebnis eines technischen Entwicklungsvorgangs, sondern als offenen und flexiblen Prozess.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass das Veränderungspotenzial einer Technologie durch einen gesellschaftlichen Gestaltungsprozess bestimmt wird. Dieser Gestaltungsprozess wird einerseits durch die Antriebskräfte und Hemmnisse, die bei den einzelnen Akteuren für oder gegen Veränderungen bestehen, beeinflusst, und andererseits durch die Optionen und Handlungsmöglichkeiten, die den Akteuren verfügbar sind, geprägt. Das Veränderungspotenzial einer Technologie hängt somit von den jeweiligen Interessen der betroffenen und beteiligten Akteure an einer Veränderung, ihrer Wahrnehmung der Handlungsbedarfe und Handlungsmöglichkeiten, ihrer Kenntnis der verschiedenen Alternativen zur gegenwärtigen Praxis sowie von ihrer Fähigkeit ab, neue Lösungen umzusetzen (Hiesl et al. 2003).

2.1.4 Systeminnovation und Systemtransformation

Auf Basis der Begriffe des technischen Wandels, der Innovation und Diffusion sowie der Infrastrukturen lassen sich Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft theoretisch mit den Begriffen der Systeminnovation und Systemtransformation beschreiben. Diese in der Literatur synonym verwendeten Begriffe werden als langfristige, mehrere Generationen andauernde, multi-dimensionale Transformationsprozesse definiert, die die Art und Weise, wie gesellschaftlich wichtige Funktionen erbracht werden, in fundamentaler Weise verändern (Elzen 2003; Geels 2004; Quist, Vergragt 2000; Rotmans et al. 2001). Die Dimensionen dieser Transformationsprozesse können technologischer, ökonomischer, institutioneller, ökologischer oder sozialer Ausprägung sein (Rotmans et al. 2001).

Wichtige Aspekte der Systeminnovation wurden in der Literatur bereits umfassend analysiert. Einer dieser wichtigen Gesichtspunkte, der auch für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft von besonderer Bedeutung ist, ist die Vielzahl der an diesen Prozessen beteiligten Akteure. Quist und Vergragt (2000) heben den Multi-Akteurs-Charakter von Systeminnovationen hervor. Akteure sind dabei alle gegenwärtigen und zukünftigen Personen und Organisationen, die ein bestimmtes Ziel verfolgen oder ein Interesse an bestimmten Themen, Problemen, Lösungen etc. haben, die an-

dere Akteure oder Akteursgruppen betreffen oder die von anderen Akteuren beeinflusst werden können.

Geels (2004) definiert den Begriff Systeminnovation als technologische Transformation von einem sozio-technischen Regime zu einem anderen. Ähnlich wie in der funktional ausgerichteten Definition einer Infrastruktur des National Research Councils (1995) ist ein sozio-technisches Regime dabei um eine bestimmte gesellschaftliche Funktion organisiert, die von ihm erfüllt wird. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Systeminnovation ist die technologische Substitution, die sich durch (i) das Auftreten neuer Technologien, (ii) die Diffusion dieser Technologien und (iii) die Substitution alter Technologien durch die neuen Technologien vollzieht. Ein dritter bedeutender Gesichtspunkt ist die Co-Evolution zwischen Technik und Gesellschaft, wie sie auch im LTS-Ansatz bzw. in der SCOT-Theorie beschrieben ist. Das bedeutet, dass sich das sozio-technische Regime nicht wie das Konzept des technologischen Regimes allein auf eine bestimmte Technologie und auf die an ihr beteiligten Akteure bezieht, sondern auch andere soziale Gruppen (z. B. Finanzgeber, Verbraucher, Regulierungsbehörden, Wissenschaft, etc.) umfasst (Geels 2002; Geels 2005a; Geels 2005b; Geels 2005c). Neben technischen Innovationen werden auch andere initialisierende Faktoren eines Systemwandels wie Verhaltensweisen der Akteure oder gesetzliche Regulierungen berücksichtigt.

Systeminnovationen finden also nicht allein durch die Substitution einer alten Technologie durch eine neue statt. Sie sind vielmehr das Ergebnis komplexer Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Akteuren. Etablierte Unternehmen, neue (innovative) Unternehmen, Verbraucher, Regierungen, Wissenschaftler, etc. haben bestimmte, oft miteinander konkurrierende Strategien, Vorstellungen und Motivationen hinsichtlich des Transformationsprozesses und der sich entwickelnden Technologie. Erst durch diese Beziehungen und Interaktionen zwischen den Akteursgruppen werden Systeminnovationen umgesetzt.

Werden die gesellschaftlich wichtigen Funktionen über Infrastrukturleistungen erbracht, so können Systeminnovationen auch als Innovationsprozesse in großen technologischen Systemen definiert werden, die zu grundlegenden Veränderungen dieser Infrastruktursysteme und des damit verbundenen technologischen Regimes führen (Hiessl et al. 2003). Im Zusammenhang mit Infrastruktursystemen weisen Systeminnovationen folgende Kennzeichen auf, die bei der Analyse von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft zu berücksichtigen sind:

- Systeminnovationen sind multidimensional, da sie zahlreiche Subsysteme und Komponenten großer technischer Systeme betreffen. In technologischer Hinsicht umfassen sie inkrementelle und radikale Innovationen, wobei letztere oftmals den Startimpuls für eine Systeminnovation geben. Institutionelle (z. B. Gesetzgebung,

Regulierung, Standards, Traditionen) und organisatorische Innovationen (z. B. Arbeitsroutinen, Netzwerke) sind weitere wichtige Dimensionen von Innovationsprozesse in großen technischen Systemen.

- Systeminnovationen haben eine Multi-Akteurs-Eigenschaft, da sie zahlreiche weitgehend unabhängig voneinander agierende wirtschaftliche Akteure betreffen und einbeziehen, bspw. Akteure der Gesetzgebung und Verwaltung, Unternehmen der Ver- und Entsorgung, Verbraucher und Verbraucherorganisationen.
- Systeminnovationen brechen technologische, institutionelle und organisatorische Pfadabhängigkeiten auf und führen zu Veränderungen und damit zu einer Vielzahl neuer Konstellationen, die neue Handlungsspielräume und -möglichkeiten für die einzelnen Akteure eröffnen. Dieser Neuorientierungsbedarf macht es für die Akteure notwendig, hinsichtlich der Systemveränderungen mit- bzw. umzudenken und sich frühzeitig mit neuen Konzepten vertraut zu machen.
- Systeminnovationen bringen einen zeitlich-räumlichen Koordinationsbedarf mit sich, der in der Regel einen langen Zeitraum zur Realisierung erfordert, wodurch es zu Hemmnissen kommen kann, wenn die zeitlichen Perspektiven der einzelnen Akteure nicht ausreichend langfristig ausgerichtet sind oder viele Akteure mit ihren unterschiedlichen Zielsetzungen koordiniert werden müssen. Zudem wird im Zusammenhang von Transformationsprozessen eines Infrastruktursystems eine räumliche Koordination der einzelnen Teil-Innovationen notwendig, da eine Transformation ausgedehnter technischer Infrastruktursysteme nicht auf einmal, sondern nur abschnittsweise umgesetzt werden kann.

2.2 Entwicklungsphasen und Veränderungsprozesse in Infrastruktursystemen

2.2.1 Entwicklungsphasen von Infrastruktursystemen

Die Entwicklung von Infrastruktursystemen lässt sich in mehrere Phasen unterteilen. Mayntz (1988) und Kaijser (2003) zeigen, dass sich technische Infrastruktursysteme in einem mehrstufigen Entwicklungsprozess herausbilden. In der Gründungsphase geht der Startimpuls nach Kaijser (2003) häufig von radikalen Innovationen aus. Er beschreibt weiter, dass in der Gründungsphase die Anwendungspotenziale und Konsequenzen radikaler Innovationen zunächst nur schwer abgeschätzt werden können. Bevor sich ein Infrastruktursystem entwickeln bzw. ausbreiten kann, sind zudem in der Regel enorme Investitionen notwendig. Da es in der Gründungsphase schwierig ist, die zu erwartende Nachfrage nach Dienstleistungen bzw. Produkten einer Infrastruktur und ihre Akzeptanz abzuschätzen, ist die Unsicherheit sowohl bei möglichen Investoren und den betroffenen Institutionen, aber auch bei potenziellen Nutzern groß. Technische Innovationen werden daher oft durch institutionelle Innovationen begleitet, die Investiti-

entscheidungen erleichtern und Lernprozesse zum Umgang mit der neuen Technologie und optimalen Nutzung der neuen Infrastruktur anstoßen.

In der Expansionsphase wachsen die Marktanteile und damit der wirtschaftliche Erfolg der neuen Infrastruktur. Die ökonomischen Grundlagen für die weitere Expansion sowie für die technologische Weiterentwicklung der Infrastruktur werden geschaffen. Die Expansion kann dadurch begünstigt werden, dass die Kosten pro produziertes Gut mit steigender Produktionsgröße abnehmen. Abnehmende Kosten spiegeln sich in sinkenden Preisen wieder, wodurch die Nachfrage nach dem erzeugten Gut steigt (economies of scale). Ebenso können die Anwendungsgebiete eines Produkts ausgeweitet werden, was den Nutzen dieses Produkts auf der Verbraucherseite erhöht (economies of scope). Neben diesen ökonomischen Expansionskräften wirken besonders in Kommunikations-Infrastruktursystemen Netzwerkexternalitäten (economies of reach). Das bedeutet, dass immer mehr Nutzer für die Infrastruktur gewonnen werden und dadurch immer mehr Personen über das System erreicht werden können, wodurch sich der Nutzen jedes einzelnen Infrastrukturateilnehmers erhöht (Kaijser 2003).

Nach Hughes (1993) entwickeln technische Infrastruktursysteme ein Beharrungsvermögen, indem mit steigenden Investitionen durch Anlagenhersteller, Betreiber und Nutzer in ein Infrastruktursystem deren Interesse an einer weiteren Expansion des Systems gestärkt wird. Mit zunehmender Bedeutung des Systems wächst auch der Bedarf nach entsprechend ausgebildeten Fachkräften. Diese wiederum bilden eine Fachgemeinschaft, in der das systemspezifische Know-how weiterentwickelt, verfeinert und weitergegeben wird. Die Neuheit einer Technik kann zur Folge haben, dass Akteure bzw. Akteursgruppen, deren Existenz fest mit einem etablierten technischen System verbunden ist, sich nicht für eine neue Technik engagieren (Mayntz 1988:245). Hughes spricht in diesem Zusammenhang von einer „Systemkultur“, die mit den bereits oben beschriebenen Konzepten des technologischen Regimes bzw. Paradigmas vergleichbar ist.

Auch auf der Ebene der Infrastrukturnutzer baut sich während der Expansionsphase ein Beharrungsvermögen auf, wenn die in der Gründungsphase bestehenden Hemmnisse erst einmal überwunden wurden und die Kunden die Kompetenzen im Umgang mit dem Infrastruktursystem entwickelt haben und an das System gewöhnt sind. Gleichzeitig werden durch die ökonomischen Effekte neue Kunden für das Infrastruktursystem gewonnen. Es kommt zu Allianzen zwischen den Akteuren, womit häufig große ökonomische Vorteile verbunden sind.

Neben solchen positiven Effekten treten negative Effekte (z. B. Umweltverschmutzung) auf, von denen zunächst nur einige, zunehmend jedoch mehr Akteure betroffen sind.

Sie führen zu verstärkten technisch-institutionellen Anstrengungen mit dem Ziel, die Probleme zu lösen. Die resultierenden inkrementellen Innovationen lösen diese Probleme innerhalb des Systems, ohne dass es zu Kompatibilitätsproblemen zwischen den Subsystemen im zugrunde liegenden technologischen Grundkonzept käme. Inkrementelle Innovationen tragen damit zur Verstärkung des Beharrungsvermögens der Infrastruktur bei und treiben deren Verbreitung voran.

In der Stagnationsphase schwächen sich die ökonomischen Kräfte zunehmend ab. Die Skaleneffekte erreichen ein Sättigungsniveau, die Netzwerkexternalitäten sind weitestgehend erschöpft. Es kommt vermehrt zu negativen Effekten (Kaijser 2001; Kaijser 2003). Zudem üben in der Stagnationsphase auch neu auftretende konkurrierende Systeme Druck auf das etablierte Infrastruktursystem aus. Diese bieten funktional äquivalente oder bessere Leistungen wie das bestehende Infrastruktursystem an.

Hiessl et al. (2003) führen zur Bedeutung der Stagnationsphase für die beteiligten Akteure aus, dass bspw.

- bestimmte bisher wichtige Kompetenzen einzelner Akteure des alten technologischen Regimes nicht mehr benötigt werden,
- die im neuen Regime benötigten Kompetenzen durch neue Akteure bereitgestellt werden, die im alten Regime keine Rolle spielten,
- bisherige Akteure durch Qualifizierungsmaßnahmen den Umgang mit der neuen Technologie erlernen müssen, um auch im neuen Regime eine Zukunft zu haben.

Eine Systemtransformation kann relativ problemlos verlaufen, wenn sich das neue Konzept nur geringfügig vom etablierten unterscheidet. Je radikaler es aber vom etablierten System abweicht, desto schwieriger und langfristiger stellt sich ein entsprechender Transformationsprozess dar, denn desto vielfältigere Hemmnisse (technische, institutionelle, ökonomische, gesellschaftliche) müssen überwunden werden. Auch hier kann eine Parallele zu den Konzepten der Pfadabhängigkeit (Liebowitz, Margolis 1995), des technologischen Regimes bzw. Paradigmas (Dosi 1982; Nelson, Winter 1977; Rip, Kemp 1998) und des Lock-in (Arthur 1989; David 1985) gezogen werden. Beharrungskräfte in Infrastruktursystemen resultieren insbesondere aus der Langlebigkeit der technischen Anlagen und den bereits getätigten Investitionen, die bei einem Systemwechsel nicht mehr erlöst werden können.

2.2.2 Veränderungsprozesse in Infrastruktursystemen

Aus den vorangegangenen Definitionen und theoretischen Ansätzen wird bereits deutlich, dass die einem System zugeordneten Akteure bei einer Systeminnovation bzw. -transformation eine wichtige Rolle einnehmen. Die vorgestellten Definitionen und Mo-

delle der Entwicklungs- bzw. Transformationsphasen von Infrastruktursystemen ermöglichen jedoch keine detaillierten Aussagen über die Aktivitäten der Akteure und die Wechselwirkungen zwischen ihnen, die auf den Transformationsprozess Einfluss nehmen. Um die Rolle der beteiligten Akteure bei Transformationsprozessen der kommunalen Wasserwirtschaft genauer berücksichtigen zu können, werden im Folgenden zwei Ansätze vorgestellt, die die Interaktionen und Wechselwirkungen der Akteure im Rahmen solcher Prozesse detaillierter einbeziehen.

2.2.2.1 Ansatz der Innovationssysteme

Im Innovationssystemansatz werden Innovationen als interaktive Prozesse zwischen einer Anzahl unterschiedlicher Akteure verstanden. Der Innovationssystemansatz misst dem komplexen Beziehungsgeflecht der am Innovationsprozess beteiligten Unternehmen und Organisationen eine große Bedeutung bei der Entwicklung, Diffusion und Nutzung von Innovationen und Wissen bei und beschreibt den Lernprozess als entscheidenden Schlüsselfaktor für das Hervorbringen von Innovationen (Edquist 1997). Dieser Ansatz betont, dass Unternehmen nicht isoliert von anderen Unternehmen oder Akteuren Innovationen erschaffen, sondern dass das Hervorbringen von Innovationen ein gemeinschaftlicher Prozess ist. In diesem Innovationsprozess interagieren Unternehmen miteinander bzw. mit anderen Organisationen wie universitären bzw. nicht-universitären Forschungseinrichtungen, Regierungsbehörden, Finanzinstituten, etc.

Die Interaktionen können unterschiedlich ausgeprägt sein. Die Unternehmen und Organisationen können Konkurrenten oder Kooperationspartner sein, die in einem informellen Informationsaustausch stehen, in Netzwerken kooperieren und zusammenarbeiten. Dabei sind die Akteure eingebettet in den institutionellen Kontext ihres Innovationssystems, d. h. die Interaktionen werden durch die Institutionen geformt, die bspw. gesetzliche Regelungen, Regulierungen, kulturelle und technische Normen, Verhaltensweisen etc. umfassen (Carlsson, Stankiewicz 1991; Edquist 1997; Lundvall 1992a). Institutionen setzen Anreize für die Akteure zur Ausführung oder Unterlassung bestimmter Aktivitäten. Akteure können die Institutionen verändern oder anpassen bzw. neue bilden. Die Qualität des Zusammenspiels zwischen den Innovationsaktivitäten der verschiedenen Akteure und den Institutionen bestimmt die Funktions- und Leistungsfähigkeit eines Innovationssystems (Staudt 1996:4f).

In der Literatur werden Innovationssysteme auf verschiedene Weise für unterschiedliche Analysezwecke definiert. Nationale Innovationssysteme wurden als erstes Innovationssystemkonzept von Freeman eingeführt, der ein nationales Innovationssystem als „*the network of institutions in the private and public sectors, whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies*“ beschreibt (Freeman

1987:1). In diesem national geprägten Ansatz geht es um die Untersuchung gewachsener Strukturen einer Volkswirtschaft und ihrer Informationskanäle im internationalen Vergleich zur Erklärung von Wachstumsunterschieden verschiedener Nationen.

Lundvall (1992b) und Nelson (1993) entwickelten Freemans Ansatz des Innovationssystems weiter. Lundvall hebt dabei die Bedeutung von Lernprozessen in nationalen Innovationssystemen hervor und definiert: *„A central activity in the system of innovation is learning, and learning is a social activity, which involves interaction between people. It is also a dynamic system, characterised both by positive feedback and by reproduction“* (Lundvall 1992a:2).

Metcalfe (1995:462f) geht auf die Elemente eines nationalen Innovationssystems und ihre Beziehungen untereinander ein und definiert: *„A national system of innovation is that set of distinct institutions which jointly and individual contribute to the development and diffusion of new technologies and which provides the framework within which governments form and implement policies to influence the innovation process. As such it is a system of interconnected institutions to create, store and transfer knowledge, skills and artefacts which define new technologies.“* Elemente eines Innovationssystems sind demnach die an der Hervorbringung von Innovationen beteiligten Einrichtungen. Zu ihnen zählen Organisationen wie Unternehmen, Forschungsinstitute, Universitäten, das Rechtssystem mit Normen und gesetzlichen Regelungen, das Finanzsystem sowie das System der Aus- und Weiterbildung etc.

In ähnlicher Weise haben andere Autoren Innovationssysteme als sektorale Systeme und Technologiesysteme beschrieben. Das Konzept des sektoralen Innovationssystems (Breschi, Malerba 1997; Malerba 2002; Pavitt 1984) fokussiert auf die sektoralen Grundlagen und Besonderheiten eines (nationalen) Innovationssystems. Malerba (2005:65f) definiert: *„Sectoral systems of innovation have a knowledge base, technologies, inputs and a (potential or existing) demand. They are composed of a set of agents carrying out market and non-market interactions for the creation, development and diffusion of new sectoral products. These agents are individuals and organizations at various levels of aggregation, with specific learning processes, competencies, organisational structures, beliefs, goals and behaviours. They interact through processes of communication, exchange, cooperation, competition and command. Their interaction is shaped by institutions. A sectoral system undergoes processes of change and transformation through the co-evolution of its various elements“*. Dieser Ansatz konzentriert sich damit auf sektorspezifische Charakteristika der Entwicklung und Produktion von Innovationen, die maßgeblich von der jeweils vorfindbaren Wissens- und Technologiebasis, den dort handelnden Akteuren und Netzwerken sowie den charakteristischen Institutionen geprägt werden.

Einen schärferen Fokus auf technologische Entwicklungen, wie sie für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft von Bedeutung sind, bietet die technologische Ausprägung des Innovationssystemansatzes. Hier liegt das Augenmerk auf einer spezifischen Technologie und den darauf bezogenen Interaktionen, Wissensflüssen, Kompetenzen und wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen den Akteuren und Institutionen. Carlsson und Stankiewicz definieren ein technologisches Innovationssystem als *„network of agents interacting in a specific economic/industrial area under a particular institutional infrastructure and involved in the generation, diffusion, an utilization of technology.“* (Carlsson, Stankiewicz 1991:93).

Aufgrund ihrer sektoralen bzw. technologischen Spezialisierung erscheinen die Ansätze des sektoralen bzw. technologischen Innovationssystems für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft praktikabel. Allerdings machen sie keinerlei Unterscheidung zwischen neuen und etablierten Technologien sowie zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen. Eine solche Unterscheidung ist bei der Untersuchung von Transformationsprozessen in Wasserinfrastruktursystemen aufgrund der Existenz von Beharrungskräften durch inkrementelle Innovationen sowie das Auftreten von radikalen Innovationen als Impulsgeber für Veränderungsprozesse von großer Wichtigkeit. Markard und Truffer (2008) teilen daher ein technologisches Innovationssystem hinsichtlich innovativer und etablierter Technologien weiter auf. Während sich der Begriff *„generation“* in der Definition von Carlson und Stankiewicz (1991) explizit auf Innovationen bezieht, können die Begriffe *„diffusion and utilization“* auch etablierte Technologien umfassen. Demnach beinhaltet ein technologisches Innovationssystem ein Innovations-Subsystem, in dem neue Technologien entwickelt, verbreitet und angewendet werden, sowie ein Produktions-Subsystem, in dem die bereits etablierten Technologien angewendet und inkrementelle Innovationen generiert werden und diffundieren. Dieser Teil des technologischen Systems entwickelt sich entlang technologischer Trajektorien weiter. Das Innovations-Subsystem dagegen bringt radikale Innovationen hervor, die zur Entwicklung eines neuen Produktions-Subsystems oder zur Transformation des gesamten technologischen Innovationssystems führen können.

Da der Einfluss von radikalen Innovationen auf Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft von besonderer Bedeutung ist, scheint ein noch detaillierter Untersuchungsansatz notwendig zu sein, der die Entstehung und den Einfluss von radikalen Innovationen sowie die Interaktionen und Wechselwirkungen der beteiligten Akteure noch eingehender darzustellen vermag. Zudem gibt es neben dem Auftreten von radikalen Innovationen noch weitere übergeordnete Faktoren, die auf das System der kommunalen Wasserwirtschaft Einfluss nehmen und die im Innovationssystemansatz bisher keine explizite Berücksichtigung finden.

Daher wird im Folgenden der Multi-Level-Ansatz vorgestellt, der erstens zwischen der Existenz inkrementeller Innovationen und Beharrungskräfte (Meso-Level) und dem Auftreten radikaler Innovationen in Nischen (Mikro-Level) unterscheidet und zweitens den Einfluss übergeordneter Einflussfaktoren (Makro-Level) auf ein Infrastruktursystem integriert.

2.2.2.2 Multi-Level Ansatz zur Analyse von Transformationsprozessen

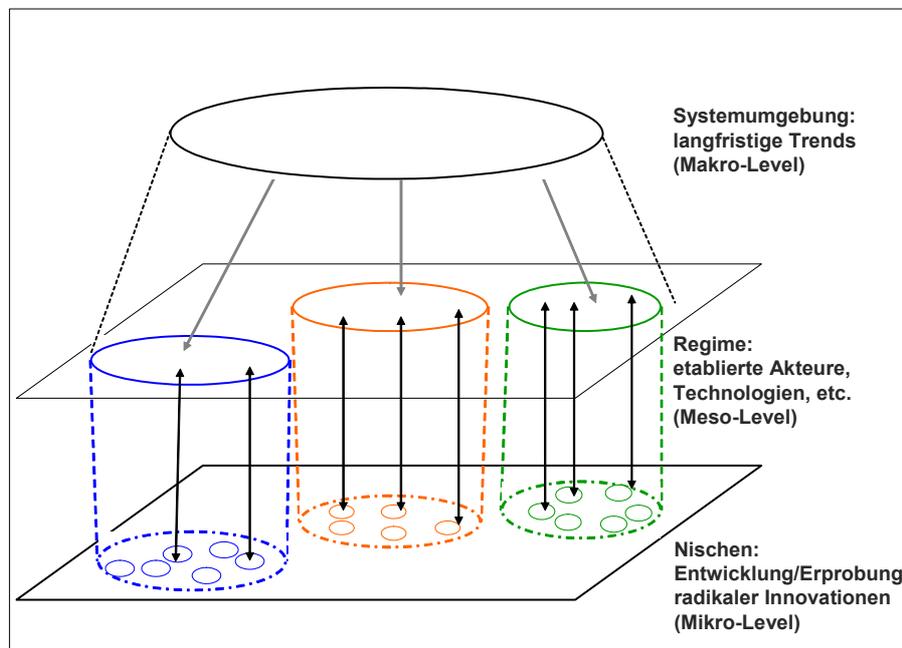
Zur Untersuchung komplexer struktureller Veränderungen in sozio-technischen Systemen wurde der Multi-Level Ansatz als hilfreicher analytischer Rahmen entwickelt (Geels 2002; Kemp 1994; Kemp et al. 1998; Rotmans et al. 2001; Schot et al. 1994; Smith et al. 2005). Dieser Ansatz unterscheidet zwischen Regime (Meso-Level), Nischen (Mikro-Level) und Systemumgebung (Makro-Level). Eine schematische Darstellung des Multi-Level Ansatzes zeigt Abbildung 2-2.

Dem Regime werden die etablierten Akteure, Technologien, Normen, Institutionen, Handlungspraktiken und anerkannten Wertvorstellungen zugeordnet (Rotmans et al. 2000). Kemp et al (2001:272) definieren ein technologisches Regime als „*grammar or rule set comprised in the complex of scientific knowledge, engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, and institutions and infrastructures that make up the totality of a technology.*“ Diese Definition unterstreicht den institutionellen Charakter des technologischen Regimes, auf dem der Stand von Wissenschaft und Technik, also das angesammelte Fachwissen, die anerkannten Sichtweisen und Handlungspraktiken der etablierten Akteure auf Probleme und Lösungsansätze, die traditionellen Produkte und Technologien, Normen, Regulierungen, etc. verortet sind. Geels (2002) führt den Begriff des sozio-technischen Regimes ein, um zum Ausdruck zu bringen, dass neben Wissenschaftlern und Ingenieuren noch weitere Akteure, wie bspw. Endverbraucher, Politiker, Verbände und andere Interessensgruppen die Regeln und Handlungspraktiken des technologischen Regimes teilen und an der Entwicklung von Produkten und Prozessen beteiligt sind und daran mitwirken. Durch dieses Regime entsteht ein starkes Beharrungsvermögen des etablierten Systems, durch das das Auftreten von Systeminnovationen oder radikalen Innovationen nur beschränkt möglich ist (Geels, Schot 2005).

Nischen sind in diesem Ansatz die Orte, in denen radikale Innovationen entstehen und getestet werden, da sie hier vor dem Selektionsdruck des vorherrschenden Regimes geschützt sind. Da die Leistungsfähigkeit der radikalen Innovationen neben einer etablierten Technologie auf dem Markt zunächst begrenzt ist, bieten die Nischen die Möglichkeit, dass sich die radikalen Innovationen dort weiterentwickeln und marktfähig werden können (Hoogma 2000; Schot et al. 1994). Die Innovationen werden in den

Nischen durch Lernprozesse immer weiter verbessert und erreichen so günstigere Preis/Leistungs-Verhältnisse und Qualitätsstandards. Diese Nischen-Innovationen werden von Netzwerken engagierter Akteure getragen und vorangetrieben. Der Multi-Level-Ansatz schließt dabei anders als die vorangegangenen theoretischen Ansätze explizit solche Akteure ein, die im bisherigen Markt keine oder nur eine geringe Rolle spielten.

Die Systemumgebung stellt den Rahmen für die veränderlichen ökonomischen, ökologischen und sozio-kulturellen Einflussfaktoren dar. Dies sind langfristige Entwicklungen bzw. sich im Zeitablauf nur langsam verändernde Strukturen, wie bspw. demografische Trends, kulturelle und politische Reformen, soziale Werte oder ökologische Veränderungen, die die Entwicklung sozio-technischer Systeme beeinflussen.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Geels (2002).

Abbildung 2-2 Schematische Darstellung des Multi-Level-Ansatzes

Die Entwicklungen und Prozesse zwischen dem Makro-, Meso- und Mikrolevel werden im Mehrphasenmodell von Rotmans et al. (2000) beschrieben und weiter konkretisiert. Aufbauend auf dem S-förmigen Verlauf der Diffusionskurve von Rogers (1995), werden vier Transformationsphasen unterschieden: (i) Vorentwicklungsphase, (ii) Startphase, (iii) Beschleunigungsphase, (iv) Stabilisierungsphase.

In der **Vorentwicklungsphase** befindet sich das etablierte System in einem Gleichgewichtszustand, es finden keine sichtbaren strukturellen Veränderungen statt. Es bilden sich jedoch erste Nischen, in denen engagierte Akteure viel Raum zum Experimentie-

ren haben. In diesen Nischen entstehen innovative Technologien sowie soziokulturelle, ökonomische, ökologische und institutionelle Neuerungen, wie bspw. Organisationsmuster, die als alternativ zum etablierten Regime gelten. Eine koordinierte Entwicklung der innovativen Ideen findet in dieser Phase jedoch noch nicht statt.

In der **Startphase** ist das Gleichgewicht des etablierten Infrastruktursystems bereits gestört, das System befindet sich in einem Übergangszustand und die Veränderungsprozesse beginnen. Diese Veränderungen finden zunächst auf der Makro- sowie auf der Mikroebene statt. Auf der Makroebene kommt es bspw. zu Umweltveränderungen oder zur Etablierung neuer politischer Rahmenbedingungen, die die Innovationstätigkeit in den Nischen verstärken. Innerhalb dieser Interaktion zwischen Makro- und Mikrolevel finden in den Nischen zunächst noch verschiedene Entwicklungen parallel statt, die nun jedoch verstärkt in koordinierter Weise vorangetrieben werden, um ein konsistentes und stärkeres Konzept ihrer gemeinsamen innovativen Ideen zu formen. Durch Lernprozesse verbessern die Nischenakteure ihre Innovationen und entwickeln technische Spezialisierungen weiter. Die innovative Technologie beginnt ihre eigene Entwicklungslinie (Trajektorie) auszubilden. Es kommt zu ersten Nischenanwendungen der innovativen Technologien und Ideen. Diese ersten Anwendungen heben nun deutlich die Gegensätzlichkeiten des etablierten Regimes und der Innovationen in der Nische hervor. Dies führt dazu, dass die Akteure des etablierten Regimes versuchen, durch Integration der Innovationen in das Regime eine weitere Polarisierung auf dem Mikrolevel zu vermeiden bzw. zu beenden. Die Unsicherheit über die weiteren Entwicklungen und Diffusionsaussichten der Nischeninnovationen sind in dieser Phase sehr hoch, eine breite Integration der Innovationen findet jedoch eher bei Sicherheit über künftige Entwicklungen und Rahmenbedingungen statt. Daher benötigt das etablierte Regime in dieser Phase Information über die Erfahrungen, die auf dem Mikrolevel zu den Innovationen gemacht wurden, um zu entscheiden, ob an der etablierten Technologie festgehalten wird oder ob mit der Integration weiterer Innovationen fortgefahren werden soll. Innovationen werden in dieser Phase oftmals durch die Ausbildung und Stabilisierung neuer Regeln und Institutionen begleitet. Das Fehlen von Feedback der Nische kann zu einem Lock-In-Effekt im etablierten Regime führen.

In der **Beschleunigungsphase** werden die strukturellen Veränderungen durch die Häufung und gegenseitige Rückwirkung der technischen, ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Innovationen im etablierten Infrastruktursystem deutlich sichtbar. In dieser Phase finden kollektive Lern-, Diffusions- und Einbettungsprozesse statt. Die Nutzer der innovativen Technologien und Ideen kommunizieren untereinander, integrieren die Innovation in ihr Lebensumfeld und erproben die neuen Funktionalitäten. Durch die Abnahme der Unsicherheit bzgl. der Innovationen werden Finanzmittel für Investitionen bereitgestellt, gleichzeitig nimmt das Wissen über die Neuerungen

schnell zu. Es kommt zur breiten Diffusion radikaler Innovationen, so dass diese nunmehr in Konkurrenz zu dem bestehenden System treten. Systeminterne Rahmenbedingungen, wie z. B. ein verbessertes Preis-Leistungsverhältnis, Netzwerkexternalitäten aber auch der Einfluss von Meinungsführern unter den beteiligten Akteuren, die den Innovationen positiv gegenüber stehen, treiben deren Diffusion weiter voran. Sobald die Mehrheit der Nutzer ihre Nutzenpräferenz zugunsten der neuen Technologien ändert, kann es zum Durchbruch des neuen Infrastruktursystems kommen.

In der abschließenden **Stabilisierungsphase** nimmt die Geschwindigkeit des technischen und gesellschaftlichen Wandels ab. Das System erreicht ein neues Gleichgewicht und es bildet sich ein Beharrungsvermögen gegenüber weiteren Innovationen. Das Erreichen dieser Phase kann aufgrund der komplexen Systemänderungen in Infrastruktursystemen einen langen Zeitraum (in der Größenordnung von Jahrzehnten) erfordern.

2.3 Resümee

Die Kenntnis über die Entstehung und Entwicklung der gegenwärtigen Wasserinfrastruktursysteme, die den Ausgangspunkt für in die Zukunft gerichtete Transformationsprozesse darstellen, ist die Basis für das Verständnis der wasserwirtschaftlichen Systemzusammenhänge.

Die SCOT-Theorie und der LTS-Ansatz betonen die Bedeutung der Wirtschaft und Gesellschaft bei der Ausgestaltung technologischer Systeme, bleiben jedoch bei der Benennung der Akteure relativ abstrakt. Nach der SCOT-Theorie wird das Veränderungspotenzial einer Technologie von den Interessen der beteiligten Akteure an einer Systemveränderung, ihrer Wahrnehmung von Handlungsoptionen, der Kenntnis von Alternativen und der Fähigkeit, solche Alternativen umzusetzen und anzuwenden, bestimmt. Dies beinhaltet auch, dass Akteure, die der Systemkultur der etablierten Infrastruktur angehören, das Veränderungspotenzial verringern und die Beharrungskräfte des etablierten Systems verstärken können.

Der Ansatz der Innovationssysteme gibt dagegen konkretere Hinweise auf die an Innovationsprozessen beteiligten Akteure. Diese sind Einzelpersonen bzw. Organisationen, die durch bestimmte Lernprozesse, Kompetenzen, Organisationsstrukturen, Ziele und Verhaltensweisen charakterisiert sind. Im technologischen Innovationssystemansatz wird noch stärker auf spezifische Technologien und die daran beteiligten Akteure fokussiert. Diese interagieren in einem Netzwerk unter bestimmten institutionellen Rahmenbedingungen miteinander und sind an der Entwicklung, Produktion, Diffusion und

Nutzung der betreffenden Technologien beteiligt. Äußere Rahmenbedingungen, die die Prozesse innerhalb des Innovationssystems sowie die beteiligten Akteure in ihren Entscheidungen beeinflussen, sind dagegen kein fester Bestandteil in diesem Ansatz.

Im Multi-Level Ansatz finden neben den etablierten und innovativen Technologien im Regime bzw. in der Nische auch die beeinflussenden Rahmenbedingungen auf dem Makro-Level Berücksichtigung. Zwar bleibt dieser Ansatz im Vergleich zum Konzept der Innovationssysteme bzgl. der an den Veränderungsprozessen beteiligten Akteure des zu untersuchenden Systems eher vage, jedoch ist ihr Zusammenspiel über die drei Level relativ genau definiert.

Der Multi-Level-Ansatz stellt daher einen geeigneten analytischen Untersuchungsrahmen dar, um zum einen zu einer detaillierten Beschreibung der kommunalen Wasserwirtschaft zu gelangen und zum anderen dort stattfindende Transformationsprozesse näher zu untersuchen.

Anhand des Multi-Level-Ansatzes und des Phasenmodells zu Transformationsprozessen von (Rotmans et al. 2001) wird die historische Entwicklung der heute vorhandenen kommunalen Wasserinfrastruktursysteme in Abschnitt 3.1.2 nachgezeichnet.

Die Beschreibung der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft mit den in ihr etablierten Akteuren erfolgt im Sinne des Regime-Konzeptes. Zusätzlich werden auf die technische, funktionale, ökonomische sowie gesellschaftliche Definitionen von Infrastruktursystemen zurückgegriffen. So wird im folgenden Kapitel ein umfassendes Bild der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft und der sie beeinflussenden Rahmenbedingungen aufgezeigt.

Das System der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung wird neben den brancheninternen Rahmenbedingungen auch von branchenexternen Faktoren beeinflusst. Zu nennen sind hier bspw. der demografische Wandel, der in Wachstums- wie in Schwundregionen in Deutschland Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme nimmt und unter Umständen Anpassungsmaßnahmen notwendig macht. Eben solche Anpassungsmaßnahmen können auch durch veränderte Niederschlagsregime und -ereignisse notwendig werden, die durch den Klimawandel verursacht werden. Daneben wirken sich auch die Diskussion um rechtliche Reformen und Liberalisierungsoptionen im Wassermarkt auf die Veränderungsprozesse in der deutschen Wasserwirtschaft aus. Schließlich spielt der technische Fortschritt durch das Auftreten immer effizienterer innovativer wasser- und abwassertechnischer Anlagen und Systemkomponenten eine Rolle bei der Funktionsfähigkeit des etablierten Wasserinfrastruktursystems und somit beim Systemwandel der kommunalen Wasserwirt-

schaft. Diese wichtigen Einflussgrößen werden im Sinne des Makro-Levels beschrieben.

Aus diesen Einflussfaktoren lassen sich verschiedene Probleme und Herausforderungen ableiten, mit denen sich die heutige kommunale Wasserwirtschaft konfrontiert sieht. Ausgehend von diesen Problemen und Herausforderungen wird aus der Nischen-Perspektive des Multi-Level-Ansatzes heraus untersucht, welche Innovationen in der kommunalen Wasserwirtschaft auftreten und Transformationsprozesse auslösen können. Diese Komponenten innovativer Infrastruktursysteme werden ebenfalls aus technischer, rechtlicher, organisatorischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht beschrieben.

Da Transformationsprozesse durch die Interaktionen und Wechselwirkungen der Akteure geprägt werden, ist neben der Beschreibung der kommunalen Wasserwirtschaft und der Identifizierung der beteiligten Akteure zu untersuchen, welche Ziele und Einflussmöglichkeiten diese Akteure aufweisen, welchen technologischen und konzeptionelle Pfadabhängigkeiten sie gegenüber innovativen Wasserinfrastrukturkonzepten unterliegen, in welchen Beziehungen sie miteinander stehen und welche Wechselwirkungen zukünftig von diesen Beziehungen ausgehen können, um eine neue Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft zu erreichen.

Das Ergebnis dieser Beschreibung der kommunalen Wasserver- und Abwasserinfrastruktursysteme und der Analyse der beteiligten Akteure ist ein klares Verständnis der Systemzusammenhänge im Innovationssystem der kommunalen Wasserwirtschaft, auf dessen Basis dann die Zusammenhänge, die zu Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft führen können, untersucht werden.

3 Die kommunale Wasserwirtschaft in Deutschland und Einflussfaktoren auf ihre Dynamik

Veränderungen in den Rahmenbedingungen der kommunalen Wasserwirtschaft und mögliche Transformationsprozesse werden in wissenschaftlichen Forschungsprojekten seit einigen Jahren untersucht. In dem im Zeitraum von 2002 bis 2006 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojekt „Integrierte Mikrosysteme der Versorgung“² wurden bspw. für den Sektor Wasserwirtschaft die gegenwärtigen Strukturen sowie die Veränderungsdynamiken untersucht, die innerhalb der nächsten Jahrzehnte zu grundlegenden Veränderungen in der Wasserwirtschaft führen können. Die Veränderungsfaktoren wurden dabei den drei Handlungsfeldern Governance, Konsum und Innovation zugeordnet. Als wichtige Veränderungsfaktoren in diesen Handlungsfeldern werden u. a. die Reduzierung des Wasserverbrauchs durch steigendes Kostenbewusstsein und eine steigende Nachfrage nach innovativen wassersparenden Technologien sowie die Akzeptanz für diese Technologien genannt (Rothenberger 2003).

Das Projekt „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Kommunalbeispiele für eine zukunftsfähige Wasserver- und Abwasserentsorgung“ (Laufzeit Juli 2007 – Dezember 2009) im Forschungsverbund netWORKS³ fokussiert auf den Einflussfaktor Demografie und die Herausforderungen, die sich daraus für die Kommunen ergeben. Innovationen im Bereich alternativer Wasserver- und Abwasserentsorgungstechnologien werden dabei als Chance für kommunale Ver- und Entsorgungsunternehmen betrachtet (Kluge et al. 2003; Kluge, Scheele 2003; Koziol et al. 2006).

Ausgehend von den Veränderungen der Geschäftsgrundlagen kommunaler Unternehmen der Ver- und Entsorgungsbranche untersucht die Forschungspartnerschaft INFRAFUTUR die „Perspektiven dezentraler Infrastrukturen im Spannungsfeld von Wettbewerb, Klimaschutz und Qualität“⁴, wobei noch stärker als in den oben genannten Forschungsarbeiten die kommunalen Ver- und Entsorgungsunternehmen im Mittelpunkt der Untersuchung stehen (Richter et al. 2007).

Die genannten Arbeiten haben gemeinsam, dass die Kommunen mit ihren Unternehmen der Ver- und Entsorgung im Fokus stehen. Andere Akteure wie bspw. private Haushalte und Entwickler innovativer wassersparender Technologien werden eher am

2 Weitere Information unter <http://www.mikrosysteme.org>

3 Weitere Information unter <http://www.networks-group.de>

4 Weiter Information unter <http://www.infracatur.de>

Rande betrachtet. Die Ziele und Motivationen, die diese Akteure mit dem Gebrauch von Wasser verbinden und die Wechselwirkungen, die sie zu anderen Akteuren aufweisen und durch die sie das System der kommunalen Wasserwirtschaft in seiner strukturellen Entwicklung beeinflussen, bleiben weitestgehend ohne Berücksichtigung. Ebenso werden die Rahmenbedingungen aus der Umwelt der kommunalen Wasserwirtschaft eher punktuell beleuchtet; der Einfluss, den die Veränderungen der bisher stabilen Rahmenbedingungen letztendlich auf die Entscheidungen der Akteure nehmen, und die Effekte, die sich dadurch für das System der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung ergeben, bleiben ebenso ungeklärt.

In der hier vorliegenden Arbeit wird dagegen ein Blickwinkel eingenommen, in dem die kommunale Wasserwirtschaft als System aufgefasst wird. Dazu wird den Ansätzen von Luhmann (1997) und Stephan (1999) gefolgt, die Veränderungsprozesse in Systemen als das Ergebnis von Wechselwirkungen zwischen den am System beteiligten Akteuren verstehen. Die Veränderungsprozesse finden dabei unter sich verändernden Rahmenbedingungen statt, wobei der Verlauf der Veränderungsprozesse aufgrund der hohen Komplexität der Rahmenbedingungen und der Interaktionen nicht ad hoc voraussagbar ist (vgl. Abschnitt 2.1.1).

Das bedeutet, dass neben den Kommunen und ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen weitere Akteure mit ihren Zielen und Motivationen eine bedeutende Rolle in Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft spielen.

Daher wird im folgenden Kapitel unter Zuhilfenahme des analytischen Rahmens des Multi-Level-Ansatzes von Rotmans (2001) (vgl. Abschnitt 2.2.2.2) die heutige kommunale Wasserwirtschaft auf Regime-, Nischen- und Systemumweltebene analysiert. Des Weiteren werden wichtige Akteure (Abschnitt 3.1) sowie Einflussfaktoren aus der Umwelt der kommunalen Wasserwirtschaft (Abschnitt 3.2), die die Akteure in ihren Entscheidungen beeinflussen, identifiziert.

Aus diesen ersten beiden Abschnitten des Kapitels 3 werden die Herausforderungen und Problemstellungen, die im Regime der kommunalen Wasserwirtschaft selbst aber auch aus ihrer Systemumwelt heraus auf die Struktur der kommunalen Wasserwirtschaft einwirken, abgeleitet und zusammenfassend dargestellt (Abschnitt 3.3).

Darauf aufbauend werden Nischen der kommunalen Wasserwirtschaft vorgestellt, in denen engagierte Entwickler und Hersteller innovative Technologien und Konzepte zur Wasserver- und Abwasserentsorgung hervorbringen (Abschnitt 3.4).

Diese Analyse und Beschreibung der kommunalen Wasserwirtschaft und ihrer Akteure wird vorgenommen, um erste Erkenntnisse über die Wirkzusammenhänge möglicher Veränderungsprozesse kommunaler Wasserinfrastruktursysteme zu gewinnen.

Diese fließen im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit in ein Simulationsmodell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft ein, um den Einfluss der Veränderungen auf die Akteure und die Effekte auf die kommunale Wasserwirtschaft genauer zu bestimmen.

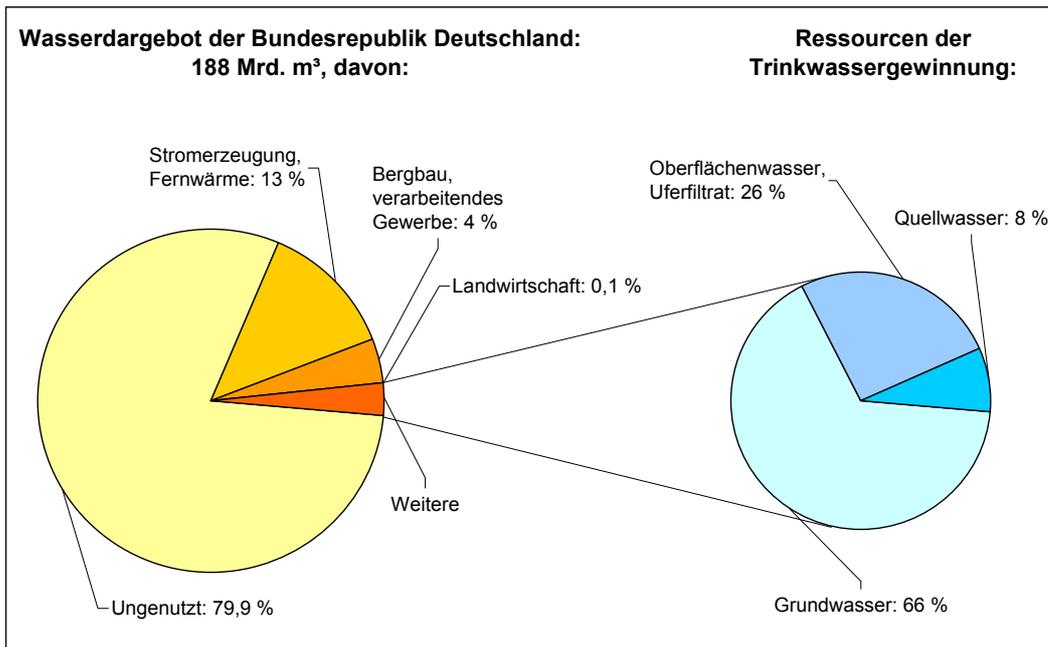
3.1 Regime: Beschreibung heutiger kommunaler Wasserinfrastruktursysteme

3.1.1 Ausgangssituation

Die Bundesrepublik Deutschland ist ein wasserreiches Land, das über ein Wasserdargebot von ca. 188 Mrd. m³ verfügt. Unter allen Wassernutzern nutzt die öffentliche Trinkwasserversorgung rd. 3 % des Wasserdargebots (ca. 5,4 Mrd. m³), ca. 80 % des Wasserdargebots bleiben ungenutzt. Der Rest wird für die Erzeugung von Strom und Fernwärme (ca. 13 %), im Bergbau und verarbeitendem Gewerbe (ca. 4 %) sowie in der Landwirtschaft (ca. 0,1 %) verwendet. Für die Trinkwassergewinnung werden meist örtliche Ressourcen genutzt. Grundwasser stellt dabei den größten Anteil (66 %) dar, gefolgt von Oberflächenwasser und Uferfiltrat (26 %) sowie Quellwasser (8 %) (Abbildung 3-1).

Die Wasserver- und Abwasserentsorgung sind in Deutschland Aufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge in der Zuständigkeit der Städte und Gemeinden. Daher spricht man in Deutschland von der kommunalen Wasserwirtschaft. Die Wasserversorgung sowie Abwasserableitung und -behandlung findet in so genannten Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebieten statt. Ein Wasserversorgungsgebiet ist ein geographisch definiertes Gebiet, in dem das Wasser für den menschlichen Gebrauch aus einem oder mehreren Wasservorkommen stammt und in dem die Wasserqualität als nahezu einheitlich im Sinne der anerkannten Regeln der Technik angesehen werden kann⁵. In den Entsorgungsgebieten wird das unverschmutzte Regenwasser am Anfallort versickert oder zum Vorfluter geleitet bzw. vermischt mit den anfallenden Abwässern zur zentralen Kläranlage transportiert und gereinigt.

⁵ Siehe Anmerkung 1 in Anlage 4 der Trinkwasserverordnung 2001.



Quelle: Statistisches Bundesamt (2006h).

Abbildung 3-1 Wasserdargebot und Ressourcen der Trinkwassergewinnung

3.1.2 Entwicklungsphasen der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft

Für das Verständnis von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft ist die Kenntnis der historischen Entwicklung dieses technischen Infrastruktursystems bedeutsam. Mayntz (1988) und Kaijser (2003) unterteilen den Entwicklungsprozess technischer Infrastruktursysteme in mehrere Stufen. Dieses Phasenmodell wird im Folgenden verwendet, um die Entstehung des heutigen kommunalen Wasserinfrastrukturkonzepts nachzuzeichnen.

Die **Gründungsphase** der heute in den industrialisierten Ländern bestehenden Wasserinfrastruktursysteme datiert in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts. Bis dahin lebte der überwiegende Teil der Menschen auf dem Land. Die Verstädterung ging mit der beginnenden Industrialisierung einher. Damals wurden erste Schwemmkanalisationen⁶ eingerichtet, die den Startimpuls für die Entstehung der heutigen Wasserinfrastruktursysteme auslösten (Tabelle 3-1).

⁶ Abfälle und Abwässer werden durch Wasser weggespült.

Tabelle 3-1 Gründung von Schwemmkanalisationen von 1850 bis 1899

Zeitraum	Anzahl der Schwemmkanalisationen
1850-1856	5
1860-1869	22
1870-1889	23
1880-1889	79
1890-1899	221

← Beginn des Kläranlagenbaus

Quelle: Meurer (2000).

Diese Kanalisationen förderten auf der einen Seite die Hygiene der Lebensumstände in den Städten. Gleichzeitig aber kam es dort, wo keine Abwasserverrieselung stattfand, zu erheblichen Gewässer- und Bodenbelastungen. Im Wesentlichen wurden in den neuen Schwemmkanalisationen nur Regen- und Küchenabwässer bzw. industrielle Abwässer abgeleitet. Der Fäkalien entledigte man sich in den meisten Städten zunächst noch über Grubensysteme.

Die Einführung von Wasserklosetts läutete die eigentliche Expansionsphase der heutigen Wasserinfrastruktursysteme ein. Unter Fachleuten wurde über das Für und Wider der Schwemmkanalisation und der Ableitung von Exkrementen eine heftige Diskussion geführt. Gegner der neuen Infrastrukturen befürchteten den Verlust der Exkremente als Düngemittel für die Landwirtschaft. Vor dem Hintergrund der Entstehung und Verbreitung der Cholera setzten sich jedoch letztendlich die Befürworter der Abschwemmung der Exkremente über die Kanalisation durch. Die Verunreinigungen der Flüsse und Gewässer führte bald zur Entwicklung von Kläranlagen. 1887 wurde in Frankfurt/M. die erste Kläranlage auf dem europäischen Kontinent gebaut. Zur Reinigung der Abwässer wurden chemische Fällungsmittel eingesetzt.

Der Wasserbedarf in den Häusern war im 19. Jahrhundert noch gering. Badeeinrichtungen im Haus, aber auch öffentliche Badeeinrichtungen, waren selten. Erst durch die Ausbreitung der bereits erwähnten Cholera und anderer Infektionskrankheiten (Typhus, Pocken) erlangten Fragen der Trinkwasserhygiene und die Beseitigung der flüssigen und festen Abfallstoffe eine wachsende Bedeutung. Durch Fortschritte in der Herstellung von Pumpen und gusseisernen Druckrohrleitungen sowie durch die Möglichkeit des Pumpenantriebs mittels der Dampfmaschine waren die technischen Voraussetzungen für den Transport von Wasser über weite Strecken und große Höhen geschaffen. Seit 1800 wurden Bohrbrunnen im Brunnenbau angewendet, durch die Wasser aus größerer Tiefe entnommen werden konnte. Veranlasst durch den Großbrand in Hamburg im Jahr 1842 wurde 1848 die erste zentrale Wasserversorgung in Deutsch-

land geschaffen. Aufgrund der wachsenden Anforderungen an hygienisch einwandfreies Trinkwasser wurden die Wasserversorgungssysteme im Laufe der Zeit durch Anlagen der Trinkwasseraufbereitung wie Langsamfilteranlagen und später (ab 1882) durch Anlagen der Belüftung zur Enteisung erweitert. Mit steigendem Wasserbedarf wurden Anlagen der Trinkwasserspeicherung (Wassertürme) ergänzt, die erste Trinkwassertalsperre wurde von 1889 bis 1891 für die Stadt Remscheid gebaut. Im Jahre 1934 waren von insgesamt 66 Mio. Einwohnern rd. 40 Mio. (61 %) an zentrale Trinkwasserversorgungsanlagen angeschlossen.

In der **Expansionsphase** der Wasserinfrastruktursysteme kam es zur Ausbildung erster wasserwirtschaftlicher bzw. wasserrechtlicher Institutionen, da die entstehenden großen Leitungsnetze Vorschriften für die Produktion, Abmessungen, Festigkeiten und weitere Merkmale erforderten. Als erste Fachgemeinschaften, die sich mit diesen Aufgaben auseinandersetzen, wurde 1856 der Verein deutscher Ingenieure und 1859 der Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachleuten gegründet. Die Errichtung und Bewirtschaftung von Talsperren erfolgte ebenfalls durch neu gegründete Vereine bzw. Genossenschaften, wie bspw. dem Ruhrtalsperrenverband (1898) und der Emschergenossenschaft (1904).

Heute weist die öffentliche Trinkwasserversorgung in Deutschland grundsätzlich eine hohe Versorgungssicherheit und eine hohe Qualität des Trinkwassers sowie relativ geringe Wasserverluste auf. Die Zuverlässigkeit bei der Abwasserentsorgung ist ebenfalls hoch, die Kläranlagen erzielen insgesamt eine Reinigungsleistung, die den gesetzlichen Anforderungen entspricht oder darüber liegt.

Dennoch können dem Entwicklungsphasenmodell von Rotmans (2001) entsprechend verschiedene Sachverhalte als Indiz dafür herangezogen werden, dass das bestehende System der Wasserwirtschaft mittlerweile seine **Stagnationsphase** erreicht hat. Dies sind bspw.:

- Sättigungseffekte bei der Nachfrage nach der Wasserinfrastrukturleistung (abnehmende Trinkwasserverbrauchsmenge).
- Zukünftig sind keine weiteren positiven Netzwerkeffekte aufgrund des hohen Anschlussgrades an die öffentliche Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erwarten.
- Inkrementelle Innovationen tragen zunächst zur Lösung von auftretenden Problemen bei, sind aber nicht in der Lage, die grundlegenden Probleme, wie sie sich bspw. aus einer reduzierten Trinkwasserverbrauchsmenge ergeben, zu lösen.
- Auftreten von innovativen Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepten, die mit dem etablierten Wasserinfrastruktursystem nicht kompatibel sind, sondern mit ihm in

Konkurrenz treten. Verschiedene Demonstrationsprojekte⁷ zeigen, dass solche innovativen Konzepte durch die Installation und den Betrieb von wassersparenden Sanitärarmaturen, Regen- und Grauwassernutzungsanlagen sowie Kleinkläranlagen funktional äquivalente Leistungen wie das konventionelle Wasserinfrastruktursystem für die Endverbraucher anbieten.

Die negativen Effekte setzen zusammen mit den innovativen Anlagen und Systemkomponenten konkurrierender Wasserinfrastruktursysteme das etablierte System der zentral ausgerichteten kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung zunehmend unter Druck.

Dies wirft die Frage auf, wie sich das heutige System der kommunalen Wasserwirtschaft zukünftig weiterentwickeln wird. Bevor jedoch untersucht wird, unter welchen Rahmenbedingungen es zu Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft kommen kann, wird in den folgenden Abschnitten zunächst die heutige konventionelle Wasserwirtschaft näher beschrieben.

3.1.3 Technische Bestandteile

Die heute vorhandenen konventionellen Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen der Ver- bzw. Entsorgungsgebiete unterliegen einer zentralistischen Grundkonzeption. Das bedeutet, dass die Aufbereitung des Trinkwassers und die Behandlung der Abwässer in großen zentralen Anlagen erfolgen. Die Verteilung des Trinkwassers und die Sammlung und Ableitung der Regen- und Abwässer erfolgt in weit verzweigten Leitungs- bzw. Kanalisationsnetzen.

3.1.3.1 Öffentliche wasserversorgungstechnische Bestandteile

In Deutschland betreiben heute ca. 6.000 Wasserversorger rd. 14.500 Wassergewinnungsanlagen (Leist 2007; Statistisches Bundesamt 2006g). Wassermangelgebiete mit nur geringen Grundwasservorkommen werden über Fernwasserleitungen mit Wasser versorgt, das durch ca. 300 Talsperren bereitgestellt wird. Daneben gibt es ca. 185.000 Hausbrunnen oder Quellen, aus denen Trinkwasser gewonnen wird (Statistisches Bundesamt 2006f). Genaue Daten über die gesamte Netzlänge der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland liegen nicht vor. Schätzungen ergeben jedoch eine Netzlänge (ohne Hausanschlussleitungen) von rd. 500.000 km (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2005). In der Trinkwasserversorgung werden Anschlussgrade von 99 % erreicht.

⁷ Vgl. (Hiessl et al. 2003; Rudolph, Schäfer 2002; Wupperverband 2003).

Die Städte und Gemeinden stellen als Träger des Brandschutzes über die öffentliche Trinkwasserversorgung eine ausreichende Löschwasserversorgung für die Feuerwehren sicher. Dazu wird das Netz der öffentlichen Trinkwasserversorgung durch technische Einrichtungen und Entnahmestellen (Hydranten und andere Armaturen) ergänzt, um den Löschwasserzugang der Feuerwehren zur Gewährleistung des Brandschutzes sicherzustellen. Die Bereitstellung einer ausreichenden Löschwasserversorgung für die Feuerwehren durch die Städte und Gemeinden wird als abhängige Löschwasserversorgung bezeichnet. Dort, wo eine abhängige Löschwasserversorgung nicht möglich ist, wird die Versorgung mit Feuerlöschwasser durch Wasserentnahmestellen aus Bächen, Seen oder speziell angelegten Löschwasserbehältern bereitgestellt⁸.

Die in der kommunalen Wasserversorgung genutzten technischen Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung und -verteilung weisen eine hohe technische Lebensdauer auf.

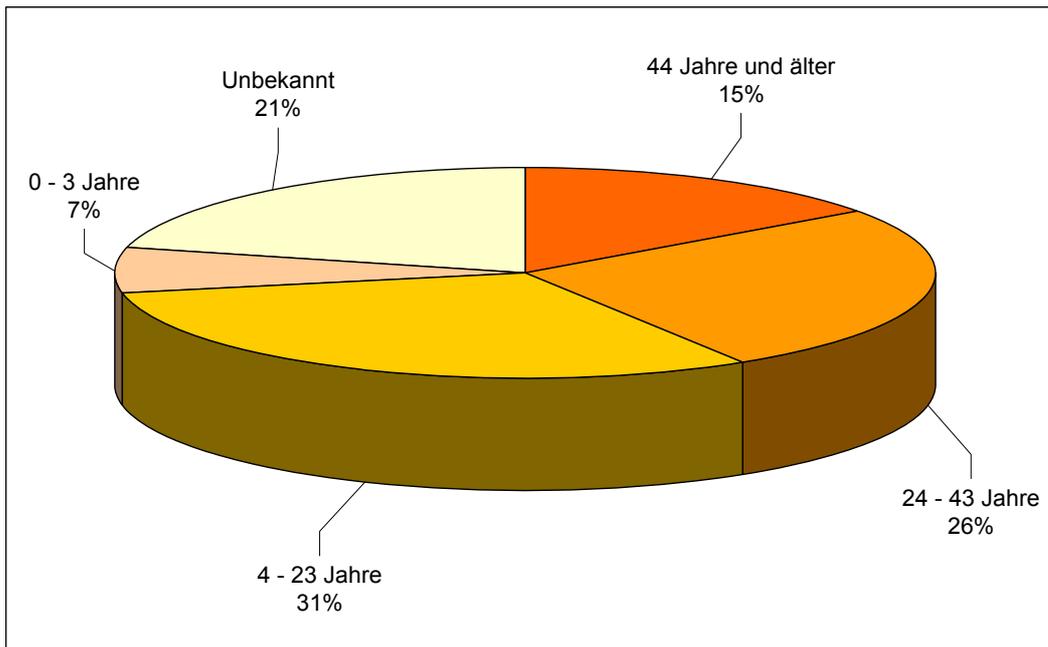
Die öffentliche Trinkwasserversorgung stellt ein offenes Durchflusssystem dar. Das heißt, dass Trinkwasser in das kommunale Verteilungssystem eingespeist, meist einmal genutzt und dann als Abwasser abgeleitet wird. Ein wesentlicher Anteil des Trinkwassers dient als Transportmedium für Fäkalien und Abfall.

3.1.3.2 Öffentliche abwassertechnische Bestandteile

Die Gesamtlänge der öffentlichen Kanalisation in Deutschland beträgt ca. 515.000 km. Davon sind 46 % Mischwasserkanäle, 33 % Schmutzwasserkanäle und 21 % Regenwasserkanäle. Der überwiegende Teil der öffentlichen Kanalisation besteht aus Beton bzw. Stahlbeton oder aus Steinzeug. Daneben werden Faserzement, Mauerwerke, Guss/Stahl und Kunststoff im Kanalbau verwendet (Berger, Lohaus 2003).

Die in der kommunalen Abwasserentsorgung genutzten technischen Anlagen zur Abwassersammlung und -reinigung weisen ebenfalls eine hohe technische Lebensdauer auf. Diese beträgt bei Abwassernetzen bis zu 100 Jahre, für Kläranlagen gelten technische Lebensdauern von 25-30 Jahren. 15 % des Kanalnetzes ist 47 Jahre alt und älter, 26 % des Kanalnetzes ist zwischen 24 und 43 und 31 % zwischen vier und 23 Jahren alt. Bei 21 % der Kanalisation ist das Alter unbekannt (Statistisches Bundesamt 2006e) (Abbildung 3-2).

⁸ Detaillierte Anforderungen an die Löschwasserversorgung finden sich im DVGW-Arbeitsblatt W 405 „Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung“.



Quelle: Statistisches Bundesamt (2006d).

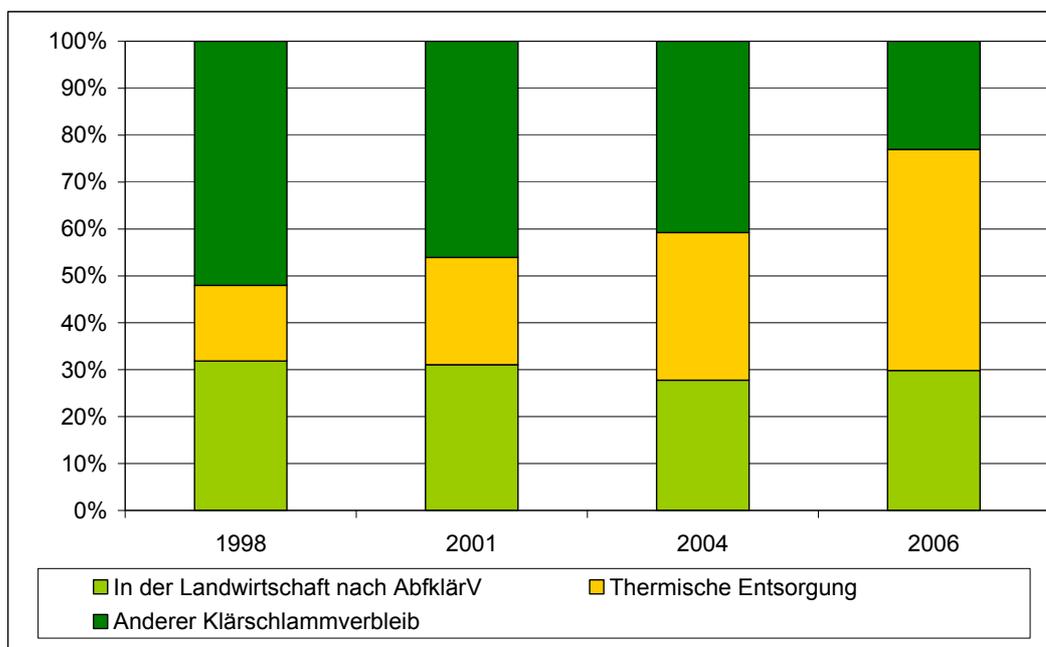
Abbildung 3-2 Altersstruktur der Kanalisation

In 2004 fiel in Deutschland eine Abwassermenge von 9.410 Mio. m³ (Schmutzwasser: 5.204 Mio. m³, Niederschlagswasser: 2.394 Mio. m³, Fremdwasser⁹: 1.812 Mio. m³) an. Trotz unterschiedlicher Inhaltsstoffe und somit unterschiedlicher Anforderungen an die Aufbereitung werden häusliche mit gewerblichen Abwässern vermischt. Ebenso erfolgt (bei Mischkanalisation) eine Vermischung von Schmutz und Regenwasser von Dach- und Straßenflächen. Zur Reinigung der Abwässer betreiben die Abwasserentsorgungsunternehmen insgesamt 9.994 Kläranlagen. Daneben werden ca. 63.000 Regenentlastungsanlagen betrieben. Der Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation liegt bei 95 % und an die öffentliche Abwasserbehandlung bei 94 %. Der verbleibende Anteil der Bevölkerung, der ohne Anschluss an die öffentliche Kanalisation ist (5 %), reinigt bzw. entsorgt sein Abwasser in ca. 2.800.000 Kleinkläranlagen bzw. in ca. 950.000 abflusslosen Gruben (Statistisches Bundesamt 2006c).

Bei der Reinigung von Abwasser fällt Klärschlamm an, in dem neben verschiedenen Nährstoffen wie Phosphor auch Schadstoffe wie bspw. Schwermetalle enthalten sind. Im Jahr 2004 fielen ca. zwei Mio. Mg Klärschlamm trockenmasse an, die – falls geeignet – einer stofflichen Verwertung (Landwirtschaft, Landschaftsbau, sonstige stoffliche

⁹ Dies ist in die Kanalisation eindringendes Grundwasser, unerlaubt über Fehlanlüsse eingeleitetes Wasser sowie einem Schmutzwasserkanal zufließendes Oberflächenwasser, das nicht in einen Abwasserkanal gehört und da es unverschmutzt ist auch nicht in einer Kläranlage behandelt werden muss.

Verwertung) oder einer Entsorgung (thermische Entsorgung, Deponie) zugeführt wurden. Aufgrund der zunehmenden Schadstoffbelastungen hat der Anteil der Klärschlamm-trockenmasse, der thermisch entsorgt wurde, in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen (Abbildung 3-3).



Quelle: Statistisches Bundesamt (2006j).

Abbildung 3-3 Entwicklung des Klärschlammverbleibs

Gleichzeitig sind die natürlichen Phosphorvorräte der Erde begrenzt. In den nächsten Jahren werden Engpässe auf dem Weltmarkt erwartet. Daher hat die Rückgewinnung von Phosphor aus dem Kläranlagenablauf, den Schlammwässern, dem Faulschlamm oder der Klärschlammmasse an Bedeutung gewonnen. Tabelle 3-2 zeigt das in den jeweiligen Klärrückständen enthaltene Phosphorrückgewinnungspotenzial auf, das zwischen 15.000 und 27.000 Mg P/a liegt (Montag et al. 2008). Eine Wiedernutzung der über die Nahrung und Fäkalien bzw. Urin ins Abwasser gelangte Stickstoff- und Phosphorfracht wird jedoch erst seit jüngster Zeit durchgeführt. Technische Anlagen und Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Abwasser wurden bislang nur im Labor bzw. im halbtechnischen Maßstab erprobt. Für die Phosphorrückgewinnung aus Prozesswässern der Schlammbehandlung und aus entwässertem Klärschlamm stehen heute zwölf Verfahren zur Verfügung, von denen bislang fünf großtechnisch umgesetzt wurden (Weideler et al. 2008). Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Asche wurden bisher nur im Labor bzw. im halbtechnischen Maßstab erprobt (Herbst et al. 2007; Schaum et al. 2008).

Tabelle 3-2 Rückgewinnbare Phosphormenge in Deutschland und Verfahrensmaßstäbe

Ort der Phosphorrückgewinnung	Kläranlagenablauf	Schlammwasser	Faulschlamm	Klärschlamm- asche
Theoretisch rückgewinnbare Phosphormenge in Deutschland pro Jahr	18.000 Mg	27.200 Mg	17.100 Mg	15.300 Mg
Maßstab der Rückgewinnungsverfahren	Labor bzw. halotechnischer Maßstab	Labor bzw. halotechnischer Maßstab; z. T. auch im großtechnischen Maßstab	Labor bzw. halotechnischer Maßstab; z. T. auch im großtechnischen Maßstab	Labor bzw. halotechnischer Maßstab

Quelle: Montag et al. (2008).

3.1.3.3 Private technische Bestandteile

Die Länge der privaten Entwässerungsleitungen in Deutschland werden auf das Doppelte der öffentlichen Kanalisation, also auf ca. eine Million Kilometer, geschätzt (Berger, Lohaus 2004). Im Gegensatz zu den langlebigen technischen Systemkomponenten der Wasserver- und Abwasserentsorgung sind die in Haushalten verwendeten technischen Komponenten wie Sanitärarmaturen (Dusche, Toilettenspülung) und Haushaltsgeräte (Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen) vergleichsweise kurzlebig (10-20 Jahre) und weisen eine relativ hohe Innovations- und Diffusionsgeschwindigkeit auf¹⁰.

Tabelle 3-3 stellt zusammenfassend wichtige private technische Bestandteile des Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungssystems mit ihren typischen Verbrauchsgrößen dar.

¹⁰ Ausgenommen hiervon sind die Wasserversorgungsleitungen und Kanalisation.

Tabelle 3-3 Wasserbrauchende Technologien in privaten Haushalten

Technologie	Wasserverbrauch
Duscharmatur ¹¹	Ältere Modelle: 25 – 20 l pro Minute Neuere Modelle ¹² : 6 – 10 l pro Minute
Toilettenspülung	Ältere Modelle: 9 – 14 l pro Spülgang Neuere Modelle ¹³ : 3 – 9 l pro Spülgang
Waschmaschine ¹⁴	Ältere Modelle: 145 l pro Waschgang (5 kg Fassungsvermögen) Neuere Modelle: 35 – 42 l pro Waschgang (5 kg Fassungsvermögen)
Geschirrspülmaschine	10 – 14 l pro Spülgang

Quellen: für Dusche und Toilette: Böhm et al. (2002); für Waschmaschine und Geschirrspülmaschine: Rüdener, Griebhammer (2004), Verband der Elektrotechnik (VDE) (2005), Stiftung Warentest (2004).

3.1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen und Organisation

Nicht nur die physischen Bauwerke und technischen Bestandteile des Wasserinfrastruktursystems, sondern auch die rechtlichen Grundlagen für deren Betrieb sowie die mit der Wasserinfrastruktur befassten Institutionen sind für das Funktionieren der heutigen Wasserinfrastruktursysteme und somit für Transformationen innerhalb dieser Systeme von großer Bedeutung. Im Folgenden werden die rechtlichen Rahmenbedingungen und die damit zusammenhängende Organisation der kommunalen Wasserwirtschaft vorgestellt.

Die Wasserver- und Abwasserentsorgung in Deutschland bestimmen sich im Einzelnen nach den Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften der Europäischen Union, des Bundes, der Länder und der Gemeinden. Dabei ist gerade der Einfluss der Richtlinien, welche die Europäische Union auf dem Gebiet des Gewässerschutzes erlässt, für die Entwicklung der nationalen Gesetzgebung im Bereich des Wasserrechts von großer Bedeutung, da diese in nationales Gesetz umgewandelt werden müssen.

11 Durchflussmenge bei maximaler Öffnung.

12 Mit Einsatz von Perlatoren, Durchflussreglern etc.

13 Mit Taste zur Unterbrechung des Spülvorgangs bzw. mit zweiter Spartaste.

14 Mitte der 1960er Jahre wurden durchschnittlich 180 Liter zum Waschen von 5 kg Buntwäsche benötigt. Von 1978 bis heute konnte der Wasserverbrauch von ca. 145 Liter pro Waschgang auf etwa 35 bis 42 Liter pro Waschgang (5 kg Fassungsvermögen im genormten Standardprogramm „60°C Baumwolle“ ermittelt nach EN 60456) reduziert werden.

3.1.4.1 Europäische Ebene

Der Beginn der europäischen Wassergesetzgebung liegt im Jahr 1975 und ist manifestiert in der Richtlinie über Oberflächengewässer¹⁵. Das Augenmerk der Rechtsvorschriften in dieser Phase lag vornehmlich auf Qualitätszielen für bestimmte Gewässerarten und Verwendungszwecke.

In diese erste Phase der europäischen Wassergesetzgebung gehört bspw. die Trinkwasserrichtlinie¹⁶ sowie die Klärschlammrichtlinie¹⁷, die für die kommunale Abwasserreinigung von Bedeutung ist (in Deutschland durch die Klärschlammverordnung und das Düngemittelrecht geregelt). Die in der Klärschlammverordnung festgelegten Schwermetallgrenzwerte werden seit geraumer Zeit kritisch hinterfragt. Es ist wahrscheinlich, dass die bestehenden Grenzwerte für Maximalgehalte von Schwermetallen in Klärschlamm zukünftig verschärft werden sowie neue Grenzwerte für organische Schadstoffe ergänzt werden. Durch diese erhöhten Anforderungen an die Klärschlammqualität ist zu erwarten, dass es zu einer weiteren Verschiebung der bisher landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämme in die Verbrennung und damit zu einer deutlichen Kostensteigerung für die Abwasserentsorgungsunternehmen und somit für deren Kunden kommt (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2008a) (vgl. hierzu auch Abschnitt 3.1.3.2).

Die zweite Phase der europäischen Wassergesetzgebung datiert in das Jahr 1988. Sie richtete sich stärker am Konzept der Emissionsgrenzwerte aus. Dieser Phase können weitere Richtlinien mit besonderer Bedeutung für die kommunale Wasserwirtschaft in Deutschland zugeordnet werden, wie bspw. die Kommunalabwasserrichtlinie¹⁸. Sie legt fest, dass bis zum 31.12.2000 alle Gemeinden mit mehr als 15.000 Einwohnerwerten und bis zum 31.12.2005 alle Gemeinden mit 2.000 bis 15.000 Einwohnerwerten kanaltechnisch erschlossen sein mussten. Kläranlagen von Gemeinden, die ihr Abwasser in Binnengewässer und Ästuare¹⁹ einleiten, mussten bis zum 31.12.2000 (Gemeinden >15.000 Einwohnerwerte) bzw. bis zum 31.12.2005 (Gemeinden mit 2.000 bis 15.000 Einwohnerwerte) mit einer zweiten Reinigungsstufe ausgestattet werden. In so

15 Richtlinie 75/440/EWG des Rates vom 16.06.1975 über die Qualitätsanforderungen an Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedstaaten.

16 Richtlinie 80/778/EWG des Rates vom 15.07.1980 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch; geändert durch Richtlinie 98/83 vom 03.11.1998.

17 Richtlinie 86/278/EWG des Rates vom 12.06.1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.

18 Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21.05.1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser; geändert durch die Richtlinie 98/15/EG vom 27.02.1998.

19 Mündung eines Flusses, die im Gezeitenbereich liegt.

genannten empfindlichen Gebieten²⁰ war bei allen Kläranlagen bis zum 31.12.1998 eine dritte Reinigungsstufe einzubauen.

Mitte der 1990er Jahre setzte die dritte, bis heute andauernde Phase der europäischen Wasserpolitik ein. Sie verfolgt den so genannten „kombinierten Ansatz“, in dem sich Emissionsgrenzwerte und Qualitätsziele einander ergänzen. Die Wasserrahmenrichtlinie²¹ ist ein Beispiel für die Umsetzung dieses kombinierten Ansatzes. Sie dient der Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der EU im Bereich der Wasserpolitik und soll die vielfältigen Richtlinien, Verordnungen und Ratsbeschlüsse im Bereich des Gewässerschutzes und der Bewirtschaftung der Wasserressourcen vereinheitlichen. Das zentrale Ziel dieser Richtlinie ist die Erreichung eines „guten Zustands“ aller Gewässer in der Europäischen Gemeinschaft bis zum Jahr 2015.

3.1.4.2 Bundes- und Landesebene

Auf nationaler Ebene ist der Bund unter Beachtung der europaweit gültigen Vorgaben für die Rahmengesetzgebung (nach Art. 75 GG) sowie für nationale Aufgaben der Wasserwirtschaft zuständig. Grundsatzfragen der Wasserwirtschaft werden als Teil der Gewässerpolitik vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) wahrgenommen. Ihm obliegt die Federführung für das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), in dem die grundlegenden Bestimmungen über die Gewässerbewirtschaftung (Wassermenge und Wassergüte) festgeschrieben sind. Mit der jüngsten Novelle des WHG im Juni 2002 wurde die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie in Bundesrecht abgeschlossen. Weitere wichtige Verordnungen im Aufgabenbereich des BMU sind die Abwasserverordnung (AbwVO)²² und die Trinkwasserverordnung. In Anhang 1 der AbwVO sind Anforderungen an häusliches und kommunales Abwasser enthalten. Die Trinkwasserverordnung (TrinkwVO), die die europäische Trinkwasserrichtlinie in Bundesrecht umsetzt, enthält spezielle Anforderungen an die Beschaffenheit des Trinkwassers sowie an die Trinkwasseraufbereitung. Außerdem sind in der Verordnung Grenzwerte für gesundheitsschädliche Stoffe und Krankheitserreger definiert.

²⁰ Die Ausweisung als empfindliches Gebiet richtet sich u. a. danach, ob die Gewässer, in welche das Abwasser eingeleitet wird, bereits eutroph sind oder von einer Eutrophierung gefährdet sind. Die Anforderungen an empfindliche Gebiete gelten dabei auch für Einleitungen in die Einzugsgebiete der empfindlichen Gewässer.

²¹ Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

²² Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer vom 21.03.1997; aktuelle Neufassung am 01.01.2005 in Kraft getreten.

Dem Minimierungsgebot des WHG entsprechend ist es das oberste Ziel der Gewässerpolitik, Belastungen der stehenden und fließenden Gewässer und des Grundwassers zu vermeiden bzw. zu verhindern und damit die Gewässer zu schützen (Minimierungsgebot des WHG). In der Regel ist hierfür der Bau und Betrieb zentraler kommunaler Abwasserentsorgungsanlagen vorgesehen. Mittlerweile entspricht es aber ebenso den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik, häusliches Abwasser bis zu einem Volumen von 8 m³ pro Tag in Kleinkläranlagen mit biologischer Nachbehandlung zu reinigen, wenn eine zentrale Abwasserentsorgung auf Grund der Siedlungsstruktur unverhältnismäßig hohe Kosten verursacht und Gründe des Allgemeinwohls dem nicht entgegenstehen (Blumberg 2007).

Gemäß dem Abwasserabgabengesetz des Bundes und ergänzender Vorschriften der Bundesländer muss für das Einleiten von Abwasser in Gewässer eine Abwasserabgabe gezahlt werden. Mit ihr wird ein ökonomischer Anreiz geschaffen, die einzuleitende Abwassermenge möglichst gering zu halten. In den meisten Bundesländern gibt es darüber hinaus Abgaben für die Entnahme von Wasser aus dem Grundwasser bzw. aus den Oberflächengewässern zur Förderung des sparsamen Umgangs mit Wasser (Bundesministerium für Umwelt 2007).

Umweltpolitische Vorhaben, Programme, Stellungnahmen und Gesetzgebungsinitiativen, die die Wasserwirtschaft betreffen müssen zwischen den daran beteiligten Bundesministerien abgestimmt werden. Wichtige Partner des BMU sind:

- Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): Es bearbeitet und fördert wasserwirtschaftliche Aufgaben im ländlichen Raum einschließlich der Maßnahmen zur Abflussregelung und des Hochwasserschutzes. Es ist außerdem federführend für das Recht der Wasserverbände.
- Das Bundesministerium für Gesundheit (BMG): Es ist verantwortlich für Fragen der Trinkwasserversorgung, wobei Fragen der Trinkwasserqualität im Vordergrund stehen.
- Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Es koordiniert die Forschungsförderung der Bundesregierung und steuert neben der Grundlagenforschung anwendungsorientierte Forschung, technologische Entwicklungen und Innovationen im Bereich der Wasserforschung und Wassertechnologie.
- Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Es vertritt die wasserwirtschaftlichen Belange bei umweltpolitischen Maßnahmen, bspw. in der Debatte um die Liberalisierung der Wasserver- und Abwasserentsorgung.

Zur Ausfüllung der Rahmenvorschriften haben die Bundesländer Landeswassergesetze bzw. Landesabwassergesetze beschlossen²³. Dabei wurde die Wasserver- und Abwasserentsorgung ausnahmslos den Kommunen per Gesetz übertragen, so dass es sich dabei in Deutschland um Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge in der Zuständigkeit der Kommunen handelt. Sie unterliegen als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft dem Selbstverwaltungsrecht der Gemeinden aus Art. 28 Abs. 2 Grundgesetz. Diese historisch gewachsene gemeinwohlorientierte Versorgung sowie die technischen Besonderheiten der leitungsgebundenen Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme begründen die Existenz so genannter natürlicher Monopole und in der Regel öffentlicher Monopole der Daseinsvorsorge, die durch § 103 GWB²⁴ (alte Fassung) den Wasserversorgungsunternehmen zugesichert sind.

3.1.4.3 Kommunale Ebene

Auf kommunaler Ebene wird das Wasserrecht weiter konkretisiert. In den Satzungen zur Abwasserentsorgung in den Kommunen wird insbesondere der Anschluss- und Benutzungszwang für das Gemeindegebiet verbindlich festgelegt²⁵. Danach ist jeder Grundstücksinhaber im Regelungsbereich dieser Satzungen verpflichtet, sein Grundstück an die öffentliche Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung anzuschließen (Anschlusszwang). Ebenso ist er verpflichtet, die gesamte auf dem Grundstück anfallende Abwassermenge in die Kanalisation einzuleiten (Benutzungszwang)²⁶.

Die Gemeindeordnungen sehen jedoch vor, dass die Abwassersatzung Ausnahmen vom Anschluss- und Benutzungszwang zulässt und den Zwang auf bestimmte Teile des Gemeindegebietes oder auf bestimmte Gruppen von Grundstücken (bspw. wegen der besonderen örtlichen Lage, der besonderen Nutzung des Grundstücks oder dem Gewerbe) beschränken kann. Liegt die Voraussetzung einer Ausnahme vor, so besteht

²³ Zur Abstimmung gemeinsamer Fragen und der Handhabung des wasserrechtlichen Instrumentariums haben sich die obersten Landesbehörden auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft zur Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zusammengeschlossen.

²⁴ Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen.

²⁵ Basis hierfür ist die Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV), die als zwingendes Recht die Versorgungsverhältnisse zwischen Wasserversorgungsunternehmen und letztverbrauchenden Endkunden gestaltet und die Rechte und Pflichten der Vertragspartner bestimmen.

²⁶ Diese Pflicht wurde ursprünglich aus gesundheitspolizeilichen Erwägungen eingeführt, um eine hinreichende Trinkwasserhygiene und eine umfassende Wasserversorgung gewährleisten zu können. Heute ist dies grundsätzlich auch mit (semi)dezentralen Wasserinfrastruktursystemen möglich. So überwiegen heute in den Diskussionen und Fallbeispielen um die Befreiung vom Anschlusszwang finanzielle Argumente, da die Kommunen ein Interesse an einer möglichst hohen Anschlussquote haben, weil sich dadurch theoretisch die Kosten für jeden einzelnen Anschluss verbilligen.

ein Rechtsanspruch auf Befreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang. Entscheidend ist, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Das bedeutet, dass grundsätzlich auch dezentrale Anlagen zur Abwasserentsorgung eingesetzt werden können.

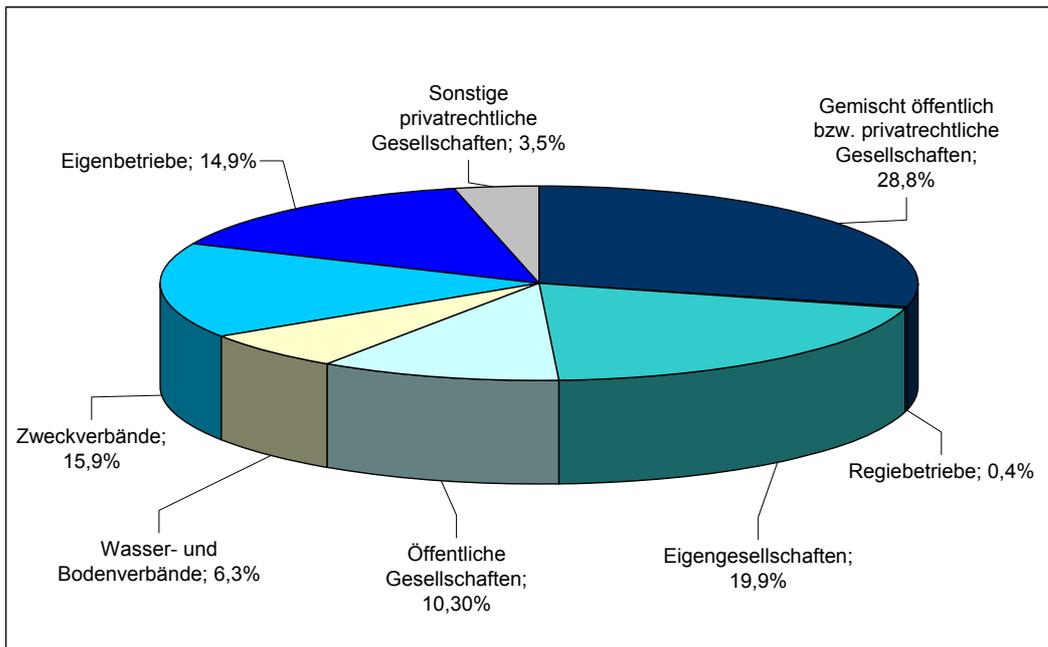
Die beiden in der Mehrheit praktizierten Alternativen – gemeindlicher Kanalanschluss oder genehmigte Befreiung von der Abwasserentsorgungspflicht mit Übertragung auf den Nutzungsberechtigten des Grundstücks – wird seit langem in der Praxis umgesetzt (Blumberg 2007). Etwa 5 % der deutschen Bevölkerung sind ohne Anschluss an eine öffentliche Kanalisation und entsorgen ihr Abwasser über Kleinkläranlagen bzw. Klärgruben. Für diese Anlagen ist auch weiterhin die Ausrüstung bzw. Nachrüstung mit einer modernen Kleinkläranlage notwendig. Der Grundstückseigentümer hat sicherzustellen, dass das biologisch gereinigte Abwasser ohne Umweltbeeinträchtigung versickert, verrieselt oder in ein Gewässer eingeleitet wird.

Zudem regelt das Kommunalrecht die Handlungsfelder und Tätigkeitsbereiche kommunaler Unternehmen. Dies betrifft u. a. das Örtlichkeitsprinzip, demzufolge das Geschäftsgebiet kommunaler Unternehmen auf die sie tragenden Gemeinden begrenzt sein soll.

Die konkrete Unternehmensform des kommunalen Wasserversorgers wird ebenfalls durch Bestimmungen auf kommunaler Ebene festgelegt. Die Städte und Gemeinden können die Pflichtaufgabe der Wasserversorgung hoheitlich wahrnehmen oder privatrechtlich organisierte Unternehmen mit der Durchführung beauftragen. Daher existieren in der Wasserversorgung öffentlich-rechtliche und privatrechtliche Organisationsformen nebeneinander (Abbildung 3-4).

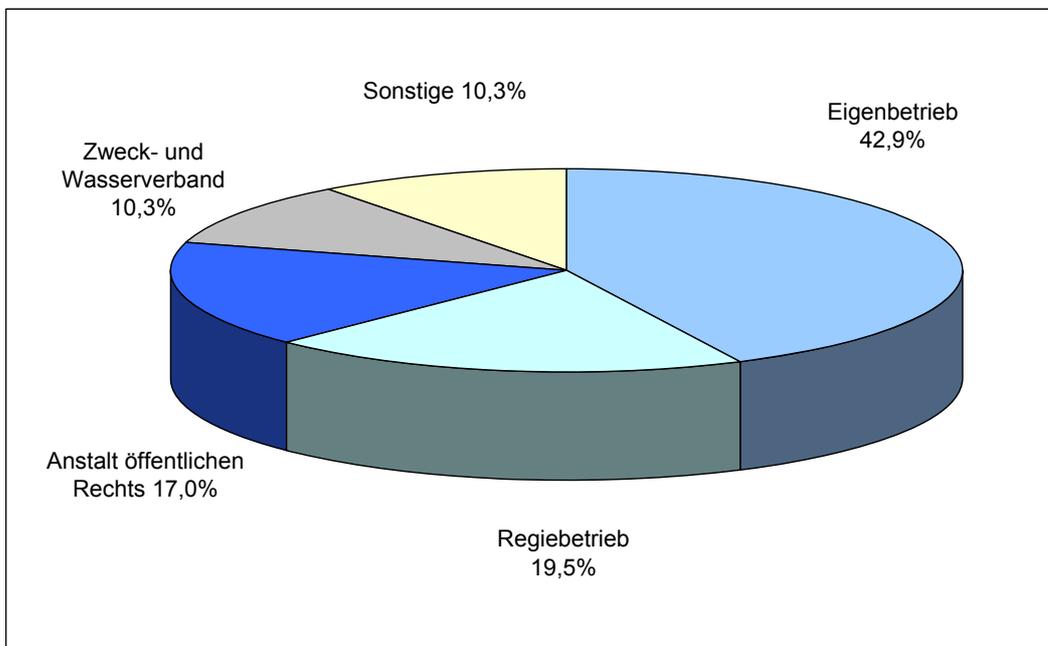
Auf dem deutschen Wassermarkt sind derzeit ca. 6.000 Wasserversorgungsunternehmen tätig (Statistisches Bundesamt 2006i). Abbildung 3-4 basiert auf Daten von 1.266 Unternehmen. Bei den ca. 5.000 nicht erfassten Betrieben handelt es sich überwiegend um Regie- und Eigenbetriebe der Kommunen.

Die öffentliche Abwasserentsorgung in Deutschland ist eine hoheitliche Aufgabe, die von Gemeinden und Städten in kommunaler Trägerschaft wahrgenommen wird. Daher dominieren in der Abwasserentsorgung öffentlich-rechtliche Unternehmen das Bild (Abbildung 3-5).



Quelle: BGW-Wasserstatistik 2003 in Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. (2005).

Abbildung 3-4 Verteilung der Unternehmensformen in der Wasserversorgung bezogen auf das Wasseraufkommen



Quelle: BGW/DWA-Umfrage 2003 in Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. (2005).

Abbildung 3-5 Organisationsformen der Träger der Abwasserentsorgung 2003

Im Abwasserbereich sind mehr als 6.000 kommunale Unternehmen in Deutschland tätig (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2005). Abbildung 3-5 basiert auf Daten von ca. 900 Abwasserentsorgern. Die ca. 5.000 darin nicht erfassten Unternehmen werden durch die Kommunen überwiegend als Regie- und Eigenbetriebe geführt.

Eine besondere Rolle spielt die in Deutschland meist freiwillige, teilweise auch vom jeweiligen Bundesland (z. B. Nordrhein-Westfalen) gesetzlich geregelte Zusammenarbeit von Gemeinden in Verbänden, um die Organisation von Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Gewässerunterhaltung technisch, wirtschaftlich und hinsichtlich eines effizienten Gewässerschutzes zu gestalten (Bundesministerium für Umwelt 2008). Diese Verbände unterscheiden sich nach Aufgabe, regionaler Ausdehnung und Organisationsform:

- Zweckverbände als öffentlich-rechtliche Vereinigungen,
- Wasser- und Bodenverbände im Sinne des Wasserverbandsgesetzes,
- Wasserverbände für Flussgemeinschaften im rheinisch-westfälischen Industriegebiet auf Grundlage von Sondergesetzen (z. B. Ruhrverband).

Davon zu unterscheiden sind Wasserwirtschaftsverbände, in denen viele der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen zusammengeschlossen sind. Über diese Verbände vertreten sie ihre gemeinsamen Interessen gegenüber der Bundes- bzw. Landesregierung, Behörden und der Öffentlichkeit.

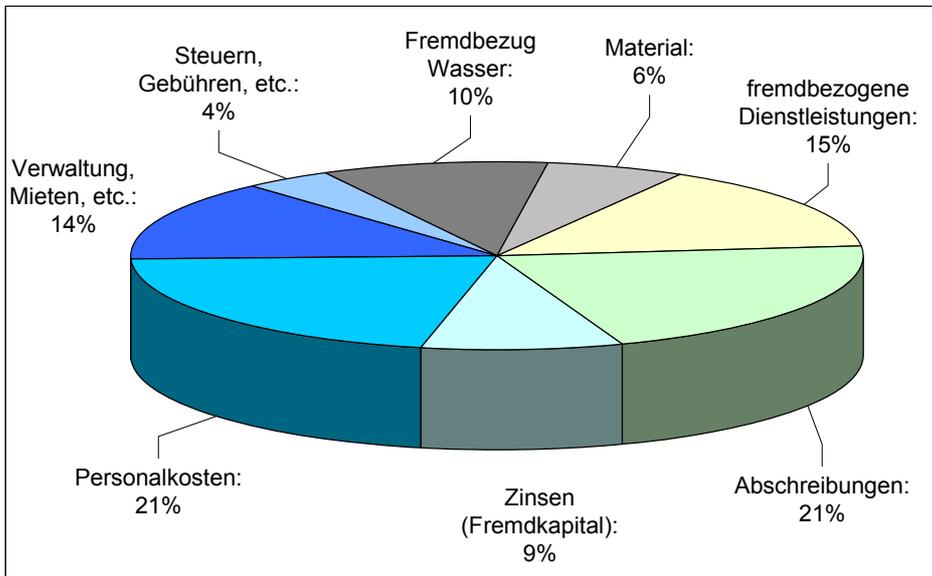
3.1.5 Ökonomische Aspekte

Die ökonomischen Restriktionen, denen die kommunale Wasserwirtschaft unterliegt, beeinflussen den Handlungsspielraum der wasserwirtschaftlichen Akteure und nehmen so Einfluss auf die Entwicklung des kommunalen Wasserinfrastruktursystems. Daher werden in den folgenden Abschnitten die ökonomischen Zusammenhänge der Kostenstruktur der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie weitere ökonomische Größen wie Investitionen und die Ermittlung der Wasserpreise und Abwassergebühren näher erläutert.

Kostenstruktur

Die beträchtliche Anlagenintensität und lange Nutzungsdauer der Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung bedingen einen hohen Anteil der Investitionen an den Gesamtkosten der Unternehmen. Der gesamte Fixkostenanteil in der Wasserversorgung beträgt typischerweise 70-80 % (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008). Hierzu gehören Kosten für Personal, Abschreibung, Zinsen, Kon-

zessionsabgaben, Fremdleistungen sowie sonstige Kosten für Material, Steuern und Abgaben. Variable Kosten sind dagegen nur in geringem Maße vorhanden. Hierzu zählen Energiekosten z. B. zum Betrieb der Pumpen, Wasserentnahmeentgelte, Fremdbezug von Wasser sowie Materialkosten für die Trinkwasseraufbereitung (Abbildung 3-6).

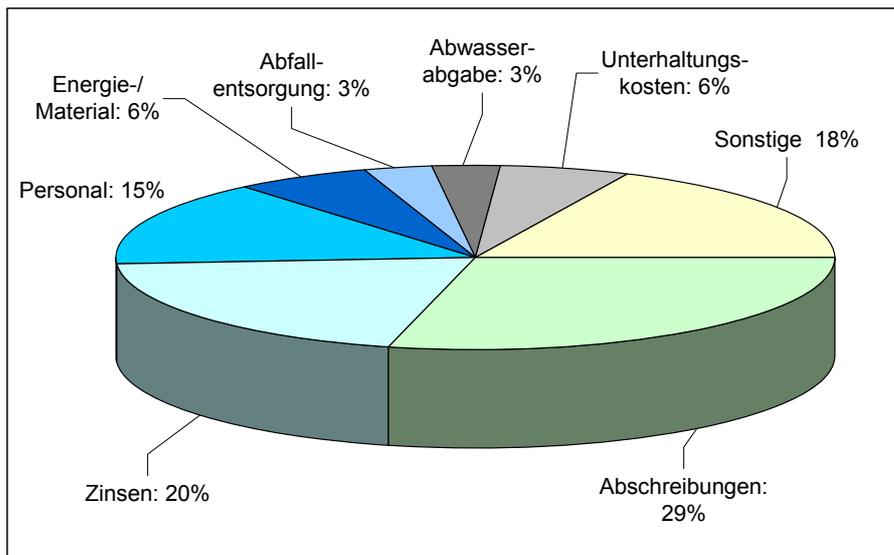


Quelle: Statistisches Bundesamt (2006k).

Abbildung 3-6 Kostenstruktur in der Wasserversorgung

Hinzu kommen vielerorts Konzessionsabgaben, die die Wasserversorger an die Kommunen zahlen sowie Kosten für die Gewährleistung der Löschwasservorhaltung.

Im Abwasserbereich liegt der Anteil der Fixkosten ebenfalls bei 70-80 %. Hierzu gehören Abschreibung, Zinsen, Kosten für Personal, Unterhaltungskosten sowie sonstige Kosten. Allein die Kosten für Abschreibung und Finanzierung der technischen Anlagen machen fast die Hälfte der Gesamtkosten aus und liegen zusammen bei 49 % der Gesamtaufwendungen (Abbildung 3-7).



Quelle: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (2005).

Abbildung 3-7 Kostenstruktur in der Abwasserentsorgung

Investitionen

Das Investitionsvolumen der deutschen Wasserversorgungsunternehmen liegt seit über 15 Jahren bei durchschnittlich 2,4 Mrd. € pro Jahr. Der größte Anteil davon (ca. 65 %) fließt in das Trinkwasserverteilungsnetz und jeweils ca. 10 % in die Trinkwassergewinnung und -aufbereitung. Der Rest fließt in sonstige Investitionen wie Zähler und Messgeräte (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008).

Die jährlichen Investitionen der Abwasserentsorgungsunternehmen betragen seit 10 Jahren durchschnittlich ca. 5,5 Mrd. €. Über die Hälfte davon (56 %) fließen in die Abwasserableitung, weitere 24 % in die Abwasserbehandlung und 8,4 % in die Regenwasserbehandlung. Der Rest verteilt sich auf sonstige Investitionen (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2005; Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008).

Nach Expertenschätzung ist eine jährliche Erneuerungsrate von mindestens 1,5 -2 % der Trinkwasserleitungen nötig, um diese vor einem Verfall zu bewahren. Tatsächlich erneuern die Versorgungsunternehmen aber pro Jahr durchschnittlich nur ca. 0,5 % ihres Leitungsnetzes (Hesselmann 2004; Hesselmann 2005).

In der Abwasserentsorgung sind bezogen auf das Jahr 2004 etwa 20 % des öffentlichen Kanalnetzes kurz bis mittelfristig rehabilitationsbedürftig (ZK 0 + ZK 1 = 8,8 %,

ZK 2 = 10,8 %)27. Weitere 21,5 % weisen geringfügige Schäden (ZK 3) auf und müssen langfristig saniert werden. Kein Handlungsbedarf (ZK 4) besteht bei 59 % der öffentlichen Kanalisation (ohne Berlin). Die mittleren Kosten für die Kanalrehabilitation lagen im Jahr 2004 bei 540 € je Meter instand gesetztem Kanal. Bei einer durchschnittlichen Rehabilitationsbedürftigkeit von rd. 20 % der gesamten öffentlichen Kanalisation (ca. 100.000 km) ergibt sich ein Rehabilitationsbedarf von ca. 55 Mrd. €. Hinzu kommen zweistellige Milliardenbeträge für die Instandhaltung der privaten Entwässerungsleitungen (Berger, Lohaus 2004).

Maurer et al. (2006) schätzen die gesamten Wiederbeschaffungskosten für Kanalisation und Aufbereitungsanlagen eines konventionellen Abwasserinfrastruktursystems in Deutschland auf insgesamt 1.650 € pro Einwohner. Die gesamten jährlichen Ausgaben belaufen sich auf ca. 90 € pro Einwohner (Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4 Typische Kosten eines konventionellen Abwasserinfrastruktursystems in Deutschland

Buchungsposten	Einheit	Kanalisation	Abwasseraufbereitungsanlagen
Geschätzte Wiederbeschaffungskosten	€/Einwohner	1.332,0	317,0
Gesamte Wiederbeschaffungskosten	€/Einwohner	1.650,0	
Abschreibungsdauer	Jahre	80	25
Abschreibung	€/Einwohner*Jahr	17,0	13,0
Durchschnittliche Kapitalkosten (Zinssatz 3%)	€/Einwohner*Jahr	27,3	5,3
Betriebskosten	€/Einwohner*Jahr	7,0	21,0
Gesamte jährliche Ausgaben nach Bereich	€/Einwohner*Jahr	51,3	39,3
Gesamte jährliche Ausgaben (mit Kapitalfinanzierung)	€/Einwohner*Jahr	90,6	

Quelle: Maurer et al. (2006).

27 ZK = Zustandsklasse; ZK 0 = sofortiger Handlungsbedarf, ZK 1 = kurzfristiger Handlungsbedarf, ZK 2 = mittelfristiger Handlungsbedarf, ZK 3 = langfristiger Handlungsbedarf, ZK 4 = kein Handlungsbedarf.

Bildung und Entwicklung der Wasserpreise und Abwassergebühren

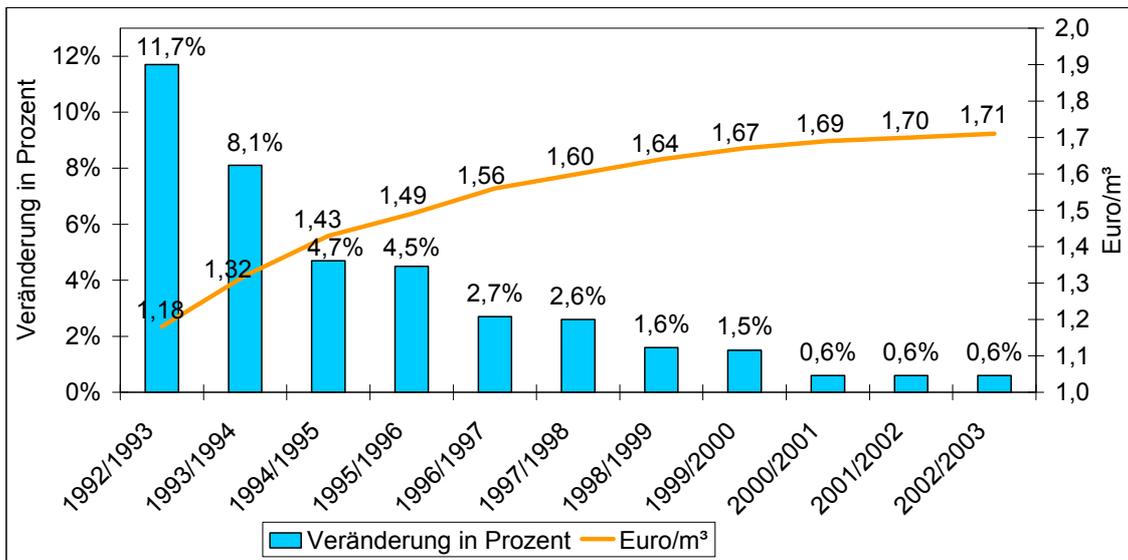
Die Bildung der Wasserpreise und Abwassergebühren unterliegt einer engen gesetzlichen Regelung. Die öffentlich-rechtlichen Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsunternehmen unterliegen den Kommunalabgabengesetzen der Länder sowie der Kommunalaufsicht. Private Unternehmen unterliegen der Aufsicht der Kartellämter.

Die Kommunalabgabengesetze schreiben den Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen die Einhaltung des Kostendeckungsprinzips verbindlich vor, d. h., dass alle Kosten, die durch die Wasserver- und Abwasserentsorgung entstehen, durch den Preis bzw. durch die Gebühr gedeckt werden müssen. Eine langfristige Überdeckung ist nicht zulässig. Des Weiteren gilt das Äquivalenzprinzip, nach dem die Preise bzw. Gebühren – unabhängig von den Kosten der Leistung – nicht erheblich über dem Wert der Leistung für die Bürgerinnen und Bürger liegen dürfen. Das bedeutet, dass bei hohen Kosten die Situation entstehen kann, dass die Preise bzw. Gebühren unterhalb der entstandenen Kosten liegen.

Der Wasserpreis wird in Deutschland oft als Mengenpreis in €/m³ erhoben. Mengenkalkulationen eignen sich jedoch üblicherweise nur bei konstantem Absatzvolumen. Da der Wasserverbrauch in den vergangenen Jahrzehnten aber kontinuierlich abgenommen hat, setzt sich die Erhebung eines verbrauchsunabhängigen Grundpreises immer mehr durch. Etwa 95 % der Wasserversorgungsunternehmen haben eine Preisstruktur, die sich aus einem mengenabhängigen Arbeitspreis (in €/m³) und einem festen monatlichen oder jährlichen Grundpreis zusammensetzt. Im Bundesdurchschnitt beträgt der Grundpreisanteil am Gesamtpreis derzeit knapp 10 % (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2008b).

In den vergangenen Jahren hat sich der Anstieg der Wasserpreise gemildert und ist von 11,7 % im Jahr 1992/1993 auf 0,6 % im Jahr 2002/2003 gesunken. Die realen Wasserpreise haben sich von 1,18 €/m³ im Jahr 1992 auf 1,71 €/m³ im Jahr 2003 erhöht (Abbildung 3-8). Der Wasserpreisanstieg in 2006/2007 lag bei 0,5 % (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2008b).

Im Jahr 2007 lag der Wasserpreis im Bundesdurchschnitt bei 1,85 €/m³ (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) 2008b) und somit die Kosten pro Kopf und Jahr bei durchschnittlich 84 € (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008). Die durchschnittlichen Wasserpreise in den alten Bundesländern lagen bei 1,79 €/m³ (2001: 1,65 €/m³), in den neuen Bundesländern bei 2,15 €/m³ (2001: 2,05 €/m³) (Tabelle 3-5).



Quellen: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2005a), Lübbe (2002).

Abbildung 3-8 Preisentwicklung beim Trinkwasser

Tabelle 3-5 Durchschnittliche Wasserpreise in 2001 und 2007

Gebiet	Durchschnittlicher Wasserpreis [€/m³]	
	2001	2007
Westdeutschland	1,65	1,79
Ostdeutschland	2,05	2,15
Deutschland	1,70	1,85

Quellen: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2001), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2008b).

Für die Berechnung der Abwassergebühren können die Abwasserentsorgungsunternehmen zwischen verschiedenen Maßstäben wählen. Nach dem Frischwassermaßstab wird allein der Trinkwasserverbrauch zur Bemessung herangezogen. Die Kosten für die Sammlung und Behandlung von Niederschlagswasser sind darin anteilig enthalten. Nach dem gesplitteten Gebührenmaßstab wird eine Schmutzwassergebühr erhoben, die sich ebenfalls an dem verbrauchten Frischwasser orientiert, sowie eine zusätzliche Niederschlagswassergebühr, die auf der entwässerten Grundstücksfläche basiert, erhoben. Tabelle 3-6 zeigt die Entwicklung der Abwassergebühren. Im Jahr 2005 lag die Abwassergebühr im Frischwassermaßstab bei 2,28 €/m³. Im gesplitteten Gebührenmaßstab betrug der Anteil für Schmutzwasser pro Kubikmeter 2,05 € und für Niederschlagswasser 0,88 €.

Tabelle 3-6 Nach Einwohnern gewichtete Abwassergebührensätze nach verschiedenen Gebührenmaßstäben

		€/m ³ 1999	€/m ³ 2002	€/m ³ 2003	€/m ³ 2004	€/m ³ 2005
Frischwassermaßstab	Westdeutschland	2,23	2,05	2,09	2,15	2,16
	Ostdeutschland	2,54	2,47	2,50	2,90	2,87
	Deutschland	2,28	2,11	2,14	2,27	2,28
Gesplitteter Gebührenmaßstab Schmutzwasser	Westdeutschland	1,72	1,87	1,90	1,89	1,91
	Ostdeutschland	2,39	2,12	2,15	2,37	2,43
	Deutschland	1,79	1,94	1,97	2,02	2,05
Gesplitteter Gebührenmaßstab Niederschlagswasser	Westdeutschland	0,78	0,73	0,72	0,75	0,76
	Ostdeutschland	0,59	1,04	1,08	1,17	1,22
	Deutschland	0,77	0,81	0,82	0,86	0,88

Quellen: Bundesministerium für Umwelt (2007), Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2005), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK) (2003b).

Die Abwassergebühr pro Kopf und Jahr lag damit im Bundesdurchschnitt bei 129 € (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008). Zusätzlich zur Abwassergebühr kann von der Kommune eine jährliche Grundgebühr erhoben werden²⁸. Mit dieser kann eine gleichmäßigere Verteilung der hohen Fixkosten auf alle an die Abwasserentsorgung angeschlossenen Einwohner erreicht werden. Die Grundgebühren sind wegen der unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen und der voneinander abweichenden Struktur der an die öffentliche Abwasserentsorgung angeschlossenen Wohngrundstücke von Ort zu Ort nicht direkt miteinander vergleichbar (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) 2003a).

3.1.6 Sozio-ökonomische Aspekte

Den in Kapitel 2 vorgestellten Theorien der „Social Construction of Technology“ und der „Large Technological Systems“ nach spielt die Gesellschaft bei den Entwicklungsprozessen großer technischer Systeme eine bedeutende Rolle. Demnach sind auch bei Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft die beteiligten

²⁸ Grundgebühren werden derzeit bei rd. 11 % der Bundesbürger erhoben.

Akteure von Relevanz, da sie Entscheidungen treffen, die die Funktionsfähigkeit des bestehenden Systems sowie den Neubau, Ausbau, Umbau oder Rückbau der Wasserinfrastruktursysteme beeinflussen.

Aus dieser gesellschaftlichen Sichtweise heraus ist die kommunale Wasserwirtschaft in zwei Teilsysteme unterteilbar. Auf der einen Seite stehen nur wenige Akteure, nämlich die Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen, die für einen Großteil des gesamten Wasserinfrastruktursystems (Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung sowie Sammlung und Behandlung des Ab- und Regenwassers) verantwortlich sind. Aufgrund der langen Nutzungsdauer der von ihnen betriebenen technischen Systemkomponenten wie Anlagen zur Wassergewinnung und -aufbereitung, Wasserversorgungsnetze sowie Kanalisationen und Kläranlagen, sind ihre Entscheidungshorizonte langfristig (100 Jahre). Die Innovations- und Diffusionsgeschwindigkeit neuer technischer Komponenten ist hier dagegen eher langsam.

Demgegenüber steht eine große Zahl privater Haushalte, Industrie- und Gewerbeunternehmen. Diese verantworten jeder für sich mit seinen Gebäuden, internen Leitungssystemen und wasserbrauchenden technischen Einrichtungen (Wasch- und Spülmaschine, Sanitärarmaturen) nur einen relativ kleinen Anteil am gesamten Kapitalstock der Wasserinfrastruktursysteme. Jeder einzelne Nutzer hat hinsichtlich des Wasserverbrauchs und Abwasseranfalls aus Sicht des Gesamtsystems nur einen marginalen Einfluss. Über ihre große Zahl spielt die Gesamtheit der Nutzer jedoch eine maßgebliche Rolle bei der Entwicklung des Gesamtsystems.

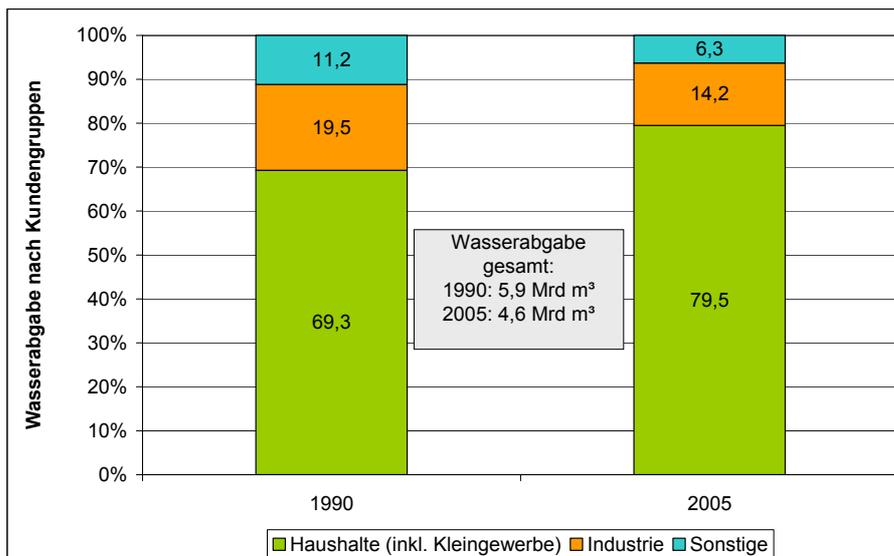
Zur Erfüllung vielfältiger Aufgaben in unterschiedlichen Anwendungsgebieten, wie bspw. die häusliche und industrielle Zubereitung von Nahrungsmitteln und Getränken, die Reinigung von Textilien und Geschirr oder der Abtransport von Abfällen und Fäkalien, nutzen die Endverbraucher in ihrem jeweiligen Teilsystem Trinkwasser. Trinkwasser nimmt damit die unterschiedlichsten Funktionen wahr und dient als Nahrungs-, Reinigungs- und Transportmittel, als Energieträger und als Betriebsstoff (Tabelle 3-7).

Unter den Nutzern der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen spielen die privaten Haushalte eine besondere Rolle in der Entwicklung der kommunalen Wasserwirtschaft, da sie mit fast 80 % der Wasserlieferungen die größte Kundengruppe der Wasserversorgungsunternehmen stellen. Im Folgenden werden daher nur die privaten Haushalte aus der Gruppe der Endverbraucher in die Untersuchung einbezogen. Abbildung 3-9 weist die Wasserabgabe nach Kundengruppen von 1990 und 2005 aus.

Tabelle 3-7 Funktionen und Verwendungszweck von Trinkwasser aus Sicht der Endverbraucher

Funktion	Verwendungszweck
Nahrungsmittel	Trinkwasser, Nahrungsmittel- und Getränkeherstellung
Reinigungsmittel	Körperhygiene, Wäsche waschen, Geschirr spülen, Raumpflege, Auto-pflege, Produktionsanlagenpflege
Transportmittel	Toiletten-Spülwasser, Schwemmtransportsystem, Spülwasser in industriellen und gewerblichen Anwendungen
Energieträger	Löschwasser, Speisewasser in industriellen und gewerblichen Anwendungen
Betriebsstoff	Bestandteil verschiedenster Produktionsprozesse (Nahrungsmittel, Papier, Textilveredlung, etc.), Bewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau

Quelle: in Anlehnung an Hiesl (2005a).



Quelle: BDEW-Wasserstatistik in Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. (2008).

Abbildung 3-9 Wasserabgabe nach Kundengruppen

Tabelle 3-8 listet den täglichen Trinkwasserbedarf eines privaten Endverbraucher auf. Dieser liegt bei ca. 125 Liter, wovon der größte Anteil (ca. 70 %) zur Körperhygiene und Spülung der Toilette verwendet wird. 13 % der Wasserverbrauchsmenge entfallen auf das Waschen von Wäsche, jeweils 7 % werden für das Reinigen von Geschirr sowie zur Garten-, Raum- und Autopflege genutzt. Lediglich 4 % des Tagesbedarfs werden für die Zubereitung der Nahrung und zum Trinken verwendet.

Tabelle 3-8 Anteile der Wasserverwendung (privater Endverbraucher)

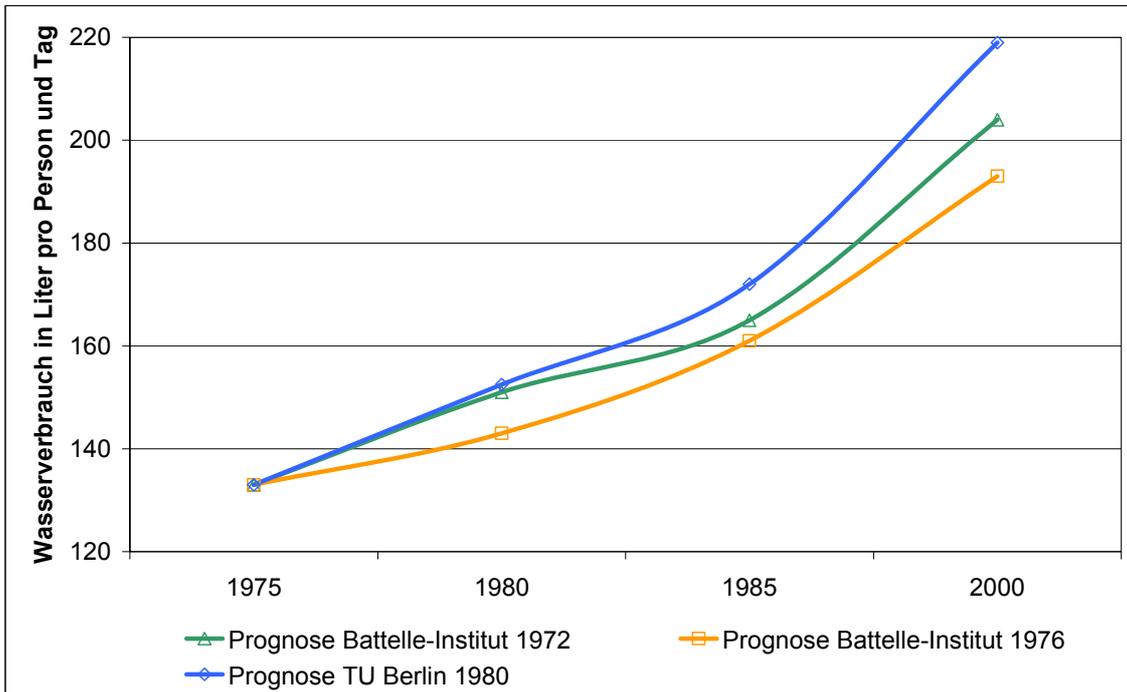
Verwendungszweck	Verbrauch [Liter pro Person und Tag]	Anteil [%]
Körperpflege (Baden, Duschen)	48,75	39
Toilettenspülung	37,50	30
Wäsche waschen	16,25	13
Geschirr spülen	8,75	7
Garten, Raumpflege, Auto	8,75	7
Essen und Trinken	5,00	4
Summe	125,00	100

Quelle: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2003).

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Wasserverbrauch in privaten Haushalten in Deutschland erheblich verändert. Noch in den 1970er Jahren wurden steigende Wasserverbrauchsmengen für Haushalte und Kleingewerbe prognostiziert. Ausgehend von einem täglichen Wasserverbrauch von ca. 133 Liter im Jahr 1975 wurde ein Verbrauch von 190 bis 220 Liter pro Kopf und Tag für die darauf folgenden 25 Jahre erwartet (Abbildung 3-10).

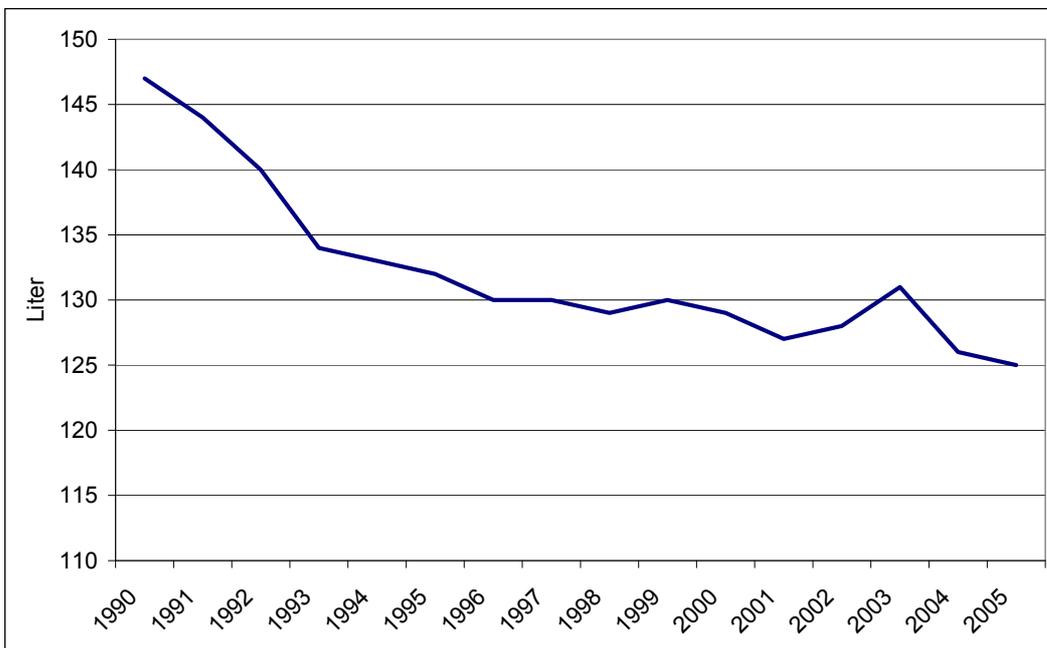
Die Aufzeichnung der tatsächlichen Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser zeigt jedoch, dass sich seit Mitte der 1980er Jahre die Verbrauchsmengen kontinuierlich reduzierten. Seit Anfang der 1990er Jahre hat der Haushaltswasserverbrauch innerhalb von 15 Jahren um ca. 14 % von 147 Liter auf 125 Liter pro Kopf und Tag in 2005 abgenommen (Abbildung 3-11).

Der Vergleich des Wasserverbrauchs privater Haushalte in den alten und neuen Bundesländern zeigt, dass der durchschnittliche tägliche Wasserverbrauch pro Einwohner in den neuen Bundesländern bei 93 Liter und in den alten Bundesländern bei 132 Liter liegt (Stand 2005). War der spezifische Wasserverbrauch in den alten und neuen Bundesländern bis Anfang der 1990er Jahre noch gleich, so nahm er seit 1991 in den neuen Bundesländern erheblich ab (um ca. 34 % bis 2005) während die Verbrauchsreduzierung in den alten Bundesländern bei nur 9 % (bis 2005) lag (Abbildung 3-12).



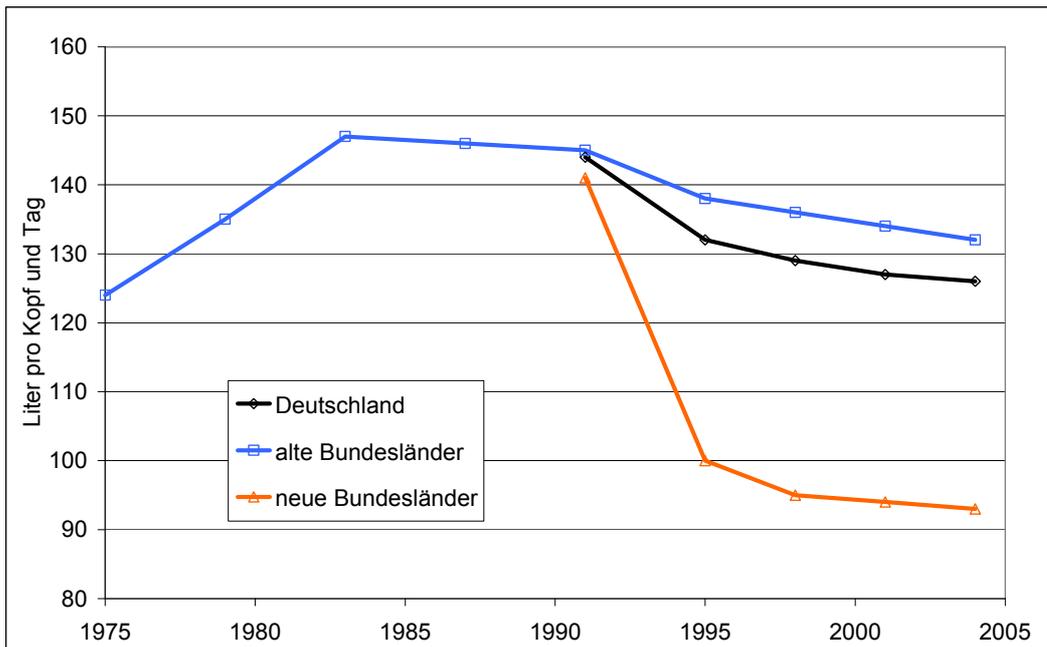
Quelle: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2005b).

Abbildung 3-10 Prognosen des Haushaltswasserverbrauchs



Quelle: Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2007b).

Abbildung 3-11 Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser



Quelle: Schleich, Hillenbrand (2007).

Abbildung 3-12 Entwicklung des spezifischen Wasserverbrauchs in alten und neuen Bundesländern

Als Gründe für die Reduzierung des spezifischen Wasserverbrauchs in Haushalten sind zum einen die in den letzten Jahren gestiegenen Wasserpreise (vgl. Abbildung 3-8) und Abwassergebühren zu nennen, die in den neuen Bundesländern signifikant höher waren als in den alten Bundesländern (vgl. Tabelle 3-6). Durch technische Neuerungen wurde in den letzten Jahrzehnten darüber hinaus eine kontinuierliche Reduktion des Wasserverbrauchs von Sanitärtechnik und Haushaltsgeräten erreicht. Die Installation moderner Haushalts- und Sanitärtechnik in ostdeutschen Haushalten, die im Zuge der Sanierungen nach der Wende in verstärktem Maße vorgenommen wurde, ist ein weiterer wesentlicher Grund für die unterschiedliche Entwicklung des spezifischen Wasserverbrauchs in den alten und neuen Bundesländern. Außerdem spielt bei der Reduktion des spezifischen Wasserverbrauchs auch ein sparsames Verbraucherverhalten eine Rolle. Als Hauptbeweggründe der privaten Haushalte für die Reduktion der spezifischen Wasserverbrauchsmengen sind somit die Motivation, Kosten zu senken und die Umwelt zu schützen zu nennen (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungen der beiden gesellschaftlichen Teilsysteme der Bereitstellung und der Nutzung der Wasserver- und Abwasserentsorgung diese zunehmend divergieren (Tabelle 3-9).

Tabelle 3-9 Vergleich der Teilsysteme eines konventionellen Wasserinfrastruktursystems in einem Versorgungsgebiet

	Gesellschaftliches Teilsystem der Bereitstellung der Wasserver- und Abwasserentsorgung	Gesellschaftliches Teilsystem der Nutzung der Wasserver- und Abwasserentsorgung
Anzahl der Akteure	zwei (Wasserversorger + Abwasserentsorger)	tausende Endverbraucher / private Haushalte
Anteil am gesamten Kapitalstock	groß	klein, nur in Summe von Bedeutung
Nutzungsdauer der Anlagen	lang, 80 – 150 Jahre	kurz, 8 – 12 Jahre
Re-Investitionszyklen / Diffusionsgeschwindigkeit neuer Technologien	langsam, Jahrzehnte	meist schnell, Jahre
Zeithorizont hinsichtlich Investitionsentscheidungen	langfristig, Jahrzehnte	meist kurzfristig, Jahre
Einfluss auf das Gesamtsystem	groß	pro Akteur klein, in Summe aber mit spürbarer Auswirkung
Reaktionsvermögen auf Änderungen im System	kaum Reaktionsmöglichkeit auf Nachfrageänderungen	elastische Nachfrage

Quelle: Hiessl et al. (2003).

Diese Divergenz wird zum einen ausgelöst durch das autonome Verhalten der beteiligten Akteure in ihren jeweiligen Teilsystemen, das bei anderen Akteuren zu einem Handlungsbedarf führt. Dies tritt bspw. ein, wenn die privaten Haushalte ihren Wasserverbrauch reduzieren und so zu Funktionsstörungen in den Ver- und Entsorgungsleitungen beitragen, weshalb die Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen die Trinkwasserleitungen bzw. die Kanalisation spülen müssen. Zum anderen tragen die unterschiedlich langen Nutzungsdauern der technischen Komponenten und damit zusammenhängend die unterschiedlichen Diffusionsgeschwindigkeiten innovativer Technologien dazu bei, dass auch aus technologischer Sicht die beiden Teilsysteme immer weniger kompatibel sind. Im Zeitverlauf können sich diese Funktionsstörungen und Inkompatibilitäten so weit verstärken, dass es langfristig zum Zusammenbruch der Wasserinfrastruktur führen kann.

3.2 Systemumwelt: Systemübergreifende Einflussfaktoren

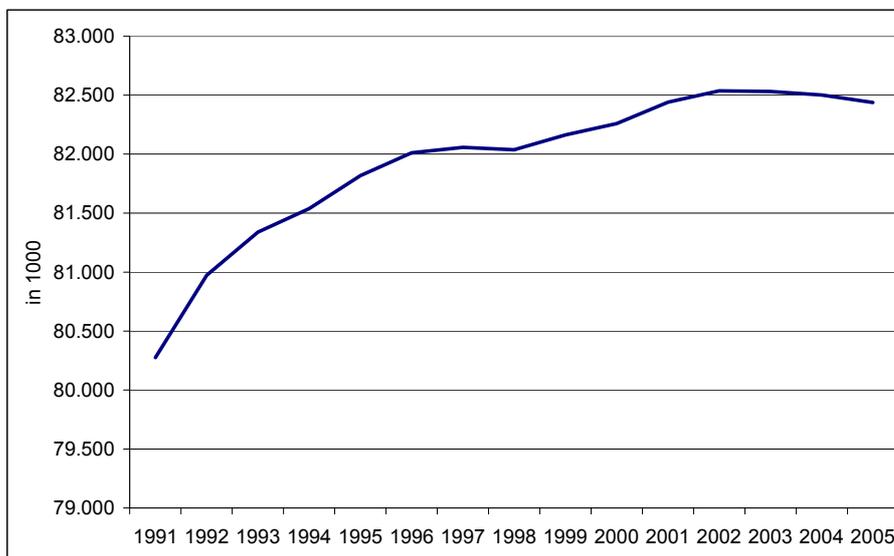
Transformationsprozesse werden von Faktoren aus der Systemumwelt beeinflusst. Im Folgenden werden die Faktoren, die auf einen Systemwandel in der kommunalen Wasserinfrastruktur einwirken, näher untersucht und beschrieben.

3.2.1 Demografischer Wandel

Der demografische Wandel ist in den letzten Jahren zunehmend in den Blickpunkt der öffentlichen Diskussion gerückt. Die insgesamt rückläufige Bevölkerungsentwicklung stellt eine große Herausforderung für die kommunale Wasserwirtschaft dar. Legt man den heutigen Wasserverbrauch zu Grunde, würde allein die Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2050 zu einem Rückgang des Wasserbedarfs um rd. 630 Mio. m³ führen (Hoffmeister et al. 2008). Die Bevölkerungsentwicklung verläuft in den Regionen Deutschlands allerdings nicht gleichermaßen; Regionen mit abnehmender Bevölkerungszahl und rückläufiger Wassernachfrage stehen wachstumsstarke Regionen mit steigender Wassernachfrage gegenüber.

3.2.1.1 Abnehmende Bevölkerungszahl

In den letzten Jahren haben verschiedene Institutionen Prognosen, Analysen und Modellrechnungen zum demografischen Wandel bereitgestellt (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2006; Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2007; Deutsche Bank Research 2002; Deutsche Bank Research 2004; Statistisches Bundesamt 2006a). Die Daten des Statistischen Bundesamtes zeigen, dass von 1991 bis 2003 die deutsche Bevölkerung von ca. 80,3 Mio. auf ca. 82,4 Mio. kontinuierlich anwuchs. Da seit einigen Jahren abnehmende Wanderungssalden das Geburtendefizit nicht mehr ausgleichen, stagniert seit 2003 das Wachstum der Bevölkerung (Abbildung 3-13).



Quelle: Statistisches Bundesamt (2006b).

Abbildung 3-13 Bevölkerungsentwicklung in Deutschland (1991-2005)

Die Bevölkerungsfortschreibung des Statistischen Bundesamtes zeigt, wie sich die Bevölkerungszahl und die Bevölkerungsstruktur unter bestimmten Annahmen entwickeln. Die folgenden Angaben beziehen sich auf die zwei Varianten der „mittleren Bevölkerung“ aus der 11. Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt 2006a), da diese Varianten die Grenzen eines Korridors markieren, in dem sich die Bevölkerungsgröße und der Altersaufbau entwickeln werden, wenn sich die aktuellen demografischen Trends fortsetzen. Diese Varianten zeigen die demografische Entwicklung unter der Annahme einer annähernd konstanten Geburtenhäufigkeit und eines Anstiegs der Lebenserwartung um etwa sieben Jahre. Zur Wanderung werden in der Variante der „mittleren“ Bevölkerung zwei Annahmen getroffen, die in Tabelle 3-10 zusammengefasst dargestellt sind. Sie gehen langfristig von einem jährlichen Wanderungsüberschuss von 100.000 bzw. 200.000 Personen aus, wobei ein modellhafter Verlauf unterstellt ist, da die tatsächlichen Wanderungen deutlichen Schwankungen unterliegen. Die angenommenen Werte sind daher als langjährige Durchschnitte zu verstehen.

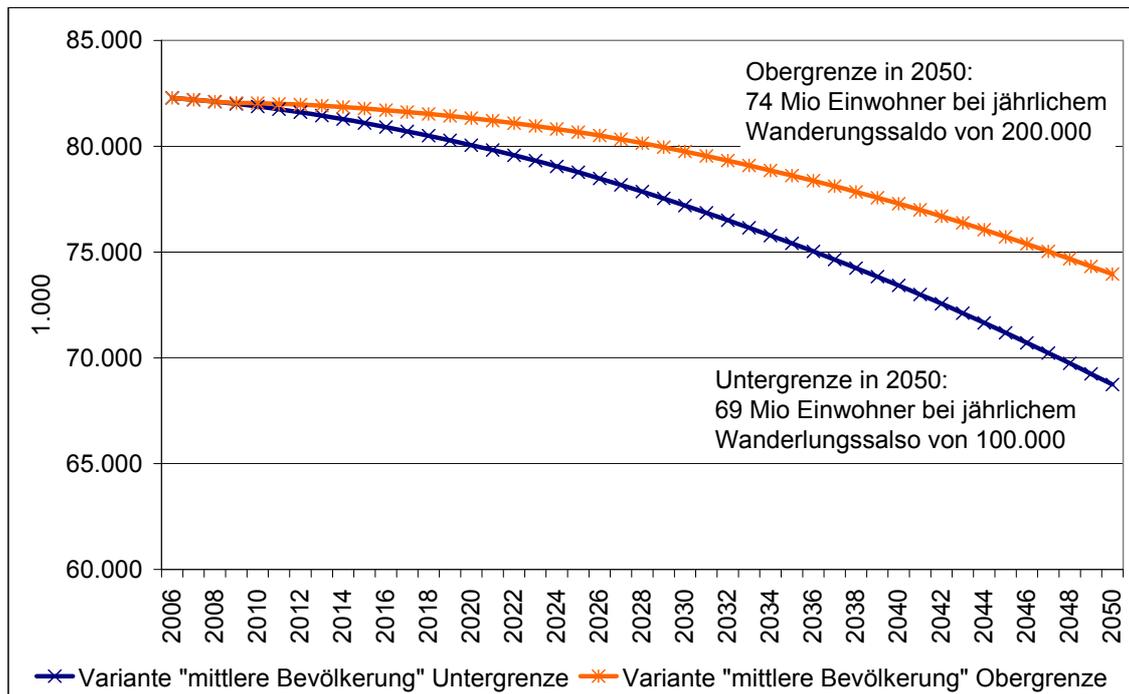
Tabelle 3-10 Variante „mittlere Bevölkerung“ der 11. Bevölkerungsvorausberechnung

Variante	Annahmen		
	Geburtenhäufigkeit (Kinder je Frau)	Lebenserwartung	jährlicher Wanderungssaldo
Variante 1-W1 „mittlere“ Bevölkerung Untergrenze	annähernd konstant bei 1,4	Basisannahme ²⁹	100.000
Variante 1-W2 „mittlere“ Bevölkerung Obergrenze	annähernd konstant bei 1,4	Basisannahme ²⁹	200.000

Quelle: Statistisches Bundesamt (2006a).

Diesen Varianten entsprechend wird die Einwohnerzahl von fast 82,5 Mio. im Jahr 2006 auf 74 Mio. (Variante Obergrenze der „mittleren Bevölkerung“) bzw. auf knapp 69 Mio. (Variante Untergrenze der „mittleren Bevölkerung“) im Jahr 2050 abnehmen (Statistisches Bundesamt 2006a). Abbildung 3-14 zeichnet diese Entwicklungen nach.

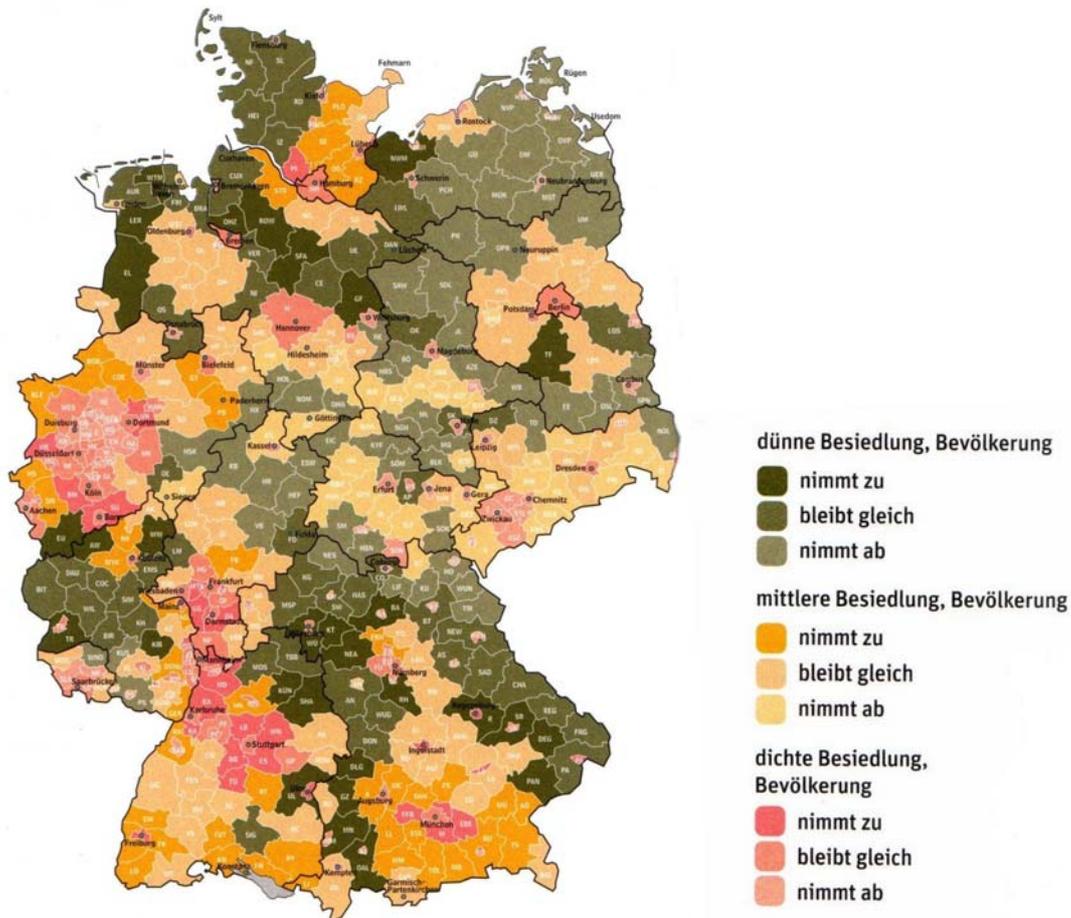
²⁹ Lebenserwartung neugeborener Jungen im Jahr 2050: 83,5 Jahre und neugeborener Mädchen im Jahr 2050: 88,0 Jahre.



Quelle: Statistisches Bundesamt (2006a).

Abbildung 3-14 Ober- bzw. Untergrenze der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung in Deutschland nach der Variante „mittlere Bevölkerung“ der 11. Bevölkerungsvorausberechnung

Die Bevölkerungsentwicklung verläuft in den Regionen Deutschlands nicht gleich sondern führt vielmehr zu Schwund- bzw. Wachstumsregionen (Kröhnert et al. 2006). Abbildung 3-15 stellt die Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Kopf sowie die Bevölkerungsentwicklung bis 2020 dar. Dabei zeigt sich, dass die bereits heute dünn besiedelten Regionen Ostdeutschlands wie Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und Sachsen-Anhalt einen starken Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen haben, der sich bis 2020 nicht nur fortsetzen sondern noch ausdehnen wird. Von 1990 bis 2004 wanderten innerhalb Deutschlands bereits ca. 2,6 Mio. Personen in den Westen und 1,3 Mio. Personen in den Osten, wodurch Ostdeutschland rd. 1,3 Mio. Einwohner verlor (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2007). Aber auch Regionen in den alten Bundesländern wie Teile des Saarlandes, Rheinland-Pfalz, das Ruhrgebiet, Nordhessen und Südniedersachsen werden an Einwohnern verlieren. Ländliche, abgelegene Kreise gehören fast überall zu den Schwundregionen, mit Ausnahme solcher Gegenden, die touristisch besonders attraktiv sind oder eine hohe Geburtenrate haben. Zu den Wachstumsregionen zählen fast ausschließlich Kreise im Umland großer, wirtschaftsstarker Städte. Wachstumsstärkste Bundesländer sind Baden-Württemberg und Bayern, wobei auch Bayern an seinen Rändern (Oberfranken) erste demografische Problemregionen aufweist (Kröhnert et al. 2006).



Quelle: Kröhnert et al. (2006:28).

Abbildung 3-15 Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Kopf und Bevölkerungsentwicklung bis 2020

3.2.1.2 Veränderungen im Altersaufbau

Die Bevölkerung Deutschlands wird nicht nur weniger sondern auch älter und die Relation zwischen Alt und Jung wird sich in Richtung der älteren Personen verschieben. Ende 2005 waren 16,5 Mio. Personen jünger als 20 Jahre. Das entspricht 20 % der Bevölkerung. 50,1 Mio. Personen (61 %) waren zwischen 20 und 65 Jahre alt. Die Gruppe der 65-jährigen und Älteren umfasste 15,9 Mio. Personen (19 %). Im Jahr 2030 werden dagegen 16 % der Bevölkerung in Deutschland unter 20 Jahre alt sein (12,7 Mio. Personen). Die Gruppe der 20 bis 65-jährigen umfasst dann 42,4 Mio. Personen (55 %) und die der 65-jährigen und älteren 22,1 Mio. Personen (29 %) (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2007) (Tabelle 3-11).

Tabelle 3-11 Entwicklung der Altersstruktur in Deutschland

Altersgruppe	2005 Personenzahl [Mio]	2005 Anteil an Gesamtbevölkerung [%]	2030 Personenzahl [Mio]	2030 Anteil an Gesamtbevölkerung [%]	Zu- / Abnahme [%]
< 20 Jahre	16,5	20	12,7	16	-23
20 bis 65 Jahre	50,1	61	42,4	55	-15
> 65 Jahre	15,9	19	22,1	29	+39
Summe	82,5	100	77,2	100	-6,4

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2007).

3.2.1.3 Entwicklung der Privathaushalte

Zunahme der Haushaltszahl und kleinerer Haushalte

Im Jahr 2006 gab es in Deutschland 39,8 Mio. Haushalte mit rund 82,6 Mio. Haushaltsmitgliedern (Statistisches Bundesamt 2008). Nach der Trendvariante der Haushaltsvorausberechnung der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2007) wird es in Deutschland im Jahr 2020 40,5 Mio. Haushalte geben.

Die Haushalte in Deutschland werden immer kleiner. Im Jahr 2006 lebten durchschnittlich 2,08 Personen in einem Haushalt, 1991 waren es noch 2,27 Personen. Diese Entwicklung wird bereits seit einigen Jahrzehnten beobachtet, besonders ist jedoch dabei, dass seit den 1970er Jahren die Einpersonenhaushalte alle anderen Haushaltsgrößen dominieren, wobei ihr Anteil beständig zunimmt. Auch die Anzahl der Zweipersonenhaushalte nimmt zu. Die Zahl der Haushalte mit drei und mehr Personen sinkt dagegen beständig (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2007; Statistisches Bundesamt 2007).

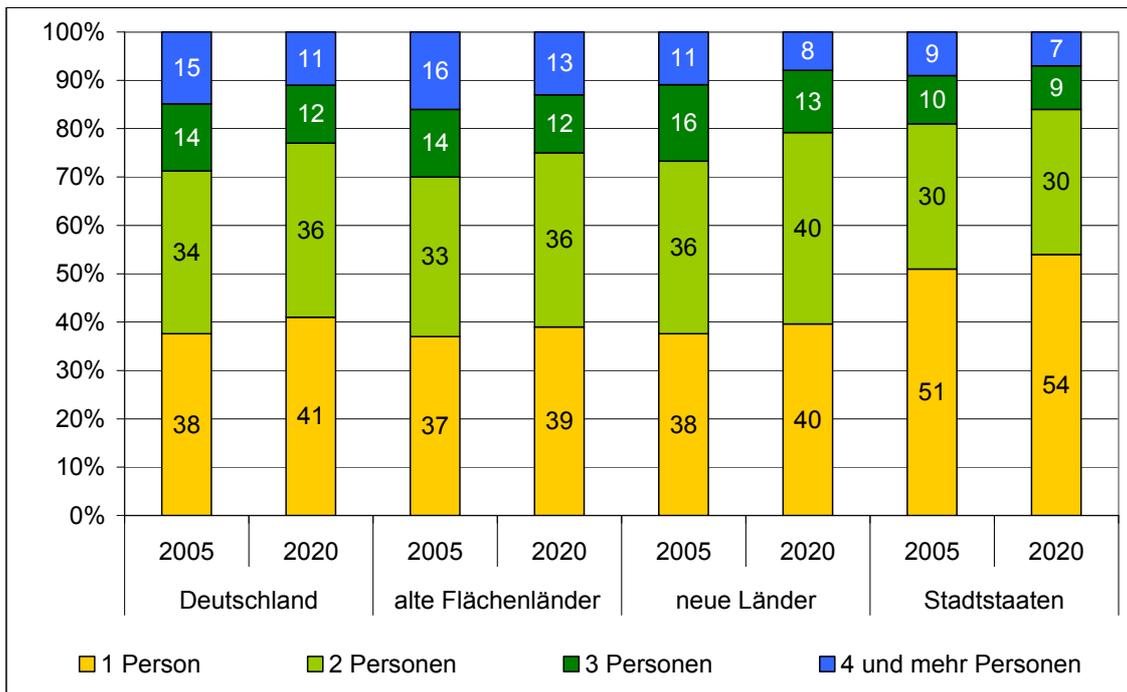
Die Zahl der Einpersonenhaushalte wird von 15,0 Mio. auf 16,5 Mio. um 10 % bis 2020 steigen. Der Anteil der Einpersonenhaushalte an allen Haushalten steigt damit von 38 auf 41 %. Die Zweipersonenhaushalte werden noch stärker zunehmen, nämlich von 13,2 Mio. auf 14,7 Mio. (+11 %), so dass ihr Anteil an allen Haushalten von 34 % im Jahr 2005 auf 36 % ansteigt. Dagegen wird die Zahl der größeren Haushalte abnehmen. Dreipersonenhaushalte nehmen von 5,4 Mio. auf 4,7 Mio. (-13 %) ab. Ihr Anteil an allen Haushalten verringert sich somit von 14 % auf 12 %. Die Anzahl der Haushalte mit vier und mehr Personen nimmt von 5,7 Mio. auf 4,6 Mio. ab (-19 %). Ihr Anteil an allen Haushalten reduziert sich somit von 14 % auf 11 % (Tabelle 3-12).

Tabelle 3-12 Entwicklung der Haushaltsgröße in Deutschland

Haushaltsgröße	2005 Haushalte [Mio]	2005 Anteil an allen Haushalten	2020 Haushalte [Mio]	2020 Anteil an allen Haushalten	Zu- / Abnahme [%]
Single	15	38	16,5	41	+9
Zweipersonen	13,2	34	14,7	36	+11
Dreipersonen	5,4	14	4,7	12	-13
Vier und mehr Personen	5,7	14	4,6	11	-19
Summe	39,9	100	40,5	100	+3

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2007).

Auf Bundeslandebene weisen die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2007) eine ähnliche Entwicklung aus. Unterschiede zeigen sich jedoch beim Anteil der Einpersonenhaushalte an allen Haushalten zwischen den Flächenländern und den Stadtstaaten. Im Jahr 2005 lag dieser Anteil in den alten Flächenländern bei 37 % und in den neuen Ländern bei 38 %, in den Stadtstaaten bei 51 %. Der Anteil der Zweipersonenhaushalte und der Dreipersonenhaushalte war mit 36 % bzw. 16 % am höchsten in den neuen Ländern, danach folgen die alten Flächenländer mit 33 % bzw. 14 % und dann die Stadtstaaten mit 30 % bzw. 10 %. Der Anteil der Haushalte mit vier und mehr Personen lag in den alten Flächenländern bei 16 %, in den neuen Ländern bei 11 % und in den Stadtstaaten lediglich bei 9 %. Abbildung 3-16 zeigt zusammenfassend die erwartete Entwicklung der Haushaltsstruktur auf Bundesland- und Bundesebene.



Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2007).

Abbildung 3-16 Struktur der Haushalte nach Größe und Bundesland

3.2.1.4 Auswirkungen des demografischen Wandels auf die kommunale Wasserwirtschaft

Der demografiebedingte Bevölkerungsrückgang beeinflusst wesentlich den absoluten Wasserverbrauch. Aufgrund der zunehmenden Alterung der Bevölkerung und durch sparsame Konsummuster der älteren Generation ist für die Zukunft eine weitere Abnahme des spezifischen Wasserverbrauchs zu erwarten. Unter den Folgen des demografischen Wandels weisen die zentralen Ver- und Entsorgungssysteme bereits heute Schwächen auf, denn durch den zurückgehenden Wasserverbrauch sinkt die Auslastung der zentral konzipierten Ver- und Entsorgungssysteme. Folglich kommt es zu Funktionsproblemen durch nicht ausgelastete Netze und das Erreichen der Grenzen der ökonomischen Tragfähigkeit.

In der zentralen Wasserverteilung können aus dem verminderten Trinkwasserdurchfluss, der z. B. in größeren ostdeutschen Städten nur noch weniger als 30 % der Auslegungsmenge entspricht, geringere Fließgeschwindigkeiten und dadurch längere Verweilzeiten des Trinkwassers bis hin zu Stagnation in bspw. generell gering durchströmten Leitungsabschnitten resultieren. Höhere Verweilzeiten stellen eine Gefährdung für die Trinkwasserqualität dar, da sie zu einer Wiederverkeimung des Trinkwassers führen können. Durch reduzierte Fließgeschwindigkeiten bzw. Durchflussmengen steigt

auch die Gefahr von Ablagerungen und Korrosion innerhalb der Rohrleitungen, was ebenfalls mit Auswirkungen auf die Wasserqualität und den Leitungszustand ist.

Diesen Folgen der Unterauslastung kann mit regelmäßigem bzw. vermehrtem Spülen des Leitungsnetzes begegnet werden. In vielen Fällen ist eine Verringerung des Rohrdurchmessers der Trinkwasserleitung in Erwägung zu ziehen. Eine solche Maßnahme kann jedoch weitere problematische Nebenwirkungen bspw. beim Betrieb der Pumpen sowie Druckverluste, eine erhöhte Tendenz zu Inkrustierungen oder Probleme bei der Frostsicherheit mit sich bringen. Zudem wurde der Querschnitt der Trinkwasserleitung üblicherweise nach dem maximalen Löschwasserbedarf der Feuerwehr ausgelegt. Der Verengung von Versorgungsleitungen sind daher bei einer abhängigen Löschwasserversorgung enge Grenzen gesetzt (Leist 2007). Im Falle von baulichen Eingriffen in das etablierte Wasserinfrastruktursystem sind zur Bereitstellung des Brandschutzes neue Feuerlöschstrukturen unter Berücksichtigung eines verstärkten präventiven Brandschutzes einzurichten. Eine unabhängige Löschwasserversorgung stützt sich dabei auf erschöpfbare und unerschöpfbare Wasserentnahmestellen, die unabhängig von einem Rohrnetz benutzt werden können. Zu den erschöpfbaren Wasservorräten gehören bspw. Löschwasserteiche (DIN 14210), unterirdische Löschwasserbehälter (DIN 14230) und sonstige Behälter (Schwimmbäder, Behälterfahrzeuge, Tanklöschfahrzeuge, etc.). Zu den unerschöpfbaren Wasservorräten zählen Löschwasserbrunnen (DIN14220) sowie Flüsse, Teiche, Seen und Talsperren.

In den letzten Jahren wurden neue Löschtechniken entwickelt, die bspw. auf der Vernebelung von Wasser basieren und im industriellen Bereich eine zunehmende Bedeutung einnehmen. Neben der etablierten Hochdrucktechnik werden in jüngster Zeit Technologien entwickelt, mit denen feinste Wassertropfen bereits bei niedrigem Betriebsdruck erzeugt werden können. Eine innovative Möglichkeit der dezentralen Löschwasserversorgung für den Objektschutz in der Industrie bietet die Kombination von Regenwassernutzung und Feuerlöschreservoirs (fbr Dialog 2008; Götsch 2005).

Neben den Anlagen zur Wasserverteilung sind auch die Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -speicherung durch die Folgen des demografischen Wandels auf den Wasserverbrauch betroffen. Jedoch bieten sie insbesondere bei modularer Verfahrenskonzeption eher die Möglichkeit auf den sinkenden Wasserbedarf zu reagieren. Allerdings kann eine reduzierte Entnahme von Grundwasser durch steigende Grundwasserspiegel zu Schäden an der Bausubstanz von Gebäuden führen.

Entsprechend der Reduktion der Trinkwasserverbrauchsmengen ist insgesamt auch das häusliche Abwasseraufkommen in den letzten Jahren zurückgegangen, so dass in den (Schmutzwasser)Kanälen eine geringere Menge Schmutzwasser anfällt, als bei

ihrer Planung bemessen wurde. Daher kann es zu stehendem Abwasser in den Leitungen kommen, was bspw. Korrosion und Geruchsbildung nach sich ziehen kann.

Der Rückgang der Abwassermengen wird sich je nach räumlicher Veränderung und regionaler Entwicklung mehr oder weniger stark auf die Abwasserfrachten (sinkender Schmutzwasser- und steigender Niederschlagswasseranteil) auswirken. Daher können auch für die Abwasserbehandlungsanlagen technische und betriebliche Änderungen notwendig werden.

Bei zunehmendem Rückgang des Abwasseraufkommens sind auch hier ab einem gewissen Schwellenwert betriebstechnische bzw. investive Maßnahmen (Anpassung, Stilllegung, Rückbau) in Erwägung zu ziehen. Tabelle 3-13 zeigt, dass der Schwellenwert für betriebstechnische Maßnahmen bei einem Verbrauchsrückgang von etwa 10 bis 20 % und für Anpassungs- und Rückbaumaßnahmen bei einem Verbrauchsrückgang von 30 bis 50 % liegt.

Tabelle 3-13 Betriebstechnische und investive Maßnahmen beim Um- bzw. Rückbau kommunaler Wasserinfrastruktursysteme

	Schwellenwert*	Trinkwasser	Abwasser
Betriebstechnische Maßnahmen	10-20 %	Netzänderung, Rohrnetzspülung, Druckstufenänderung	Kanalreinigung, Spülung
Investive Maßnahmen	30-50 %	Reduzierung der Leitungsquerschnitte, Behälter, Druckerhöhungsanlagen	Querschnittsreduzierung, Entlastungsbauwerke

* Verbrauchsrückgang bezogen auf die prognostizierte Verbrauchsgröße.

Quelle: Herz et al. (2005).

Solche baulichen Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Wasser- und Abwassernetze stehen in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung der Stadt bzw. von Stadtteilen. Um die Entwicklung von auf den zukünftigen Bedarf abgestimmten, finanzierbaren und flexiblen Lösungen zu erreichen, sind kostengünstige Alternativen wie technische und strukturelle Innovationen zu berücksichtigen.

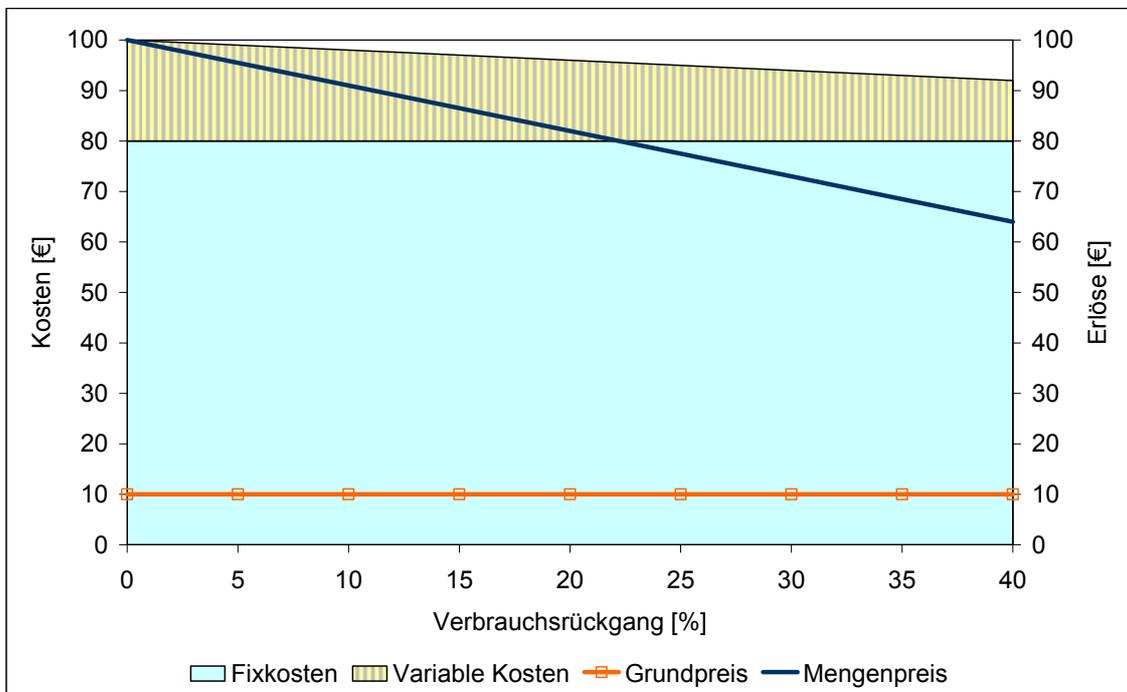
Auswirkungen auf Wasserversorgungsunternehmen

Der demografische Wandel stellt neben der technischen auch eine finanzielle und betriebswirtschaftliche Herausforderung dar, da die betriebstechnischen und investiven Maßnahmen sich insbesondere auf die Betriebskosten auswirken (Herz et al. 2005; Hoffmeister et al. 2008).

Weitere negative ökonomische Effekte eines reduzierten Trinkwasserverbrauchs bzw. Abwasseraufkommens ergeben sich aus den bisherigen Preis- bzw. Gebührensyste- men und dem Verhältnis zwischen fixen und variablen Kosten (vgl. Abbildung 3-6 und Abbildung 3-7).

Die derzeitige Wasserpreisstruktur spiegelt über das nahezu umgekehrt proportionale Verhältnis zwischen fixen und variablen Kosten sowie über den hohen Anteil an Men- genpreis im Vergleich zum Grundpreis nicht die eigentlichen Aufwendungen wider und kann diese damit auch nicht dauerhaft decken (Herz et al. 2005). Abbildung 3-17 stellt diesen Zusammenhang grafisch dar.

Abbildung 3-17 Entwicklung von Kosten und Erlösen bei abnehmenden Wasserver-
brauch



Quelle: Eigene Darstellung.

Ähnlich wie bei den Trinkwasserpreisen ist der überwiegende Teil der Kosten der Abwasserreinigung als fix anzusehen, so dass auch bei verringertem Abwasseraufkommen annähernd gleich bleibende Kosten entstehen. Die langen Nutzungsdauern und entsprechend langfristig anfallende Abschreibungen können in Folge der Reduzierung der Abwassermengen zu einer Erhöhung der spezifischen Kosten bzw. Gebühren für die Infrastrukturnutzung führen.

Um die tatsächliche Kostenstruktur abzubilden und die wirtschaftlichen Konsequenzen für die Unternehmen zu mildern, wäre eine Kostenverteilung in Richtung höherer

Grundpreise und geringerer mengenabhängiger Anteile am Gesamtpreis denkbar. Durch eine solche Maßnahme würde auch der bei unterausgelasteten Netzen kontraproduktive Anreiz zu Wassersparmaßnahmen reduziert. Die Belastung je Einwohner wird sich wie beim Trinkwasser regional unterschiedlich entwickeln. In Regionen mit abnehmenden Bevölkerungszahlen werden wie für Trinkwasser alternative Tarifmodelle zu entwickeln sein, um die Kosten für die Bevölkerung sozial verträglich zu halten (Hoffmeister et al 2008).

Aus Sicht der Endverbraucher wird durch den Rückgang des Trinkwasserverbrauchs und die hohen Fixkosten eine Preisspirale in Gang gesetzt, so dass sie trotz des sparsameren Umgangs mit Wasser kaum Kosten reduzieren können (Marschke et al. 2006). Steigende Wasserpreise trotz Verbrauchsrückgang führen bei vielen Verbrauchern bereits heute zu Akzeptanzproblemen und zur Hinterfragung der ökonomischen Funktionsfähigkeit der zentralen Wasserinfrastruktursysteme.

Auswirkungen auf Kommunen

Für die Kommunen in den Schwundregionen bedeutet eine abnehmende Bevölkerungszahl sinkende Steuererträge und Gebühreneinnahmen. Seit 1998 hatten die Kommunen in Deutschland jährliche Steuer- und Zuweisungsverluste von 600 Mio. € zu verkraften. In den Jahren 1998 bis 2003 ging das Nettoaufkommen der Gewerbesteuer um jährlich 3,8 % zurück, der Einkommensteueranteil verzeichnete mit jährlich +0,2 % ein leichtes Plus und lag 2003 etwa auf dem Niveau von 1998 (Dedy, Roßbach 2005). Mit der zunehmenden Alterung der Bevölkerung wird die Zahl der Einkommenssteuer zahlenden Personen zukünftig abnehmen, was sich auf die bereits angespannte Finanzsituation der Kommunen ungünstig auswirken wird. Das bedeutet, dass auch zukünftig für Investitionen in die Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur nur knappe Finanzressourcen verfügbar sein werden.

3.2.2 Klimawandel

Von den möglichen negativen Auswirkungen des Klimawandels sind im Wasserbereich insbesondere die Verringerung des Wasserangebots durch die Abnahme der Sommerniederschläge und Zunahme von Trockenperioden³⁰ sowie eine erhöhte Hochwassergefahr durch die Zunahme von Winterniederschlägen und Starkregenereignissen von Bedeutung. Die klimatischen Veränderungen wirken sich auf die Qualität und Menge der Grundwässer und Oberflächengewässer und auf die Funktionsfähigkeit der Siedlungsentwässerung aus und beeinflussen so auch die weitere Entwicklung des

³⁰ Als Trockenperiode gelten mindestens elf aufeinander folgende Tage mit einem Niederschlag von weniger als 1 mm.

konventionellen Wasserinfrastruktursystems. Daher werden im vorliegenden Abschnitt zunächst die zu erwartenden globalen und lokalen Klimaveränderungen beschrieben und anschließend der Einfluss des Klimawandels auf die kommunale Wasserwirtschaft näher beleuchtet.

3.2.2.1 Globale und lokale Klimaveränderungen

Dass aufgrund weltweit steigender Treibhausgasemissionen eine Veränderung des globalen Klimas begonnen hat, die unter anderem zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur führt, ist heute im Allgemeinen unumstritten.

Seit 1900 ist die mittlere Temperatur in Europa um 0,95 °C gestiegen. Weltweit wurde im vergangenen Jahrhundert eine Temperaturerhöhung um 0,7 °C (+/- 0,2 °C) beobachtet. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) geht davon aus, dass es in den kommenden 100 Jahren zu einer Erhöhung der mittleren bodennahen Lufttemperatur um 1,4 bis 5,8 °C kommen wird (IPPC 2001a; IPPC 2001b). Damit verbunden sind eine erhöhte Verdunstung und insgesamt eine Veränderung des Niederschlagsregimes.

Klimaveränderungen finden bereits heute auch in Deutschland statt. Untersuchungen zeigen für den Zeitraum von 1901 bis 2003 einen Temperaturanstieg von etwa 0,8 °C (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2006). Der Deutsche Wetterdienst geht von einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur zwischen 0,5 und 2,0 Grad Celsius bis zum Jahr 2050 aus. Bis zum Jahr 2100 wird von einer Erwärmung von etwa 2,0 bis 4,0 Grad Celsius ausgegangen (Becker 2008).

Für Fragen der Wasserwirtschaft ist es von großer Bedeutung, möglichst lokale Aussagen zum Klimawandel in Deutschland zur Verfügung zu haben, da auch die Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme auf lokaler bzw. regionaler Ebenen betrieben werden. In jüngster Vergangenheit wurden verschiedene Studien (z. B. ZWEK³¹, Verbundvorhaben KLARA³², Kooperationsvorhaben KLIWA³³, WASKlim³⁴) veröffentlicht,

31 ZWEK: „Zusammenstellung von Wirkmodell-Eingangsdatensätzen für die Klimafolgenabschätzung“, Deutscher Wetterdienst (DWD).

32 KLARA: „Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung“. Das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg hat das Verbundprojekt KLARA initiiert, das sich mit den Auswirkungen des Klimawandels befasst, die für das Land Baden-Württemberg von besonderer Bedeutung sind. (Nähere Informationen unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de).

33 KLIWA: „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“. Dieses Kooperationsvorhaben wurde gemeinsam von den Ländern Baden-Württemberg und Bayern sowie vom Deutschen Wetterdienst durchgeführt. (Nähere Informationen unter www.kliwa.de).

die die Folgen der oben genannten zu erwartenden Klimaänderungen für verschiedenen Regionen in Deutschland detailliert beschreiben und die Verwundbarkeit heutiger Wasserinfrastruktursysteme gegenüber klimatischen Veränderungen aufzeigen. Im Jahr 2005 beschloss die Bundesregierung im Rahmen des nationalen Klimaschutzprogramms die Entwicklung einer nationalen Anpassungsstrategie. Die Wasserwirtschaft und wasserwirtschaftliche Fragestellungen nehmen hierbei eine besondere Bedeutung ein, da die Komponenten des Wasserkreislaufs eine hohe Sensitivität gegenüber klimatischen Veränderungen zeigen. Im Folgenden sind die klimatischen Veränderungen, die die genannten Studien im Kontext der kommunalen Wasserwirtschaft sehen, zusammengefasst dargestellt.

Veränderungen der Niederschlagsmengen

Generell wird in Deutschland zukünftig mit einer Abnahme der Sommerniederschläge und mit einer Zunahme der Winterniederschläge gerechnet. Ergebnisse des KLIWA-Projektes für Baden-Württemberg und Bayern zeigen, dass sich dort die Niederschläge im Sommer allerdings nur geringfügig verändern werden. Die Winterniederschläge werden jedoch deutlich zunehmen, je nach Region beträgt die unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme bis zu 35 % (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2005c; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2005a). Eine Projektion des Klimawandels in Sachsen ergab, dass dort in der Dekade von 2041 bis 2050 die mittleren Niederschlagssummen im Winter deutlich (im Durchschnitt + 24 mm) zunehmen werden. Im Sommer wird in Sachsen ebenfalls mit einem Rückgang der Niederschläge (um durchschnittlich 23 mm) gerechnet (Küchler 2004). Ergebnisse einer Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 lassen einen räumlich stark differenzierten Rückgang des Niederschlags (von -17,8 mm bis -221 mm) in den nächsten 50 Jahren erwarten, so dass dann die Jahresniederschlagsmengen in Südbrandenburg unter 400 mm fallen würden (Gerstengarbe et al. 2003; Stock 2004).

Zunahme von Starkniederschlägen

Extreme Niederschlagsereignisse haben in der Vergangenheit immer wieder zu Hochwasserkatastrophen geführt. Von den Hochwasserereignissen in den großen Einzugsgebieten werden kleinräumige Hochwasserereignisse unterschieden, die gleichfalls ein hohes Schadenspotenzial aufweisen (Umweltbundesamt 2005a).

³⁴ WASKlim: „Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel“ im Rahmen des Umweltforschungsplans des BMU (UFOPLAN Nr. 3707 41105).

Eine Zunahme von Starkregenereignissen wurde für die Wintermonate belegt (Grieser, Beck 2002). Auch zukünftig wird für das gesamte Bundesgebiet mit einer Zunahme von Wintertagen mit hohen bzw. extrem hohen Niederschlagssummen gerechnet (Jonas et al. 2005). In Baden-Württemberg und Bayern wird künftig mit einer höheren Anzahl der Tage mit hohen Niederschlägen (d. h. höher als 25 mm) im Winter und Frühjahr gerechnet (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2005a; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2005c). In Sachsen geht man hingegen von einer signifikanten Zunahme der Häufigkeit von Starkregen in den Monaten Juli und August aus (Küchler 2004).

Veränderung von Trockenperioden

Trockene Perioden sind generell ein natürliches und wiederkehrendes Phänomen. Die heißen und trockenen Jahre in den 1990er Jahren und insbesondere das Jahr 2003 haben gezeigt, dass Deutschland, obwohl es in einer gemäßigten Klimazone liegt, von Niedrigwasser und Dürren betroffen sein kann (Umweltbundesamt 2005a). Die zukünftig erwarteten Veränderungen von Trockenperioden in Deutschland fallen regional sehr unterschiedlich aus. In Bayern und Baden-Württemberg wird künftig die Zahl der Trockenperioden pro Jahr abnehmen. Ebenso wird die Anzahl der Trockentage³⁵ abnehmen. Modellrechnungen für das Land Brandenburg zeichnen ein anderes Bild. Hier wird davon ausgegangen, dass durch den Rückgang der Niederschläge und den damit verbundenen Rückgang der Sickerwassermengen sowie durch die zunehmende Verdunstung die Grundwasserneubildung um 42 % zurückgeht und es zu einem weiteren Absinken der Grundwasserspiegel kommt (Stock 2004). Auch in Sachsen wird mit einer Zunahme der Häufigkeit und der maximalen Länge von Trockenperioden ausgegangen (Küchler 2004).

3.2.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft

Wasserdargebot

Der zu erwartende Temperaturanstieg bewirkt vor allem eine Erhöhung der Verdunstung und verringert damit potenziell die Wasserbilanz. Darüber hinaus beeinflussen Veränderungen in der winterlichen Schneebedeckung und die Verlängerung der Vegetationszeit den Wasserhaushalt.

Wie stark eine Region von klimatischen Veränderungen hinsichtlich ihres Wasserdargebots betroffen ist, hängt neben dem Grad der Veränderungen von der lokalen Aus-

³⁵ Ein Trockentag ist definiert als ein Tag mit weniger als 1 mm Niederschlag.

gangssituation ab. Gebiete, die bereits heute eine ungünstige Wasserbilanz³⁶ aufweisen, wie bspw. die zentralen und östlichen Bereiche Ostdeutschlands, können vom Klimawandel stark betroffen sein. Die wahrscheinliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter führt in diesen Regionen in den Sommermonaten zu Einschränkungen im Wasserdargebot (Umweltbundesamt 2005a). Besonders dort, wo die Wasserversorgung auf Grund- bzw. Quellwasservorkommen basiert, können abnehmende Sickerwassermengen und fallende Grundwasserspiegel zur Einschränkung bei der Wasserverfügbarkeit führen. Probleme können sich auch dort ergeben, wo zur Trinkwasserversorgung Oberflächengewässer genutzt werden und es bei diesen aufgrund geringerer Niederschläge oder fehlendem Gletscherwasser zu einem Rückgang der Wasserführung kommt.

Darüber hinaus kann der Klimawandel auch erhebliche Auswirkungen auf die Grundwasser- bzw. Rohwasserqualität nehmen, da die Wasserressourcen bei längeren Wärme- und Trockenperioden starken Belastungen unterliegen.

Hinzukommen können zusätzliche Nitratbelastungen des Grundwassers sowie der Eintritt von Salzwasser in die Grundwasserleiter durch Änderungen der Grundwasserströmungsverhältnisse.

In kleineren und flacheren Talsperren kann es zudem bei höheren Temperaturen zur Algenblüten kommen. Zudem erleichtern wärmere Wintermonate das Überleben von Schädlingen. Für die Landwirtschaft könnte daraus die Notwendigkeit eines höheren Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln folgen, was sich wiederum ungünstig auf die Rohwasserqualität auswirken würde.

Siedlungsentwässerung

Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung ergeben sich durch die häufiger und stärker auftretenden Extremniederschläge, wodurch die Abwassermenge im Kanalnetz kurzfristig um ein Vielfaches zunehmen kann (Wald 2004). Bei der hydraulischen Bemessung der heutigen Trinkwasser- bzw. Kanalnetze wurden historische Trinkwasserverbrauchsmengen bzw. Abwasseranfallmengen zugrunde gelegt. Ebenso flossen auch ortsspezifische historische Niederschlagsverhältnisse in die hydraulische Bemessung der Kanalsysteme ein. Aufgrund der klimabedingten Veränderungen der lokalen Niederschlagsverhältnisse entsprechen diese Annahmen jedoch nicht mehr den zu-

³⁶ Eine Wasserbilanz ist die Bilanz aus Niederschlag, Verdunstung, Sickerwasserbildung und Oberflächenabfluss. Eine Wasserbilanz ist negativ, wenn die potenzielle Verdunstung größer als der Niederschlag ist; entsprechend ist sie positiv, wenn die Verdunstung kleiner als der Niederschlag ist. Ungünstig fällt eine Wasserbilanz bei einer hohen Verdunstung aus, da dann nur geringe Anteile des Niederschlags zur Sickerwasserbildung beitragen bzw. zum Oberflächenabfluss gelangen.

künftig erwarteten Werten. Der oben beschriebene Trend zu mehr Winterniederschlägen lässt die Wahrscheinlichkeit für lokale Hochwasserereignisse im Winterhalbjahr steigen.

3.2.2.3 Anpassungsstrategien an den Klimawandel

Die Anpassung der Wasserwirtschaft an Klimaveränderungen ist von großer Bedeutung, da sie zukünftig nicht nur Extremereignisse wie Hoch- und Niedrigwasser berücksichtigen muss, sondern auch für eine ausgeglichene Bilanz von Wasserverfügbarkeit und Wasserbedarf sorgen und den hohen Ansprüchen an die Wasserqualität genügen muss. Bisher ist die Wasserwirtschaft in Deutschland allerdings wenig an die Folgen des Klimawandels angepasst. In den meisten Bundesländern werden die Auswirkungen des Klimawandels noch kaum in der Planung berücksichtigt (UBA 2005). In Baden-Württemberg und Bayern wurde ein Klimaänderungsfaktor von 15 %³⁷ für den Hochwasserabfluss eines Jahrhunderthochwassers (HQ₁₀₀) festgelegt (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2005b; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2005b). Hinsichtlich Hochwasserereignissen ist in ganz Deutschland von einer hohen Vulnerabilität auszugehen.

Auf sommerlichen Wassermangel ist die Wasserwirtschaft bisher kaum vorbereitet. Werden in den Gebieten, die bereits heute unter einem geringen Wasserdargebot leiden (Ostdeutschland) keine Maßnahmen getroffen, ist dort ebenfalls von einer hohen, in den übrigen Regionen von einer mäßigen Vulnerabilität auszugehen (UBA 2005).

Zur Erhöhung der Anpassung an möglichst viele, mit Unsicherheit behaftete Auswirkungen des Klimawandels wird vor allem dem Wassersparen ein großes Wirkungspotenzial beigemessen. Maßnahmen des Regenrückhalts (Retentionsflächen) und zur Regenwassernutzung sowie eine angepasste infrastrukturelle Vorsorge sind darüber hinaus geeignete Anpassungsmöglichkeiten der kommunalen Wasserwirtschaft zur Minderung der Risiken durch klimatische Veränderungen (UBA 2005).

3.2.3 Rechtliche Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Das europäische Vergaberecht ist nach wie vor Themenschwerpunkt der Diskussion um die Zukunft der Daseinsvorsorge in der kommunalen Wasserwirtschaft. Die andau-

³⁷ Das bedeutet, dass Hochwasserschutzanlagen auf einen um 15 % höheren Wasserabfluss (bezogen auf den HQ₁₀₀-Wert) dimensioniert oder so geplant werden, dass bei Bedarf nachgerüstet werden kann (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2006).

ernde Debatte um mögliche Optionen einer Liberalisierung übt dabei einen Veränderungsdruck auf die bestehenden wasserwirtschaftlichen Strukturen aus.

Die in der wasserwirtschaftsbezogenen Liberalisierungsdebatte beteiligten zentralen europäischen Institutionen sind das Europäische Parlament, die Europäische Kommission mit den Bereichen Umweltpolitik und Binnenmarktentwicklung sowie der Europäische Gerichtshof. Auf nationaler Ebene sind in erster Linie das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sowie das Umweltbundesamt beteiligt. Die Position der Wasserwirtschaftsunternehmen in der Liberalisierungsdiskussion vertreten als politisch-wirtschaftliche Interessenvertretungen der Bundesverband der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie der Verband kommunaler Unternehmen (VKU) und die Allianz der öffentlichen Wasserwirtschaft (AöW).

Der europäische Diskussionsrahmen wird seit geraumer Zeit durch zwei parallele Diskussionsstränge abgesteckt. Der erste Strang bezieht sich auf eine unmittelbare Wasserliberalisierung, den so genannten Wettbewerb im Markt. In diesem Wettbewerbsmodell wird der Wettbewerb um den Endkunden durch den Bau von Direktleitungen vor allem an den Versorgungsgebietsgrenzen, durch gemeinsame Nutzung vorhandener Netze und/oder durch die Einschaltung von Zwischenhändlern ausgeübt. Eine gemeinsame Nutzung vorhandener Netze ist im Bereich der Wasserversorgung jedoch nur dann sinnvoll, wenn dies aus wasserchemischer und hygienischer Sicht unbedenklich ist. Die Debatte über diese unmittelbare Wasserliberalisierung ist derzeit in den Hintergrund gerückt, da eine gezielte Liberalisierung des Wassersektors von keinem der beteiligten Akteure konkret verfolgt wird.

Der zweite Diskussionsstrang umfasst eine mittelbare Wasserliberalisierung, den so genannten Wettbewerb um den Markt. Dieses Wettbewerbsmodell sieht durch die Ausschreibung von Versorgungsleistungen und die zeitlich befristete Vergabe von Konzessionen vor, die Anbieter in einen Wettbewerb um innovative und kostengünstige Lösungen für ein gesamtes Ver- bzw. Entsorgungsgebiet zu bringen. In der jüngeren Liberalisierungsdebatte wurden die vergaberechtlichen und mit Ausschreibungswettbewerb verbundenen Forderungen von Seiten der Europäischen Kommission stärker, so dass sich auf diesem Weg in indirekter Weise die Situation für die kommunal geprägte Wasserwirtschaft deutlich verändert. Von diesen Tendenzen erfasst sind die für die kommunale Wasserwirtschaft wichtigen Bereiche der interkommunalen Zusammenarbeit, der Dienstleistungskonzessionen sowie der öffentlich-privaten Partnerschaften, da viele Kommunen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung mit kommunalen oder privaten Partnern kooperieren. Wichtige Ziele sind dabei die Nutzung von Synergieeffekten und Kosteneinsparpotenzialen, eine bessere Kapazitätsauslastung sowie eine gemeinsame Investitionspolitik.

3.2.3.1 Interkommunale Zusammenarbeit und Dienstleistungskonzessionen

Aus Sicht der kommunal organisierten Wasserwirtschaft ist es von besonderer Bedeutung, dass in jüngster Zeit eine Ausschreibungspflicht für die interkommunale Zusammenarbeit immer mehr in den Blickpunkt des europäischen Vergaberechts gerückt ist. In den letzten Jahren wurden verschiedene Urteile zum Verhältnis der interkommunalen Zusammenarbeit und dem europäischen Vergaberecht gefällt, die für die kommunale Wasserwirtschaft von Bedeutung sind. Im Vertragsverletzungsverfahren der Europäischen Kommission gegen Spanien (Rs. C-84/03) wurde festgestellt, dass Kooperationsvereinbarungen zwischen Stellen der öffentlichen Verwaltung nicht automatisch durch ein nationales Gesetz von der Anwendung des Vergaberechts ausgenommen werden können. Dem Urteil zu Folge setzt ein öffentlicher Auftrag einen schriftlichen entgeltlichen Vertrag zwischen einem Unternehmen und einem öffentlichen Auftraggeber voraus. Hierbei genügt es grundsätzlich, dass der Vertrag zwischen einer Gebietskörperschaft und einer rechtlich von ihr verschiedenen Person geschlossen wird. In einem solchen Fall ist das europäische Vergaberecht anzuwenden.

Anderes gilt, wenn die vom EuGH in der so genannten Teckal-Entscheidung (Rs. C-107/98) aufgestellten Kriterien erfüllt sind. Demnach handelt es sich um ein so genanntes vergabefreies Inhouse-Geschäft, wenn eine Gebietskörperschaft einen Vertrag mit einer rechtlich von ihr verschiedenen Person schließt, an der sie beteiligt ist und die Gebietskörperschaft über diese Person eine Kontrolle ausübt wie über ihre eigenen Dienststellen und wenn diese Person gleichzeitig ihre Tätigkeit im Wesentlichen für die Gebietskörperschaft verrichtet, die ihre Anteile innehat.

Aus diesen beiden für die kommunale Wasserwirtschaft wichtigen Entscheidungen des EuGH geht hervor, dass die interkommunale Zusammenarbeit nicht grundsätzlich unter das Vergaberecht fällt. Die interkommunale Zusammenarbeit darf nur nicht immer automatisch per nationales Gesetz vom europäischen Vergaberecht ausgeschlossen sein.

Ein weiteres bekanntes Beispiel im Spannungsfeld interkommunale Zusammenarbeit und Ausschreibungspflichten ist der Fall der Gemeinde Hinte aus dem Jahr 2005. Dieses Beispiel zeigt die Anerkennung der interkommunalen Zusammenarbeit in der Wasserwirtschaft durch die Europäische Kommission auf. In diesem Fall wurde die interkommunale Zusammenarbeit nicht nur als Ausnahme vom europäischen Vergaberecht behandelt, sondern dessen Anwendbarkeit sogar verneint. Die Gemeinde Hinte war dem Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) beigetreten und hatte ihm die Zuständigkeit für die Abwasserentsorgung übertragen. Gleichzeitig hatte die Ge-

meinde Hinte mit dem OOWV einen Vertrag abgeschlossen, in dem sich die Gemeinde gewisse Kontrollrechte vorbehielt. Die Europäische Kommission beurteilte den Vorgang als Vergabe einer Dienstleistungskonzession, für die ein transparentes Vergabeverfahren hätte durchgeführt werden müssen. Die Europäische Kommission stellte das eingeleitete Vertragsverletzungsverfahren erst ein, nachdem die Gemeinde den Zusatzvertrag gekündigt hatte. De facto seien in dem Vertrag im Wesentlichen die Verpflichtungen festgehalten worden, die sich bereits aus der Mitgliedschaft der Gemeinde in dem Verband ergaben. Die Beendigung des Zusatzvertrags mache deutlich, dass die Zuständigkeit für die Abwasserentsorgung eigentlich infolge des Verbandsbeitritts von der Gemeinde auf den OOWV übertragen wurde. Dies bedeute, dass der OOWV infolge einer internen Neuordnung öffentlicher Befugnisse und nicht etwa durch einen öffentlichen Auftrag betraut wurde. Demzufolge sei das europäische Vergaberecht nicht anzuwenden.

Bei der Erteilung von Dienstleistungskonzessionen wird die Ausführung von Tätigkeiten zu Gunsten der Öffentlichkeit, die der Verantwortung des Staates bzw. eines kommunalen Trägers unterstehen, ganz oder teilweise auf einen Dritten übertragen. Dieser Dritte erhält, im Unterschied zu den dem nationalen und europäischen Vergaberecht unterliegenden Dienstleistungsaufträgen, als Konzessionär für die Übernahme jedoch kein Entgelt. Er muss sich vielmehr zumindest zum überwiegenden Teil bei den Leistungsempfängern über einen vorher festgelegten Zeitraum refinanzieren und trägt damit auch ein gewisses unternehmerisches Risiko. Das europäische Vergaberecht sah bislang keine spezifischen Regelungen der Dienstleistungskonzessionen vor. Jedoch wurde in den o. g. Urteilen des EuGH deutlich, dass Grundregeln des Gemeinschaftsrechts, wie die Verpflichtung der Transparenz auch im Rahmen der Vergabe von Dienstleistungskonzessionen, zu beachten sind (Verband kommunaler Unternehmen 2008a).

Im Zuge der Entwicklungen um das so genannte Grünbuch zu öffentlichen Partnerschaften und Konzessionen der Europäischen Kommission (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004a) sind neben der interkommunalen Zusammenarbeit auch die Dienstleistungskonzessionen stärker in den Mittelpunkt der vergaberechtlichen Diskussion gerückt. Durch eine Ausschreibungspflicht für die interkommunale Zusammenarbeit und Konzessionen würde die aktuelle Struktur der Wasserversorgung in Deutschland in Frage gestellt, da die Kommunen dann kaum noch frei entscheiden könnten, wie sie ihre öffentlichen Aufgaben erfüllen. Insbesondere würde die kommunale Gestaltungsfreiheit bei der Trinkwasserversorgung erheblich beeinträchtigt werden, da hier das Modell der Dienstleistungskonzessionen weit verbreitet ist. Dies steht zum einen im Widerspruch zum Selbstverwaltungsrecht, das den Kommunen per Grundgesetz garantiert ist. Zum anderen führt es zu einer gewissen Rechtsunsicher-

heit vieler öffentlich-rechtlicher Partnerschaften im Bereich der Wasserwirtschaft, da bei einer Ausschreibungspflicht selbst bestehende Verträge europarechtswidrig wären.

Eine mögliche Folge für kommunale Unternehmen, die ihre Konzession nach einer Ausschreibung verlieren, ist der Verluste von Tätigkeitsfeldern. Dies würde den Handlungsspielraum kommunaler Unternehmen innerhalb der eigenen Gemeindegrenze weiter stark einengen. Gleichzeitig ist aufgrund des Kommunalwirtschaftsrechts einem kommunalen Unternehmen das Tätigwerden außerhalb des eigenen Gemeindegebiets nur in engen Grenzen möglich.

3.2.3.2 Institutionalisierte öffentlich-private Partnerschaften (IÖPP)

Neben der interkommunalen Zusammenarbeit nehmen auch institutionalisierte öffentlich-private Partnerschaften (IÖPP) in der deutschen Wasserwirtschaft eine bedeutende Rolle ein, da viele kommunale Unternehmen in der Wasserwirtschaft private Beteiligungen haben. IÖPP sind öffentlich-private Unternehmen, die üblicherweise zur Durchführung von Dienstleistungen für die Allgemeinheit, insbesondere auf lokaler Ebene, gegründet werden. Für öffentliche Unternehmen sind die Nutzung von privatem Kapital und die Übertragung von Know-how vom privaten auf den öffentlichen Sektor ausschlaggebend für die Gründung von IÖPP. Wesentliche Vorteile derartiger Partnerschaften für den privaten Sektor sind neue Geschäftsmöglichkeiten in Bereichen, die traditionell dem öffentlichen Sektor vorbehalten waren.

Die aktuelle Diskussion über die Ausgestaltung von IÖPP spiegelt sich in verschiedenen europäischen Dokumenten wider. Zu nennen sind hier das Grünbuch zu Öffentlich-Privaten Partnerschaften und die Gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für Öffentliche Aufträge und Konzessionen (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004b). Daneben veröffentlichte die Europäische Kommission ihre Mitteilung zu öffentlich-privaten Partnerschaften und den gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für das öffentliche Beschaffungswesen und Konzessionen (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2005). Anfang 2008 verabschiedete die Europäische Kommission ihre Mitteilung zu Auslegungsfragen in Bezug auf die Anwendung der gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für öffentliche Aufträge und Konzessionen auf IÖPP (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2008). Bereits heute findet - anders als bei der interkommunalen Zusammenarbeit, bei der kein privater Dritter oder Konkurrent betroffen ist, weil die Aufgaben, Dienstleistungen oder Konzessionen vollständig in kommunaler Hand bleiben - bei einer IÖPP das EU-Vergaberecht zu Dienstleistungen Anwendung, wenn die Gründung einer IÖPP im engen Zusammenhang mit einem Leistungsauftrag steht. Der Mitteilung zu Auslegungsfragen entsprechend können gemischtwirtschaftliche Unternehmen auch bei einer privaten Minderheitsbeteiligung kei-

ne Inhouse-Vergabe geltend machen, sondern müssen europaweit ausgeschrieben werden. Dieser Ausschluss einer Inhouse-Vergabe bei einer privaten Beteiligung engt die Gestaltungsmöglichkeiten der Kommunen bei der Aufgabenerfüllung durch IÖPP weiter ein.

Weitere Konsequenzen für die deutsche Wasserwirtschaft bringt auch der europäische Reformvertrag, der 2009 in Kraft treten soll, mit sich. In ihm wird einerseits erstmals die Gestaltungsfreiheit und das Selbstverwaltungsrecht der Kommunen bei Leistungen der Daseinsvorsorge festgeschrieben und somit das Subsidiaritätsprinzip bis auf die lokale Ebene bestätigt (Art. 2 Abs. 2 und Art. 5 Abs. 3 des Vertrages). Andererseits erlangen die europäischen gesetzgebenden Institutionen die Befugnis, Verordnungen zu Daseinsvorsorgeleistungen zu erlassen, um solche Dienstleistungen zukünftig im Einklang mit den Verträgen der Europäischen Gemeinschaft zur Verfügung zu stellen, in Auftrag zu geben und zu finanzieren. Mit dieser Regelungskompetenz und der gleichzeitigen Befähigung zur Definition, welche Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichen Interesse sind und wie diese zu behandeln sind, ist zugleich eine Einengung der Kompetenzen der Mitgliedsstaaten verbunden. Das Ziel der reinen Binnenmarkt- und Wettbewerbsorientierung, wie es noch im EU-Vertrag festgeschrieben war, wurde im Reformvertrag nicht weitergeführt.

Die zukünftigen Entwicklungen und Bestimmungen des „General Treatment on Trade in Services“ (GATS) der World Trade Organisation (WTO) könnten weiteren Liberalisierungsdruck auf traditionell kommunale Aufgabenbereiche wie die Wasserver- und Abwasserentsorgung ausüben. In diesem Abkommen ist der Handel mit Dienstleistungen über die Grenzen der EU hinweg geregelt und hat dessen Liberalisierung zum Ziel. Das Abkommen sieht eine – bislang nicht zwingende aber in der Verhandlung anzunehmende – gegenseitige Öffnung bestimmter Dienstleistungsbereiche, darunter Wasserver- und Abwasserentsorgung, auf internationaler Ebene vor. Das GATS führt also nicht von sich aus zur Liberalisierung des Dienstleistungshandels, doch mittels so genannter spezifischer Verpflichtungen müssen die WTO-Mitglieder auch ausländischen Anbietern den Zugang zu Märkten ermöglichen. Bezüglich des Wassersektors hat die Europäische Union gegenüber Drittstaaten bislang kein Liberalisierungsangebot gemacht. Da die eigentliche Verhandlungsphase aber noch nicht abgeschlossen ist, ist das Gesamtergebnis der GATS-Verhandlungen noch offen (Libbe, Moss 2007).

Wie das europäische Parlament, so haben sich auch Bundesregierung und Bundestag gegen eine grundlegende Neuordnung der wasserwirtschaftlichen Strukturen ausgesprochen. Um dennoch Effizienzsteigerungen in der deutschen Wasserwirtschaft zu erreichen, wurde im März 2002 eine Modernisierungsstrategie vom Deutschen Bundestag beschlossen (Deutscher Bundestag 2001). Die wesentlichen Ziele dieser Mo-

ernisierungsstrategie³⁸ sind die dauerhafte Gewährleistung von Sicherheit, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit als Basis eines anerkannten Handelns in der Wasserwirtschaft, der Ausbau effizienter, kundenorientierter und wettbewerbsfähiger Dienstleistungsunternehmen sowie ein stärkeres internationales Engagement bei der Umsetzung der Millenniumsziele im Wasserbereich³⁹ (Deutscher Bundestag 2006). Die Modernisierungsstrategie ermöglicht die Einführung von Wettbewerbselementen, ohne die vorhandenen Strukturen grundsätzlich in Frage zu stellen. Folgende Kernelemente sind in der Modernisierungsstrategie enthalten:

- Schaffung eines Benchmarkingsystems,
- Lockerung des Örtlichkeitsprinzips im Gemeindefinanzierungsrecht,
- Übertragung der Abwasserentsorgungspflicht auf Dritte,
- Steuerliche Gleichbehandlung von Trink- und Abwasser⁴⁰,
- Stärkeres internationales Engagement der deutschen Wasserwirtschaft.

Sowohl die oben beschriebenen Optionen des Wettbewerbs im Markt bzw. des Wettbewerbs um den Markt als auch die Modernisierungsstrategie der deutschen Wasserwirtschaft beruhen implizit auf der Beibehaltung einer zentralistischen Wasserver- und Abwasserentsorgung. Die Grundannahme, dass es sich sowohl bei der Wasserver- als auch bei der Abwasserentsorgung wegen der Leitungsgebundenheit um natürliche Monopole handelt, wurde darin nicht hinterfragt. Dabei weisen dezentral einsetzbare Wasserver- und Abwasserentsorgungstechnologien zur Wasseraufbereitung, Abwasserreinigung und Kreislaufführung von Wasser auf der Ebene von Einzelgebäuden große Anwendungspotenziale auf. Der Betrieb dieser dezentralen Anlagen, bspw. durch die Eigentümer selbst oder durch Dienstleistungsunternehmen im Rahmen neuer Versorgungsdienstleistungen und Geschäftsmodelle, würde die Diskussion um die Ge-

³⁸ Zur Umsetzung der Modernisierungsstrategie formulierten Vertreter der deutschen Wasserwirtschaft eine sog. Wasserprogrammatische (Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft 2005).

³⁹ Auf dem Millenniumsgipfel der Vereinten Nationen vom September 2000 verabschiedeten 189 Staats- und Regierungschefs die Millenniumserklärung und die Millenniumsentwicklungsziele (MDG), eine acht Punkte umfassende Agenda, um die weltweite Armut bis ins Jahr 2015 zu halbieren. Im Wasserbereich lautet das Ziel, bis zum Jahr 2015 den Anteil der Menschen ohne Wasserver- und Abwasserbeseitigung zu halbieren.

⁴⁰ Die Besteuerung der Dienstleistungen Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung sind in Deutschland nicht einheitlich geregelt. Während die Wasserversorgung grundsätzlich und einheitlich dem ermäßigten Steuersatz von 7 % einer Umsatzbesteuerung unterliegt, ist die Besteuerung der Abwasserbeseitigung differenzierter geregelt. Öffentlich-rechtlich organisierte Abwasserbeseitigungsunternehmen sind als Hoheitsbetriebe von der Körperschafts- und Umsatzsteuer befreit. In privater Rechtsform geführte Abwasserbeseitigungsunternehmen unterliegen hingegen der vollen Umsatzsteuerpflicht.

bietsmonopole in der Liberalisierungsdebatte zumindest teilweise irrelevant erscheinen lassen. Dezentrale Technologien eröffnen die Möglichkeit echter Wettbewerbselemente in der Wasserwirtschaft, nämlich den Wettbewerb um die einzelnen Haushalte (Hiessl et al. 2003; Hiessl, Herbst 2002; Hiessl, Toussaint 1999). Im Folgenden werden daher Innovationen und Technischer Wandel als weiterer Einflussfaktor auf die kommunale Wasserwirtschaft beschrieben.

3.2.4 Innovation und technischer Wandel in der Wasserwirtschaft

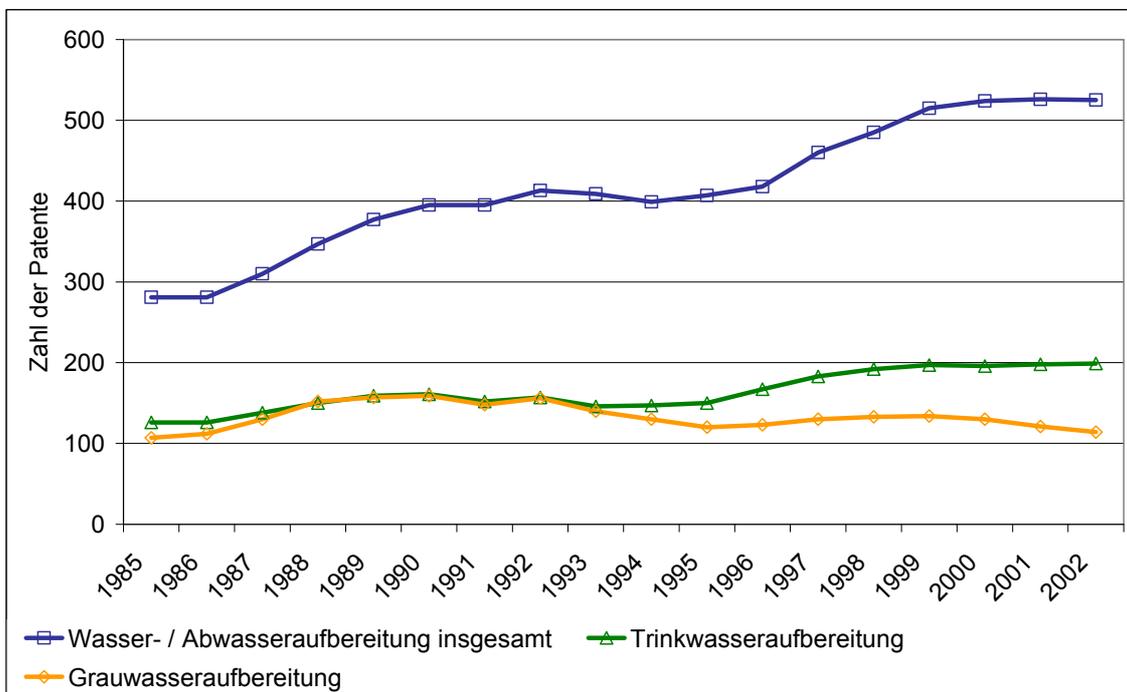
Die Weiterentwicklung von Techniken zur Wassernutzung und Abwasserreinigung werden auch zukünftig die Möglichkeiten für einen effizienteren Umgang mit Wasser verbessern. Durch den Einsatz solcher wassereffizienter Technologien werden sich die bereits beschriebenen Probleme in den konventionellen Wasserinfrastruktursystemen noch verstärken. In den letzten Jahren hat die zunehmende Diffusion innovativer wassereffizienter Technologien bereits zu einem deutlichen Rückgang des Wasserverbrauchs geführt, der maßgeblich dazu beigetragen hat, dass es vermehrt zu Funktionsstörungen in den Wasserinfrastruktursystemen gekommen ist. Zugleich bieten die bereits stattgefundenen und die noch zu erwartenden technologischen Entwicklungen sowie ökonomische Skaleneffekte Chancen für die Neuausrichtung von Wasserinfrastrukturkonzepten.

Für den hier vorliegenden Untersuchungsgegenstand der kommunalen Wasserwirtschaft sind in den Bereichen Wasserversorgung, Wassernutzung und Abwasserentsorgung technologische Entwicklungen, die zu strukturellen Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft beitragen und Einfluss auf einen Systemwandel nehmen können, zu berücksichtigen.

3.2.4.1 Technischer Wandel im Bereich der kommunalen Wasserversorgung

Durch die Entwicklung neuer Untersuchungsmethoden und Messverfahren zur Schadstofferkennung einerseits und durch zunehmende Umweltprobleme andererseits wurden die Maßstäbe an die Trinkwasserqualität in den letzten 25 bis 30 Jahren immer höher gesetzt. Daher wurden die Anlagen zur Wasserversorgung kontinuierlich verbessert und weiterentwickelt, um den wachsenden Anforderungen an die Trinkwasserhygiene und den Umweltschutz gerecht zu werden. Zu diesen Innovationen gehören bspw. Technologien zur Dosierung und Messung von Chlor, zur Ozonierung von Trinkwasser sowie Umkehrosmose- und UV-Desinfektionsanlagen.

Die in jüngster Zeit entwickelten Anlagen zur Regen-, Grau- und Brauchwasseraufbereitung können als radikale Innovationen charakterisiert werden, da sie wesentliche Neuerungen darstellen, die mit den Nutzungen von Trinkwasser und der Entsorgung von Abwasser in den bestehenden zentralen Systemen der konventionellen kommunalen Wasserversorgung z. T. nicht ohne weiteres kompatibel sind. Diese innovativen Technologien ermöglichen die dezentrale Nutzung von Wasserressourcen und die Bereitstellung von bedarfsgerechten Wasserqualitäten, wie bspw. aufbereitetes Regenwasser statt Trinkwasser zur Toilettenspülung. Bei gewerblichen Nutzern werden solche Techniken schon standardmäßig eingesetzt, in privaten Haushalten hat die Verbreitung solcher Anlagen in den letzten Jahren zugenommen. Das bedeutet, dass bereits heute zumindest ein Teil der privaten Wassernutzungen vom zentralen Trinkwassernetz abgekoppelt werden und sich diese Entwicklung der Eigenversorgung in Zukunft noch verstärken dürfte. Dieser Trend wird gestützt durch die Zunahme der Patentzahlen im Bereich der Behandlung von Wasser und Abwasser, wie eine Patentanalyse im Jahr 2005 des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) zeigt (Kotz, Hillenbrand 2005). Auch im Bereich der Trinkwasseraufbereitung ist seit Mitte der 1990er Jahre eine kontinuierliche Zunahme der Patentzahlen zu verzeichnen. Im Bereich der Grauwasseraufbereitung nahmen die jährlichen Patentzahlen seit 2000 leicht ab (Abbildung 3-18).



Quelle: Kotz, Hillenbrand (2005).

Abbildung 3-18 Entwicklung der Patentanmeldungen im Bereich Wasser- und Abwasseraufbereitung

3.2.4.2 Technischer Wandel im Bereich Wassernutzung

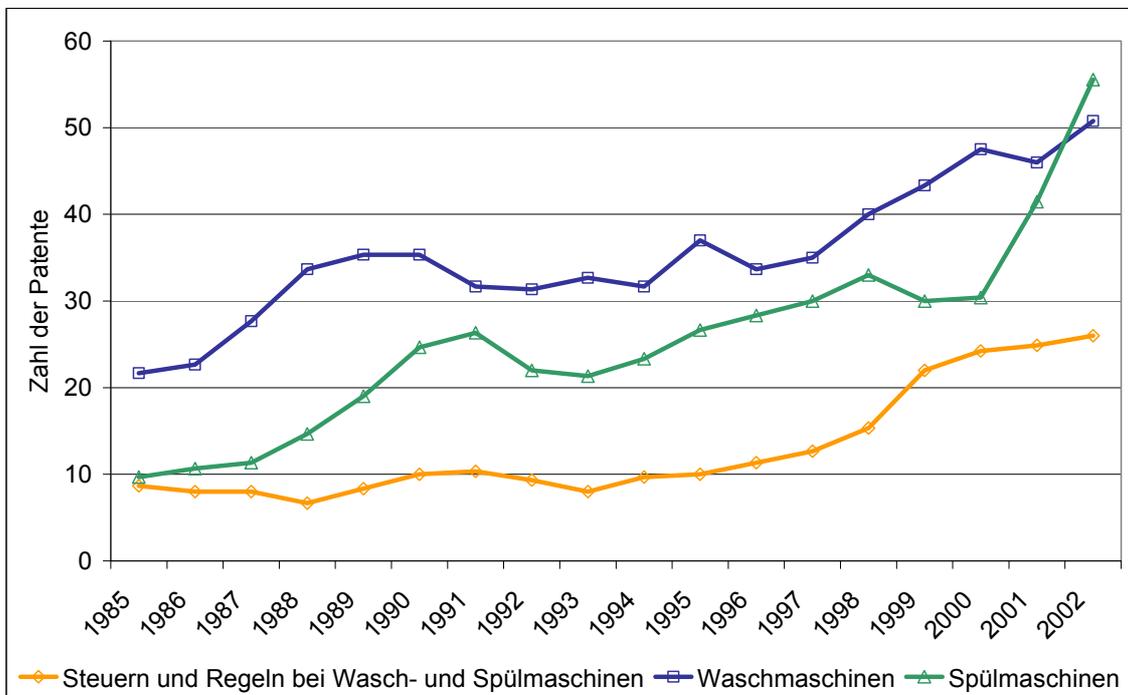
Wie in Abschnitt 3.1.6 bereits dargelegt, hat sich der Wasserverbrauch in den Haushalten in den letzten 15 Jahren deutlich verringert. Diese Einsparpotenziale konnten insbesondere durch inkrementelle Innovationen bei Wassernutzungstechnologien, d. h. durch die Installation und den Einsatz von wassereffizienten Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen realisiert werden.

Vor dem Hintergrund der Ölkrisen von 1973 bzw. 1978 bis 1980 basierte die Motivation, wassereffiziente Haushaltsgeräte wie Wasch- und Geschirrspülmaschinen zu produzieren, auf den Bemühungen, Energie einzusparen. Dieses Ziel konnte vor allem durch die Reduzierung der zu erwärmenden Wassermenge erreicht werden. Die Reduzierung des Wasserverbrauchs in Waschmaschinen in den letzten Jahrzehnten wurde insbesondere durch Innovationen im Bereich der Steuerung und Regelung von Arbeitsvorgängen in Waschmaschinen erzielt. Sie optimieren unter Berücksichtigung der Beladungsmenge die Wassereinfluss-, Spül- und Schleudervorgänge. Auch Sparprogramme mit Temperaturabsenkung trugen einen wesentlichen Teil zur Reduzierung des Wasser- und Stromverbrauchs bei. Die Einsparungen des Wasserverbrauchs bei Geschirrspülmaschinen können ebenfalls auf innovative Bauteile wie Automatikfunktionen, elektronische Steuerungen und Regelungen mit Sensoren zur Messung der Wassertrübung, Beladungserkennung, Wasserführung, verbesserte Sprüharmführung sowie neue Spül- und Filtertechnik zurückgeführt werden.

Am Anfang ihrer Diffusionsphase nahmen diese Innovationen bei Haushalts- und Sanitärtechniken zunächst keinen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme, da noch keine ausreichende Menge an wassereffizienten Technologien installiert war. Die zunehmende Diffusion der innovativen wassereffizienten Technologien führte jedoch schon bald zu einer Zunahme des Wasserverbrauchsrückgangs, der heute maßgeblich dazu beiträgt, dass es vermehrt zu Funktionsstörungen in den Wasserinfrastruktursystemen kommt. Das bedeutet, dass diese Innovationen zwar mit den bestehenden Nutzungen im konventionellen Wasserinfrastruktursystem technisch kompatibel sind, ihre Auswirkungen, nämlich die deutliche Reduktion der Wasserverbrauchsmengen jedoch zu erheblichen Funktionsstörungen im bestehenden Wasserinfrastruktursystem führen.

Die Patentaktivitäten bei wassereffizienten Haushaltsgeräten weisen darauf hin, dass weiterhin in diesem Bereich geforscht und auch in Zukunft verbesserte wassereffiziente Haushaltstechnik auf den Markt kommen wird. So nahmen bspw. sowohl im Bereich der Steuerung und Regelung von Wasch- und Spülmaschinen als auch bei den was-

ersparenden Wasch- und Spülmaschinen die Patentzahlen in den letzten Jahren kontinuierlich zu (Abbildung 3-19).



Quelle: Kotz, Hillenbrand (2005).

Abbildung 3-19 Patentaktivitäten im Bereich Wassernutzung: Wasch- und Spülmaschinen

Der Bereich der Wassernutzung schließt den Löschwasserbedarf mit ein. Entwicklungen im Bereich der Feuerlöschtechnik spielen bei dem zukünftigen Wasserbedarf und der Auslegung von Wasserversorgungsnetzen eine wesentliche Rolle. Einerseits kann der Löschwasserbedarf durch verbesserte Techniken zur Brandfrüherkennung reduziert werden. In einigen Bundesländern wurde bereits die Installation von Rauchmeldern in Neubauten verpflichtend eingeführt. Zukünftig ist davon auszugehen, dass sich diese Techniken in breitem Umfang durchsetzen werden und damit insgesamt der Löschwasserbedarf reduziert werden kann. Zudem wird der Wasserverbrauch durch neuere Feuerlöschtechniken wie bspw. der Hochdruck-Wassernebeltechnik deutlich verringert (Hillenbrand, Hiesl 2007). Außerdem stehen heute Techniken zur Verfügung, die eine Kopplung mit der Brauch- und Regenwasserversorgung vorsehen (Götsch 2005).

3.2.4.3 Technischer Wandel im Bereich Abwasserbehandlung

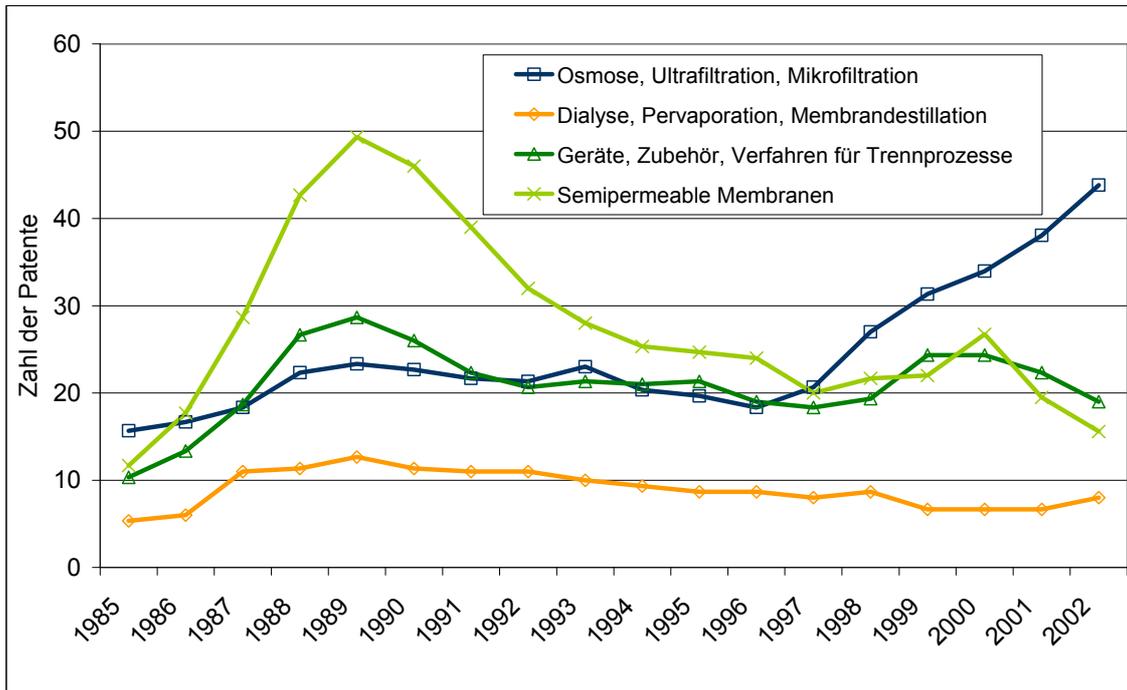
Wie bereits erwähnt, wurden in der Vergangenheit insbesondere aufgrund von Umweltproblemen Technologien zur Abwasserbehandlung kontinuierlich verbessert und erweitert. Durch die Entwicklung immer neuer Reinigungsverfahren konnten bspw. immer bessere Ablaufqualitäten an Kläranlagen erreicht werden. Inkrementelle Innovationen in diesem Bereich sind bspw. die weitergehende Stickstoff-, Phosphor und Schadstoffelimination sowie die Desinfektion des Kläranlagenablaufs.

Die in jüngster Vergangenheit realisierten Weiterentwicklungen im Bereich der Abwasserbehandlung finden insbesondere im Bereich dezentraler Technologien statt. Diese stellen in Relation zu den bestehenden zentralen Infrastruktursystemen der Wasserver- und Abwasserentsorgung radikale Innovationen dar, da sie losgelöst von dem bestehenden System der konventionellen Abwasserbehandlung betrieben werden können.

Aufgrund von Verbesserungen bei Betriebssicherheit und Reinigungsleistung werden solche dezentralen Technologien mittlerweile als dauerhafte Einrichtungen zur Abwasserbehandlung von behördlicher Seite zugelassen, wobei die zuverlässige und fachgerechte Wartung der Anlagen eine wichtige Randbedingung darstellt (Frank 2007; Müller et al. 2007; Nowak 2007). Sowohl bei Kleinkläranlagen als auch bei großen kommunalen Kläranlagen wird in jüngster Zeit die Membrantechnik eingesetzt, die die Eliminationsleistung der Anlagen erhöht und so bspw. die Nutzung des Kläranlagenablaufs als Brauchwasser ermöglicht (Bischof et al. 2005; Brinkmeyer et al. 2005; Meuler 2007). Die Patentuntersuchung des Fraunhofer ISI zeigt, dass bei den auf den Abwasserbereich bezogenen Membrantrennverfahren (Ultrafiltration, Mikrofiltration) die Zahl der Patente anstieg, so dass zukünftig mit weiteren Verbesserungen bei der Reinigungsleistung von Membrankläranlagen gerechnet werden kann (Abbildung 3-20).

Durch Lern- und Skaleneffekte sind die Preise von dezentralen Kleinkläranlagen sowie von Membrananlagen in den letzten Jahren gesunken. Auch zukünftig ist mit einem weiteren Preisrückgang zu rechnen (Knopp 2004).

Die technologischen und ökonomischen Entwicklungen von dezentralen Anlagen zeigen, dass auch zukünftig dieser Bereich zunehmend an Bedeutung gewinnt. Im Vergleich zu großen zentralen Kläranlagen zeichnen sich dezentrale Anlagen durch eine kürzere Nutzungsdauer von ca. zehn bis 15 Jahren aus. Diese entspricht damit ungefähr der Nutzungsdauer der in Haushalten verwendeten Wassernutzungstechnologien wie Wasch- und Spülmaschinen sowie Sanitärarmaturen. Durch diese Angleichung der Innovationsgeschwindigkeiten schwächen sich die Divergenzprobleme zwischen den gesellschaftlichen Subsystemen der Ver- bzw. Entsorgungsseite und der Verbraucherseite ab. Die Abstimmung der einzelnen Teilsysteme wird dadurch erheblich vereinfacht.



Quelle: Kotz, Hillenbrand (2005).

Abbildung 3-20 Entwicklung von Patentaktivitäten im Bereich semipermeabler Membranen im Abwasserbereich

3.3 Herausforderungen und Probleme der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft

Aus den vorangegangenen Abschnitten 3.1 und 3.2 geht hervor, dass die heutige kommunale Wasserwirtschaft in den letzten Jahren und Jahrzehnten einerseits gute Leistungen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung bereitgestellt hat. In der Trinkwassergewinnung und -versorgung wird eine hohe Versorgungssicherheit und Trinkwasserqualität erreicht, die Wasserverluste durch Leckagen sind vergleichsweise gering, Rohrbrüche und Betriebsunterbrechungen treten relativ selten auf. Die Kundenzufriedenheit bei der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung ist relativ hoch. Der Abtransport und die Behandlung der Abwässer zeichnen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit sowie durch eine gute Reinigungsleistung der Kläranlagen aus.

Andererseits treten in jüngster Zeit vermehrt Herausforderungen und Probleme auf, die als Indikatoren dafür gewertet werden können, dass Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft bereits stattfinden bzw. in Zukunft angestoßen werden. Diese Problemstellungen und Herausforderungen sowie die Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren, die auf die Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft einwirken, sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Technische Probleme und Herausforderungen:

- Angebot nur einer Wasserqualität, nämlich hochwertiges Trinkwasser. Dieses Trinkwasser wird zur Erfüllung aller Funktionen herangezogen, obwohl diese nicht dieselben Ansprüche an die Wasserqualität haben (z. B. Spülen von Toiletten mit Trinkwasser),
- Meist abhängige Löschwasserversorgung, die in Konflikt mit der Tendenz abnehmender Trinkwasserverbrauchsmengen steht, da zur Gewährleistung der Löschwasserversorgung ggf. größere Leitungsquerschnitte zu erhalten sind, als es für die Trinkwasserversorgung notwendig wäre,
- Offenes Durchflusssystem ohne direkte Möglichkeit der Wiederverwendung des gereinigten Abwassers und mit beschränkten Möglichkeiten einer Rückführung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe in den Stoffkreislauf,
- Lange technische Lebensdauer der Wasserinfrastruktursysteme; durch hohe Altersanteile z. T. hoher Rehabilitationsbedarf,
- Vermischung und Verdünnung aller Abwässer durch die gemeinsame Ableitung der verschiedenen Abwässer (Schmutz- und Regenwasser, häusliche und gewerbliche Abwässer) und Behandlung in einer zentralen Kläranlage, obwohl diese Abwasserströme unterschiedliche Anforderungen an die Aufbereitung stellen,
- Folglich z. T. hohe Schadstoffbelastungen der Klärschlämme (Schwermetalle, organische Schadstoffe, Arzneimittelabbauprodukte etc.), so dass sie einer landwirtschaftlichen Verwertung nicht mehr zugeführt werden können, sondern thermisch zu entsorgen sind.

Rechtlich-organisatorische Probleme und Herausforderungen

- Verschärfte Anforderungen an die Trinkwasserqualität und an die Behandlung von kommunalem Abwasser aufgrund der Wasserrahmenrichtlinie. Gegebenenfalls neue Einleitbeschränkungen für Stoffe, die heute noch nicht zurückgehalten werden (bspw. Abbauprodukte von Arzneimitteln, hormonelle Substanzen). Durch solche neuen Anforderungen werden weitere Investitionen der Wasserversorger und Abwasserentsorger in die Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung notwendig,
- Gegebenenfalls Verschärfung der bestehenden Grenzwerte für Maximalgehalte von Schwermetallen in Klärschlämmen (Klärschlammrichtlinie); Abnahme der Bedeutung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, Zunahme der thermischen Klärschlammabeseitigung.

Ökonomische Probleme und Herausforderungen

- Hohe Fixkostenanteile an den Gesamtkosten in der Wasserver- und Abwasserentsorgung (ca. 80 %),

- Die hohe Anlagenintensität des konventionellen Wasserinfrastruktursystems sowie die lange Nutzungsdauer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsanlagen bedingen einen hohen Anteil der Investitionen an den Gesamtkosten. Trotz enormer Investitionsanstrengungen in den letzten Jahren existiert ein hoher Rehabilitationsbedarf sowohl bei Trinkwasserleitungen als auch bei der Kanalisation,
- Erhebung des Wasserpreises als Mengenpreis führt bei Abnahme des Wasserverbrauchs zu einem Kostenunterdeckungsrisiko für die Wasserunternehmen. Für die Endverbraucher erzeugt gerade ihre Motivation Geld einzusparen und daher mit Wasser sparsam umzugehen eine Preisspirale, die die Tarife weiter ansteigen lässt und so zu höheren Wasserkosten der einzelnen Haushalte führen kann,
- Aus Sicht der Kommunen werden bedingt durch den demografischen Wandel zukünftig immer weniger finanzielle Ressourcen zur Instandhaltung und zum Betrieb der konventionellen zentralen Wasserinfrastruktursysteme zur Verfügung stehen, da immer weniger Menschen durch Steuerzahlungen zur Finanzierung der kommunalen Infrastruktursysteme beitragen.

Sozio-ökonomische Probleme und Herausforderungen

- Die Teilsysteme der kommunalen Wasserinfrastruktur divergieren immer weiter auseinander, so dass sich die Funktionsstörungen im kommunalen Wasserinfrastruktursystem verstärken,
- Vom Trinkwasserangebot losgelöste Reduktion der Verbrauchsmengen von Seiten der privaten Haushalte,
- Die reduzierten Trinkwasserverbrauchsmengen verursachen bspw. die Korrosion der Leitungen und eine Wiederverkeimung des Trinkwassers. Durch den Rückgang des Abwasseranfalls kommt es zu Ablagerungen und in Folge zur Korrosion und Verschlammung der Kanäle sowie zur Geruchsbildung,
- Ab bestimmten Reduktionswerten der Wasserverbrauchs- und Abwassermengen ist es sinnvoll, Umbau- bzw. Rückbau in Betracht zu ziehen. Allerdings sind die konventionellen zentralen Wasserinfrastruktursysteme hinsichtlich Um- und Rückbaumaßnahmen unflexibel, da die Ver- und Entsorgungsleitungen meist noch in Teilen im Versorgungsgebiet aufrechterhalten werden müssen. Solche Maßnahmen bringen zudem negative technische Nebenwirkungen (Druckverluste, Inkrustierungen, Probleme bei der Frostsicherheit, etc),
- Die Rückgewinnung von Nährstoffen aus dem Abwasser wird vor dem Hintergrund abnehmender Ressourcenmengen ökonomisch immer interessanter. Allerdings wird die großtechnische Rückgewinnung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe wie bspw. Phosphor heute erst in einigen Pilotanlagen realisiert,
- Unterschiedliche technische Nutzungsdauern der Systemkomponenten auf der Angebots- und Nachfrageseite, was zu zunehmender Inkompatibilität beider Teilsysteme führt.

Demografischer Wandel

- Abnehmende Bevölkerungszahl und Zersiedelung führen zur weiteren Abnahme der absoluten Wasserverbrauchsmengen sowie zur Abnahme der Auslastung von Ver- und Entsorgungsleitungen.

Klimawandel

- Veränderungen der Niederschlagshäufigkeiten und -verteilungen, d. h. Zunahme der Häufigkeit von Starkregenereignissen sowie verändertes Schmelzwasseraufkommen als Folge des Klimawandels mit Auswirkungen auf Rohwassermenge und -güte für die Trinkwasserversorgung. Durch zunehmendes Überflutungsrisiko Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit der Kanalisation.

Ordnungspolitische Strömungen

- Fortdauernde Diskussion über Für und Wider des Anschluss- und Benutzungszwanges,
- Diskussion über Wettbewerb um Wasser- und Abwassermarkt; Veränderungsdruck insbesondere auf interkommunale Zusammenarbeit, IÖPP und Dienstleistungskonzessionen aufgrund der Forderungen nach einer generellen Ausschreibungspflicht für diese Bereiche. Konflikt mit kommunalem Selbstverwaltungsrecht. Zum anderen führt es zu einer gewissen Rechtsunsicherheit vieler öffentlich-rechtlicher Partnerschaften im Bereich der Wasserwirtschaft, da bei einer Ausschreibungspflicht selbst bestehende Verträge europarechtswidrig wären,
- Eine weitere Folge für kommunale Unternehmen, die ihre Konzession nach einer Ausschreibung verlieren, ist der Verluste von Tätigkeitsfeldern. Dies würde den Handlungsspielraum kommunaler Unternehmen innerhalb der eigenen Gemeindegrenze weiter stark einengen. Gleichzeitig ist aufgrund des Kommunalwirtschaftsrechts einem kommunalen Unternehmen das Tätigwerden außerhalb des eigenen Gemeindegebiets nur in engen Grenzen möglich,
- Durch die aktuelle Rechtsprechung des EuGH verlieren auch die in der deutschen Wasserwirtschaft verbreiteten öffentlich-privaten Partnerschaften an Attraktivität, weil eine Vergabe eines öffentlichen Auftrags nur dann ohne europaweite Ausschreibung erfolgen kann, wenn keine private Beteiligung im öffentlichen Unternehmen besteht. Auch bei einer privaten Minderheitsbeteiligung ist bereits eine europaweite Ausschreibung des öffentlichen Auftrags verpflichtend, was jedoch insbesondere von kleineren Unternehmen, wie sie in der deutschen Wasserwirtschaft typisch sind, kaum zu bewältigen ist und somit die Gestaltungsmöglichkeiten der Kommunen bei der Aufgabenerfüllung durch IÖPP weiter einschränkt.

Technischer Wandel

- Veränderungsdruck auf das Regime der etablierten kommunalen zentralen Wasserinfrastruktursysteme durch das Aufkommen innovativer radikaler Innovationen auf Nischenebene.

Wie bereits angedeutet, übt der technische Wandel einerseits durch das Auftreten - im Vergleich zur konventionellen Wasserinfrastruktur - radikaler Innovationen einen Veränderungsdruck auf das bestehende System der konventionellen Wasserinfrastruktur aus, da es bspw. durch die Substitution von Trinkwasser durch Regenwasser zu Funktionsstörungen in den Versorgungsleitungen kommt, auf die die Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft reagieren müssen. Andererseits bieten sie gleichzeitig alternative Möglichkeiten einer Wasserver- und Abwasserentsorgung, mit denen den aufgezeigten Herausforderungen und Problemen der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme begegnet werden kann. Im Folgenden werden solche alternativen Systemkomponenten vorgestellt.

3.4 Nischen: Alternative Systemlösungen

Bereits heute sind Technologien verfügbar bzw. in ihrer Entwicklung erkennbar, die je nach den gegebenen Rahmenbedingungen des Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebietes zu unterschiedlichen Systemkonzepten der Wasserver- und Abwasserentsorgung zusammengesetzt werden können. Diese alternativen Technologien zeichnen sich dadurch aus, dass sie dezentral in Einzelanlagen oder semizentral in kleinen Anlagen als Gemeinschaftseinrichtung häusliche Stoffströme erfassen und die Möglichkeit der separaten Aufbereitung oder Verwendung bieten. Darüber hinaus weisen sie ein hohes Potenzial für neuartige Geschäftsmodelle bzgl. des Betriebs der Anlagen auf.

Eine detaillierte Recherche technischer Möglichkeiten der alternativen Gestaltung urbaner Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme findet sich in Staben (2008). Im Folgenden werden solche technologischen Entwicklungen, die bei breiter Diffusion in das Regime der kommunalen Wasserwirtschaft zu strukturellen Veränderungen führen können und in den letzten Jahren in Nischen entwickelt wurden, vorgestellt und auf rechtliche und organisatorische, ökonomische sowie gesellschaftliche Aspekte eingegangen. Es sind dies Anlagen zum Recycling von Grauwasser sowie Kleinkläranlagen.

3.4.1 Technische Entwicklungen

Nische 1: Grauwasserrecycling

Beim Grauwasserrecycling werden einzelne Abwasserteilströme gezielt aus dem Gesamtabwasserstrom abgetrennt und einer Aufbereitung zugeführt. Als Grauwasser wird der Teil des häuslichen Schmutzwassers bezeichnet, der frei von Fäkalien, Urin und Küchenabwasser ist. Es ist der Abfluss von Bade- und Duschwanne, ggf. unter Einbezug von Waschtisch und Waschmaschine. Je nach Sanitärinstallation und Nutzungs-

häufigkeit fallen pro Person täglich ca. 55 Liter Grauwasser an (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2007d).

Grauwasseranlagen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Einsatzgebiete für Grauwasseranlagen sind bspw. Ein- und Mehrfamilienhäuser, Hoteleinrichtungen, Wohn- und Altenheime sowie Schwimmbad- und Saunabetriebe. Das anfallende Grauwasser wird zu Betriebswasser aufbereitet, das hygienisch unbedenklich ist und anschließend dort verwendet werden kann, wo nicht zwingend Wasser mit Trinkwasserqualität erforderlich ist, wie bspw. zur Spülung der Toilette oder für Reinigungs- und Bewässerungszwecke. Die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser in Waschmaschinen befindet sich noch in der Erprobungsphase (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2007d).

Grauwasseranlagen benötigen jeweils ein separates Leitungsnetz zur Erfassung des Grauwassers sowie zur Verteilung des Betriebswassers. Je nach Verwendungszweck wird das Grauwasser in unterschiedlichen Anlagen aufbereitet, bspw. in Pflanzenbeeten, Belebungsanlagen oder Membrananlagen (Kerpen, Zapf 2005). Die Verfahrensauswahl richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und den Qualitätsanforderungen, die abhängig vom Verwendungszweck des Betriebswassers sind. Grauwasserrecyclinganlagen werden als kleine dezentrale Anlagen für einzelne Haushalte bis hin zu semizentralen Anlagen für mehr als 200 Einwohner angeboten. Einer häuslichen Grauwasseraufbereitungsanlage ist meist ein Filter vorgeschaltet, um die im Grauwasser enthaltenen gröberen Verunreinigungen wie Haare, Textilflusen und andere Fasern aufzufangen. Dem Filter folgen mehrere Reinigungsstufen. In der Haupt- und Nachklärkammer werden die organischen Bestandteile des Grauwassers wie bspw. Pflegemittelreste biologisch abgebaut. Anfallender Schlamm wird am Boden der Klärkammern abgesaugt und in die Kanalisation geleitet. Vor dem Betriebswasserspeicher kann das gereinigte Grauwasser mit Hilfe einer UV-Lampe bis zu 99 % entkeimt werden. Der Brauchwasserspeicher ist mit einer Trinkwassernachspeisung ausgestattet, so dass beim Absinken des Betriebswasservorrats automatisch Trinkwasser nachgespeist wird (Rudolph, Block 2002). Detaillierte Planungsgrundlagen und Betriebshinweise für Grauwasserrecyclinganlagen enthält das fbr-Hinweisblatt H 201 (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2005).

Nische 2: Kleinkläranlagen

Kleinkläranlagen sind definiert als Kläranlagen, in denen maximal acht Kubikmeter Abwasser pro Tag behandelt werden können (Anonymus 1984; Anonymus 2002). Das entspricht dem Abwasseranfall von ca. 50 Einwohnern und bedeutet, dass Kleinkläran-

lagen dezentral das Abwasser eines einzelnen Anwesens oder auch semizentral mehrerer Wohneinheiten eines Gebäudes oder eines Stadtteils reinigen können.

Für die Abwasserreinigung mit Kleinkläranlagen stehen verschiedene Verfahren und Anlagen zur Verfügung. Naturnahe Verfahren sind bspw. Bodenfilterkörper, Pflanzenbeete, Filterkammern bzw. Filtergraben. Zu den technischen Verfahren zählen bspw. Tropfkörper, Tauchkörper und Belebungsbecken. Die Kombinationsmöglichkeiten der Verfahren und Anlagen sind vielfältig und entsprechend groß ist die Zahl der möglichen Kleinkläranlagentypen (Oldenburg, Otterpohl 1997). Technische Weiterentwicklungen haben zudem in den letzten Jahren immer leistungsfähigere Systeme auf den Markt gebracht. Sie ermöglichen den Abbau von Kohlenstoff, die Stickstoffelimination und Phosphatfällung. Membran-Kleinkläranlagen, in denen Mikro- oder Ultrafiltrationsmodule integriert sind, ermöglichen neben der Wiedernutzung des gereinigten Abwassers als Brauchwasser auch den Einsatz von Kleinkläranlagen in empfindlichen Ökosystemen (Bischof et al. 2004; Bischof et al. 2005; Brinkmeyer et al. 2005).

Kleinkläranlagen weisen nach DIN 4261 eine normative Nutzungsdauer von 15 Jahren auf. Die im Vergleich zu Großkläranlagen kürzere Nutzungsdauer und der Verzicht auf groß dimensionierte weit verzweigte Leitungssysteme ermöglichen eine flexible Anpassung bei Umbaumaßnahmen des Abwasserinfrastruktursystems. Zudem wird die Integration des technischen Wandels bzw. die Diffusion innovativer Technologien vereinfacht bzw. beschleunigt.

3.4.2 Rechtliche Aspekte

Der Bau und die Inbetriebnahme von Grauwasserrecyclinganlagen sind in Deutschland in der Regel genehmigungsfrei. Die Erstellung und In- bzw. Außerbetriebnahme ist dem örtlichen Gesundheitsamt lediglich anzuzeigen. Die Trennung zwischen Trink- und Betriebswasserleitungen ist einzuhalten. Gesetzliche Qualitätsanforderungen an das Betriebswasser aus Grauwasserrecyclinganlagen bestehen nicht. Es sind Anlagen auf dem Markt, die eine Betriebswasserqualität erreichen, die der Badewasserrichtlinie der EU entspricht.

Für die Umsetzung und Anwendung von Kleinkläranlagen in innovativen Infrastrukturkonzepten stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Diese lassen sich durch verschiedene technische Eigenschaften, Eigentumsverhältnisse sowie Modelle des Betriebs der Anlagen beschreiben (Hiessl 2005b).

Aus rechtlicher Sicht ist nach WHG dabei von Bedeutung, dass Abwasser so zu beseitigen ist, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. § 18 a, Abs. 1, S. 2 WHG stellt ausdrücklich fest, dass auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser

durch dezentrale Anlagen dem Wohl der Allgemeinheit entsprechen kann. Weitere Aspekte in der Ausgestaltung innovativer Wasserinfrastrukturkonzepte beziehen sich darauf, ob das Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiet urban oder ländlich geprägt ist, ob es sich um bereits erschlossene Ortschaften oder um Neubaugebiete bzw. um geschlossene oder offene Ortslagen im Außenbereich der Kommune handelt.

In Tabelle 3-14 (Seite 96 f.) sind solche Optionen innovativer Infrastrukturkonzepte zusammenfassend dargestellt, die im Folgenden ausführlich erläutert werden. Die Nummerierungen im folgenden Text beziehen sich auf die jeweilige in Tabelle 3-14 dargestellte Option eines innovativen Wasserinfrastrukturkonzepts.

Die heute üblicherweise praktizierten Lösungen der Abwasserentsorgung sind erstens der gemeindliche Kanalanschluss (Nr. 1), in dem ausgehend von der Abwasserbeseitigungspflicht der Kommune ein zentrales System zur Abwasserableitung und -aufbereitung installiert ist. Eigentümer und Betreiber dieser Anlagen sind die von den Kommunen getragenen öffentlich-rechtlichen Unternehmen der Wasserver- bzw. Abwasserentsorgung.

Dort, wo keine zentralen Abwasserinfrastrukturen existieren, wird heute zweitens die genehmigte Befreiung der Kommune von der Abwasserbeseitigungspflicht mit Übertragung dieser Pflicht auf den Nutzungsberechtigten des Grundstücks praktiziert (Nr. 2). Dies ist in ländlichen Siedlungsstrukturen der Fall, die durch geschlossene Ortschaften sowie auch durch Einzelgrundstücke (Gehöfte, Ferienhäuser) gekennzeichnet sind. Die Grundstückseigentümer erfüllen dort ihre Abwasserbeseitigungspflicht durch den Besitz und Betrieb von Klärgruben oder dezentralen Kleinkläranlagen.

Ausgehend von diesen praktizierten Lösungen und der Frage, wem die Abwasserbeseitigungspflicht obliegt, sind vielfältige innovative Abwasserinfrastrukturkonzepte denkbar, die entweder bereits heute innerhalb des geltenden rechtlichen Rahmens umgesetzt werden oder erst zukünftig nach Änderungen der heute geltenden Vorschriften realisiert werden können.

Unter den geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen wurden innovative Abwasserinfrastrukturkonzepte bspw. in Neubaugebieten umgesetzt (Nr. 1a und 1b)⁴¹. Die abwasserbeseitigungspflichtige Gemeinde kann in diesen Gebieten semizentrale Gruppenanlagen oder dezentrale Anlagen auf Einzelhausebene installieren. Diese Anlagen befinden sich im Besitz der Gemeinde bzw. des Grundstückseigentümers und werden durch das öffentlich-rechtliche Unternehmen der Wasserver- bzw. Abwasserentsor-

⁴¹ Bspw. das Projekt „DEUS 21“ - Nachhaltiger Umgang mit Wasser in Siedlungsräumen: Demonstrationsvorhaben in Knittlingen der Fraunhofer-Institute ISI (Karlsruhe) und IGB (Stuttgart) (Kotz et al. 2006).

gung in Trägerschaft der Kommune, evtl. durch einen privaten Erfüllungsgehilfen, betrieben.

Ebenso existieren innovative Abwasserinfrastrukturkonzepte in bereits erschlossenen urbanen oder ländlich geprägten Ortslagen⁴². Eine abwasserbeseitigungspflichtige Kommune kann hier so genannte kommunale oder kleinräumige Stoffkreisläufe einrichten. Kommunale Stoffkreisläufe (Nr. 1c) zeichnen sich dadurch aus, dass das Trinkwassernetz durch ein zentral gespeistes, zusätzliches Brauchwassernetz ergänzt wird. Ein Teil des häuslichen Abwassers (Gelbwasser) wird getrennt erfasst, abgeleitet und behandelt. Durch die zentrale Brauchwasserversorgung, die aus dem Kläranlagenablauf gespeist wird, entsteht ein echter Wasserkreislauf im kommunalen Wasserinfrastruktursystem.

Im Konzept der kleinräumigen Stoffkreisläufe (Nr. 1d) sind die Wohneinheiten mit dezentralen Komponenten zur Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung ausgestattet und in hohem Maße autark. Die Wasserversorgung basiert auf der Nutzung des Regenwassers und der weitgehenden Schließung der häuslichen Wasserkreisläufe. Restregenwasser wird versickert bzw. über den Anschluss an einen Regenwasserkanal abgeleitet. Innerhalb des Einzelhauses spielen eine ausdifferenzierte Trennung der Wasser- und Stoffströme sowie die Schließung von Kreisläufen eine wichtige Rolle. In diesem Konzept kann ebenfalls die Gemeinde den Besitz und Betrieb der Anlagen übernehmen. Es ist aber auch denkbar, dass die Grundstückseigentümer Besitzer der dezentralen Anlagen sind und auch den Betrieb der Anlagen übernehmen.

Ausgehend vom typischen Fall (Nr. 2, nicht erschlossene ländliche Siedlungsstruktur mit geschlossenen Ortslagen und/oder Einzelgrundstücken) bei dem im Bestand Klärgruben oder veraltete Kleinkläranlagen existieren, die im Besitz der Grundstückseigentümer sind, kann eine Gemeinde neue Geschäftsmodelle realisieren und den Grundstückseigentümern über ihr öffentlich-rechtliches Unternehmen (bzw. über Wasserverbände, Genossenschaften) die Dienstleistung der Abwasserentsorgung anbieten. Abwasserbeseitigungspflichtig bleibt der Grundstückseigentümer. Den bisher für die Entsorgung ihrer Abwässer selbst verantwortlichen Grundstücksbesitzern wird hier ein komplettes Dienstleistungsangebot bereitgestellt, indem der herkömmliche, d. h. ursprünglich im zentralen Wasserinfrastruktursystem tätige Abwasserentsorger als Eigentümer und Betreiber der de- bzw. semizentralen Kleinkläranlagen auftritt und so

⁴² Bspw. das Projekt „AKWA-2100“: Alternativen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung des Fraunhofer ISI (Karlsruhe) in Partnerschaft mit Emschergenossenschaft/Lippeverband, Stadt Dortmund, Stadt Selm, Ruhr-Universität Bochum, RWTH Aachen, und anderen (siehe <http://www.isi.fraunhofer.de/n/Projekte/akwa.htm> sowie Hiessl et al. 2003). Siehe auch (Oldenburg, Otterpohl 1997; Otterpohl et al. 1999; Otterpohl et al. 2002; Otterpohl 2002).

einen Markt erschließt, den er mit einem zentralen Systemkonzept nicht wirtschaftlich erschließen konnte (Nr. 2a)⁴³. Die Endverbraucher sind nicht mehr selbst im Besitz der Kleinkläranlagen sondern zahlen lediglich die Dienstleistung der Reinigung ihres häuslichen Abwassers. Vorteile für die Haushalte ergeben sich dadurch, dass der Dienstleister bei der Beschaffung einer größeren Zahl von Kleinkläranlagen durch Mengenrabatte ökonomische Skaleneffekte erzielen kann, was für die einzelnen Haushalte nicht möglich wäre. Weitere ökonomische Skaleneffekte lassen sich durch den gezielten Einsatz einer großen Zahl gleicher Anlagen realisieren, da bei Wartung und Instandhaltung sowie bei der Ersatzteillagerung Kostensenkungspotenziale erschlossen werden können. Schließlich stellen die Kläranlagen für den Dienstleister Produktionsmittel dar, die sie steuerlich in Anrechnung bringen können. Neben den technischen Erfahrungen sind vor allem die Betriebserfahrungen im direkten Umgang mit den privaten Haushalten für den neuen Dienstleister wertvoll.

In nicht erschlossenen Gebieten kann es für alle Beteiligten vorteilhaft sein, die Abwasserbeseitigungspflicht wieder von den Grundstückseigentümern auf die Gemeinde zu übertragen (Nr. 2b)⁴⁴, die sich so den Dienstleistungsmarkt in dem unter Nr. 2a vorgestellten Konzept sichert. Auch in diesem Konzept kann sich die Gemeinde Dritter als Erfüllungsgehilfe bedienen (§ 18a Abs. 2 WHG) unter der Voraussetzung, dass diese Einzel- oder Gruppenanlagen öffentlich gewidmet sind. Im Rahmen ihrer Planungshoheit kann eine Gemeinde eine oder mehrere semizentrale öffentliche Kläranlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik betreiben. Entscheidend ist, dass es nach dem Wassergesetz des jeweiligen Bundeslandes öffentliche Kläranlagen sind. Die Gemeinde wäre damit für diese semizentralen Kläranlagen exakt im gleichen Maße verantwortlich, wie für eine zentrale Großkläranlage in ihrem Gemeindegebiet.

Denn prinzipiell ist es unter den heute geltenden Rahmenbedingungen auch denkbar, dass die abwasserbeseitigungspflichtigen Grundstückseigentümer mit privaten Dienstleistungsunternehmen Verträge zur Nutzung von Regenwasser, Bereitstellung von Brauchwasser und Ableitung und Aufbereitung von Abwasser abschließen (Nr. 2c). Auf diesem Wege ist es privaten Dienstleistungsunternehmen bereits heute möglich, im Markt der Wasser- und Abwasserdienstleistungen tätig zu werden und so in direkte

⁴³ Bspw. das Projekt „AKWA Dahler Feld“: Errichtung eines innovativen und nachhaltigen Wasser- und Abwasserinfrastruktursystems für das Wohngebiet Dahler Feld in Selm des Fraunhofer ISI in Partnerschaft mit Emschergenossenschaft/Lippeverband (EG/LV), Essen, Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA), RWTH Aachen, Prof. Stein & Partner, Beratende Ingenieure (S&P), Bochum und Ruhr-Forschungsinstitut f. Innovations- u. Strukturpolitik (RUFIS), Bochum, (siehe z. B. Becker et al. 2007; Geisler et al. 2008) sowie ein Projekt im Salzlandkreis Bernburg (Schulze 2008).

⁴⁴ Bspw. Forschungsprojekte der Gemeinden Thumby und Neuendorf in Schleswig-Holstein (siehe Blumberg 2007)

Konkurrenz zu den bisherigen öffentlich-rechtlichen Abwasserentsorgungsunternehmen zu treten.

Weiter reichende Veränderungen in den Strukturen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung sind nach einer Liberalisierung des Wassermarktes insbesondere in heute bereits erschlossenen urbanen oder ländlichen Siedlungsstrukturen denkbar. Da ein Dienstleistungsangebot an abwasserbeseitigungspflichtige Privathaushalte bereits unter den heutigen Rahmenbedingungen möglich ist, werden im folgenden Überlegungen zu innovativen Abwasserinfrastrukturkonzepten in erschlossenen Gebieten vorgenommen, in denen die Kommunen abwasserbeseitigungspflichtig sind. Ob die technischen Anlagen de- oder semizentral ausgelegt sind, spielt dabei keine entscheidende Rolle. Wichtige Unterschiede in diesen Konzepten ergeben sich vielmehr aus den Eigentumsverhältnissen und Geschäftsmodellen zum Betrieb der Anlagen, die unter den neuen geltenden Rahmenbedingungen möglich werden.

Ein liberalisierter Wassermarkt und die Einführung europaweiter Ausschreibungspflichten für den Bereich der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung bedeutet für die Kommunen und ihre öffentlich-rechtlichen Unternehmen, dass die Aufgabe der Abwasserbeseitigung nicht mehr unter die kommunale Daseinvorsorge fällt und somit keine von ihnen allein durchzuführende hoheitliche Aufgabe darstellt. Eine Anschluss- und Benutzungspflicht an die zentralen Wasserinfrastruktursysteme für die privaten Haushalte entfällt, so dass auch andere, private Akteure als Abwasserentsorger in den Markt eintreten können. Das bedeutet, dass für den (nunmehr ehemals monopolistischen) kommunalen Abwasserentsorger, der das bestehende zentrale Wasserinfrastruktursystem betreibt, eine Konkurrenzsituation entsteht, da die privaten Haushalte zu dem Anbieter wechseln können, der entsprechend der Realisation ihrer Ziele die für sie beste Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsdienstleistung anbietet. Der Kunde kann sich also für eine zentrale Entsorgung beim ehemaligen Monopolisten (Nr. 1), für eine dezentrale Entsorgung beim ehemaligen Monopolisten (Nr. 3) oder für eine dezentrale Entsorgung bei einem privatrechtlichen Dienstleistungsunternehmen (Nr. 4) entscheiden.

Es zeigt sich, dass im vorherrschenden Dualismus des gemeindlichen Anschlusses an eine öffentliche zentrale Kläranlage (Nr. 1) oder der Übertragung der Abwasserbeseitigungspflicht auf die Nutzungsberechtigten der Grundstücke (Nr. 2) eine dezentrale bzw. semizentrale Ableitung und Aufbereitung von Abwasser innerhalb der gegebenen gesetzlichen Rahmenvorschriften bereits heute möglich ist. Dabei sind für die Realisierung der verschiedenen alternativen Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungskonzepte mehr oder weniger weit reichende Transformationsprozesse notwendig. Bei der Um-

Tabelle 3-14 Beispiele von Infrastrukturkonzepten nach unterschiedlichen Ausgangsbedingungen

Nr.	Infrastrukturkonzept	Abwasserbeseitigungspflicht bei	Anlagentechnik zur Abwasserbereitung	Eigentümer der Anlagen	Betreiber der Anlagen
Heute üblicherweise praktizierte Lösungen der Abwasserbehandlung					
1	Gemeindlicher Kanalanschluss am bestehenden konventionellen Infrastruktursystem	Gemeinde	zentrale Aufbereitungstechnik (Wasserwerk bzw. Kläranlage)	Öffentlich-rechtliches Unternehmen (Gebietsmonopolist)	Öffentlich-rechtliches Unternehmen (Gebietsmonopolist)
2	Dezentrales Konzept nach genehmigter Befreiung von der Abwasserbeseitigungspflicht mit Übertragung auf den Grundstückseigentümer	Grundstückseigentümer	Klärgruben / dezentrale Aufbereitungstechnik	Grundstückseigentümer	Grundstückseigentümer
Innovative Konzepte innerhalb des aktuell geltenden rechtlichen Rahmens					
1a	Semizentrales Konzept mit Gruppenanlage im Neubaugebiet	Gemeinde	Semizentrales Kanalisationsystem und semizentrale Aufbereitungstechnik	Gemeinde	Öffentlich-rechtliches Unternehmen, evtl. durch privaten Dritten als Erfüllungsgehilfen
1b	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene im Neubaugebiet	Gemeinde	Dezentrale Aufbereitungstechnik	Gemeinde oder Grundstückseigentümer	Öffentlich-rechtliches Unternehmen, evtl. durch privaten Dritten als Erfüllungsgehilfen
1c	Kommunale Stoffkreisläufe im erschlossenen Gebiet: Trinkwasser + Brauchwasser; abwasserseitig Teilstrombehandlung (Urin)	Gemeinde	Zentrale und semizentrale technische Einheiten	Gemeinde	Öffentlich-rechtliches Unternehmen; Privater Betreiber als Erfüllungsgehilfe der Gemeinde
1d	Kleinräumige Stoffkreisläufe im erschlossenen Gebiet: Autarke Wasserversorgung auf Einzelhausebene, abwasserseitig Teilstrombehandlung	Gemeinde	Dezentrale Trink- und Pflegewasseraufbereitung sowie Grauwasseraufbereitung; Semizentrale Abwasserentsorgung	Grundstücksbesitzer, Gemeinde	Grundstücksbesitzer, Gemeinde

Nr.	Infrastrukturkonzept	Abwasserbeseitigungspflicht bei	Anlagentechnik zur Abwasseranfertigung	Eigentümer der Anlagen	Betreiber der Anlagen
2a	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene / mit Gruppenanlage	Grundstückseigentümer	dezentrale / semizentrale Aufbereitungstechnik	Öffentlich-rechtliches Unternehmen oder Wasserverband, Genossenschaft, Verein, privater Investor (später evtl. wieder Grundstückseigentümer)	Öffentlich-rechtliches Unternehmen oder Wasserverband, Genossenschaft, Verein, privater Betreiber als Erfüllungsgehilfe der Gemeinde
2b	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene / mit Gruppenanlage	Gemeinde (nach Aufhebung der Befreiung von der Abwasserbeseitigungspflicht)	dezentrale / semizentrale Aufbereitungstechnik	Öffentlich-rechtliches Unternehmen oder Wasserverband, Genossenschaft, Verein, privater Investor (später evtl. wieder Grundstückseigentümer)	Öffentlich-rechtliches Unternehmen oder Wasserverband, Genossenschaft, Verein, privater Betreiber als Erfüllungsgehilfe der Gemeinde
2c	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene / mit Gruppenanlage	Grundstückseigentümer	dezentrale / semizentrale Aufbereitungstechnik	Privater Dritter / Grundstückseigentümer im Wettbewerb mit anderen Unternehmen	Privater Dritter im Rahmen eines Betreibervertrags im Wettbewerb mit anderen Unternehmen
Innovative Konzepte außerhalb des aktuell geltenden rechtlichen Rahmens (nach Liberalisierung des Wassermarktes realisierbar)					
3	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene / Semizentrales Konzept mit Gruppenanlage	Gemeinde	dezentrale / semizentrale Aufbereitungstechnik	Öffentlich-rechtliches Unternehmen	Öffentlich-rechtliches Unternehmen
4	Dezentrales Konzept auf Einzelhausebene / Semizentrales Konzept mit Gruppenanlage	Gemeinde	dezentrale / semizentrale Aufbereitungstechnik	Privates Dienstleistungsunternehmen	Privates Dienstleistungsunternehmen

Quelle: In Anlehnung an Hiesl (2005b).

setzung innovativer Wasserinfrastrukturkonzepte in Neubaugebieten (Nr. 1a und 1b) sind bspw. aufgrund der Ausgangssituation ohne bereits bestehende Wasser- bzw. Abwasserinfrastrukturen auch keine Transformationsprozesse im eigentlichen Sinne notwendig.

Ebenso kann bei nur geringfügigen Veränderungen am bestehenden System, bspw. bei der Einführung einer Urinseparation unter Beibehaltung der übrigen Wasser- bzw. Abwasserinfrastrukturen sowie der Eigentums- und Betriebsverhältnissen (Nr. 1c) nicht von notwendigen Transformationsprozessen gesprochen werden.

Ebenfalls lassen sich innovative Abwasserkonzepte auf Basis von Kleinkläranlagen dort ohne notwendige Transformationsprozesse realisieren, wo bisher keine zentralen Infrastrukturen zur Abwasserentsorgung, also überwiegend in ländlichen Siedlungsstrukturen, installiert waren (Nr. 2a, 2b und 2c).

Im Falle der kommunalen Stoffkreisläufe verbleiben die Anlagen im Eigentum des öffentlich-rechtlichen Unternehmens, das auch deren Betrieb weiterhin übernimmt. Daher kann hier nicht von der Umsetzung eines innovativen Geschäftsmodells im eigentlichen Sinne gesprochen werden. In allen anderen Fallbeispielen können kommunale Unternehmen allerdings den Besitz und Betrieb der de- bzw. semizentralen Kläranlagen durch neue Geschäftsmodelle zur Bereitstellung von Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen auf Einzelhausebene oder für Gruppen von Gebäuden anbieten und auf diese Weise neue Märkte für sich erschließen.

Das Fallbeispiel der kleinräumigen Stoffkreisläufe in bereits erschlossenen urbanen oder ländlichen Siedlungsstrukturen (Nr. 1d) stellt dagegen ein interessantes Beispiel zur Untersuchung von Transformationsprozessen dar, da zur Umsetzung dieses Konzepts weit reichende Veränderungen am bestehenden System der Wasserver- und Abwasserentsorgung durchzuführen sind. Ebenso ist die Untersuchung des Einflusses einer Liberalisierung in solchen urbanen bereits erschlossenen Siedlungsstrukturen interessant, da hier neue Akteure auf den Markt eintreten können und sich so neue Konstellationen innerhalb der (kommunalen) Wasserwirtschaft ergeben können.

Das Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiet, das im Simulationsmodell zur Untersuchung von Transformationsprozessen abgebildet wird, stellt daher ein urbanes Siedlungsgebiet mit erschlossener Wasserver- und Abwasserentsorgung dar (vgl. Abschnitt 6.5.1).

3.4.3 Ökonomische Aspekte

Gemessen an einem konventionellen Wasserinfrastruktursystem muss jedes alternative Konzept der Wasserver- und Abwasserentsorgung zumindest langfristig ökonomisch konkurrenzfähig sein, oder aber einen Mehrwert in Funktion und Service bieten, für den die Nutzer bereit sind zu bezahlen.

Konkrete Aussagen über die Investitionen und Kosten de- bzw. semizentraler Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungskonzepte können nur vor dem jeweiligen lokalen Hintergrund und unter Berücksichtigung örtlicher Anforderungen und Gegebenheiten getroffen werden.

Prager (2002) unterzieht die innovativen Abwasserentsorgungsstrukturen „kommunaler Wasserkreislauf“ (Nr. 1c) und „kleinräumige Stoffströme“ (Nr. 1d) einem wirtschaftlichen Vergleich mit dem in die Zukunft fortgeschriebenen konventionellen Wasserinfrastruktursystem. Er erbringt allerdings keine Monetarisierung der Nutzenwirkungen der einzelnen Alternativen, sondern arbeitet vielmehr mittels einer qualitativen Darstellung gesamtwirtschaftliche Nutzenpotenziale. Im Ergebnis zeigt sich, dass mit den innovativen Wasserinfrastruktursystemen vielfältige Nutzenpotenziale verbunden sind, welche die Nachhaltigkeit der Wasserver- und Abwasserentsorgung deutlich erhöhen. Genannt werden u. a. erhebliche Verbesserungen der Gewässergüte und damit eine Steigerung des Freizeit- und Erholungsnutzens, der wiederum einen Anstieg der lokalen Dienstleistungsaktivitäten mit sich bringt. Auch der Bau und Betrieb der innovativen Abwasserentsorgungssysteme verursacht positive Beschäftigungswirkungen. Daneben werden der Vorzeigecharakter und der Imagegewinn, den die Umsetzung eines innovativen Wasserinfrastruktursystems für die deutsche Wasserwirtschaft im internationalen Wettbewerb besitzt, als Nutzenpotenzial genannt.

Maurer et al. (2006) untersuchen vier Optionen innovativer Wasserinfrastrukturen, die sich ähnlich wie die oben genannten Fallbeispiele durch den Grad notwendiger Transformationsprozesse unterscheiden und in Tabelle 3-15 zusammenfassend dargestellt sind. Bei den ersten beiden Fallbeispielen wird eine dezentrale Abwasserbehandlung unter Beibehaltung der bestehenden Kanalisation untersucht, während die letzten beiden Fallbeispiele eine dezentrale Abwasserbehandlung ohne Kanalisation beschreiben. Für diese Fallbeispiele innovativer Wasserinfrastruktursysteme ermitteln sie die Investitionen pro Einwohner und Jahr. Dabei weist das Szenario „Urinseparation“ (vgl. Nr. 1c in Tabelle 3-14) die niedrigsten Investitionen pro Einwohner und Jahr (167 €) auf. Neu zu bauende Kläranlagen können in diesem Szenario aufgrund der Urinseparation ohne Nährstoffelimination gebaut werden. Da es sich bei der Urinseparation allerdings lediglich um eine Teilstrombehandlung handelt und sonst keine Änderungen am Grundprinzip des konventionellen Systems vorgenommen werden, sind hierfür auch keine weit reichenden Transformationsprozesse notwendig (s. o.).

Eine weitere Möglichkeit der dezentralen Abwasseraufbereitung unter Beibehaltung der bestehenden Kanalisation ist die Behandlung der Abwässer in dezentralen Anlagen so nah wie möglich am Entstehungsort, so dass keine neuen zentralen Kläranlagen notwendig werden. Die bestehende Kanalisation wird zum Abtransport des gereinigten

Abwassers zum Vorfluter genutzt (vgl. Nr. 1d in Tabelle 3-14). In diesem Fall sind Investitionen von 220 € pro Einwohner und Jahr vorzunehmen.

Bei der dritten und vierten Option erfolgt die dezentrale Abwasserbehandlung ohne Kanalisation, indem die einzelnen Haushalte ihr gesamtes Abwasser selber aufbereiten und das gereinigte Abwasser sowie das Regenwasser lokal versickern lassen. Bei der dritten Option wird die bestehende Abwasserinfrastruktur aufgegeben und dezentrale Abwasseraufbereitungstechnologien werden eingeführt (vgl. Nr. 1d in Tabelle 3-14). Hier werden Investitionen von 417 € pro Einwohner und Jahr fällig. Bei einem kompletten Neubau einer Wohnsiedlung auf der „grünen Wiese“ (vgl. Nr. 1a und Nr. 1b in Tabelle 3-14) sind Investitionen von 743 € pro Person und Jahr vorzunehmen.

Zum Vergleich: Die Wiederbeschaffungskosten für ein konventionelles Abwasserinfrastruktursystem werden auf insgesamt 1.650 €/Einwohner und Jahr geschätzt, wobei 80 % (1.320 €) davon auf die Kanalisation entfallen (siehe Tabelle 3-4).

Tabelle 3-15 Investitionen alternativer Wasserinfrastrukturkonzepte

Szenariobeschreibung	Szenariobasis	Investitionen (€/EW*a)
Dezentrale Abwasserbehandlung mit Kanalisation, d.h. die bestehende Kanalisation bleibt erhalten.	„ Urinseparation “ mit minimalen Änderungen im bestehenden System, d.h. aufgrund der Urinseparation können neue Kläranlagen ohne Nährstoffelimination gebaut werden.	167,0
	„ Dezentrale Abwasseraufbereitung “: Abwasser wird in dezentralen Anlagen so nah wie möglich am Entstehungsort behandelt, so dass keine neuen zentralen Kläranlagen notwendig werden.	220,0
Dezentrale Abwasserbehandlung ohne Kanalisation, d.h. die einzelnen Haushalte bereiten ihr gesamtes Abwasser selber auf und versickern das gereinigte Abwasser sowie das Regenwasser lokal.	„ Bestehende Abwasserinfrastruktur wird aufgegeben “ und dezentrale Abwasseraufbereitungstechnologien werden eingeführt“	417,0
	„ Grüne Wiese “ ohne bestehendes Wasserinfrastruktursystem.	743,0

Quelle: Maurer et al. (2006).

3.4.4 Gesellschaftliche Aspekte

Aufgrund der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Entwicklungen innerhalb der konventionellen Wasserwirtschaft, aber auch angetrieben durch branchenexterne Entwicklungen wie der demografische Wandel und klimatische Veränderungen, divergieren die beiden gesellschaftlichen Teilsysteme der Bereitstellung und der Nutzung der Wasserver- und Abwasserentsorgung in zunehmenden Maße, was zu immer weiter reichenden Funktionsstörungen führt.

Innovative Technologien und Systemkonzepte der Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie innovative Geschäftsmodelle zum Eigentum und Betrieb solcher Anlagen tragen dazu bei, die divergierenden Teilsysteme wieder näher zusammenzubringen (Tabelle 3-16). Auf die Konsequenzen veränderter Verbrauchsmengen oder Verhaltensweisen der Wassernutzer kann der Betreiber im Vergleich zum konventionellen zentralen System der Wasserver- und Abwasserentsorgung flexibler reagieren.

Tabelle 3-16 Vergleich der Teilsysteme eines alternativen (dezentral strukturierten) Wasserinfrastruktursystems

	Wasserver- und Abwasserentsorger	Wassernutzer / Endverbraucher
Anzahl der Akteure	zwei	im zwei- bis dreistelligen Bereich
Einfluss auf das Gesamtsystem	groß	mittel bis groß, auch aus Sicht des einzelnen Verbrauchers
Nutzungsdauer der Anlagen	mittelfristig	mittel bis kurz
Re-Investitionszyklen / Diffusionsgeschwindigkeit neuer Technologien	mittelfristig	mittelfristig bis schnell
Zeithorizont hinsichtlich Innovationsentscheidungen	mittelfristig	mittel- bis kurzfristig
Anteil am gesamten Kapitalstock	je nach Modell hoch bis mittel	je nach Modell hoch bis mittel

Quelle: Hiessl et al. (2003).

Im konventionellen Wasserinfrastruktursystem nutzen die Endverbraucher Trinkwasser zur Erfüllung verschiedenster Funktionen (vgl. Tabelle 3-7). In einem alternativen System der Wasserver- und Abwasserentsorgung stellt der Anlagenbetreiber diese Funktionen ebenfalls bereit, allerdings bietet er nun neben Trinkwasser auch Wasser anderer Qualitäten, z. B. aufbereitetes Grauwasser und Regenwasser, an. Diese Reduktion der Trinkwasserverbrauchsmengen bleibt aber anders als im konventionellen System der

Wasserversorgung ohne tief greifende Systemstörungen bzw. größere betriebstechnische Konsequenzen für den Anlagenbetreiber.

Im Teilsystem der Bereitstellung der Wasserver- und Abwasserentsorgung verkürzt sich aufgrund der im Vergleich zu großen kommunalen Anlagen kürzeren Nutzungsdauern insbesondere der Entscheidungshorizont der Anlagenbetreiber sowie die Re-Investitionsrate, d. h. die Diffusion innovativer Technologien in die Wasserver- und Abwasserentsorgung wird vereinfacht und beschleunigt.

4 Analyse der Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft

Die kommunale Wasserwirtschaft wurde als komplexes System beschrieben, das emergent gegenüber den einzelnen wasserwirtschaftlichen Akteuren ist (vgl. Abschnitt 2.1.1). Das Erreichen einer neuen Systemstruktur der kommunalen Wasserwirtschaft, d. h. von de- bzw. semizentralen Strukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung ist demnach ein Gestaltungs- und Aushandlungsprozess zwischen den Akteuren, die darin die Realisierung ihrer Ziele verfolgen und über unterschiedliche Einflussmöglichkeiten auf den Ausgestaltungsprozess verfügen. Gemeint sind hier das Wissen und der Sachverstand über das konventionelle Wasserinfrastruktursystem und innovative Wassertechnologien sowie finanzielle und materielle Ressourcen, die zur Zielerfüllung eingesetzt werden können. Die Realisierung der Ziele wird darüber hinaus durch die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Rahmenbedingungen beeinflusst. Das bedeutet, dass die Systemstruktur der Wasserwirtschaft durch die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren auf Regime- und Nischenebene bestimmt wird und nicht autonom oder losgelöst von gesellschaftlichen Prozessen entsteht, sondern durch diese gestaltet wird (vgl. Abschnitt 2.1.3).

Bei der Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft ist es zudem von Interesse, wie das Auftreten und die Verfügbarkeit alternativer technischer Möglichkeiten zur Gestaltung von Wasser- und Abwasserinfrastruktursystemen und von neuartigen Modellen zum Betrieb dieser Anlagen die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren verändert. Durch die Option der Integration solcher technischer und organisatorischer Innovationen kann es zu neuen Beziehungen zwischen den Akteuren kommen, die vorher nicht existierten oder geplant waren. Die Ausbildung solcher neuer Wirkbeziehungen hängt davon ab, ob die Zielerfüllung der Akteure durch die Integration innovativer technischer Anlagen und Geschäftsmodelle positiv oder negativ beeinflusst wird. Je nach dem können die Akteure Veränderungen der konventionellen zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgungsstrukturen fördernd oder ablehnend gegenüber stehen. Durch die neuen Wirkbeziehungen können sich Allianzen zwischen Akteuren bilden, wenn gemeinsame Ziele erreicht werden sollen. Wenn die Ziele der Akteure in Konkurrenz zueinander stehen, können sich allerdings auch konfliktäre Beziehungen herausbilden. In dem Spannungsverhältnis der gewünschten Zielerfüllung und den veränderlichen Rahmenbedingungen wirken somit einerseits Antriebskräfte für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft, aber z. T. auch starke Beharrungsmomente hinsichtlich des etablierten konventionellen Wasserinfrastruktursystems.

Dies bedeutet, dass zur Aufklärung der Mechanismen, die zu Transformationsprozessen innerhalb der Struktur des Systems der Wasserwirtschaft führen, die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren zu analysieren sind. Dies geschieht im vorliegenden Kapitel, indem folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wer sind die Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft? (Abschnitt 4.2),
2. Welche Ziele verfolgen diese Akteure und welche Einflussmöglichkeiten auf Transformationsprozesse stehen ihnen dabei zur Verfügung? (Abschnitt 4.3),
3. Welcher Veränderungsdruck wirkt über die Rahmenbedingungen der Systemumwelt der Wasserwirtschaft auf die Akteure und ihre Zielerfüllung ein? (Abschnitt 4.4),
4. Welche Wechselwirkungen existieren hinsichtlich der Diffusion innovativer Technologien zwischen den Akteuren? Welche Akteure weisen dabei Konkurrenzen hinsichtlich ihrer Zielerfüllung auf und welche Akteure können zur gemeinsamen Zielerfüllung Allianzen bilden? (Abschnitt 4.5),
5. Welche wasserwirtschaftlichen Akteure bzw. Wirkbeziehungen zwischen ihnen sind für Transformationsprozesse essentiell? (Abschnitt 4.6).

4.1 Methodik

4.1.1 Kriterien zur Auswahl einer geeigneten Methode zur Analyse der Akteure

Die Beantwortung der Frage, wer die in der kommunalen Wasserwirtschaft beteiligten Akteure sind, erfolgt in Orientierung an Kapitel 3, da sich den technischen, organisatorischen, rechtlichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten der dort beschriebenen Wasserwirtschaft jeweils entsprechende Akteure zuordnen lassen. Dabei wird als Kerneigenschaft die aktuelle Rolle und Bedeutung der Akteure in der heutigen Wasserwirtschaft herangezogen. Diese werden durch einem Akteur zugeschriebene oder durch ihn erworbene Rechte charakterisiert, die bspw. durch das Gesetz, den Auftrag oder die öffentliche Zustimmung abgesichert sind und allgemein für rechtmäßig gehalten werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass auch solche Akteure, die heute noch keine bedeutende Rolle in der Wasserwirtschaft spielen, dennoch über großen Einfluss auf die Entwicklung der kommunalen Wasserwirtschaft verfügen können und zukünftig an Relevanz gewinnen können.

Die Aufdeckung der Ziele der identifizierten Akteure, des Veränderungsdrucks, der auf sie und ihre Zielerfüllung wirkt sowie die Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen ihnen, erfordert eine Methodik, die es ermöglicht, Kommunikation, d. h. Aussagen der Akteure, die sie zu den oben genannten Aspekten treffen, zu erheben und in-

haltlich zu analysieren, um daraus Rückschlüsse auf die spezifischen Aspekte hinsichtlich möglicher Transformationsprozesse zu ziehen. Die Methode soll eine objektive und systematische Analyse des Materials ermöglichen und darüber hinaus nachvollziehbar sein.

Tabelle 4-1 Kriterien zur Auswahl einer Methode für die Akteursanalyse

Kriterien an eine Methode zur Analyse der wasserwirtschaftlichen Akteure
Erhebung von Aussagen der Akteure zu den betreffenden Sachverhalten
Analyse der Akteursaussagen zu den betreffenden Sachverhalten
Ermöglichung einer objektiven, systematischen und nachvollziehbaren Analyse

Quelle: Eigene Darstellung.

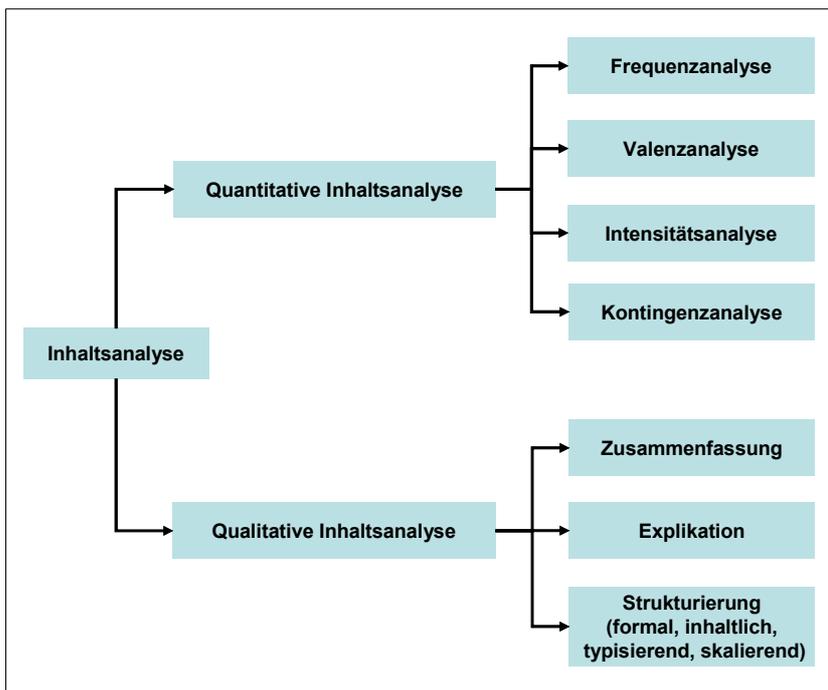
4.1.2 Methodenansätze

Eine Methode zur Untersuchung von in Texten, Bildern, Filmen und anderen Medien fixierter Kommunikation ist die Inhaltsanalyse. Sie fasst verschiedene Methoden der empirischen Sozialforschung zusammen und wird im Allgemeinen als Mischform von Datenerhebungsverfahren und Analysetechniken charakterisiert.

Im Allgemeinen wird zwischen der quantitativen und der qualitativen Inhaltsanalyse unterschieden (Abbildung 4-1).

Die quantitative Inhaltsanalyse konzentriert sich hauptsächlich auf die Vorkommenshäufigkeit bestimmter Elemente wie Zeichen, Wörter oder Redewendungen in dem zu analysierenden Medium. Diese werden erfasst und quantifiziert. Eine Bewertung des Inhalts findet nicht statt. Wichtige Verfahren der quantitativen Inhaltsanalyse sind

- die Frequenzanalyse, die die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Textmerkmale untersucht, um daraus auf die Intensität und Art, mit der über bestimmte Themen kommuniziert wird, zu schließen,
- die Valenzanalyse, die zusätzlich erfasst, ob die Inhalte der Kommunikation positiv, neutral oder negativ bewertet werden,
- die Intensitätsanalyse, die zusätzlich die Intensität dieser Bewertungen anhand geeigneter Skalen erfasst, sowie
- die Kontingenzanalyse, die untersucht, welche Merkmale zusammen im Ausgangsmaterial auftreten. Dabei ist von besonderem Interesse, ob bestimmte Merkmale häufiger gemeinsam auftreten, als es zufällig zu erwarten wäre.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 4-1 Verfahren der Inhaltsanalyse

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse wird dagegen eine Bewertung des zu analysierenden Inhalts vorgenommen. Hier werden drei Grundformen unterschieden (Mayring 2007):

- Zusammenfassung: Das Material wird reduziert und abstrahiert, wobei wesentliche Inhalte erhalten bleiben und so ein überschaubares Abbild des Materials erstellt wird,
- Explikation: Zu einzelnen interpretationsbedürftigen Textstellen wird zusätzliches Material herangezogen, um diese zu erklären, verständlich zu machen oder zu erläutern,
- Strukturierung: Ziel ist es auf Basis eines Kategorisierungssystems die Struktur des Materials herauszufinden.

Da es das Ziel der vorliegenden Analyse ist, bestimmte inhaltliche Aspekte zu Zielen, Rahmenbedingungen und Wechselwirkungen der wasserwirtschaftlichen Akteure herauszufiltern, erscheinen die Methoden der quantitativen Inhaltsanalyse, die nicht die Inhalte einer Kommunikation bewerten, im vorliegenden Kontext wenig geeignet. Auch die Methoden der Zusammenfassung und der Explikation der qualitativen Inhaltsanalyse erscheinen wenig hilfreich bei der Aufgabe, durch Aussagen der Akteure Rückschlüsse auf die Aspekte hinsichtlich der o. g. Fragen zu gewinnen. Die Strukturierung weist jedoch weitere Unterformen auf, darunter die Form der inhaltlichen Strukturie-

nung, die die Herausfilterung bestimmter Themen, Inhalte und Aspekte aus dem Material zum Ziel hat. Anwendungsgebiete der qualitativen Inhaltsanalyse waren bspw. Interviews mit arbeitslosen Lehrern, Untersuchungen zum Thema „Multimedia“ in Zeitungsartikeln oder der Vergleich von Lebensläufen von Alzheimerpatienten.

Die Stärken der inhaltlichen Strukturierung liegen insbesondere in der objektiven und systematischen Analyse des Materials sowie in der Möglichkeit, komplexe Sachverhalte durch Herausfiltern bestimmter Aspekte aus dem Material durch die Verwendung von Schlüsselbegriffen aufzuzeigen, während nicht interessierende Teile der Kommunikation ausgeblendet werden. Auf diese Weise lassen sich Aussagen über die Akteure und deren Absichten treffen. Darüber hinaus steht das Untersuchungsmaterial zeitunabhängig zur Verfügung, die Untersuchung lässt sich wiederholt durchführen, ist nachvollziehbar und vergleichsweise kostengünstig.

Nachteilig ist jedoch, dass die in Texten fixierte Kommunikation sehr einseitig sein kann und dadurch latente Absichten der Akteure, die auch von Interesse sein können, nicht identifiziert werden können. Eine weitere Schwäche dieser Methode stellt die Subjektivität bei der Festlegung des Materials dar. Zudem hat der Autor des ursprünglichen Textes seinen Formulierungen evtl. eine andere Bedeutung beigemessen, als bei der Auswertung interpretiert wird.

Dennoch erscheint insbesondere aufgrund der Möglichkeit einer objektiven und systematischen Analyse des Materials sowie der Widerspiegelung komplexer Sachverhalte durch Herausfiltern bestimmter interessanter Aspekte aus dem Material diese Methode zur Untersuchung der oben genannten Fragen geeignet zu sein und wird daher in der vorliegenden Arbeit angewendet.

4.1.3 Vorgehensweise bei der inhaltlichen Strukturierung

Die Vorgehensweise bei der inhaltlichen Strukturierung gliedert sich in die Beschreibung des Ausgangsmaterials, in die Bestimmung der zu untersuchenden Fragestellung sowie in die Festlegung des Ablaufmodells, in dem auch das so genannte Kodierschema aufgestellt wird.

4.1.3.1 Beschreibung des Ausgangsmaterials

Festlegung des Materials

Bei dem ausgewählten Material handelt es sich um Ausschnitte von Jahresberichten, Pressemitteilungen, Positionspapieren, Umwelterklärungen, Stellungnahmen und Reden der Akteure zu den hier vorliegenden Forschungsfragen. Das Material stammt aus

dem Zeitraum 2000 bis 2008. Bei der Auswahl stand vor allem die Anschaulichkeit des Materials im Vordergrund. Sie kann nicht als repräsentativ gelten.

Analyse der Entstehungssituation

Der überwiegende Teil des Materials ist von den Akteuren bzw. von den sie vertretenden Verbänden verfasst und veröffentlicht. Die Entstehung des Materials kann in den meisten Fällen mit einem spezifischen Ereignis oder Diskursstand, bspw. in der Liberalisierungsdiskussion, in Zusammenhang gebracht werden. Sie sind auch die Reaktion auf Statements oder die Veröffentlichung von Dokumenten anderer Akteure. Bspw. veröffentlichen Verbände Presseerklärungen als Reaktion auf die Herausgabe von Grün- oder Weißbüchern der Europäischen Kommission.

Formale Charakteristika des Materials

Der überwiegende Teil des Materials liegt in gedruckter Form vor, ein Teil des Materials ist im Internet auf Websites verfügbar.

4.1.3.2 Bestimmung der Fragestellungen

Richtung der Analyse

Durch die Analyse sollen Aussagen über Ziele der Akteure, die im Zusammenhang mit strukturellen Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft stehen, über Rahmenbedingungen, denen sie in der Realisierung der o. g. Ziele unterliegen und durch die sie ggf. unter Handlungsdruck gesetzt werden sowie über (mögliche) Wechselwirkungen mit anderen Akteuren gewonnen werden.

Theoriegeleitete Differenzierung der Fragestellung

In der Literatur finden sich vielfältige Aussagen zu den Rahmenbedingungen der Akteure in der kommunalen Wasserwirtschaft. Im hier vorliegenden Kontext ist es von besonderem Interesse, ob bei den Akteuren auch eine Wahrnehmung hinsichtlich dieser Einflussfaktoren existiert und inwieweit die Zielerfüllung der Akteure durch diese Faktoren beeinflusst wird, d. h. wie die Auswirkungen auf Wechselbeziehungen zwischen ihnen sind.

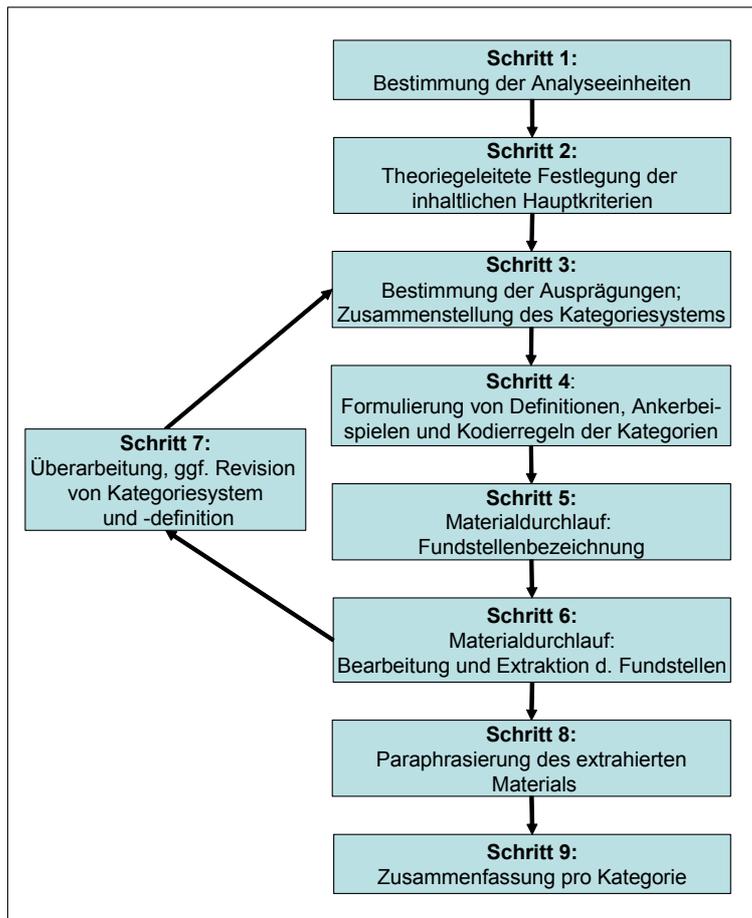
Daraus ergeben sich folgende Hauptfragestellungen an das Ausgangsmaterial der inhaltlichen Strukturierung:

- Was sind die Ziele der Akteure?
- Was sind die wahrgenommenen Einflussfaktoren und welche Beeinflussung auf die Zielerfüllung lässt sich daraus ableiten?

- Welche Wechselwirkungen existieren heute und auf welche zukünftigen Wechselwirkungen kann daraus geschlossen werden?

4.1.3.3 Festlegung des Ablaufmodells

Das Ablaufmodell der Inhaltsanalyse zerlegt die Analyse in einzelne, vorher festgelegte Interpretationsschritte (Abbildung 4-2).



Quelle: Mayring (2007).

Abbildung 4-2 Ablaufmodell der strukturierenden Inhaltsanalyse

Schritt 1 umfasst die Bestimmung der Analyseeinheiten. Die Kodiereinheit stellt darin die kleinste Materialeinheit dar, die ausgewertet bzw. einer Kategorie zugeordnet wird. Im vorliegenden Fall werden aus dem Ausgangsmaterial Halbsätze bzw. Sätze zu den hier fraglichen Themenbereichen bestimmt. Zusätzlich sind im Kodierschema Worte genannt, die als Marker für die jeweilige Kategorie gelten.

Die Kontexteinheit stellt den größten Textbestandteil dar, der einer Kategorie zugeordnet wird. Im hier vorliegenden Fall sind dies mehrere Sätze, die inhaltlich zu einer Kategorie gehören bzw. einzelne Textabsätze.

In den Schritten 2 bis 4 erfolgt die Aufstellung des Kodierschemas. In ihm sind zum einen die Textteile, die unter eine Kategorie fallen, definiert. Zum anderen werden in diesem Schema so genannte Ankerbeispiele für die Kategorien aus konkreten Textstellen gegeben. Die Festlegung der inhaltlichen Hauptkategorien orientiert sich an den zu beantwortenden Fragestellungen, die sich auf die Ziele der Akteure in der kommunalen Wasserwirtschaft, die Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren, denen sie in ihrer Zielerfüllung unterliegen, sowie auf die Wechselbeziehungen zwischen ihnen beziehen. Tabelle 4-2 zeigt das verwendete Schema der inhaltlichen Strukturierung und enthält die Kategorien sowie deren Definition und Ankerbeispiele.

Tabelle 4-2 Kodierschema der inhaltlichen Strukturierung

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel
K1: Akteursziele	Nennungen von Zielen oder Aufgaben	„Weiterentwicklung von Organisationsstrukturen auf allen Gebieten“.
K2: Beeinflussung der Zielerfüllung durch Rahmenbedingungen / Einflussfaktoren	Nennung von Einflussfaktoren und ihren (vermuteten) Auswirkungen auf die Realisierung der o. g. Ziele; Worte wie „Problem“, „Druck“, „Bedeutung“ „beeinflussen“.	„Aus kommunaler Sicht wird die Bewältigung des demografischen Wandels und seiner Folgewirkungen auf die Ver- und Entsorgung von besonderer Bedeutung sein“. „So ist von 1990 bis 2004 der Wasserabsatz in Ostdeutschland aufgrund des demografischen Wandels und des Wassersparens um mehr als 50 % zurückgegangen“.
K3: Wechselwirkungen zwischen den Akteuren	Nennung von gemeinsamen Zielen; Nennung von Forderungen gegenüber anderen Akteuren. Nennung von Forderungen, die Auswirkungen auf andere Akteure haben. Aussagen über Relation des eigenen Einflusses in Verhältnis zu den Ressourcen anderer Akteure. Worte wie „fordern“, „warnen“, „kritisieren“, „deutlich machen“, „gemeinsam“.	„Eine Neuorientierung der Siedlungswasserwirtschaft ist zwingend erforderlich.“ „Gerade das möchten die einflussreichen Ver- und Entsorgungsunternehmen verhindern und fordern den Verbraucher stattdessen auf, seinen Wasserverbrauch zu erhöhen“. „Er fordert stattdessen, Subventionen für die zentrale Wasserver- und Entsorgung einzustellen und damit die Chancengleichheit zwischen den Systemen herzustellen“.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Schritte 5 bis 8 umfassen den Materialdurchlauf, die Paraphrasierung sowie die Generalisierung und Zusammenfassung des extrahierten Materials nach den Kategorien. Das Ergebnis der inhaltlichen Strukturierung ist in Tabelle 4-5 (Seite 142) dargestellt.

4.2 Identifizierung der Akteure

Städte und Gemeinden

Die Aufgabe der Wasserver- und Abwasserentsorgung fällt in Deutschland verfassungsrechtlich unter das Selbstverwaltungsrecht der Kommunen (Art. 28 Abs. 2 GG). Für diese ergibt sich daraus einerseits die Pflicht, diese Aufgabe zu erfüllen, und andererseits das Recht, innerhalb des gesetzlichen Rahmens über die Art der Erfüllung (eigenverantwortlich oder mit Hilfe privater Beteiligung) zu entscheiden.

In Deutschland gibt es etwa 14.000 Kommunen, die überwiegend in kommunalen Spitzenverbänden (z. B. Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Bundesvereinigung der kommunalen Spitzenverbände) organisiert sind. Die Größe der Städte und Gemeinden reicht von einigen Tausend bis zu mehreren Millionen Einwohnern. Die Mehrheit bilden jedoch die kleinen und mittleren Gemeinden. Nur ca. 80 Städte haben mehr als 100.000 Einwohner und nur 12 Großstädte mehr als 500.000 Einwohner. Das bedeutet, dass die Kommunen keine homogene Gruppe sind und im Folgenden in verallgemeinerter Form dargestellt werden.

Kommunale Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen

Die Bedeutung der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen ergibt sich aus dem in Art 28 Abs. 2 GG definierten Recht der Kommunen, alle Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft im Rahmen der Gesetze in eigener Verantwortung zu regeln. Die Wasserver- und Abwasserentsorgung erfüllen die Gemeinden überwiegend durch kommunale Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen (vgl. Abbildung 3-4 und Abbildung 3-5). Diese verfügen durch ihre Mitgliedschaften in verschiedenen Wasserwirtschaftsverbänden über eine solide Vernetzung untereinander. Als Zusammenschluss öffentlich-rechtlicher Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung sind der Verband kommunaler Unternehmen (VKU, Abteilung Wasser und Abwasser) sowie die Allianz der öffentlichen Wasserwirtschaft (AöW) zu nennen. Daneben haben sich im Deutschen Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft (DBVW) Landesverbände der verbandlichen Wasserwirtschaft zusammengeschlossen. Im Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sind neben kommunalen Unternehmen auch privatwirtschaftliche Akteure der Wasserwirtschaft vertreten.

Feuerwehren

Die Brandschutzgesetze (bzw. Feuerwehrgesetze, Feuerschutzgesetze o. ä.) der Bundesländer bestimmen die Aufgaben der Feuerwehren und regeln die Verpflichtung der Gemeinden, für den Brandschutz zu sorgen. Die Gründung einer freiwilligen Feuerwehr oder das Aufstellen einer Pflicht-Feuerwehr richtet sich entweder nach der Einwohnerzahl der Stadt oder deren Status. In Städten und Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnern sind in der Regel freiwillige Feuerwehren für den Brandschutz zuständig. Die Bereitstellung des Löschwassers erfolgt in den überwiegenden Teilen Deutschlands über das Trinkwasserversorgungsnetz der kommunalen Wasserversorger.

Ähnlich wie die kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen sind auch die Feuerwehren über ihre Verbände (z. B. Deutscher Feuerwehr Verband (DFV), Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb), Bundesverband Technischer Brandschutz (bvfa)) gut untereinander vernetzt.

Akteure der Gesetzgebung und Verwaltung

Akteure der Gesetzgebung und Verwaltung finden sich auf unterschiedlichen Ebenen der kommunalen Wasserwirtschaft. Auf nationaler Ebene fallen rechtliche Fragestellungen der Wasserwirtschaft als Teil der Gewässerpolitik in das Aufgabengebiet des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (vgl. Abschnitt 3.1.4.2). Der Vollzug wasserwirtschaftlicher Regelungen ist Aufgabe der Länder und Kommunen. Für die fachlichen Aufgaben der Wasserwirtschaft verfügen die meisten Bundesländer neben den Wasserwirtschaftsämtern bzw. Umweltschutzämtern über Landesämter für Wasserwirtschaft und Umweltschutz. Zur Abstimmung gemeinsamer Fragen und wasserrechtlicher Aspekte haben sich der Bund und die obersten Landesbehörden auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft zur Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zusammengeschlossen. Die Kommunen konkretisieren mit ihren Satzungen das nationale Wasserrecht (vgl. Abschnitt 3.1.4.3).

Aufgrund der zunehmend komplexen Europäisierung der Wasserwirtschaft in Deutschland sind die Akteure, die an den legislativen und administrativen Prozessen auf europäischer Ebene beteiligt sind, von besonderer Bedeutung, da von ihren Reformvorhaben bzgl. gesetzlicher Regelungen der Wasserwirtschaft enormer Veränderungsdruck auf andere wasserwirtschaftliche Akteure ausgeht. Zu nennen sind die Generaldirektionen Umwelt sowie Binnenmarkt und Dienstleistungen der Europäischen Kommission.

Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen

Wie in Abschnitt 3.1.6 ausgeführt, werden hier unter den Nutzern der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen ausschließlich private Haushalte verstanden.

Ihre Bedeutung bei Veränderungen in der kommunalen Wasserinfrastruktur ergibt sich neben dem eigentlichen Verbrauch von (Trink)Wasser und der Erzeugung von Abwasser daraus, dass neben dem öffentlichen Teil der von den Wasserver- und Abwasserentsorgern betriebenen technischen Wasserinfrastruktursysteme ein großer technischer Teil des Gesamtsystems aus den in privaten Gebäuden liegenden Ver- und Entsorgungsleitungen und Systemkomponenten besteht.

Im Gegensatz zum industriellen Bereich liegt im Bereich der privaten Haushalte ein großes Marktpotenzial für die dezentrale Aufbereitung und Wiedernutzung von Abwasser vor, das kommunale wie private Unternehmen der Abwasserentsorgung für Dienstleistungsangebote erschließen können. § 18 a, Abs. 1, S. 2 WHG bezieht sich auf dezentrale Anlagen zur Behandlung häuslichen Abwassers. Von diesem Marktpotenzial können gleichzeitig starke Antriebskräfte für eine Dezentralisierung der konventionellen Wasserwirtschaft ausgehen.

Eine Vernetzung der privaten Haushalte untereinander ist vergleichsweise schwach ausgeprägt. Eine Stimme im Ausgestaltungsprozess der Wasserinfrastruktursysteme erhalten sie dennoch über Verbraucherverbände (z. B. Stiftung Warentest, Verbraucher Initiative), Bürgerinitiativen⁴⁵ (z. B. Arbeitskreis Wasser im BBU, Bürgerinitiative für dezentrale Wasserversorgung (BDW)), Aktionsbündnisse⁴⁶ (z. B. Netzwerk UNSER Wasser, Wasser in Bürgerhand) sowie über Umwelt- und Naturschutzverbände (z. B. BUND Arbeitskreis Wasser, NABU). Diese Organisationen sind z. T. in gesonderten Arbeitskreisen zum Schutz von Trinkwasserressourcen (bspw. vor endokrin wirksamen Substanzen), zum demografischen Wandel, zur Siedlungsentwicklung, zur Daseinsvorsorge sowie zu Fragen der Umweltpolitik und einer möglichen Liberalisierung bzw. Privatisierung der Wasserversorgung tätig.

Die großen, bundesweit tätigen Verbraucher- und Naturschutzverbände genießen eine hohe Glaubwürdigkeit in der Öffentlichkeit und sind gut in die politische Landschaft integriert. Sie informieren die Verbraucher u. a. über technische Möglichkeiten dezentraler Wasserinfrastruktursysteme und juristische Urteile (bspw. bzgl. des Anschluss- und Benutzungszwangs) und stehen bzgl. dieser Themen mit anderen Akteuren in Verbindung. Die kleineren Aktionsbündnisse und Bürgerinitiativen sind insbesondere auf den Gebieten Anschluss- und Benutzungszwang, Regenwasserversickerung und

45 Bürgerinitiativen sind spontan ins Leben gerufene, relativ kurzlebige, thematisch punktuelle, räumlich begrenzte und locker organisierte Zusammenschlüsse betroffener Bürger.

46 Aktionsbündnisse sind Kooperationen von verschiedenen Akteursgruppen, die von der gemeinsamen Planung und Durchsetzung eines einzelnen Projektes (z. B. Verbleib der Wasserversorgung in kommunalem Besitz) bis zu längerfristigen Bündnissen reichen.

-nutzung sowie alternative Sanitärkonzepte und Nährstoffrecycling tätig und unterstützen eine Neustrukturierung der kommunalen Wasserwirtschaft.

Private Dienstleistungsunternehmen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Nationale und internationale privatwirtschaftliche Dienstleistungsunternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung (z. B. Gelsenwasser, Veolia, Suez Environnement) sind bereits heute im deutschen Wassermarkt tätig. Obwohl ihr Anteil an der Anzahl der Betriebe relativ klein ist (vgl. Abbildung 3-5), ist die Privatwirtschaft signifikant in die kommunale Abwasserentsorgung eingebunden. In der Vergangenheit wurde insbesondere aus finanziellen Gründen bzw. zur Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen bei Beschaffungen und beim Betrieb der zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme die Form der öffentlich-privaten Zusammenarbeit durch Betriebsführungs- und Kooperationsmodelle realisiert. Darüber hinaus ist es schon heute privaten Dienstleistungsunternehmen möglich, in Gebieten, in denen die Kommunen die Abwasserbeseitigungspflicht auf die Grundstückseigentümer übertragen haben, tätig zu werden und ihre Dienstleistungen den abwasserbeseitigungspflichtigen privaten Haushalten anzubieten. Gemessen an den Gesamtausgaben im Abwassersektor erbrachten privatwirtschaftliche Unternehmen im Auftrag der öffentlichen Aufgabenträger rund 70 % der Leistungen im Bereich von Planung, Bau und Betrieb der Anlagen (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008).

Ähnlich wie die kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen, so sind auch die privaten Dienstleistungsunternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung z. T. in wasserwirtschaftlichen Verbänden (z. B. BDEW) organisiert und untereinander vernetzt.

Entwickler und Hersteller innovativer wasser- und abwassertechnischer Anlagen und Systemkomponenten

In Deutschland gibt es eine Vielzahl an Unternehmen, die innovative wasser- und abwassertechnische Anlagen und Systemkomponenten herstellen und vermarkten. Darunter sind einige große Hersteller, die wasserbrauchende Haushaltsgeräte wie Wasch- und Spülmaschinen produzieren und vermarkten. Daneben gibt es mehrere Hersteller von Sanitärarmaturen. Eine Vielzahl von Unternehmen stellt Anlagen zum Grauwasserrecycling sowie Kleinkläranlagen her (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2007a).

Der Einfluss von Haushaltsgeräten und Armaturen auf die vorhandenen Systeme der Wasserver- und Abwasserentsorgung entsteht durch ihre Effizienzpotenziale beim Wasserverbrauch und somit bei der Menge der anfallenden Abwässer (Kotz, Hillen-

brand 2005). Anlagen zur Wasser- und Abwasseraufbereitung üben direkten Einfluss auf die Strukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung und somit auf einen Systemwechsel in der kommunalen Wasserwirtschaft aus. In der Diffusion solcher Anlagen in die breite Anwendung steckt ein großes Veränderungspotenzial für die konventionellen Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme.

Viele Anlagenhersteller innovativer wasserbezogener Technologien sind in relativ neuen Verbänden (z. B. Fachvereinigung Brauch- und Regenwassernutzung, Gründung 1995) der so genannten Umweltschutzindustrie zusammengeschlossen und über diese nicht nur untereinander, sondern auch mit anderen Akteuren gut vernetzt.

Technisch-wissenschaftliche Verbände

Technisch-wissenschaftliche Verbände im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung wie bspw. die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), die Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfachs (DVGW) oder der Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft (BWK) haben in Deutschland eine lange Tradition (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft 2005). Eine besondere Rolle in der Wasserwirtschaft nehmen sie insbesondere durch die Erarbeitung und Herausgabe zahlreicher Regelwerke bzw. technischer Richtlinien ein. Ebenso bedeutend ist die Facharbeit, die sie in Haupt- und Fachausschüssen zu Themen wie „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“, „kommunale Abwasserbehandlung“, „Entwässerungssysteme“ oder „Recht im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft“ leisten.

Unternehmen und Verbände der Leitungsbaubranche

Aufgrund der Leitungsgebundenheit der Wasserver- und Abwasserentsorgung im heutigen konventionellen System ist die Bedeutung der Unternehmen der Rohrleitungsbaubranche evident. In Deutschland ist eine Vielzahl an Unternehmen in dieser Branche tätig. Die Interessen dieser Leitungsbauunternehmen, die einen Bezug zur Wasserwirtschaft haben, werden in Deutschland durch eine Vielzahl von Organisationen und Verbänden vertreten, z. B.

- Rohrleitungsbauverband (rbv),
- Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen (GSTT),
- Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR),
- Kunststoffrohrverband (KRV),
- Rohrleitungssanierungsverband (RSV).

4.3 Ziele der Akteure

Im Folgenden sind die Ziele der in Abschnitt 4.2 identifizierten wasserwirtschaftlichen Akteure dargestellt, die im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse gefunden wurden.

Ziele der Städte und Gemeinden

Das zentrale Ziel der Städte und Gemeinden im Bereich der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung besteht darin, die ihnen grundgesetzlich garantierte Selbstverwaltung zu fördern. Sie sehen auch zukünftig ihre Verantwortung darin, die Wasserver- und Abwasserentsorgung im Interesse aller Bürger als Aufgabe der örtlichen Daseinsvorsorge wahrzunehmen. Daher ist es das erklärte Ziel der Städte und Gemeinden, die Entscheidungshoheit innerhalb der kommunalen Daseinsvorsorge im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erhalten, um auch zukünftig frei über die Ausgestaltung dieser Dienstleistungen entscheiden zu können.

Ziele der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger

Bis Anfang der 1980er Jahre waren für die kommunalen Wasserversorgungsunternehmen vorrangig drei Ziele bedeutsam:

- die Sicherung der Versorgung der Bürger mit hochwertigem Trinkwasser,
- die Erhaltung und Verbesserung der damit zusammenhängenden Lebensqualität und des Komforts,
- die Bereitstellung einer hochwertigen Wasserinfrastruktur für die wirtschaftliche Entwicklungsdynamik einer Region.

Im Laufe der 1980er Jahre kamen bis dahin weitgehend ungeachtete ökologische Ziele hinzu, da zunehmend Probleme in den Trinkwassergewinnungsgebieten und dem angrenzenden Umland wie bspw. ausgetrocknete Feuchtgebiete, abgesenkte Grundwasserspiegel und Verunreinigungen des Grundwassers sowie versiegte Bäche und Quellen immer deutlicher zu Tage traten.

Im Tätigkeitsbereich der kommunalen Abwasserentsorgungsunternehmen standen lange Zeit insbesondere technische Ziele wie die Gewährleistung einer hohen Entsorgungssicherheit des Abwassers und der zuverlässige Betrieb der Kanalisation, Regenentlastungs- und Kläranlagen im Vordergrund. Heute sind zudem der nachhaltige Schutz der Trinkwasserressourcen sowie der wirtschaftliche Betrieb der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen von Bedeutung.

Die Erfüllung dieser Zielsetzungen wird durch Veränderungen der bisher gültigen Rahmenbedingungen beeinflusst. Klimatische Veränderungen wirken sich je nach regionaler Lage des Versorgungsgebiets auf die Rohwassermenge sowie auf die Roh-

wasserqualität aus. Demografische Veränderungen beeinflussen bei abnehmender Auslastung der Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme deren wirtschaftlichen Betrieb. Die Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigem Trinkwasser und die Entsorgung der Abwässer soll jedoch auch weiterhin effizient und zu kostendeckenden Preisen realisiert werden.

Ein weiteres evidenten Ziel der kommunalen Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung ist es, die kommunalen Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erhalten.

Ziele der Feuerwehren

Die Brandbekämpfung ist neben der Menschenrettung und technischen Hilfe nach Unglücksfällen und bei Umweltgefahren Kernaufgabe der Feuerwehren. Bedeutende Ziele der Feuerwehren, die im Zusammenhang mit dem demografischen Wandel und somit indirekt mit Veränderungen der Wasserinfrastruktursysteme stehen, sind der Erhalt des Brandschutzes in der kommunalen Daseinsvorsorge sowie die Verbreitung von Maßnahmen zur Brandprävention im Wohnbereich. Hierzu gehören insbesondere die Verpflichtung zum Einbau von Rauchwarnmeldern sowie das Verbot leicht entflammbarer Haushaltseinrichtungen und -geräte.

Ziele der Europäischen Kommission

Die Vorstellungen der europäischen Akteure hinsichtlich des europäischen Wassermarktes sind sehr heterogen. Dies zeigt sich schon darin, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen der Wasserwirtschaft auf europäischer Ebene in ihren Auswirkungen widersprüchlich sind: einerseits führt die durch die Europäische Kommission im Jahr 2000 verabschiedete Europäische Wasserrahmenrichtlinie zu einer Ökologisierung der Wasserwirtschaft, da sie u. a. fest schreibt, dass Wasser keine übliche Handelsware ist. Zudem betont sie die Bedeutung der Daseinsvorsorge, stellt neue Anforderungen an den Grundwasserschutz und stärkt das Verursacherprinzip. Andererseits gibt es von Seiten der Binnenmarktdirektion immer wieder Vorstöße, die Privatisierung bzw. Liberalisierung des Wassersektors voranzutreiben.

In der deutschen Wasserwirtschaft hat es jedoch bislang noch keine grundlegenden ordnungspolitischen Reformen gegeben. Die aktuellen Entwicklungen im europäischen Vergaberecht tendieren aber weiterhin zu einer Veränderung des Ordnungsrahmens. So ist es das Ziel der Europäischen Kommission, einen liberalisierten und privatisierten europäischen Wassermarkt zu schaffen, in dem die Vergabe von Konzessionen und Aufträgen generell europaweit auszuschreiben ist und somit dem europäischen Wettbewerbsrecht unterliegt. Diese Regelung soll nicht nur dann gelten, wenn öffentliche

Träger die Wasserversorgung gemeinsam mit privaten Unternehmen betreiben, sondern auch dann, wenn sie von kommunalen Zweckverbänden ohne Beteiligung privater Unternehmen betrieben wird. Das bedeutet, dass die Wasserver- und Abwasserentsorgung zu den Dienstleistungen von allgemeinem Interesse zählen und somit als dem Staat vorbehaltene Aufgaben definiert sind, die nicht den Wettbewerbsregeln unterliegen. Es bedeutet aber auch, dass für bestimmte Teilaspekte dieser Dienstleistungen andere Gemeinschaftsvorschriften anwendbar sind, wie etwa Vorschriften zum öffentlichen Auftragswesen sowie zum Umwelt- und Verbraucherschutz.

Des Weiteren strebt die Europäische Kommission die Einführung transparenter und wettbewerblicher Ausschreibungsverfahren für die Übertragung öffentlicher Aufträge oder Konzessionen auf öffentlich-private Partnerschaften an. Vergabefreie Inhouse-Verhältnisse sind demnach selbst bei einer Minderheitenbeteiligung eines privaten Unternehmens am Kapital einer Gesellschaft, an der auch der betreffende öffentliche Auftraggeber beteiligt ist, ausgeschlossen. Darüber hinaus ergeben sich daraus Beschränkungen bei der Erweiterung bestehender Verträge. Partnerschaften zwischen öffentlichen und privatwirtschaftlichen Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung haben grundsätzlich innerhalb der Grenzen ihres ursprünglichen Unternehmensgegenstandes, d. h. des ursprünglichen öffentlichen Auftrags, zu arbeiten und können ohne ein Ausschreibungsverfahren im Einklang mit dem gemeinschaftlichen Vergabe- und Konzessionsrecht keine weiteren öffentlichen Aufträge oder Konzessionen erhalten.

Ziele der privaten Haushalte

Die privaten Haushalte stellen eine sehr heterogene Akteursgruppe dar, da der Gebrauch von Wasser von vielen verschiedenen Faktoren bestimmt wird, z. B. von Haushaltsgröße, dem Konsumstil, der Höhe des Einkommens, etc.. Dennoch können als gemeinsame Ziele aller privaten Haushalte bzgl. der Wasserver- und Abwasserentsorgung die zuverlässige Versorgung mit Trinkwasser (bzw. Wasser anderer Qualitäten) zur Erfüllung ihrer Wassernutzungsfunktionen (vgl. Tabelle 3-7) und Entsorgung des anfallenden Abwassers und Regenwassers genannt werden. Der mit der Wassernutzung verbundene Gebrauch von Wasser und Anfall von Abwasser sollen möglichst gering sein, um die Versorgung mit Wasser und die Entsorgung von Abwasser zu minimalen Kosten zu erreichen.

Ziele privater Dienstleistungsunternehmen

Das Hauptziel der privatwirtschaftlichen Dienstleistungsunternehmen besteht darin, die Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen von Städten und Gemeinden zu übernehmen und auch zukünftig in verstärktem Maße an diesem Markt zu partizipie-

ren. Daher stellt die Öffnung des Marktes der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung ein weiteres Ziel privater Wasserunternehmen dar. Zudem dient die Umsetzung von Praxismodellen einer privaten Wasserver- und Abwasserentsorgung in Deutschland den Dienstleistungsunternehmen dazu, künftig auch im Ausland ihre Dienstleistungen anbieten zu können.

Ziele der Anlagenhersteller

Ziele der Hersteller innovativer wasser- und abwassertechnischer Anlagen und Systemkomponenten sind die Weiter- bzw. Neuentwicklung, die Produktion und insbesondere die Diffusion in die breite Anwendung, d. h. eine Absatzsteigerung ihrer Produkte.

Die Diffusion der Technologien ist abhängig von der technischen Struktur und den rechtlichen Rahmenbedingungen im vorherrschenden Wasserinfrastruktursystem. Dezentrale Anlagen zur Wasser- und Abwasseraufbereitung werden bisher im konventionellen zentralen Wasserinfrastruktursystem nicht in breiter Anwendung genutzt, sondern vor allem dort eingesetzt, wo kein Anschluss an ein zentrales Wasserinfrastruktursystem vorliegt. Daher stellen technische, organisatorische sowie rechtliche Veränderungen im konventionellen System, die eine breitere Diffusion und Anwendung ihrer Produkte befördern, weitere Ziele der Anbieter von wasser- und abwassertechnischen Systemkomponenten dar.

Ziele der technisch-wissenschaftlichen Verbände

Ein im vorliegenden Kontext zu nennendes Ziel der technisch-wissenschaftlichen Verbände ist es, auch zukünftig mit ihren Regelwerken und Richtlinien zur Sicherheit der Wasserver- und Abwasserentsorgung beizutragen. Im Zusammenhang mit neuen Strukturen der kommunalen Wasserwirtschaft werden die Beschreibung und Bewertung neuer Technologien der Abwasserbehandlung, die Informationsverbreitung und Schulungen zu diesen Technologien, die Berücksichtigung rechtlicher und technischer Entwicklungen auf europäischer Ebene sowie die Zusammenarbeit von Fachleuten aus Ingenieurbüros, Kommunen, Wissenschaft und Verwaltung als weitere Ziele genannt.

Ziele der Rohrleitungsbauunternehmen

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Unternehmen der Rohrleitungsbaubranche einen Großteil ihrer Aufträge von den Kommunen als Träger der Wasserver- und Abwasserentsorgung erhalten. Vor dem Hintergrund des massiven Sanierungsbedarfs der kommunalen Wasserinfrastruktursysteme und dennoch stagnierenden Auftragszahlen werden als Ziele der Rohrleitungsbauunternehmen (und ihrer Verbände) die Etablierung einer Instandhaltungsstrategie für Wasserinfrastruktursysteme sowie die

Verstetigung der Investitionen in diese Systeme und somit ein verstärkter Absatz ihrer Produkte genannt.

Darüber hinaus ist es das Ziel, Fachleute, Kommunalvertreter und Hausbesitzer über die aus ihrer Sicht notwendigen Rehabilitationsmaßnahmen von Wasserverteilungsnetzen und Abwasserkanälen zu informieren und über künftige Veränderungen der Wasserinfrastruktur und technische Aspekte der Sanierung von Wasserverteilungsnetzen aufzuklären. Außerdem wird die Mitarbeit an den technischen Regelwerken, insbesondere am DVGW-Regelwerk als Ziel genannt.

4.4 Veränderungsdruck durch Rahmenbedingungen sowie Auswirkungen innovativer Technologien auf die Zielerfüllung der Akteure

In diesem Abschnitt ist der jeweilige Veränderungsdruck dargestellt, der im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse für die einzelnen wasserwirtschaftlichen Akteure identifiziert werden konnte. Es wird aufgezeigt, welcher Veränderungsdruck durch die veränderlichen Rahmenbedingungen auf die Akteure wirkt und in welchem Zusammenhang die Etablierung innovativer Wasserinfrastruktursysteme und Geschäftsmodelle bzgl. des Betriebs der Anlagen mit den Zielen und Motivationen der Akteure steht, d. h. ob die Diffusion innovativer Wasserinfrastruktursysteme fördernd oder hemmend auf die Zielerfüllung wirkt.

Veränderungsdruck der Städte und Gemeinden

Die Städte und Gemeinden sind in ihrem Tätigkeitsfeld und ihrer Zielerfüllung seit geraumer Zeit erheblichen Veränderungen ausgesetzt. Diese resultieren zum einen aus der Finanzkrise vieler Städte und Gemeinden, die ca. ein Drittel ihrer gesamten Einnahmen aus Steuereinnahmen⁴⁷ beziehen. Ein weiteres Drittel stammt aus Zuweisungen des Bundes und der Länder. Das verbleibende Drittel muss aus Gebühren, Mieteinnahmen, Verkäufen und Krediten gedeckt werden. In diesem Zusammenhang übt der demografische Wandel zusätzlichen Druck auf die kommunale Finanzsituation aus, da mit abnehmender Einwohnerzahl auch die Steuerereinnahmen zurückgehen. Daher gehen viele Kommunen auch für die Zukunft davon aus, notwendige Rehabilitations- und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel an ihrer Wasserinfrastruktur nicht im erforderlichen Maße durchführen lassen zu können (Berger, Lohaus 2004).

Des Weiteren geraten die Kommunen aufgrund der möglichen Veränderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen unter Druck, da sie sowohl durch eine Verschärfung

⁴⁷ (Gewerbesteuer, kommunale Anteile an der Einkommens- und Umsatzsteuer, Grundsteuer).

der europäischen Ausschreibungspflichten als auch bei einer vollständigen Liberalisierung des Wassermarktes Einschränkungen bzw. den Verlust ihres Rechts der Selbstverwaltung sowie in der Ausgestaltung der Rahmenbedingungen zur Aufgabenerfüllung der Daseinsvorsorge zu befürchten haben.

Auch dezentral einsetzbare Technologien zur Wassernutzung und Abwasseraufbereitung setzen die Kommunen unter Druck, da diese Anlagen prinzipiell auch ohne Anschluss an eine bestehende Kanalisation betrieben werden können, so dass es zur Unterauslastung bzw. Unterfinanzierung der bestehenden Systeme kommen könnte. So gibt es, obwohl die dezentrale Reinigung von Abwasser in Kleinkläranlagen mit biologischer Nachklärung heute den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht, lokal oder regional nach wie vor Genehmigungsvorbehalte von Seiten der Kommunen.

Andererseits eröffnen innovative, dezentral einsetzbare Technologien den Kommunen eine Vielzahl an Möglichkeiten, um auf die verschiedenen Facetten des Veränderungsdrucks, der auf ihnen lastet, zu reagieren, die heute existierende Wasserinfrastruktur an die neuen Gegebenheiten anzupassen und auch zukünftig das von ihnen angestrebte Ziel, nämlich der Erhaltung der freien Ausgestaltung der kommunalen Wasser- und Abwasserdienstleistungen, zu realisieren.

Ein entscheidender Vorteil dezentraler Technologien besteht darin, dass sie sich flexibler an die Konsequenzen abnehmender Einwohnerzahlen und klimatischer Veränderungen anpassen lassen. Durch den Verzicht auf umfangreiche Netze und Kläranlagen entfallen zudem große Kostenblöcke (Investitionen, Betriebskosten) in den Kommunalhaushalten, was vor dem Hintergrund einer sich verschärfenden Finanzsituation an Bedeutung gewinnt. Dezentrale Konzepte ermöglichen zudem eine wesentlich präzisere Kostenzuordnung der Wasserver- und Abwasserentsorgung und setzen so das in der Wasserrahmenrichtlinie geforderte Verursacherprinzip um.

Durch Anwendung solcher Technologien und den Aufbau neuer Geschäftsmodelle ist es Kommunen möglich, einen neuen Markt für sich zu erschließen und First-Mover-Vorteile zu realisieren, die sie in einem potenziell liberalisierten Markt als Wettbewerbsvorsprung gegenüber neu im Wassermarkt handelnden Konkurrenten nutzen können. Hinzu kommt, dass selbst im Falle einer Marktöffnung Wasser- bzw. Abwasserdienstleistungen mit hoher Wahrscheinlichkeit von lokal oder regional ansässigen Unternehmen erbracht werden, da die verwendeten Wasserressourcen in vielen Fällen lokal vorliegen. Ebenso wird ein Regenwassermanagement meist vor Ort erfolgen. Da in einem Schadensfall an einer dezentralen Anlage schnelle Reaktionszeiten zu gewährleisten sind, kann damit für die Kommunen die Schaffung von Arbeitsplätzen und

damit eine steigende Standortattraktivität sowie steigende Steuereinnahmen verbunden sein.

Veränderungsdruck der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger

Die oben erwähnte Fokussierung wirtschaftlicher Aspekte im Tätigkeitsfeld der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger gründet auf einem zunehmenden Veränderungsdruck als Folge des demografischen Wandels sowie der Notwendigkeit der betriebswirtschaftlichen Optimierung. Dies erschwert sowohl wirtschaftlich als auch technisch die Realisierung einer effizienten Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigem Trinkwasser sowie die Entsorgung der Abwässer zu kostendeckenden Preisen und Gebühren (Sartorius, Hillenbrand 2008).

In Regionen mit abnehmender Bevölkerungszahl geht damit für die Wasserversorger eine Reduktion der Gesamtwasserverbrauchsmenge einher, wodurch es in den Wasserversorgungsleitungen und Kanalisation zu den in Abschnitt 3.2.1.4 geschilderten Problemen kommen kann. Gegebenenfalls zu ergreifende Maßnahmen wie Spülungen der Wasserversorgungsleitungen und der Kanalisation oder betriebstechnische bzw. investive Maßnahmen wie bspw. die Verringerung des Rohrdurchmessers, sind mit einem zusätzlichen finanziellen Aufwand verbunden und bringen zudem problematische Nebenwirkungen mit sich. Nicht zuletzt führt die Reduktion der Wasserverbrauchs- und Abwassermengen zu sinkenden Einnahmen für Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen.

Handlungsdruck für die Wasserversorger als Folge des Klimawandels entsteht durch eine abnehmende Rohwasserqualität, reduzierte Sickerwassermengen und sinkende Grundwasserspiegel sowie weniger verfügbares Oberflächenwasser. Für die Abwasserentsorger kann es durch die Zunahme an Extremniederschlagsereignissen in Folge des Klimawandels zur Häufung von Rückstauungen in der Kanalisation sowie zu besonders gravierenden Hochwasserereignissen kommen, auf die sie reagieren müssen.

Weiterer Veränderungsdruck ergibt sich für die Wasserver- und Abwasserentsorger aus der fortdauernden Diskussion über eine Privatisierung bzw. Liberalisierung des Wassermarktes sowie aus einer möglichen Ausweitung der europäischen Ausschreibungspflichten für öffentliche Aufträge in der Wasserwirtschaft. Die Aufgabenerfüllung der Wasserver- und Abwasserentsorger erfolgt gegenwärtig in organisatorischen Strukturen, die sich im Laufe der vergangenen Jahre und Jahrzehnte etabliert und unter stabilen Rahmenbedingungen bewährt haben. Die nun zur Disposition stehenden Vergabevorschriften verpflichten die öffentlichen Auftraggeber zur europaweiten Ausschreibung ihrer Dienstleistungsaufträge. Damit geraten die kommunalen Unternehmen, die bisher als Monopolisten wirtschaften konnten, erheblich unter Druck. Die

Ausschreibungspflichten stellen eine zusätzliche Belastung dar, da es gleichzeitig aufgrund des Örtlichkeitsprinzips nicht möglich ist, selbst Dienstleistungen in anderen Kommunen als der sie tragenden Gemeinde anzubieten. Die damit verbundenen potenziellen Geschäftsfeldverluste für die kommunalen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen wirken daher ebenfalls hemmend auf einen Systemwechsel in der kommunalen Wasserwirtschaft.

Neben diesen sich verändernden Rahmenbedingungen sind von den Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen umweltpolitische Neuerungen, wie sie sich bspw. aus der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ableiten, in ihren künftigen Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen (Rudolph et al. 2005). Die Realisierung der in der Wasserrahmenrichtlinie niedergeschriebenen ökologischen Ziele wie eine höhere Wasserqualität oder die Einhaltung von Einleitbeschränkungen für neue Stoffe, aber auch Änderungen des AbwAG oder der TrinkwVO, bspw. in Bezug auf die Grenzwerte für Pestizide, Nährstoffe oder Arzneimittelrückstände im Rohwasser, können dann weitere Investitionen für die Wasserversorger erforderlich machen, wenn die bestehenden Anlagen diese Stoffe nicht eliminieren können. Neben den betrieblichen Kosten werden zukünftig auch Umwelt- und Ressourcenkosten⁴⁸ in die Preispolitik zu integrieren sein (Görlach, Pielen 2004).

Zur Erfüllung ihrer technischen Ziele haben die Wasserver- und Abwasserentsorger in den letzten Jahrzehnten enorme Investitionen in die Rehabilitation sowie in den Neu- und Ausbau der konventionellen Wasserinfrastruktur getätigt. Aus heutiger Sicht bedeutet das für die Wasserver- und Abwasserentsorger, dass im Falle eines Systemwechsels diese Investitionen in die langlebigen Systemkomponenten des etablierten Wasserinfrastruktursystems nicht wieder zu Erlösen wären, da es sich um so genannte versunkene Kosten in eine Infrastruktur handelt.

Aus Sicht der Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen stellen die lange Nutzungsdauer der von ihnen betriebenen Anlagen zur Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung und Verteilung des Trinkwassers bzw. der Kanalisation, Regenentlastungs- und Kläranlagen sowie die von ihnen in diese Anlagen getätigten Investitionen Hemmfaktoren hinsichtlich eines Systemwandels hin zu alternativen Wasserver- und Abwasserentsorgungsstrukturen dar. Ebenso wirken sich das hohe Erfahrungswissen bzgl. des Baus und Betriebs des konventionellen Infrastrukturkonzepts sowie die ge-

⁴⁸ Umweltkosten: Kosten für Schäden, die der Wasserverbrauch für Umwelt, Ökosysteme und Personen mit sich bringt, die die Umwelt nutzen; Ressourcenkosten: Kosten für entgangene Möglichkeiten, unter denen andere Nutzungszwecke infolge einer Nutzung der Ressource über ihre natürliche Wiederherstellung- oder Erholungsfähigkeit hinaus leiden.

wohnten institutionellen Strukturen hemmend auf die Integration technischer und betrieblicher Innovationen aus.

Gleichzeitig können die alternativen, auf Ebene von Einzelgebäuden einsetzbaren Technologien zur Aufbereitung, Reinigung und Kreislaufführung von Wasser bzw. Abwasser sowie die damit verbundenen innovativen Geschäftsmodelle die Ver- und Entsorger bei der Erreichung der von ihnen gesetzten Ziele (Bereitstellung einer sicheren und effizienten Wasserver- und Abwasserentsorgung zu kostendeckenden Preisen) unterstützen. So sind dezentrale Strukturen unempfindlicher gegenüber Veränderungen des Trinkwasserverbrauchs der Kunden und mit ihnen kann flexibler auf reduzierte Wasserverbrauchsmengen reagiert werden als es im konventionellen System möglich ist (vgl. Abschnitt 3.1.6). Im Falle eines reduzierten lokalen Wasserdargebots als Folge des Klimawandels ermöglicht die Mehrfachnutzung der Wasserressourcen und die Nutzung von Regenwasser die (Teil)Substitution von Trinkwasser.

Veränderungsdruck der Feuerwehren

Die Leistungsfähigkeit der Feuerwehren sowie das durch sie bereitgestellte Sicherheitsniveau im Brandschutz werden insbesondere durch gesellschaftliche Veränderungen beeinflusst. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, abnehmender Wasserverbrauchsmengen und knapper finanzieller Ressourcen der Kommunen als Träger des Brandschutzes stellen die personelle Zukunftssicherung und Wirtschaftlichkeit des Systems der Feuerwehr besonders große Herausforderungen dar (Förderkreis des Deutschen Feuerwehrverbandes 2008; Mamrot 2005; Meier, Barth 2007). Dies bezieht sich zum einen in Regionen mit signifikanten Wanderungsverlusten, sinkenden Geburtenzahlen und hohen Pendlerzahlen auf die verfügbare Personalstärke der freiwilligen Feuerwehren (Deutscher Feuerwehrverband 2008b). Zum anderen werden die öffentlichen Wasserversorger zukünftig bedingt durch die abnehmenden Verbrauchsmengen kleinere Rohrnennweiten installieren müssen, um die wirtschaftlichen und hygienischen Anforderungen anderer Akteure (z. B. Gesetzgeber, TrinkwasserVO) erfüllen zu können. Diese Entwicklungen stehen in starkem Kontrast zu den im Bedarfsfall eines Brandes benötigten großen Wassermengen der Feuerwehren.

Die Feuerwehren haben den Veränderungsdruck wahrgenommen und setzen sich seit einigen Jahren verstärkt mit den sie betreffenden gesellschaftlichen Veränderungen auseinander. Im Jahr 2005 bspw. veröffentlichte der Deutsche Feuerwehrverband (DFV) die Bundespolitischen Themen der Feuerwehren (Deutscher Feuerwehrverband 2005). Anfang 2005 berieten Vertreter der Berufs-, Freiwilligen und Werkfeuerwehren, der Verbände und Organisationen des Brandschutzes sowie der Forschung über Zukunftsfragen der deutschen Feuerwehren (Ackermann et al. 2005). Das Ergebnis die-

ser Beratungen ist in der so genannten Magdeburger Erklärung zusammengefasst, die zwölf Thesen zur zukünftigen Entwicklung der Feuerwehren enthält (Deutscher Feuerwehrverband 2008c). Anfang 2008 fand der Zukunftskongress des Deutschen Feuerwehrverbandes statt. Im Mai 2008 wurde vom DFV ein Zukunftsprogramm veröffentlicht, das Zielvorstellungen zum Feuerwehrwesen für die kommenden Jahrzehnte enthält (Deutscher Feuerwehrverband 2008a).

Diese Veranstaltungen und Veröffentlichungen zeichnen ein facettenreiches Zukunftsbild der Feuerwehr in Deutschland. Die im hier vorliegenden Kontext interessanten Veränderungen, auf die die Feuerwehren und Akteure der Brandschutztechnik zukünftig reagieren wollen, beziehen sich auf

- den demografischen Wandel und den Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Feuerwehren und das Sicherheitsniveau in der Gesellschaft,
- Anforderungen an neue Strukturen des Feuerwehrsystems, Zentralisierung und interkommunale Zusammenarbeit,
- rechtliche Veränderungen mit Auswirkungen auf den Erhalt der Feuerwehren in der kommunalen Daseinsvorsorge,
- die Wirtschaftlichkeit im Feuerwehrwesen; Möglichkeiten einer Privatisierung für klar definierte Serviceleistungen (z. B. für Ausbildung, Logistik, Beschaffung, Verwaltung).

Systemimmanente Probleme und zukünftige Herausforderungen, die insbesondere in den Zusammenhängen und Wechselwirkungen zwischen demografischer Entwicklung und notwendigen Umbau- bzw. Rückbaumaßnahmen der Wasserinfrastruktur begründet liegen, werden jedoch in den oben genannten Zukunftspapieren nicht systematisch behandelt. Zwar wird konstatiert, dass sich die Feuerwehren an die gesellschaftlichen Veränderungen anzupassen haben. Wie diese Anpassungen an die systemimmanenten Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft und damit in der abhängigen Löschwasserversorgung im Detail aussehen, wird allerdings – zumindest öffentlich – kaum diskutiert.

Zukünftige Veränderungen in den Strukturen der Wasserversorgung – sei es durch reduzierte Rohrmennweiten oder durch eine verstärkte Dezentralisierung – machen den Ausbau einer unabhängigen Löschwasserversorgung notwendig. Schon heute gibt es in Deutschland Regionen, in denen eine ausreichende Löschwasserversorgung durch die öffentliche Trinkwasserversorgung nicht oder nicht im nötigen Maße bereitgestellt werden kann und eine unabhängige Löschwasserversorgung der Feuerwehr das zur Brandbekämpfung benötigte Löschwasser bereitstellt oder ergänzt.

Darüber hinaus ermöglichen neue Entwicklungen aus der Betriebs- und Regenwasserbranche Kombinationen der Löschwasserversorgung mit der Betriebs- und Regenwassernutzung für die Versorgung von WCs, Waschmaschinen und Hydranten (Götsch 2005). In diesen innovativen Konzepten reicht die Löschwasserbereitstellung von einer öffentlichen Teilversorgung mit Trinkwasser bis zur vollständig autarken Löschwasserversorgung vor Ort. In den überwiegenden Praxisanwendungen wird die Teilversorgung aus dem Trinkwassernetz (z. B. 40%) in Kombination mit der Betriebs- und Regenwassernutzung (60 %) eingesetzt. Im Standardfall werden alle Wasserverbraucher wie WCs oder Waschmaschinen mit Regenwasser versorgt. Im Brandfall werden die Hydranten mit Löschwasser versorgt. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen erschließt sich aus der oben beschriebenen Kombination der Löschwasserversorgung mit der Betriebs- und Regenwassernutzung für die Versorgung von WCs, Urinalen und Hydranten.

Veränderungsdruck der Europäischen Kommission

Einem Veränderungsdruck, wie ihm andere Akteure aufgrund der veränderlichen Rahmenbedingungen unterliegen, sind die Generaldirektionen Umwelt sowie Dienstleistungen und Binnenmarkt nicht ausgesetzt. Sie lösen mit ihren Aktivitäten zur Erfüllung ihrer eigenen Ziele (Privatisierung und Liberalisierung des europäischen Wassermarktes) vielmehr Handlungsdruck bei anderen Akteuren der Wasserwirtschaft aus.

Das von der Europäischen Kommission (Generaldirektion Binnenmarkt und Dienstleistungen) angestrebte Ziel einer Liberalisierung des Wassermarktes (und ebenso die von der Bundesregierung verfolgte Modernisierungsstrategie der deutschen Wasserwirtschaft) beruht auf der Beibehaltung der konventionellen, zentral ausgerichteten Wasserver- und Abwasserentsorgung. Das Vorhandensein von natürlichen Monopolen aufgrund der Leitungsgebundenheit der Wasserver- und Abwasserentsorgung wird dabei nicht hinterfragt. Jedoch machen zumindest dort, wo die Kommunen von der Pflicht der Abwasserbeseitigung befreit sind und diese auf die Grundstückseigentümer übertragen haben, der Einsatz dezentraler Anlagen zur Abwasserentsorgung die Diskussion um die Gebietsmonopole in der Liberalisierungsdebatte schon heute obsolet. Da diese Technologien unter diesen rechtlichen Voraussetzungen die Abwasserentsorgung auf Haushaltsebene ermöglichen, findet hier bereits ein Wettbewerb um die Erbringung von Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsdienstleistungen auf Haushaltsebene statt (Hiessl et al. 2003; Hiessl, Herbst 2002; Hiessl, Toussaint 1999).

Anders stellt sich die Situation in bereits erschlossenen Gebieten dar. Hier setzt die Zielerfüllung seitens der legislativen Akteure, insbesondere die kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger unter Druck (vgl. Abschnitt 4.3).

Veränderungsdruck privater Haushalte

Verschiedene Umfragen haben gezeigt, dass die Kundenzufriedenheit hinsichtlich Trinkwasserqualität, Versorgungssicherheit und Serviceleistungen der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung sehr hoch ist (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2005; Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT) et al. 2008; Com X Institut 2006; Institut für empirische Sozial- und Kommunikationsforschung 2008). Das bedeutet, dass für die Mehrheit der privaten Haushalte aufgrund der Kriterien Versorgungssicherheit und Trinkwasserqualität kein Anlass besteht, ein alternatives System der Wasserversorgung anzustreben.

Unter den aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen kommt hinzu, dass die privaten Haushalte in Gebieten mit bestehenden zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen aufgrund des Anschluss- und Benutzungszwangs keine Wahlmöglichkeit zwischen zentralen und dezentralen Technologien der Funktionsbereitstellung haben, so dass der geltende Anschluss- und Benutzungszwang als Diffusionshemmnis gegenüber innovativen Technologien gewertet werden kann (vgl. Abschnitt 3.1.4).

Eine dezentrale Anlage zur Wasser- bzw. Abwasserreinigung darf nur bzw. muss von den privaten Haushalten dann errichtet werden, wenn kein Zwang zum Anschluss an den gemeindlichen Kanal vorliegt und dem Grundstückseigentümer die Pflicht der Abwasserbeseitigung übertragen wurde. Allerdings kann hier unterstellt werden, dass in den überwiegenden Fällen den privaten Haushalten sowohl das technische als auch das juristische Know-how (z. B. bzgl. Fragen der Umwelthaftung) zum Betrieb innovativer wasser- und abwassertechnischer Systemkomponenten fehlt. Mangelnde eigene Erfahrungen mit dem Gebrauch, der Pflege und der Wartung dieser Technologien lassen daher ein de- bzw. semizentrales Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktursystem aus Sicht der privaten Haushalte eher unattraktiv erscheinen.

Ein weiteres Beharrungsmoment der privaten Haushalte am etablierten Wasserwirtschaftssystem ergibt sich aus den Vorbehalten der Bürger gegenüber privaten Beteiligungen bzw. Teilprivatisierungen von Stadtwerken und Wasserversorgungsunternehmen, da sie weitere Preissteigerungen sowie ein Desinteresse von Seiten der privaten Versorgungsunternehmen bzgl. der Versorgung von Bevölkerungsteilen in ländlichen Gebieten befürchten (Verband kommunaler Unternehmen 2008b). Die Bürger bringen in diesem Zusammenhang den kommunalen Unternehmen ein größeres Vertrauen entgegen, da sich diese als Träger der Ver- und Entsorgungsaufgaben diesen hoheitlichen Pflichten nicht einfach entledigen können, wenn sich die Versorgung bestimmter Gebiete aus betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht mehr lohnt (Deutscher

Städte- und Gemeindebund 2007; Institut für empirische Sozial- und Kommunikationsforschung 2008; Verband kommunaler Unternehmen 2008c).

Andererseits ergeben sich aus Sicht der privaten Haushalte im Zusammenhang mit den Preisen und Gebühren der Wasserdienstleistungen (vgl. Abbildung 3-8 und Tabelle 3-6) Antriebsmomente für einen Systemwechsel in der Wasserinfrastruktur. Dabei ist es unerheblich, ob die privaten Haushalte die genaue Höhe der Preise und Gebühren kennen. Dort, wo der Wasserpreis tatsächlich relativ hoch ist (z. B. neue Bundesländer) und die Verbraucher sich dessen bewusst sind, versuchen diese, Wasser einzusparen. Aber auch die Verbraucher, die den genauen Wasserpreis nicht benennen können, sparen in Gebieten mit hohem Wasserpreis Wasser aufgrund der gestiegenen (Miet)Nebenkosten ein. Darüber hinaus kann konstatiert werden, dass selbst dort, wo die Wasserpreise relativ niedrig ausfallen die privaten Haushalte Wasser einsparen, da in vielen Fällen (ca. 30 % der Haushalte) der Preis (z. T. deutlich) zu hoch eingeschätzt und so eine Zunahme der Mietnebenkosten zumindest empfunden wird (Institut für empirische Sozial- und Kommunikationsforschung 2008). Zudem kann angenommen werden, dass sich diese Empfindung durch die starke Präsenz der aktuellen Energiepreisdiskussion in den Medien noch verstärkt, auch wenn kein direkter Zusammenhang zwischen Energie- und Wasserpreisen besteht.

Dieser – reale oder empfundene – Veränderungsdruck wird zusätzlich dadurch verstärkt, dass die Wassersparbemühungen, die die Endverbraucher in der Vergangenheit unternommen haben, um ihre Nebenkosten zu senken, aufgrund der hohen Fixkostenanteile an den Gesamtkosten der Wasser- und Abwasserentsorgung dazu führen, dass die Preise weiter ansteigen (vgl. Abschnitt 3.1.6).

Die Ziele der privaten Haushalte sind die zuverlässige Ver- und Entsorgung mit Wasser bzw. von Abwasser zu möglichst günstigen Preisen und Gebühren. Von untergeordneter Bedeutung erscheint dagegen, ob die Bereitstellung der Wasserverbrauchsfunktionen in etablierten oder innovativen Strukturen erfolgt und welche wasser- und abwassertechnischen Systemkomponenten dazu eingesetzt werden. Aus Sicht der Verbraucher sind die technischen Anlagen der Wasserver- und Abwasserentsorgung nur ein Mittel zur Bereitstellung der von ihnen gewünschten Wasserver- und Abwasserdienstleistungen. Darüber dürfte bei der Mehrheit der Endverbraucher in der Regel das Interesse am Besitz und eigenverantwortlichen Betrieb der Anlagen eher gering ausfallen.

Da in dezentralen Strukturen unter Einbeziehung von Regen- und Brauchwasser der Verbrauch an Trinkwasser reduziert werden kann und das gereinigte Abwasser ortsnah versickert bzw. abgeleitet wird, lassen sich auch die Kosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung reduzieren. Eine Ausweitung der Ausnahmetatbestände beim An-

schluss- und Benutzungszwang bzw. die völlige Aufhebung dieser Pflicht könnte die Diffusion dezentraler Technologien in heute bereits wasserinfrastrukturtechnisch erschlossene Gebiete vorantreiben und sich positiv auf die Zielerfüllung der privaten Haushalt auswirken.

Veränderungsdruck privater Dienstleistungsunternehmen

Die Situation der privaten Dienstleistungsunternehmen im deutschen Wassermarkt wird insbesondere durch die geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen geprägt. Die Möglichkeit, in Versorgungsgebieten tätig zu werden, die bereits an eine zentrale Wasserver- und Abwasserentsorgung angeschlossen sind, ergibt sich für sie nur dann, wenn sie durch (Teil)Privatisierungen von Seiten der Kommunen Marktzutritt erhalten, da § 103 GWB (alte Fassung) den kommunalen Wasserversorgungsunternehmen ihre Monopolstellung zusichert. Grundsätzlich ist nur durch Aufhebung des § 103 GWB (alte Fassung) ein eigenständiges Tätigwerden privater Dienstleistungsunternehmen im deutschen Wassermarkt möglich. Allerdings sind die Kommunen selbst dann noch in der Lage, durch den Gebrauch ihres Selbstverwaltungsrechts (aus Art.28 GG) bei der Wasserversorgung als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge über den Anschluss- und Benutzungszwangs (aus AVBWasserV) eine Liberalisierung abzuwehren, so dass bei einer Aufhebung des § 103 GWB (alte Fassung) ausschließlich private Wasserversorger einem Wettbewerb ausgesetzt würden. Dies bedeutet, dass eine vollständige Liberalisierung nur durch die generelle Abschaffung des Anschluss- und Benutzungszwanges⁴⁹ möglich wird, durch die die Verbraucher gleichzeitig Wahlfreiheit hinsichtlich ihrer Wasserver- bzw. Abwasserentsorger erhalten würden. Allerdings wird diese Option aktuell von keinem der beteiligten politischen Akteure verfolgt.

Die Beschränkungen der Handlungsmöglichkeiten zur Zielerfüllung liegen hier also vor allem in den geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen. Veränderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen bringen - anders als für die kommunalen Ver- und Entsorgungsunternehmen - für die privaten Dienstleistungsunternehmen keinen Druck mit

⁴⁹ Diese kann dem Bundesministerium für Wirtschaft (2001) entsprechend durch vier Maßnahmen erreicht werden:

- (1) Vollprivatisierung und somit Wegfall des Rechts der Gemeinden, Anschluss- und Benutzungszwänge auszusprechen;
- (2) Verzicht der Gemeinde auf Anschluss- und Benutzungszwänge;
- (3) Befreiung der Verbraucher vom Anschluss- und Benutzungszwang im Rahmen der Liberalisierungsklausel der Allgemeinen Versorgungsbedingungen für die Trinkwasserversorgung (AVBWasserV);
- (4) Auflagen des Landes gegenüber den Unternehmen im kommunalen Einfluss zur Gewährung von Ausstiegsmöglichkeiten für Abnehmer im Versorgungsgebiet über die AVBWasserV hinaus.

sich; solche Veränderungen würden sich vielmehr positiv auf ihre Zielerfüllung auswirken. Auch andere Rahmenbedingungen, die auf den kommunalen Akteuren lasten (bspw. Herausforderungen durch demografischen Wandel), wirken positiv auf die Zielerfüllung der privaten Dienstleistungsunternehmen.

Durch den Einsatz de- bzw. semizentraler Anlagen können private Dienstleistungsunternehmen trotz der oben angeführten aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen bereits heute im deutschen Wassermarkt tätig werden und ihre Dienstleistungen anbieten. Dies ist dort möglich, wo die Abwasserbeseitigungspflicht auf die Grundstückseigentümer übertragen wurde. Das bedeutet, dass bereits heute Formen des Wettbewerbs in der kommunalen Wasserwirtschaft vorhanden sind.

Dabei spielt es aus Sicht der privaten Dienstleistungsunternehmen technisch gesehen keine Rolle, ob in dem zu versorgenden bzw. entsorgenden Gebiet bereits eine Wasserinfrastruktur existiert oder nicht. Könnten die privaten Dienstleistungsunternehmen auch in bereits erschlossenen Gebieten selbständig tätig werden, so würde es ihnen die Dezentralität der Wasserver- und Abwasserentsorgungskonzepte ermöglichen, flexibler auf die veränderbaren Rahmenbedingungen (abnehmende Wasserverbrauchsmengen, abnehmende Kundenzahl, Klimawandel, etc.) zu reagieren, als dies den (kommunalen) Betreibern der zentralen Wasserinfrastruktursysteme möglich ist, und den privaten Haushalten kostengünstige Dienstleistungsangebote zu unterbreiten.

Ein solches Angebot einer de- bzw. semizentralen Wasserver- und Abwasserentsorgung ist insbesondere dann für Verbraucher interessant, wenn die Kosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung, bspw. durch Ergänzung mit einer Regen- und Grauwassernutzung, preisgünstiger wird als die Preise und Gebühren im zentralen Wasserinfrastruktursystem. Dieses aus Sicht der privaten Dienstleistungsunternehmen positive Antriebsmoment eines Systemwandels verstärkt sich, wenn die kommunalen Ver- und Entsorger die steigenden Kosten auf immer weiter abnehmende Abwassermengen bzw. Kunden umlegen müssen.

In beiden Fällen (Dienstleistungsangebot in unerschlossenen oder erschlossenen Gebieten) können die Anbieter von Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen Skaleneffekte, die sie wegen der größeren Stückzahlen bei der Beschaffung der Anlagen realisieren, an die Endverbraucher weitergeben, wodurch ihr Dienstleistungsangebot an Attraktivität gewinnt.

Veränderungsdruck der Anlagenhersteller

Die veränderlichen Rahmenbedingungen der heutigen kommunalen Wasserwirtschaft, die bei anderen Akteuren einen Handlungsdruck zur Realisierung ihrer Ziele auslösen,

wirken auf die Hersteller von dezentralen wassertechnischen Anlagen eher unterstützend auf die Zielerfüllung. Mit der Erfüllung ihrer Ziele verstärken sie den Handlungsdruck bei anderen beteiligten Akteuren.

Als Haupthemmnis einer Diffusion dezentraler Regen- und Grauwassernutzungsanlagen gilt das administrative Geflecht der Regelungen aus Anschluss- und Benutzungszwang in den kommunalen Satzungen sowie der Trinkwasserverordnung, die der Nutzung von Regenwasser im Haushalt bislang unklar gegenüber steht (Umweltbundesamt 2005b) und der Widerstand vieler Kommunen und kommunaler Unternehmen, dezentrale Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung zuzulassen bzw. einzusetzen.

Technologische und betriebswirtschaftliche Neu- und Weiterentwicklungen von Regenwasser- und Grauwasseraufbereitungsanlagen sowie von Kleinkläranlagen und die zunehmende Akzeptanz gegenüber der Nutzung von Regen- und Brauchwasser befördern die Ziele der Anlagenhersteller.

Der demografiebedingte rückläufige Wasserverbrauch und Effizienzsteigerungs- und Kosteneinsparpotenziale der flexiblen dezentralen Systeme sind gute Voraussetzungen für die Zielerreichung der Anlagenhersteller. Das verstärkte Aufkommen solcher Systemkomponenten wirkt positiv auf ihre Zielerfüllung.

Auch Änderungen der aktuellen Rahmenbedingungen wirken sich positiv auf die Zielerfüllung der Anlagenhersteller aus, da dies eine stärkere Nachfrage nach wasser- und abwassertechnischen Systemkomponenten ermöglicht. Durch die Fertigung großer Serien lassen sich ökonomische Skaleneffekte zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit realisieren.

Veränderungsdruck der technisch-wissenschaftlichen Verbände

Im Vergleich zu anderen Akteuren der Wasserwirtschaft wird der Druck, der auf den technisch-wissenschaftlichen Verbänden durch Veränderungen der brancheninternen und –externen Rahmenbedingungen lastet, als gering eingestuft. Zwar kann konstatiert werden, dass die Akteure dieser Verbände unter Umständen ein gewisses Beharrungsvermögen gegenüber Veränderungen in der Wasserwirtschaft aufweisen, da sie zu den etablierten Akteuren des konventionellen Systems zählen und bei einem Systemwechsel einen gewissen Bedeutungsverlust zu befürchten haben. Andererseits ist eine Anpassung an neue Rahmenbedingungen für sie relativ leicht umzusetzen. Schon heute befassen sich die Verbände und Vereinigungen z. T. in speziellen Arbeitsgruppen mit den veränderlichen Rahmenbedingungen der Wasserwirtschaft wie Demografie und Klimawandel sowie mit Fragen einer dezentral strukturierten Wasserver- und

Abwasserentsorgung (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft 2007; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft 2008). Zudem ist die Erreichung der Ziele der technisch-wissenschaftlichen Verbände in einem innovativen Wasserinfrastruktursystem nicht gefährdet. Neue Strukturen in der Wasserwirtschaft und damit zusammenhängende Fragestellungen machen ggf. Anpassungsmaßnahmen notwendig, die aber von den Akteuren leicht umzusetzen sind, zumal sie schon heute in diesen Themen aktiv sind. Allerdings ist es ebenso möglich, dass in einem neuen Wasserinfrastruktursystem auch neue Verbände (s. o.) gegründet werden und in Konkurrenz zu ihnen treten.

Veränderungsdruck der Rohrleitungsbauunternehmen

Eines der wichtigsten Themen der Branche des Rohrleitungsbaus in Bezug auf die kommunale Wasserwirtschaft ist der Investitionsstau, der auf rund 13 Mrd. € (Stand 2005) geschätzt wird (Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen 2007; Rohrleitungsbauverband 2005). Als Gründe für die Investitionszurückhaltung werden neben der Finanznot der Kommunen die unternehmerische Ausrichtung der Versorger, unter der immer weniger Investitionen in den Erhalt der Infrastruktur sondern stattdessen zunehmend in Beteiligungen und Übernahmen anderer Unternehmen fließen würden, genannt.

Einflussfaktoren wie der Klimawandel und der demografische Wandel sowie die Konsequenzen, die sich daraus für die Wasserinfrastruktursysteme ergeben, werden seit jüngster Zeit in der Rohrleitungsbaubranche wahrgenommen und diskutiert (Rohrleitungsbauverband 2006; Roscher 2008). Die Anwendungspotenziale, die dezentrale Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung bieten, um auf diese Einflussfaktoren zu reagieren sowie die Auswirkungen auf die Rohrleitungsbaubranche, die die Etablierung dezentraler Planungskonzepte nach sich ziehen würde, nämlich eine weitere Verschlechterung der Auftragsentwicklung, werden in der Branche jedoch kaum diskutiert.

4.5 Wechselwirkungen zwischen den Akteuren aufgrund Zielerfüllung und Integration von Innovationen

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, welche Verbindungen schon heute zwischen den Akteuren existieren und welche Wechselwirkungen sich zukünftig aus der Zielerfüllung und der Integration innovativer Technologien und Geschäftsmodelle zum Betrieb der Anlagen zwischen den Akteuren ableiten lassen. Auf Basis solcher Wechselwirkungen lassen sich Allianzen zur gemeinsamen Zielerfüllung schmieden. Hierin kann sich aber auch das Konfliktpotenzial zwischen der Zielerfüllung zweier (oder mehrerer) Akteure zeigen.

Die Verbindungen zwischen den wasserwirtschaftlichen Akteuren sind vielfältig. Im Folgenden werden die Verbindungen der Akteure dargestellt, die aus der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse im Zusammenhang mit den hier vorliegenden Fragestellungen extrahiert werden konnten. Darauf aufbauend wird abgeleitet, welche Wechselbeziehungen zukünftig unter den veränderlichen Rahmenbedingungen vorstellbar und im Ausgestaltungsprozess der Wasserwirtschaft essenziell sind.

4.5.1 Aktuelle Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren

Die vielfältigen Verbindungen und Wechselbeziehungen zwischen den wasserwirtschaftlichen Akteuren werden überwiegend durch den Versuch getrieben, die eigenen Ziele zu realisieren bzw. die Möglichkeit ihrer Realisierung zu erhalten. Hierbei spielen auch die Einflussfaktoren, die auf die Akteure einen Handlungsdruck erzeugen, eine bedeutende Rolle. Im Folgenden werden die Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren herausgearbeitet, die in Zusammenhang mit strukturellen Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft gebracht werden können. Daran beteiligt sind neben den Kommunen, ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen sowie den Feuerwehren die Europäische Kommission, private Dienstleistungsunternehmen, die Verbraucher (private Haushalte), Hersteller von Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsanlagen sowie Unternehmen und Verbände des Rohrleitungsbaus.

Kommunen – kommunale Unternehmen

Wechselbeziehung zwischen den Kommunen und den kommunalen Unternehmen ergeben sich aufgrund des gemeinsamen Ziels, die Wasserver- und Abwasserentsorgung in der kommunalen Daseinsvorsorge zu erhalten, und der notwendigen Anpassungsmaßnahmen, die je nach Situation im Versorgungsgebiet aufgrund des demografischen Wandels und des Klimawandels durchzuführen und gemeinsam von den Wasserversorgungsunternehmen und der tragenden Kommune zu planen, umzusetzen und zu finanzieren sind.

Die Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen verfügen über ein fundiertes Wissen und technischen Sachverstand hinsichtlich des konventionellen Wasserinfrastruktursystems. Diese Wissensressourcen können eingesetzt werden, um am bestehenden System festzuhalten. Zudem wirken sich die Langlebigkeit der bestehenden konventionellen Infrastruktursysteme und die versunkenen Kosten sowie die personelle Zugehörigkeit zur Systemkultur des etablierten Systems hemmend auf die Motivation hinsichtlich von Veränderungen im etablierten System aus.

Zudem verfügen viele Kommunen nur über relativ geringe Finanzmittel, die es ihnen nicht erlauben notwendige Rehabilitations- oder Anpassungsmaßnahmen an der Was-

serinfrastruktur im erforderlichen Maße durchzuführen. Die finanzielle Situation wird auch zukünftig den Handlungsspielraum vieler Kommunen einengen.

Hinsichtlich des Erhalts der Wasserver- und Abwasserentsorgung in der kommunalen Daseinsvorsorge verfügen die Kommunen und die kommunalen Unternehmen durch ihre Verbindungen zu den kommunalen Spitzenverbänden bzw. zu den Wasserwirtschaftsverbänden über große Kommunikations- und Steuerungspotenziale, die ihnen einen indirekten aber starken Einfluss auf die Willensbildung und Entscheidungsfindung der politischen Akteure ermöglichen, bspw. indem die Verbände in der für die Kommunen wichtigen Debatte um mögliche Formen einer Liberalisierung des Wassermarktes Position beziehen. Dies ist umso bedeutender, als dass die Kommunen selbst über kein direktes Vertretungsorgan beim Bund (wie etwa die Bundesländer mit dem Bundesrat) verfügen und somit nicht direkt an Gesetzesentscheidungen beteiligt sind. Die Kommunen können jedoch über ihre Satzungen und Verwaltungsentscheidungen Einfluss bei der Umsetzung und Ausgestaltung der Gesetze und Vorschriften nehmen.

Kommunen / kommunale Unternehmen – Feuerwehren

In den oben beschriebenen Anpassungsmaßnahmen der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme, die die demografischen und klimatischen Veränderungen nach sich ziehen, ist implizit eine konfliktäre Wechselwirkung zwischen den Kommunen und ihren kommunalen Unternehmen mit den Feuerwehren enthalten, da Veränderungen in Wasserinfrastruktursystemen im Konflikt mit der abhängigen Löschwasserversorgung und somit zur Zielerfüllung der Feuerwehren stehen.

Kommunen / kommunale Unternehmen – Europäische Kommission

Weitere konfliktäre Wechselbeziehungen weisen die Kommunen und kommunalen Unternehmen mit der Europäischen Kommission auf, da die von der Europäischen Kommission angestrebten Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen und die Folgen einer möglichen Liberalisierung z. T. im Widerspruch zu den Zielen der Städte und Gemeinden stehen. Die Kommunen sehen insbesondere ihr Recht auf Selbstverwaltung durch die angestrebten Reformen der europäischen Rechtssprechung bzgl. Ausschreibe- und Vergaberichtlinien sowie durch eine mögliche Liberalisierung des Wassermarktes bedroht.

Die Ressourcen der Europäischen Kommission, ihr Ziel der Öffnung des Wassermarktes durchzusetzen, sind sehr stark, da EG-Richtlinien innerhalb einer Frist in nationales Recht umzuwandeln sind.

Kommunen / kommunale Unternehmen – Private Dienstleistungsunternehmen

Wechselbeziehungen zwischen Kommunen und privaten Dienstleistungsunternehmen bestehen schon seit längerem über abgeschlossene Verträge zur interkommunalen Zusammenarbeit und öffentlich-private Partnerschaften in der Wasserver- und Abwasserentsorgung. Treiber für diese Kontakte waren die Nutzung von Synergieeffekten sowie die bereits oben erwähnte Finanzkrise der kommunalen Haushalte. Auch zukünftig möchten die Städte und Gemeinden diese Formen der Zusammenarbeit frei wählen können. Insbesondere vor dem Hintergrund knapper finanzieller Ressourcen schaffen aus Sicht der Kommunen öffentlich-private Partnerschaften mehr Effizienz bei öffentlichen Investitionen. Daher unterstützen die Städte und Kommunen den Aufbau langfristiger Partnerschaften mit der privaten Wirtschaft unter Berücksichtigung der Risiken langfristiger Verträge.

Viele private Dienstleistungsunternehmen verfügen über Finanzressourcen, die sie als Partner in der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung attraktiv machen. Die Möglichkeiten, um eigenständig im Wassermarkt tätig zu werden, sind jedoch aufgrund der geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen eher schwach ausgeprägt. Kommt es jedoch zu Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen zugunsten privater Dienstleistungsunternehmen, so kann es diesen durch die oben genannten Finanzmittel in relativ kurzer Zeit gelingen, große Anteile des (bisher kommunalen) Wassermarktes für sich zu gewinnen.

Kommunen / kommunale Unternehmen – Private Haushalte

Forderungen der privaten Haushalte als Wasserverbraucher und ihrer Verbände gegenüber den Kommunen und ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen beinhalten die Lockerung des Anschluss- und Benutzungszwangs sowie einen langfristig angelegten Umbau der Siedlungswasserwirtschaft. Aufgrund der Langlebigkeit und der Unteilbarkeit der Anlagen sowie aufgrund des hohen Fixkostenanteils ist jedoch ein Umbau der Ver- und Entsorgungsstrukturen nicht ohne weiters möglich. Hierin offenbart sich ein Konflikt zwischen den Verbrauchern und den Kommunen bzw. den kommunalen Unternehmen.

Die Ressourcen eines einzelnen privaten Haushalts, um Einfluss auf einen Systemwechsel in der kommunalen Wasserwirtschaft auszuüben, sind vor allem aufgrund der geltenden Rechtsprechung zur Verpflichtung⁵⁰ der Wasserbedarfsdeckung aus dem Verteilungsnetz des Wasserversorgungsunternehmens bzw. zur Anschlusspflicht an die Kanalisation, aber auch aufgrund der im Gesamtsystem betrachteten geringen

⁵⁰ Siehe dazu § 3 Abs. 1 der AVBWasserV.

Wasserverbrauchsmengen begrenzt. Eine Einflussnahme auf die Entwicklungen der kommunalen Wasserwirtschaft erfolgt jedoch zum einen zumindest indirekt über die Summe der einzelnen Verbrauchsreduktionen, die zu Funktionsstörungen im etablierten System führt, auf die die Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen gezwungenermaßen reagieren müssen.

Zum anderen verfügen die großen, bundesweit tätigen Verbraucher- und Naturschutzverbände z. T. über finanzielle Ressourcen, die es ihnen ermöglichen, eigene Programme zu den von ihnen besetzten Themen aufzulegen. Viele Verbraucherorganisationen sind außerdem in Fachgremien des Bundes und der Länder vertreten und bringen dort die Interessen der Verbraucher ein.

Die finanziellen und personellen Ressourcen der Bürgerinitiativen, um gestaltenden Einfluss auf die Veränderungsprozesse in der Wasserwirtschaft zu nehmen, sind dagegen vergleichsweise gering. Allerdings gibt es durchaus Kooperationen zwischen Bürgerinitiativen und den großen Umweltverbänden, kommunalen Ver- und Entsorgungsunternehmen und Verbänden.

Darüber hinaus ist in den Bürgerinitiativen und Aktionsbündnissen das Fachwissen über Alternativen zur konventionellen Wasserwirtschaft organisiert und gebündelt. Mit diesem Wissen publizieren sie zur öffentlichkeitswirksamen Kommunikation ihrer Ziele und zur Beeinflussung anderer Akteure Informationen über innovative Wasserinfrastrukturkonzepte. Hinzu kommen medienwirksame Aktivitäten wie Pressekonferenzen, Unterschriftenaktionen oder Leserbriefkampagnen.

Kommunen / kommunale Unternehmen – Anlagenhersteller

Weiteres Konfliktpotenzial der Kommunen bzw. kommunaler Unternehmen steckt in der Wechselbeziehung mit den Herstellern innovativer Anlagen zur dezentralen Wasserver- und Abwasserentsorgung, die naturgemäß ein besonders starkes Interesse an einem Systemwandel in der Wasserwirtschaft und den Instrumenten zu dessen Durchsetzung haben. Die Anlagenhersteller üben offen Kritik am konventionellen System der Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie an den enormen Kosten der Anpassung an die demografischen und klimatischen Veränderungen. Diese Kritik gekoppelt mit Forderungen nach (i) einer Änderung der geltenden Rahmenbedingungen, um eine Verbesserung der Wettbewerbsbedingungen für ihre eigene Branche durch den Einsatz von Kombinationslösungen der Regen- und Grauwassernutzung mit dezentralen Systemen in privaten Haushalten zu erreichen sowie nach (ii) der Einstellung von Subventionen für die zentrale Wasserver- und Abwasserentsorgung, um so Chancengleichheit zwischen den Systemen zu schaffen, lassen auf ein hohes Konfliktpotenzial zwischen diesen beiden Akteuren schließen.

Die Hersteller alternativer Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung nehmen aufgrund der geltenden Rahmenbedingungen (z. B. Anschluss- und Benutzungszwang) hinsichtlich der Nutzung von innovativen, dezentral einsetzbaren Technologien in der kommunalen Wasserwirtschaft (noch) keine zentrale Rolle ein. Dennoch üben sie zum einen über die Dezentralität ihrer Technologien indirekten Einfluss auf die zentralen Strukturen der konventionellen Wasserwirtschaft aus. Zum anderen verfügen sie über ihre Verbände über relativ starke Kommunikationsressourcen, mit denen Einfluss auf die Entscheidungsfindung anderer Akteure ausgeübt werden kann.

Private Dienstleistungsunternehmen – Europäische Kommission

Potenziale zur Bildung einer Allianz bieten die Wechselwirkungen zwischen privaten Dienstleistungsunternehmen und der Europäischen Kommission, die als gemeinsames Ziel die Öffnung des Wassermarktes verfolgen. Die privaten Dienstleistungsunternehmen fordern explizit die Öffnung des Trinkwasser- und Abwassermarktes, um in Zukunft verstärkt auf diesem Markt tätig zu werden.

Rohrleitungsbau – Kommunen

Klar erkennbar ist bereits heute der Konflikt zwischen den Trägern der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorgung und den Unternehmen und Verbänden des Rohrleitungsbaus, die aufgrund der ausbleibenden kommunalen Aufträge die Forderung nach einer Investitionsstrategie für den Erhalt der zentralen Wasserinfrastruktursysteme stellen.

Die Ressourcen der Rohrleitungsbauunternehmen und ihrer Verbände, um auf die Veränderungen in der Wasserwirtschaft, die bspw. durch die demografischen Entwicklungen ausgelöst werden bzw. um auf eine Auflösung des Investitionsstaus einzuwirken, sind eher gering.

Tabelle 4-3 fasst die beschriebenen aktuellen Wechselbeziehungen zwischen den wasserwirtschaftlichen Akteuren zusammen.

Die Tabelle zeigt, dass insbesondere die Städte und Gemeinden und ihre Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung in intensiven und überwiegend konfliktären Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren stehen. Weitere wichtige Akteure hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen sind die privaten Dienstleistungsunternehmen, die aber im Vergleich zu den kommunalen Akteuren überwiegend Potenziale zur Bildung von Allianzen mit anderen Akteuren aufweisen.

Tabelle 4-3 Aktuelle Wechselbeziehungen zwischen wasserwirtschaftlichen Akteuren

	Kommunen	Komm. Unternehmen	Feuerwehr	Europ. Kommission	Private Haushalte	Private Dienstleistungsunternehmen	Anlagenhersteller	Rohrleitungsbau
Kommunen	\	Allianz	Konflikt	Konflikt	Konflikt	Allianz	Konflikt	Konflikt
Kommunale Unternehmen		\	Konflikt	Konflikt	Konflikt	Allianz	-	Konflikt
Feuerwehr			\	-	-	-	-	-
Europäische Kommission				\	-	Allianz	-	-
Private Haushalte					\	-	-	-
Private Dienstleistungsunternehmen						\	-	-
Anlagenhersteller							\	-
Rohrleitungsbau								\

Quelle: Eigene Darstellung.

4.5.2 Zukünftig mögliche Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren

Im vorliegenden Abschnitt wird untersucht, welche Verbindungen aus den oben beschriebenen Zielen der Akteure und den auf sie wirkenden Einflussfaktoren bezüglich der Integration innovativer Wasserinfrastruktursysteme abgeleitet werden können. Dies geschieht, um später Aussagen darüber zu treffen, wie die Elemente des Systems zusammenwirken müssen, um dezentrale Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erreichen.

Kommunen – kommunale Unternehmen – Anlagenhersteller

Die Forderungen der Anlagenbauer nach einer Änderung der geltenden Rahmenbedingungen sowie nach der Einstellung von Subventionen für die zentrale Wasserver- und Abwasserentsorgung stellen zunächst einen Konflikt mit den Kommunen und ihren kommunalen Unternehmen dar. Andererseits müssen Kommunen und kommunale Unternehmen zukünftig ggf. Anpassungen der Wasserinfrastruktur an demografisch und klimatisch veränderte Rahmenbedingungen vornehmen. Semi- bzw. dezentrale

Technologiekomponenten bieten für die kommunalen Akteure eine Option, neuartige Wasserinfrastrukturkonzepte in ihren Ver- bzw. Entsorgungsgebieten zu entwickeln, aufzubauen und zu etablieren.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit einer Allianz mit den Herstellern de- bzw. semizentraler Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung. Kooperationen mit Anlagenherstellern bieten den Kommunen insbesondere bei einer Ausweitung dezentraler Konzepte und dem Betrieb dieser durch die kommunalen Unternehmen vielfältige Möglichkeiten, Kostenvorteile zu erzielen und diese an die Endverbraucher weiterzugeben. Darüber hinaus gewinnen die kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger durch den Betrieb der Anlagen Erfahrungen über deren Vor- und Nachteile. Im Falle einer Liberalisierung und dem Markteintritt dritter konkurrierender Anbieter von Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen können die Kommunen bzw. kommunalen Unternehmen dieses Wissen als Wettbewerbsvorteil auf Haushalts- bzw. Gebäudeebene nutzen.

In der Verbindung zwischen den Kommunen, den kommunalen Unternehmen und den Anlagenherstellern verbirgt sich allerdings auch ein Konfliktpotenzial, das dann zum Tragen kommt, wenn der Anlagenhersteller in einem liberalisierten Markt selbst den privaten Haushalten Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen anbietet und so in Konkurrenz zu den kommunalen Unternehmen tritt. Dies zeigt, dass die Art und Weise der Wechselwirkungen zwischen Kommunen und kommunalen Unternehmen sowie den Herstellern dezentraler Anlagen im hohen Maße von den jeweils geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen abhängig ist.

Kommunen – kommunale Unternehmen – Anlagenhersteller – Feuerwehren

Zukünftige potenzielle Allianzen lassen sich auch zwischen den Städten und Gemeinden, den kommunalen Wasserversorgungsunternehmen sowie den Feuerwehren im gemeinsamen Aufbau dezentraler Brandschutzstrukturen ableiten. Hier greifen auch die bereits oben erwähnten Wechselbeziehungen zwischen den kommunalen Akteuren und den Herstellern der Anlagentechnik, die sich auf die Feuerwehren durch die Kombination von Betriebs- und Regenwasser zur Löschwasserbereitstellung ausweiten lassen. Hinzu kommt als gemeinsame Aufgabe der Kommunen und der Feuerwehren eine Verstärkung des präventiven Brandschutzes.

Private Haushalte – Kommunale Unternehmen – Private Dienstleistungsunternehmen

In einem zentral strukturierten Wasserinfrastruktursystem besteht durch den Anstieg der Preise und Gebühren aufgrund abnehmender Wasserverbrauchsmengen und Inf-

rastrukturteilnehmer ein Konflikt zwischen kommunalen Unternehmen und privaten Haushalten.

In einem dezentral strukturierten Wasserinfrastruktursystem können kommunale Unternehmen mit privaten Haushalten direkte Dienstleistungsverträge abschließen. Im Wettbewerb um die Erbringung der Wasserdienstleistungen auf Haushaltsebene können sich kostengünstigere Formen der Wasserver- und Abwasserentsorgung entwickeln, was die Realisierung der Zielerfüllung der Haushalte unterstützt.

Gleiches gilt in einem liberalisierten Markt natürlich für private Dienstleistungsunternehmen, die im oben genannten Wettbewerb um die privaten Haushalte als Dienstleistungsnehmer mit den kommunalen Unternehmen konkurrieren. Das bedeutet, dass bei Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen aus Partnerschaften zwischen kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen und privaten Anbietern von Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen, die im konventionellen Wasserinfrastruktursystem existieren, konfliktäre Wechselbeziehungen entstehen können.

Private Dienstleistungsunternehmen – Anlagenhersteller

Weitere Kooperationen sind zwischen privaten Dienstleistungsunternehmen und Herstellern von wasser- und abwassertechnischen Anlagen denkbar, wenn die Erfahrungen der Dienstleistungsunternehmen, die sie im Betrieb über technische und ökonomische Vor- und Nachteile der innovativen Anlagen gesammelt haben, in die Forschung und Entwicklung der Anlagenhersteller einbringen. Durch die Berücksichtigung dieser Lerneffekte kann der technische Wandel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung schneller vorangetrieben werden, was der Zielerfüllung beider Akteure entgegenkommt.

Rohrleitungsbau – Anlagenhersteller

Mit zunehmender Dezentralität der Wasserinfrastruktur verschärft sich die Situation der Unternehmen des Rohrleitungsbaus, so dass sich der Konflikt zwischen diesen Akteuren und den Kommunen und den kommunalen Unternehmen nicht nur verschärfen, sondern sich auch auf die Hersteller der dezentralen wasser- und abwassertechnischen Anlagen ausweiten dürfte.

Die zukünftigen Optionen von Wechselbeziehungen zwischen wasserwirtschaftlichen Akteuren zur Erreichung einer dezentralen Struktur der Wasserwirtschaft sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Tabelle 4-4 Zukünftig mögliche Wechselbeziehungen zwischen wasserwirtschaftlichen Akteuren

	Kommunen	Komm. Unternehmen	Feuerwehr	Europ. Kommission	Private Haushalte	Private Dienstleistungsunternehmen	Anlagenhersteller	Rohrleitungsbau
Kommunen	\	<u>Allianz</u>	Konflikt <i>Allianz</i>	Konflikt	Konflikt <i>Allianz</i>	Allianz Konflikt	Konflikt <i>Allianz</i>	<u>Konflikt</u>
Kommunale Unternehmen		\	Konflikt <i>Allianz</i>	Konflikt	Konflikt <i>Allianz</i>	Allianz Konflikt	-	<u>Konflikt</u>
Feuerwehr			\	-	-	-	<i>Allianz</i>	-
Europäische Kommission				\	-	<u>Allianz</u>	-	-
Private Haushalte					\	<i>Allianz</i>	-	-
Private Dienstleistungsunternehmen						\	<i>Allianz</i>	<i>Konflikt</i>
Anlagenhersteller							\	-
Rohrleitungsbau								\

Quelle: Eigene Darstellung.

Unterstrichen: aus Tabelle 4-3 weiter fortgeführte Wechselwirkungen.

Kursiv: Potenzielle neue Wechselwirkungen.

Aus Tabelle 4-4 geht hervor, dass die Städte und Gemeinden sowie die kommunalen Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung im Ausgestaltungsprozess hinsichtlich dezentraler Strukturen in der Wasserwirtschaft weiterhin wichtige Akteure mit zahlreichen Wechselwirkungen zu anderen Akteuren sind. Daneben haben weitere Akteure an Bedeutung gewonnen. Zu nennen sind hier die privaten Dienstleistungsunternehmen und Anlagenhersteller.

Im Vergleich zwischen Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4 zeigt sich, dass unter den zukünftigen Optionen nicht nur mehr Verbindungen zwischen den Akteuren aufgebaut werden, sondern dass diese auch positiver ausfallen können als unter den gegenwärtigen Bedingungen, d. h., dass sich mehr Allianzen bilden. Das deutet darauf hin, dass für die Umsetzung von Transformationsprozessen in der Wasserwirtschaft die Wechselbeziehungen zwischen den Akteuren zu intensivieren und die positiven Effekte aufzuzeigen sind.

Die nachfolgende Tabelle fasst das Ergebnis der inhaltlichen Strukturierung und die daraus resultierende Beschreibung der wasserwirtschaftlichen Akteure zusammen.

Tabelle 4-5: Ergebnis der inhaltlichen Strukturierung – Zusammenfassende Akteursbeschreibung

Akteur	Rolle in der Wasserwirtschaft	Ziele	Veränderungsdruck	Auswirkung auf Zielerfüllung	Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren	Ressourcen
Städte und Gemeinden	Art. 28 Abs. 2 GG	Erhalt und Förderung der Wasserver- und Abwasserentsorgung als Teil der Daseinsvorsorge; Erhalt der Entscheidungshoheit über Ausgestaltung der Wasserver- und Abwasserentsorgung;	Demografischer Wandel; Vergaberecht / Liberalisierung; Knappe Finanzressourcen;	<u>Positiv:</u> Ermöglichung einer flexiblen Anpassung an veränderliche Rahmenbedingungen; Erschließung neuer Märkte in kommunaler Daseinsvorsorge;	Kommunale Spitzenverbänden; Kommunale Wasserver- u. Abwasserentsorgungsunternehmen; Feuerwehren; Bürgerinnen und Bürgern; Politische Entscheidungsträgern auf EU- und Bundesebene;	Z. T. geringe finanzielle Ressourcen; Formelle u. informelle Kontakte zu politischen Akteuren; Starker Einfluss über Resolutionen, Öffentlichkeitsarbeit, Veröffentlichungen etc.;
Kommunale Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsunternehmen	Art. 28 Abs. 2 GG	Neubau / Erhalt / Modernisierung von Wasserinfrastruktursystemen zur Bereitstellung der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen; Erhalt kommunaler Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung; Kostendeckende und effiziente Bereitstellung der Wasserver- und Abwasserentsorgung;	Demografischer Wandel, Reduktion der Wasserverbrauchsmengen; Notwendige Anpassungsmaßnahmen an Klimawandel; Mögliche Reform des Ordnungsrahmens; Notwendige Investitionen aufgrund umweltpolitischer Neuerungen; Integration von Umwelt- und Ressourcenkosten;	<u>Negativ:</u> Lange Nutzungsdauer der bestehenden Anlagen / Versunkene Kosten; Bedeutungsverlust des Erfahrungswissens u. institutioneller Strukturen hinsichtlich der konv. Infrastruktur; <u>Positiv:</u> Möglichkeit zukünftiger Zielerfüllung; Möglichkeit der Anpassung an Demografie und Klimawandel;	Städte und Gemeinden; Feuerwehren; Private Haushalte; Wasserwirtschaftsverbände; Zukünftig verstärkt mit Herstellern alternativer Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung;	Großes Wissen / Sachverstand zum Betrieb des konventionellen Wasserinfrastruktursystems, aber auch hinsichtlich semi- / dezentralen Ver- bzw. Entsorgungskonzepte; Z. T. geringe finanzielle Ressourcen;
Feuerwehren / Akteure der Brandschutztechnik	Brandschutzgesetze der Länder; Üblicherweise Löschwasserbereitstellung über öffentliches Trinkwassernetz;	Erhalt des Brandschutzes in der kommunalen Daseinsvorsorge; Anpassung an neue Herausforderungen; Steigerung der Wirtschaftlichkeit; Verbreitung von Maßnahmen zur Brandprävention im Wohnbereich;	Demografischer Wandel; Reduktion der Wasserverbrauchsmengen durch Verbraucher, dadurch von Seiten der Wasserversorger notwendige Reduktionen der Rohrmennweiten; Z. T. schlechte Finanzlage	<u>Negativ:</u> Starke Beeinflussung durch übergeordnete Rahmenbedingungen bedrohen Struktur des heute bekannten Feuerwehrwesens; Zur Zielerfüllung Ausbau einer teilversorgten bzw. unabhängigen Löschwasserversorgung notwendig; <u>Positiv:</u> Innovative Technologien in Entwicklung bzw. Anwendung;	Feuerwehrverbände und darüber mit politische Akteuren auf europäischer und nationaler Ebene; Verbände der Brandschutztechnik; Zukünftig verstärkt mit Unternehmen der Betriebs- und Regenwassernutzung;	Ressourcen, um auf die übergeordneten Einflussfaktoren zu reagieren eher schwach ausgeprägt, Anpassung daran als Ziel definiert; Z. T. geringe finanzielle Ressourcen;

Akteur	Rolle in der Wasserwirtschaft	Ziele	Veränderungsdruck	Auswirkung auf Zielerfüllung	Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren	Ressourcen
Gesetzgeber und Verwaltung	Europäische Gewässerpolitik; Rahmengesetzgebung des Bundes; Landeswassergesetze;	EU: Schaffung eines liberalisierten und privatisierten europäischen Wassermarktes; Generelle Ausschreibungspflicht für Konzessionen und Aufträge auch auf (inter)kommunale Zusammenarbeit; Bund/Länder: Modernisierung der deutschen Wasserwirtschaft;	Für europäische Akteure kein Druck im hier gemeinten Sinne; Durch Aktivitäten zur Zielerreichung eher Erzeugung von Druck auf andere Akteure; Für Bundesregierung ergibt sich u. U. Handlungsdruck aus der Umsetzung europäischer Richtlinien in Bundesrecht;	<u>Positiv:</u> Innovative dezentral einsetzbare Technologien ermöglichen schon heute dort, wo die Abwasserbeseitigungspflicht auf Grundstückseigentümern wurde, Wettbewerb in der deutschen Wasserwirtschaft; Liberalisierungsdiskussion wird durch dezentrale Strukturen obsolet. Modernisierung der deutschen Wasserwirtschaft umsetzbar.	Aufgrund starker Ressourcen zur Zielerfüllung suchen insbesondere andere Akteure Verbindung: Kommunale Spitzenverbände; Wasserwirtschaftsverbände;	Europäische Akteure: Stark, da EG-Richtlinien in Bundesrecht umzusetzen sind.
Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen	Verbrauch von (Trink)Wasser, Erzeugung von Abwasser; Privater Anteil an technischer Wasserinfrastruktur; § 18 a Abs.1, S. 2 WHG (dezentrale Anlagen für häusliches Abwasser);	Zuverlässige Versorgung mit (Trink)Wasser und Entsorgung des häuslichen Abwassers und des Regenwassers; Möglichst geringer Wasserverbrauch und Abwasseranfall; Wasserver- und Abwasserentsorgung zu minimalen Kosten;	Steigerungen der Wasserpreise und Abwassergebühren (real oder empfunden); Preisspirale durch Wassersparbemühungen; Privatisierungen kommunaler Wasserversorgungsunternehmen;	<u>Neutral:</u> Art und Weise der Dienstleistungsbereitstellung von geringer Bedeutung; <u>Positiv:</u> Innovative Technologien ermöglichen Wiedernutzung von Wasser/Abwasser zur Reduktion der Wasserverbrauchs- und Abwassermengen; Dienstleistungsbereitstellung (je nach Fall) zu reduzierten Kosten möglich;	Geringe Vernetzung untereinander; Gemeinsame Vertretung durch Verbraucherverbände, Bürgerinitiativen und Umweltschutzverbände; Mehr oder weniger ausgeprägte Kontakte zu Wasserver- u. Abwasserentsorgungsunternehmen; Mehr oder weniger ausgeprägte Kontakte zu Herstellern verwendeter Haushalts- und Sanitäranlagen;	Einflussmöglichkeiten der einzelnen Verbraucher sehr gering, nur in Summe durch Verbraucherverhalten; Einfluss der Verbraucherverbände, Bürgerinitiativen, Umweltschutzverbände vergleichsweise gering;
Private Dienstleistungsunternehmen	Zahlenmäßiger Anteil privater Dienstleistungsunternehmen gering; Bedeutender Anteil an Investitionen; Bisherige Marktaktivitäten durch (Teil)Privatisierungen kommunaler Unternehmen bzw. in bislang nicht an die Infrastruktur angeschlossenen Gebieten;	Verstärkte Partizipation an kommunaler Wasserver- / Abwasserentsorgung durch Übernahme dieser Aufgaben von Städten und Gemeinden; Liberalisierung des Wassermarktes; Verstärkung des Dienstleistungsangebots im Ausland durch Export geeigneter Praxismodelle der privaten Wasserver- und Abwasserentsorgung;	Aktivitäten geprägt von geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen: § 103 GWB (a. F), AVBWasserV, => kein Veränderungsdruck im hier gemeinten Sinne; Veränderungen im geltenden rechtlichen Rahmen wirken sich eher positiv auf Zielerfüllung aus; Auch andere Einflussfaktoren, die andere Akteure unter Handlungsdruck setzen (bspw. demografischer Wandel, Kostenstruktur im zentralen System), wirken sich eher positiv auf Zielerfüllung aus;	<u>Positiv:</u> Ermöglichung von Aktivitäten auch im nicht liberalisierten Wassermarkt; Angebot von kostengünstigen Dienstleistungen auch in bereits erschlossenen Gebieten technisch möglich; Ermöglichung einer flexiblen Anpassung an veränderliche Rahmenbedingungen; Skaleneffekte durch große Stückzahlen, Kooperationen;	Mitgliedschaften in Verbänden; Partnerschaften mit Kommunen; Politische Akteure; Verbraucher / Kunden; Anlagenhersteller;	Starke finanzielle Ressourcen, die sie als Dienstleistungspartner für Kommunen interessant machen; Ressourcen, um eigenständig im Wassermarkt tätig zu werden aufgrund geltenden Rechts stark begrenzt;

Akteur	Rolle in der Wasserwirtschaft	Ziele	Veränderungsdruck	Auswirkung auf Zielerfüllung	Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren	Ressourcen
Hersteller dezentraler wasser- und abwassertechnischer Anlagen und Systemkomponenten	Noch keine prominente Rolle in der heutigen Wasserwirtschaft; Dezentralität der Anlagen beeinflusst in starkem Maße die etablierten Wasserinfrastruktursysteme; Durch Innovationen hohes Potential, zukünftig an Bedeutung zu gewinnen;	Neu-, Weiterentwicklung, Produktion und Vertrieb ihrer Produkte; Diffusion ihrer Produkte aus der Nische heraus in die breite Anwendung in der Wasserwirtschaft;	Diffusion wird erschwert durch geltende rechtliche Rahmenbedingungen (insb. Anschluss- und Benutzungszwang), => kein Veränderungsdruck im hier gemeinten Sinne; Veränderungen im geltenden rechtlichen Rahmen wirken sich eher positiv auf Zielerfüllung aus; Durch Reduktion der Wasserverbrauchs- bzw. Abwassermengen durch Nutzung ihrer Produkte werden andere Akteure unter Druck gesetzt;	<u>Positiv:</u> Ermöglichung einer breiteren Diffusion der Produkte; Skaleneffekte durch große Stückzahlen, Kooperationen;	Organisation in Verbänden; Kontakte zu politischen Akteuren auf europäischer und Bundesebene; Ausbau der Kontakte zu Feuerwehren; Ausbau der Kontakte zu kommunalen und privaten Dienstleistungsunternehmen sowie zu direkt zu privaten Haushalten;	Einfluss auf Systemwandel aufgrund Rolle noch schwach; Einfluss über Wasserverbrauchsreduktionen jedoch gegeben; Zukünftig hohes Potenzial zur Einflussnahme durch zunehmende Kontakte zu andern Akteuren und Lösungsangeboten für Probleme und Herausforderungen der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme;
Technisch-wissenschaftliche Verbände	Lange Tradition in Wasserwirtschaft; Herausgabe von Regelwerken und Richtlinien;	Beschreibung, Bewertung neuer Technologien; Berücksichtigung rechtlicher Entwicklungen; Zusammenarbeit mit anderen Akteuren;	Druck aus Veränderungsprozessen in der Wasserwirtschaft eher gering; Anpassung an neue Rahmenbedingungen möglich;	<u>Neutral:</u> Keine Gefährdung der Zielerfüllung durch neue Strukturen in der Wasserwirtschaft; Evtl. Konkurrenz von anderen, in neuen Strukturen gegründeten Verbänden bzw. Vereinigungen;	Kommunen, kommunale Wasser- und Abwasserentsorgungsunternehmen; Akteure der Rohrleitungsbaubranche; Akteure aus Politik und Verwaltung	Einfluss auf Systemwandel in indirekter Weise durch gute Kontakte zu politischen Akteuren relativ stark; Verbreitung des Meinungsbilds durch Veröffentlichungen, Fachmessen und Tagungen; Finanzielle Ressourcen relativ stark;
Rohrhersteller, Rohrleitungsbauer, Kanal und Leitungssanierer	Bedeutung in der Wasserwirtschaft aufgrund der Leitungsgebundenheit; Rolle aktuell unter Druck (Demografie, Investitionsstau);	Etablierung einer Instandhaltungsstrategie für Wasserinfrastruktursysteme; Verstetigung der Investitionen in Wasserinfrastruktursysteme; Informationsaustausch mit Fachleuten, Kommunen, Hausbesitzern über Rehabilitation von Leitungen; Mitarbeit an technischen Regelwerken	Demografische Entwicklungen, Investitionsstau der Kommunen bzw. kommunalen Unternehmen üben starken Druck aus;	<u>Negativ:</u> Abnehmende Auftragslage aufgrund Investitionsstau; Angespannte Zukunftsperspektive aufgrund demografischer Entwicklungen;	Insbesondere zu technisch-wissenschaftlichen und wasserwirtschaftlichen Verbänden und Vereinigungen; Kommunen und kommunalen Unternehmen hinsichtlich Investitionsstau;	Ressourcen zur Beeinflussung eher gering; Publikation von Zeitschriften, Pressemitteilungen etc., Wirkung jedoch vergleichsweise schwach ausgeprägt;

Quelle: Eigene Darstellung.

4.6 Schlüsselakteure im Transformationsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft

Im folgenden Kapitel werden diejenigen Akteure bestimmt, die essentiell für die Ausgestaltung von Transformationsprozessen der kommunalen Wasserwirtschaft sind und somit als so genannte Schlüsselakteure zur Erreichung einer neuen Systemstruktur charakterisiert werden. Dazu werden zunächst die in den vorangegangenen Abschnitten genannten charakteristischen Eigenschaften der Akteure hinsichtlich ihres Einflusses auf Transformationsprozesse nach folgenden Kriterien bewertet:

- Schlüsselakteure haben eine gefestigte Rolle in der heutigen Wasserwirtschaft und spielen dort eine bedeutende Rolle. Daher wird ihnen auch ein besonderer Einfluss auf mögliche Transformationsprozesse beigemessen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch Akteure, die bislang keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen, durch das Bestreben ihre Ziele zu erreichen, Einfluss auf Veränderungsprozesse in der Wasserwirtschaft ausüben können.
- Schlüsselakteure sind gut vernetzt, d. h. sie verfügen über eine Vielzahl an institutionell geregelten und informellen Beziehungen zu anderen Akteuren und sind in der Lage, mit diesen Allianzen zur gemeinsamen Zielerfüllung zu bilden und so Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft aktiv voranzutreiben.
- Schlüsselakteure verfügen über starke finanzielle bzw. materielle Ressourcen, die sie zur Erfüllung ihrer Ziele einsetzen können. Schlüsselakteure, bei denen Hemmnisse gegenüber einem Systemwandel überwiegen, können durch den Einsatz ihrer Ressourcen Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft aber auch blockieren.

Schlüsselakteure zeichnen sich dadurch aus, dass sie mindestens über zwei dieser wichtigen Kerneigenschaften in stark ausgeprägtem Maße verfügen.

4.6.1 Bewertung der Rolle der Akteure in der Wasserwirtschaft

Die kommunalen Akteure der Wasserwirtschaft, d. h. die Städte und Gemeinden, die kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger sowie die Feuerwehren zeichnen sich durch eine gefestigte Rolle in der Wasserwirtschaft aus, die durch Art. 28 GG, § 103 GWB (alte Fassung) sowie durch die AVBWasserV, gestärkt und abgesichert ist.

Die Bedeutung der legislativen und administrativen Akteure in der Wasserwirtschaft ergibt sich aus dem Rechtsrahmen selbst, in dem sich die Wasserwirtschaft in Deutschland und Europa bewegt. Ihre Existenz wird ebenso für rechtmäßig gehalten und durch öffentliche Zustimmung abgesichert wie die der privaten Haushalte als Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen.

Die Rolle der privatwirtschaftlichen Dienstleistungsunternehmen ist dagegen nicht so eindeutig definiert. Zwar gibt es in der kommunalen Wasserwirtschaft bereits vielfältige öffentlich-private Partnerschaften, aber gerade die privaten Haushalte als Verbraucher bringen ihnen, wenn es um die Übernahme der Aufgaben der Wasserver- und Abwasserentsorgung geht, ein gewisses Misstrauen entgegen. Daher ist die Rolle der privaten Dienstleistungsunternehmen weder durch die öffentliche Zustimmung abgesichert noch wird sie allgemein für rechtmäßig gehalten.

Die Relevanz der Hersteller von innovativen Wassertechnologien im Transformationsprozess ist ebenfalls nicht durch Gesetze oder Verordnungen bestimmt. Im Gegenteil, aufgrund der vorherrschenden rechtlichen Rahmenbedingungen und aufgrund der Tatsache, dass sie erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit auf dem Wassermarkt aktiv sind, stellt die Festigung der Position der Unternehmen und ihrer Verbände eine wichtige Zukunftsaufgabe dar.

Dagegen lässt sich die Rolle der technisch-wissenschaftlichen Verbände gerade aus ihrer langen Tradition und durch die Erarbeitung wichtiger technischer Regeln und Normen in der Wasserwirtschaft als gefestigt ansehen. Die Relevanz der Unternehmen und Verbände der Leitungsbaubranche begründet sich schließlich aus der Leitungsgelassenheit der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme. Mit zunehmender Dezentralisierung der Wasserver- und Abwasserentsorgung nimmt ihre Bedeutung in der Wasserwirtschaft jedoch mehr und mehr ab.

4.6.2 Bewertung der Verbindungen und Wechselwirkungen der Akteure

Insbesondere die Städte und Gemeinden und ihre Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung stehen aktuell in intensiven und überwiegend konfliktären Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren. Diese Wechselbeziehungen ergeben sich insbesondere aus den möglichen Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, sind also insbesondere durch die Handlungen der Europäischen Kommission getrieben.

Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen sind demnach eine starke Triebkraft für Aufbau von neuen Wechselbeziehungen. Hier gewinnen insbesondere private Dienstleistungsunternehmen sowie Hersteller dezentraler Wasserver- und Abwasserentsorgungsanlagen hinsichtlich ihrer positiven Wechselwirkungen zur Bildung von Allianzen an Relevanz.

Alle weiteren Akteure weisen dagegen vergleichsweise wenige Verbindungen zu anderen Akteuren auf.

4.6.3 Bewertung der Ressourcen zur Zielerfüllung der Akteure

Die Städte und Gemeinden sowie ihre Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung verfügen insbesondere durch ihre Spitzenverbände über große Kommunikations- und Steuerungspotenziale zur Beeinflussung der politischen Akteure und damit zur Erfüllung ihrer Ziele. Allerdings stehen diesen Ressourcen z. T. geringe Finanzmittel gegenüber. Darüber hinaus haben die Städte und Gemeinden die materielle Bindung (versunkene Kosten) an die vorhandenen langlebigen zentralen Wasserversorgungsleitungen und Kanalisationen bei ihrer Zielerfüllung zu berücksichtigen. Bei den kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorger kommt ein fundiertes Wissen und weit reichender Sachverstand zur konventionellen Wasserinfrastruktur hinzu.

Die Akteure der Feuerwehren und Brandschutztechnik verfügen zwar ebenso wie die Kommunen und kommunalen Unternehmen über ihre Verbände über eine gute Vernetzung zu den Akteuren der Gesetzgebung und Verwaltung, allerdings sind sie stark von übergeordneten Rahmenbedingungen betroffen, die sie selbst kaum beeinflussen können. Hinzu kommt, dass die Feuerwehren aufgrund der Trägerschaft des Brandschutzes durch die Kommunen nur über relativ geringe finanzielle Mittel zum Einsatz der Zielerfüllung verfügen.

Die Ressourcen der Akteure der Gesetzgebung und Verwaltung sind dagegen stark, da sie in der Lage sind, über Gesetze und Verordnungen die Erfüllung ihrer Ziele voranzutreiben. Ebenso bedeutend werden die Ressourcen der technisch-wissenschaftlichen Verbände bewertet, die über gute Vernetzungen mit anderen politischen Akteuren verfügen und z. T. eigene Büros in Berlin und Brüssel haben. Hinzu kommt, dass sie über die technischen Regelwerke einen großen Einfluss auf den Gestaltungsprozess der Wasserinfrastruktursysteme haben.

Die Ressourcen eines einzelnen privaten Haushalts, Einfluss auf seine Ziele und die Gestaltungsprozesse in der Wasserwirtschaft zu nehmen, sind dagegen gering. Allerdings erlangen sie durch die Summe ihrer Handlungen (z. B. Wasserverbrauch) sowie durch die Vertretung ihrer Interessen durch Verbraucherverbände und Bürgerinitiativen zumindest auf lokaler Ebene ein zunehmend stärkeres Gewicht. Darüber hinaus gibt es Kooperationen mit Umweltverbänden, die z. T. über finanzielle Ressourcen verfügen, die die Finanzierung und Durchführung überregionaler Programme und Projekte ermöglichen. Außerdem findet in den Bürgerinitiativen, die sich zum Teil intensiv mit Fragen innovativer Wasserinfrastrukturkonzepte auseinandersetzen, die Bündelung des Wissens zu alternativen Konzepten der Wasserver- und Abwasserentsorgung statt.

Im Vergleich zu den kommunalen Unternehmen verfügen private Dienstleistungsunternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung meist über gute Finanzressourcen,

die sie zur Erfüllung ihrer Ziele einsetzen können. Allerdings ist dieser Einsatz der Ressourcen durch die Beschränkungen der geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen eingeschränkt.

Die Ressourcen zur Zielerfüllung der Hersteller von dezentralen Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung können durch die gute Vernetzung ihrer Verbände, über die sie Einfluss auf politische Akteure nehmen können, als gut eingestuft werden. Da ihre Rolle in der Wasserwirtschaft aber (noch) nicht sehr gefestigt ist, ist der Einfluss auf den Gestaltungsprozess als (noch) eher gering einzustufen.

Auch die Unternehmen der Leitungsbaubranche verfügen über ihre Verbände über gute Kommunikationsressourcen zu den politischen Akteuren. Aber auch ihr Handeln ist ähnlich wie das der Feuerwehren stark von übergeordneten, wenig zu beeinflussenden Rahmenbedingungen geprägt. Tabelle 4-6 fasst die Bewertung der Akteure zusammen.

Tabelle 4-6 Bewertung der Kerneigenschaften der Akteure

Potenzielle Schlüsselakteure in Bezug auf einen Systemwandel	Kerneigenschaften des Akteurs		
	Rolle in der Wasserwirtschaft	Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren	Verfügbare Ressourcen
Städte und Gemeinden	■	■	●
Kommunale Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen	■	■	●
Feuerwehren / Akteure der Brandschutztechnik	■	▲	▲
Europäische Kommission	■	■	■
Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen	■	●	■
Private Dienstleistungsunternehmen	●	■	●
Hersteller innovativer wasser- und abwassertechnischer Anlagen und Systemkomponenten	●	■	●
Technisch-wissenschaftliche Verbände	■	●	■
Rohrhersteller, Rohrleitungsbauer, Kanal und Leitungssanierer	●	▲	●

Quelle: Eigene Darstellung.

Legende: ■ = stark ausgeprägt, ● = mittel ausgeprägt ▲ = schwach ausgeprägt.

Aus Tabelle 4-6 geht hervor, dass aufgrund der Bewertung der Kerneigenschaften die Städte und Gemeinden mit ihren kommunalen Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die technisch-wissenschaftlichen Verbände zu den Schlüsselakteuren im Ausgestaltungsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft gehören.

Daneben spielen die privaten Haushalte als Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen sowie die Europäische Kommission ebenfalls eine bedeutende Rolle bei möglichen Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft. Alle anderen Akteure weisen weniger als zwei Kerneigenschaften auf und stellen somit keine Schlüsselakteure in möglichen Transformationsprozessen im hier definierten Sinne dar. Im Falle der Hersteller dezentraler wasser- und abwassertechnischer Anlagen ist jedoch zu berücksichtigen, dass sie unter veränderten Rahmenbedingungen in hohem Maße an Relevanz gewinnen. Gleiches gilt für die privaten Dienstleistungsunternehmen der Wasser- und Abwasserentsorgung, so dass diese beiden Akteure ebenfalls in die Gruppe der Schlüsselakteure aufgenommen werden (Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7 Gruppe der Schlüsselakteure

Schlüsselakteure im Ausgestaltungsprozess dezentraler Wasserinfrastruktursysteme
Städte und Gemeinden
Kommunale Wasserversorgungsunternehmen
Kommunale Abwasserentsorgungsunternehmen
Technisch-wissenschaftliche Verbände
Private Haushalte
Europäische Kommission
Hersteller innovativer wasser- und abwassertechnischer Anlagen
Private Dienstleistungsunternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung

Quelle: Eigene Darstellung.

Nachdem die Schlüsselakteure identifiziert sind stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen es zu Transformationsprozessen der kommunalen Wasserwirtschaft kommen kann. Dazu werden im folgenden Kapitel die Wechselwirkungen der Systemumwelt auf das Regime und die Nischen sowie die Interaktionen der Regime- und Nischen-Akteure dargestellt und Hypothesen formuliert, die mit Hilfe eines Simulationsmodells im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

5 **Untersuchungspfade zu Transformationsprozessen kommunaler Wasserinfrastruktursysteme**

Ziel des folgenden Kapitels ist es, unter Anwendung des in Kapitel 2 vorgestellten theoretischen Analyserahmens des Multi-Level Ansatzes sowie des Phasenmodells von Rotmans (2000; 2001) die Wechselwirkungen zwischen der Systemumwelt, dem Regime und der Nischen der kommunalen Wasserwirtschaft darzustellen, so dass im Folgenden ein erstes Bild über mögliche Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft aufgezeichnet werden kann (Abschnitt 5.1).

Die Ausgangshypothese ist dabei, dass Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft von den beteiligten Akteuren ausgelöst und beschleunigt bzw. gebremst werden. Es wird dabei unterstellt, dass Veränderungsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft das Ergebnis von Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Akteuren sind, die unter veränderlichen Rahmenbedingungen stattfinden. Zudem ist der Verlauf von Veränderungsprozessen aufgrund der hohen Komplexität der Rahmenbedingungen und der Interaktionen zwischen den Akteuren nur auf Basis detaillierter Analysen voraussagbar.

Darauf aufbauend werden die wichtigsten dynamischen Eigenschaften, die zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft in das Modell zu integrieren sind, abgeleitet (Abschnitt 5.2).

5.1 **Transformationsphasen kommunaler Wasserinfrastruktursysteme**

Vorentwicklungsphase: Zu Beginn der 1980er Jahre befinden sich die etablierten zentralen Wasserinfrastruktursysteme in einem Zustand, in dem es kaum zu Problemen mit der Funktionsfähigkeit kommt. Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt, liegen durch die ansteigenden Mengen an Klärschlämmen in deren Verwertung bzw. Beseitigung. Das übergeordnete Ziel wasserwirtschaftlicher Aktivitäten verschiebt sich in diesem Zeitraum vom Schutz der menschlichen Gesundheit hin zum Schutz der Umwelt und der Wasserökosysteme (Seeger 1999). Die Anschlussgrade an die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur nehmen noch weiter zu, der Trinkwasserverbrauch pro Kopf und Tag liegt mit 200 Liter vergleichsweise hoch, so dass die abzuleitenden Abwassermengen zur störungsfreien Funktion der Kanalisationssysteme ausreichen. Daher sind zu diesem Zeitpunkt auch kaum sichtbare strukturelle Veränderungen innerhalb der kommunalen Wasserwirtschaft erkennbar.

Die Fokussierung auf Aspekte des Umweltschutzes und der Ressourceneinsparung forciert ab Mitte der 1980er Jahre die Erforschung und Entwicklung innovativer Was-

server- und Abwasserentsorgungssysteme wie Anlagen zur Regenwassernutzung, Kleinklä- und Grauwasserrecyclinganlagen an. Zunächst erfolgt diese Forschung und Entwicklung durch engagierte einzelne Akteure und kleinere Unternehmen (1 bis 3 Mitarbeiter) in Nischen. Später wird sie durch universitäre und außeruniversitäre Forschung und Entwicklung begleitet (siehe bspw. Firma ATB Umwelttechnologien GmbH, Firma utp GmbH⁵¹).

Startphase: Seit Mitte der 1990er Jahre treten die Probleme der konventionellen Wasserinfrastruktursysteme immer deutlicher auf. Das Gleichgewicht des etablierten Wasserinfrastruktursystems ist gestört, der Systemzustand beginnt sich merklich zu verändern. Diese Probleme und Herausforderungen auf Regimeebene bedingen sich zum einen aus den sozio-technischen Besonderheiten der zentralen Wasserinfrastruktursysteme. Dazu zählt das autonome, vom Wasserangebot der Versorger losgelöste Verhalten der privaten Haushalte durch die Installation wassersparender Haushaltsgeräte und Sanitärarmaturen, Wasser einzusparen, wodurch sich ein geringeres Abwasseraufkommen ergibt. Die beiden Teilsysteme der Ver- bzw. Entsorgerseite und Verbraucherseite divergieren zunehmend, die Funktionsfähigkeit der Wasserinfrastruktursysteme nimmt immer weiter ab, da die reduzierten Wasserverbrauchs- bzw. Abwassermengen zu Ablagerungen und Schäden an der Kanalisation führen. Durch die reduzierten Wasserverbrauchsmengen wird eine Preisspirale in Gang gesetzt, da durch die eingesparten Wassermengen höhere Tarife und somit auch höhere Kosten für die einzelnen Haushalte anfallen. Zum anderen kommen Veränderungen der Systemumwelt hinzu, die ebenfalls Druck auf die Regimeakteure ausüben. Der demografiebedingte Bevölkerungsrückgang beeinflusst zusätzlich den absoluten Wasserverbrauch bzw. das absolute Abwasseraufkommen. Außerdem verursachen je nach regionaler Lage des Ver- bzw. Entsorgungsgebietes klimatische Veränderungen mehr oder weniger stark die Regimeakteure.

Auf dem Nischenlevel wirken diese Entwicklungen der Systemumwelt positiv auf die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, da sie die Bedeutung und Anwendungspotenziale bspw. von Grauwasserrecycling- und Kleinkläranlagen unterstreichen. Diese Aktivitäten werden nun in koordinierter Form betrieben. So gründet sich im Jahr 1995 motiviert durch die kontroverse Diskussion zur Regenwassernutzung, den Bedarf zur Koordination und Förderung von Forschung und Entwicklung sowie zur Sammlung und Weitergabe von Informationen die Fachvereinigung *Brauch- und Regenwassernutzung*. Eine weitere Motivation stellt die gemeinsame und sachliche Darstellung des Themas der Betriebs- und Regenwassernutzung dar, durch die letztendlich eine Förderung dieser Technik stattfindet. Ebenso werden in dieser Phase verstärkt Unternehmen ge-

⁵¹ Siehe <http://www.kleinklaeranlagen-aquamax.de>; <http://www.utp-umwelttechnik.de/>

gründet und bestehende Unternehmen wachsen in Auftragsvolumen und Mitarbeiterzahl (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2007b).

Gleichzeitig werden in dieser Phase Regelungen und Verordnungen verabschiedet, die ebenfalls positive Entwicklungskräfte in den Nischen entfalten. In der Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes vom 19. August 2002 wird bspw. ausdrücklich festgestellt, dass die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen dem Wohl der Allgemeinheit entsprechen kann (§ 18 a, Abs. 1, S. 2 WHG). Zudem tritt in 2002 die 5. Verordnung zur Änderung der Abwasserverordnung (AbwV) in Kraft. Diese schreibt für Kleinkläranlagen Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle vor, die nur dann ohne weitere Überwachung als erfüllt gelten, wenn die eingebaute und betriebene Kläranlage eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung besitzt. Diese Verordnungen und neuen Anforderungen unterstützen den Standardisierungsprozess bei Kleinkläranlagen und intensivieren die Lernprozesse der Nischenakteure. Die Entwickler und Hersteller von Kleinkläranlagen verbessern ihre Innovationen und entwickeln technische Spezialisierungen, bspw. durch Membrananwendungen, weiter. Die innovative Technologie beginnt, ihre eigene Entwicklungslinie (Trajektorie) auszubilden. Inzwischen haben Skaleneffekte in der Produktion von Kleinkläranlagen zu Kostensenkungen geführt, die zu einem attraktiveren Preis-Leistungsverhältnis beitragen (Knopp 2004).

Zu Beginn der 2000er Jahre werden Kleinklä- und Grauwasserrecyclinganlagen vereinzelt in Nischen eingesetzt und erprobt. Dies geschieht oft in gemeinsam von Entwicklern, Herstellern und Forschungseinrichtungen durchgeführten Demonstrationsprojekten, und zwar meist dort, wo aufgrund fehlender Wasserinfrastruktursysteme oder verschärfter rechtlicher Anforderungen dezentrale Lösungen erneuert bzw. gefunden werden müssen, wie z. B. in abgelegenen Gehöften, Siedlungen und anderen allein stehenden Gebäudeanlagen.

Das Interesse der Öffentlichkeit an innovativen Wassertechnologien nimmt durch diese Projekte stetig zu, zumal sich in der Gesellschaft neben dem Ziel, die Umwelt zu schützen und Ressourcen einzusparen die Diskussion um steigende Wasser- und Energiepreise verstärkt. Da der Anschluss- und Benutzungszwang an die öffentliche Kanalisation jedoch fortbesteht, verbleiben Anwendungen von Kleinkläranlagen in Nischen.

Die Demonstrationsprojekte legen jedoch immer deutlicher die Gegensätzlichkeit und Inkompatibilität des konventionellen Systems und der innovativen Konzepte offen. Gleichzeitig erhöhen die Veränderungen der Systemumwelt den Handlungsdruck auf das Regime. Der Widerstand des Regimes verschärft sich und kontroverse Diskussion

über das Für und Wider der zentralen und dezentralen Wasserinfrastrukturkonzepte, der Nutzung von Regenwasser im Haushalte oder auch dem Anschluss- und Benutzungszwang werden zwischen den Akteuren des Regimes und der Nischen in gehäuf- ter und verstärkter Form geführt (Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirt- schaft (BGW) 2005c; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2007c; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung 2008).

Andererseits setzt sich bei den Akteuren auf der Regimeebene mehr und mehr die Erkenntnis durch, dass alternative Wasserinfrastrukturkonzepte geeignet sind, um den regimeinternen Herausforderungen, wie dem z. T. hohen Rehabilitationsbedarf ihrer Ver- und Entsorgungsgebiete bzw. notwendigen Um- und Rückbaumaßnahmen, aber auch den Beeinflussungen, die aus der Systemumwelt (demografische und klimatische Veränderungen) kommen, zu begegnen. Die zunehmende Integration alternativer Technologien kann als Antwort des Regimes auf die Veränderungen der Systemum- welt interpretiert werden. Dieser Wandel auf Regimeebene manifestiert sich in einer verstärkten Zusammenarbeit der Wasserver- und Abwasserentsorger mit Entwicklern und Herstellern von Kleinkläranlagen und Kommunen unter wissenschaftlicher Begleit- forschung von universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Pilot- und Demonstrationsprojekten (vgl. Kapitel 3.4).

Weiterhin kommen aus der Systemumwelt Impulse, die zur Destabilisierung der etab- lierten Wasserinfrastruktursysteme beitragen. Insbesondere die Option von Verände- rungen im rechtlichen Rahmen, d. h. der Abschaffung des Monopols und der Einfüh- rung des Wettbewerbs um den Markt, in dem private Anbieter Dienstleistungen frei anbieten können, sorgt weiterhin für Bewegung im Regime der kommunalen Wasser- wirtschaft sowie für Interaktionen zwischen Regime- und Nischenakteuren.

Beschleunigungsphase: Kleinkläranlagen sind allgemein be- und anerkannt. Es kommt zur breiten Diffusion, so dass diese Anlagen nunmehr in direkter Konkurrenz zum bestehenden zentralen Wasserinfrastrukturkonzept treten und ein alternatives Regime bieten. Ehemalige Monopolisten bieten neue Konzepte an, gleichzeitig treten private Dienstleister in den Markt um Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstlei- stungen ein.

Die neu entstandenen dezentralen Strukturen sind deutlich sichtbar. Ein weiter verbes- sertes Preis-Leistungsverhältnis trägt dazu bei, dass semi- bzw. dezentrale Strukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung ökonomisch immer interessanter werden und sich so deren Diffusion beschleunigt.

Stabilisierungsphase: Das konventionelle Wasserinfrastrukturregime wird im Jahr 2050 in der Mehrheit der Versorgungsgebiete durch alternative Wasserinfrastrukturkonzepte ersetzt.

5.2 Ableitung wichtiger Modelleigenschaften

Aufbauend auf den aufgezeigten Entwicklungsphasen der kommunalen Wasserwirtschaft wird die Forschungsfrage abgeleitet, welche Rahmenbedingungen auslösende Impulse für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft geben können, bzw. welche Einflüsse hemmend auf solche Transformationsprozesse einwirken.

Diesen Fragen soll mit Hilfe des im folgenden Kapitel dargestellten Simulationsmodells nachgegangen werden. Zur Beantwortung der Fragen werden die folgenden, in den vorangegangenen Abschnitten identifizierten dynamischen Eigenschaften der kommunalen Wasserwirtschaft in das Simulationsmodell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft integriert, in denen sich die Barrieren bzw. die Treiber für Transformationsprozesse widerspiegeln:

- Die regime-interne Dynamik und die Wechselwirkungen zwischen den dort vororteten Akteuren, nämlich den Wasserversorgern bzw. Abwasserentsorgern und den privaten Haushalten als Dienstleistungsnehmer.
- Die Dynamik zwischen Systemumwelt und Regime, d. h. die Einflussfaktoren demografischer Wandel, klimatische Veränderungen sowie Änderungen im Ordnungsrahmen, die die Regimeakteure in ihren Handlungen beeinflussen.
- Die Dynamik zwischen Systemumwelt und Nischen, d. h. die Einflussfaktoren demografischer Wandel, Klimatische Veränderungen und Änderungen im Ordnungsrahmen, die die Nischenakteure in ihren Handlungen beeinflussen und die Attraktivität von Kleinkläranlagen steigern.
- Die Dynamik zwischen Regime und Nischen, d. h. die Interaktionen der Akteure, die dazu führen, dass Transformationsprozesse angestoßen werden (oder nicht) und so strukturelle Veränderungen in der kommunalen Wasserwirtschaft erreicht werden (oder nicht).

6 Modell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

In den vorangegangenen Kapiteln sind zum einen Einflussfaktoren auf Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft aufgezeigt (Kapitel 3). Zum anderen wird verdeutlicht, dass an diesen Prozessen eine Vielzahl an Akteuren beteiligt ist, die unter den gegebenen Rahmenbedingungen eigene Ziele und Motivationen verfolgen (Kapitel 4).

Unter der Annahme, dass technische Innovationen zur alternativen Gestaltung kommunaler Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme zur Lösung der in Kapitel 3.3 aufgezeigten Herausforderungen und Probleme der heute etablierten Systeme geeignet sind, ist es von Bedeutung zu untersuchen, unter welchen Bedingungen Transformationsprozesse hin zu alternativen Ver- und Entsorgungsstrukturen stattfinden können. Zur Analyse dieser Bedingungen wird in der vorliegenden Dissertation ein Simulationsmodell entwickelt und eingesetzt. Dabei werden die in Abschnitt 5.2 abgeleiteten wichtigen Modelleigenschaften berücksichtigt. Die Anwendung eines Simulationsmodells erlaubt im Hinblick auf die zu untersuchenden Fragestellungen Analysen, die in der Realität, bspw. aufgrund der langfristigen Zeiträume, in denen sich die Rahmenbedingungen verändern oder auch wegen der langen Nutzungszeiträume technischer Infrastruktursysteme, nicht durchführbar sind.

Verschiedene Fragestellungen, die sich aufgrund der sich ändernden Rahmenbedingungen in der Bewirtschaftung der (Trink)Wasserressourcen ergeben, wurden in den letzten Jahren bereits mit unterschiedlichen Modellansätzen untersucht. Dabei kamen sowohl makroökonomische als auch mikroökonomische Modelle zur Anwendung. Die Analyse und Modellierung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft erfordert eine sorgfältige Auswahl eines geeigneten Modellansatzes. Dabei ist zu klären, welche Anforderungen der Untersuchungsgegenstand „Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft“ an die Methodik stellt (Abschnitt 6.1). Nach einem Überblick über verschiedene Modellansätze (Abschnitt 6.2) wird anhand der Auswahlkriterien der am besten geeignete Modellansatz für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft ausgewählt (Abschnitt 6.3). Anschließend folgt die Konzeption und Umsetzung eines Simulationsmodells zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft (Abschnitte 6.4 und 6.5).

6.1 Kriterien für ein Modell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Die Auswahl eines geeigneten Modellansatzes erfordert die Berücksichtigung der in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Anforderungen des Untersuchungsgegenstandes.

Die Integration des Multi-Level Ansatzes, der als Rahmen für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft herangezogen wird, beansprucht einen Modellansatz, mit dem sich die Mikro-, Meso- und Makroebene, d. h. die Akteure in ihren jeweiligen Handlungsfeldern sowie die Rahmenbedingungen der kommunalen Wasserwirtschaft, abbilden lassen.

Dabei ist zwischen Akteuren der Regime-Ebene zu unterscheiden, die im bestehenden Wasserinfrastruktursystem etabliert sind und durch ihre Handlungspraktiken dazu beitragen, dass ein gewisses Beharrungsvermögen existiert. Gleichzeitig gibt es engagierte Akteure, die in Nischen an der Entwicklung innovativer Technologien beteiligt sind und so Impulse für einen Transformationsprozess in Richtung Regime geben können.

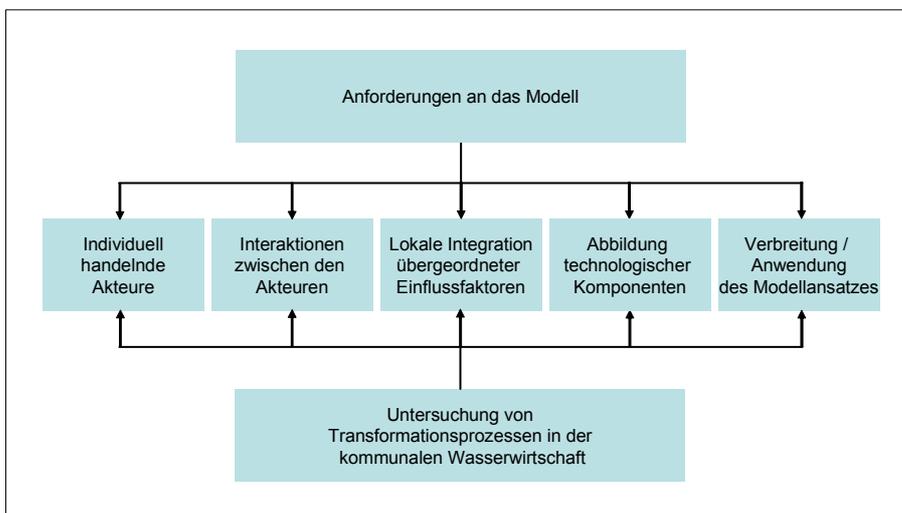
Daher ist es von großer Bedeutung, dass der ausgewählte Modellansatz in der Lage ist, unterschiedliche, autonom handelnde Akteure sowie deren jeweilige Ziele und Motivationen hinsichtlich Veränderungen in der Struktur der Wasserwirtschaft abzubilden. Hinzu kommt, dass diese Akteure sich untereinander kooperativ bzw. konkurrierend verhalten können. Daher ist es weiter von Relevanz, dass in dem zu verwendenden Modellansatz die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren integriert werden können.

Darüber hinaus wird in Kapitel 3 aufgezeigt, dass verschiedene Rahmenbedingungen, die im Multi-Level Ansatz der Makroebene zugeordnet sind, Einfluss auf die Akteure und ihre Entscheidungen nehmen. Hier ist zu beachten, dass diese Einflussfaktoren nicht für alle Akteure die gleichen Auswirkungen haben, sondern dass die Akteure je nach Zieldefinition und Ressourcenverfügbarkeit mehr oder weniger stark von Veränderungen in den Rahmenbedingungen betroffen sein können. Das bedeutet, dass im auszuwählenden Modellansatz auch die Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen individuell für die einzelnen Akteure integrierbar sein müssen und nicht global auf alle Systemelemente gleichermaßen einwirken.

Da es sich im vorliegenden Kontext um die Analyse von Transformationsprozessen in einer Infrastruktur hinsichtlich technischer Entwicklungen handelt, muss darüber hinaus gewährleistet sein, dass technologische Komponenten und Ressourcen in dem Modellansatz abgebildet werden können.

Zudem ist eine Auskunft über die Verbreitung und Anwendung des Modellansatzes interessant, d. h. welche Erfahrungen es bereits mit den verschiedenen Modellansätzen bzgl. wasserwirtschaftlicher Fragestellungen gibt. Hieraus lassen sich Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit des Modellansatzes auf die Fragestellung sowie auf die Verfügbarkeit geeigneter Softwaretools ziehen.

Somit ergeben sich insgesamt fünf relevante Anforderungen, die durch den Modellansatz erfüllt werden müssen, um Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft abbilden zu können. Abbildung 6-1 fasst die Kriterien an einen Modellansatz zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft zusammen.



Quelle: Eigene Darstellung.

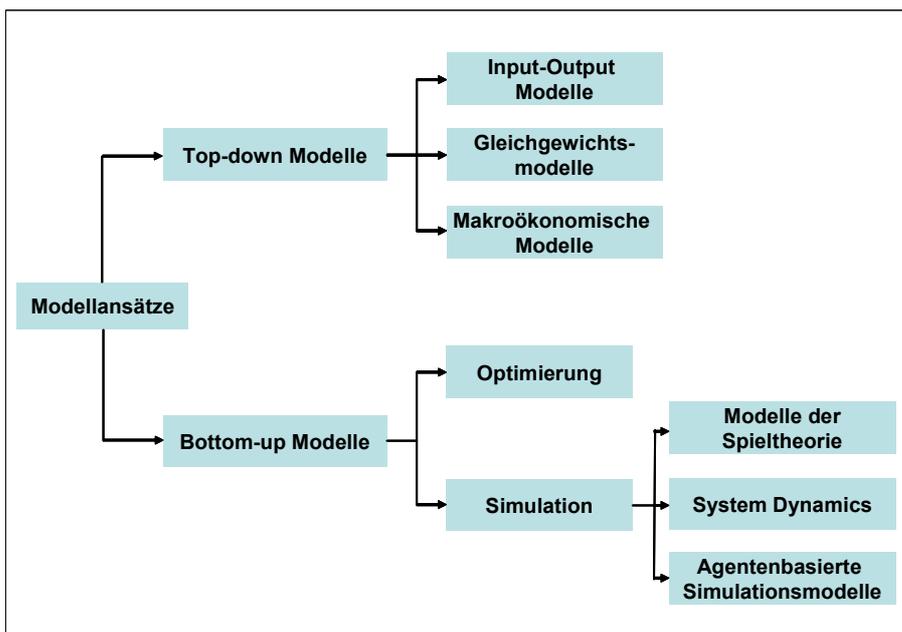
Abbildung 6-1 Kriterien an einen Modellansatz zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

6.2 Modellansätze

Nachfolgend werden verschiedene Modellansätze, die im Wasserbereich bisher in wissenschaftlichen Arbeiten angewendet wurden, diskutiert. Insbesondere im Bereich des Gewässermanagements sowie hinsichtlich der Entwicklung urbaner Wasserinfrastruktursysteme sind Modelle eingesetzt worden, bspw. um die Wirkmechanismen natürlicher und sozio-technischer Systeme besser zu verstehen und ihre Reaktionen auf technische Eingriffe oder auf veränderte Rahmenbedingungen abzuschätzen.

Abbildung 6-2 zeigt, dass sich diese Modellansätze grundsätzlich in Top-down und Bottom-up Modelle einteilen lassen. Zu den Top-down Modellen, die bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen angewendet wurden, gehören Input-Output Modelle,

Gleichgewichtsmodelle sowie makroökonomische Modelle. Sie beschreiben das Untersuchungssystem, bspw. ein Flusseinzugsgebiet, zunächst in aggregierter Form und leiten daraus Effekte der Wirkzusammenhänge des Systems ab. Bottom-up Modelle gehen den umgekehrten Weg. Aus einzelnen Details des Systems, bspw. aus Technologien oder Verhaltensweisen einzelner Akteure, leitet sich das Gesamtsystem ab, in dem die einzelnen Wirkzusammenhänge aggregiert werden. Bottom-up Modelle, die in wasserwirtschaftlichen Untersuchungen eingesetzt wurden, basieren auf spieltheoretischen, systemdynamischen sowie agentenbasierten Ansätzen.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sensfuß (2008).

Abbildung 6-2 Einteilung von Modellansätzen mit Anwendung in wasserwirtschaftlichen Fragestellungen

6.2.1 Top-down Modelle

Top-down Modelle werden meist für die Analyse makroökonomischer Effekte eingesetzt. Im Folgenden werden die Charakteristika wichtiger Top-down Modellansätze sowie beispielhafte wasserwirtschaftliche Anwendungen vorgestellt.

Input-Output Modelle: Im Allgemeinen werden Input-Output Modelle verwendet, um die interindustriellen Verflechtungen in einer Volkswirtschaft zu untersuchen. In umweltbezogenen Input-Output Modellen wird die Idee der interindustriellen Verflechtungen der Input- und Outputgrößen auf die zu untersuchenden Ressourcenströme übertragen. Die Untersuchung makroökonomischer Effekte über Input-Output-Tabellen, wie sie in den klassischen Input-Output Modellen vorgenommen wird, findet hier allerdings

nicht statt. Die Anwendung von Input-Output Modellen hinsichtlich wasserwirtschaftlicher Fragestellungen bezieht sich bspw. auf die Analyse der landwirtschaftlichen Sektoren Andalusiens. Mit Hilfe des Konzepts des virtuellen Wassers innerhalb eines Input-Output-Rahmens wurde der Wasserverbrauch von Andalusien in den landwirtschaftlichen Exporten der Region untersucht und gezeigt, dass Andalusien ein Netto-Exporteur von Wasser ist (Dietzenbacher, Velázquez 2007).

Gleichgewichtsmodelle: Gleichgewichtsmodelle werden vorrangig zur Prognose makroökonomischer Effekte von Veränderungen, bspw. der Einführung eines umweltökonomischen oder wirtschaftspolitischen Steuerinstrumentes, bzw. zur Analyse der Entwicklung einer Volkswirtschaft bei Fortführung einer gegenwärtigen Politik, verwendet. Im Bereich der Wasserwirtschaft werden Gleichgewichtsmodelle bspw. zur Schätzung externer Kosten genutzt, um die sozialen Kosten wirtschaftlicher Aktivitäten (Wasser als Produktionsfaktor) zu bestimmen (Böhringer, Löschl 2004; Böhringer, Wiegard 2003). Weitere Anwendungsbeispiele sind die Untersuchung von Wasser- und Landnutzungsformen, d. h. die Analyse des Einflusses politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen des landwirtschaftlichen Sektors auf die gesamte Volkswirtschaft (Müller 2006) sowie die Analyse ökonomischer Instrumente zum Grundwasserschutz (Eder et al. 2000).

Makroökonomische Modelle: Makroökonomische Modelle wie das von Bradley et al. (1995) entwickelte Modell HERMIN werden bspw. angewendet, um die Konsequenzen regionalpolitischer Maßnahmen auf kommunale Wasserinfrastruktursysteme zu untersuchen (Spudulyte 2003). Ein weiteres Anwendungsbeispiel eines makroökonomischen wasserbezogenen Modells ist die Untersuchung der Klimaveränderung mit ihren Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft (Elsner et al. 2005).

6.2.2 Bottom-up Modelle

Bottom-up Modelle bauen auf technischen und ökonomischen Detailmodellen auf und leiten durch Aggregation dieser Detailmodelle Ergebnisse für ein größeres Gesamtsystem ab. Sie sind in der Regel Partialmodelle, die nur Teile eines Wirtschaftssystems abbilden, während Top-down Modelle das Ziel verfolgen, alle Sektoren einer Volkswirtschaft zu erfassen.

6.2.2.1 Optimierungsmodelle

Ein Ansatz von Bottom-up Modellen stellen Optimierungsmodelle dar, die bestimmte Zusammenhänge eines Systems simulieren und einzelne Kenngrößen optimieren. Im Wasserbereich werden Optimierungsmodelle bspw. bei Flusssystemen im Rahmen von Projekten zum Flussgebietsmanagement genutzt. Dabei wird die Wirkung von

Umweltschutzmaßnahmen den Kosten gegenübergestellt und der Einsatz finanzieller Mittel optimiert (Meier, Reichert 2001).

6.2.2.2 Simulationsmodelle

Ein zweiter Ansatz der Bottom-up Modelle sind Simulationsmodelle. Hier werden die Systemzusammenhänge simuliert, bspw. um Erkenntnisse über die Wirkmechanismen des Systems zu gewinnen. Einzelne Kenngrößen werden jedoch nicht optimiert.

Modelle der Spieltheorie: Spieltheoretische Ansätze konzentrieren sich auf die Interaktion zweier oder mehrerer Akteure. Hinsichtlich wasserbezogener Fragestellungen werden solche Ansätze bspw. zur Analyse und Lösung regionaler oder multilateraler Konflikte um die Nutzung von Wasserressourcen genutzt (Bennett et al. 1998; Frisvold, Caswell 2000; Kilgour, Dinar 2001; Rogers 1993; Supalla et al. 2002).

System Dynamics: Der System Dynamics Modellansatz wurde zur Untersuchung komplexer dynamischer Systeme entwickelt (Forrester 1961), die durch so genannte miteinander verbundene Ressourcenakkumulationen und -flüsse abgebildet werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Rückkopplungsbeziehungen und Zeitverzögerungen in Ursache- und Wirkungsbeziehungen. Der System Dynamics Ansatz wird bspw. zur Untersuchung von Handlungsoptionen im Flussgebietsmanagement (Huang et al. 1997; Simonovic et al. 1997; Simonovic, Fahmy 1999), dem Management knapper Trinkwasserressourcen (Fletcher 1998) sowie im Hochwassermanagement (Ahmad, Simonovic 2000; Simonovic, Li 2003) genutzt.

Agentenbasierte Modelle: Die agentenbasierte Modellierung ist ein relativ neuer Ansatz, dessen Entwicklung Anfang der 1990er Jahre unter dem Einfluss der Künstlichen Intelligenz und nichtlinearer Dynamik begann. Sehr schnell griffen andere Disziplinen, bspw. die Kognitionswissenschaften, Sozialwissenschaften und Psychologie auf das Konzept der agentenbasierten Modellierung zurück, um Fragestellungen der eigenen Fachrichtung zu untersuchen.

In diesem Bottom-up Ansatz wird das Gesamtsystem aus der Perspektive der einzelnen Agenten und deren individuellen Verhaltensweisen aufgebaut. Das heißt, dass mit dieser Modellierungstechnik Systeme, die aus vielen interagierenden Elementen mit jeweils internen Zustandsspezifikation bestehen, modelliert werden können (Beckenbach 2002). Darüber hinaus ist dieser Ansatz eine geeignete Modellieretechnik zur Abbildung und Simulation technischer Systeme, die aus komplexen Interaktionen zwischen Mensch und technischen Systemkomponenten bestehen (Davidsson 2000).

Da die Definition des Agentenbegriffs von der jeweiligen Anwendungsdisziplin und dem betrachteten Untersuchungsgegenstand des Modells geprägt wird, finden sich in der Literatur eine Vielzahl von Begriffserklärungen. Eine allgemein gehaltene Definition eines Agenten ist die von Franklin und Graesser (1996, S. 25), die einen Agenten als „*system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so as to effect what it senses in the future*“ beschreiben.

Den Agenten werden verschiedene Eigenschaften wie Ziele, Interessen oder Rationalitäten zugewiesen, die ihr Verhalten im System bestimmen (Gilbert, Troitzsch 1999). Darüber hinaus werden ihnen typische Charakteristika zugewiesen (Ferber 2001; Klügl 2001; Wooldridge, Jennings 1994), bspw.

- Autonomie, d. h. selbstbestimmtes Ausführen von Aktionen,
- Sozialvermögen, das ihnen die Interaktion mit anderen Agenten ermöglicht,
- Reaktivität, durch die sie Veränderungen der Umwelt erkennen und darauf reagieren können,
- Pro-Aktivität, durch die sie auf Eigeninitiative die Erreichung ihrer Ziele anstreben können.

Agentenbasierte Modelle, die sich mit unterschiedlichen Fragen der Wasserwirtschaft befassen, lassen sich in vier Untersuchungsschwerpunkte untergliedern, wobei sich einige Untersuchungen durchaus mehreren Themenbereichen zuordnen ließen. Tabelle 6-1 zeigt zusammenfassend wasserwirtschaftsbezogene agentenbasierte Modell Anwendungen für die im Folgenden genannten Themenbereiche.

Der erste Themenbereich umfasst die Untersuchung des Managements von Ökosystemen wie bspw. Flussdelta bzw. bewässerter Agrarflächen. Diese Modelle haben die Untersuchung der Beziehung zwischen biophysikalischen und sozio-ökonomischen Variablen zum Ziel, bspw. bezüglich der Entwicklungsfähigkeit der Bewässerungslandwirtschaft im Senegal-Tal (Barreteau et al. 2001; Barreteau et al. 2004; Barreteau, Bousquet 2000), der Ressourcennutzung im spanischen Ebro-Delta (Tàbara et al. 2007) oder des Zusammenhangs zwischen Landnutzung und Grundwasserbeständen im Monroe County, Michigan, USA (Zellner 2005).

Der zweite thematische Rahmen fokussiert auf die Aufdeckung und Untersuchung des Verhaltens von Akteuren oder Akteursgruppen, auf die Interaktionen bzw. wassernutzungsbezogenen Konflikte zwischen ihnen und die resultierenden Auswirkungen auf die jeweilige Wasserressource (Izquierdo et al. 2003). Ein konkretes Anwendungsbeispiel bezieht sich auf den Wassernutzungskonflikt zwischen Flachland- und Hochland-Farmern in Nord-Thailand (Becu et al. 2003). Ein weiteres Beispiel ist die Untersu-

chung des Verhaltens von Akteuren und dem daraus resultierenden Einfluss auf die Entwicklung der Wasserversorgung (Tillmann 2001).

Der dritte Themenschwerpunkt befasst sich mit der Simulation der Wasserversorgung und -nachfrage privater Haushalte und konzentriert sich dabei auf die sozio-ökonomischen Aspekte des Trinkwasserverbrauchs. Anwendungsbeispiele beziehen sich auf das Wasserdargebot und die Wassernachfrage im Themseeinzugsgebiet (Moss et al. 2000), auf den Zusammenhang zwischen Wasserpreis und Anreizmechanismen zur Einsparung von Wasserressourcen unter Berücksichtigung verschiedener Haushaltstypen (Perugini et al. 2008; Rixon et al. 2007) sowie auf die Auswirkungen innovativer Technologien auf den Haushaltswasserverbrauch (Schwarz 2007; Schwarz, Ernst 2006).

Der vierte Bereich befasst sich schließlich mit der Untersuchung von Handlungsstrategien der Wasserversorgungsunternehmen. Dabei steht bspw. der Entscheidungsprozess von Wasserversorgungsunternehmen bei der Identifizierung nachhaltiger Entwicklungs- und Rehabilitationsstrategien für Wasserinfrastruktursysteme (Daniell et al. 2005; Daniell et al. 2006; Davis 2000) oder beim Umgang mit Grundwasserverschmutzungen im Vordergrund (Haffner, Gramel 2001).

Tabelle 6-1 Beispiele agentenbasierter Computermodelle zur Untersuchung wasserrelevanter Themenbereiche

Abkürzung	Name	Institution / Entwickler
Themenbereich Management von Ökosysteme und bewässerter Agrarflächen:		
AWARE	Agent-based Watershed Analyses for Resource and Economic Sustainability	CIRAD - Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, Frankreich
SHADOC	Französisches Akronym für <i>hydro-agricultural simulator describing organization and coordination modes</i>	CEMAGREF - Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Montpellier, Frankreich CIRAD - Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Frankreich
WCM	World Cellular Model	Konsortium des MATISSE Projekts (www.matisse-project.net), siehe (Tàbara et al. 2007)
WULUM	Water Use Land Use Model	University of Michigan, Center for the Study of Complex Systems, USA
Themenbereich Verhalten und Interaktion wasserrelevanter Akteure:		
CATCHSCAPE	-	CIRAD - Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, Frankreich

Abkürzung	Name	Institution / Entwickler
FEARLUS-W	Framework for Evaluation and Assessment of Regional Land Use Scenarios - Water	Macaulay Institute, Aberdeen, UK
FIRMA Limburg	Freshwater Integrated Resource Management with Agents, Fallbeispiel Limburg	University of Surrey, Department of Sociology, UK
JogoMan	Jogo dos Mananciais („Spiel der Quellen“)	Laboratório de Técnicas Inteligentes, Universidade de Sao Paulo, Brasilien CIRAD - Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, Frankreich
Themenbereich Wasserversorgung und -nachfrage von privaten Haushalten		
FIRMA Thames Model	Freshwater Integrated Resource Management with Agents, Fallbeispiel Themse	University of Surrey, Department of Sociology, UK
SIMULAIT WATER	Agent-based water network simulator	Intelligent Software Development Pty Ltd, Brisbane, Australien University of Adelaide, Australien
-	Multi-Agenten-Model zur Diffusion von Wassernutzungsinnovationen	(Schwarz 2007)
-	Water Conservation Behaviour Model	CSIRO Land and Water, Australien
Themenbereich Handlungsstrategien für urbane Wasserinfrastruktursysteme		
AUSTIME	Assessment of Urban Sustainability Through Integrated Modeling and Exploration	CEMAGREF - Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Montpellier, Frankreich CRES – Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University SKM – Sinclair Knight Merz, Melbourne, Australien CAMWE - Centre for Applied Modelling in Water Engineering, University of Adelaide, Australien KBR – Kellogg, Brown and Root, Adelaide, Australien

Quelle: Eigene Darstellung.

6.3 Resümee

Abschließend werden die vorgestellten Modellansätze den in 6.1 dargelegten Kriterien gegenübergestellt, um eine Auswahl eines geeigneten Modellansatzes für den hier vorliegenden Untersuchungsgegenstand zu treffen. Die Anforderung der Integrationsmöglichkeit vielfältiger individueller Akteure, die mit ihren jeweils eigenen Zielen und autonomen Aktivitäten an den Veränderungsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft beteiligt sind, schließt die Anwendung von konventionellen eher neoklassi-

schen oder keynesianisch geprägten Top-down Modellansätzen aus. Einen Überblick über die Bewertung der vorgestellten Bottom-up Modelle anhand der genannten Kriterien gibt Tabelle 6-2.

Tabelle 6-2 Bewertung der Modellansätze hinsichtlich ihrer Eignung für die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Modellansatz	Individuelle Akteure	Interaktion zwischen Akteure	Übergeordnete Rahmenbedingungen	Technische Komponenten	Anwendung des Modellansatzes
Optimierung	-	-	/	+	+
Spieltheorie	+	+	+	-	+
System Dynamics	/	/	/	+	/
Agentenbasiert	+	+	+	+	+

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Sensfuß (2008).
Legende: + stark; / mittel; - schwach

Ähnlich wie die Top-down Modelle erscheinen auch Optimierungsmodelle eher weniger für die Modellierung eines Systems geeignet, in dem unterschiedliche Akteure, die miteinander in Interaktion treten und individuelle Verhaltensmuster aufweisen, abzubilden sind. Optimierungsmodelle basieren vielmehr auf der neoklassischen Wirtschaftstheorie und zielen darauf ab, einzelne Systemkenngrößen zu optimieren. Vergleichbares gilt für systemdynamische Modelle. Mit ihnen lassen sich zwar individuelle Akteure abbilden, sie haben aber eher die Abbildung von Ressourcenakkumulationen und -flüssen als die Interaktion zwischen Akteuren zum Ziel. Spieltheoretische und agentenbasierte Modelle sind dagegen sehr gut zur Abbildung einzelner Akteure und der Interaktionen zwischen ihnen unter Berücksichtigung der jeweils eigenen Akteursperspektive geeignet, da sie genau zu diesem Zweck entwickelt wurden.

Hinsichtlich des Kriteriums der Integration übergeordneter Rahmenbedingungen sind Optimierungsmodelle und systemdynamische Modelle grundsätzlich in der Lage, dem System übergeordnete Rahmenbedingungen abzubilden, allerdings global für das gesamte System. Da diese Modellansätze nicht zur Abbildung individueller Akteure konzipiert wurden, können folglich die Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen aus individueller Akteurssicht nur schwierig implementiert werden. Die lokale Integration übergeordneter Einflussgrößen ist in spieltheoretischen und agentenbasierten Modellansätzen aufgrund der Abbildung einzelner Akteure einfacher umzusetzen.

Des Weiteren ist bei der Untersuchung von Transformationsprozessen in sozio-technischen Infrastruktursystemen die Möglichkeit der Integration technischer Kompo-

zenten im Modellansatz von Relevanz. Technische Aspekte sind sowohl in Optimierungsmodellen als auch in systemdynamischen und agentenbasierten Modellen integrierbar. Der spieltheoretische Ansatz ist dagegen eher ungeeignet, technologische Systemkomponenten abzubilden.

Das letzte Kriterium bezieht sich auf die bestehenden Erfahrungen, die mit den vorgestellten Modellansätzen bereits gemacht wurden. Für die etablierten Optimierungsmodelle, systemdynamischen Modelle und Modelle der Spieltheorie finden sich zahlreiche Anwendungen, auch wenn ihre Verbreitung im Bereich wasserwirtschaftlicher Fragestellungen vergleichsweise gering ist. Umgekehrt kann bei den agentenbasierten Modellen aufgrund des relativ kurzen Entwicklungszeitraumes auf vergleichsweise wenig Erfahrungswissen und Modellbeispiele zurückgegriffen werden. Interessanterweise finden sich zur Untersuchung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen jedoch relativ viele Beispiele agentenbasierter Modellanwendungen. Dies kann darauf beruhen, dass die Möglichkeit der Integration der Perspektive einzelner Akteure in wasserwirtschaftlichen Fragestellungen generell von besonderer Bedeutung ist, so dass die Erfahrungen mit agentenbasierten Modellen im Bereich wasserwirtschaftlicher Fragestellungen als hoch eingestuft wird.

Addiert man die positiven Bewertungen aus Tabelle 6-2 so zeigt sich, dass der agentenbasierte Modellansatz mit fünf positiven Bewertungen zur Untersuchung der hier vorliegenden Fragestellung am besten geeignet erscheint. Auch der spieltheoretische Modellansatz mit vier positiven Bewertungen erscheint zur Anwendung interessant, zumal es mit diesem Ansatz ebenfalls möglich ist, individuelle, miteinander interagierende Akteure abzubilden, was im hier vorliegenden Untersuchungskontext von besonderer Bedeutung ist. Da der spieltheoretische Modellansatz aber nicht zur Integration technischer Aspekte, wie sie zur Untersuchung von Transformationsprozessen in Wasserinfrastruktursystemen essenziell ist, geeignet ist, fällt die Entscheidung auf den agentenbasierten Modellansatz.

In der vorliegenden Arbeit wird ein eigenes Simulationsmodell entwickelt, da es nur wenige Modelle gibt, die sich mit der Untersuchung urbaner Wasserinfrastruktursysteme beschäftigen. Diese Modelle fokussieren zudem nicht auf die Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft. Ihr Augenmerk liegt eher auf der Nachhaltigkeitsbewertung urbaner Wasserinfrastruktursysteme. Ein weiteres Ziel der hier vorliegenden Arbeit ist die Übertragung des Multi-Level Ansatzes auf ein Simulationsmodell zur Untersuchung der Rahmenbedingungen von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft. Dies ist bisher in keinem der bekannten wasserbezogenen Multiagentenmodelle erfolgt.

Zur Implementierung eines Multiagentenmodells sind verschiedene Werkzeuge auf dem Markt erhältlich bzw. als Freeware im Internet verfügbar. Zu den bekanntesten Plattformen zählen bspw. SWARM, RePast, NetLogo, AnyLogic und MASON (Tabelle 6-3).

Tabelle 6-3 Beispiele agentenbasierter Computerplattformen

Agentenbasierte Plattform	Institution	Weiterführende Information
AnyLogic	XJ Technologies Company, St. Petersburg, Russland	http://www.xjtek.com/anylogic/
MASON	Evolutionary Computation Laboratory und GMU Center for Social Complexity, George Mason University, USA	http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/
NetLogo	Northwestern University, Evanston, USA	http://ccl.northwestern.edu/netlogo/
RePast	Argonne National Laboratory, University of Chicago, USA	http://repast.sourceforge.net/
SWARM	University of Washington, USA	http://www.swarm.org/index.php/Main_Page

Quelle: Eigene Darstellung.

Auch für die Auswahl einer geeigneten agentenbasierten Softwareplattform werden Auswahlkriterien herangezogen. Dies sind im vorliegenden Kontext insbesondere die Möglichkeit einer einfachen visuellen Modelleingabe, eine gute Dokumentation der Software sowie ein zuverlässiger Support im Falle von Schwierigkeiten bei der Nutzung der Software. Implementiert wird das Modell deshalb in der Software SeSAm (*Shell for Simulated Agent Systems*), Version 2.3, die am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz und Angewandte Informatik der Universität Würzburg entwickelt wurde und die genannten Kriterien erfüllt.

6.4 Konzept eines Agentenmodells zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Aufbauend auf den aus Kapitel 3 und 4 abgeleiteten Akteuren und Einflussfaktoren der kommunalen Wasserwirtschaft wird im Folgenden ein Konzept für ein agentenbasiertes Simulationsmodell zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft entwickelt. Den Kern des Simulationsmodells bilden die Akteure der Wasserwirtschaft, die als Agenten mit eigenen Zielen und bestimmten Eigenschaften wie Autonomie, Sozialvermögen, Reaktivität und Pro-Aktivität ausgestattet sind. Bei der modellhaften Abbildung der wasserwirtschaftlichen Akteure wird auf die Schlüsselakteure aus Tabelle 4-7 zurückgegriffen.

Die wichtigsten Bestandteile eines Agenten sind seine Klasse und seine Variablen. In der Agentenklasse wird das Verhalten aller Agenten dieser Klasse (z. B. Haushalte) spezifiziert. Basierend auf einem Set von Zustandsvariablen (z. B. spezifische Abwassermenge pro Jahr) wird der Zustand der Agenten bestimmt. Über die Möglichkeit der gegenseitigen Abfrage der Zustandsvariablen lassen sich darüber hinaus Interaktionen zwischen den Einflussfaktoren der Systemumwelt und den Akteuren abbilden. Die Modellstruktur orientiert sich an dem in Kapitel 2 vorgestellten analytischen Rahmen des Multi-Level Ansatzes bestehend aus einer Systemumwelt, dem Regime und Nischen.

Schlüsselakteure des Regimes der kommunalen Wasserwirtschaft sind die Wasserversorger, Abwasserentsorger sowie die privaten Haushalte. Diese Akteure verfügen über jeweils eigene Ziele und weisen Eigenschaften auf, durch die sie als Agenten klassifiziert werden können (vgl. dazu Kapitel 4).

Die alternativen Wasser- bzw. Abwassertechnologien werden im System der kommunalen Wasserwirtschaft von engagierten Akteuren in Nischen entwickelt und angeboten. Auch diese Akteure verfügen über Ziele und Eigenschaften sowie über ein bestimmtes Verhalten zur Zielerfüllung und werden daher im Simulationsmodell durch Agenten der Klasse der Technologieanbieter dargestellt. Die von diesen Agenten entwickelten und angebotenen Technologien können als passive Ressourcenobjekte dargestellt werden, die durch veränderliche Zustandsvariablen beschrieben werden können. Dieser Zustand hängt dabei nicht nur von der Zeit, sondern auch von Aktionen der Agenten und Ereignissen in der Systemumwelt ab.

Der Verlauf der Zeit sowie die Einflüsse, die aus der Systemumwelt auf das Regime und die Nischen einwirken, lassen sich in der so genannten Welt abbilden. Die Welt stellt somit die Umwelt dar, in der die Agenten handeln und interagieren. Nach der Definition eines Agenten von Franklin und Graesser (siehe Absatz 6.2.2.2 – Agentenbasierte Modelle) wirken Agenten auf die Umwelt ein, um ihre Ziele in der Zukunft zu erreichen. Eine solche Zielverfolgung sowie andere agententypische Eigenschaften (Sozialvermögen, Reaktivität, Pro-Aktivität) können den Einflussgrößen der Systemumwelt nicht zugeordnet werden. Insofern stellen die in der Welt abzubildenden Einflussgrößen keine Agenten im eigentlichen Sinne dar.

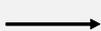
Für die Entwicklung des Simulationsmodells wird zur Beschreibung der Systemumwelt jedoch auch eine Agentenklasse verwendet. Die Software SeSAM erlaubt hier durch die Verwendung einer Agentenklasse einfach programmierbare Abbildungen des Verhaltens und des Zustandes der Einflussgrößen der Systemumwelt durch so genannte Welt-Agenten (Klügl 2001; Oechslein 2004). Daher werden diese Einflussgrößen der Systemumwelt der kommunalen Wasserwirtschaft als „Agenten“ der Welt des Simulati-

onsmodells konzipiert. Ebenso können über einen solchen Welt-Agenten die Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft konzipiert werden, die übergeordnet, d. h. für alle Agenten synchron, über Veränderungen von Rahmenbedingungen des Systems wirken. Hiervon kann bei der Konzeption des Akteurs „Europäische Kommission“ Gebrauch gemacht werden, dessen Aktivitäten insbesondere zu Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen führen, die dann übergeordnet für alle anderen Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft gelten. Somit lassen sich folgende Einflussfaktoren der Systemumwelt als eigenständige Welt-Agenten abbilden:

- Modelljahr (Zeitverlauf),
- Demografischer Wandel,
- Klimatische Veränderungen,
- Rechtliche Rahmenbedingungen.

In den folgenden Beschreibungen der Agenten-Klassen wird zunächst auf das Verhalten sowie auf die Zustandsvariablen der Agenten eingegangen. Danach wird die Konzeption der Interaktionen zwischen der Systemumwelt und den Agenten des Regimes und der Nische dargelegt. Darüber hinaus werden das Verhalten, der Zustand und die Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen für jede Klasse grafisch dargestellt. Nachstehende Tabelle 6-4 dient als Legende für diese Agenten-Klassen-Grafiken:

Tabelle 6-4 Legende zu Grafiken der Agenten-Klassen

Symbol	Bedeutung
	Verhalten der Agenten-Klasse
	Entscheidungsknoten im Verhalten
	Zur nächsten Verhaltensaktion
	Beeinflussung durch bzw. Interaktion mit andere/n Agenten-Klassen durch Abfrage von Zustandsvariablen
	Verbindung zwischen Verhalten und Beeinflussung bzw. Interaktion mit anderen Agenten-Klassen
	Eigene Zustandsvariable

Quelle: Eigene Darstellung.

6.4.1 Konzeption der Systemumwelt

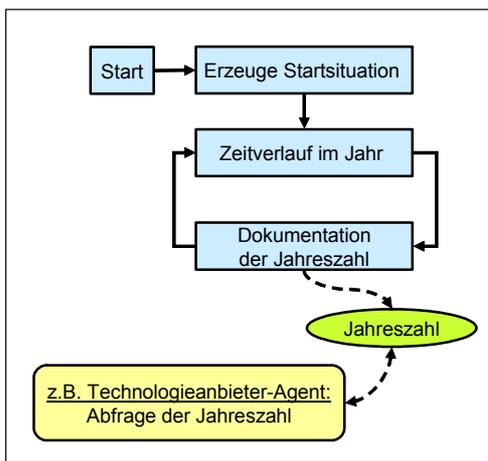
Zeitliche Auflösung des Simulationsmodells – Welt-Agent „Modelljahr“

Verhalten und Zustand:

Zu Beginn der Simulation wird vom Welt-Agenten „Modelljahr“ zunächst eine Startsituation erzeugt, indem Haushalts-Agenten sowie ihre technologische Ausstattung generiert werden. Diese Haushalts-Agenten repräsentieren eine heterogene Haushaltspopulation, in dem sie sich in ihrem Konsumverhalten unterscheiden (siehe dazu ausführlicher Kapitel 6.4.2). Außerdem teilt der Welt-Agent „Modelljahr“ allen Haushalts-Agenten die Zustandsvariable „Investitionsbudget“ zu, deren Wert aus einem definierten Anteil des Einkommens des jeweiligen Haushalts-Agenten bestimmt werden kann. Darüber hinaus dokumentiert der Modelljahr-Agent den Zeitverlauf im Modell in seiner Zustandsvariablen „Jahreszahl“.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Der Welt-Agent „Modelljahr“ initialisiert die Klasse der Haushalts-Agenten und legt damit die Ausgangssituation der Haushaltspopulation fest. Dabei werden die technologische und finanzielle Ausstattung der Haushalts-Agenten generiert. Eine Interaktion mit anderen Agenten-Klassen kann bspw. durch Abfrage der Zustandsvariablen „Jahreszahl“ stattfinden. Abbildung 6-3 zeigt grafisch das Konzept des Welt-Agenten „Modelljahr“.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-3 Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Modelljahr“

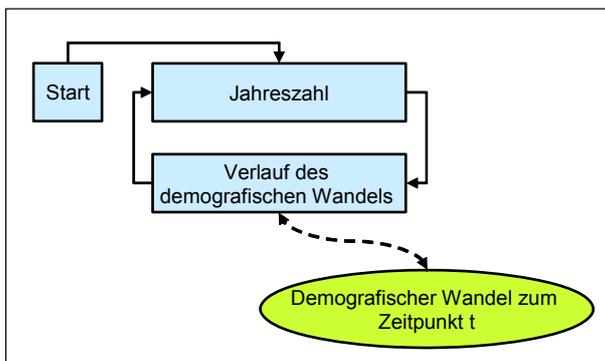
Abbildung des demografischen Wandels – Welt-Agent „Demografie“

Verhalten und Zustand:

Die Bevölkerungsentwicklung sollte flexibel implementierbar sein, je nach dem, ob das abzubildende Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiet in einer demografischen Schwund- oder Wachstumsregion liegt (vgl. Abschnitt 3.2.1). Dies wird durch folgende Konzeption des Verlaufs des demografischen Wandels erreicht: Zu definierten Jahreszahlen werden dem prognostizierten Verlauf des demografischen Wandels im Untersuchungsgebiet entsprechend von dem Welt-Agenten „Demografie“ Haushalts-Agenten gelöscht bzw. zusätzlich generiert. Die Veränderung der Haushaltspopulation erfolgt dabei unter Berücksichtigung des Alters und der Größe (Personenzahl) der Haushalte, um eine alternde Bevölkerung und das Ansteigen von Einpersonenhaushalten abbilden zu können. Die genaue Information, welcher Haushaltstyp im Verlauf des demografischen Wandels zu- bzw. abnimmt, kann in entsprechenden Zustandsvariablen des Welt-Agenten „Demografie“ hinterlegt werden.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Die Interaktion zwischen der Welt-Klasse und der Haushalts-Klasse stellt sich im Löschen bzw. in der Generierung von Haushalts-Agenten dar. Mit anderen Agenten-Klassen finden keine Interaktionen statt. Abbildung 6-4 zeigt grafisch das Konzept des Welt-Agenten „Demografie“.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-4 Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Demografie“

Abbildung klimatischer Veränderungen – Welt-Agent „Klima“

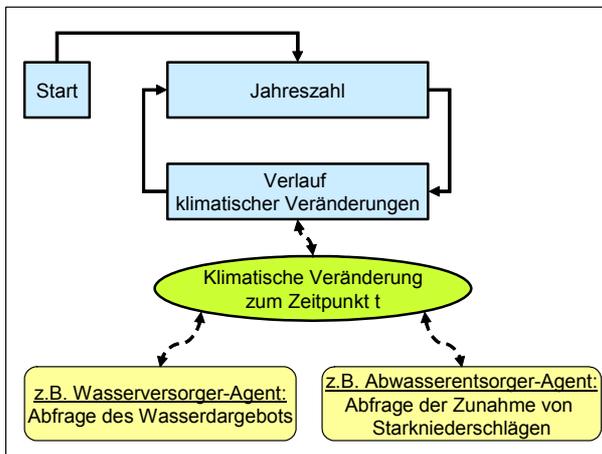
Verhalten und Zustand:

Je nach geografischer Lage eines Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebietes variieren die klimatischen Veränderungen und sind daher je nach Untersuchungsgebiet

zu implementieren. Ähnlich wie beim demografischen Wandel können bei den klimatischen Veränderungen deren Auswirkungen, bspw. die Reduktion des verfügbaren Wasserdargebots, im Welt-Agenten „Klima“ durch die Aktualisierung von Zustandsvariablen hinterlegt werden.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

In diesem Fall sind folgende Interaktion zwischen der Welt-Klasse und anderen Agenten-Klassen denkbar: Agenten der Wasserver- bzw. Abwasserentsorger-Klasse erhalten durch lokale Abfrage der Zustandsvariablen des Welt-Agenten „Klima“ die Information über Veränderungen in ihrer Umwelt und können diese in ihre nächsten Entscheidungsabläufe integrieren. Abbildung 6-5 gibt das Konzept des Welt-Agenten „Klima“ wider.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-5 Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Klima“

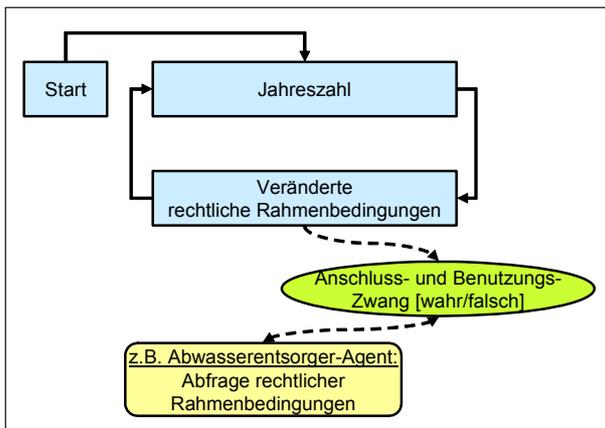
Abbildung der rechtlichen Rahmenbedingungen – Welt-Agent „Recht“

Verhalten und Zustand:

Die rechtlichen Rahmenbedingungen und ihre Veränderungen können so gestaltet werden, dass diese für alle Agenten-Klassen synchron über den Welt-Agenten „Recht“ gesteuert werden. Zu einem flexibel festlegbaren Zeitpunkt (Jahreszahl) können die rechtlichen Rahmenbedingungen, wie bspw. die Existenz des Anschluss- und Benutzungszwanges an die öffentliche Kanalisation, verändert und die entsprechende Zustandsvariable aktualisiert werden.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Eine Interaktion zwischen dem Welt-Agenten „Recht“ und anderen Agenten-Klassen kann durch die Abfrage der aktualisierten Zustandsvariablen realisiert werden. So können bspw. die Agenten der Abwasserentsorger-Klasse die Zustandsvariable „Anschluss- und Benutzungszwang“ abfragen und diese Information bei ihren weiteren Entscheidungen berücksichtigen. Abbildung 6-6 zeigt die grafische Darstellung des Welt-Agenten „Recht“.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-6 Konzeption der Systemumwelt – Welt-Agent „Recht“

6.4.2 Konzeption des Regimes

Die vorab beschriebenen Einflüsse aus der Systemumwelt wirken auf das Regime ein. Das Regime wird durch die als Agenten abgebildeten Schlüsselakteure der kommunalen Wasserwirtschaft abgebildet. Dazu werden die drei Agenten-Klassen der Wasserversorger, Abwasserentsorger und Haushalte konzipiert, in denen das jeweilige Verhalten der den Klassen zugeordneten Agenten spezifiziert wird. Zur Beschreibung der Zustände der Agenten werden darüber hinaus auch hier Zustandsvariablen für die jeweiligen Klassen definiert.

Wasserversorger-Klasse

Verhalten und Zustand:

Das Verhalten der Wasserversorger-Klasse ist wie folgt aufgebaut: Der Agent ermittelt zunächst die Trinkwassermenge, die er im abgelaufenen Jahr an seine Haushaltskunden abgegeben hat. Anschließend ermittelt er die Kosten, die ihm durch die Bereitstellung des Trinkwassers für seine Haushaltskunden entstanden sind und kalkuliert den Wasserpreis für das Folgejahr. Schließlich prüft er das ihm zur Verfügung stehende

Wasserdargebot mit der Menge des abgegebenen Trinkwassers aus dem vergangenen Jahr. Verschlechtert sich das Verhältnis zwischen Wasserdargebot und abzugebender Trinkwassermenge, so können daraus Anzeichen für die Stagnation des etablierten Regimes der zentralen Trinkwasserversorgung aufgrund klimatischer Veränderungen abgeleitet werden.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

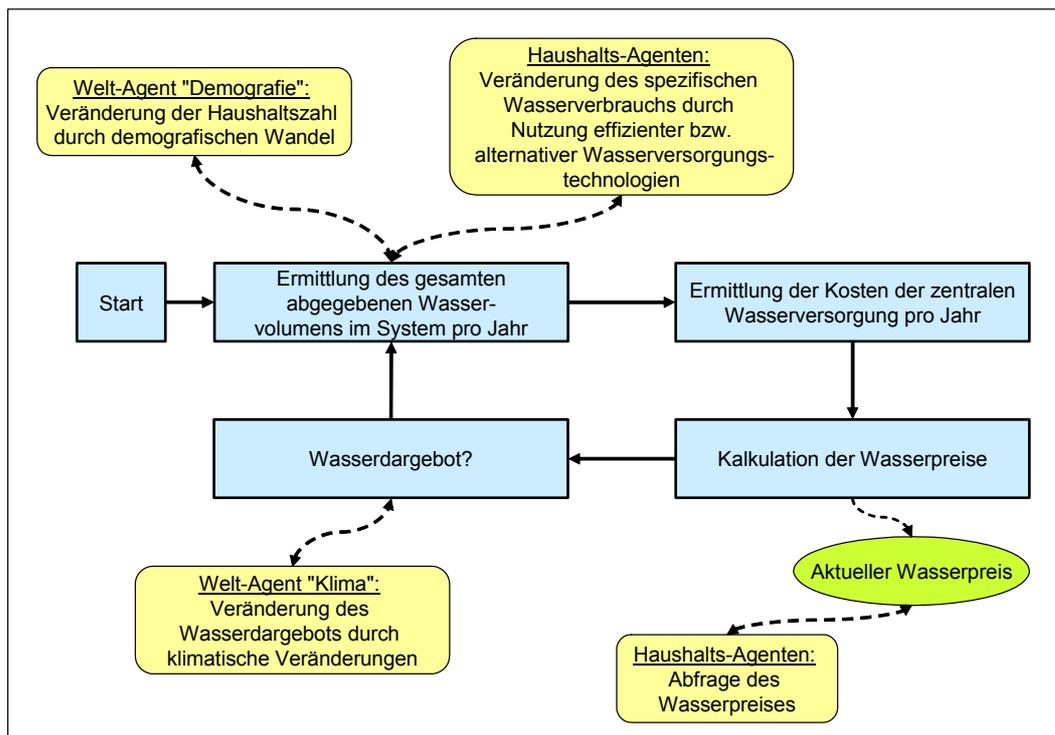
Die Menge des an die Haushalte abgegebenen Trinkwassers wird durch zwei Größen beeinflusst. Zum einen verändert sich durch die Simulation des Welt-Agenten „Demografie“ die Anzahl der Haushalts-Agenten im Zeitablauf, die sich wiederum auf die Menge des abgegebenen Trinkwassers und somit auf die Auslastung des Wasserversorgungssystems im Jahr auswirkt. Zum anderen tragen Veränderungen des spezifischen Wasserverbrauchs durch den zunehmenden Einsatz wassereffizienter Technologien in privaten Haushalten zur Reduktion der gesamten Wasserverbrauchsmenge bei. Eine weitere Interaktion zwischen Wasserversorger-Agent und Haushalts-Agent kann durch die Abfrage der Zustandsvariablen „Wasserpreis“ des Wasserversorger-Agenten durch die Haushalts-Agenten zur Berechnung ihrer Wasserkosten realisiert werden.

Eine zusätzliche Interaktion der Wasserversorger-Klasse mit der Systemumwelt kann sich durch die Beeinflussung des Wasserdargebots durch klimatische Veränderungen ergeben. Abbildung 6-7 zeigt grafisch das Konzept der Wasserversorger-Klasse.

Abwasserentsorger-Klasse

Verhalten und Zustand:

Ähnlich wie im Konzept des Wasserversorger-Agenten ermittelt ein Agent der Abwasserentsorger-Klasse zunächst das gesamte Abwasservolumen, das er im Jahr von seinen Haushaltskunden erhält und kalkuliert die Abwassergebühr. Anschließend vergleicht er die kalkulierten Abwassergebühren mit einer festgelegten Gebührengrenze, bei deren Überschreitung die Abwassergebühr nicht sozialverträglich und somit nicht durchsetzbar ist. Wird diese Grenze nicht überschritten, so kann er im nächsten Schritt seine Einnahmen ermitteln und die ökonomische Tragfähigkeit seines Abwasserentsorgungssystems überprüfen. Zeigt sich an dieser Stelle, dass das System ökonomisch funktionsfähig ist, so kann der Abwasserentsorgungs-Agent im Folgejahr erneut mit der Ermittlung des gesamten Abwasseranfalls in seinem Abwasserentsorgungssystem beginnen.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-7 Konzeption des Regimes – Wasserversorger-Klasse

Zeigt sich jedoch, dass die kalkulierten Gebühren oberhalb der Gebührengrenze liegen und somit nicht durchsetzbar sind, so hat ein Abwasserentsorger in der Realität die Möglichkeit, zukünftige Investitionen in das bestehende zentrale System Abwasserentsorgung zu überdenken. Prinzipiell sind in der Realität folgende Maßnahmen möglich (vgl. Gärtner, Rudolph 1998, S.296):

- Veränderung des Investitionsprogramms durch Planungsoptimierung,
- Streckung des beabsichtigten Investitionsprogramms auf einen größeren Zeitraum,
- Alternativlösungen, d. h. innovative und preiswertere Entwässerungskonzepte, z. B. semi- oder dezentrale Technologien und Strukturen anstatt des zentralen Systems, suchen.

Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die dritte Maßnahme interessant, da hierin ein großes Potenzial für die Entwicklung von Transformationsprozessen steckt. Auf Basis der gefundenen alternativen Abwasserentsorgungskonzepte können dann die Berechnungen für die Kosten dieser Lösungen sowie für die zu erhebenden Gebühren durchgeführt werden. Wenn sich eine geringere Abwassergebühr als die Gebührengrenze ergibt, wird mit der Umsetzung der Alternativlösung begonnen. Das heißt, dass an dieser Stelle ein Transformationsprozess innerhalb der kommunalen Wasserwirtschaft einsetzt.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Einflussfaktoren, die die Menge des an die Haushalts-Agenten abgegebenen Trinkwassers beeinflussen, wirken sich folglich auch auf die Menge des im Jahr anfallenden Abwassers aus. So wird die gesamte Abwassermenge ebenfalls insbesondere durch die abnehmende Anzahl der Einwohner beeinflusst, was auf die Auslastung des Entwässerungssystems rückwirkt. Gleichfalls wird dieses Konfliktpotenzial durch eine Veränderung des Abwasseranfalls verstärkt, wenn Haushalte vermehrt Technologien in ihr Lebensumfeld integrieren, die geeignet sind, Abwasserströme wieder zu verwenden (z. B. Grauwasserrecycling) bzw. das gereinigte Abwasser de- bzw. semizentral aufzubereiten und zu versickern (Kleinkläranlagen). Der Einsatz von Technologien, die eine de- bzw. semizentrale Versickerung des anfallenden Regenwassers ermöglichen, kann ebenfalls dazu beitragen, dass die Auslastung des etablierten zentralen Entwässerungssystems abnimmt.

Weitere Beeinflussungen aus der Systemumwelt können auf die Abwasserentsorger-Agenten bspw. durch klimatische Veränderungen einwirken, z. B. durch die Zunahme an Starkregenereignissen, die die Kosten der zentralen Entsorgung erhöhen.

Gleichfalls findet auch eine Interaktion zwischen Abwasserentsorger-Agent und Haushalts-Agent durch die Abfrage der Zustandsvariable „Abwassergebühr“ des Abwasserentsorger-Agenten durch die Haushalts-Agenten zur Berechnung ihrer Abwasserkosten statt.

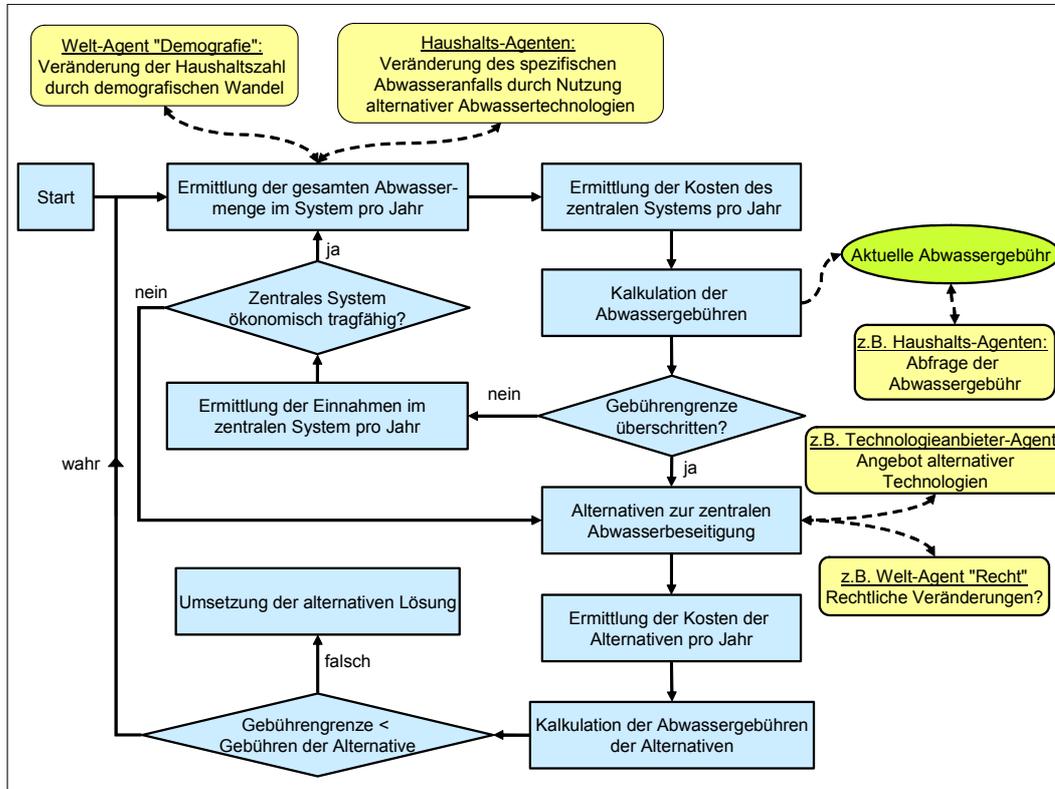
In der Überprüfung der Verfügbarkeit alternativer Entwässerungskonzepte spiegelt sich das Verhalten der Regime-Akteure in der Startphase von Transformationsprozessen wider, innovative Technologien als geeignete Lösungen für die sich verstärkenden Herausforderungen im Regime zu suchen und anzuerkennen. Darüber hinaus wird hier das Verhaltensrepertoire der Regime-Akteure bei veränderten rechtlichen Rahmenbedingungen, also eine Interaktion zwischen Regime und Nische abgebildet. Abbildung 6-8 zeigt das Konzept der Abwasserentsorger-Klasse.

Haushalts-Klasse

In der Diffusionsforschung und in der sozialwissenschaftlichen Umweltforschung wird persönlichen Merkmalen von Akteuren bei der Diffusion von Innovationen ein hoher Stellenwert beigemessen. Das bedeutet, dass eine Differenzierung der Individuen für die Untersuchung von Transformationsprozessen bedeutend ist.

Die Klasse der Haushalte stellt im Simulationsmodell die Gruppe der Akteure dar, die im größeren Umfang an der Adoption von Innovationen beteiligt ist. Daher ist es essen-

tiell, die verschiedenen Haushaltstypen mit ihren unterschiedlichen Entscheidungsmustern hinsichtlich innovativer Produkte möglichst differenziert abzubilden.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-8 Konzeption des Regimes – Abwasserentsorger-Klasse

Verhalten und Zustand:

Eine erste Zustandsvariable, durch die sich die Haushalts-Agenten voneinander unterscheiden, ist ihre Größe, d. h. die Anzahl der Personen, die in einem Haushalt leben. Eine weitere Zustandsvariable, deren Wert über die Haushalts-Agenten variiert, ist ihre Ausstattung mit Technologien, die Wasser verbrauchen (Haushaltsgeräte, Sanitärarmaturen). Je nach Haushaltsgröße und technologischer Ausstattung verbrauchen die Haushalte spezifische Mengen an Trinkwasser und erzeugen spezifische Mengen an Abwasser pro Jahr. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in größeren Haushalten Wasser effizienter genutzt wird als in kleineren Haushalten und der Pro-Kopf-Verbrauch mit steigender Personenzahl im Haushalt abnimmt. Werden in einem Einpersonenhaushalt pro Tag ca. 126 Liter verbraucht (100 %), so reduziert sich die Menge in einem Zweipersonen-Haushalt bereits auf ca. 120 Liter pro Person und Tag (96 %). Ein Dreipersonen-Haushalt verbraucht 115 Liter (92 %) und ein Vierpersonenhaushalt ca. 105 Liter Wasser pro Person und Tag (84 %) (Tabelle 6-5).

Tabelle 6-5 Mittlerer Wasserverbrauch nach Haushaltsgröße

Haushaltsgröße [Personen]	Mittlerer Wasserverbrauch pro Person und Tag [Liter]	Verbrauch in % bezogen auf Einpersonenhaushalt
1	126	100
2	120	96
3	115	92
4 und mehr	105	84

Quellen: Björnsen, Roth (1993), Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2007a), Centre for Energy Policy and Economics (2005).

Die Konzeption des Verhaltens der Haushalts-Klasse sieht vor, dass jeder Haushalt einmal im Modelljahr die ihm anfallenden Kosten des Wasserverbrauchs und der Abwasserentsorgung ermittelt. Jedem Haushalts-Agenten kann des Weiteren eine Referenzgröße für die Höhe der ihm entstandenen Kosten zugeordnet werden, bei deren Überschreitung er eine Suche nach technischen Alternativen zur bisherigen Ausstattung beginnt. Die Definition einer Referenzgröße, bei deren Überschreitung der Agent aktiv nach anderen technischen Lösungen sucht, lehnt sich an Erkenntnissen aus den Kognitionswissenschaften an und beschreibt den Zustand einer inneren Unzufriedenheit eines Akteurs, die bestimmte Handlungsweisen begründet (Beckenbach 2003; Jager 2000; Linscheidt 1999). Alternativ kann die Entscheidung über den Kauf technischer Alternativen auch nach bestimmten Zeiträumen angestoßen werden. Diesem Vorgehen liegt die Überlegung zugrunde, dass nach einer bestimmten Lebensdauer die vorhandenen wasserrelevanten Technologien durch neue ersetzt werden.

Bei der Suche nach technischen Alternativen unterliegen Haushalte einer beschränkten Informationswahrnehmung (Linscheidt 1999; Mosler 2001). Dies kann modelltechnisch dadurch realisiert werden, dass die Agenten visualisiert auf einem Flächenraster positioniert sind und die Haushalts-Agenten nur Information von den Technologieanbieter-Agenten beziehen können, die in einem definierten Radius um ihre eigene Position liegen. Über die Ausdehnung des Radius, d. h. über die Anzahl der Technologieanbieter-Agenten im Radius des Haushalts-Agenten, lässt sich die Beschränkung der Informationswahrnehmung bis hin zur vollständigen Informationswahrnehmung festlegen. Der Radius stellt dabei keine Zustandsvariable der Haushalts-Agenten dar, sondern ist im Verhalten hinterlegt.

Falls ein Haushalts-Agent keine alternativen technischen Lösungsoptionen bei dem Technologiehersteller im definierten Radius findet, so verbleibt er bei seiner vorhandenen technischen Ausstattung. Andernfalls kommt es zur Bewertung der gefundenen

technischen Alternativen und zur Auswahl einer Kaufoption, die dann zu einer positiven oder negativen Kaufentscheidung führt.

Die Konzeption der Bewertung und des Kaufs technischer Alternativen orientiert sich am Konzept der Lebensstile, das als wichtiges Konzept zur Analyse von umweltbezogenem Verhalten eine lange Tradition hat (Lüdtke 1989). Ein bestimmter Lebensstil gilt als Ausdruck der Ungleichheit zwischen Menschen und hat ferner Einfluss auf das Konsumverhalten einer Person und somit auf die (ökologischen) Konsequenzen des persönlichen Handelns.

Empacher et al. (2000) unterscheiden zehn umweltbezogene Konsumstile, bei deren Typisierung neben der Haushaltsgröße auch das Einkommen der Haushalte und das Alter der Bezugsperson des Haushalts eine Rolle spielen. Tabelle 6-6 zeigt zusammenfassend die Beschreibungen der umweltbezogenen Konsumstile.

Tabelle 6-6 Umweltbezogene Typisierung von Haushalten

Haushaltstyp	Beschreibung des umweltbezogenen Konsumstils
Typ 1: Durchorganisierte Ökofamilie	Mehrpersonenhaushalte, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen, aufgeschlossen für Neues, ausgeprägte Umweltorientierung
Typ 2: Kinderlose Berufsorientierte	Singles oder Zweipersonenhaushalte, junge bis mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen, z. T. Abwehr des Umweltthemas als Abgrenzung gegen „Ökos“
Typ 3: Junge Desinteressierte	Singles, junge Altersgruppe, geringes Einkommen, Orientierung an kurzlebigen Konsum / Bequemlichkeit
Typ 4: Alltagskreative	Singles oder Mehrpersonenhaushalte, junge bis mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen, klare Umweltorientierung
Typ 5: Konsumgenervte	Singles oder Zweipersonenhaushalte, mittlere Altersgruppe, mittleres Einkommen, z. T. mit Abwehr gegen ökologische Ausrichtungen
Typ 6: Ländlich-Traditionelle	Mehrpersonenhaushalte, mittlere bis alte Altersgruppe, mittleres Einkommen, starke Orientierung an Besitz, Sicherheit und Qualität
Typ 7: Schlechtgestellte Überforderte	Singles oder Mehrpersonenhaushalte, alle Altersgruppen, niedriges Einkommen, Abwehr bzw. Desinteresse gegenüber Umweltthema
Typ 8: Unauffällige Familie	Mehrpersonenhaushalte aller Altersstufen, mittleres Einkommen, starke Preisorientierung, starke Autoorientierung
Typ 9: Aktive Seniorinnen und Senioren	Singles oder Zweipersonenhaushalte, alte Altersgruppe, mittleres oder höheres Einkommen, aufgeschlossen für Neues, ausgeprägte Qualitätsorientierung
Typ 10: Statorientierte Privilegierte	Singles oder Mehrpersonenhaushalte aller Altersgruppen, hohes Einkommen, ethischem Konsum aufgeschlossen

Quelle: Empacher et al. (2000).

Durch eine Auswertung des Mikrozensus können die Anteile der Haushalte in Deutschland nach den oben genannten Konsumstilen ermittelt werden, um die Haushalts-Agenten im Simulationsmodell entsprechend zu verteilen. Tabelle 6-7 enthält das Ergebnis der Mikrozensus-Auswertung. Es zeigt, dass Konsumtyp 7, die „Schlechtgestellten-Überforderten“ mit fast 30 % am häufigsten vertreten ist. Zweitstärkste Gruppe bilden mit ca. 17 % die „Aktiven Seniorinnen und Senioren“ (Konsumtyp 9) gefolgt von den „Ländlich-Traditionellen“ Haushalten (Konsumtyp 6) mit 15 %.

Tabelle 6-7 Häufigkeit der Haushalte in Deutschland nach Konsumtypen

Konsumtyp (Nr.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	2	6	5	12	8	15	29	1	17	5

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis des Mikrozensus 2003.

Basierend auf der Mikrozensus-Auswertung können den Haushalts-Agenten der Beschreibung des Konsumstils folgend die Zustandsvariablen „Einkommen“ und „Alter der Bezugsperson“ zugeordnet werden.

Zur Bewertung der technischen Alternativen können dann den Haushalts-Agenten ihrem Konsumstil entsprechende Bewertungsgewichte zugewiesen werden. Das Investitionsgewicht (β_I) berücksichtigt die Investition, die ein Haushalts-Agent für eine neue Technologie zu tätigen hat. Das Effizienzgewicht (β_E) bezieht sich auf die erzielbaren monetären Einsparungen, die dadurch erreicht werden, dass eine Technologie effizienter im Umgang mit Wasser ist als die vorher genutzte. So wird bspw. einem Haushalts-Agenten vom Typ 1 („Durchorganisierte Ökofamilie“), der durch ein hohes Einkommen und durch eine hohe Umweltorientierung charakterisiert ist, ein niedriges Investitionsgewicht und ein hohes Effizienzgewicht zugeordnet. Das bedeutet, dass ihnen unterstellt wird, dass sie in der Bewertung der Technologie durch das hohe Einkommen die notwendige Investitionssumme eher gering bewerten, durch ihre ausgeprägte Umweltorientierung aber der Effizienzsteigerung eine hohe Bedeutung beimessen (Tabelle 6-8).

In Anlehnung an eine Nutzwertanalyse kann nun jede technologische Alternative durch den Haushalts-Agenten entsprechend seiner Investitions- und Effizienzgewichte bewertet werden. Die Nutzwertanalyse zählt zu den klassischen Verfahren der Multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (Multiple Criteria Decision Analysis – MCDA), insbesondere zu den Multi-Attribut-Verfahren (Multi-Attribute Decision Methods – MADM), bei denen die a priori bekannten Alternativen auf Basis mehrerer Kriterien einander gegenübergestellt werden (Belton, Stewart 2002; Figuera et al. 2005; Zimmermann, Gutsche 1991).

Tabelle 6-8 Investitions- und Effizienzgewicht der umweltbezogenen Haushaltstypen

Umweltbezogener Haushaltstyp (Nr.)	Investitionsgewicht (β_I)	Effizienzgewicht (β_E)
Typ 1	niedrig	hoch
Typ 2	niedrig	mittel
Typ 3	hoch	niedrig
Typ 4	mittel	hoch
Typ 5	hoch	niedrig
Typ 6	mittel	mittel
Typ 7	hoch	niedrig
Typ 8	mittel	mittel
Typ 9	mittel	mittel
Typ 10	niedrig	hoch

Quelle: Eigene Darstellung.

Im Rahmen der Nutzwertanalyse wird durch eine gewichtete Summe der (in der Regel normierten) Kriterienausprägungen der Nutzenwert je Alternative bestimmt:

$$P_i(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot f_j(x_{ij})$$

i Index für Alternativen ($i = 1, \dots, n$)

j Index für Kriterien ($j = 1, \dots, m$)

$P_i(A_i)$ Nutzenwert der Alternative i

w_j Gewichtung des Kriteriums j)

f_j Normierungsfunktion für Kriterium j

x_{ij} Ausprägung des Kriterium j für Alternative i

Die Gewichtung der Kriterien erfolgt entsprechend den Präferenzen des Haushalts. Als Nachteil der Nutzwertanalyse wird häufig angeführt, dass sich gute und schlechte Kriterienausprägungen vollständig gegeneinander kompensieren können. Aufgrund ihrer Transparenz und Nachvollziehbarkeit findet die Nutzwertanalyse in der Praxis dennoch breite Anwendung und wird aus diesen Gründen auch hier für das Konzept der Haushalts-Klasse zugrunde gelegt.

Findet ein Haushalts-Agent bei dem oder den Agenten der Technologieanbieter-Klasse im definierten Radius keine passende Technologie oder ist das ihm zur Verfügung stehende Investitionsbudget zu gering, so verbleibt der Haushalts-Agent bei seiner vorhandenen Technologieausstattung.

Im Allgemeinen findet innerhalb einer Zielgruppe der Kauf einer Innovation zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt. In der Diffusionsforschung werden die Akteure einer Zielgruppe je nach Zeitpunkt, zu dem sie eine Innovation annehmen, in die fünf Adoptortypen Innovatoren, frühe Adoptoren, frühe Mehrheit, späte Mehrheit und Nachzügler kategorisiert und nach ihrem prozentualen Anteil innerhalb der Zielgruppe bestimmt (Rogers 2003). Demnach besteht im Allgemeinen eine solche Zielgruppe zu 2,5 % aus Innovatoren, zu 13,5 % aus frühen Adoptoren, zu 34 % aus einer frühen Mehrheit, zu 34 % aus einer späten Mehrheit und zu 16 % aus Nachzüglern (Tabelle 6-9).

Tabelle 6-9 Adoptortypen innerhalb einer Zielgruppe

Adoptortyp und prozentualer Anteil in einer Zielgruppe	Beschreibung
Innovatoren (2,5 %)	Akteure, die frühzeitig bereit sind, ein neuartiges Produkt auch zu einem noch hohen Preis zu erwerben. Sie sind risikofreudig und meist ohne finanzielle Sorgen. Mögliche negative Folgen der Übernahme einer Innovation werden gut verkraftet.
Frühe Adoptoren (13,5 %)	Akteure, die gut ausgebildet sind und über finanzielle Ressourcen verfügen, die sie ebenfalls in Bezug auf die Adoption einer Innovation veranlassen, eine höhere Unsicherheit zu tolerieren.
Frühe Mehrheit (34 %)	Akteure, die ein neues Produkt, eine Meinung, Verhaltensweise, etc. zu einem frühen Zeitpunkt übernehmen. Die Akteure dieser Gruppe sind gut integriert und sehr aufgeschlossen gegenüber neuen Trends. Sie warten jedoch mit der Übernahme einer Innovation, bis es erfolgreiche Anwendungsbeispiele gibt.
Späte Mehrheit (34 %)	Akteure, die ein Produkt oder eine Idee erst kurz nach der Mehrheit der Mitglieder einer Zielgruppe übernehmen. Sie warten mit der Übernahme einer Innovation, bis es zahlreiche Anwendungen gibt. Ihr Verhalten ist stark von finanziellen Zwängen geprägt. Sie stehen Innovationen eher skeptisch gegenüber.
Nachzügler (16 %)	Akteure, die als Letzte innerhalb einer Zielgruppe eine Innovation übernehmen. Sie berufen sich gerne auf Vergangenes und übernehmen eine Innovation erst, wenn diese schon nicht mehr als solche gilt.

Quelle: Rogers (2003).

Diese Klassifizierung wird auf die Gruppe der Haushalts-Agenten übertragen, so dass neben den oben genannten Zustandsvariablen zur Unterscheidung der Haushalte der Adoptortyp und damit die Bereitschaft, eine Innovation in das eigene Lebensumfeld zu integrieren, hinzukommt. Das bedeutet, dass die Haushalts-Agenten nicht ausschließlich die preisgünstigste alternative Technologie zum Kauf auswählen, sondern dass auch weitere Entscheidungskriterien wie die eigene Innovationsfreudigkeit mit berücksichtigt und abgebildet werden.

Die zum Kauf ausgesuchte Technologie wird in der weiteren Verhaltenskonzeption der Kaufentscheidung der Haushalts-Agenten einer Beurteilung des relativen Vorteils unterzogen. Im Allgemeinen wird der relative Vorteil gemessen in ökonomischem Vorteil, Sozialprestige und Nutzen und ist somit ein Gradmesser für die subjektiv bessere Einschätzung einer Innovation im Vergleich zu ihrem Vorgänger. Im hier entwickelten Simulationsmodell wird das Verhältnis zwischen Investition und Ertrag, d. h. die eingesparten Verbrauchskosten durch die innovative Technologie zur Bestimmung des relativen Vorteils herangezogen (siehe Formel 6-6 in Absatz 6.5.3.2).

Gehört ein Haushalts-Agent zur Gruppe der Innovatoren, so ist er bereit, ein neuartiges umweltfreundliches Produkt auch zu einem noch hohen Preis zu erwerben. Hier wird angenommen, dass die Haushalts-Agenten aus der Gruppe der Innovatoren auch dann eine alternative Technologie kaufen, wenn diese bis zu 25 % teurer ist, als ihm die eingesparten Verbrauchskosten einbringen⁵², also wenn der relative Vorteil $\leq 1,25$ ist.

Auch die Haushalts-Agenten der Gruppe der frühen Adoptoren sind nach Rogers (2003) bereit, eine höhere Unsicherheit bzgl. eines neuartigen Produktes zu tolerieren und einen relativ hohen Preis für dieses zu zahlen. Entsprechend wird für die Haushalts-Agenten der Gruppe der frühen Innovatoren weiter angenommen, dass sie ein innovatives Produkt kaufen, sobald der Ertrag die Investition übersteigt, also wenn der relative Vorteil $< 0,9$ ist.

Akteure der frühen Mehrheit warten nach Rogers (2003) mit der Übernahme einer Innovation, bis es erfolgreiche Beispiele gibt. Daher wird für die Haushalts-Agenten dieser Gruppe angenommen, dass sie das ausgesuchte Produkt kaufen, wenn der erwartete Ertrag deutlich die Investition übersteigt, also wenn der relative Vorteil $< 0,5$ ist.

Gleiches gilt für die Haushalts-Agenten, die der Gruppe der späten Mehrheit bzw. der Nachzügler angehören. Da sie nach Rogers (2003) jedoch mit der Übernahme einer Innovation so lange warten, bis es fertige Anwendungen gibt bzw. bis eine Innovation

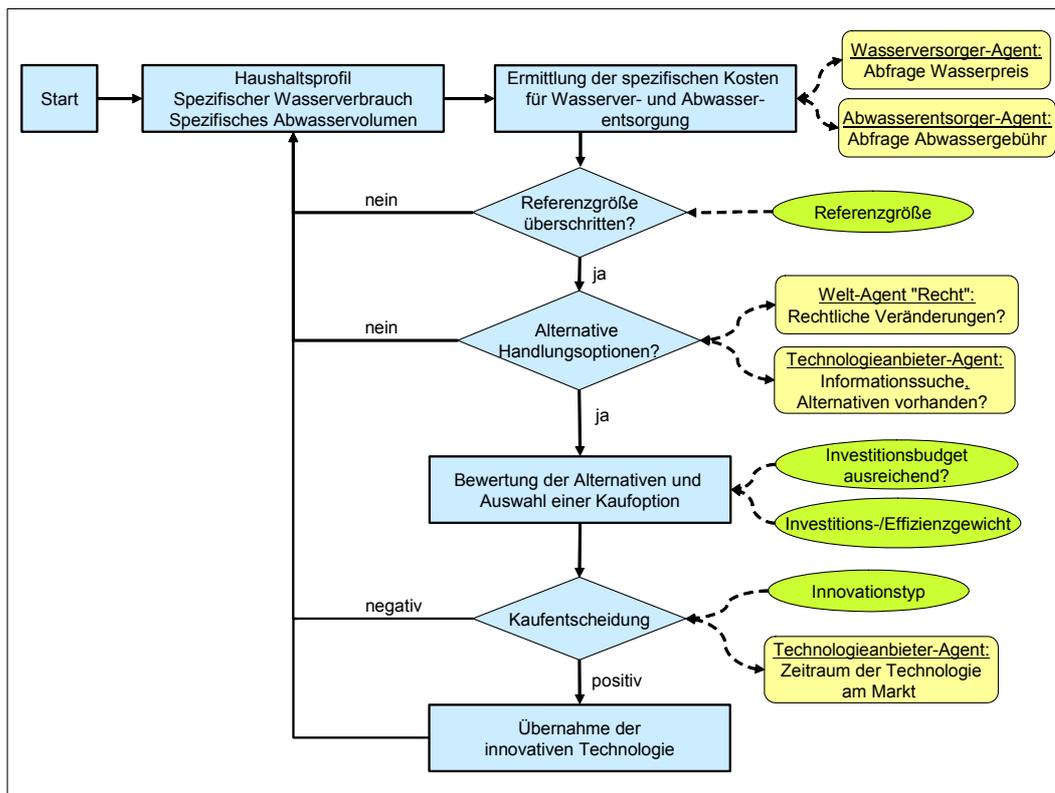
⁵² Bei explizit ökologischeren Produkten im Vergleich zu konventionellen Produkten besteht eine höhere Zahlungsbereitschaft, die aber selten mehr als 20 bis 30 % beträgt (Grieffhammer et al. 2004).

schon nicht mehr als solche gilt, prüfen diese Haushalts-Agenten zusätzlich zum relativen Vorteil auch den Zeitraum, den eine Technologie bereits am Markt ist. Für die Haushalts-Agenten der späten Mehrheit wird angenommen, dass dieser Zeitraum fünf Jahren entspricht. Für die Nachzügler wird ein Zeitraum von acht Jahren angenommen.

Werden diese Bedingungen des relativen Vorteils und der Zeitdauer am Markt nicht erfüllt, so verbleibt der Haushalts-Agent wiederum bei seiner aktuellen technologischen Ausstattung. Andernfalls kommt es zur Adoption der neuen Technologie.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Interaktionen mit Agenten anderer Klassen finden zum einen durch die Abfrage des Wasserpreises bzw. der Abwassergebühr zur Berechnung der spezifischen Wasser- bzw. Abwasserkosten statt. Zum anderen können bei der Suche nach alternativen technischen Handlungsoptionen Interaktionen mit der Welt-Klasse und Agenten der Nischen-Ebene ausgeführt werden. Die Haushalts-Agenten können beim Welt-Agenten „Recht“ die aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen (Existenz des Anschluss- und Benutzungszwangs) erfragen, um diese bei ihrer Entscheidung über die Implementierung alternativer Abwassertechnologien zu berücksichtigen. Die Suche nach alternativen Technologien kann direkt bei den Agenten der Technologieanbieter-Klasse aus dem definierten Radius um ihre eigene Position erfolgen (Abbildung 6-9).



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-9 Konzeption des Regimes – Haushalts-Klasse

6.4.3 Konzeption der Nischen

Technologieanbieter-Klasse

Die Konzeption der Agentenklasse der Technologieanbieter bildet die Existenz von technologischen Nischen in der kommunalen Wasserwirtschaft ab. In diesen Nischen entwickeln und produzieren engagierte Technologieanbieter innovative Produkte zur Wasserver- und Abwasserentsorgung und bieten diese zum Kauf an.

Verhalten und Zustand:

Das Verhalten der Technologieanbieter-Klasse ist wie folgt konzipiert: Jeder Agent dieser Klasse verfügt durch Implementierung der Zustandsvariable „Produktpalette“ über eine Beschreibung der von ihm hergestellten und angebotenen Technologien. Dabei handelt es sich um Technologien, bei deren Benutzung Wasser verbraucht wird (Haushaltsgeräte, Sanitärarmaturen) sowie um Technologien zur de- bzw. semizentralen Entsorgung von Abwasser. Dieser Produktpalette folgend produziert jeder Agent der Technologieanbieter-Klasse Technologien und bietet diese zum Kauf an. Die Produkte können als Ressourcenobjekte konzipiert werden, deren Zustandsvariablen die

Merkmale der verschiedenen Produkte, wie bspw. Funktion, Preis oder Verbrauchswerte, enthalten.

In der weiteren Konzeption nimmt jeder Technologieanbieter-Agent einen Vergleich der angebotenen Technologien mit seiner Produktpalette vor. Stellt sich bei diesem Vergleich heraus, dass durch Verkauf eine oder mehrere Technologien aus der Produktpalette im Angebot fehlt bzw. fehlen, so werden diese wieder im Angebot ergänzt, so dass zu jeder Zeit alle Technologien aus der Produktpalette zum Verkauf bereit stehen.

Die Produktion bzw. Nachproduktion der Technologien aus der Produktpalette ist notwendig, damit auch die Haushalts-Agenten aus der Gruppe der späten Mehrheit sowie der Nachzügler Technologien zum Kauf finden, in die sie nach ihrem Verhaltensschema investieren können. Wäre an dieser Stelle keine Nachproduktion konzipiert, bestünde die Möglichkeit, dass die Haushalts-Agenten der übrigen Adoptortypen bereits alle Technologien aufgekauft hätten und zum Kaufzeitpunkt der Haushalts-Agenten vom Typ späte Mehrheit bzw. Nachzügler nur solche Innovationen angeboten würden, die von ihnen aufgrund des zu kurzen Zeitraums am Markt nicht gekauft werden, so dass sie nie eine Technologie kaufen könnten. Genauso überprüft jeder Technologieanbieter-Agent über die Zustandsvariablen „Entwicklungsjahr“ und „Marktaustritt“ unter Abfrage des aktuellen Modelljahrs das Alter seiner angebotenen Produkte und entsorgt ggf. veraltete Modelle, damit diese den Haushalts-Agenten nicht mehr zum Kauf angeboten werden. Anschließend aktualisiert er seine Produktpalette, damit diese veralteten Technologien auch nicht mehr nachproduziert werden. Auf diese Weise lässt sich die Diffusion verschiedener Technologien nachbilden.

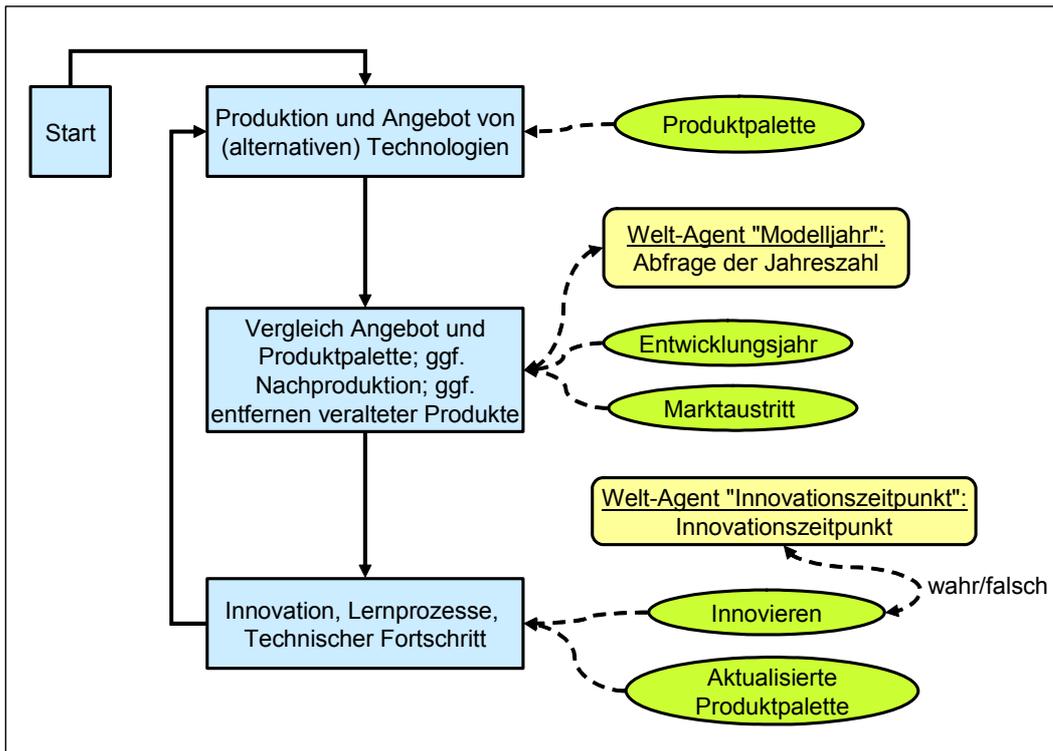
Darüber hinaus kann in der Agentenklasse der Technologieanbieter technologisches Lernen implementiert werden, indem die Technologieanbieter-Agenten zu definierten Zeitpunkten ihre Zustandsvariable „Produktpalette“ mit Werten neuer, verbesserter Produkte aktualisieren. Ab diesem Zeitpunkt werden dann im weiteren Simulationsverlauf diese verbesserten Technologien hergestellt und zum Kauf angeboten.

Interaktionen mit anderen Agenten-Klassen:

Die zeitliche Vorgabe des technischen Fortschritts kann über einen weiteren Agenten erfolgen, den Welt-Agenten „Innovationszeitpunkt“, der die Zustandsvariable „Innovieren“ des Technologieanbieter-Agenten zu diesen definierten Zeitpunkten auf „wahr“ setzt, so dass die Variable „Produktpalette“ nun durch eine Produktpalette mit verbesserten Technologiewerten aktualisiert wird.

Diese Interaktion zwischen dem Welt-Agent „Innovationszeitpunkt“ und dem Technologieanbieter-Agent, die zu festgelegten Zeitpunkten eine definierte Entwicklung des

technischen Fortschritts determiniert, eröffnet grundsätzlich die Möglichkeit, weitere Interaktionen bspw. zwischen Agenten des Regimes und der Nische, die zu anderen Verlaufsformen des technischen Fortschritts führen, abzubilden. Als weitere Einflussgrößen auf den technischen Fortschritt können bspw. der Handlungsdruck, der im Regime durch klimatische oder rechtliche Veränderungen wirkt, mit aufgenommen werden. Die Implementierung der unterschiedlichen Verläufe des technischen Fortschritts erfolgt dann in verschiedenen Modellsituationen (Abbildung 6-10).

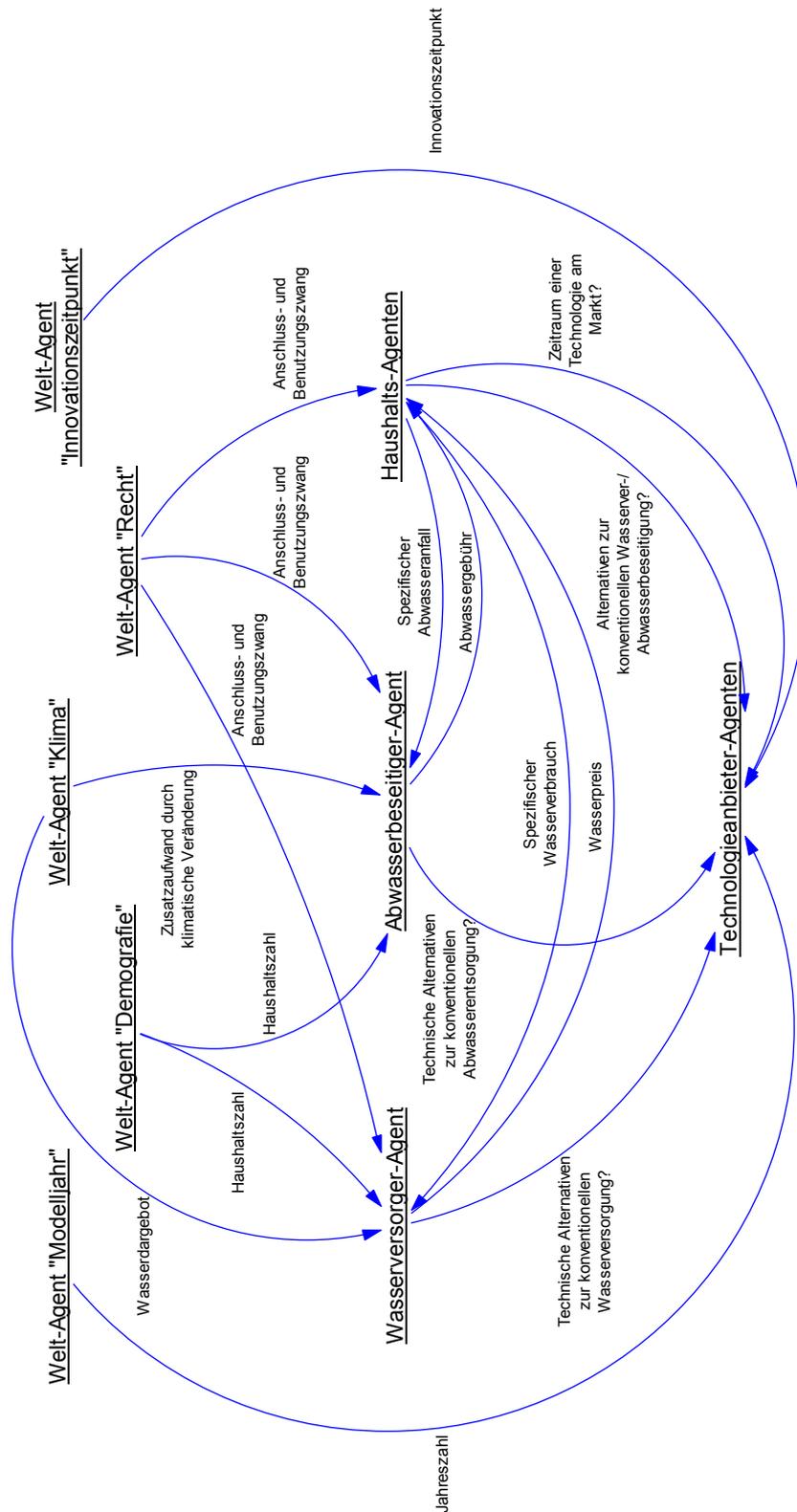


Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-10 Konzeption der Nische – Technologieanbieter-Klasse

6.4.4 Zusammenfassende Darstellung des Konzepts

Abbildung 6-11 zeigt das Gesamtkonzept des Simulationsmodells zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft. Die Pfeilverbindungen zwischen den Agenten der Systemumwelt, des Regimes und der Nische illustrieren die Zusammenhänge und Interaktionen, die zwischen den verschiedenen Agenten bestehen. Im nachfolgenden Kapitel 6.5 wird auf die Umsetzung des Modellkonzepts in ein Simulationsmodell eingegangen.



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6-11 Gesamtansicht Modellkonzept – Interaktionen zwischen Welt, Regime und Nische.

6.5 Umsetzung des Modellkonzepts in ein Simulationsmodell

Die Umsetzung des Modellkonzepts in ein Simulationsmodell fokussiert auf die für einen Transformationsprozess in der kommunalen Wasserwirtschaft zentralen Aspekte. Daher werden gegenüber der Modellkonzeption einige Vereinfachungen durchgeführt, die zu einer geringeren Komplexität des Simulationsmodells führen, gleichzeitig aber die relevanten Impulse für einen Transformationsprozess abbilden können.

Den Kern des Simulationsmodells stellt die Abwasserentsorgung dar, da in diesem Bereich die Diskussion über das Für und Wider einer Dezentralisierung wesentlich intensiver geführt wird, als dies in der Wasserversorgung momentan geschieht. Auf eine detaillierte Abbildung des Wasserversorgungs-Agenten wird daher verzichtet.

Die Produktliste der Technologieanbieter umfasst neben Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen ausschließlich Kleinkläranlagen, da diese für einen Transformationsprozess im Bereich der Abwasserentsorgung besonders relevant sind. Nicht betrachtet werden dagegen Anlagen zum Recycling von Grauwasser, die im Bereich der Wasserversorgung als Impulsgeber für Transformationsprozesse relevant sein können.

Die Entscheidung der Haushalts-Agenten für oder wider den Kauf einer innovativen Technologie beruht auf seinem Adoptortyp und der Berechnung des relativen Vorteils, den er mit dem Kauf der Technologie erzielen kann. Darüber hinaus wird unterstellt, dass das Investitionsbudget aller Haushalts-Agenten immer ausreichend ist. Auf Grund der implementierten Technologien führt eine Berücksichtigung der Effizienz- und Investitionsgewichte der Haushalte zu keinem abweichenden Ergebnis im Vergleich zur Bewertung anhand des relativen Vorteils. Zur Vereinfachung der Berechnung wird daher auf die Berechnung der jeweiligen Nutzwerte verzichtet.

Klimatische Veränderungen werden im Simulationsmodell nicht explizit über einen Welt-Agenten abgebildet, sondern implizit bei den verfügbaren alternativen Technologien berücksichtigt. Es existieren zwei Varianten mit hoher bzw. mit niedriger Umweltpriorität. Der Variante der niedrigen Umweltpriorität liegt die Annahme zugrunde, dass klimatische Veränderungen nur in geringem Maße stattfinden und kaum merkbare Auswirkungen im Abwasserentsorgungsgebiet nach sich ziehen. Im Fall der hohen Umweltpriorität wird angenommen, dass Umweltaspekten beim Verbrauch von Wasser eine hohe Bedeutung beigemessen wird, da klimatische Veränderungen starke Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft ausüben. Diesen beiden Varianten folgend verläuft der technische Fortschritt bei wasserbezogenen Technologien entsprechend langsamer bzw. schneller.

6.5.1 Räumlicher Bilanzraum

Wie die Analyse der rechtlichen Aspekte innovativer Wasserinfrastrukturkonzepte in Abschnitt 3.4.2 gezeigt hat, sind zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft insbesondere bereits erschlossene Wasserver- und Abwasserentsorgungsgebiete interessant. Das zur Analyse von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft entworfene Gebiet stellt daher ein städtisch strukturiertes Wasserver- und Abwasserentsorgungsgebiet dar. Da technische und ökonomische Daten meist von größeren Städten verfügbar sind, umfasst das Untersuchungsgebiet 200.000 Haushalte, was bei einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von 2,07 Personen einer Anzahl von 414.000 Einwohnern entspricht⁵³. Diese 200.000 Haushalte werden durch 100 Haushalts-Agenten repräsentiert. Die Entwickler und Anbieter von Technologien werden durch vier Agenten der Klasse der Technologieanbieter repräsentiert. Neben ihnen werden keine anderen Industrie- bzw. Gewerbetreibende Unternehmen abgebildet. Der Abwasseranfall der Technologieanbieter-Agenten wird nicht berücksichtigt, so dass das gesamte entstehende Abwasser den Haushalts-Agenten zuzuordnen ist. Im Untersuchungsgebiet ist ein Abwasserentsorgungsunternehmen tätig, das durch einen Agenten repräsentiert ist. Er betreibt ein Kanalisationssystem von ca. 1.100 km Länge sowie eine zentrale Kläranlage zur Reinigung der anfallenden Abwässer. Es besteht Anschluss- und Benutzungszwang, so dass alle Haushalts-Agenten des Untersuchungsgebiets an die Kanalisation und Kläranlage des Abwasserentsorger-Agenten angeschlossen sind.

In den folgenden Abschnitten werden die Formalisierungen gezeigt, die für die Abbildung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft besonders interessant sind, da mit ihnen die Rahmenbedingungen implementiert sind, die im Verlauf eines Transformationsprozesses auf das System der kommunalen Wasserwirtschaft einwirken und es so in seiner Fortführung und Entwicklung beeinflussen.

6.5.2 Formalisierungen der Systemumwelt

6.5.2.1 Welt-Agent „Modelljahr“

Zu Beginn der Simulation generiert der Welt-Agent „Modelljahr“ im Simulationsmodell 100 Haushalts-Agenten, die die heterogene Haushaltspopulation darstellen (vgl. Abschnitt 6.4.2). Jeder Haushalts-Agent repräsentiert 2.000 Haushalte, somit ergibt sich eine Population von 200.000 Haushalten. Im Anhang (Seite 265) werden die Häufigkei-

⁵³ Die im Weiteren verwendeten technischen und ökonomischen Größen basieren auf den Daten einer Großstadt in Baden-Württemberg.

ten und Eigenschaften der im Simulationsmodell abgebildeten Haushalts-Agenten zusammenfassend dargestellt.

Die Typisierung der Haushalts-Agenten nach der Haushaltsgröße entspricht der prozentualen Verteilung der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahr 2004 (Statistisches Bundesamt 2005). Das heißt, dass 37 Einpersonen-Haushalts-Agenten, 34 Zweipersonen-Haushalts-Agenten, 14 Dreipersonen-Haushalts-Agenten und 15 Vierpersonen-Haushalts-Agenten generiert werden.

Die Zuordnung der Konsumstile zu den Haushalts-Agenten orientiert sich an dem Ergebnis der Mikrozensus-Auswertung (siehe Tabelle 6-7), aus dem hervorgeht, wie viele Haushalte es prozentual pro Konsumstil in Deutschland gibt. Diese Verteilung wird auf die Haushalts-Agenten des Simulationsmodells übertragen und ist in Tabelle 6-10 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6-10 Häufigkeit und Verteilung der Konsumstile

Konsumstil	Anzahl der Haushalts-Agenten	Anzahl der repräsentierten Haushalte im Simulationsmodell
Durchorganisierte Ökofamilie	2	4.000
Kinderlose Berufsorientierte	6	12.000
Junge Desinteressierte	5	10.000
Alltagskreative	12	24.000
Konsumgenervte	8	16.000
Ländlich-Traditionelle	15	30.000
Schlechtgestellte Überforderte	29	58.000
Unauffällige Familie	1	2.000
Aktive Seniorinnen und Senioren	17	34.000
Statusorientierte Privilegierte	5	10.000
Summe	100	200.000

Quelle: Eigene Darstellung.

In Anlehnung an die Typisierung der Haushalte nach Konsumstilen, bei der auch das Alter der Bezugsperson des Haushalts eine Rolle spielt (siehe Tabelle 6-6), gehören 23 % der Haushalts-Agenten einer jungen Bevölkerungsgruppe, 41 % einer mittleren Bevölkerungsgruppe und 36 % einer älteren Bevölkerungsgruppe an. Dies entspricht einer Anzahl von 46.000, 82.000 bzw. 72.000 repräsentierten Haushalten im Simulationsmodell (Tabelle 6-11).

Tabelle 6-11 Altersstruktur der Haushalts-Population im Simulationsmodell

Charakteristische Altersgruppe	Anzahl Haushalts-Agenten	Anzahl repräsentierter Haushalte im Simulationsmodell
Jung	23	46.000
Mittel	41	82.000
Alt	36	72.000
Summe	100	200.000

Quelle: Eigene Darstellung.

Über die Beschreibung der Konsumstile ergibt sich ebenfalls eine Zuordnung des Einkommens der Haushalte. Tabelle 6-12 zeigt das Nettoeinkommen nach Haushaltsgruppen aus dem Jahr 2004 (Statistisches Bundesamt 2006I). Diese Werte werden herangezogen, um den Haushalts-Agenten im Simulationsmodell Werte für ihre Zustandsvariable des Nettoeinkommens zuzuordnen. Ein hohes Einkommen entspricht dabei den Werten der Haushaltsgruppe der Selbstständigen, ein mittleres Einkommen den Werten der Angestellten und Beamten-Haushaltsgruppe und ein niedriges Einkommen den Werten der Haushaltsgruppe der Arbeiter und Nichterwerbstätigen.

Tabelle 6-12 Nettoeinkommen nach Haushaltsgruppen

Haushaltsgruppe	Single [€/Haushalt]	Zweipersonen [€/Haushalt]	Dreipersonen [€/Haushalt]	Vier und mehr Personen [€/Haushalt]
Selbständige	74.400	103.900	99.800	112.700
Beamte	24.700	44.800	49.700	54.900
Angestellte	22.700	41.100	46.900	54.200
Arbeiter	16.900	29.200	35.500	39.500
Nichterwerbstätige	14.000	24.400	31.500	37.700

Quelle: Statistisches Bundesamt (2006I).

Die Anzahl der Adoptortypen innerhalb der Haushaltspopulation orientiert sich an der charakteristischen Verteilung von Adoptoren innerhalb einer Zielgruppe von Rogers (2003) (siehe Tabelle 6-9). Das bedeutet, dass in der Haushaltspopulation insgesamt 8.000 Innovatoren-Haushalte, 26.000 Haushalte, die zu den frühen Adoptoren zählen, 66.000 Haushalte der frühen Mehrheit, 70.000 Haushalte der späten Mehrheit und 30.000 Haushalte, die der Gruppe der Nachzügler zugeordnet werden, repräsentiert werden (Tabelle 6-13). Für diese Zuordnung wird die von Rogers (2003) dargestellte Kopplung von Einkommensverhältnissen und Innovationsfreudigkeit in der Beschreibung der Adoptortypen (siehe Tabelle 6-9) berücksichtigt.

Tabelle 6-13 Verteilung der Adoptortypen in der Haushaltspopulation des Simulationsmodells

Haushaltstyp	Summe	Innovatoren	Frühe Adoptoren	Frühe Mehrheit	Späte Mehrheit	Nachzügler
Single	37	2.000	10.000	24.000	26.000	12.000
Zweipersonen	34	2.000	10.000	22.000	24.000	10.000
Dreipersonen	14	2.000	2.000	10.000	10.000	4.000
Vier und mehr Personen	15	2.000	4.000	10.000	10.000	4.000
Summe repräsentierter Haushalte	200.000	8.000	26.000	66.000	70.000	30.000
Summe Haushalts-Agenten	100	4	13	33	35	15

Quelle: Eigene Darstellung.

6.5.2.2 Welt-Agent „Demografie“

Die Umsetzung der demografischen Veränderungen erfolgt durch Löschung bzw. zusätzliche Generierung bestimmter Haushalts-Agenten durch den Welt-Agenten „Demografie“. Die demografischen Veränderungen im Simulationsmodell orientieren sich dabei zum einen an der Veränderung der Altersstruktur, wie sie von den Statistischen Ämtern des Bundes und der Länder (2007) vorausberechnet wurden (vgl. Tabelle 3-11). Zum anderen wird die Zustandsvariable „Größe“ (Personenzahl) beim Löschen der Haushalts-Agenten miteinbezogen (vgl. Tabelle 3-12). So wird einerseits die Veränderung im Altersaufbau durch den demografischen Wandel mit einer Verschiebung zu älteren Personen sowie die Entwicklung der Privathaushalte mit dem Trend zu kleineren Haushalten im Simulationsmodell berücksichtigt.

Die Vorausberechnungen der Statistischen Ämter des Bundes und Länder werden im Modell bis zum Jahr 2030 fortgeführt. Konkret bedeutet dies, dass im Modellzeitraum von 2005 bis 2030 die Anzahl der Haushalte aus der jungen Altersgruppe (bis 20 Jahre) um ca. 35 % von 46.000 auf 30.000 abnimmt. Dies entspricht einer jährlichen Reduktion von 640 jungen Haushalten. Die Anzahl der Haushalte der mittleren Altersgruppe (20 bis 65 Jahre) nimmt insgesamt um ca. 25 % von 82.000 auf 62.000 ab, was einer jährlichen Reduktion von 800 Haushalten entspricht. Dabei werden jeweils nur solche Haushalts-Agenten zum Löschen ausgewählt, die keine Single- oder Zweipersonenhaushalte sind. Die Anzahl der Haushalte aus der älteren Altersgruppe (über 65 Jahre) nimmt hingegen zu, und zwar um etwa 70 % von 72.000 im Jahr 2005 auf 122.000 im Jahr 2030. Dies entspricht einer jährlichen Zunahme von 2.000 Haushalten.

Die Haushaltspopulation im Simulationsmodell wird somit nicht nur älter, die Anzahl der repräsentierten Haushalte nimmt auch insgesamt um ca. 7 % zu und vergrößert sich von 200.000 in 2005 auf 214.000 in 2030. Dies entspricht einer jährlichen Zunahme von 560 Haushalten, wobei durch die Berücksichtigung der Haushaltsgröße beim Löschen bzw. Duplizieren der Haushalte die durchschnittliche Haushaltsgröße abnimmt (Tabelle 6-14).

Tabelle 6-14 Verlauf des demografischen Wandels im Simulationsmodell

Altersgruppe	Anzahl re-präsentierter Haushalte in 2005	Veränderung bis 2030 [%]	Veränderung bis 2020 absolut	Anzahl re-präsentierter Haushalte in 2020	Jährliche Zu- bzw. Abnahme absolut
Bis 20 Jahre	46.000	-35	-16.000	30.000	-640
20 bis 65 Jahre	82.000	-25	-20.000	62.000	-800
Über 65 Jahre	72.000	+70	+50.000	122.000	+2.000
Summe Haushalte	200.000	+7	+5.200	214.000	+560

Quelle: Eigene Darstellung.

6.5.2.3 Welt-Agent „Recht“

Die Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwangs kann im Simulationsmodell flexibel gesetzt werden, bspw. auf das Jahr 2020. Beginnt im Simulationsmodell das für die Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwangs festgelegte Jahr, so wird die Zustandsvariable „Anschluss- und Benutzungszwang“ des Welt-Agenten „Recht“ auf den Wert „*falsch*“ gesetzt, so dass der bisher geltende Anschluss- und Benutzungszwang aufgehoben ist. Unter diesen neuen rechtlichen Rahmenbedingungen können nun auch neue Akteure auf den Markt um Wasserdienstleistungen eintreten.

6.5.3 Formalisierungen des Regimes

6.5.3.1 Abwasserentsorger-Agent

Die kommunalen Abwasserentsorgungsunternehmen tragen mit ihren Entscheidungen über die Struktur der Abwasserentsorgung im Entsorgungsgebiet erheblich zu der Entwicklung von Transformationsprozessen bei. Im Folgenden ist die Formalisierung des Abwasserentsorger-Agenten hinsichtlich seines Entscheidungsprozesses bzgl. der Struktur seines Abwasserinfrastruktursystems dargestellt.

Die Ermittlung der jährlich angefallenen Abwassermenge erfolgt durch Abfrage und Addition der Zustandsvariablen „spezifischer Gesamtwasserverbrauch“ eines jeden Haushalts-Agenten durch den Abwasserentsorger-Agenten.

Grundsätzlich wird bei der Erhebung der Kosten der Abwasserentsorgung zwischen Kosten für den Transport des Abwassers in der Kanalisation und Kosten für die Abwasserreinigung in der Kläranlage unterschieden. Die im Simulationsmodell implementierten Gesamtkosten der Abwasserentsorgung entsprechen einer Stadt mit ca. 400.000 Einwohnern und betragen ca. 26 Mio. €. Dabei nehmen die Kosten für den Transport des Abwassers 53 % und die Kosten für die Abwasserreinigung 47 % der Gesamtkosten ein (Tabelle 6-15).

Tabelle 6-15 Kosten der Abwasserentsorgung im Simulationsmodell

Kostengröße	€/Jahr
Personalkosten Kanalisation	3.433.700
Sachkosten Kanalisation	2.641.300
Kalkulatorische Kosten Kanalisation	7.924.000
Summe Transport	13.999.000
Personalkosten Abwasserreinigung	2.377.200
Sachkosten Abwasserreinigung	4.490.200
Kalkulatorische Kosten Abwasserreinigung	5.546.700
Summe Reinigung	12.414.100
Gesamtkosten der Abwasserentsorgung	26.413.100

Quelle: Maurer (2006).

Auf Basis der Kostenberechnung erfolgt die Ermittlung der Abwassergebühr in €/m³ durch Division der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung und der erhaltenen Abwassermenge.

Zum anschließenden Abgleich der ermittelten Abwassergebühr mit einer sozialverträglichen Höhe ist eine Gebührengrenze festzulegen. Im Allgemeinen wird bei Gesamtkosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung von 120 bis 250 € pro Kopf und Jahr von einer Sozialverträglichkeit der Tarife ausgegangen (Rothenberger 2003). Die durchschnittlichen Wasserpreise werden mit 1,85 €/m³ angesetzt, die durchschnittlichen Abwassergebühren mit 2,28 €/m³. Damit entsprechen die Wasserpreise ca. 45 % und die Abwassergebühren ca. 55 % der Gesamtkosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung. Die durchschnittlichen Gesamtkosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung liegen dann bei einem durchschnittlichen Verbrauchswert von 126 Liter pro Kopf und Tag bei ca. 190 € im Jahr.

Die oben genannte Grenze der Sozialverträglichkeit von 250 € pro Kopf und Jahr wird bei einem Anstieg der Tarife um 30 % erreicht. Die Gesamtkosten der Wasserver- und

Abwasserentsorgung pro Kopf und Jahr liegen somit bei 253 €, dies entspricht einem Wasserpreis von ca. 2,5 €/m³ Trinkwasser und einer Abwassergebühr von ca. 3,0 €/m³ Abwasser.

Ist die ermittelte Abwassergebühr kleiner als die genannte sozialverträgliche Gebührengrenze, so erhebt der Abwasserentsorger-Agent die Einnahmen im zentralen System. Ist die ermittelte Abwassergebühr höher als die festgelegte Gebührengrenze, so erfolgt die Suche nach alternativen technischen Möglichkeiten der Abwasserentsorgung.

Dem Abwasserentsorger-Agenten stehen dabei im Simulationsmodell folgende technische Alternativen zur Auswahl (Tabelle 6-16). Auf Basis dieser Lösungen berechnet er die Kosten der Abwasserentsorgung, die bei Umsetzung dieser Alternativen entstehen.

Tabelle 6-16 Alternative Abwassertechnologien im Simulationsmodell – Kosten je Anlage

Anlagengröße [Einwohner]	4	10	25	50
Summe Investition [€]	5.500,0	10.300	19.000	32.500
Summe Betriebskosten [€/a]	440,0	740	1.675	3.000
Investition [€/EW]	1.375,0	1.030	760	650
Betriebskosten [€/EW*a]	110,0	74	67	60

Quelle: Fraunhofer ISI (2000), Siegl, Löffler (2008).

Zunächst ermittelt der Abwasserentsorger-Agent die annualisierte Investition dieser alternativen Möglichkeiten der Abwasserentsorgung (Formel 6-1):

Formel 6-1 Berechnung annualisierte Investition einer alternativen Abwasserentsorgung

$$\text{Annualisierte Investition}_{\text{alternative Lösung}} = \text{Investition}_{\text{alternative Lösung}} \frac{i^*(1+i)^t}{1-(1+i)^t}$$

Legende:

t = Nutzungsdauer = 20 Jahre

i = Zinssatz 6,5 %

Die annualisierten Kosten einer alternativen Abwasserentsorgung werden dann nach Formel 6-2 berechnet:

Formel 6-2 Berechnung annualisierte Kosten einer alternativen Abwasserentsorgung

$$\text{Annual. Kosten}_{\text{alternative Lösung}} = \text{Betriebskosten}_{\text{alternative Lösung}} + \text{Annual. Investition}_{\text{alternative Lösung}}$$

Schließlich kalkuliert der Abwasserentsorger-Agent die Gebühren der alternativen Abwasserentsorgung (Formel 6-3):

Formel 6-3 Berechnung der Abwassergebühr einer alternativen Abwasserentsorgung

$$\text{Abwassergebühr}_{\text{alternative Lösung}} = \frac{\text{Betriebskosten}_{\text{alternative Lösung}} + \text{Annual. Investition}_{\text{alternative Lösung}}}{\text{Abwassermenge pro Haushalt}}$$

Sobald eine akzeptable Höhe der Abwassergebühr erreicht wird, wird die ausgewählte technische Alternative der Abwasserentsorgung umgesetzt. Dies bedeutet, dass im Simulationsmodell ein Transformationsprozess des zentralen Systems der Wasserver- und Abwasserentsorgung einsetzt.

6.5.3.2 Haushalts-Agenten

Hinsichtlich der Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft sind im Falle der Haushalts-Agenten zwei Aspekte interessant. Erstens die Bewertung der technologischen Alternativen, die ihnen zu den bereits bei ihnen installierten Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen von den Agenten der Technologieanbieter-Klasse angeboten werden. Zweitens ihr Entscheidungsverhalten beim Kauf dieser innovativen Technologien, da sich die Diffusion wassereffizienter Haushaltsgeräte und Sanitärtechnik auf das Funktionieren der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen auswirkt und somit Handlungsdruck auf andere Akteure des Regimes ausübt.

Im Folgenden ist die technologische Ausstattung mit den wasserbrauchenden Technologien der Haushalts-Agenten aufgezeigt. Ausgehend von diesen Technologien erfolgt die Bewertung von alternativen Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen.

Technologische Ausstattung der Haushalts-Agenten (Ausgangssituation)

Der heute in Haushalten installierte Bestandsdurchschnitt von Waschmaschinen weist einen Wasserverbrauch von 12 Liter pro kg Nennfüllung⁵⁴ auf (Rüdenauer, Grieshammer 2004). Dieser Bestandsdurchschnitt wird auf das Simulationsmodell übertragen, so dass die den Haushalts-Agenten zugeordneten Waschmaschinen einen Was-

⁵⁴ Hier wird eine Nennfüllung von 5 kg zugrunde gelegt.

serverbrauch von 60 Liter Wasser pro Waschgang repräsentieren. Entsprechend wird im Falle von Geschirrspülmaschinen vorgegangen. Der Wasserverbrauch eines durchschnittlichen Geschirrspülers des vorhandenen Bestandes liegen bei etwas 19 Liter Wasser pro Spülgang (Grießhammer et al. 2004). Die den Haushalts-Agenten zugeordneten Geschirrspülmaschinen weisen einen entsprechenden Wasserverbrauch pro Spülgang auf.

Die im heutigen Bestand überwiegend installierten Toilettenspülungen weisen einen durchschnittlichen Wasserverbrauch pro Spülung von ca. 12 Liter auf (Böhm et al. 2002). Die bei den Haushalts-Agenten repräsentierten Toilettenspülungen entsprechen diesen Verbrauchswerten. Im Falle von Duscharmaturen wird den Haushalts-Agenten ein durchschnittlicher Verbrauchswert von ca. 50 Liter pro Duschkvorgang zugeordnet (Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft 2003) .

Tabelle 6-17 Technologische Ausstattung der Haushalts-Agenten und durchschnittliche Verbrauchswerte

Technologische Ausstattung	Durchschnittlicher Wasserverbrauch
Waschmaschine	60 Liter pro Waschgang
Geschirrspülmaschine	12 Liter pro Spülgang
Toilettenspülung	12 Liter pro Spülung
Duscharmatur	50 Liter pro Duschkvorgang

Quellen: Böhm et al. (2002), Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2003), Rüdener, Grießhammer (2004), Grießhammer et al. (2004).

Formalisierung der Bewertung technischer Alternativen

Jedem Haushalts-Agent sind alle potenziellen Technologien, die zum Kauf zur Verfügung stehen, bekannt. Es wird unterstellt, dass das Investitionsbudget der Haushalte immer ausreichend ist. In die folgende Kaufentscheidung fließt ausschließlich das Innovationsverhalten ein. Dies wird über die Berücksichtigung des relativen Vorteils realisiert. Zur Berechnung des relativen Vorteils werden zunächst der Rentenbarwertfaktor (RBF) und daraus die Annuität der alternativen Technologie berechnet (Formel 6-4 und Formel 6-5).

Formel 6-4 Berechnung des Rentenbarwertfaktors (RBF) einer alternativen Technologie

$$\text{RBF} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Legende:

i = Kapitalzinssatz

n = Lebensdauer der ausgesuchten Technologie [a]

Formel 6-5 Berechnung der Annuität

$$\text{Annuität [€]} = \frac{\text{Investition [€]}}{\text{RBF}}$$

Der relative Vorteil, den ein Haushalts-Agent mit dem Kauf einer alternativen Technologie erzielen kann, wird dann nach Formel 6-6 berechnet.

Formel 6-6 Berechnung des relativen Vorteils einer alternativen Technologie

$$\text{RV} = \frac{\text{Annuität}}{\text{TwP} * (V_{\text{T aktuell}} - V_{\text{T alternativ}})}$$

Legende:

RV = Relativer Vorteil

TwP = Trinkwasserpreis [€/m³]

 $V_{\text{T aktuell}}$ = Wasserverbrauch der aktuell genutzten Technologie [m³ pro Nutzung und Jahr] $V_{\text{T alternativ}}$ = Wasserverbrauch der alternativen Technologie [m³ pro Nutzung und Jahr]

Es kommt dann zum Kauf der alternativen Technologie, wenn der hier berechnete Wert des relativen Vorteils gleich bzw. kleiner ist als der dem jeweiligen Adoptortyp zugeordnete Wert für den relativen Vorteil. Gegebenenfalls wird der Zeitraum der Technologie am Markt bei der Kaufentscheidung mitberücksichtigt.

6.5.4 Formalisierungen der Nischen

Bei den Agenten der Technologieanbieter-Klasse ist insbesondere die Implementierung des technisch-ökonomischen Wandels interessant, da die technischen Innovationen den zukünftigen Wasserverbrauch und somit Abwasseranfall der Haushalte beeinflussen und sich so auf die Funktionsfähigkeit des zentralen Systems der Abwasserentsorgung und dessen weitere Entwicklung auswirken. Dabei ist die Diffusion der im Wasserverbrauch verbesserten Technologien unter anderem von deren Kosten abhängig.

Für den Verlauf des technischen Wandels werden zwei Varianten unterstellt, die sich durch eine geringe bzw. hohe Priorisierung von Umweltaspekten unterscheiden. Die erste Variante des technischen Wandels bei einer eher niedrigen Umweltpriorisierung basiert auf der Annahme, dass klimatische Veränderungen nur in geringem Maße stattfinden und kaum merkbare Auswirkungen im Abwasserentsorgungsgebiet nach sich

ziehen. Aufgrund des geringen Handlungsdrucks werden nur geringe technische Fortschritte hinsichtlich der Wassereffizienz der Technologien erreicht, da in Bezug auf die Innovationsintensität keine besonderen Impulse erwartet werden. Die produzierten und abgesetzten Stückzahlen bleiben entsprechend gering, daher fallen die Effekte auf die Preisentwicklung ebenfalls gering aus.

Die Variante einer hohen Umweltpriorisierung basiert auf der Annahme einer hohen Bedeutung von Umweltaspekten, die als Reaktion auf starke Auswirkungen von klimatischen Veränderungen gilt. Aus dieser Priorisierung heraus findet technischer Fortschritt von Wassertechnologien mit einer hohen Intensität statt. Dabei erhalten insbesondere solche Technologien, die für die Herausforderungen der oben genannten veränderlichen Rahmenbedingungen Lösungen bieten (Kleinkläranlagen), starke Impulse zur technologischen Weiterentwicklung durch Lerneffekte. Durch höhere Absatzzahlen werden zudem deutliche Preisreduktionen bei den Technologien erzielt.

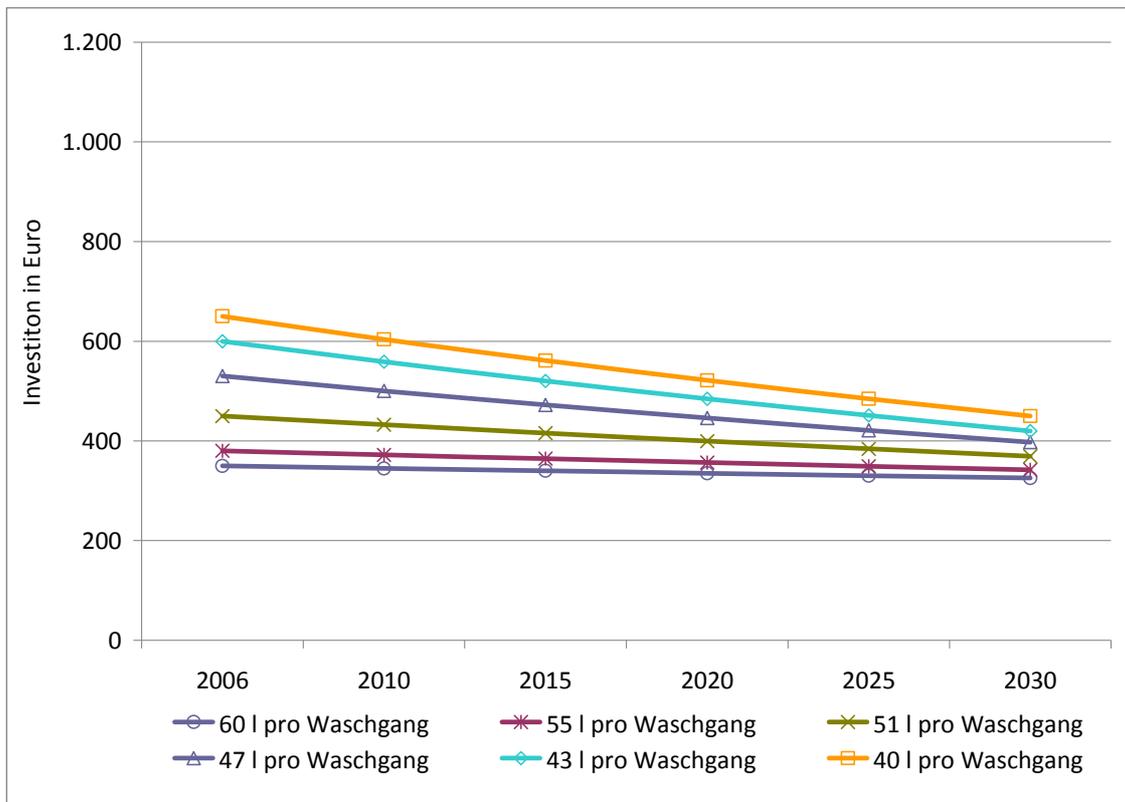
6.5.4.1 Technischer Wandel – Niedrige Umweltpriorität

Unter der Annahme einer niedrigen Umweltpriorität ergeben sich für die einzelnen Technologien folgende Entwicklungstendenzen:

Waschmaschinen

Der Wasserverbrauch der heute im Bestand installierten Waschmaschinen liegt bei etwa 60 Liter pro Nutzung. Diese Waschmaschinen liegen im unteren Preissegment und werden für durchschnittlich 350 € angeboten.

Für das Szenario einer niedrigen Umweltpriorität wird angenommen, dass die beste Technologie einen Wasserverbrauch realisiert, der bei etwa 8 Liter Wasser pro kg Nennfüllung liegt. Waschmaschinen dieser Art werden heute für durchschnittlich 650 € angeboten, ein Preis, der bis zum Jahr 2030 auf etwa 450 € sinken dürfte (Fraunhofer ISI 2005). Zwischen diesen beiden Enden der Bandbreite der technologischen Entwicklung lassen sich dann weitere Waschmaschinentypen bestimmen, deren Verbrauchsgrößen zwischen 55 und 43 Liter pro Waschgang liegen. Die Preise für solche Maschinen liegen heute zwischen 380 und 600 €. Es wird erwartet, dass die Preise dieser Waschmaschinentypen im Jahr 2030 zwischen 340 und 420 € liegen werden (Abbildung 6-12).

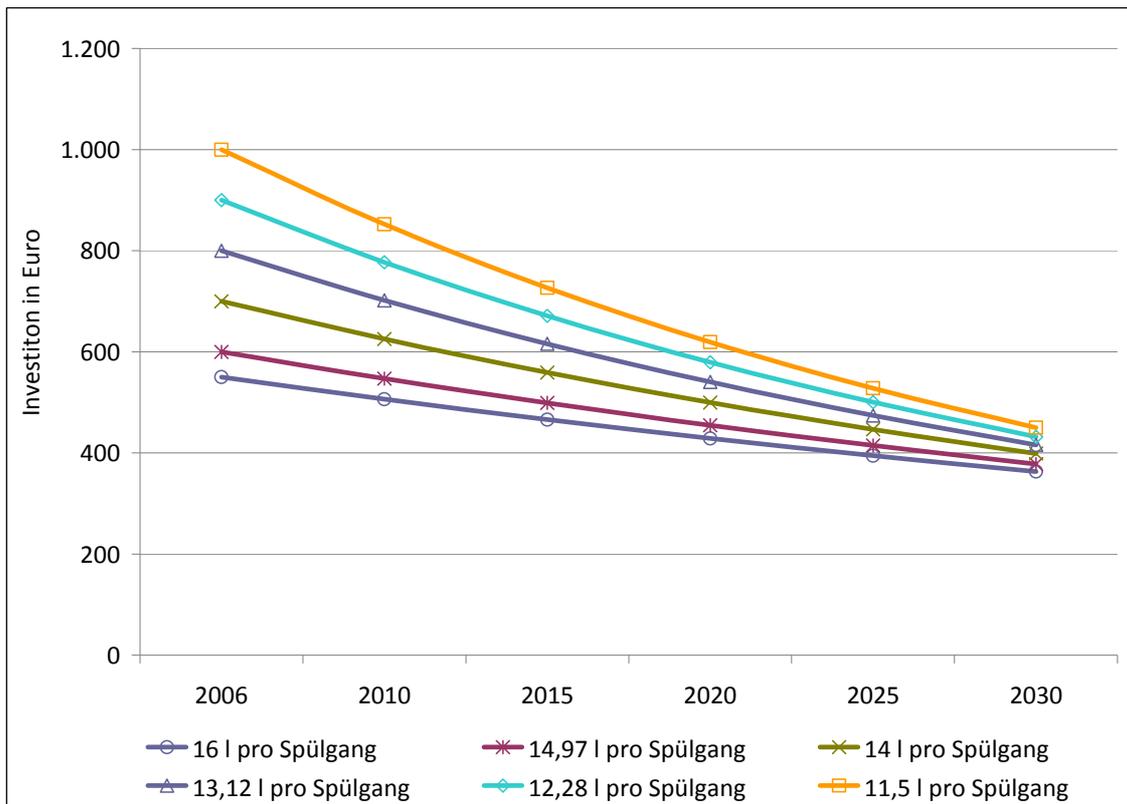


Quelle: Fraunhofer ISI (2005) und eigene Berechnungen.

Abbildung 6-12 Preisentwicklung bei Waschmaschinen – Niedrige Umweltpriorität

Geschirrspülmaschinen

Die Verbrauchsdaten für den durchschnittlichen Geschirrspüler des vorhandenen Bestandes liegen bei etwa 19 Liter Wasser pro Spülgang. Die gegenwärtig auf dem Markt befindlichen Geschirrspüler weisen einen Verbrauch von ca. 16 Liter Wasser pro Spülgang auf und kosten in der Basisausführung etwa 550 € (Stiftung Warentest 2004). Geräte der Spitzenklasse weisen einen Verbrauch von etwa 11 Liter Wasser pro Spülgang auf und sind für ca. 1.000 € erhältlich (Grießhammer et al. 2004). Unter der Annahme einer niedrigen Priorität auf Umweltaspekten wird davon ausgegangen, dass die beste Technologie einen Verbrauch pro Spülgang von 11,5 Liter Wasser realisiert und im Jahr 2030 für etwa 450 € erhältlich ist (Fraunhofer ISI 2005). Auch hier lassen sich weitere Geschirrspülertypen bestimmen. Ihre Verbrauchsgrößen liegen zwischen 15 und 12 Liter pro Spülgang, der Preis für solche Maschinen liegt gegenwärtig zwischen 600 und 900 €. Es wird angenommen, dass im Jahr 2030 die Preise für diese Maschinen zwischen 370 und 430 € liegen.



Quellen: Fraunhofer ISI (2005), Rüdener, Gießhammer (2004), Stiftung Warentest (2004) sowie eigene Berechnungen.

Abbildung 6-13 Preisentwicklung bei Spülmaschinen – Niedrige Umweltpriorität

Duscharmaturen

Ausgehend von einem aktuellen durchschnittlichen Wasserverbrauch von 50 Liter pro Duschvorgang wird unter den oben genannten Rahmenbedingungen angenommen, dass bei Duscharmaturen bis 2030 überwiegend konventionelle Spartechnologien mit einem Verbrauch pro Nutzung zwischen 40 und 45 Liter zum Einsatz kommen wird (Böhm et al. 2002) und dass der Preis im Jahr 2030 den heutigen Preisen, d. h. durchschnittlich 30 € entspricht (Fraunhofer ISI 2005). Weitere verfügbare Duscharmaturen weisen Verbräuche zwischen 62 und 50 Liter pro Nutzung auf und sind zu Preisen zwischen 21 und 26 € zu erwerben.

Toilettenspülungen

Bei Toilettenspülungen wird angenommen, dass die heute bereits standardmäßig in Neubauten installierten Spülkästen mit einem Fassungsvermögen von durchschnittlich 7 bis 8 Liter auch im Jahr 2030 noch installiert werden (Böhm et al. 2002). Hier wird erwartet, dass diese Technik im Jahr 2030 durchschnittlich für 28 € angeboten wird

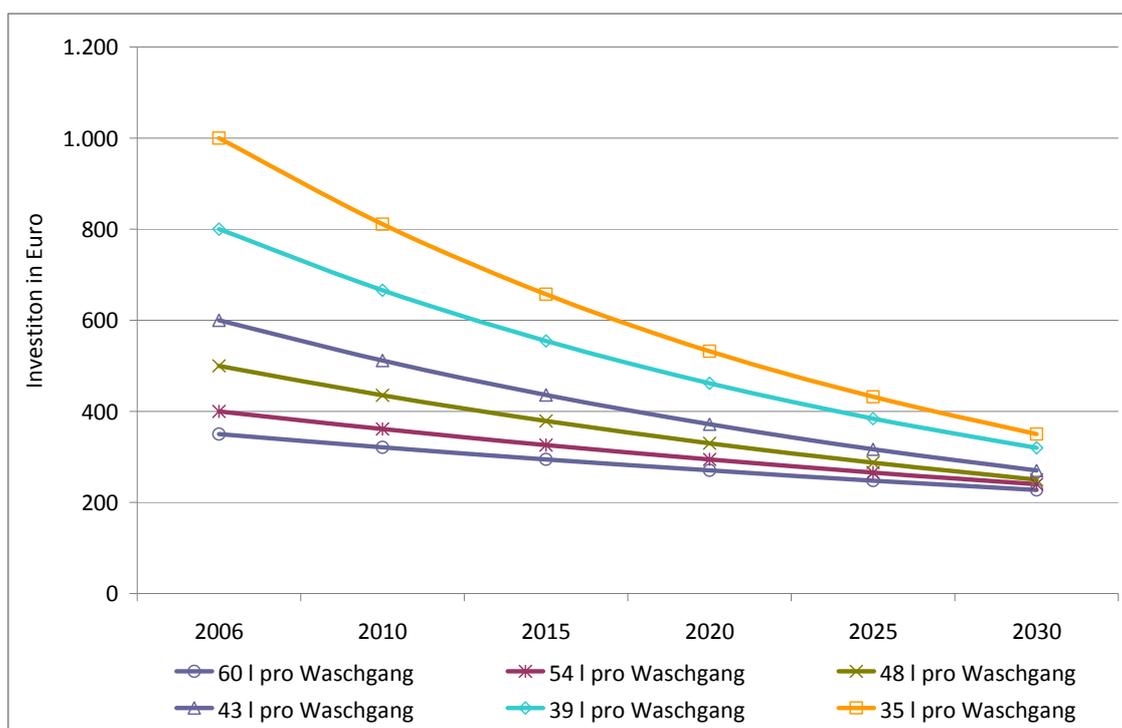
(Fraunhofer ISI 2005). Weitere verfügbare Toilettenspülungen weisen Verbrauchswerte zwischen 11 und neun Liter pro Spülgang auf, die für etwa 30 € angeboten werden.

6.5.4.2 Technischer Wandel – Hohe Umweltpriorität

In der Variante des technischen Fortschritts bei einer hohen Umweltpriorität werden folgende Entwicklungen der einzelnen Technologien realisiert:

Waschmaschinen

Unter der Annahme einer hohen Priorität auf Umweltaspekte wird im Falle von Waschmaschinen davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 Maschinen der Spitzenklasse mit 7 Liter pro kg Nennfüllung zum Standard gehören. Weiter wird angenommen, dass diese Maschinen, die heute noch ca. 1.000 € kosten im Jahr 2030 für durchschnittlich 350 € erhältlich sind (Fraunhofer ISI 2005).



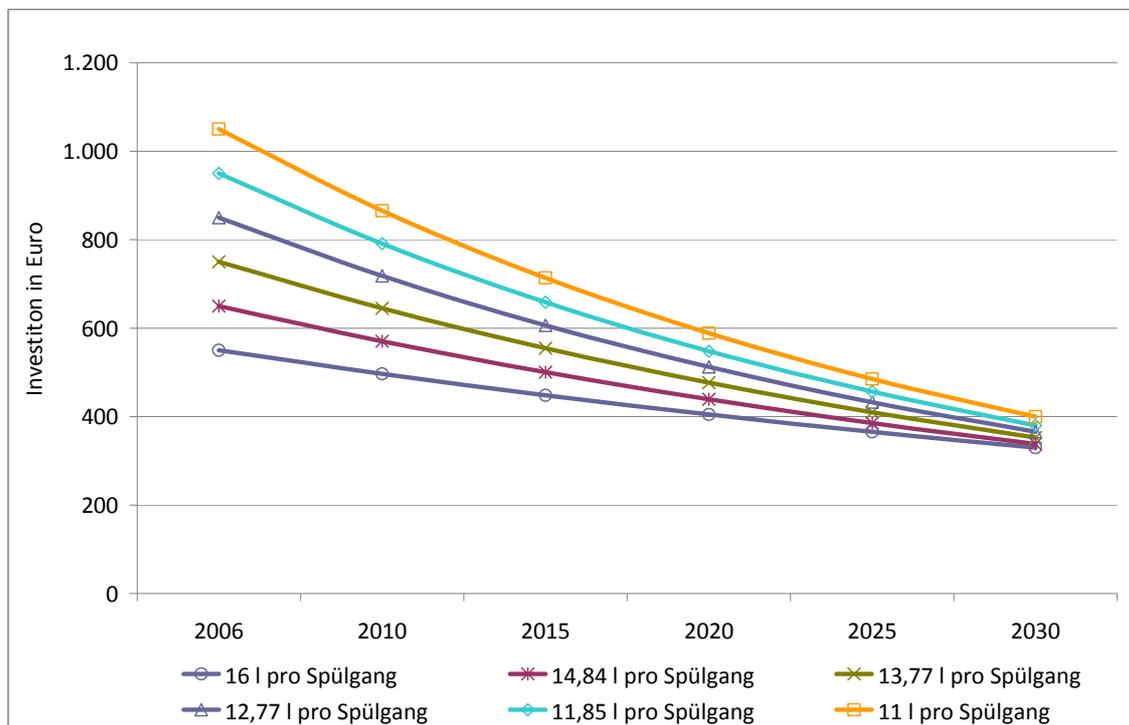
Quellen: Fraunhofer ISI (2005) und eigene Berechnungen.

Abbildung 6-14 Preisentwicklung bei Waschmaschinen – Hohe Umweltpriorität

Die Verbrauchsgrößen weiterer Waschmaschinentypen in diesem Szenario liegen zwischen 54 und 38 Liter pro Waschgang. Die Preise für solche Maschinen liegen heute zwischen 400 und 800 €. Es wird erwartet, dass die Preise dieser Waschmaschinentypen im Jahr 2030 zwischen 240 und 320 € liegen.

Geschirrspülmaschinen

Bei Geschirrspülmaschinen wird unter der Annahme einer hohen Umweltpriorität davon ausgegangen, dass ein Verbrauchsrückgang auf 11 Liter pro Spülgang realisiert wird und dass solche Maschinen, die heute ca. 1.000 € kosten, im Jahr 2030 für ca. 500 € erhältlich sind. Die Verbrauchsgrößen weiterer Geschirrspülertypen liegen in diesem Szenario zwischen 15 und 12 Liter pro Spülgang. Die Preise für solche Maschinen liegen heute in etwa zwischen 650 und 950 €. Es wird erwartet, dass sich diese Preise bis zum Jahr 2030 auf 340 bzw. 380 € verringern (Fraunhofer ISI 2005).



Quellen: Fraunhofer ISI (2005) sowie eigene Berechnungen.

Abbildung 6-15 Preisentwicklung bei Spülmaschinen – Hohe Umweltpriorität

Duscharmaturen

Unter den Rahmenbedingungen einer hohen Umweltpriorität wird für Duscharmaturen eine weitergehende Verbesserung der Wassereffizienz angenommen, so dass bis 2030 Duscharmaturen mit einem Verbrauch von ca. 30 Liter pro Nutzung angeboten werden (Böhm et al. 2002). Weiter wird angenommen, dass solche Duscharmaturen mit moderner Spartechnologie preislich dem heutigen Normalduschkopf entsprechen, d. h. 20 € (Fraunhofer ISI 2005). Weitere verfügbare Duscharmaturen weisen Verbrauchswerte zwischen 57 und 40 Liter pro Nutzung auf und sind zu Preisen zwischen 15 und 18 € zu erwerben.

Toilettenspülungen

Unter der Annahme einer hohen Umweltpriorität wird bei Toilettenspülungen unterstellt, dass im Jahr 2030 überwiegend Spülkästen mit einem Fassungsvermögen von ca. 4 bis 5 Liter zum Einsatz kommen (Böhm et al. 2002). Diese werden dann für etwa 28 € angeboten (Fraunhofer ISI 2005). Weitere verfügbare Toilettenspülungen weisen Verbrauchswerte zwischen 10 und 6 Liter pro Spülgang auf.

Die dargestellten Verlaufsformen des technischen Fortschritts sind im Simulationsmodell vorgegeben. Zu definierten Zeitpunkten wird die Zustandsvariable „Produktpalette“ eines jeden Technologieanbieter-Agenten entsprechend aktualisiert. Die Integration unterschiedlicher Verlaufsformen des technischen Wandels, die auf veränderlichen Rahmenbedingungen beruhen, erfolgt im Simulationsmodell durch das Implementieren unterschiedlicher Produktpaletten in verschiedenen Modellsituationen.

7 Ergebnisse

Im Folgenden werden Ergebnisse der Modellberechnungen dargestellt, die verdeutlichen, welche Rahmenbedingungen als Impulsgeber in der Startphase sowie in der Beschleunigungsphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft wirken.

7.1 Startphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Nach (Rotmans et al. 2000) ist in der Startphase von Transformationsprozessen das Gleichgewicht des etablierten Infrastruktursystems bereits gestört. Das System gelangt durch Veränderungen in der Systemumwelt in einen Übergangszustand, in dem strukturelle Veränderungsprozesse in Gang gesetzt werden.

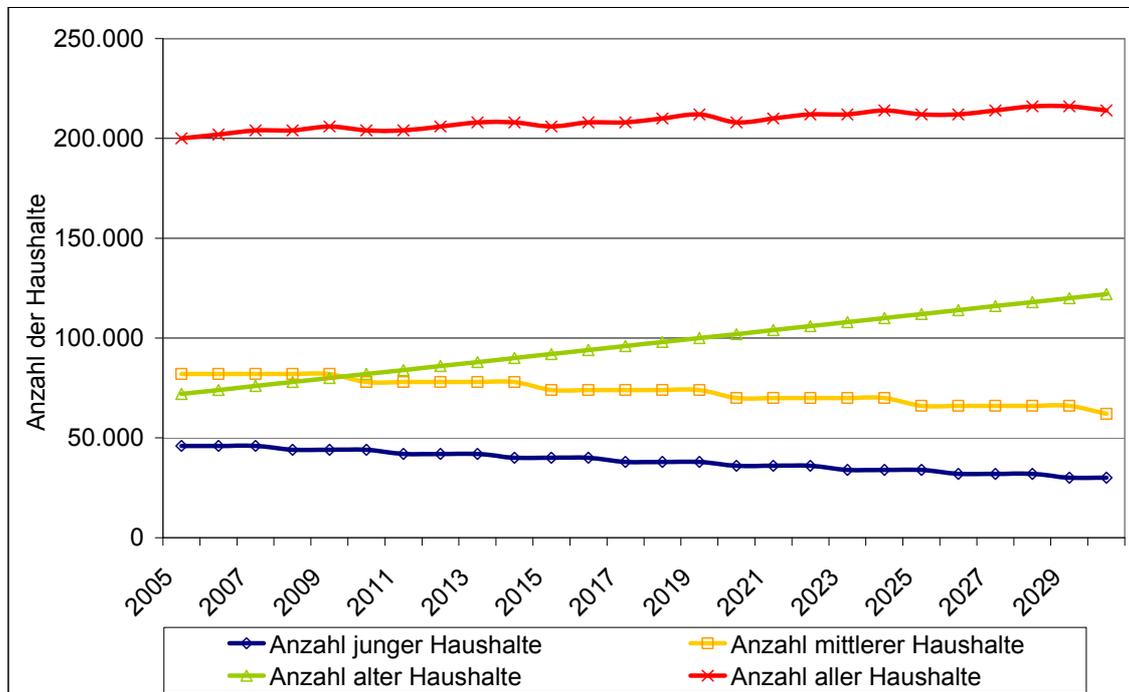
Mögliche Ursachen solch technischer bzw. ökonomischer Systemstörungen in der kommunalen Wasserwirtschaft sind zum einen die Reduktion des Wasserverbrauchs und folglich des Abwasseranfalls⁵⁵, die aus der Abnahme der Anzahl der Verbraucher durch den demografischen Wandel resultieren. Zum anderen ergeben sich Reduktionen im Wasserverbrauch und Abwasseranfall durch die effizientere Verwendung von Wasser auf Seiten der privaten Haushalte, die auf dem technischen Fortschritt von Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen beruhen (siehe Kapitel 5.1). Die Auswirkungen dieser beiden Effekte auf den Abwasseranfall, die Gesamtkosten der Abwasserentsorgung und die Abwassergebühren werden in den nachfolgenden Abschnitten zunächst einzeln und dann in Kombination dargestellt.

7.1.1 Effekte durch demografischen Wandel

Bedingt durch den demografischen Wandel nimmt im räumlichen Bilanzraum des Simulationsmodells bis zum Jahr 2030 die Anzahl der Einwohner von 414.000 auf 374.000 ab. Dies entspricht einer Abnahme der Bevölkerung in diesem Zeitraum um ca. 10 %. Die Anzahl der Haushalte nimmt dagegen zu, und zwar von 200.000 im Jahr 2005 auf 214.000 Haushalte im Jahr 2030. Dies entspricht einer Zunahme von 7 %. Hier spielen vor allem die Haushalte der älteren Menschen eine besondere Rolle. Ihre Anzahl steigt von 72.000 in 2005 auf 122.000 Haushalte in 2030, wobei insbesondere Singlehaushalte zunehmen. Die Anzahl der jungen Haushalte nimmt in diesem Zeitraum dagegen ab, und zwar von 46.000 auf 30.000 Haushalte. Ebenso reduziert sich

⁵⁵ Zur Berechnung der Abwassergebühren ist hier im Folgenden der Frischwassermaßstab zugrunde gelegt. In ihm wird für die Berechnung der Abwassergebühren allein der Trinkwasserverbrauch herangezogen (vgl. Abschnitt 3.1.5).

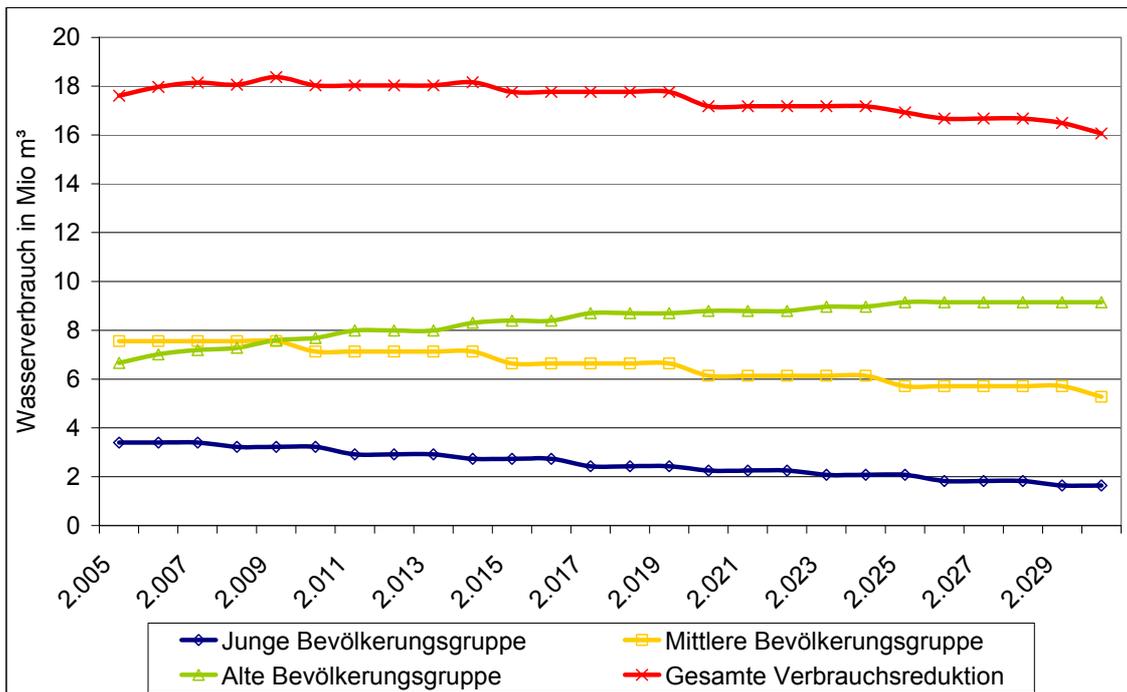
die Zahl der Haushalte aus der mittleren Altersgruppe von 82.000 auf 62.000 (Abbildung 7-1).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-1 Entwicklung der Haushaltspopulation im Simulationsmodell bis 2030

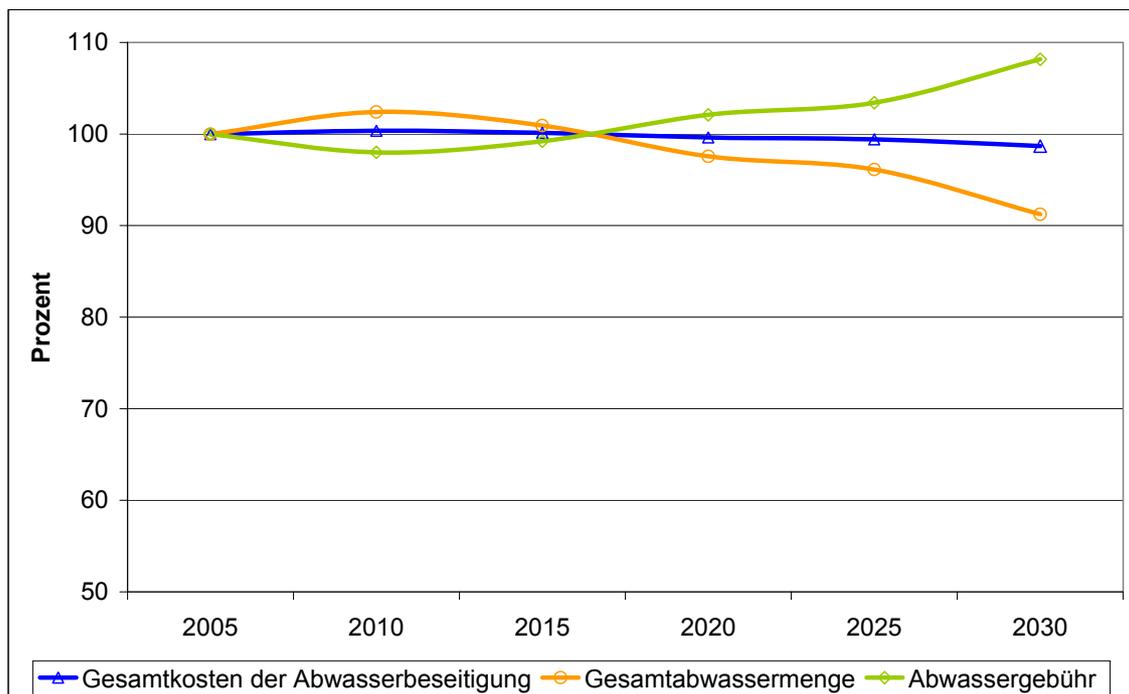
Aufgrund dieser Abnahme der Bevölkerungszahl durch den demografischen Wandel reduziert sich der gesamte Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall im Simulationsmodell bis zum Jahr 2030 um ca. 9 % von 17,6 Mio. m³ auf 16,1 Mio. m³. Dabei nimmt der Wasserverbrauch bis zum Jahr 2014 aufgrund der Zunahme der Haushalte der alten Bevölkerungsgruppe weiter zu. Deren Wasserverbrauch steigert sich insgesamt um 38 % von 6,6 Mio. m³ in 2005 auf 9,1 Mio. m³ in 2030. Ab dem Jahr 2015 wird diese Zunahme des Wasserverbrauchs der Haushalte der älteren Bevölkerungsgruppe jedoch durch die Wasserverbrauchsreduktionen der Haushalte der mittleren und jüngeren Bevölkerungsgruppe kompensiert. Bei den Haushalten der mittleren Altersgruppe reduziert sich der Wasserverbrauch bis zum Jahr 2030 um 30 % von 7,6 Mio. m³ in 2005 auf 5,3 Mio. m³ und bei den Haushalten der jungen Bevölkerungsgruppe um ca. 52 % von 3,4 Mio. m³ in 2005 auf 1,6 Mio. m³ in 2030 (Abbildung 7-2).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-2 Wasserverbrauchsreduktion privater Haushalte durch demografischen Wandel

Auf Grund der hohen Fixkosten der Abwasserentsorgung führen Veränderungen der zu entsorgenden Abwassermenge nur zu geringfügig höheren bzw. niedrigeren Gesamtkosten der Abwasserentsorgung. Gleichzeitig verändert sich jedoch die Abwassermenge, auf die diese Kosten umgelegt werden können. Eine Steigerung der gesamten Abwassermenge führt somit zu niedrigeren Abwassergebühren, ein Rückgang der Abwassermenge zu einer Steigerung der Gebühren. Die Simulationsrechnungen zeigen, welchen Einfluss die Veränderungen der gesamten Abwassermenge auf die Gesamtkosten und die Abwassergebühren haben. Der gesamten demografiebedingten Reduktion des Wasserverbrauchs bzw. des Abwasseranfalls bis 2030 von ca. 9 % bezogen auf 2005 steht eine Senkung der Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung von nur einem Prozent gegenüber. Nachdem die Abwassermenge bis zum Jahr 2014 noch ansteigt, nehmen die Gebühren pro m³ Abwasser zunächst ab (2005: 1,50 €, 2010: 1,47 €, 2015: 1,49 €). Da danach die Abwassermenge insgesamt abnimmt, steigen bezogen auf 2005 bis zum Jahr 2030 die spezifischen Abwassergebühren auf 1,62 €/m³ bzw. um ca. 8 % gegenüber 2005 (Abbildung 7-3).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-3 Demografiebedingter prozentualer Anstieg bzw. Rückgang der Gesamtabwassermenge, der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung sowie der Abwassergebühren von 2005 bis 2030

7.1.2 Effekte durch technischen Fortschritt

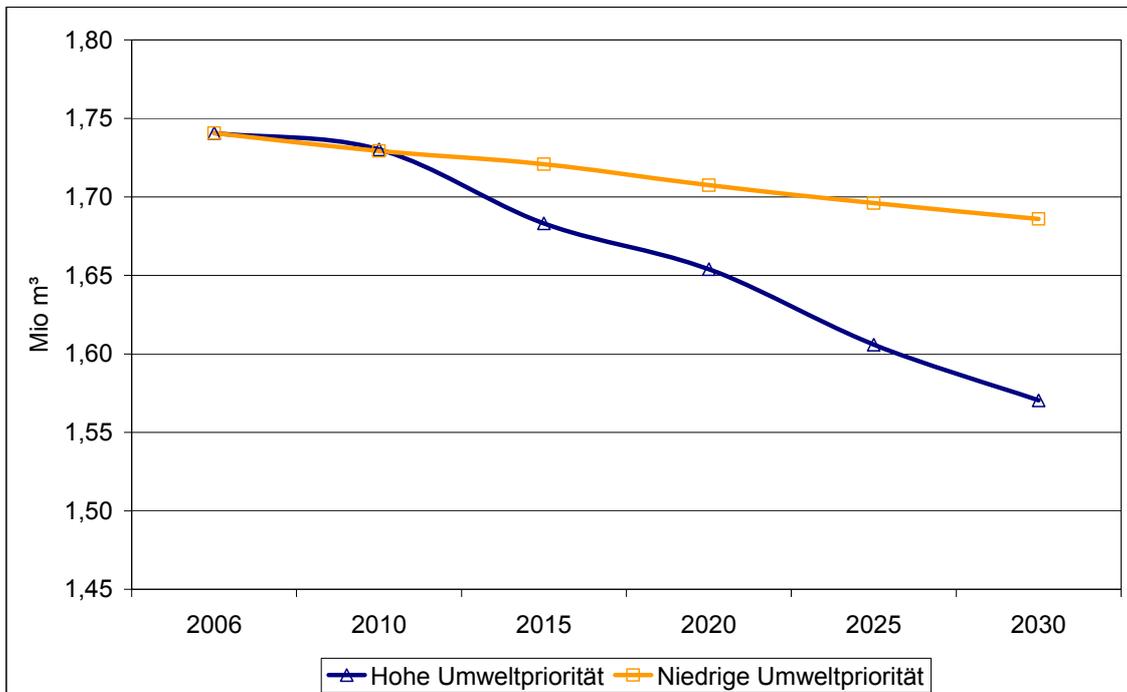
Im Simulationsmodell sind für den Verlauf des technischen Fortschritts zwei Verlaufsvarianten unterstellt, die sich durch die Priorisierung von wasserbezogenen Umweltpunkten aufgrund klimatischer Veränderungen unterscheiden (vgl. Absatz 6.5.4). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zeigen für beide Varianten den Einfluss des technischen Fortschritts bei Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen auf den Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall aller im Modell abgebildeten Haushalte auf.

Waschmaschinen

Unter der Annahme, dass alle Haushalte bis zum Jahr 2030 die wassereffizienteste Waschmaschine einsetzen, ergeben sich in der Variante der niedrigen Umweltpriorität Wasserverbrauchsreduktionen von ca. 34 % bzw. in der Variante der hohen Umweltpriorität von ca. 42 % bezogen auf 2005.

Im Simulationsmodell ist jedoch in der Konzeption der Haushalts-Agenten unterstellt, dass diese anhand ihrer eigenen wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit sowie ihres Adoptortyps über den Kauf effizienter Technologien entscheiden.

Unter der Annahme einer hohen Umweltpriorität ergibt sich bezogen auf 2005 eine Verbrauchsreduktion bei der Nutzung von Waschmaschinen von ca. 10 % bis 2030, was einer absoluten Reduktion von 170.000 m³ pro Jahr entspricht. In der Variante der niedrigen Umweltpriorität zeigt sich eine Verbrauchsreduktion von ca. 50.000 m³ pro Jahr (-3 % bis 2030) (Abbildung 7-4).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-4 Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Waschmaschinen

Hier zeigt sich, dass aufgrund der hohen Kosten sowie der relativ begrenzten Einsparungen beim Wasserverbrauch, die effizientesten Waschmaschinen langsamer Verbreitung finden. In der Variante der hohen Umweltpriorität verfügen in 2030 ca. 18 % der Haushalte über das effizienteste Gerät. In der Variante der niedrigen Umweltpriorität liegt der Anteil der Haushalte, die über das effizienteste Gerät verfügen, bei nur ungefähr 3 %. Dabei wird deutlich, dass die höheren Investitionen in der Variante der niedrigen Umweltpriorität viele Haushalts-Agenten vom Kauf der wassereffizientesten Waschmaschine abhalten. Die Diffusion innovativer wassereffizienter Waschmaschinen erfolgt in dieser Variante viel langsamer als bei hoher Umweltpriorität, da die Haushalts-Agenten aus der Gruppe der späten Mehrheit sowie der Nachzügler nur zeitverzögert diese innovativen Waschmaschinen kaufen. Die schnellere Preissenkung der Waschmaschinen in der Variante der hohen Umweltpriorität wirkt entsprechend

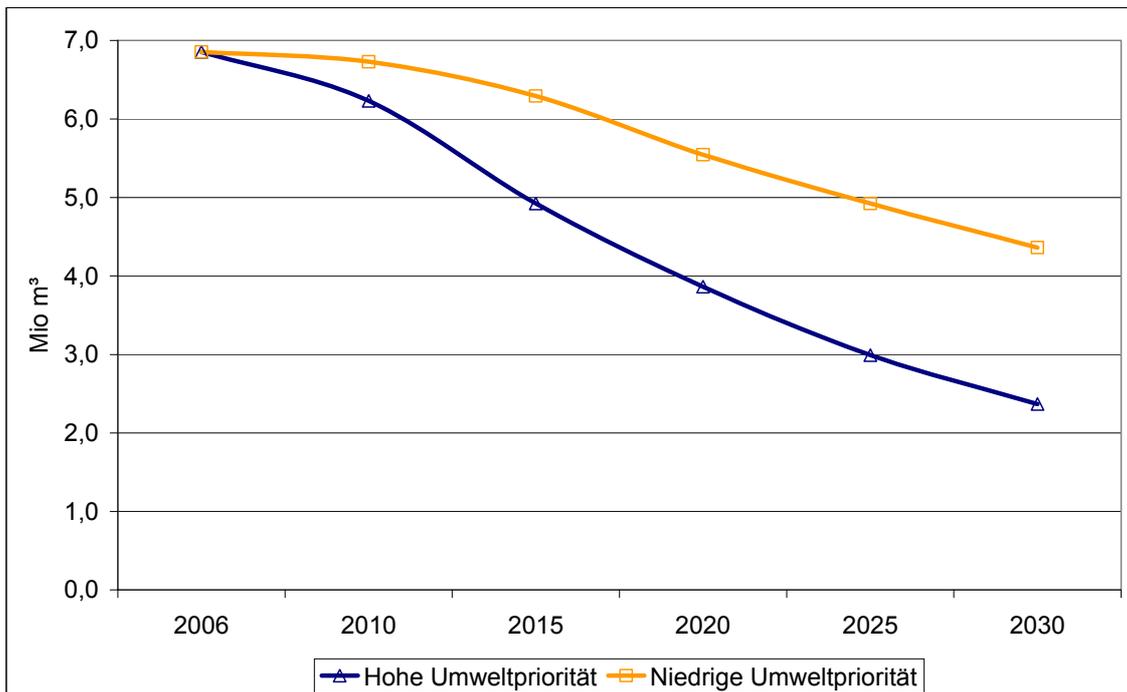
positiv auf ihre Diffusion, weshalb in dieser Variante der Wasserverbrauch für die Nutzung von Waschmaschinen auch schneller und stärker abnimmt.

Geschirrspülmaschinen

Wurden in der Vergangenheit durch technische Verbesserungen bei Geschirrspülmaschinen erhebliche Wassereinsparungen erzielt, die sich bereits auf die Funktionsfähigkeit des Wasserinfrastruktursystems auswirkten (vgl. Absatz 3.2.4.2), so zeigt sich, dass trotz zunehmender Patentaktivitäten der Einfluss wassereffizienzverbesserter Geschirrspülmaschinen auf die Reduktion des Gesamtwasserverbrauchs im Vergleich zu dem der Waschmaschinen marginal ist. Dies liegt am Verhältnis möglicher Wasserverbrauchseinsparungen zur Höhe der erforderlichen Investition für eine solche Geschirrspülmaschine. Da bei Geschirrspülmaschinen die Verbrauchswerte bei heutigen Standardgeräten bereits relativ gering sind, werden durch technische Verbesserungen Wassereinsparungen von nur noch wenigen Litern erzielt. Im Simulationsmodell stehen die potenziellen Wassereinsparungen, die durch den Kauf einer innovativen Geschirrspülmaschine erreicht werden können, daher im negativen Verhältnis zu den relativ hohen Preisen für solche Geräte. Aus Sicht der überwiegenden Anzahl der Haushalts-Agenten im Simulationsmodell ist der Kauf einer solchen Geschirrspülmaschine daher nicht lohnenswert. Infolgedessen ist im Simulationsmodell die Wasserverbrauchsreduktion durch Verwendung wassereffizienter Geschirrspülmaschinen vernachlässigbar.

Toilettenspülung

Größere Einsparpotenziale zeigen sich dagegen beim Wasserverbrauch für die Spülung von Toiletten, der fast ein Drittel des täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauchs ausmacht (vgl. Tabelle 3-8). Für die Variante des technischen Fortschritts bei niedriger Umweltpriorität ergibt sich in diesem Bereich bezogen auf 2005 eine Verbrauchsreduktion von ca. 2,5 Mio. m³ (-37 %) bis 2030, während bei hoher Umweltpriorität sogar eine Wasserverbrauchsreduktion von ca. 4,5 Mio. m³ (-65 %) in diesem Zeitraum realisiert wird (Abbildung 7-5). Hier wird unterstellt, dass sich eine kontinuierliche Verbesserung der Verbrauchswerte ergibt und diese sich über alle Haushalte jedes Jahr um ca. 4 % verringern. Dies bedeutet, dass über einen Zeitraum von 25 Jahren sämtliche Toilettenspülungen durch wassereffiziente Ausstattungen ersetzt werden.

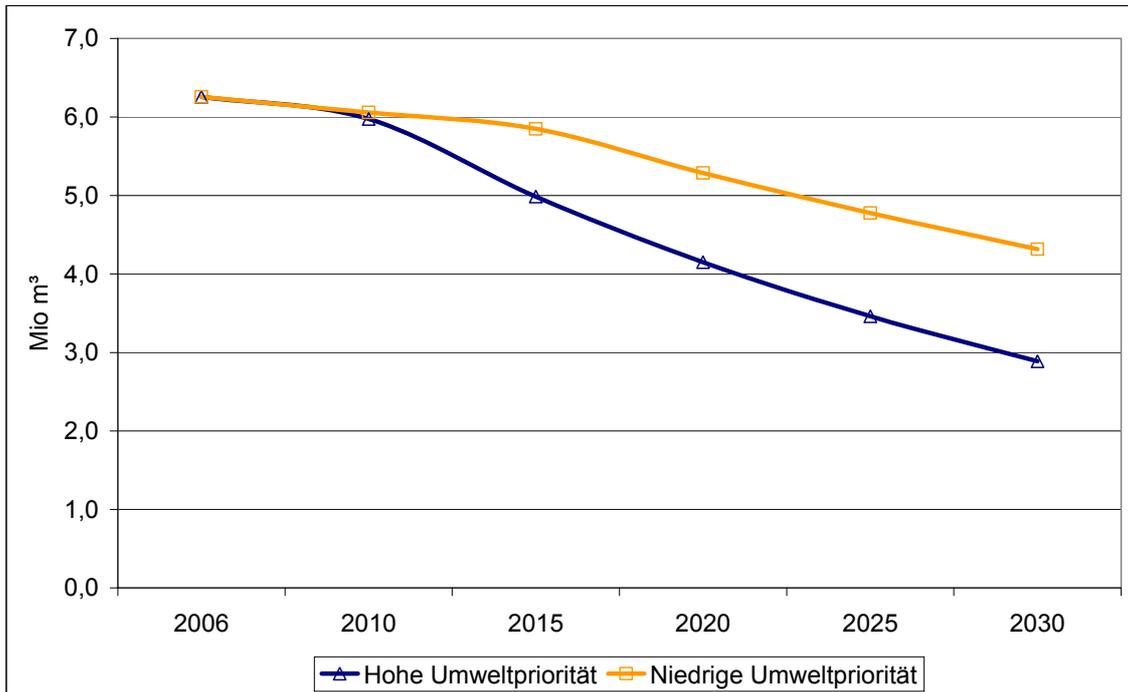


Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-5 Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Toilettenspülungen

Duscharmaturen

Auf die Körperpflege entfallen fast 40 % des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser. Entsprechend ist auch hier die Abschätzung von Einsparpotenzialen durch wassereffiziente Duscharmaturen interessant. In diesem Bereich ergeben sich bezogen auf 2005 Einsparungen von annähernd 2,0 Mio. m³ Wasser (-31 %) bis 2030 unter der Annahme einer niedrigen Umweltpriorität bzw. von 3,4 Mio. m³ (-54 %) bei hoher Umweltpriorität (Abbildung 7-6). Ähnlich wie bei den Toilettenspülungen wird hier im Modell unterstellt, dass eine kontinuierliche Verbesserung der Verbrauchswerte bei Duscharmaturen erfolgt und sich die Verbrauchswerte über alle Haushalte jedes Jahr um ca. 4 % verringern. Dies bedeutet, dass über einen Zeitraum von 25 Jahren sämtliche Duscharmaturen durch wassereffiziente Ausstattungen ersetzt werden.



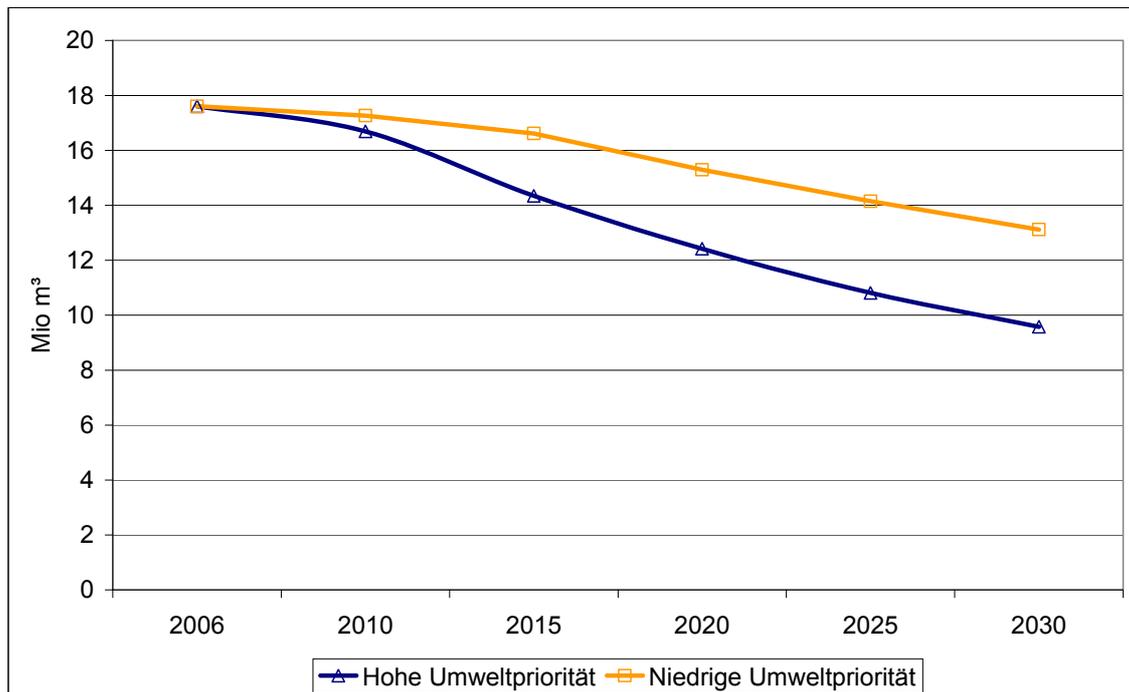
Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-6 Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Duscharmaturen

Gesamte Wasserverbrauchsreduktion im Simulationsmodell durch technischen Fortschritt

Für das im Simulationsmodell abgebildete Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiet ergeben sich ausgehend von einem Wasserverbrauch in 2005 von 17,6 Mio. m³ Wasserverbrauchsreduktionen aufgrund des technischen Fortschritts bei Waschmaschinen, Toilettenspülungen und Duscharmaturen von insgesamt 4,5 Mio. m³ (-25 %) bei niedriger Umweltpriorität bzw. von 8,0 Mio. m³ (-46 %) bei hoher Umweltpriorität bis 2030 (Abbildung 7-7).

Die Bandbreite des Wasserverbrauchs bzw. Abwasseranfalls leitet sich aus den technischen Weiterentwicklungen und den damit verbundenen Preisen der jeweiligen Technologien ab. Es ergeben sich nur relativ geringe Wasserverbrauchsreduktionen, wenn aufgrund einer niedrigen Umweltpriorität der technische Fortschritt weniger stark ausgeprägt ist und aufgrund der geringeren Lerneffekte die Preisreduktionen eher moderat ausfallen. In diesem Fall kommt der Kauf innovativer Haushaltsgeräte bzw. Sanitärarmaturen für den Großteil der Haushalts-Agenten aufgrund ihres Konsumverhaltens nicht in Frage.



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-7 Gesamte Wasserverbrauchsreduktion durch technischen Fortschritt bei Waschmaschinen, Toilettenspülungen und Duscharmaturen

Es resultieren hingegen dann hohe Wasserverbrauchsreduktionen, wenn bedingt durch eine hohe Umweltpriorität der technische Fortschritt zu größeren Wassereinsparpotenzialen bei den einzelnen Technologien führt und gleichzeitig durch höhere Lerneffekte die Preise der Maschinen und Armaturen schneller sinken. In diesem Fall sind der Kauf innovativer Waschmaschinen und die Installation wassereffizienter Sanitärarmaturen für die Mehrheit der Haushalts-Agenten interessant.

Die Ergebnisse verdeutlichen darüber hinaus, dass in der Startphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft Veränderungen, die zur Destabilisierung des Systems beitragen, nicht allein zwischen Systemumwelt und Nischen stattfinden (vgl. Rotmans et al. (2000)), sondern dass sich solche Wirkmechanismen, die einen Handlungsdruck verschiedener Akteure, in diesem Falle der Wasserver- und Abwasserentsorger, bewirken, sich auch bereits innerhalb des Regimes entfalten können.

Technische Effekte der Wasserverbrauchsreduktionen auf das Abwasserinfrastruktursystem

Auf die Systeme der Abwasserentsorgung hat der Rückgang des Trinkwasserverbrauchs negative technische Auswirkungen. Zu nennen sind hier vor allem Ablagerun-

gen in der Kanalisation und durch Bildung von Schwefelsäure ausgelöste Korrosionsprozesse am Kanalisationssystem, die sich praktisch nur durch intensive Wartung und Spülung des Kanalisationssystems beheben lassen (vgl. Absatz 3.3). Ab einem Verbrauchsrückgang von 10 bis 20 % bezogen auf die prognostizierten Verbrauchswerte, nach denen die Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen ursprünglich dimensioniert und gebaut wurden, sind von den Betreibern dieser Anlagen betriebstechnische Maßnahmen, wie bspw. die o. g. Spülungen, in Betracht zu ziehen. Bei einem Verbrauchsrückgang von 30 bis 50 % sind sogar investive Maßnahmen (z. B. Stilllegungen von Leitungen bzw. Kanalisationen, Reduzierungen von Leitungs- bzw. Kanalisationsquerschnitten) zu erwägen (vgl. Herz et al. (2005), Tabelle 3-13).

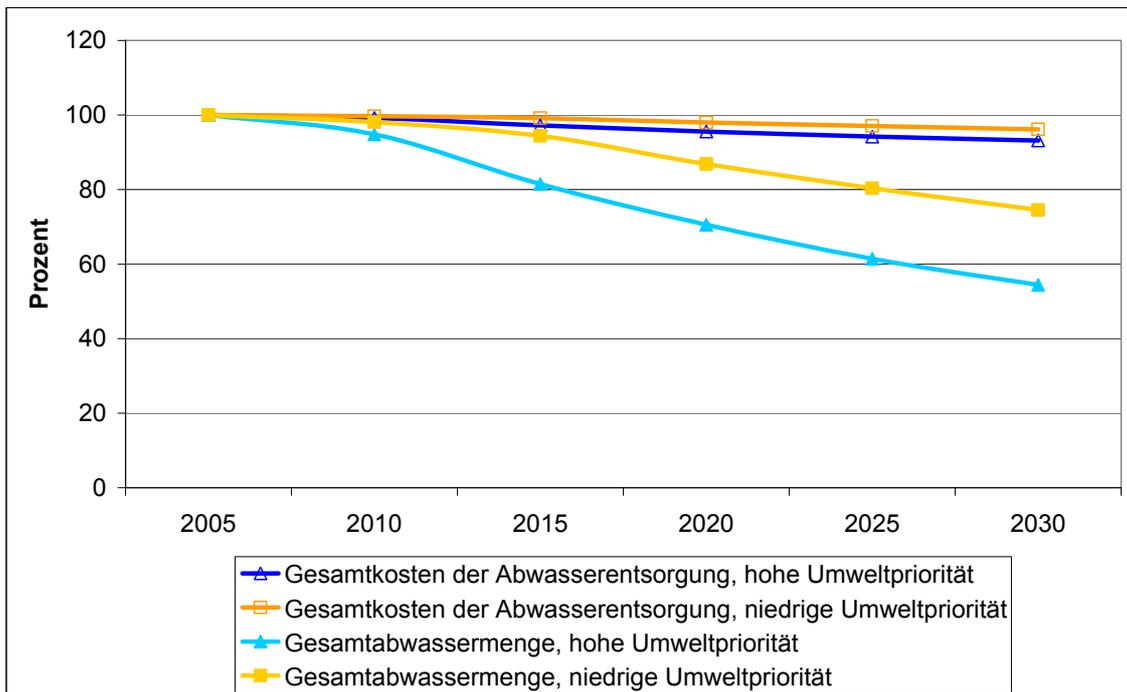
Für das Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiet des Simulationsmodells bedeutet dies, dass der Abwasserentsorger-Agent durch die Wasserverbrauchsreduktionen auf Seiten der privaten Haushalte von 25 % (niedrige Umweltpriorität) bzw. 46 % (hohe Umweltpriorität) bezogen auf 2005 im Jahr 2030 in beiden Varianten bereits an die Grenzen der technischen Funktionsfähigkeit seines Abwasserentsorgungssystems stößt.

Ökonomische Effekte der Wasserverbrauchsreduktionen auf das Abwasserinfrastruktursystem

Bei sinkendem Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall nimmt folglich auch der Anteil der variablen Kosten an den Gesamtkosten der Abwasserentsorgung ab. Dabei zeigt sich jedoch, dass aufgrund der hohen Fixkostenanteile in der Kostenstruktur der Abwasserentsorgung die Gesamtkosten im Verhältnis zu den Wasserverbrauchsreduktionen nur geringfügig abnehmen. Der Wasserverbrauchsreduktion von 25 % bezogen auf 2005 in der Variante der niedrigen Umweltpriorität steht eine Gesamtkostenreduktion von nur 4 % (von ca. 26,4 auf 25,4 Mio. €) bis 2030 gegenüber. In der Variante der hohen Umweltpriorität reduzieren sich in diesem Zeitraum bei einer Wasserverbrauchsreduktion von 46 % die Gesamtkosten der Abwasserentsorgung um 7 % (von 26,4 auf 24,6 Mio. €) (Abbildung 7-8).

Folglich steigen trotz der Reduktionen im Gesamtwasserverbrauch die Tarife für infrastrukturelle Abwasserdienstleistungen an, da die relativ konstant gebliebenen Gesamtkosten auf eine geringere Abwassermenge umgelegt werden müssen.

Die Abwassergebühr im Abwasserentsorgungsgebiet des Simulationsmodells beträgt bei Gesamtkosten der Abwasserentsorgung von 26,4 Mio. € (vgl. Tabelle 6-15) 1,50 €/m³ Abwasser und liegt damit deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnittswert von 2,28 €/m³.



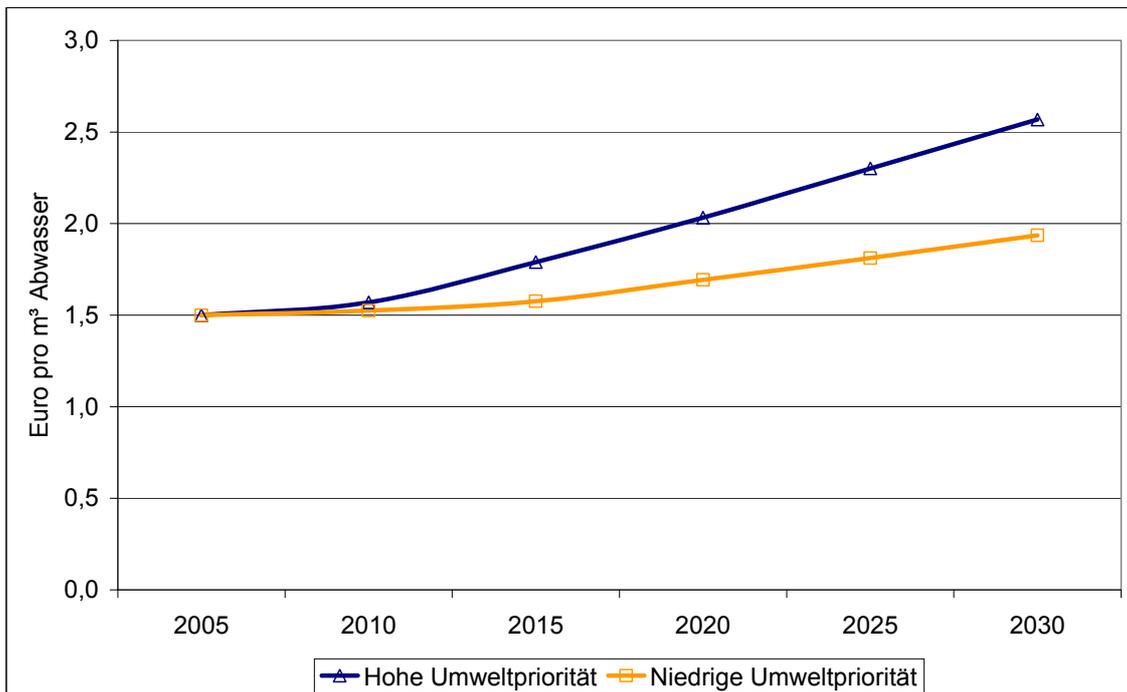
Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-8 Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch technischen Fortschritt bezogen auf 2005

Die Ergebnisse für beide Varianten der Umweltpriorität zeigen, dass bei niedriger Umweltpriorität der Verbrauchsrückgang von 25 % bezogen auf 2005 durch die Verwendung wassereffizienter Waschmaschinen und Sanitärarmaturen (von 17,6 auf 13,1 Mio. m³) zu einer Steigerung der Abwassergebühr auf 1,90 €/m³ (25,4 Mio. €/13,1 Mio. m³) bis zum Jahr 2030 führt, damit das Infrastruktursystem der Abwasserentsorgung kostendeckend betrieben werden kann. In der Variante der hohen Umweltpriorität erfordert der Wasserverbrauchsrückgang von 46 % bezogen auf 2005 (von 17,6 auf 9,6 Mio. m³) eine Gebührenerhöhung auf 2,57 €/m³ Abwasser (24,6 Mio. €/9,6 Mio. m³) bis 2030 (Abbildung 7-9).

Es zeigt sich jedoch, dass in beiden Varianten die Zumutbarkeitsgrenze der Abwassergebühr von 3 €/m³ nicht überschritten wird und somit noch kein auslösender Impuls für einen Transformationsprozess im abgebildeten Wasserinfrastruktursystem gegeben ist.

Bei Zugrundelegung einer zweiten Kostenvariante, die auf dem bundesdeutschen Durchschnittswert der Abwassergebühr von ca. 2,30 €/m³ Abwasser basiert, sind bei einem Abwasseranfall von 17,6 Mio. m³ Gesamtkosten der Abwasserentsorgung von ca. 40 Mio. € zu berücksichtigen (Tabelle 7-1).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-9 Entwicklung der Abwassergebühren bei niedriger und hoher Umweltpriorität

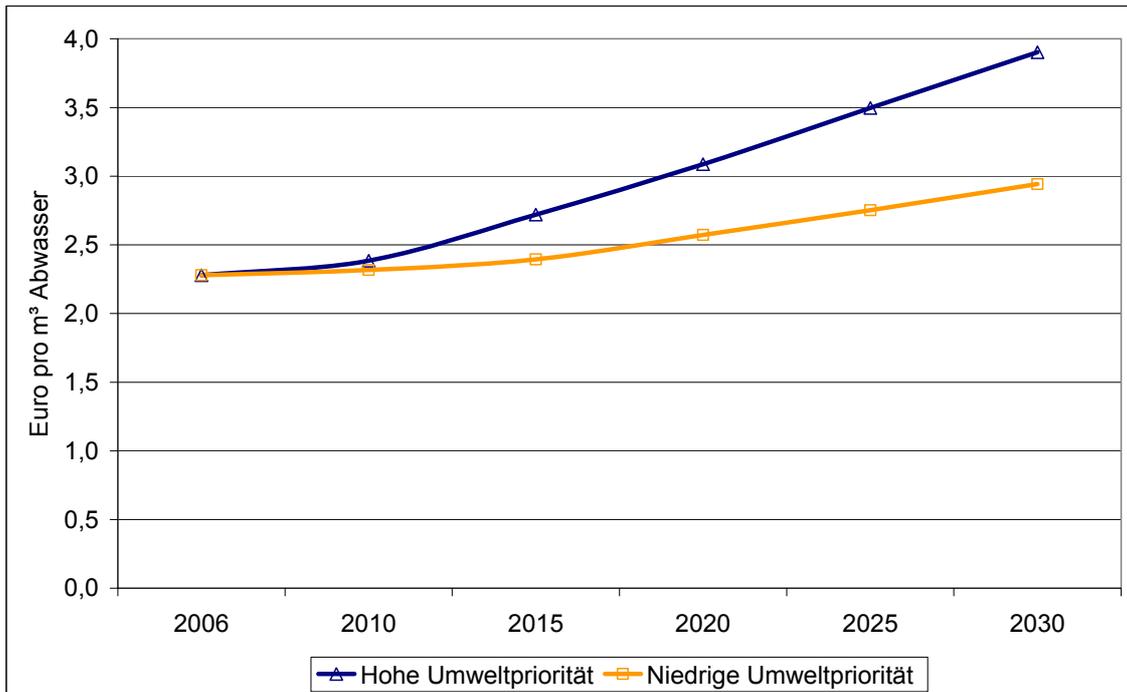
Tabelle 7-1 Kostenvariante 2 der Abwasserentsorgung im Simulationsmodell auf Basis des bundesdeutschen Durchschnittswertes der Abwassergebühr

Kostengröße	€/a
Personalkosten Kanalisation	12.122.669
Sachkosten Kanalisation	4.040.890
Kalkulatorische Kosten Kanalisation	5.104.281
Summe Transport	21.267.840
Personalkosten Abwasserreinigung	10.750.291
Sachkosten Abwasserreinigung	3.583.430
Kalkulatorische Kosten Abwasserreinigung	4.526.439
Summe Reinigung	18.860.160
Gesamtkosten der Abwasserentsorgung	40.128.000

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Bundesministerium für Umwelt (2007).

In der Variante der niedrigen Umweltpriorität erhöht sich dann bei einem Verbrauchsrückgang von ca. 13 Mio. m³ bezogen auf 2005 bis zum Jahr 2030 die Abwassergebühr

bühr auf 2,90 €/m³ (38,6 Mio. €/13,1 m³), damit das System der Abwasserentsorgung kostendeckend betrieben werden kann. Im Falle der Variante mit hoher Umweltpriorität, in der sich bezogen auf 2005 die Abwassermenge durch die Verwendung wasser-effizienter Technologien auf ca. 10 Mio. m³ reduziert, ist zum kostendeckenden Betrieb des Abwasserentsorgungssystems sogar eine Steigerung der Abwassergebühr auf 3,90 €/m³ in 2030 notwendig (Abbildung 7-10).



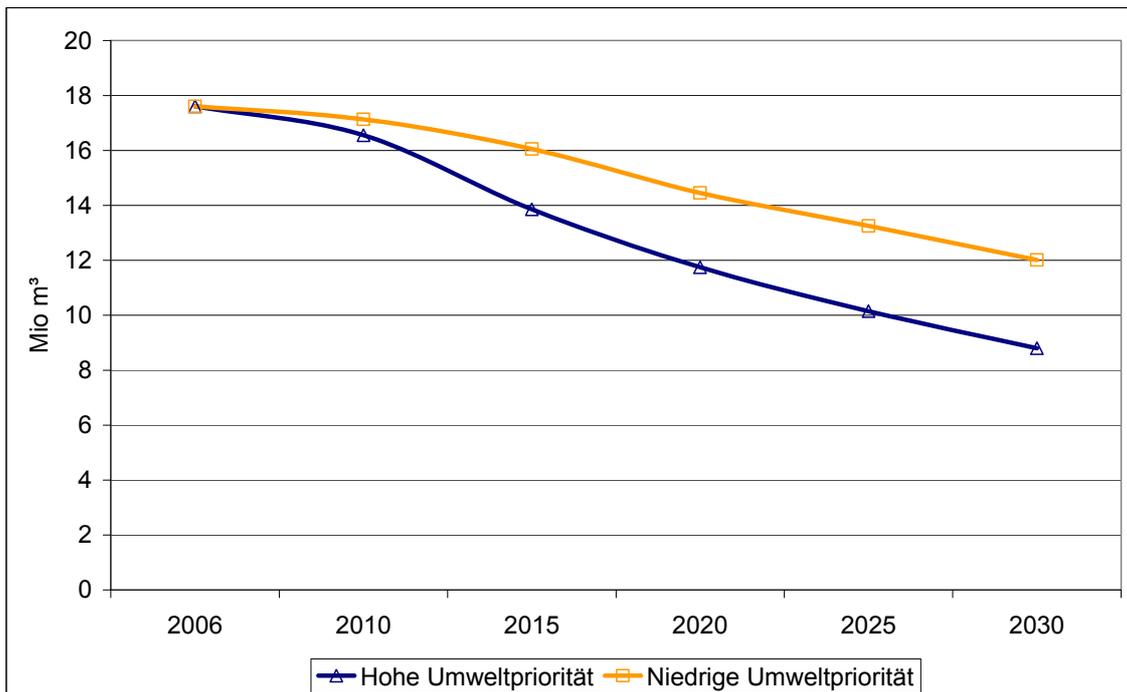
Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-10 Zunahme der Abwassergebühr bei niedriger und hoher Umweltpriorität auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte

Das bedeutet, dass in der Variante der geringen Umweltpriorität die Grenze der Sozialverträglichkeit der Abwassergebühr gerade noch unterschritten wird, während in der Variante der hohen Umweltpriorität die Steigerung der Abwassergebühr so hoch ausfällt, dass die Grenze der Sozialverträglichkeit der Abwassergebühr überschritten wird. Das System der Abwasserentsorgung stößt an die Grenze der ökonomischen Tragfähigkeit. An dieser Stelle des Simulationsmodells geht der Abwasserentsorger-Agent in die Suche nach alternativen technischen Lösungen der Abwasserentsorgung über. Das bedeutet, dass im Simulationsmodell unter diesen Bedingungen ein Transformationsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft einsetzt.

7.1.3 Gemeinsame Effekte von demografischem Wandel und technischem Fortschritt

Bei gemeinsamer Berücksichtigung der Effekte des demografischen Wandels und des technischen Fortschritts beträgt die Wasserverbrauchsreduktion in der Variante der niedrigen Umweltpriorität 32 %, von 17,6 Mio. m³ (in 2005) auf 12,0 Mio. m³ (in 2030). In der Variante der hohen Umweltpriorität reduziert sich der Wasserverbrauch bezogen auf 2005 bis zum Jahr 2030 auf 8,8 Mio. m³, dies entspricht einer prozentualen Abnahme von 50 % (Abbildung 7-11).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

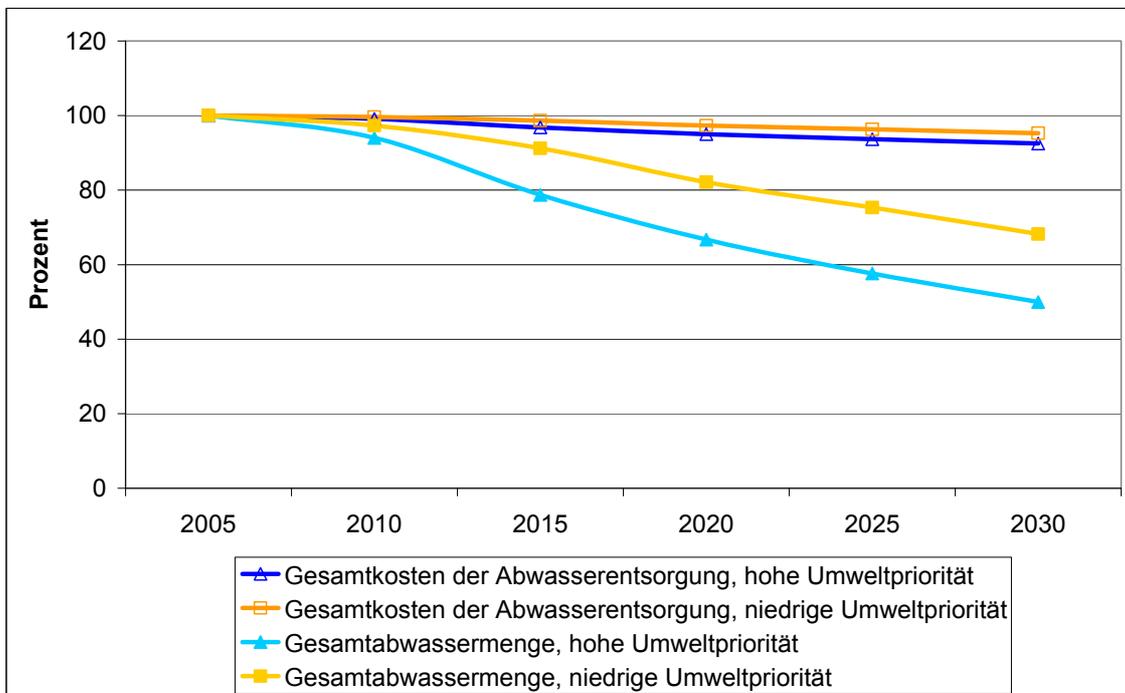
Abbildung 7-11 Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel bei niedriger und hoher Umweltpriorität

Das bedeutet, dass hier in beiden Umweltpriorität-Varianten die Wasserverbrauchsreduktionen so hoch sind, dass technische Funktionsstörungen im Abwasserentsorgungssystem auftreten.

Ökonomische Effekte

Hinsichtlich der Entwicklung der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung zeigt sich bei gemeinsamer Betrachtung der Effekte der demografischen Entwicklung und des technischen Fortschritts, dass der Wasserverbrauchsreduktion von 32 % bezogen auf 2005 in der Variante der niedrigen Umweltpriorität eine Gesamtkostenreduktion von 5 % bis

2030 (von 26,4 auf 25,1 Mio. €) gegenübersteht. In der Variante der hohen Umweltpriorität reduzieren sich in diesem Zeitraum bei einer Wasserverbrauchsreduktion von 50 % die Gesamtkosten der Abwasserentsorgung um lediglich 6 % (von 26,4 auf 24,4 Mio. €) (Abbildung 7-12).

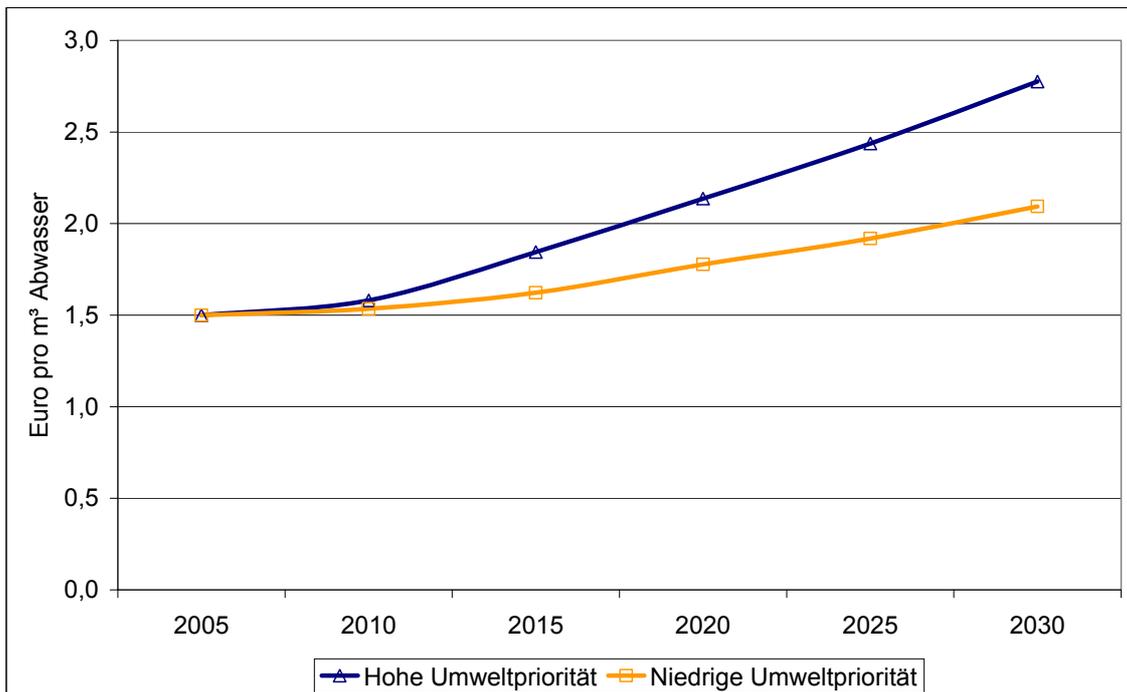


Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-12 Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischen Fortschritt bezogen auf 2005

Ausgehend von einer Abwassergebühr in Höhe von 1,5 €/m³ im Jahr 2005 zeigen die Ergebnisse, dass bei niedriger Umweltpriorität der Verbrauchsrückgang von 32 % durch die Verwendung wassereffizienter Technologien und durch den Einfluss des demografischen Wandels (von 17,6 auf 12,0 Mio. m³) zu einer Steigerung der Abwassergebühr auf 2,10 €/m³ (25,1 Mio. €/12,0 Mio. m³) bis zum Jahr 2030 führt, damit das Infrastruktursystem der Abwasserentsorgung kostendeckend betrieben werden kann. In der Variante der hohen Umweltpriorität macht der Wasserverbrauchsrückgang von 50 % (von 17,6 auf 8,8 Mio. m³) eine Gebührenerhöhung auf 2,80 €/m³ Abwasser (24,4 Mio. €/8,8 Mio. m³) bis zum Jahr 2030 notwendig (Abbildung 7-13).

Die durchschnittliche Höhe der gesamten Abwasserkosten pro Jahr liegen in 2005 bei 132 € pro Haushalt (200.000 Haushalte) bzw. bei 64 € pro Einwohner (414.000 Einwohner).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

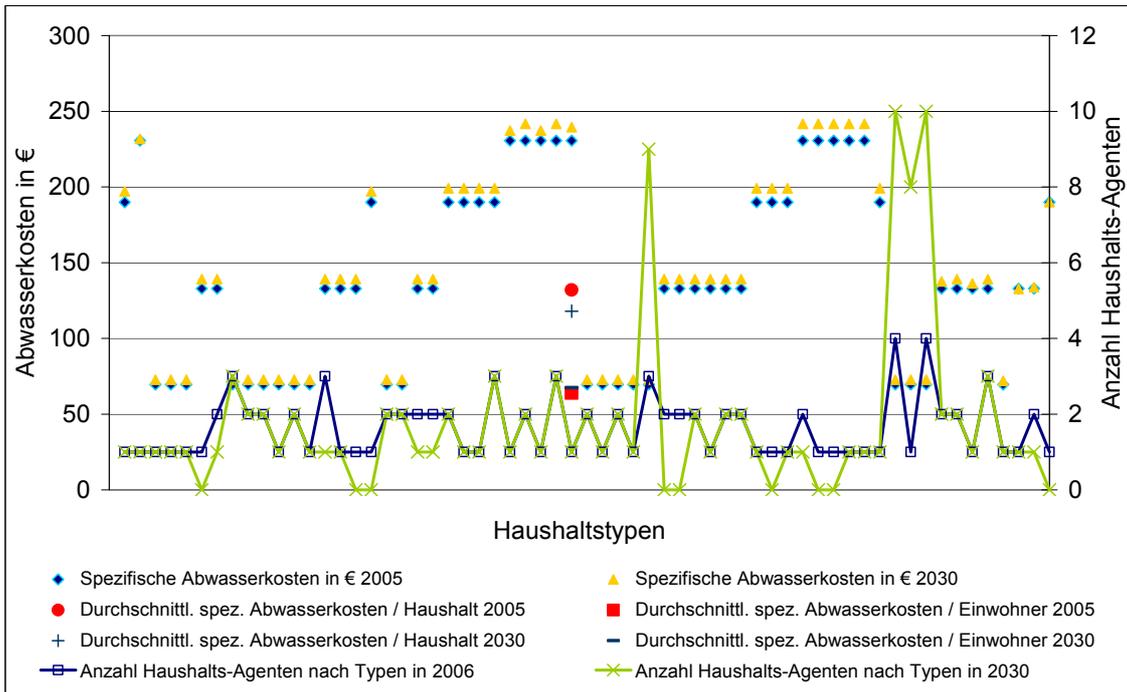
Abbildung 7-13 Zunahme der Abwassergebühren bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischem Fortschritt

Unter Berücksichtigung der Effekte des demografischen Wandels und des technischen Fortschritts beträgt die durchschnittliche Höhe der Abwasserkosten der privaten Haushalte in 2030 in der Variante der niedrigen Umweltpriorität 118 € pro Haushalt bzw. 67 € pro Einwohner (Abbildung 7-14).

In der Variante der hohen Umweltpriorität liegen sie durchschnittlich bei 115 € pro Haushalt bzw. 66 € pro Einwohner (Abbildung 7-15).

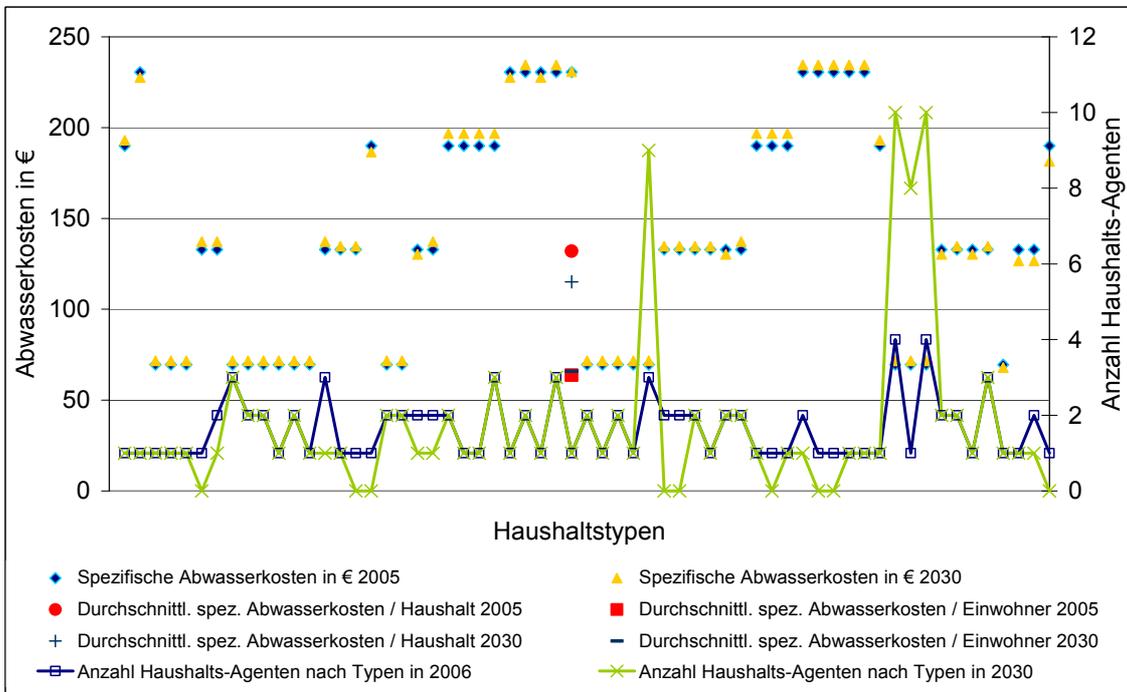
Aus Sicht der privaten Haushalte bedeutet dies, dass zwar die spezifischen Kosten (€/m³) ansteigen, dass sich aber durch die erzielten Einsparungen beim Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall die durchschnittlichen Gesamtkosten einzelner reduzieren können. Auf die Zahl der Einwohner bezogen ist die Erhöhung der Gesamtkosten von 2 € im Zeitraum von 2005 bis 2030 marginal. Aus Haushaltsperspektive ergibt sich somit keine Begründung für einen Transformationsprozess.

Aus der Perspektive des Abwasserentsorgers zeigen die Ergebnisse, dass selbst durch den gemeinsamen Einfluss des demografischen Wandels und des technischen Fortschritts in beiden Varianten die Zumutbarkeitsgrenze der Abwassergebühr von 3 €/m³ nicht überschritten wird. Somit ist auch aus Sicht des Abwasserentsorgers wiederum kein auslösender Impuls für einen Transformationsprozess gegeben.



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

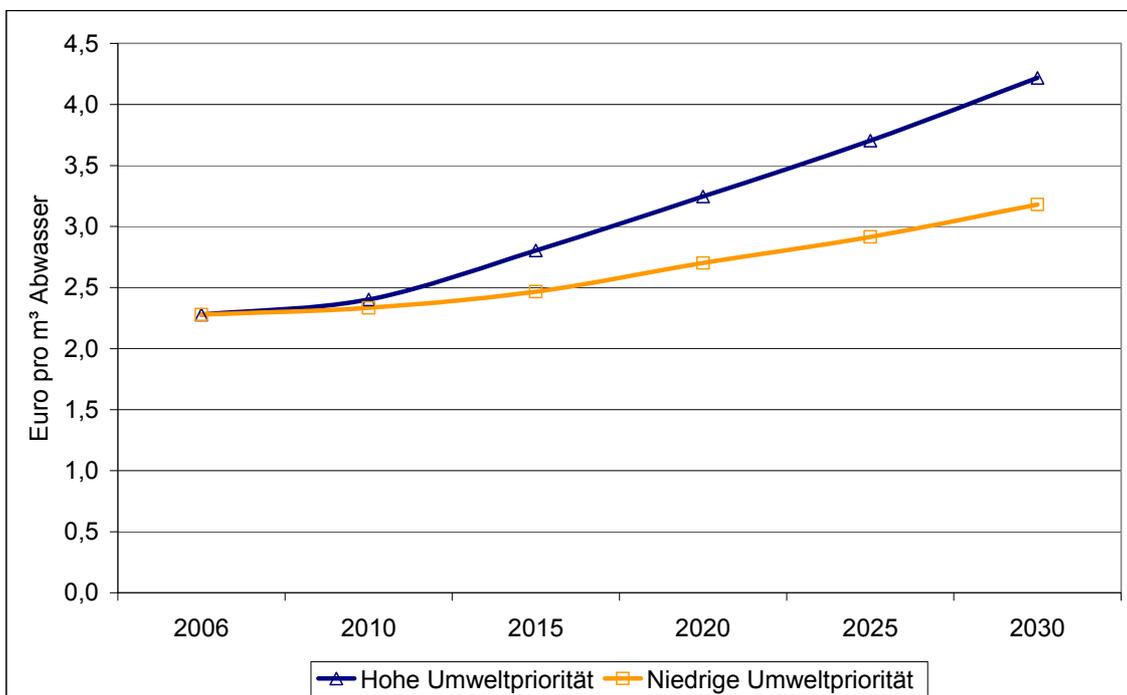
Abbildung 7-14 Veränderung der Abwasserkosten für einzelne Haushaltstypen bei niedriger Umweltpriorität in 2005 und 2030



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-15 Veränderung der Abwasserkosten für einzelne Haushaltstypen bei hoher Umweltpriorität in 2005 und 2030

Bei Zugrundelegung der zweiten Kostenvariante auf Basis des bundesdeutschen Durchschnittswerts der Abwassergebühr von ca. 2,30 €/m³ Abwasser in 2005 zeigt sich in der Variante der niedrigen Umweltpriorität, dass bei einem Wasserverbrauchsrückgang von 32 % bis zum Jahr 2030 eine Abwassergebühr in Höhe von ca. 3,20 €/m³ (38,2 Mio. €/12,0 Mio. m³) zu erheben ist, um das System der Abwasserentsorgung kostendeckend zu betreiben. Im Falle der Variante der hohen Umweltpriorität, in der sich die gesamte Abwassermenge durch den demografischen Wandel und technische Verbesserungen von 2005 bis 2030 auf ca. 8,8 Mio. m³ reduziert, ist zum kostendeckenden Betrieb des Abwasserentsorgungssystems sogar eine Abwassergebühr in Höhe von ca. 4,20 €/m³ in 2030 notwendig (Abbildung 7-16).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-16 Zunahme der Abwassergebühr bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel und technischen Fortschritt auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte

Das bedeutet, dass unter diesen Voraussetzungen in beiden Varianten der Umweltpriorität die Grenze der Sozialverträglichkeit der Abwassergebühr überschritten wird. Das System der Abwasserentsorgung stößt nun auch in der Variante der niedrigen Umweltpriorität an die Grenze der ökonomischen Tragfähigkeit, so dass der Abwasserentsorger-Agent nun auch in dieser Variante in die Suche nach alternativen technischen Lösungen der Abwasserentsorgung übergeht, d. h., dass nun auch hier ein Transformationsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft einsetzt.

7.2 Beschleunigungsphase von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft

Grundsätzlich werden in dieser Transformationsphase strukturelle Veränderungen, d. h. in diesem Fall ein Wandel von zentralen zu dezentralen Strukturen, im etablierten Regime deutlich sichtbar. Kleinkläranlagen sind als Alternativen zur zentralen Abwasserentsorgung allgemein anerkannt. Veränderte Rahmenbedingungen fördern die Diffusion von Innovationen. Die zunehmende Integration alternativer Technologien wird als Reaktion des Regimes auf Veränderungen der Systemumwelt interpretiert. Die innovativen Technologien diffundieren immer mehr in das etablierte Regime und treten verstärkt in Konkurrenz zum bestehenden zentralen System der Abwasserentsorgung bzw. ersetzen es.

Die zentrale Fragestellung in dieser Transformationsphase ist, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich dezentrale Technologien der Abwasserentsorgung verbreiten. Im Simulationsmodell stehen vier unterschiedliche Größen von de- bzw. semizentralen Abwasserentsorgungsanlagen zur Verfügung (vgl. Tabelle 6-16). Bei einer Anlagengröße von 4 Einwohnern ergeben sich Abwassergebühren von ca. 5 €/m³ Abwasser. Mit zunehmender Anlagengröße reduziert sich die Höhe der spezifischen Abwassergebühr. Bei einer Anlagengröße von 10 Einwohnern liegt sie bei ca. 3,60 €/m³ Abwasser, bei einer Anlagengröße von 25 Einwohnern bei ca. 2,0 €/m³ Abwasser und bei einer Anlagengröße von 50 Einwohnern bei ca. 1,60 €/m³ Abwasser (Tabelle 7-2).

Tabelle 7-2 Abwassergebühren nach Anlagengröße von de- bzw. semizentralen Abwasserentsorgungsanlagen im Simulationsmodell

Anlagengröße [Einwohner]	4	10	25	50
Abwassergebühr [€/m ³]	5,0	3,70	2,20	1,60

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Fraunhofer ISI (2005) und Siegl, Löffler (2008).

Hier zeigen sich die enormen Kostensenkungspotenziale, die in der Anwendung dezentraler Abwassertechnologie stecken. Mit großen semizentralen Anlagen für ca. 50 Einwohner können heute bereits de- bzw. semizentrale Abwassersysteme mit vergleichbaren Kosten wie ein günstiges zentrales Abwasserentsorgungssystem aufgebaut werden, die jedoch flexibler an demografische oder technische Veränderungen anpassbar sind. Im Folgenden werden ausschließlich Anlagen dieser Größenklasse berücksichtigt.

Im Rahmen der modellgestützten Analyse wird zunächst die Variante untersucht, dass der Anschluss- und Benutzungszwang aufgehoben wird (Abschnitt 7.2.1). Die Entscheidung für den Einsatz dezentraler Technologien liegt damit bei den Haushalts-

Agenten. Eine zweite Variante beruht auf der Annahme des Fortbestandes des Anschluss- und Benutzungszwanges (Abschnitt 7.2.2). Hier liegt die Entscheidung für den Einsatz dezentraler Abwasserentsorgungstechnologien beim Abwasserentsorgungs-Agenten. Dieser Fall hängt sehr stark von den technischen und lokalen Bedingungen des betrachteten Abwassernetzes ab, die im Simulationsmodell nicht mit berücksichtigt werden konnten. Aus diesem Grund beruhen die Ergebnisse nicht auf Modellberechnungen, sondern stellen wichtige grundsätzliche Überlegungen für diesen Fall dar.

7.2.1 Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwangs

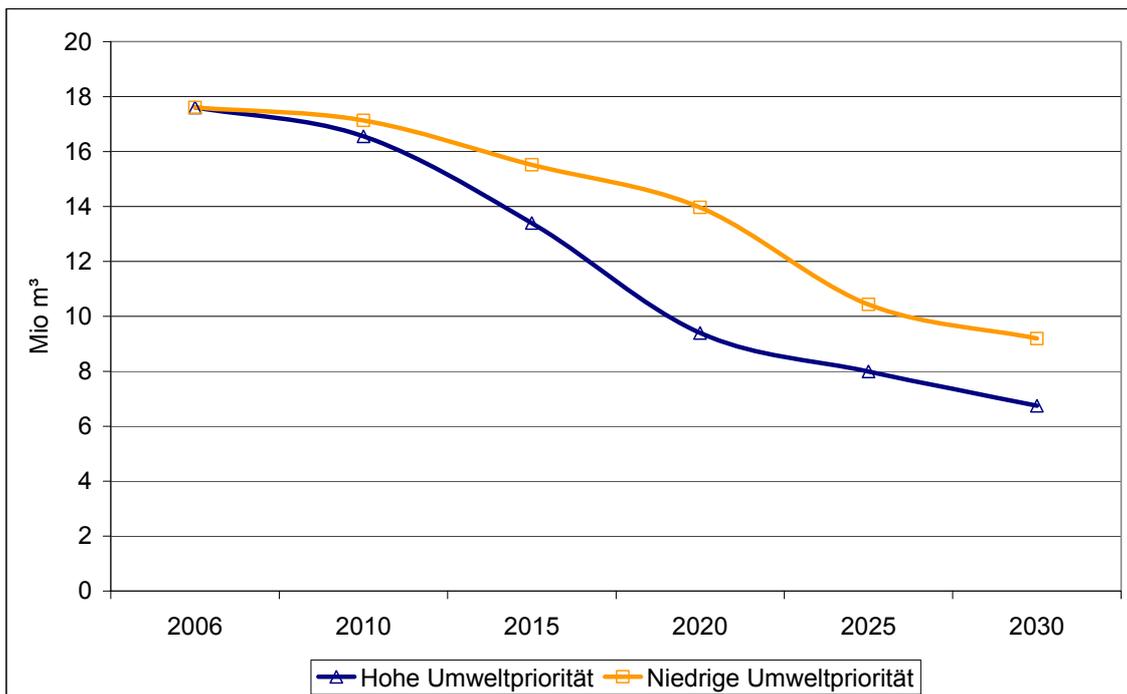
Bei Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwanges kommt es im Simulationsmodell zu einer stufenweisen Verbreitung dezentraler Anlagen, da diese in der Regel zu deutlich niedrigeren Kosten die Abwasserentsorgung durchführen können, als das zentrale System. Die Geschwindigkeit, mit der sich dezentrale Anlagen verbreiten, hängt dabei von der Kostenstruktur des zentralen Systems der Abwasserentsorgung sowie der technologischen Entwicklung der wasserverbrauchenden Anwendungen ab. Mit zunehmender Anzahl dezentraler Abwasserentsorgungsanlagen reduziert sich der Abwasseranfall im zentralen System und verstärkt damit die bereits durch den demografischen Wandel und den technischen Fortschritt in Gang gesetzte Steigerung der Abwassergebühren.

Wie in Abschnitt 6.5.3.1 bereits gezeigt, sind die spezifischen Abwasserkosten vor allem von (größeren) semizentralen Anlagen mit denen von zentralen Systemen vergleichbar. Die Verbreitung von dezentralen bzw. semizentralen Anlagen wird im Modell durch einen Vergleich der Abwassergebühren der verschiedenen Systeme bestimmt. Bei steigenden Gebühren im zentralen System (siehe Kap. 7.1) erhöht sich die relative Vorteilhaftigkeit von dezentralen Anlagen. Zunächst nutzen die Haushalte vom Typ Innovatoren dezentrale Techniken. Dadurch kommt es im zentralen System zu einem weiteren Rückgang des Abwasseranfalls bzw. zu einem Anstieg der Abwassergebühren. Dies bewirkt, dass in den nächsten Jahren weitere Haushalte dezentrale Techniken einsetzen, da sich die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen weiter verbessert. Schließlich kann es dazu kommen, dass alle Haushalts-Agenten dezentrale Anlagen einsetzen und das zentrale System der Abwasserentsorgung kollabiert.

Rechnet man mit der ersten Kostenvariante im zentralen System, so ist der relative Vorteil dezentraler Anlagen zunächst gering. Der Rückgang des Wasserverbrauchs bis 2010 ist auf den demografischen Wandel sowie den technischen Fortschritt zurückzuführen. Ab 2015 verbreiten sich dezentrale Anlagen zunächst bei Haushalts-Agenten vom Typ Innovator. Haushalts-Agenten vom Typ früher Adopter entscheiden sich ab

2020 in der Variante der hohen Umweltpriorität und ab 2025 in der Variante der niedrigen Umweltpriorität für die dezentrale Lösung der Abwasserentsorgung.

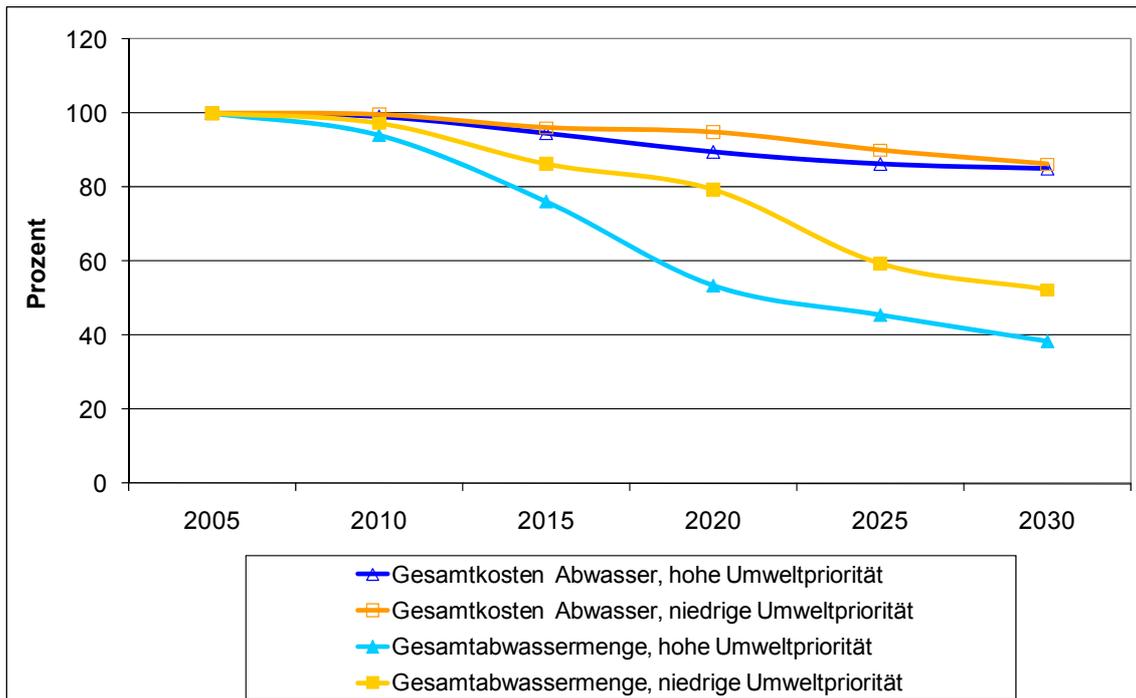
Die Ergebnisse zeigen bei gemeinsamer Berücksichtigung der Effekte des demografischen Wandels, des technischen Fortschritts bei Waschmaschinen und Sanitärarmaturen sowie einer zunehmenden Diffusion von Kleinkläranlagen, dass sich der Wasserverbrauch bis zum Jahr 2030 bei hoher Umweltpriorität um 62 % und bei niedriger Umweltpriorität um 48 % bezogen auf 2005 reduziert (Abbildung 7-17).



Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-17 Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel sowie zunehmende Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität

Wie oben bereits ausgeführt, können auch hier die Kosten des zentralen Abwasserentsorgungssystems nur geringfügig reduziert werden. Bei gemeinsamer Berücksichtigung der genannten Effekte (Demografie, technischer Fortschritt, Dezentralisierung) steht 2030 der Wasserverbrauchsreduktionen von 62 % bei hoher Umweltpriorität eine Gesamtkostenreduktion von 9 % bezogen auf das Jahr 2005 gegenüber. Bei niedriger Umweltpriorität ist es eine Kostenreduktion von 7 % (Abbildung 7-18).

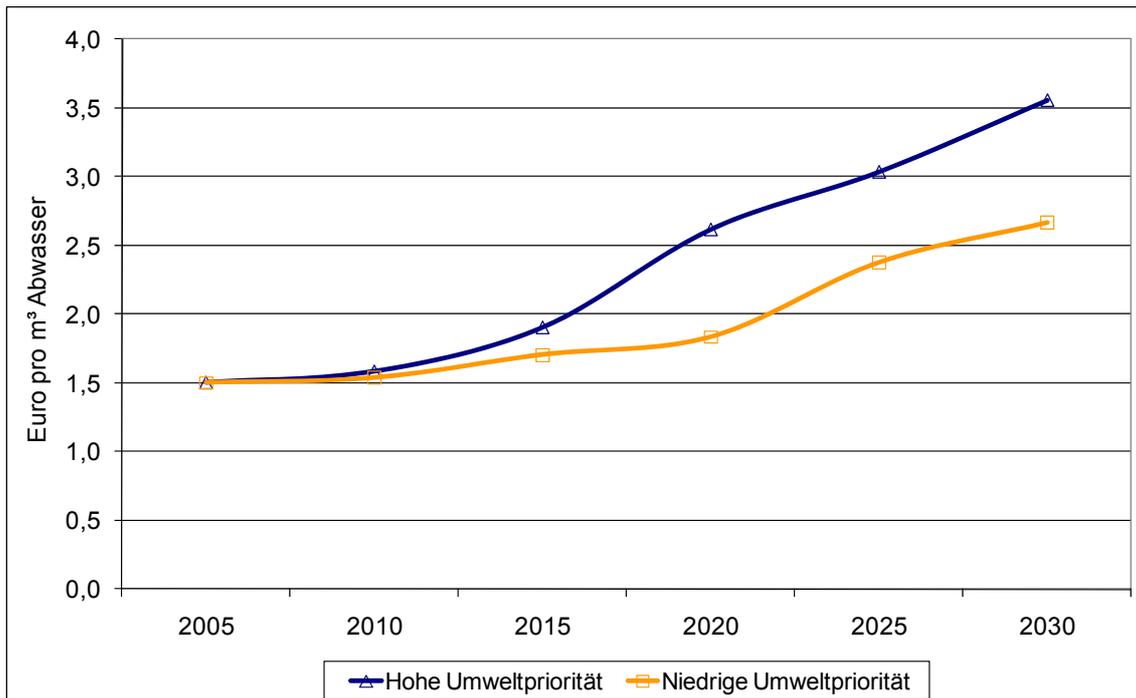


Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-18 Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung bezogen auf 2005

Diese Entwicklung verstärkt die Erhöhung der Abwassergebühren im zentralen System der Abwasserentsorgung, die sich bereits durch den Wasserverbrauchsrückgang im zentralen System durch den demografischen Wandel sowie den technischen Fortschritt ergibt. Durch diese Effekte betragen die Gebührenerhöhungen bei hoher Umweltpriorität bereits ca. 86 % (von 1,50 €/m³ in 2005 auf 2,8 €/m³ in 2030) (vgl. Abbildung 7-13). Die Dezentralisierung verursacht einen weiteren Gebühreanstieg von ca. 27 % auf 3,55 €/m³. Bezogen auf das Jahr 2005 entspricht dies einer Steigerung von ca. 137 % (Abbildung 7-19).

In der Variante der niedrigen Umweltpriorität betrug der Gebühreanstieg durch demografische Veränderungen und technischen Fortschritt ca. 40 % (von 1,50 €/m³ in 2005 auf 2,1 €/m³ in 2030) (vgl. Abbildung 7-13). Hier erhöhen sich die Abwassergebühren durch eine zunehmende Dezentralisierung ebenfalls um weitere 27 % auf 2,67 €/m³ im Jahr 2030. Bezogen auf das Jahr 2005 entspricht dies einer Gebührenerhöhung von 78 % (Abbildung 7-19).

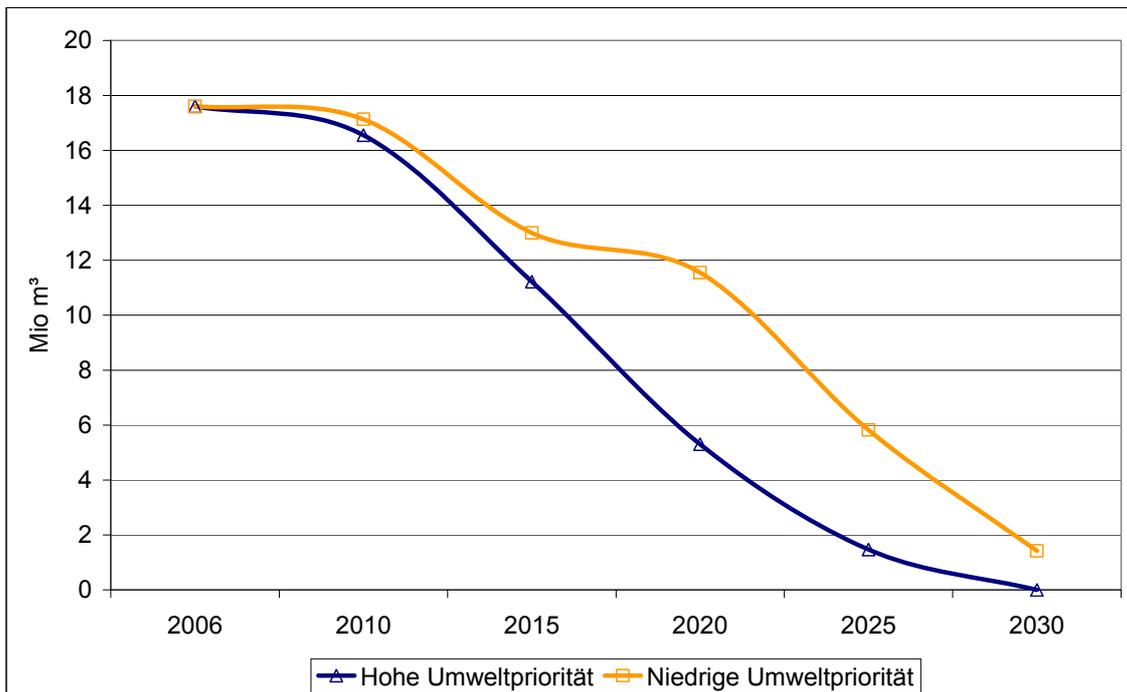


Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-19 Zunahme der Abwassergebühr im zentralen Abwasserentsorgungssystem bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung

Betrachtet man die zweite Kostenvariante, der die bundesdeutschen Durchschnittswerte für Abwasserentsorgungsgebühren zugrunde liegen, so liegt die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen deutlich höher. Daher erfolgt in diesem Fall die Diffusion dezentraler Anlagen deutlich schneller. Ab 2015 setzen zunächst Haushalts-Agenten vom Typ Innovator und früher Adopter in beiden Umweltpriorität-Varianten dezentrale Anlagen der Abwasserentsorgung ein. Auf Grund des Anstiegs der Abwassergebühren steigt die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen so stark an, dass in 2020 Haushalte vom Typ der frühen Mehrheit bei hoher Umweltpriorität und ab 2025 auch Haushalte vom Typ späte Mehrheit dezentrale Anlagen zur Abwasserentsorgung einsetzen. Der Großteil bzw. sämtliche Haushalts-Agenten steigen bis 2030 in der Simulationsrechnung aus dem zentralen System der Abwasserentsorgung aus und setzt dezentrale Technologien ein. Ein Betrieb des zentralen Systems ist unter diesen Annahmen nicht mehr durchzuführen, da sich die Abwassermenge massiv reduziert.

Unter Berücksichtigung dieser zweiten Kostenvariante zeigt sich, dass die Wasserverbrauchsreduktionen in beiden Umweltpriorität-Varianten bei über 90 % bezogen auf das Jahr 2005 liegen (Abbildung 7-20).



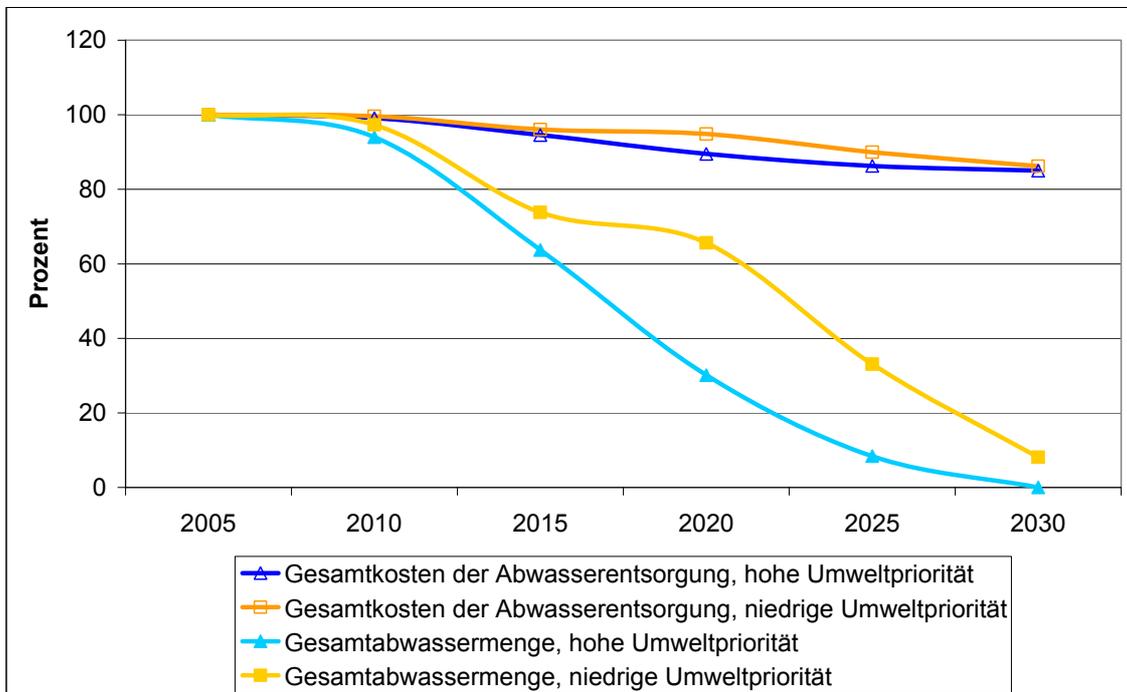
Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-20 Gesamte Wasserverbrauchsreduktionen durch technischen und demografischen Wandel sowie zunehmende Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte

Diese starke Reduktion des Gesamtwasserverbrauchs bewirkt, dass sich die Kosten des zentralen Systems fast ausschließlich aus dem Fixkostenanteil zusammensetzen, der in der Modellsimulation als konstante Größe angenommen wird. Die maximalen Kostenreduktionen liegen daher bei ca. 14 % in der Variante der niedrigen Umweltpriorität bzw. bei ca. 15 % in der Variante der hohen Umweltpriorität (Abbildung 7-21). Sie entsprechen dem variablen Anteil der im zentralen System anfallenden Kosten.

Die zunehmende Verbreitung dezentraler Anlage führt zu einem sehr starken Rückgang der anfallenden Abwassermengen im zentralen System. Da ein Großteil der Kosten im zentralen System Fixkosten sind und diese immer weniger Haushalte tragen müssen, fällt der Anstieg der Abwassergebühren unter diesen Bedingungen folglich noch drastischer aus. In der Variante der niedrigen Umweltpriorität steigen die Abwassergebühren durch demografische Entwicklungen und technischen Fortschritt bereits um ca. 40 % von 2,30 €/m³ Abwasser in 2005 auf 3,20 €/m³ Abwasser in 2030 (vgl. Abbildung 7-16). Durch die Dezentralisierung ergibt sich ein weiterer Gebührenanstieg. In 2030 verbleiben bei niedriger Umweltpriorität nur noch die Haushalts-Agenten vom Typ Nachzügler im zentralen System. Müssen sie sämtlich Kosten des zentralen Sys-

tems tragen, ergibt sich ein Gebührenanstieg auf ca. 24 €/m³ Abwasser (Abbildung 7-22). Unter diesen Bedingungen wäre ein zentrales System nicht mehr zu betreiben.

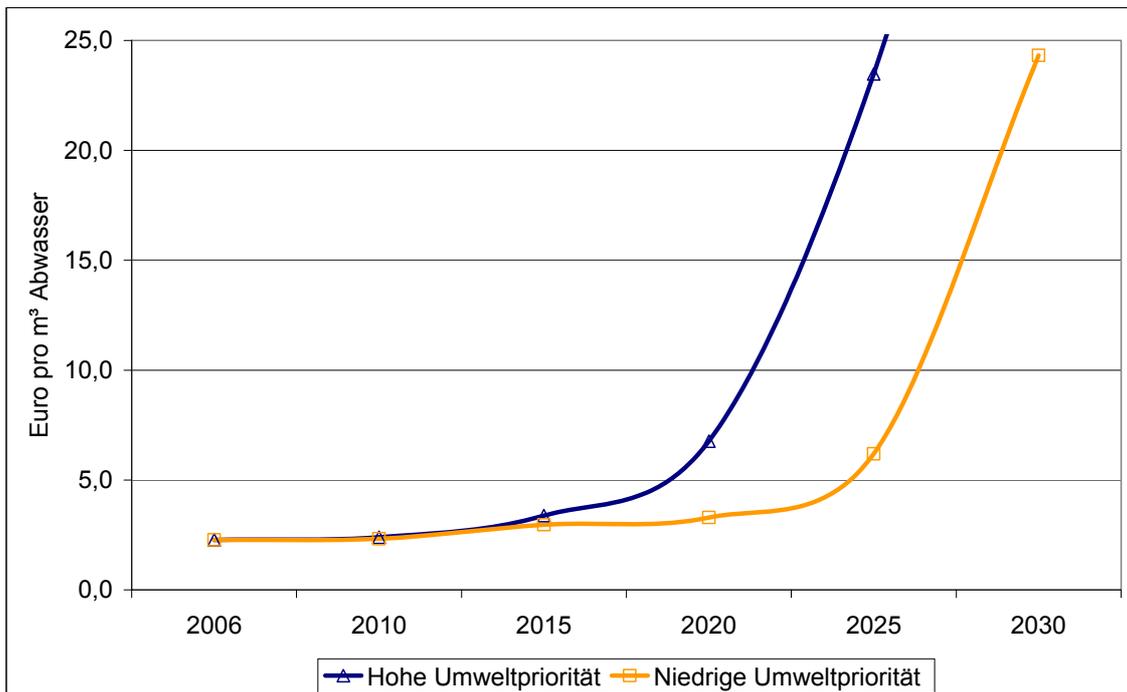


Quelle: Eigene Simulationsberechnung.

Abbildung 7-21 Prozentuale Reduktionen der Gesamtabwassermengen und Gesamtkosten der Abwasserentsorgung durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung bei niedriger und hoher Umweltpriorität bezogen auf 2005; Basis bundesdeutsche Durchschnittswerte

In der Variante der hohen Umweltpriorität zeigt sich ein ähnlicher Verlauf, der allerdings noch schneller abläuft. Die Gebührensteigerung beträgt bereits allein durch den demografischen und technischen Wandel über 80 % (vgl. Abbildung 7-16).

Daher stellt sich die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen auf Grund der höheren Gebühren im zentralen System bereits besser dar als in der Variante der niedrigen Umweltpriorität. Bis 2030 steigen in der Simulationsrechnung sämtlich Haushalte, d. h. auch die Nachzügler in die dezentrale Technologie ein. Die schneller verlaufende Dezentralisierung sorgt bereits 2025 für einen Gebührenanstieg auf ca. 23 €/m³. Da in dieser Simulationsberechnung sämtliche Haushalte bis zum Jahr 2030 aus dem zentralen System der Abwasserentsorgung aussteigen, ist dieses 2030 nicht mehr funktionsfähig (Abbildung 7-22).



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 7-22 Zunahme der Abwassergebühr im zentralen Abwasserentsorgungssystem bei niedriger und hoher Umweltpriorität durch demografischen Wandel, technischen Fortschritt und Dezentralisierung; Basis bundesdeutsche Durchschnittswerte

Schlussfolgerungen für den Betreiber des zentralen Abwasserentsorgungssystems

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das zentrale System der Abwasserentsorgung bereits durch die demografische Entwicklung sowie den technischen Fortschritt in Finanzierungsschwierigkeiten kommen kann. In allen untersuchten Fällen steigen die Abwassergebühren mehr oder weniger stark an. Ist die Kostenstruktur im zentralen System günstig (erste Kostenvariante) und führt der technische Fortschritt nur zu einem moderaten Wasserverbrauchsrückgang (Variante niedrige Umweltpriorität), verläuft die Verbreitung dezentraler Abwasserentsorgungsanlagen langsam. Die Kostenvorteile der dezentralen Anlagen sind nur moderat, so dass ein Teil der Haushalts-Agenten bis 2030 im zentralen System verbleibt. Sind die Kosten im zentralen System bereits in der Ausgangssituation höher (zweite Kostenvariante) und führt der technische Fortschritt zu einem stärkeren Wasserverbrauchsrückgang (Variante hohe Umweltpriorität), wechseln bis 2030 sämtlich Haushalte zu dezentralen Anlagen.

Da der Anschluss- und Benutzungszwang außer Kraft ist und somit auch andere Akteure als der kommunale Abwasserentsorger den privaten Haushalten Abwasserent-

sorgungsdienstleistungen anbieten können, besteht für den (nunmehr ehemals monopolistischen) Abwasserentsorger eine Konkurrenzsituation im Markt um Abwasserdienstleistungen. Dabei ist es für ihn von Vorteil, wenn er selbst seinen Kunden eine Abwasserentsorgung mit dezentralen Technologien anbietet, da er so die Einnahmeverluste des zentralen Abwasserentsorgungssystems, die ihm dadurch entstehen, dass Kunden zu einer dezentralen Abwasserentsorgung eines anderen Anbieters übergehen, zumindest teilweise kompensieren kann. Da der ehemals monopolistische Abwasserentsorger unter der Voraussetzung eines aufgehobenen Anschluss- und Benutzungszwangs nur im Bereich der dezentralen Abwasserentsorgung mit dem Neuanbieter von Abwasserdienstleistungen in Konkurrenz steht, sind bei seiner Investitionsentscheidung hinsichtlich der Integration dezentraler Abwasserentsorgungsanlagen in sein bisher zentrales Abwasserentsorgungssystem auch nur die Kosten zu berücksichtigen, die durch den Aufbau und die Integration dezentraler Abwasserentsorgungsstrukturen entstehen.

7.2.2 Fortbestand des Anschluss- und Benutzungszwangs

Die Verbreitung dezentraler Technologien kann auch erfolgen, wenn der Anschluss- und Benutzungszwang bestehen bleibt. Die Verbreitung hängt in diesem Fall sehr stark von den technischen und lokalen Bedingungen des zentralen Abwasserentsorgungssystems ab, die nicht Bestandteil des Simulationsmodells sind. Um diesen Fall dennoch zu betrachten, werden nachfolgend einige grundsätzliche Überlegungen dazu dargestellt.

Auch in dieser Variante befindet sich der Abwasserentsorger-Agent in der Situation, nach alternativen technischen Lösungen für die Entsorgung der Abwässer zu suchen, da die Abwassergebühren im zentralen System der Abwasserentsorgung über der sozialverträglichen Zumutbarkeitsgrenze liegen (vgl. Abschnitt 7.1). Allerdings besteht in dieser Variante keine Konkurrenzsituation zu anderen Anbietern (dezentraler) Abwasserdienstleistungen, so dass der Abwasserentsorger hier auch die Kosten des von ihm betriebenen zentralen Systems der Abwasserentsorgung berücksichtigen muss.

Da in der Praxis die Kosten der zentralen Entsorgung – wenn das Abwasser einiger Haushalte zukünftig nicht mehr zentral sondern dezentral entsorgt wird – kaum sinken (vgl. Abbildung 7-21), erhöhen sich auch hier die Abwassergebühren für die am zentralen Kanalisationsnetz verbleibenden Haushalte. Das bedeutet, dass bis zu einem gewissen Grad die Realisierung des Baus und des Betriebs eigener dezentraler Abwasserentsorgungsstrukturen aus Sicht des Abwasserentorgers zu zusätzlichen Kosten führt, da die Kosten des zentralen Abwasserentsorgungssystems kleiner sind als die Summe der Kosten einer Abwasserentsorgung, die aus zentralen und dezentralen An-

lagen besteht. Bei Vorliegen des Anschluss- und Benutzungszwangs ist daher zunächst anzunehmen, dass das Interesse des Abwasserentsorgers an der Integration dezentraler Strukturen innerhalb seines Abwasserentsorgungsgebietes im Zuge eines Transformationsprozesses in der kommunalen Wasserwirtschaft eher gering ist.

Allerdings sind hier die Kosten einer notwendigen Rehabilitation des zentralen Abwasserentsorgungssystems mit einzubeziehen. Das im Simulationsmodell abgebildete zentrale Abwasserentsorgungssystem hat eine Länge von 1.100 km (vgl. Abschnitt 6.5.1). Den angenommenen demografischen Entwicklungen folgend leben im Jahr 2030 im Abwasserentsorgungsgebiet des Simulationsmodells 375.000 Einwohner (vgl. Abschnitt 7.1.1). Daraus ergibt sich eine Kanalisationslänge pro Einwohner von ca. 3 Meter. Bei mittleren Kosten für die Rehabilitation von 540 €/m in stand gesetztem Kanal (vgl. Abschnitt 3.1.5) fallen für die Sanierung des zentralen Systems der Abwasserentsorgung im Simulationsmodell Kosten von ca. 1.600 € pro Einwohner an.

Unter der Annahme, dass für den Aufbau eines semizentralen Systems der Abwasserentsorgung ausschließlich Anlagen der Größenklasse 50 Einwohner verwendet werden, ergeben sich bei Investitionen in Höhe von 32.500 € pro Anlage Investitionen pro Einwohner in Höhe von 650 €. Ein Vergleich zu den Sanierungskosten des Kanalnetzes zeigt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen auch für den Betreiber eines zentralen Abwassersystems sinnvoll sein kann, in dezentrale Abwasserentsorgungstechnologie zu investieren. Lässt sich auf Grund der lokalen Gegebenheiten eine Kanalsanierung vermeiden, indem das entsprechende Gebiet mit dezentralen Anlagen ausgestattet wird, so sind Kosteneinsparungen möglich.

Diese Ergebnisse der Analyse der Beschleunigungsphase verdeutlichen, dass im städtischen Bereich die Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwangs keine notwendige Rahmenbedingung für eine Transformation darstellt. Vielmehr ist bei abnehmender Kundenzahl, sinkenden Wasserverbrauchsmengen, steigenden Abwassergebühren und zunehmenden Funktionsstörungen im zentralen System der Abwasserentsorgung eine Transformation zu dezentralen Strukturen aus ökonomischer Sicht in beiden Varianten rechtlicher Rahmenbedingungen sinnvoll.

8 Diskussion der Ergebnisse

Bedeutung der Akteure und Einflussfaktoren

Mit der Analyse der Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft wird erstmals eine detaillierte Beschreibung der für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft relevanten Ziele und Handlungsmotivationen der Akteure aufgestellt.

Die Akteursanalyse zeigt, dass neben den Kommunen und ihren Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsunternehmen, private Haushalte als Nutzer der Wasserver- und Abwasserentsorgungsdienstleistungen, die Europäische Kommission als Treiber von rechtlichen Veränderungen sowie technisch-wissenschaftliche Verbände zu den Schlüsselakteuren im Ausgestaltungsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft gehören.

Im Falle der Hersteller dezentraler wasser- und abwassertechnischer Anlagen ist zu berücksichtigen, dass diese bei alleiniger Betrachtung ihrer Kerneigenschaften derzeit noch nicht in die Gruppe der für Transformationsprozesse in der Wasserwirtschaft relevanten Akteure gehören (vgl. Tabelle 4-6). Da sie jedoch unter den veränderlichen Rahmenbedingungen zukünftig in hohem Maße an Relevanz für die Transformation der kommunalen Wasserwirtschaft gewinnen können, stellen sie dennoch Schlüsselakteure für Transformationsprozesse dar. Gleiches gilt für private Dienstleistungsunternehmen der Wasser- und Abwasserentsorgung.

Die Untersuchung der gegenwärtigen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Akteursgruppen ergibt, dass insbesondere die Kommunen und ihre Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung in überwiegend konfliktären Wechselbeziehungen zu anderen Akteuren stehen, die vor allem auf möglichen Veränderungen rechtlicher Rahmenbedingungen beruhen. Daher erscheinen diesbezüglich Veränderungen als starke Triebkraft für Transformationsprozesse. Weitere Einflussfaktoren, die auf die Wechselwirkungen der Akteure hinsichtlich Transformationsprozesse wirken, sind vor allem der technische Fortschritt bei Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen bzw. bei Technologien zur de- bzw. semizentralen Abwasserentsorgung. Daneben gewinnt auch der demografische Wandel als Einflussfaktor auf den gesamten Wasserverbrauch innerhalb eines Versorgungsgebietes zukünftig an Bedeutung.

Auf Grund der Vielzahl der Akteure und deren Wechselwirkungen untereinander wurde im Rahmen der Arbeit eine Beschränkung auf die Schlüsselakteure der Siedlungswasserwirtschaft vorgenommen. Generell sind jedoch Erweiterungen um einzelne Akteursgruppen denkbar, wobei dies weitere Unterscheidungen der Handlungsmotivationen mit sich bringt. In zukünftigen Arbeiten ist eine Erweiterung der Gruppe der

Wassernutzer um industrielle und gewerbliche Wassernutzer in Betracht zu ziehen. In diesem Bereich können die Wasserverbrauchsrückgänge noch größer ausfallen als im privaten Bereich, da hier neben Effizienzsteigerungen auch neue Prozesse zu einem niedrigeren Wasserbedarf führen können.

Eine zweite Möglichkeit zur Weiterentwicklung ist die Ausdifferenzierung einzelner Akteure im Simulationsmodell. So wird im Bereich der privaten Haushalte die Verbreitung effizienter Technologien nicht nur, wie in der Arbeit unterstellt, von der Haushaltsgröße sowie dem Adoptortyp beeinflusst, sondern darüber hinaus auch davon, ob es sich um Mieter oder Wohnungseigentümer handelt. Eine Ausdifferenzierung in diesem Bereich erlaubt es auch, den Einfluss des Investor-Nutzer Dilemmas auf die Verbreitung effizienter Technologien und damit auf den Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall abzubilden.

Eignung der agentenbasierten Modellierung zur Untersuchung der Forschungsfrage

Der in dieser Arbeit ausgewählte Ansatz der agentenbasierten Modellierung ermöglicht die Abbildung der Dynamik eines Gesamtsystems, die aus den Interaktionen der individuellen Verhaltensweisen der Agenten entsteht. Annahmen über das globale Verhalten des zu untersuchenden Systems werden in einem agentenbasierten Modell nicht explizit, sondern über die lokalen Verhaltensannahmen eines jeden Agenten implizit getroffen. Damit eignet sich die agentenbasierte Modellierung zur Nachbildung und Untersuchung emergenter Phänomene, zu denen der Ausgangshypothese entsprechend Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft gehören.

In der Diffusionsforschung sowie in der sozialwissenschaftlichen Umweltforschung nehmen persönliche Merkmale von Adoptoren bzw. Nicht-Adoptoren eine hohe Bedeutung ein. Aus der Adoptorenkategorisierung von Rogers sowie aus der Lebensstilforschung wird abgeleitet, dass die Differenzierung der Akteure eines Systems von besonderer Relevanz in der Untersuchung von Transformationsprozessen durch die zunehmende Diffusion technologischer Innovationen ist. Daher erweist sich die Möglichkeit der Darstellung heterogener Akteure innerhalb eines Untersuchungssystems als weiterer Vorteil einer agentenbasierten Modellierung. Für die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass die kommunale Wasserwirtschaft unter Zuhilfenahme des analytischen Rahmens des Multi-Level-Ansatz als Mehrebenensystem, in dem die Interaktionen zwischen den heterogenen Akteuren der unterschiedlichen Ebenen Transformationsprozesse ermöglichen, abgebildet werden kann.

Darüber hinaus ist in der agentenbasierten Modellierung die Formulierung des Verhaltensmodells eines Agenten grundsätzlich nicht beschränkt, so dass sowohl quantitative

Information als auch Entscheidungen auf Basis qualitativer Werte zur Beschreibung des Verhaltens verwendet werden können. In der vorliegenden Arbeit konnte so die Diffusion innovativer Technologien differenziert abgebildet werden, da verschiedene Haushaltstypen mit ihren Eigenschaften, die die Diffusion innovativer Technologien beeinflussen, unterschieden werden konnten. Das bedeutet, dass diese anhand ihrer eigenen wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit sowie ihres Adoptortyps über den Kauf effizienter Technologien entscheiden und nicht per se die preisgünstigste Technologie kaufen.

Gleichzeitig erfordert die agentenbasierte Modellierung detailliertes Wissen über die Ziele und das Entscheidungsverhalten der als Agenten abzubildenden Akteure. Allerdings sind gerade mit der empirischen Fundierung der Verhaltensmuster der Akteure Schwierigkeiten verbunden, sei es, dass sich die Datenbeschaffung als schwierig erweisen kann, da auch solche Absichten und Handlungsoptionen von Akteuren zu identifizieren und zu berücksichtigen sind, die von diesen nicht unbedingt explizit geäußert werden, oder dass große Informationsmengen zu bearbeiten und auszuwerten sind. Zudem besteht gerade bei der Bestimmung der Verhaltensmuster die Gefahr, dass ein Detaillierungsgrad erreicht wird, der im Model nicht abbildbar ist, so dass sich die Wahl eines geeigneten Abstraktionsgrades bei der Agentenmodellierung mitunter als schwierig erweisen kann.

Zudem sind zum Teil komplexe und daher aufwendige Modellierungen von Verhaltensweisen notwendig. Ebenso sind solche Wechselwirkungen schwierig abzubilden, die nur verhältnismäßig unscharf zu definieren sind, wie bspw. die konkreten Auswirkungen von Regulierungsmaßnahmen auf die Entwickler und Hersteller innovativer (ab)wasserrelevanter Technologien.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die agentenbasierte Modellierung insbesondere dazu geeignet ist, die Wechselwirkungen und treibenden Kräfte zwischen den Akteuren zu identifizieren und die Entwicklungsrichtungen zu bestimmen. Die Ermittlung konkreter Systemzustände ist jedoch auf Grund der Vielzahl an Wechselwirkungen und benötigter Daten mit großen Unsicherheiten behaftet.

Zusammensetzung der Haushaltspopulation

Die im Simulationsmodell abgebildete heterogene Haushaltspopulation ist so aufgebaut, dass sie der Verteilung aller deutschen Haushalte in Bezug auf Haushaltsgröße, Alter, Einkommen, etc. im Jahr 2005 entspricht. Zusätzlich wird zur weiteren Differenzierung des Innovationsverhaltens der Haushalts-Agenten auf die Kategorisierung von Adoptoren und verschiedenen Lebensstilen zurückgegriffen. Folglich handelt es sich bei der Haushaltspopulation des Simulationsmodells nicht um eine reale, sondern um

eine „standardisierte“ Population. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Kategorisierungen nach dem Adoptionsverhalten als auch nach den Lebensstilen keine wasserspezifischen Einteilungen des Verhaltens von Haushalten darstellen, sondern sich ganz allgemein auf den Konsum von Produkten beziehen. Eine Übertragbarkeit auf Populationen anderer Wasserver- und Abwasserentsorgungsgebiete kann dadurch erfolgen, dass die Abweichungen der Haushalte in diesen Versorgungsgebieten von der standardisierten Haushaltspopulation berücksichtigt werden.

Modellergebnisse der Startphase

Die durchgeführten Simulationen stellen keine Berechnungen für ein reales Abwasserentsorgungsgebiet dar. Die gewonnenen Ergebnisse führen zu einer theoretischen Ableitung der Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren auf Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft hin. Da Daten der Wasserver- und Abwasserentsorgung meist für größere Stadtgebiete verfügbar sind, entspricht das im Simulationsmodell dargestellte Abwasserentsorgungsgebiet dem einer Großstadt. Aufgrund der für das Simulationsgebiet typischen Kosten der Abwasserentsorgung sowie aufgrund der Annahmen über die dort vorherrschenden zukünftigen demografischen Entwicklungen lassen sich die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere (reale) Abwasserentsorgungsgebiete übertragen. Vielmehr sind die jeweiligen lokalen technischen, ökonomischen und demografischen Randbedingungen zu berücksichtigen.

Die Modellergebnisse verdeutlichen jedoch, dass der technische Fortschritt bei Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen durch die erzielbaren Wasserverbrauchsreduktionen zu den wichtigsten Einflussgrößen von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft gehört. Dabei zeigte sich allerdings, dass nicht alle untersuchten Technologien in gleichem Maße zu den Wasserverbrauchsreduktionen beitragen. So haben, anders als zunächst angenommen, wassereffiziente Spülmaschinen zukünftig einen nur marginalen Effekt auf die Reduzierung des Gesamtwasserverbrauchs und damit auf die Funktionsfähigkeit der Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme.

Darüber hinaus veranschaulichen die Ergebnisse, dass der demografische Wandel einen weniger starken Impuls als der technische Fortschritt auf Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft ausübt. Durch ihn kommt es bezogen auf das Jahr 2005 im Simulationsmodell bis zum Jahr 2030 zu einer Wasserverbrauchsreduktion von ca. 9 % (von 17,6 Mio. m³ auf 16,1 Mio. m³). Zu berücksichtigen ist dabei, dass sich der demografische Wandel in den einzelnen Regionen Deutschlands sehr unterschiedlich vollzieht. So gibt es Gebiete, in denen auch zukünftig die Bevölkerung zunimmt. Auf der anderen Seite wird in anderen Gebieten die Bevölkerung sehr viel stärker schrumpfen als im bundesdeutschen Durchschnitt. Für einzelne Wasserver-

bzw. Abwasserentsorgungsgebiete bedeutet dies, dass sich hier sehr viel stärkere Auswirkungen auf den gesamten Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall durch demografische Veränderungen ergeben können als im Rahmen dieser Arbeit unterstellt.

Die entscheidenden Größen für die Auslösung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft sind jedoch die Ausgangswerte der Kosten der Abwasserentsorgung. Auch hier gibt es eine sehr große Bandbreite für konkrete Wasserver- bzw. Abwasserentsorgungsgebiete in Deutschland. Es hat sich gezeigt, dass die Ver- bzw. Entsorgungsgebiete, die mit ihren Kosten unterhalb des bundesdeutschen Durchschnittes liegen, auch zukünftig von großen Kostensteigerungen weniger stark betroffen sind. Für Gebiete mit Abwasserentsorgungskosten, die etwa dem bundesdeutschen Durchschnitt entsprechen bzw. darüber liegen, können sich durch den Wasserverbrauchsrückgang und den damit verbundenen Steigerungen der Abwassergebühren dagegen stärkere Impulse für eine Veränderung ihres derzeitigen Systems ergeben.

Modellergebnisse der Beschleunigungsphase

In der Beschleunigungsphase zeigt sich, dass die Verbreitung dezentraler Anlagen starke Rückwirkungen auf das zentrale System der Abwasserentsorgung ausübt. In diesem Fall ergeben sich deutlich stärkere Rückgänge der anfallenden Abwassermengen als etwa durch den demografischen Wandel bzw. durch den technischen Fortschritt bei wasserverbrauchenden Haushaltsgeräten und Sanitärarmaturen.

Die Verbreitung von dezentralen bzw. semizentralen Anlagen wird im Modell durch einen Vergleich der Abwassergebühren der verschiedenen Systeme bestimmt. Bei steigenden Gebühren im zentralen System erhöht sich somit die relative Vorteilhaftigkeit von de- bzw. semizentralen Anlagen. Das bedeutet, dass bei Erfüllung der relativen Vorteilhaftigkeit alle Haushalte eines Adoptortyps gleichzeitig aus dem zentralen System der Abwasserentsorgung aussteigen. Tatsächlich ist die Installation von dezentralen Anlagen zusätzlich von vielen technischen und lokalen Begebenheiten abhängig, die in einem realen System mit berücksichtigt werden müssen. Die Kategorisierung der Haushalte erfolgt im Rahmen des Simulationsmodells anhand der Adoptortypen. In einem realen System müssen sich geografisch benachbarte Haushalte zusammenfinden, die nicht unbedingt dem gleichen Adoptortyp entsprechen. Diese Randbedingungen zeigen, dass sich eine Verbreitung dezentraler Anlagen aus diesen Gründen langsamer als im Modell unterstellt vollziehen kann. Die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen für einen Großteil der im Simulationsmodell abgebildeten Haushalte zeigt jedoch den starken Impuls für eine Transformation des zentralen Systems.

Weitere Aspekte, die bei dezentralen Anlagen zu berücksichtigen sind, sind das Vorhandensein geeigneter Versickerungsflächen für das gereinigte Abwasser. Alternativ dazu können auch die bestehende zentrale Kanalisation, Einleitungen in Flüsse bzw. Seen genutzt werden.

9 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die heute in Deutschland etablierte kommunale Wasserwirtschaft beruht auf einem über lange Zeiträume gewachsenen zentralen Infrastruktursystem von Wasserver- und Abwasserentsorgungsanlagen und –netzen. Stabile technische, ökonomische, rechtliche sowie gesellschaftliche Rahmenbedingungen haben in der Vergangenheit zur Ausbreitung und Etablierung der zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgung beigetragen. Seit einigen Jahren zeigt sich jedoch, dass die bisher stabilen Rahmendbedingungen Veränderungen unterliegen, die bspw. in sinkenden Wasserverbrauchs- bzw. Abwassermengen, steigenden Tarifen und im demografischen Wandel zum Ausdruck kommen. Diese Veränderungen stellen insbesondere die Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen vor technische und ökonomische Herausforderungen, die veranlassen, das etablierte System der zentral strukturierten kommunalen Wasserwirtschaft zu hinterfragen. Sie werfen die Frage nach neuen technischen und organisatorischen Lösungen auf. Dabei sind technologische Lösungen, die geeignet sind, alternative Strukturen der Wasserver- und Abwasserentsorgung aufzubauen, bereits vorhanden und werden in zahlreichen Pilotprojekten erprobt und wissenschaftlich untersucht. Dennoch sind weit reichende Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft bislang ausgeblieben.

Das Ziel der Arbeit ist es daher, die Wirkzusammenhänge von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft aufzudecken und zu untersuchen, welche Impulse strukturelle Veränderungen auslösen können. Die Ausgangshypothese ist dabei, dass die kommunale Wasserwirtschaft ein System darstellt, in dem an Transformationsprozessen neben den Kommunen und ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen weitere Akteure auf der Regime- und Nischenebene der kommunalen Wasserwirtschaft mit ihren Zielen und Motivationen beteiligt sind. Letztere spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle, da auch sie durch die veränderlichen Rahmenbedingungen auf der Ebene der Systemumwelt in ihren Handlungen beeinflusst werden und die strukturellen Eigenschaften des Systems der kommunalen Wasserwirtschaft verändern.

Dazu werden zunächst unter Zuhilfenahme des analytischen Rahmens des Multi-Level-Ansatzes die kommunale Wasserwirtschaft und ihre Rahmenbedingungen beschrieben und analysiert. Darauf aufbauend werden mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse private Haushalte, Entwickler und Hersteller innovativer wasserrelevanter Technologien, die Europäische Kommission, technisch-wissenschaftliche Verbände

sowie private Dienstleistungsunternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung als weitere relevante Schlüsselakteure neben den Kommunen und ihren Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen identifiziert. Mit der Analyse der Akteure der kommunalen Wasserwirtschaft wird erstmals eine detaillierte Beschreibung der für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft relevanten Ziele und Handlungsmotivationen der Akteure aufgestellt.

Zur Bestimmung der Einflussfaktoren auf Transformationsprozesse wird ein Simulationsmodell entwickelt, das die Effekte der veränderten Rahmenbedingungen in den verschiedenen Transformationsphasen abbilden kann. Für die Modellierung wird eine umfangreiche Datenbasis geschaffen, die in die Generierung eines repräsentativen Abwasserentsorgungsgebiets im Simulationsmodell einfließt. Die Simulation der veränderten Rahmenbedingungen sowie des Zusammenspiels der Handlungen wichtiger wasserwirtschaftlicher Akteure auf Regime- und Nischenebene der kommunalen Wasserwirtschaft stellen zudem einen neuen Ansatz zur Untersuchung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft dar.

Die Ergebnisse der Simulationsberechnungen zeigen, dass insbesondere der technische Wandel bei wasserbrauchenden Technologien sowie abnehmende Bevölkerungszahlen Effekte aufweisen, die typisch für die Startphase von Transformationsprozessen in Infrastrukturen sind. So reduziert sich bezogen auf das Jahr 2005 der Abwasseranfall im Entsorgungsgebiet des Simulationsmodells durch technischen Fortschritt und demografischen Wandel bis zum Jahr 2030 um bis zu 50 %. Diese Reduktionen in der anfallenden Gesamtabwassermenge verursachen erhebliche technische Funktionsstörungen, auf die die Abwasserentsorger reagieren müssen.

Aus einer ökonomischen Betrachtungsweise heraus zeigt sich, dass die Abwassergebühren unter den Annahmen des Simulationsmodells um bis zu 90 % ansteigen können. Aus Sicht der privaten Haushalte bedeutet dies, dass zwar die spezifischen Kosten (€/m^3) ansteigen, dass sich aber durch die erzielten Einsparungen beim Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall die durchschnittlichen Gesamtkosten einzelner Haushalte bezogen auf das Jahr 2005 reduzieren. Die Höhe der Abwassergebühr verbleibt unter diesen Bedingungen unterhalb der definierten Zumutbarkeitsgrenze. Unter diesen Rahmenbedingungen ergibt sich weder aus Sicht der privaten Haushalte noch aus der Perspektive des Abwasserentsorgers ein Impuls für Transformationsprozesse.

Betrachtet man allerdings ein Abwasserentsorgungsgebiet, in dem die Höhe der Abwassergebühr in der Ausgangssituation in etwa dem bundesdeutschen Durchschnittswert entspricht, so zeigt sich, dass mit Gebührenerhöhungen um bis zu 50 % zu rechnen ist. Da in diesem Fall die Grenze der Sozialverträglichkeit der Abwassergebühr

überschritten wird, beginnt der Abwasserentsorger die Suche nach alternativen technischen Lösungen der Abwasserentsorgung. Das heißt, dass nun ein Transformationsprozess der kommunalen Wasserwirtschaft einsetzt.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass technischer und demografischer Wandel nicht per se Impulse für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft geben, sondern dass die Ausgangskosten bzw. die Gebührenhöhe im betreffenden Wasser- bzw. Abwasserentsorgungssystem entscheidend auf die Auslösung von Transformationsprozessen einwirken.

Weiterhin von Interesse ist die Frage, welche Effekte Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft beschleunigen können. Hierzu wird eine Analyse der Beschleunigungsphase von Transformationsprozessen vorgenommen, in der zwei Varianten rechtlicher Rahmenbedingungen untersucht werden. Die erste Variante basiert auf der Annahme, dass der Anschluss- und Benutzungszwang aufgehoben wird. Die zweite Variante beruht auf der Annahme des Fortbestandes des Anschluss- und Benutzungszwanges.

Bei Aufhebung des Anschluss- und Benutzungszwanges kommt es im Simulationsmodell zu einer stufenweisen Verbreitung dezentraler Anlagen der Abwasserentsorgung, da diese in der Regel zu deutlich niedrigeren Kosten die Abwasserentsorgung durchführen können, als ein zentrales System. Die Geschwindigkeit, mit der sich dezentrale Abwasserentsorgungsanlagen verbreiten, hängt dabei von der Differenz der Kosten im Vergleich zum zentralen Abwasserentsorgungssystem als auch von den regulatorischen Rahmenbedingungen für die kommunalen Abwasserentsorger als Schlüsselakteure ab. Mit zunehmender Anzahl dezentraler Abwasserentsorgungsanlagen reduziert sich der Abwasseranfall im zentralen System und verstärkt damit die bereits durch den demografischen Wandel und den technischen Fortschritt in Gang gesetzte Steigerung der Abwassergebühren.

Die Verbreitung von dezentralen bzw. semizentralen Anlagen wird im Modell durch einen Vergleich der Abwassergebühren der verschiedenen Systeme bestimmt. Bei steigenden Gebühren im zentralen System erhöht sich die relative Vorteilhaftigkeit von dezentralen Anlagen.

Unter Berücksichtigung einer ersten Kostenvariante im zentralen System ist der relative Vorteil dezentraler Anlagen zunächst gering. Bis 2010 ist der Rückgang des Wasserverbrauchs auf den demografischen Wandel sowie den technischen Fortschritt zurückzuführen. Ab 2015 beginnen dezentrale Anlagen in das zentrale System der Abwasserentsorgung zu diffundieren, wobei die Geschwindigkeit der Diffusion mit zunehmender Vorteilhaftigkeit für die verschiedenen Adoptortypen der Haushalte im Zeit-

verlauf zunimmt. Unter Einbezug aller untersuchten Effekte (Demografie, technischer Fortschritt, Dezentralisierung) reduziert sich der Wasserverbrauch bis zum Jahr 2030 um ca. 60 % bezogen auf 2005. Dabei können auch hier die Kosten des zentralen Abwasserentsorgungssystems nur geringfügig (um ca. 15 %) reduziert werden. Durch diese Entwicklung wird die durch den demografischen und technischen Wandel ausgelöste Erhöhung der Abwassergebühren im zentralen System der Abwasserentsorgung weiter angetrieben und führt zu einem weiteren Gebührenanstieg von ca. 30 %.

In der zweiten Kostenvariante liegt die relative Vorteilhaftigkeit dezentraler Anlagen deutlich höher, so dass hier die Diffusion dezentraler Abwasserentsorgungsanlagen in das zentrale System der Abwasserentsorgung schneller erfolgt. Bis zum Jahr 2030 steigen sämtliche Haushalts-Agenten in der Simulationsrechnung aus dem zentralen System der Abwasserentsorgung aus und setzen dezentrale Technologien ein. Das zentrale System der Abwasserentsorgung ist unter diesen Bedingungen nicht mehr funktionsfähig. Dies bedeutet, dass eine Transformation vom zentralen System der Abwasserentsorgung zu dezentralen Strukturen erfolgt ist.

Bei Fortbestand des Anschluss- und Benutzungszwangs, der als zweite Variante der rechtlichen Rahmenbedingungen analysiert worden ist, sind die Impulse für einen Transformationsprozess deutlich schwächer. Dennoch ergeben sich auch hier Anreize dezentrale Technologien einzusetzen. Der Vergleich der Sanierungskosten für das zentrale System mit den Kosten einer Dezentralisierung zeigt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen für den Betreiber eines zentralen Abwassersystems sinnvoll sein kann, in dezentrale Abwasserentsorgungstechnologie zu investieren. Lässt sich auf Grund der lokalen Gegebenheiten eine Kanalsanierung vermeiden, indem das entsprechende Gebiet mit dezentralen Anlagen ausgestattet wird, so sind Kosteneinsparungen möglich. Auf diese Weise kann es auch bei Fortbestand des Anschluss- und Benutzungszwangs zu einer Dezentralisierung der Abwasserentsorgung kommen.

Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse Schlüsselakteure in Transformationsprozessen der kommunalen Wasserwirtschaft identifiziert und anhand ihrer Ziele und den Rahmenbedingungen, denen sie in ihrem Handeln unterliegen, charakterisiert. Dabei waren auch solche Handlungsmotivationen zu berücksichtigen, die von den Akteuren nicht unbedingt explizit geäußert wurden. Um die Schwierigkeiten, die mit der empirischen Fundierung der Verhaltensmuster der Akteure hinsichtlich der expliziten Nennung von Handlungsmotivationen einhergehen, auszugleichen, sowie um weiteren Aufschluss über die für Transformationsprozesse in der kommunalen Wasserwirtschaft relevanten Ziele und Motivationen der Akteure zu er-

langen, könnte die qualitative Inhaltsanalyse in einem nächsten Schritt durch persönliche Befragungen der betreffenden Akteuren ergänzt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Weiterentwicklung stellt die Ausdifferenzierung einzelner Akteure im Simulationsmodell dar. So wird im Bereich der privaten Haushalte die Verbreitung effizienter Technologien neben der Haushaltsgröße und dem Adoptortyp bspw. auch davon beeinflusst, ob es sich um Mieter oder Wohnungseigentümer handelt. Zudem sind Erweiterungen um einzelne Akteursgruppen denkbar. Darüber hinaus ist in zukünftigen Arbeiten eine Erweiterung der Gruppe der Wassernutzer um industrielle und gewerbliche Wassernutzer in Betracht zu ziehen.

In einer Ausweitung des Modells könnten zudem Wechselwirkungen zwischen Akteuren, die auf relativ unscharf definierten Rahmenbedingungen beruhen, ausdifferenzierter implementiert werden. Hier ist bspw. an die konkreten Auswirkungen von Regulierungsmaßnahmen auf die Entwickler und Hersteller innovativer (ab)wasserrelevanter Technologien zu denken.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse für Transformationsprozesse unter der Annahme des Fortbestandes des Anschluss- und Benutzungszwangs beruhen auf grundsätzlichen Überlegungen für diesen Fall, da hier lokale Bedingungen des Abwassernetzes im Simulationsmodell nicht mit berücksichtigt werden konnten. Grundsätzlich ist jedoch die Kopplung agentenbasierter Modelle mit geografischen Informationssystemen (GIS) möglich. Für die Modelsoftware SeSAM ist ein GIS-Plugin verfügbar. So könnten in zukünftigen Modellerweiterungen für die Diffusion dezentraler Anlagen wichtige Aspekte, wie das Vorhandensein geeigneter Versickerungsflächen, Flüsse oder Seen für das gereinigte Abwasser implementiert werden. Ebenso könnten topografische, klimatische und andere lokale sowie technische Besonderheiten der zu untersuchenden Abwasserinfrastruktur, wie bspw. das Alter oder der Zustand von Teilabschnitten des zentralen Abwassernetzes, mit berücksichtigt werden.

Literatur

- Ackermann, R.; Blätte, J.; Broemme, A. (2005): Magdeburger Erklärung zur Situation des deutschen Feuerwehrwesens.
- Ahmad, S.; Simonovic, S.P. (2000): Analysis of economic and social impacts of flood management policies using system dynamics, Proceeding of the International Conference of the American Institute of Hydrology, Atmospheric, Surface and Subsurface Hydrology and Interactions, New York.
- Anonymus (1984): DIN 4261 Kleinkläranlagen - Teil 2: Anlagen mit Abwasserbelüftung; Anwendung, Bemessung und Prüfung, Berlin.
- Anonymus (2002): DIN 4261 Kleinkläranlagen - Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung, Berlin.
- Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT); Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW); Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft (DBVW) (2005): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2005, Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT); Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW); Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft (DBVW); Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches Technisch-wissenschaftlicher Verein (DVGW); Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, A.u.A.D.; Verband kommunaler Unternehmen (VKU) (2008): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008, Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- Arthur, W.B. (1989): Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events. In: *Economic Journal*, 99 (1989) (394 (March)), S. 116-131.
- Barreteau, O.; Bousquet, F. (2000): SHADOC: a multi-agent model to tackle viability of irrigated systems. In: *Annals of Operations Research*, 94, S. 139-162.
- Barreteau, O.; Bousquet, F.; Attonaty, J.M. (2001): Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4 (2).
- Barreteau, O.; Bousquet, F.; Millier, C.; Weber, J. (2004): Suitability of Multi-Agent Simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. In: *Agricultural Systems*, 80 (2004), S. 255-275.
- Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2005b): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050.
- Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2005a): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050.

- Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2005c): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050.
- Beckenbach, F. (2002): Moderne Systemkonzepte in den Wirtschaftswissenschaften In: Sommerlatte, T. (Hrsg.): Angewandte Systemforschung. Ein interdisziplinärer Ansatz. Wiesbaden: Gabler, S. 80-100.
- Beckenbach, F. (2003): Kognitionswissenschaftliche Erweiterung der ökonomischen Analyse von Umweltproblemen? In: Psychologie und Umweltökonomie. Marburg: Metropolis, S. 13-40.
- Becker, M.; Geisler, S.; Hetschel, M.; Hiessl, H. (2007): Dezentrale Abwasserentsorgung mit Kleinkläranlagen in Verantwortung eines Wasserwirtschaftsverbandes. In: gwf.Das Gas- und Wasserfach.Wasser / Abwasser, 148 (2007) (6), S. 426-430.
- Becker, P. (2008): DWD vergleicht unterschiedliche Regionalmodelle zur Verbesserung der Klimaberatung, Berlin.
- Becu, N.; Perez, P.; Walker, A.; Barreteau, O.; Page, C.L. (2003): Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand - Description of the CATCHSCAPE model. In: Ecological Modelling, 170 (2), S. 319-331(13).
- Belton, V.; Stewart, T.J. (Hrsg.) (2002): Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers.
- Bennett, L.; Ragland, S.; Yolles, P. (1998): Facilitating International Agreements through an Interconnected Game Approach: The Case of River Basin In: Conflict and Cooperation in Trans-boundary Water Resources. Washington, S. 61-85.
- Berger, C.; Lohaus, J. (2003): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der aktuellen ATV-DVWK-Umfrage. In: wwt, 7-8/2003, S. 10-16.
- Berger, C.; Lohaus, J. (2004): Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- Bijker, W.E.; Hughes, T.P.; Pinch, T. (Hrsg.) (1993): The Social Construction of Technological Systems, Fourth Printing. Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press.
- Bischof, F.; Hackner, T.; Meuler, S. (2004): Membranbiologie für Kleinkläranlagen. In: wwt, 9/2004, S. 54-57.
- Bischof, F.; Meuler, S.; Hackner, T.; Reber, S. (2005): Einsatz und Erfahrung mit Membranbiologien im ländlichen Raum - Praxiserfahrungen mit Kleinkläranlagen. In: KA - Abwasser, Abfall, 52 (2), S. 164-169.
- Björnsen, G.; Roth, U. (1993): Einfluss der Haushaltsgröße auf den Wasserbedarf. In: Wasser & Boden, 3 (1993), S. 155-158.

- Blumberg, M. (2007): Dezentrale Abwasserkonzepte auch innerhalb einer geschlossenen Ortslage. In: Wasser und Abfall, 11 (2007), S. 40-46.
- Böhm, E.; Hiessl, H.; Hillenbrand, T. (2002): Auswirkungen der Wassertechnologieentwicklungen auf Wasserbedarf und Gewässeremissionen im deutschen Teil des Elbegebietes, Karlsruhe.
- Böhringer, C.; Löschl, A. (2004): Die Messung nachhaltiger Entwicklung mithilfe numerischer Gleichgewichtsmodelle. In: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung, 73 (1), S. 31-52.
- Böhringer, C.; Wiegard, W. (2003): Eine Einführung in die numerische Gleichgewichtsanalyse In: Franz, W.; Ramser, H.J.; Stadler, M. (Hrsg.): Empirische Wirtschaftsforschung: Methoden und Anwendungen. Tübingen: Mohr-Siebeck, S. 119-142.
- Bradley, J.; Herce, J.-A.; Modesto, L. (1995): Modelling in the EU periphery: The HERMIN project. In: Economic Modelling, 12 (1995), S. 219-220.
- Breschi, S.; Malerba, F. (1997): Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries In: Edquist, C. (Hrsg.): Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. London, Washington: Printer, S. 130-156.
- Brinkmeyer, J.; Rosenwinkel, K.-H.; Flasche, K.; Koppmann, M.; Austermann-Haun, U. (2005): Einsatz und Erfahrungen mit Membranbiologien im ländlichen Raum. Bedeutung und Chancen für die Verwendung in Kleinkläranlagen. In: KA - Abwasser, Abfall, 52 (2), S. 158-163.
- Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2006): Die demographische Lage in Deutschland 2006.
- Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (Hrsg.) (2007): Regionale Alterung in Deutschland. Wiesbaden.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2006): Umweltpolitik. Wasserwirtschaft in Deutschland - Teil 1 - Grundlagen. Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, N.u.R. (2007): Gewässerschutzpolitik in Deutschland. Online: www.bmu.de (Stand: 22.07.2008).
- Bundesministerium für Umwelt, N.u.R. (2008): Wasserwirtschaftsverwaltung in den Ländern und Kommunen. Online: www.bmu.de (Stand: 22.07.2008).
- Bundesministerium für Wirtschaft (2001): Optionen, Chancen und Rahmenbedingungen einer Marktöffnung für eine nachhaltige Wasserversorgung - Endbericht, Berlin, S. 1-72.
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2003): Das Magazin. Jahresbericht 2003. Online: http://www.bgw.de/pdf/0.1_resource_2004_10_20_4.pdf (Stand: 10.10.2005).

- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2005): BGW-Wasserprogrammatische (Stand: 30.09.2005).
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2001): Unsere Leistungen in Zahlen. Online: www.bundesverband-gas-und-wasser.de/mitglieder/4sta/sta.htm (Stand: 19.06.2001).
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2005a): BGW Wassertarifstatistik: Preisentwicklung beim Trinkwasser. Online: www.bgw.de (Stand: 30.08.2005a).
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2005b): Prognose und tats. Entwicklung des Haushaltswasserverbrauchs. Online: www.bgw.de (Stand: 30.08.2005b).
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2005c): Wassersparen als Kostenfalle: Bundesverband des deutschen Gas und Wasserfachs (BGW).
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2007b): Jahresbericht 2006.
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2007a): Jahresbericht 2006.
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW); Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, A.u.A.D. (2005): Wirtschaftsdaten der Abwasserentsorgung 2005, Hennef, Berlin. Online: www.dwa.de.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2008a): Stellungnahme des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft zur Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV).
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2008b): Wasserpreise - Fragen & Antworten. Online: www.bdew.de (Stand: 11.04.2008b).
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R. (1991): On the nature, function and composition of technological systems, S. 93-118.
- Centre for Energy Policy and Economics (2005): Gesellschaftlicher Umgang mit Wasser (Stand: 09.10.2005).
- Com X Institut (2006): Repräsentative Bevölkerungsbefragung: Öffentliche versus private Zuständigkeit in der Wasserwirtschaft., Bochum. Online: www.comx-forschung.de (Stand: 06.08.2008).
- Daniell, K.A.; Foley, B.A.; Kingsborough, A.B.; Maier, H.R.; Malovka, D.J.; Somerville, H.C. (2006): The AUSTIME methodology: quantifiable sustainability assessment coupled with multi-agent simulation. In: Deakin, M.; Nijkamp, P.; Mitchell, G.; Vrekeer, R. (Hrsg.): Sustainable Urban Development: the Environmental Assessment Methods. London: Routledge.

- Daniell, K.A.; Sommerville, H.C.; Foley, B.A.; Maier, H.R.; Malovka, D.J.; Kingsborough, A.B. (2005): Integrated urban system modelling: methodology and case study using multi-agent systems (Stand: 15.04.2006).
- David, P.A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY. In: American Economic Review, 75 (2), S. 332-337.
- Davidsson, P. (2000): Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation In: Moss, S.; Davidsson, P. (Hrsg.): Multi-Agent-Based Simulation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 97-107.
- Davis, D.N. (2000): Agent-Based Decision-Support Framework for Water Supply Infrastructure Rehabilitation and Development. In: Computers, Environment and Urban Systems, 24 (3), S. 173-190.
- Dedy, H.; Roßbach, C. (2005): Datenreport Kommunalfinanzen 2005: Deutscher Städte- und Gemeindebund.
- Deutsche Bank Research (2002): Die demografische Herausforderung, Sonderausgabe, Schneider, S. (Hrsg.), Demografie Spezial, Frankfurt/M.
- Deutsche Bank Research (2004): Demografische Entwicklung verschont Infrastruktur nicht, Nr. 294, Frank, H.-J. (Hrsg.), Demografie Spezial, Frankfurt/M.
- Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen (2007): Pressemitteilung: Heute an der zukunftsfähigen Wasserinfrastruktur von morgen arbeiten. Online: www.gstt.de (Stand: 06.03.2007).
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK); Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (Hrsg.) (2003a): Marktdaten Abwasser 2003. Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK); Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (Hrsg.) (2003b): Marktdaten Abwasser 2003. Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, A.u.A.D. (Hrsg.) (2005): Geschichte der DWA. Hennef.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, A.u.A.D. (2007): Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Wasserwirtschaft, Hennef. Online: www.dwa.de (Stand: 28.07.2008).
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, A.u.A.D. (2008): Jahrbuch 2008 mit Tätigkeitsbericht 2007, Hennef. Online: www.dwa.de (Stand: 28.07.2008).
- Deutscher Bundestag (2001): Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland, Berlin (Stand: 21.09.2007).

- Deutscher Bundestag (2006): Bericht der Bundesregierung zur Modernisierungsstrategie für die deutsche Wasserwirtschaft und für ein stärkeres internationales Engagement der deutschen Wasserwirtschaft.
- Deutscher Feuerwehrverband (2005): Bundespolitische Themen der Feuerwehren. Online: www.dfv.org (Stand: 09.03.2008).
- Deutscher Feuerwehrverband (Hrsg.) (2008a): DFV 2020 - Strategien für eine sichere Zukunft. Fulda.
- Deutscher Feuerwehrverband (2008c): DFV-Kongress „Mut zur Zukunft“ Tagungsband.
- Deutscher Feuerwehrverband (2008b): DFV-Kongress „Mut zur Zukunft“ Tagungsband.
- Deutscher Städte- und Gemeindebund (2007): Kommunale Daseinsvorsorge für Bürger unverzichtbar!, Berlin. Online: www.dstgb.de (Stand: 20.02.2008).
- Dietzenbacher, E.; Velázquez, E. (2007): Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input-Output Framework. In: Regional Studies: The Journal of the Regional Studies Association, 41 (2), S. 185-196(12).
- Dosi, G. (1982): Technological paradigms and technology trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. In: Research Policy, 11 (3), S. 147-162.
- Eder, M.; Feichtinger, F.; Hofreither, M.F.; Kniepert, M.; Liebhard, P.; Salhofer, K.; Schmid, E.; Sinabell, F.; Streicher, G. (2000): Modellanalyse von ökonomischen Instrumenten zum Grundwasserschutz im Zusammenhang mit dem ÖPUL-Programm, Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 1133 im Auftrag des BMLF und BMUJF, Wien.
- Edquist, C. (Hrsg.) (1997): Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations. London: Frances Pinter.
- Elsner, W.; Otte, C.; Yu, I. (2005): Klimawandel und regionale Wirtschaft, Strukturwandel und Strukturpolitik 12, Frankfurt: Lang.
- Elzen, B. (2003): Transition to Sustainability through System Innovation. Summary report from workshop and follow-up activities.
- Empacher, C.; Götz, K.; Schultz, I.; Birzle-Harder, B. (2000): Demonstrationsvorhaben zur Fundierung und Evaluierung nachhaltiger Konsummuster und Verhaltensstile. Endbericht des Teilprojekts 2: Haushaltsexploration der Bedingungen, Möglichkeiten und Grenzen nachhaltigen Konsumverhaltens, Frankfurt am Main: Institut für sozial-ökologische Forschung.
- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (Hrsg.) (2005): fbr - Hinweisblatt H 201 Grauwasser-Recycling. Planungsgrundlage und Betriebshinweise. Darmstadt.

- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (Hrsg.) (2007a): Betriebs- und Regenwasser fbr-Branchenführer 2007. Darmstadt.
- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2007b): Hintergrundinformation zur fbr. Online: <http://www.fbr.de> (Stand: 02.10.2007b).
- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2007c): Regenwassernutzung wirbt bei Politik und Medien um Aufmerksamkeit.
- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2007d): Wasser zweimal nutzen - Grauwasser-Recycling. Online: <http://www.fbr.de/grauwasser.html> (Stand: 27.05.2008d).
- Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2008): Resolution der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung: Keine Einschränkung für die Nutzung von Regenwasser zum Wäsche waschen! Online: www.fbr.de (Stand: 24.06.2008).
- fbr Dialog (2008): Regenwasserbewirtschaftung in Deutschland, Kommunale Regenwassernutzung: fbr Dialog GmbH.
- Ferber, J. (2001): Multiagentensysteme - Eine Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz, München, Boston, San Francisco: Addison-Wesley.
- Figuera, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. (Hrsg.) (2005): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys: Springer.
- Fletcher, E.J. (1998): The use of system dynamics as a decision support tool for the management of surface water resources, Proceeding of the 1st International Conference on New Information Technologies for Decision-Making in Civil Engineering, Montreal.
- Förderkreis des Deutschen Feuerwehrverbandes (2008): Auch Helfer brauchen Unterstützung! Online: www.feuerwehrverband.org (Stand: 09.03.2008).
- Forrester, J.W. (1961): Industrial Dynamics, New York, London: M.I.T. Press and John Wiley & Sons, Inc.
- Frank, I. (2007): Überwachung von dezentralen Anlagen. In: wwt, Special Abwasser Dezentral (6/2007), S. 24-25.
- Franklin, S.; Graesser, A. (1996): Is It an Agent, or Just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents In: Müller, J.P.; Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R. (Hrsg.): Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 21-35.
- Fraunhofer ISI (2000): Forschungsprojekt „Errichtung eines innovativen und nachhaltigen Wasser- und Abwasserinfrastruktursystems für das Wohngebiet Dahler Feld in Selm, Status: laufend.

- Fraunhofer ISI (2005): Parameter der wasserrelevanten Technologieentwicklung im Haushaltssektor bis 2030. Internes Arbeitspapier.
- Freeman, C. (1987): *Technology Policy and Economic Performance. Lessons from Japan*, London, New York: Pinter Publishers.
- Freeman, C.; Perez, C. (1988): Structural Crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour In: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.R.; Silverberg, G.; Soete, L. (Hrsg.): *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, S. 38-66.
- Frisvold, G.; Caswell, M. (2000): Transboundary water management - Game-theoretic lessons for projects on the US-Mexico border. In: *Agricultural Economics*, 24 (1), S. 101-111.
- Gärtner, T.; Rudolph, K.-U. (1998): Kostensenkungsprogramm beim Neubau, Umbau und Betrieb von Kläranlagen In: Schmitz, C.W. (Hrsg.): *Handbuch Kommunales Abwasser*. Bonn: Economica, S. 287-319.
- Geels, F.W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and case-study. In: *Research Policy*, 31, S. 1257-1274.
- Geels, F.W. (2004): Understanding system innovations. A critical literature review and a conceptual synthesis In: Elzen, B.; Geels, F.W.; Green, K. (Hrsg.): *System Innovation and the Transition to Sustainability*. Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA: Edward Elgar, S. 19-47.
- Geels, F.W. (2005a): Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850-1930) - a case study in multi-level perspective. In: *Technology in Society*, 27 (2005), S. 363-397.
- Geels, F.W. (2005b): Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. In: *Technological Forecasting and Social Change*, 72 (6), S. 681-696.
- Geels, F.W. (2005c): *Technological Transitions and System Innovations. A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis*, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA: Edward Elgar.
- Geels, F.W.; Schot, J. (2005): Taxonomy of transition pathways in socio-technical systems - Paper presented at the workshop by the ESRC Sustainable Technologies Programm, London.
- Geisler, S.; Hetschel, M.; Freund, M. (2008): Verband übernimmt Wartung und Betrieb. In: *wwt, Special Abwasser Dezentral* (6/2008), S. 10-13.
- Gerstengarbe, F.-W.; Badeck, F.; Hattermann, F.; Krysanova, V.; Lahmer, W.; Lasch, P.; Stock, M.; Suckow, F.; Wechsung, F.; Werner, P.C. (Hrsg.) (2003): *Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswir-*

kungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam.

- Gilbert, N.; Troitzsch, K.G. (1999): Simulation for the social scientist, Buckingham, Philadelphia: Open University Pr.
- Görlach, B.; Pielen, B. (2004): Die Ermittlung von Umwelt- und Ressourcenkosten nach der Wasserrahmenrichtlinie: die Situation in Deutschland, Berlin: Ecologic, Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik.
- Götsch, E. (2005): Kombination von Betriebs- und Löschwasserversorgungsanlagen In: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (Hrsg.): Betriebs- und Regenwassernutzung - Bestandsaufnahme und Zukunftsvisionen. Darmstadt, S. 97-106.
- Green, K.; McMeekin, A.; Irwin, A. (1994): Technological Trajectories and R&D for Environmental Innovation in UK Firms. In: Futures, 26 (10), S. 1047-1059.
- Grieser, J.; Beck, C. (2002): Klimatrends in Deutschland In: Deutscher Wetterdienst DWD (Hrsg.): Klimastatusbericht 2002. Offenbach.
- Grießhammer, R.; Bunke, D.; Eberle, U.; Gensch, C.-O.; Graulich, K.; Quack, D.; Rüdener, I.; Götz, K.; Birzle-Harder, B. (2004): EcoTopTen - Innovationen für einen nachhaltigen Konsum, Öko-Institut (Hrsg.), Freiburg.
- Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des Technischen Wandels - Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Haffner, Y.; Gramel, S. (2001): Modelling Strategies for Water Supply Companies to Deal with Nitrate Pollution. In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 4 (3).
- Herbst, H.; Montag, D.; Gethke, K.; Pinnekamp, J. (2007): Potenziale, Techniken und Kosten der Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Abwasser. In: KA - Abwasser, Abfall, 54 (10), S. 1013-1024.
- Herz, R.; Marschke, L.; Schmidt, T. (2005): Stadtumbau und Stadttechnik Teil 1: Die Städte schrumpfen, Ver- und Entsorger stehen vor großen Herausforderungen. Ursachen und Folgen für die Stadttechnik. In: wwt, 10 (2005), S. 8-12.
- Hesselmann, D. (2004): Leitungsbauer warnen vor dem Blackout. Online: <http://www.rbv-koeln.de/> (Stand: 29.02.2008).
- Hesselmann, D. (2005): Rohrleitungsbauer kritisieren Investitionsstau. Online: <http://www.rbv-koeln.de/> (Stand: 10.02.2005).
- Hiessl, H. (2005a): Wassertechnologien für eine nachhaltige Zukunft In: Mappus, S. (Hrsg.): Erde 2.0 - Technologische Innovationen als Chance für eine nachhaltige Entwicklung? Berlin, Heidelberg: Springer, S. 140-173.

- Hiesl, H. (2005b): Zukünftige Herausforderungen für den Umgang mit Wasser in Siedlungen In: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (Hrsg.): Betriebs- und Regenwassernutzung - Bestandsaufnahme und Zukunftsvision. Darmstadt, S. 119-136.
- Hiesl, H.; Herbst, H. (2002): Umsetzungsstrategien zur Einführung marktorientierter Wasserinfrastruktursysteme in Deutschland In: Dohmann, M. (Hrsg.): 35. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Aachen: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, S. 46-1-46/13.
- Hiesl, H.; Toussaint, D. (1999): Szenarios für Stadtentwässerungs-Systeme. In: GAIA, 8 (1999) (3), S. 176-185.
- Hiesl, H.; Toussaint, D.; Becker, M.; Dyrbusch, A.; Geisler, S.; Herbst, H.; Prager, J.U. (2003): Alternativen der kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung AKWA 2100, Technik, Wirtschaft und Politik, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Heidelberg: Physica.
- Hillenbrand, T.; Hiesl, H. (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen. In: KA - Abwasser, Abfall, 54 (1), S. 47-53.
- Hoffmeister, J.; Tettinger, S.; Staben, N. (2008): Demografische und wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Konsequenzen für die wasserwirtschaftliche Infrastruktur. In: Wasser und Abfall, 10. Jahrgang (Heft 6), S. 10-14.
- Hoogma, R. (2000): Exploiting Technological Niches, Mumford Series, Twente: University Press.
- Huang, G.G.H.; Jorgensen, S.E.; Xu, Y. (1997): Integrated Environmental Planning for Sustainable Development in the Lake Erhai Basin, United Nations Environment Programme (Hrsg.).
- Hughes, T.P. (1993): The Evolution of Large Technological Systems In: The Social Construction of Technological Systems. Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press, S. 51-82.
- Institut für empirische Sozial- und Kommunikationsforschung (2008): Qualität und Image von Trinkwasser in Deutschland, Neuss.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2001a): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Pr.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2001b): Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Pr.

- Izquierdo, I.R.; Gotts, N.M.; Polhill, J.G. (2003): FEARLUS-W: An Agent-Based Model of River Basin Land Use and Water Management, Paper presented at International Conference „Framing Land Use Dynamics: Integrating knowledge on spatial dynamics in socio-economic and environmental systems for spatial planning in western urbanized countries“, Utrecht University (Stand: 12.01.2009).
- Jager, W. (2000): Modelling consumer behaviour, Universal Press.
- Jochimsen, R. (1966): Theorie der Infrastruktur: Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung, Tübingen: J.C.B. Mohr, S. 1-253.
- Jonas, M.; Staeger, T.; Schönwiese, C.D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaveränderungen - Schwerpunkt Deutschland -, Forschungsvorhaben 201 41 254, Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main Arbeitsgruppe Klimaforschung (Hrsg.), Dessau: Umweltbundesamt.
- Kaijser, A. (2001): Redirecting infrasystems towards sustainability. What can we learn from history? (Stand: 06.11.2002).
- Kaijser, A. (2003): Predicting Infrasystems Towards Sustainability In: Biel, A.; Hansson, B.; Martensson, M. (Hrsg.): Individual and Structural Determinants of Environmental Practice. Aldershot, England / Burlington, USA: Ashgate Publishing, S. 152-179.
- Kemp, R. (1994): Technology and the Transition to Environmental Sustainability. In: Futures, 26 (10), S. 1023-1046.
- Kemp, R.; Rip, A.; Schot, J. (2001): Constructing Transition Paths Through the Management of Niches In: Garud, R.; Karnoe, P. (Hrsg.): Path Dependence and Creation. Mahwah, New Jersey; London: Lawrence Erlbaum Associates, S. 269-299.
- Kemp, R.; Schot, J.; Hoogma, R. (1998): Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management. In: Technology Analysis & Strategic Management, 10 (2), S. 175-195.
- Kerpen, J.; Zapf, D. (2005): Grauwasserrecycling wirtschaftlich schon rentabel? In: Fachjournal IHKS, 2005/06, S. 88-92.
- Kilgour, D.; Dinar, A. (2001): Flexible Water Sharing within an International River Basin. In: Environmental and Resource Economics, 18 (2001), S. 43-60.
- Kluge, T.; Koziol, M.; Lux, A.; Schramm, E.; Veit, A. (2003): Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck - Sektoranalyse Wasser, Forschungsverbund netWORKS (Hrsg.), netWORKS-Papers, Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Kluge, T.; Scheele, U. (2003): Transformationsprozesse in leitungsgebundenen Infrastrukturen. Neue Problemlagen und Regulationserfordernisse, Forschungsver-

- bund netWORKS (Hrsg.), netWORKS-Papers, Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Klügl, F. (2001): Multiagentensimulation - Konzepte, Werkzeuge, Anwendung, München: Addison-Wesley.
- Knopp, A. (2004): Marktentwicklung und ökonomische Randbedingungen alternativer Technikbausteine im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung, Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2004a): Grünbuch zu Öffentlich-Privaten Partnerschaften und den Gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für Öffentliche Aufträge und Konzessionen.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2004b): Grünbuch zu Öffentlich-Privaten Partnerschaften und den Gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für Öffentliche Aufträge und Konzessionen.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen zu öffentlich-privaten Partnerschaften und den gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für das öffentliche Beschaffungswesen und Konzessionen, Brüssel (Stand: 21.09.2007).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2008): Mitteilung der Kommission zu Auslegungsfragen in Bezug auf die Anwendung der gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften für öffentliche Aufträge und Konzessionen auf institutionalisierte Öffentlich Private Partnerschaften (IÖPP), Brüssel. Online: [http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Mitteilung_der_EU-Kommission_zu_IOePP_deutsche_Fassung/\\$file/comm_2007_6661_de.pdf](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Mitteilung_der_EU-Kommission_zu_IOePP_deutsche_Fassung/$file/comm_2007_6661_de.pdf) (Stand: 26.05.2008).
- Kotz, C.; Hillenbrand, T. (2005): Status quo und Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik. Anwendungsfeld Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Internes Arbeitspapier Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Kotz, C.; Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Trösch, W.; Mohr, M. (2006): Pilot-Project DEUS 21: A concept for sustainable urban water infrastructure. In: Beck, M.B.; Speers, A. (Hrsg.): 2nd IWA Leading-Edge on Sustainability in Water-Limited Environments. IWA Publishing.
- 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-Paper, Nr. 22, Berlin.
- Kröhnert, S.; Medicus, F.; Klingholz, R. (2006): Die demografische Lage der Nation. Wie zukunftsfähig sind Deutschlands Regionen?, Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung (Hrsg.), München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

- Küchler, W. (2004): Projektion des Klimawandels in Sachsen für die Dekade 2041-2050. In: Wasser und Abfall, 11 (2004), S. 10-14.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2005b): Der Klimawandel in Baden-Württemberg.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2005c): Der Klimawandel in Baden-Württemberg.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2005a): Der Klimawandel in Baden-Württemberg.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2006): Unser Klima verändert sich. Folgen, Ausmaß, Strategien. Karlsruhe.
- Lehr, U.; Löbke, K. (1999): Umweltinnovationen - ein neues Forschungsfeld?, S. 153-158.
- Leist, H.-J. (2007): Wasserversorgung in Deutschland, München: oekom.
- Libbe, J.; Moss, T. (2007): Wandel in der Wasserwirtschaft und die Zukunft kommunal-politischer Steuerung. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (ZfU), 3 (2007), S. 381-403.
- Liebowitz, S.J.; Margolis, S.E. (1995): Path Dependence, Lock-In, and History. In: Journal of Law, Economics and Organization, 11 (1), S. 205-226.
- Linscheidt, B. (1999): Consumer Behaviour and Sustainable Change, Umweltökonomische Diskussionsbeiträge Nr. 99-2, Umweltökonomische Diskussionsbeiträge, Köln: Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität zu Köln.
- Lübke, E. (2002): Jahresbericht der Wasserwirtschaft. Gemeinsamer Bericht der mit der Wasserwirtschaft befassten Bundesministerien - Haushaltsjahr 2001, S. 5-13.
- Lüdtker, H. (1989): Expressive Ungleichheit. Zur Soziologie der Lebensstile, Opladen: Leske + Budrich.
- Luhmann, N. (1995): Was ist Kommunikation? In: Luhmann, N. (Hrsg.): Soziologische Aufklärung 6. Die Soziologie und der Mensch. Opladen: Westdeutscher Verlag, S. 113-124.
- Luhmann, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft, Frankfurt/M.
- Lundvall, B.Ä. (1992a): Introduction In: National Systems of Innovation. Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter, S. 1-19.
- Lundvall, B.Ä. (1992b): National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning, Lundvall, B.Ä. (Hrsg.), London: Pinter.

- Malerba, F. (2002): Sectoral systems of innovation and production. In: *Research Policy*, 31 (2002), S. 247-264.
- Malerba, F. (2005): Sectoral Systems of Innovation: A Framework for linking Innovation to the Knowledge Base, Structure and Dynamics of Sectors. In: *Economics of Innovation and New Technology*, 14 (1-2), S. 63-82.
- Mamrot, D. (2005): Zur Wirkung der Veränderung der Ressourcen bei der Feuerwehr auf die Sicherheit gegenüber Brandgefahren in einer Gemeinde - Kurzfassung eines Berichts an den Vorstand der vfdb. In: *vfdb-Zeitschrift*, 4/2005, S. 191-200.
- Markard, J.; Truffer, B. (2008): Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. In: *Research and Policy*, 37 (2008), S. 596-615.
- Marschke, L.; Schmidt, T.; Schneider, G. (2006): Stadtumbau und Stadttechnik Teil 3: Langfristige Preis- und Gebührenentwicklung und Optionen für die Ver- und Entsorger. In: *wwt*, 1-2 (2006), S. 27-32.
- Maurer, M. (2006): Persönliches Gespräch - Sachgebietsleiter Klärwerk und Pumpwerk des Tiefbauamtes Karlsruhe.
- Maurer, M.; Rothenberger, D.; Larsen, T.A. (2006): Decentralised wastewater treatment technologies from a national perspective: at what cost are they competitive? In: *Water Science and Technology: Water Supply*, 5 (6), S. 145-154.
- Mayntz, R. (1988): Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme In: *Differenzierung und Verselbständigung. Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme*. Frankfurt/M., New York: Campus, S. 233-259.
- Mayring, P. (2007): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, 9. Aufl., Weinheim, Basel: Beltz.
- Meier, M.; Barth, U. (2007): Sind unsere freiwilligen Feuerwehren trotz demografischen Wandels „fit für die Zukunft“? In: *vfdb-Zeitschrift*, 3/2007, S. 147-155.
- Meier, W.K.; Reichert, P. (2001): Modelle im Gewässerschutz. In: *EAWAG news*, 51, S. 13-15.
- Metcalfe, S. (1995): The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives In: Stoneman, P. (Hrsg.): *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Oxford, UK; Cambridge, USA: Blackwell, S. 409-512.
- Meuler, S. (2007): Kleinkläranlagen mit Membrantechnik. In: *wwt, Special Abwasser Dezentral* (6/2007), S. 34-39.
- Meurer, R. (2000): *Wasserbau und Wasserwirtschaft in Deutschland - Vergangenheit und Gegenwart*, Berlin: Parey.

- Montag, D.; Gethke, K.; Herbst, H.; Pinnekamp, J. (2008): Phosphorrückgewinnung im Bereich kommunaler Kläranlagen - eine Bestandsaufnahme 2008. In: Wasser und Abfall, 2008 (1-2), S. 14-18.
- Mosler, H.-J. (2001): Changing Environmental Attitudes and Behaviors in Populations: Simulation Studies Based on Socio-Psychological Theories In: Matthies, M.; Malchow, H.; Kriz, J. (Hrsg.): Integrative System Approaches to Natural and Social Dynamics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 569-577.
- Moss, S.; Downing, T.E.; Rouchier, J. (2000): Demonstrating the Role of Stakeholder Participation: An Agent Based Social Simulation Model of Water Demand Policy and Response, CPM Report No.:00-76.
- Müller, M. (2006): Ein allgemeines Gleichgewichtsmodell zu Wasser- und Landnutzungsreformen in Usbekistan. In: ZEF news, Nr. 19 (7/2006), S. 5-6.
- Müller, M.; Straub, A.; Heine, A. (2007): Die Kleinkläranlage als Dauerlösung. In: wwt, Special Abwasser Dezentral (6/2007), S. 10-18.
- National Research Council (1995): Measuring and Improving Infrastructure Performance.
- Nelson, R.R. (Hrsg.) (1993): National Innovation Systems. A Comparative Analysis. Oxford, New York, Toronto: Oxford University Press.
- Nelson, R.R.; Winter, S.G. (1977): In Search for a Useful Theory of Innovation. In: Research and Policy, 6 (1977), S. 36-76.
- Nelson, R.R.; Winter, S.G. (1982): An evolutionary theory of economic change, Cambridge, Massachusetts, London: Belknap Press.
- Nijkamp, P. (1986): Infrastructure and Regional Development: A Multidimensional Policy Analysis. In: Empirical Economics, 11 (1), S. 1-21.
- Nowak, J. (2007): Wartung von Kleinkläranlagen. In: wwt, Special Abwasser Dezentral (6/2007), S. 19-21.
- Oechslein, C. (2004): Vorgehensmodell mit integrierter Spezifikations- und Implementierungssprache für Multiagentensimulationen, Würzburg, Aachen: Bayrische Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Oldenburg, M.; Otterpohl, R. (1997): Möglichkeiten der dezentralen und semizentralen Abwasserbehandlung In: Weigert, B. (Hrsg.): Dezentrale Abwasserbehandlung in ländliche strukturierten Regionen. Berlin.
- Otterpohl, R. (2002): Perspektiven für die dezentrale Abwasserreinigung: Das abwasserfreie Haus und dezentrale Abwasseranlagen in der Innenstadt? In: Wasser & Boden, 54 (5), S. 12-15.
- Otterpohl, R.; Braun, U.; Oldenburg, M. (2002): Innovative Technologies for Decentralised Wastewater Management in Urban and Peri-Urban Areas In: Wilderer,

- P.A.; Paris, S. (Hrsg.): Water - The Essence of Life But Elusive to Many; Symposium on the occasion of the 60th birthday of Dipl.-Ing. Hans G. Huber, Berching, 26th of September 2002. München: Hieronymus Buchreproduktions-GmbH, S. 110-126.
- Otterpohl, R.; Oldenburg, M.; Büttner, S. (1999): Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement. In: Korrespondenz Abwasser, 46. Jahrgang (Nr. 2), S. 204-212.
- Pavitt, K. (1984): Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory, S. 343-373.
- Perugini, D.; Perugini, M.; Young, M. (2008): Water Saving Incentives: An Agent-Based Simulation Approach to Urban Water Trading, SimTecT 2008 Simulation Conference, Melbourne, Australia. Online: www.IntelligentSoftware.com.au/files/simTecT08_PeruginiPeruginiYoung.pdf (Stand: 12.01.2009).
- Pfeifer, R.; Scheier, C. (1999): Understanding Intelligence, Cambridge, London: MIT Press.
- Prager, J.U. (2002): Nachhaltige Umgestaltung der kommunalen Abwasserentsorgung - eine ökonomische Analyse innovativer Entsorgungskonzepte, Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik, Hagen: ISL-Verlag.
- Quist, J.N.; Vergragt, P.J. (2000): System Innovations towards Sustainability Using Stakeholder Workshops and Scenarios.
- Richter, N.; Thoms, S.; Hennicke, P.; Berlo, K.; Wagner, O.; Lucas, R.; Wilts, H.; Wallbaum, H.; Schaltegger, S. (2007): Perspektiven dezentraler Infrastrukturen im Spannungsfeld von Wettbewerb, Klimaschutz und Qualität, Wuppertal: Wuppertal Institut.
- Rip, A.; Kemp, R. (1998): Technological Change In: Rayner, S.; Malone, E.L. (Hrsg.): Human Choice and Climate Change. Volume 2, Resources and Technology. Columbus, Ohio, USA: Batelle Press, S. 327-399.
- Rixon, A.; Moglia, M.; Burn, S. (2007): Exploring Water Conservation Behaviour through Participatory Agent-Based Modelling In: Castelletti, A.; Soncini-Sessa, R. (Hrsg.): Topics of System Analysis and Integrated Resource Management. New York: IFAC Elsevier, S. 73-96.
- Rogers, E.M. (1995): Diffusion of Innovations - 4. Aufl, New York: The Free Press.
- Rogers, E.M. (2003): Diffusion of Innovations, 5. Aufl., New York, London, Toronto: Free Press.
- Rogers, P. (1993): The Value of Cooperation in Resolving International River Basin Disputes. In: Natural Resource Forum, 17 (1993), S. 117-131.

- Rohrleitungsbauverband (2005): Umfrage unter Rohrleitungsunternehmen: Investitionen in Versorgungsleitungen bleiben aus - Arbeitsplätze gefährdet. Online: <http://www.rbv-koeln.de/> (Stand: 12.12.2005).
- Rohrleitungsbauverband (2006): Rückgang der Bevölkerung erfordert neue Lösungen. Online: http://www.rbv-koeln.de (Stand: 29.02.2008).
- Roscher, H. (2008): Rehabilitation von Wasserversorgungsnetzen, Berlin: Huss Medien.
- Rosenberg, N. (1994): Exploring the black box, Cambridge: Cambridge University Press.
- Rothenberger, D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser, Kastanienbaum: Centre for Innovation Research in the Utility Sector (CIRUS); Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG).
- Rotmans, J.; Kemp, R.; van Asselt, M. (2001): more evolution than revolution. transition management in public policy. In: foresight the journal of future studies, strategic thinking and policy, 03 (01), S. 1-17.
- Rotmans, J.; Kemp, R.; van Asselt, M.; Geels, F.W.; Verbong, G.; Molendijk, K.; van Notten, P. (2000): Transitions & Transition Management.: International Centre for Integrative Studies (ICIS), Maastricht University.
- Rüdenauer, I.; Griebshammer, R. (2004): PROSA Waschmaschinen. Produkt-Nachhaltigkeitsanalyse von Waschmaschinen und Waschprozessen: Öko-Institut.
- Rudolph, K.-U.; Block, T. (2002): Der Wassersektor in Deutschland. Methoden und Erfahrungen, Berlin.
- Rudolph, K.-U.; Haneke, C.; Block, T.; Backhouse, S.; Ewers, A. (2005): Wasserleitfaden, Dokumentation Nr. 547, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
- Rudolph, K.-U.; Schäfer, D. (2002): Zum internationalen Stand und der Entwicklung alternativer Wassersysteme. In: WasserWirtschaft.Zeitschrift für Wasser und Umwelt, 92 (2), S. 32-37.
- Sartorius, C.; Hillenbrand, T. (2008): Abwasserentsorgungstechnologie im Elbegebiet. Bestand und Entwicklung. In: Korrespondenz Abwasser, 55 (4), S. 381-386.
- Schaum, C.; Cornel, P.; Jardin, N. (2008): Untersuchung zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche. In: Wasser und Abfall, 2008 (1-2), S. 18-21.
- Schleich, J.; Hillenbrand, T. (2007): Determinants of Residential Water Demand in Germany, S 3/2007, Working Paper Sustainability and Innovation, Karlsruhe: Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung.

- Schot, J.; Hoogma, R.; Elzen, B. (1994): Strategies for Shifting Technological Systems. In: *Futures*, 26 (10), S. 1060-1076.
- Schulze, W. (2008): Abwasserbehandlung mit Gruppenkläranlagen. In: *wwt, Special Abwasser Dezentral (6/2008)*, S. 23-25.
- Schwarz, N. (2007): *Umweltinnovationen und Lebensstile. Eine raumbezogene, empirisch fundierte Multi-Agenten-Simulation*, Kassel: Universität Kassel.
- Schwarz, N.; Ernst, A. (2006): Using empirical data to build an agent-based model of innovation diffusion In: *Proceedings of the workshop on agent-based models of market dynamics and consumer behaviour*, Surrey, GB.
- Seeger, H. (1999): The history of German waste water treatment. In: *European Water Management*, 2 (5), S. 51-56.
- Sensfuß, F. (2008): Assessment of the impact of renewable electricity generation on the German electricity sector An agent-based simulation approach., *Fortschritt-Berichte Reihe 16 Nr. 188.*, VDI Verlag, Düsseldorf: Universität Karlsruhe.
- Siegl, A.; Löffler, A. (2008): Nutzen-Kosten-Bewertung dezentraler Abwasserbehandlung. In: *wwt, Abwasser Dezentral Special (6/2008)*, S. 35-42.
- Simonovic, S.P.; Fahmy, H. (1999): A new modelling approach for water resources policy analysis. In: *Water Resources Research*, 35 (1), S. 295-304.
- Simonovic, S.P.; Fahmy, H.; Elshorbagy, A. (1997): The use of object-oriented modeling for water resources planning in Egypt. In: *Water Resources Management*, 114 (243), S. 261.
- Simonovic, S.P.; Li, L. (2003): Methodology for assessment of climate change impact on large-scale flood protection system. In: *Journal of Water Resources Planning Management*, 129 (5), S. 361-371.
- Smith, A.; Stirling, A.; Berkhout, F. (2005): The governance of sustainable socio-technical transitions. In: *Research Policy*, 34 (2005), S. 1491-1510.
- Smith, K. (1997): *Economic Infrastructures and Innovation Systems* In: *Systems of innovation - Technologies, institutions and organizations*. London: Pinter.
- Spudulyte, E. (2003): *Die Osterweiterung und die Regionalpolitik der EU*, Universität Aachen: Philosophische Fakultät.
- Staben, N. (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur, Heft 24, *Forschungsverbund netWORKS (Hrsg.)*, netWorks-Papers, Berlin.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) (2007): *Demografischer Wandel in Deutschland, Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern*. Wiesbaden.

- Statistisches Bundesamt (2005): Haushalte nach Haushaltsgrößen. Online: <http://www.destatis.de/indicators/d/lrbev05ad.htm> (Stand: 28.05.2005).
- Statistisches Bundesamt (2006a): Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006b): Bevölkerungsfortschreibung, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006i): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006j): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006c): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006d): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006e): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006f): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006g): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006h): Fachserie 19 Reihe 2.1 Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006k): Fachserie 4 Reihe 6.1 Produzierendes Gewerbe. Beschäftigung, Umsatz, Investitionen und Kostenstruktur der Unternehmen in der Energie- und Wasserversorgung 2003, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006l): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Nettoeinkommen und Zahl der Haushalte nach Haushaltsgruppen 1991-2005, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2007): Haushalte. Online: www.destatis.de (Stand: 19.09.2007).

- Statistisches Bundesamt (2008): Haushalte und Lebensformen in Deutschland. Online: www.destatis.de (Stand: 22.10.2008).
- Staudt (1996): Der Innovationsprozess in Unternehmen, Bochum.
- Stephan, A. (1999): Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation, Philosophische Schriften. Theory & Analysis, Mühlholzer, F.; Spohn, W., Dresden, München: Dresden University Press.
- Stiftung Warentest (2004): Kein Verlass auf Automatik. In: Test, 10 (2004), S. 66-69.
- Stock, M. (2004): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft In: ATV-DVWK-Bundestagung 2004. Hennef: ATV-DVWK, S. 65-81.
- Supalla, R.; Klaus, B.; Yeboah, O.; Bruins, R. (2002): A Game Theory Approach to Deciding Who Will Supply Instream Flow Water. In: Journal of the American Water Resources Association, 38 (4), S. 959-966.
- Tàbara, D.J.; Wallman, P.; Elmqvist, B.; Ilhan, A.; Madrid, C.; Olson, L.; Schilperoord, M.; Valkering, P.; Weaver, P. (2007): Participatory Modelling for the Integrated Sustainability Assessment of Water: the World Cellular Model and the MATISSE Project, 9, Jäger, J.; Weaver, P. (Hrsg.), MATISSE Working Papers.
- Tillmann, D.E. (2001): Stakeholder Analysis in Water Supply Systems, Zürich: Swiss Federal Institute of Technology, Zürich; Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2005a): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.
- Umweltbundesamt (2005b): Versickerung und Nutzung von Regenwasser. Vorteile, Risiken, Anforderungen, Dessau. Online: www.umweltdaten.de (Stand: 06.08.2008b).
- Verband der Elektrotechnik (VDE) (2005): Energiekennzeichnung von Haushaltsgeräten (Stand: 25.05.2005).
- Verband kommunaler Unternehmen (2008a): Dienstleistungskonzessionen: Hintergrund. Online: www.vku.de (Stand: 26.05.2008a).
- Verband kommunaler Unternehmen (2008c): Kunden lehnen Privatisierung der Trinkwasserversorgung ab! Online: www.vku.de (Stand: 27.02.2008c).
- Verband kommunaler Unternehmen (2008b): Kunden lehnen Privatisierung der Trinkwasserversorgung ab! Online: www.vku.de (Stand: 27.02.2008b).
- Wald, J. (2004): Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Planungen - Praxisbeispiele, 2. Symposium „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA), 03.05.-04.05.2004 in Würzburg.

- Weideler, A.; Krampe, J.; Steinmetz, H. (2008): Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Klärschlamm als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). In: Wasser und Abfall, 2008 (1-2), S. 23-26.
- Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R. (Hrsg.) (1994): Intelligent Agents, ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages Amsterdam, The Netherlands, August 1994 Proceedings. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Wupperverband (Hrsg.) (2003): Das Projekt Lambertsmühle: Zukunftsfähiges Abwassermanagement im ländlichen Raum? Burscheid.
- Zellner, M.L. (2005): Generating Policies for Sustainable Water-Use in Complex Scenarios: An Agent-Based Model of Monroe County, Michigan, Ann Arbor: University of Michigan.
- Zimmermann, H.-J.; Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse. Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrzielentscheidungen, Berlin, Heidelberg: Springer.

**Anhang:
Häufigkeiten und Eigenschaften der Haushalts-Agenten**

Konsumstil (Summe der Haushalts-Agenten in der Haushaltspopulation)	Ausprägung des Haushalts-Agenten	Anzahl Haushalts-Agenten in Population	β_E	β_I	Adoptortyp	Referenzgröße [€]
Typ 1: Durchorganisierte Ökofamilie (2)	Dreipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	hoch	niedrig	1x Früher Adoptor	520
	Vier und mehr Personen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	hoch	niedrig	1x Innovator	632
Typ 2: Kinderlose Berufsorientierte (6)	Single-Haushalt, junge Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	mittel	niedrig	1x Frühe Mehrheit	190
	Single-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	2x	mittel	niedrig	1x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	190
	Zweipersonen-Haushalt, junge Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	mittel	niedrig	1x Späte Mehrheit	363
	Zweipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	2x	mittel	niedrig	2x Späte Mehrheit	363
Typ 3: Junge Desinteressierte (5)	Single-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	5x	niedrig	hoch	3x Nachzügler 2x Späte Mehrheit	190
Typ 4: Alltagskreative (12)	Single-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	hoch	mittel	2x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	190
	Single-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	hoch	mittel	2x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	190
	Zweipersonen-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	hoch	mittel	3x Frühe Mehrheit	363

Konsumstil (Summe der Haushalts-Agenten in der Haushaltspopulation)	Ausprägung des Haushalts-Agenten	Anzahl Haushalts-Agenten in Population	β_E	β_I	Adoptortyp	Referenzgröße [€]
	Zweipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	2x	hoch	mittel	1x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	363
	Dreipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	1x	hoch	mittel	1x Frühe Mehrheit	520
Typ 5: Konsumgenervte (8)	Single-Haushalt, mittlere Altersgruppe, mittleres Einkommen	4x	niedrig	mittel	2x Frühe Mehrheit 2x Späte Mehrheit	190
	Zweipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, mittleres Einkommen	4x	niedrig	mittel	2x Frühe Mehrheit 2x Späte Mehrheit	363
Typ 6: Ländlich-Traditionelle (15)	Dreipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, mittleres Einkommen	3x	mittel	mittel	2x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	520
	Dreipersonen-Haushalt, alte Altersgruppe, mittleres Einkommen	4x	mittel	mittel	1x Frühe Mehrheit 3x Späte Mehrheit	520
	Vier und mehr Personen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, mittleres Einkommen	3x	mittel	mittel	1x Früher Adoptor 2x Frühe Mehrheit	632
	Vier und mehr Personen-Haushalt, alte Altersgruppe, mittleres Einkommen	5x	mittel	mittel	1x Früher Adoptor 3x Frühe Mehrheit 1x Späte Mehrheit	632

Konsumstil (Summe der Haushalts-Agenten in der Haushaltspopulation)	Ausprägung des Haushalts-Agenten	Anzahl Haushalts-Agenten in Population	β_E	β_I	Adoptortyp	Referenzgröße [€]
Typ 7: Schlechtgestellte Überforderte (29)	Single-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	niedrig	hoch	2x Nachzügler 1x Späte Mehrheit	190
	Single-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	niedrig	hoch	2x Späte Mehrheit 1x Nachzügler	190
	Single-Haushalt, alte Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	niedrig	hoch	3x Späte Mehrheit	190
	Zweipersonen-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	4x	niedrig	hoch	2x Späte Mehrheit 2x Nachzügler	363
	Zweipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	3x	niedrig	hoch	2x Späte Mehrheit 1x Nachzügler	363
	Zweipersonen-Haushalt, alte Altersgruppe, geringes Einkommen	4x	niedrig	hoch	2x Späte Mehrheit 2x Nachzügler	363
	Dreipersonen-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	1x	niedrig	hoch	1x Nachzügler	520
	Dreipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	1x	niedrig	hoch	1x Späte Mehrheit	520
	Dreipersonen-Haushalt, alte Altersgruppe, geringes Einkommen	1x	niedrig	hoch	1x Nachzügler	520
	Vier und mehr Personen-Haushalt, junge Altersgruppe, geringes Einkommen	2x	niedrig	hoch	2x Späte Mehrheit	632
Vier und mehr Personen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, geringes Einkommen	2x	niedrig	hoch	1x Späte Mehrheit 1x Nachzügler	632	

Konsumstil (Summe der Haushalts-Agenten in der Haushaltspopulation)	Ausprägung des Haushalts-Agenten	Anzahl Haushalts-Agenten in Population	β_E	β_I	Adoptortyp	Referenzgröße [€]
	Vier und mehr Personen-Haushalt, alte Altersgruppe, geringes Einkommen	2x	niedrig	hoch	1x Späte Mehrheit 1x Nachzügler	632
Typ 8: Unauffällige Familie (1)	Dreipersonen-Haushalt, mittleres Alter, mittleres Einkommen	1x	mittel	mittel	1x Frühe Mehrheit	520
Typ 9: Aktive Seniorinnen und Senioren (17)	Single-Haushalt, alte Altersgruppe, hohes Einkommen	4x	hoch	niedrig	4x Früher Adoptor	190
	Single-Haushalt, alte Altersgruppe, mittleres Einkommen	5x	hoch	mittel	1x Früher Adoptor 4x Frühe Mehrheit	190
	Zweipersonen-Haushalt, alte Altersgruppe, hohes Einkommen	4x	hoch	niedrig	2x Früher Adoptor 2x Frühe Mehrheit	363
	Zweipers.-Haushalt, alte Altersgruppe, mittleres Einkommen	4x	hoch	mittel	1x Früher Adoptor 3x Frühe Mehrheit	363
Typ 10: Statusorientierte Privilegierte (5)	Single-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	hoch	niedrig	1x Innovator	190
	Zweipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	3x	hoch	niedrig	1x Innovator 2x Früher Adoptor	363
	Dreipersonen-Haushalt, mittlere Altersgruppe, hohes Einkommen	1x	hoch	niedrig	1x Innovator	520

Quelle: Eigene Darstellung.

Erklärung über verwendete Hilfsmittel

Ich versichere wahrheitsgemäß, die Dissertation bis auf die in der Abhandlung angegebene Hilfe selbstständig angefertigt, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und genau kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer und aus eigenen Veröffentlichungen unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde.

Karlsruhe, 20. Mai 2009

Christiane Klobasa

Lebenslauf	
Persönliche Angaben	
Name	Christiane Klobasa
Anschrift	Schönfeldstraße 5, 76131 Karlsruhe
Telefon	0721 / 66 33 958
Geburtsdatum und -ort	15.07.1974 in Trier
Familienstand	verheiratet, eine Tochter
Nationalität	deutsch
Arbeitserfahrung	
2000 – 2008	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe; Competence Center Nachhaltiges Wirtschaften und Infrastruktursysteme.
1995 – 1996	St. Bernhardswerkstätten Schönfelderhof, Zemmer. Berufstätigkeit im Bereich Gartenbau sowie Betreuung von Menschen mit psychischen Beeinträchtigungen.
Ausbildung	
seit Januar 2003	Doktorandin an der Universität Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.
Okt. 2001 – Sept. 2002	Eignungsfeststellungsverfahren für Fachhochschulabsolventen zur Annahme als Doktorandin an der Universität Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.
2000	Diplomabschluss Wirtschaftsingenieurin (FH).
1996 – 2000	Studium der Umweltplanung an der Fachhochschule Trier, Standort Umweltcampus Birkenfeld.
1994 - 1995	Fachoberschule Agrarwirtschaft, Bad Kreuznach. Fachhochschulreife.
1991 – 1994	Ausbildung zur Gärtnerin im Fachbereich Obstbau, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalten Trier und Ahrweiler.
1981 – 1991	Schulzentrum St. Matthias, Bitburg, Sekundarabschluss I.
Karlsruhe, 20. Mai 2009	