

netWORKS-Papers

Öko-Effizienz kommunaler Wasser-Infrastrukturen

Bilanzierung und Bewertung
bestehender und alternativer Systeme

Jörg Felmeden
Thomas Kluge
Matthias Koziol
Jens Libbe
Bernhard Michel
Ulrich Scheele



netWORKS-Papers

**Heft 26 Öko-Effizienz kommunaler
Wasser-Infrastrukturen –
Bilanzierung und Bewertung
bestehender und alternativer Systeme**

Jörg Felmeden
Thomas Kluge
Matthias Koziol
Jens Libbe
Bernhard Michel
Ulrich Scheele

Impressum

Autoren

Jörg Felmeden
Thomas Kluge
Matthias Koziol
Jens Libbe
Bernhard Michel
Ulrich Scheele

Herausgeber

Forschungsverbund netWORKS
www.networks-group.de

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“, das im Rahmen des Förderschwerpunkts „Sozial-ökologische Forschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird.

Textverarbeitung

Doris Becker

Verlag und Vertrieb

Deutsches Institut für Urbanistik GmbH
Zimmerstraße 13-15
10969 Berlin

Telefon: 030/39001-0
Telefax: 030/39001-100
E-Mail: difu@difu.de
Internet: www.difu.de

Alle Rechte vorbehalten

Berlin, 2. aktualisierte Auflage August 2010

ISBN: 978-3-88118-484-7

Forschungsverbund netWORKS im Projekt „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“

Deutsches Institut für Urbanistik GmbH (Difu)
Jens Libbe (Koordination)
Straße des 17. Juni 112
10623 Berlin
Telefon: 030/39001-115
E-Mail: libbe@difu.de



Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)
PD Dr. Thomas Kluge (Koordination)
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt
Telefon: 069/7076919-18
E-Mail: kluge@isoe.de



Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH (ARSU)
Apl. Prof. Dr. Ulrich Scheele
Escherweg 1
26121 Oldenburg
Telefon: 0441/97174-97
E-Mail: scheele@arsu.de



Brandenburgische technische Universität Cottbus (BTU)
Institut für Städtebau und Landschaftsplanung
Lehrstuhl für Stadttechnik
Prof. Dr. Matthias Koziol
Postfach 10 13 44
03013 Cottbus
Telefon: 0355/693627
E-Mail: koziol@tu-cottbus.de



COOPERATIVE Infrastruktur & Umwelt
Dr.-Ing. Bernhard Michel
Heidelberger Landstr. 31
64297 Darmstadt
Telefon: 06151/5390-0
E-Mail: b.michel@cooperative.de

COOPERATIVE
Infrastruktur und Umwelt

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH
Dr.-Ing. Wolf Merkel
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0049 208 40303-0
E-Mail: w.merkel@iww-online.de



Inhalt

Vorwort	11
1. Einführung und Problemstellung	17
2. Ansatzpunkte, Vorgehensweise und Abgrenzung der Untersuchung	19
2.1 Ansatzpunkte der Transformation	19
2.2 Generelle Zielsetzungen und Optionen	19
2.3 Informationsgrundlagen	22
2.4 Vorgehensweise der Untersuchung	24
2.5 Abgrenzung des Untersuchungsrahmens	25
3. Siedlungsstrukturmodell und Szenarien der Wasser-Infrastruktur	27
3.1 Modellstadt „netWORKS“	27
3.1.1 Gesamtstadt	27
3.1.2 Teilräume	28
3.2 Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur	30
3.2.1 Randbedingungen der Szenarienbildung	30
3.2.2 Ist-Zustand Status quo 2010	31
3.2.3 Szenario Referenz 2080	33
3.2.4 Szenario Transformation 2080	35
4. Mengen- und Kostenbilanzen	39
4.1 Annahmen	39
4.2 Wasserbilanzen	42
4.3 Energiebilanzen	45

4.4	Stoffbilanzen	47
4.5	Kostenbilanzen	48
4.6	Sensitivitätsanalyse der ökonomischen Auswirkungen	50
5.	Bewertung der Systemalternativen.....	53
5.1	Zielsetzungen der Bewertung – Nachhaltigkeit und Effizienz.....	53
5.2	Öko-Effizienz-Analyse	54
5.3	Ergänzung „Technik“-Szenarien (ohne demografischen Wandel).....	56
6.	Teilräumliche Umsetzungsbedingungen	57
6.1	Kriterien der teilräumlichen Entwicklungsdynamik	57
6.2	Kriterien des teilräumlichen Transformationsaufwands.....	57
6.3	Zeitliche und räumliche Prioritäten	58
7.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	61
	Quellen und Literatur	67
	Anhang	
1:	Teilräumliche Steckbriefe	73
2:	Mengen- und Kostenbilanzen inklusive Referenz* und Transformation*	78
3:	Formelsammlung Kostenbilanz	81
	Abkürzungen.....	87
	Glossar	89

Verzeichnis der Abbildungen

1: Schema bestehender Strukturen der öffentlichen Wasserversorgung und der kommunalen Abwasserbeseitigung	20
2: Schema einer nachhaltigen Struktur der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung	21
3: Verfahrensschema der öffentlichen Wasserversorgung und kommunalen Abwasserentsorgung	22
4: Modellstadt „netWORKS“	28
5: Systemskizze Gesamtstadt – Status quo 2010	31
6: Systemskizze Gesamtstadt – Referenz 2080	33
7: Systemskizze Gesamtstadt– Transformation 2080	36
8: Wasserfluss-Analyse Status quo 2010	43
9: Wasserfluss-Analyse Referenz 2080	43
10: Wasserfluss-Analyse Transformation 2080	44
11: Relevanz und Unsicherheit der ökonomischen Kriterien	51
12: Relative Veränderung der Gesamtkosten bei ungünstigen bzw. günstigen Kostenannahmen („worst-case“ bzw. „best-case“) sowie einer relativen Energiepreissteigerung von zwei Prozent/Jahr	52
13: Vergleichende Öko-Effizienz-Analyse der Szenarien	55
14: Öko-Effizienz-Analyse inklusive Referenz* und Transformation*	56
15: Teilräumliche Priorisierung der Transformation	58
16: Wasserfluss-Analyse Referenz* 2080	78
17: Wasserfluss-Analyse Transformation* 2080	79

Verzeichnis der Tabellen

1: Verwendungszwecke von Trinkwasser in Haushalten	20
2: Eckdaten der Modellstadt	27
3: Eckdaten der Teilräume – Siedlungsstruktur	29
4: Eckdaten der Teilräume – Wasserinfrastruktur	29
5: Eckdaten Gesamtstadt – Status quo 2010	32

6: Eckdaten Gesamtstadt – Referenz 2080	34
7: Eckdaten Gesamtstadt – Transformation 2080	37
8: Wesentliche Annahmen der Mengen- und Kostenbilanzen	41
9: Wasserbilanzen der Systemvarianten	42
10: Spezifische Kennwerte der Energiebilanz	45
11: Energiebilanzen der Systemvarianten	46
12: Spezifische Kennwerte der Stoffbilanz	47
13: Stoffbilanzen der Systemvarianten	48
14: Kostenbilanzen der Systemvarianten	49
15: Spezifische Kosten der Systemvarianten	49
16: Erlöse für Stoffe und Energie.....	50
17: Steckbrief Teilraum 4 (Entwicklungsgebiet, Innenstadttrandlage).....	73
18: Steckbrief Teilraum 5 (Konversionsgebiet, Innenstadttrandlage).....	74
19: Steckbrief Teilraum 8 (Ein- und Zwei-Familienhausgebiet, Innenstadttrandlage).....	75
20: Steckbrief Teilraum 10 (Geschosswohnungsbau, Peripherie).....	76
21: Steckbrief Teilraum 15 (Dorf, Außengebiet)	77
22: Wasserbilanzen der Systemvarianten*	78
23: Energiebilanzen der Systemvarianten*	79
24: Stoffbilanzen der Systemvarianten*	80
25: Kostenbilanzen der Systemvarianten*	80
26: Erlöse für Stoffe und Energie*	80
27: Kostenermittlung Trinkwasserversorgung	81
28: Kostenermittlung Betriebswassernutzung	81
29: Kostenermittlung Regenwasserentsorgung (Referenz-Szenarien)	82
30: Kostenermittlung Regenwasserentsorgung (Transformations-Szenarien)	83
31: Kostenermittlung Grauwasserentsorgung	84
32: Kostenermittlung Abwasserentsorgung	85

33: Kostenermittlung Schlammwasserbehandlung.....	86
34: Kostenermittlung Schwarzwasserentsorgung.....	86

Vorwort

Die Siedlungswasserwirtschaft beruht auf einem über lange Zeiträume gewachsenen zentralen Infrastruktursystem von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen und -netzen. Ausgehend von den urbanen Zentren dehnte es sich räumlich kontinuierlich aus und ermöglichte so erst unsere heutige Siedlungsentwicklung. Das System passte sich dabei kontinuierlich steigenden Gesundheitsbedürfnissen und Umweltansprüchen an. Grundlage für die flächenmäßige Erschließung und die Gewährleistung einer qualitativ hochwertigen und sicheren Versorgung waren stabile ökonomische, rechtliche und institutionelle Rahmenbedingungen. Im Ergebnis dieses angebotsorientierten Infrastrukturmodells wurden hohe Investitionen in Systemkomponenten mit einer langen, über viele Jahrzehnte reichenden technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer getätigt.

Bislang galt die Regel, dass die Zentralität und Einheitlichkeit der Systeme bei mittleren bis hohen Siedlungsdichten entscheidende technische und ökonomische Vorteile gegenüber de- oder semizentralen Systemen haben. Angesichts sich verändernder Rahmenbedingungen bedarf diese Grundannahme jedoch der Überprüfung.

So wird der demografische Wandel mehr und mehr zu einer zentralen Randbedingung der Stadtentwicklung, wobei hinsichtlich der damit verbundenen Entleerungstendenzen mit erheblichen regionalen Unterschieden zu rechnen ist (vgl. Lux 2009). Jene Kommunen, die bereits heute unter Bevölkerungsverlusten leiden, werden auch in der Zukunft weiter schrumpfen, während derzeit noch wachsende Agglomerationsräume aller Voraussicht nach auch in der Zukunft die prosperierenden Zentren sein werden. In vielen Kommunen ist die Situation allerdings bereits heute wenig eindeutig und auch dort, wo von einer relativ stabilen Bevölkerungsentwicklung ausgegangen werden kann, muss teils räumlich mit erheblichen negativen Trends gerechnet werden. Wachsen und Schrumpfen treten gleichzeitig und räumlich benachbart auf (vgl. ISOE und COOPERATIVE 2008). Vielerorts drohen abnehmende Bevölkerungszahlen in Verbindung mit sinkenden Haushaltsgrößen zu einer Unterauslastung und dem Erreichen von kritischen Funktionsschwellen von Netzen und technischen Anlagen zu führen (vgl. Koziol 2006).

Eine ganz andere Herausforderung bildet der Klimawandel, der in Deutschland aufgrund der geografischen Lage in den nächsten Jahren stärker voranschreiten wird als in anderen Breiten. Die Lufttemperatur wird sich bis 2040 voraussichtlich um bis zu 1,7°C gegenüber 1900 erhöhen. Bis zum Jahr 2100 wird ein weiterer Anstieg der Temperaturen prognostiziert; im Mittel werden die Zunahmen zwischen 2,5 und 3,5°C betragen, mit den stärksten Veränderungen in Norddeutschland und dem Voralpenland. In den Sommermonaten ist mit einem Rückgang der Niederschläge und steigender Häufigkeit von sommerlichen Hitzewellen und Hitzetagen zu rechnen, während die Herbst- und Wintermonate deutlich feuchter werden. Die Städte und Gemeinden haben angesichts dieser Entwicklungen bereits in der Vergangenheit erhebliche Anstrengungen auf dem Gebiet des Klimaschutzes unternommen. Hingegen liegen bisher wenige Erfahrungen auf dem Gebiet der Klimaanpassungsstrategien (Adaption) vor (Libbe und Tracht 2007). Eine gewisse Ausnahme bildet hier der Umgang mit zunehmendem Extremwetter, etwa in Form von Starkregenereignissen, dessen Bewältigung bereits heute erhebliche Investitionen in Net-

ze und Anlagen der Stadtentwässerung mit sich bringt. Zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Bewältigung von größer werdenden Auslastungsschwankungen sind Anpassungen von Systemkomponenten unumgänglich. In diesem Zusammenhang ist auch über den schrittweisen Umbau (Transformation) der vorhandenen Systeme der kommunalen Wasser-Infrastruktur nachzudenken.

Noch bedeutsamer ist der sich verändernde energiepolitische Rahmen. So treiben derzeit politische Zielvorgaben und rechtliche Entwicklungen auf europäischer und nationaler Ebene den Wandel der energetischen Infrastruktur in unseren Städten voran. Unübersehbar ist ein Trend hin zu dezentraleren Versorgungsstrukturen auf der einen Seite, zu deutlich sinkenden Raumwärmebedarfen auf der anderen Seite. Für die Realisierung aller vorhandenen Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien in der Stadt sowie aller Energieeffizienzpotenziale gewinnen die Schnittstellen zwischen stadttechnischen Infrastrukturen zunehmen an Bedeutung. So birgt Abwasser, aber auch Abfall, ein bisher noch weitgehend ungenutztes Potenzial an thermischer und chemischer Energie.

Veränderte Randbedingungen werfen die Frage nach neuen technischen Lösungen auf. In diesem Zusammenhang können in Verbindung mit einer verfahrenstechnischen Differenzierung kleinere Einheiten und autarke Systeme an Bedeutung gewinnen. Für einen vermehrten Einsatz z.B. semizentraler Anlagen bedarf es der sukzessiven Ergänzung und der Umgestaltung vorhandener Systeme unter Beachtung betriebswirtschaftlicher Notwendigkeiten und der dauerhaften Funktionsfähigkeit dieser Systeme. Zugleich gilt es, die Transformation ökologisch und sozial verträglich zu gestalten.

Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger vieler deutscher Städte stehen gegenwärtig vor der Herausforderung, Leitvorstellungen für die Entwicklung ihrer Kommunen unter veränderten Randbedingungen zu entwickeln. Defizite in der gegenwärtigen Stadtentwicklungsplanung sind dabei unübersehbar. Einerseits ist in mittel- bis langfristiger Perspektive vielerorts eine erhebliche Planungsunsicherheit zu konstatieren, andererseits bedarf es der verstärkten Einbindung der technischen Infrastruktur in Umbaustراتيجien. Restriktionen in der Förderprogrammatik und den Fördermodalitäten für die Umsetzung von Stadtrückbau und -umbaukonzepten haben die Situation in der Vergangenheit verschärft, sodass die notwendige Anpassung der technischen Infrastruktur nur unzureichend erfolgte, umso mehr, als die notwendige Abgrenzung der stadumbaubedingten Folgekosten ein schwieriges Unterfangen ist (Koziol u.a. 2006). Der Bedarf an Erfahrungsaustausch ist vor diesem Hintergrund groß. Ebenso bedeutsam dürfte es für die kommunalen Akteure jedoch auch sein, Vorstellungen über gangbare Alternativen zu vorhandenen technischen Strukturen zu entwickeln, die damit verbundenen städtebaulichen und finanziellen Voraussetzungen abzuschätzen und das in der Verwaltung erforderliche Know-how zu entwickeln. Stadttechnik, Architektur und Planung bedürfen insofern einer engen Zusammenarbeit.

Die abnehmende Auslastung vorhandener Anlagen und Netze stellt auch die kommunalen Ver- und Entsorgungsunternehmen vor vielschichtige Probleme. In einigen Städten und Regionen sind absehbar Rück- und Umbaumaßnahmen der Netze und Anlagen notwendig, deren Finanzierung durch die Ver- und Entsorgungsunternehmen schwierig, teilweise unmöglich erscheint. Doch es gilt auch, über gänzliche neue Techniklinien nachzudenken

und insofern bestehende Systemalternativen gegenüber dem Weiterbetrieb vorhandener Anlagen abzuwägen. Die aktuellen Debatten um eine Modernisierung der deutschen Wasserwirtschaft erfahren dadurch eine wichtige Ergänzung.

In Deutschland konnten in den letzten beiden Jahrzehnten beachtliche Innovationen im Bereich alternativer Wasserver- und -entsorgungstechnologien entwickelt werden. Sie wurden bisher allerdings ausschließlich auf der Ebene von wenigen, kleinskaligen Modellprojekten umgesetzt (vgl. fbr 2002, Hiesl 2001). Aus den punktuellen Erfahrungen dieser Projekte heraus können jedoch noch keine verallgemeinernden Schlüsse und Hinweise für eine Einführung in größerem Maßstab und die Kombination mit vorhandenen Anlagen und Netzen gezogen werden.

Pilotvorhaben haben deutlich gemacht, dass Stofftrennung und neuartige Kombinationen von Abwasser und Frischwasser prinzipiell möglich sind. Für die deutschen Kommunen kommt es nun darauf an, Referenzprojekte nutzen zu können, in denen – vor allem im Bestand – flexiblere Ver- und Entsorgungsstrukturen erprobt werden. Dies ist aus drei zentralen Erwägungen heraus von besonderer Bedeutung:

- Abwasser ist technisch und ökonomisch als energetische und stoffliche Ressource zu begreifen. Intelligente Systemlösungen zeichnen sich aus durch verringerten Ressourcenbedarf (Ökoeffizienz), höhere Flexibilität und teilweise kürzere Leitungswege: Sie tragen langfristig gegenüber konventionellen Systemlösungen (im Sinne der allgemein anerkannten Regeln der Technik) zu einer ökonomischen Effizienzanhebung (Energieverwertung) bei. Qualitätsgesichertes Regenwasser als Trink- und Betriebswasserressource kann aus technologischer Sicht eine Alternative zur klassischen Frischwasserbereitstellung darstellen.
- Volkswirtschaftlich gesehen handelt es sich um flexiblere und nachhaltige Lösungen, mit denen über die Trinkwassereinsparung hinaus die Schließung von Nährstoffkreisläufen sowie eine energetische und stoffliche Verwertung von Abwasserwärme und Abwasserinhaltsstoffen angestrebt werden. Bei der Betrachtung der Stoffkreisläufe ist die Wiedergewinnung von Phosphor aus dem Abwasser von besonderer Relevanz, da die global bekannten Phosphorlagerstätten beim heutigen Verbrauch in 150 Jahren aufgebraucht sein werden (Larsen und Udert 1999). Phosphor kommt als Düngemittel in der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle zu. Ob noch weitere fossile Phosphorvorkommen verfügbar gemacht werden können, und ob deren Qualität für eine Nutzung als Dünger ausreicht, ist unklar (Runge-Metzger 1995). Mit Blick auf die endlichen fossilen Ressourcen erscheint eine zukünftige Verwendung von Dünger anthropogenen Ursprungs unausweichlich.
- Hinzu kommt, dass sich durch die langfristige Transformation der vorhandenen Systeme Chancen bieten, die weit über die deutschen Kommunen und ihre Ver- und Entsorgungsunternehmen hinaus reichen. Integrierte Lösungen zur Wasserver- und -entsorgung dürften erhebliche Ausstrahlungskraft auch auf Länder in anderen Erdteilen zur Lösung der Weltwasserkrise besitzen. Die deutschen Städte und ihre Ver- und Entsorgungsunternehmen können hier eine bedeutsame Vorreiterrolle für die Zukunft übernehmen.

Der Forschungsverbund netWORKS hat es sich mit dem Projekt „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“ zum Ziel gesetzt, gemeinsam mit Ver- und Entsorgungsunternehmen aus sechs Untersuchungskommunen langfristig tragfähige Angebots- und Infrastrukturkonzepte zu entwickeln. Einen Untersuchungsschwerpunkt bildet die Frage, inwieweit semi- und dezentrale Lösungen ökonomisch und ökologisch effizienter sind und im existierenden betrieblichen Rahmen sukzessive angewandt werden können. Strukturanpassungen der Anlagen und Einrichtungen der technischen Infrastruktur sollen also nicht losgelöst von den unternehmerischen Erfordernissen erfolgen, sondern in Einklang mit diesen. Es gilt es zudem, den Handlungs- und Anpassungsbedarf im Einklang mit entsprechenden Stadtentwicklungskonzepten auszuzeichnen und das auch in Politik und Verwaltung notwendige operative Wissen zu entwickeln. Die Bewertung unterschiedlicher Systemalternativen (Szenarien) zum Transformationsmanagement umfasst die betriebswirtschaftlichen Aspekte aus Sicht der Ver- und Entsorgung, volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Bewertungen von Systemvarianten sowie die umweltökonomischen Kriterien der Ressourcennutzung. Ferner ist zu diskutieren, inwieweit die allgemein anerkannten Regeln der Technik bzw. Stand der Technik einer Anpassung bedürfen. Das Ergebnis ist ein Konzept der mehrdimensionalen Bewertung von Transformationsstrategien der Wasserwirtschaft zur Entwicklung eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung. Das methodische Konzept wird so gestaltet, dass es bei vergleichbaren Aufgaben verwendet werden kann.

Zu dieser Studie

Von entscheidender Bedeutung für die Notwendigkeit und die Möglichkeiten der systematischen Umgestaltung (Transformation) der kommunalen Wasser-Infrastruktur sind neben den verfahrenstechnischen und den betriebswirtschaftlichen Anforderungen die veränderten Gegebenheiten hinsichtlich der Ressourcenverfügbarkeit und der Ressourcendisposition. In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, eine langfristige Strategie eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung zu entwickeln und schrittweise umzusetzen. Dabei rücken die energetischen Gesichtspunkte bei der Gestaltung von kommunalen Wasser-Infrastruktursystemen zunehmend in den Vordergrund.

Die Bilanzierung und Bewertung bestehender und alternativer Systeme erfordern vor dem komplexen Hintergrund der technischen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen einen integrierten methodischen Ansatz, in dem die technischen, betriebs- und volkswirtschaftlichen sowie die ökologischen Sachverhalte und Wirkungszusammenhänge gleichermaßen zu berücksichtigen sind. Neben den fachlichen Anforderungen der kommunalen Wasser-Infrastruktur und kommunalenabgabenrechtlichen Regelung ihrer Finanzierung werden dabei auch die Maßgaben der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) zu beachten sein, die in ihrem Kern auf die Nachhaltigkeit des Ressourcenschutzes und die (gesamtwirtschaftliche) Effizienz der Ressourcennutzung unter Berücksichtigung der „Umwelt- und Ressourcenkosten“ abzielt.

Besondere Anforderungen ergeben sich aus den Aspekten der Energieeinsparung und des Klimaschutzes. Sie nehmen zukünftig eine zentrale Position in allen gesellschaftli-

chen Entscheidungen zur Ressourcendisposition ein. Dieser Anspruch wird in den aktuellen gesetzlichen Regelungen zur Energieeinsparung und zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie in den Programmen und Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung und zum Klimaschutz deutlich.

Die bisherigen energierelevanten Maßnahmen in der öffentlichen Wasserversorgung und der kommunalen Abwasserentsorgung sind vorwiegend betriebswirtschaftlich begründet auf die Verringerung der Energiekosten konzentriert. In Zukunft werden die Maßnahmen zur Mobilisierung von Energiepotenzialen wie zum Beispiel die Nutzung von Abwärme aus dem Abwasser oder durch den Einsatz anaerober Verfahren der Abwasserbehandlung aus umweltökonomischen Gründen in den Vordergrund treten. Damit wird, flankierend zur Verringerung des Raumwärmebedarfs, der forcierten Nutzung erneuerbarer Energiequellen (Sonne, Biomasse, Geothermie etc.) und der Kraft-Wärme-Kopplung, das warme (Ab-)Wasser als bedeutsame Wärmequelle in den Focus der energierelevanten Maßnahmen rücken.

Um diesen komplexen Anforderungen gerecht zu werden, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“ des Forschungsverbundes netWORKS, das Verfahren der Öko-Effizienz-Analyse zur Bewertung der strategischen Alternativen von kommunalen Wasser-Infrastrukturen weiterentwickelt und an die spezifische Fragestellung angepasst. Aufgrund des hohen Anteils der Kapitalkosten und der langen Ausreifungszeit der kommunalen Wasser-Infrastruktur, aber auch wegen der Dauerhaftigkeit städtischer Strukturen und der Langfristigkeit räumlicher Entwicklungen, wurde dazu ein Zeithorizont von 70 Jahren gewählt.

Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Verbundvorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01UV0716A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren des Heftes.

Berlin und Frankfurt/Main, im April 2010
Forschungsverbund netWORKS
Verbundkoordination

1. Einführung und Problemstellung

Die heutige kommunale Wasserwirtschaft beruht auf einem über lange Zeiträume gewachsenen zentralen System von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen und -netzen. Bislang galt die Regel, dass die Zentralität und Einheitlichkeit der Systeme bei mittleren bis hohen Siedlungsdichten entscheidende technische und ökonomische Vorteile gegenüber de- oder semizentralen Systemen hat. Durch den stetigen Ausbau und den Anschluss immer weiterer Nutzer konnten sich die ökonomisch-technischen Vorteile („economies of scale“, „economies of scope“, „economies of reach“) besonders gut entfalten. Auf dieser Basis hat sich das System über viele Jahrzehnte ausgeweitet, ohne dass ökonomische und technische Anwendungsgrenzen erkannt und kritisch bewertet wurden. Das gemessen an seinen gesellschaftlichen und verteilungspolitischen Zielvorstellungen sowie den erreichten Umwelt- und Hygienestandards erfolgreiche Infrastrukturmodell steht gegenwärtig vor zahlreichen Herausforderungen. Seine Rahmenbedingungen verändern sich zum Teil dramatisch und werden sich auf die künftige Konzeption und Auslegung der Infrastruktur mehr oder weniger direkt auswirken:

- Abnehmende Bevölkerungszahlen und sinkende spezifische Wasserbedarfe der Haushalte und der Gewerbebetriebe;
- Verknappung von natürlichen Ressourcen und Anstieg der Preise für Energie und Rohstoffe;
- Klimawandel mit seinen globalen und regionalen Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.
- Veränderter energiepolitischer Rahmen aufgrund von Zielvorgaben und rechtlichen Entwicklungen auf europäischer und nationaler Ebene.

Die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur ist in hohem Maße pfadabhängig. Das System ist auf Massendurchsatz und Verbrauchswachstum angelegt und lässt sich an veränderte Rahmenbedingungen nur bedingt anpassen. Die sich verändernden Randbedingungen erzeugen vor diesem Hintergrund erhebliche Unsicherheiten bei den handelnden Akteuren. Die eigentliche Aufgabe liegt in der notwendigen Anpassung an die veränderten Gegebenheiten. Dies bedeutet mittel- bis langfristig nicht anderes, als eine Strategie eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung.

Da die genannten Herausforderungen in der Grundtendenz in allen Teilen von Deutschland aber auch international auftreten, lohnt es sich, diese Phänomene näher zu betrachten und Anpassungsmöglichkeiten der stadttechnischen Systeme zu untersuchen. In diesem Zusammenhang zeigt sich die Notwendigkeit, in den Kommunen über mögliche Transformationen der bisherigen Wasserver- und -entsorgungssysteme nachzudenken. Dabei stellt die Perspektive der Transformation die Ansatzpunkte und Instrumente dar, mit denen Brüche und Diskontinuitäten bewältigt werden können.

Insofern bedeutet das Einnehmen einer Transformationsperspektive zunächst ein „Denken in Möglichkeiten“, um darauf aufbauend Schritte des konkreten Handelns zu gehen. Voraussetzung für bewusst gestaltete Transformationsprozesse sind identifizierbare Systemalternativen bzw. Transformationspfade. Eine differenzierte Auseinandersetzung zwischen den beteiligten Akteuren (Kommunalpolitik, Unternehmen, Verbraucherinnen und

Verbraucher, Verbände) ist notwendig, um Schlussfolgerungen und Konsequenzen für Planungen und Implementierungen aufzeigen zu können.

In diesem Zusammenhang gewinnen differenzierte Systeme an Bedeutung (z.B. Hiessl 2005, Donner 2005). Damit sich solche Systeme durchsetzen können, müssen die vorhandenen Systeme bereits heute sukzessive ergänzt und umgestellt werden (Koziol u.a. 2006). Gleichzeitig ist es notwendig, sowohl die spezifische Funktionalität weiterhin zu gewährleisten, den betriebswirtschaftlichen Erfordernissen gerecht zu werden und die Transformation ökologisch und sozial verträglich zu gestalten. Besonders in schrumpfenden oder auch schnell wachsenden Regionen gilt es, innovative Ver- und Entsorgungsstrategien und -konzepte zu entwickeln und zu implementieren (vgl. Bieker 2009). Kommunen und ihre Wasserwirtschaftsunternehmen sind dabei gleichermaßen herausgefordert.

In Deutschland konnten in den letzten beiden Jahrzehnten beachtliche Innovationen im Bereich alternativer Wasserver- und -entsorgungstechnologien entwickelt werden. Sie wurden bisher allerdings ausschließlich auf der Ebene von wenigen, kleinskaligen Modellprojekten umgesetzt (vgl. z.B. fbr 2002, Hiessl 2001). Aus den punktuellen Erfahrungen dieser Projekte eines Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus heraus alleine können aber noch keine verallgemeinernden Schlüsse und Hinweise für eine Einführung in größerem Maßstab in der gebauten Stadt gezogen werden. Insbesondere fehlen Umsetzungen derartiger, semi- oder dezentraler Aktivitäten in einer Weise, welche systematisch auf einen (vorläufigen oder dauerhaften) Weiterbetrieb und die Transformation einer zentralen (netzgebundenen) Wasserinfrastruktur bezogen ist und so zu einem koordinierten Aufbau neuer Strukturen führt, der mit einem teilweisen Um- und Rückbau zentraler Strukturen verbunden sein kann und daher seitens der Kommune oder der Ver- und Entsorgungsunternehmen eine Netzkoordination benötigt (vgl. hierzu auch Schramm 2000).

Letztlich wurden bisher verstreut Einzelkomponenten technischer Alternativsysteme in hoch entwickelter Form (Separationstechnologien auf nanotechnologischer und polymerchemischer Basis, Vakuumtechnologie, Anaerobreaktoren, Steuerungs- und Regelungstechniken auf Basis künstlich-neuronaler Netze bzw. Fuzzy Logic, Brauchwassertechnologien, Regenwasserversickerung (vgl. Otterpohl und Oldenburg 2002, Hiessl u.a. 2005) erprobt. Diese Pilotvorhaben haben deutlich gemacht, dass stoffliche Differenzierungen, die Nutzung der Energiepotenziale des Abwassers (biogene Stoffe; Wärme) und neuartige Kombinationen von Abwasser und Frischwasser zu nachhaltigen und effizienten Lösungen beitragen.

2. Ansatzpunkte, Vorgehensweise und Abgrenzung der Untersuchung

2.1 Ansatzpunkte der Transformation

Diese Ausgangslage war für den Forschungsverbund netWORKS der Anlass, die Möglichkeiten eines Umbaus der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur zu untersuchen. In dem Projekt „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“ wurden gemeinsam mit den Referenzstädten Bielefeld, Chemnitz, Cottbus, Essen, Hamburg und Schwerin plausible Zukunftsbilder der künftigen Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft entworfen und gemeinsam mit der Verwaltung sowie den Wasserver-/entsorgungsunternehmen langfristig tragfähige Angebots- und Infrastrukturkonzepte entwickelt.

Folgende Ansatzpunkte für eine Transformation der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur lassen sich identifizieren:

- die Differenzierung der Wassernutzung nach Verwendungszwecken,
- die getrennte Erfassung und Ableitung von unterschiedlichen Teilströmen (Wasser, Inhaltsstoffe, Behandlungsprodukte),
- die dezentrale bzw. semizentrale Verknüpfung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (z.B. Regenwassernutzung; Nutzung von aufbereitetem „Abwasser“ bzw. „Grauwasser“),
- die Separation und Rückführung von Stoffen zur (Wieder-) Verwertung sowie
- die Nutzung der Energiepotenziale des Abwassers (Biogene Stoffe; Wärme).

Die oben identifizierten Ansatzpunkte des Umbaus (Transformation) machen deutlich, dass diese die Art und Weise der Ver- und Entsorgung und bestimmte Funktionen der Netze und Anlagen schrittweise verändern werden. Dieser Umbau muss so gestaltet werden, dass die Wasserversorgung ebenso wie die Abwasserentsorgung über den gesamten Zeitraum hinweg auf dem erforderlichen hohen Niveau aufrechterhalten wird (vgl. Kluge und Libbe 2006).

2.2 Generelle Zielsetzungen und Optionen

Zur Wasserversorgung in Deutschland werden nahezu ausnahmslos natürliche Ressourcen in Form von Grundwasser und Oberflächenwasser genutzt. Im Jahr 2007 wurden von der öffentlichen Wasserversorgung jährlich rund 5,1 Mrd. m³ (davon sind rund 65 Prozent Grundwasser), vom Verarbeitenden Gewerbe (Industrie) und der Landwirtschaft rund 7,2 Mrd. m³ gefördert (Statistisches Bundesamt 2009). Seit 1990 ist die jährliche Wasserförderung der öffentlichen Wasserversorgung um rund 22 Prozent zurückgegangen. Die Eigenwasserversorgung der Industrie, die landwirtschaftliche Bewässerung und die Wassernutzung für Wärmekraftwerke der öffentlichen Versorgung (19,7 Mrd. m³/Jahr) bleiben in den weiteren Überlegungen unberücksichtigt.

Über die Wasserverwendung in den Haushalten und im Kleingewerbe gibt der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW 2009) Durchschnittswerte der Trinkwasserverwendung an, an denen sich die folgende Übersicht orientiert (siehe Tabelle 1).

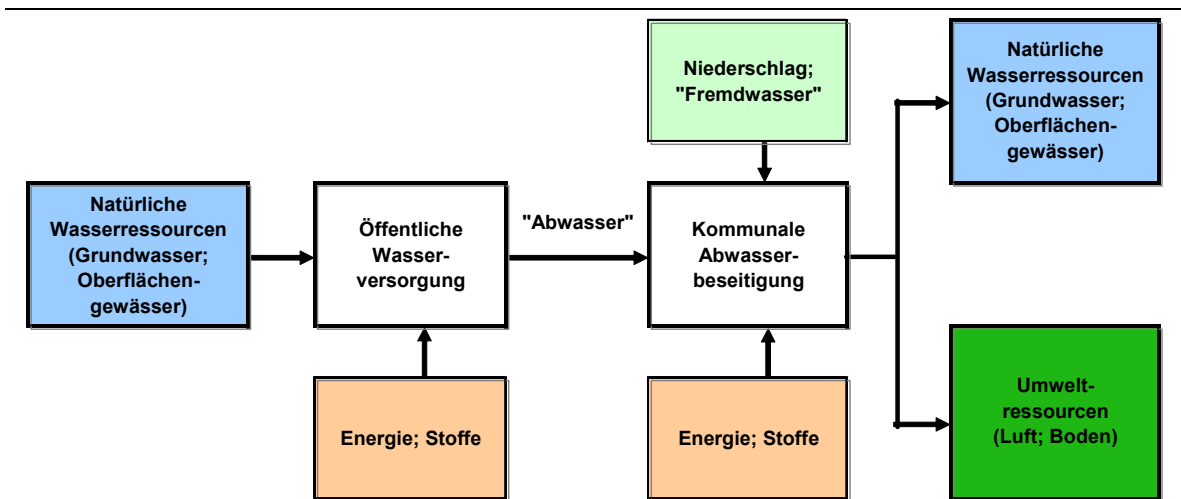
Tabelle 1: Verwendungszwecke von Trinkwasser in Haushalten

Verwendungszweck	Menge (m³/Jahr)	Anteil (%)
Kochen, Trinken	2	4
Körperpflege	15	33
Geschirr spülen	3	7
Wäsche waschen	6	13
Toilettenspülung	12	27
Sonstige Nutzungen	3	7
Gartenbewässerung	4	9
Summe	45	100

Aus dieser Verwendungsstruktur ergeben sich erste Ansatzpunkte für eine nachhaltige und effiziente Wassernutzung.

Das in den Haushalten genutzte Trinkwasser wird in der Regel vollständig an die kommunale Abwasserbeseitigung abgegeben. Dort wird es zusammen mit dem in der öffentlichen Kanalisation erfassten Niederschlagswasser und dem „Fremdwasser“, die zusammen etwa die Menge des „Abwassers“ ausmachen, behandelt und dann in Gewässer abgeleitet (siehe Abbildung 1). In der Industrie hingegen wird Wasser häufig aufbereitet und in Kreisläufen mehrfach genutzt.

Abbildung 1: Schema bestehender Strukturen der öffentlichen Wasserversorgung und der kommunalen Abwasserbeseitigung

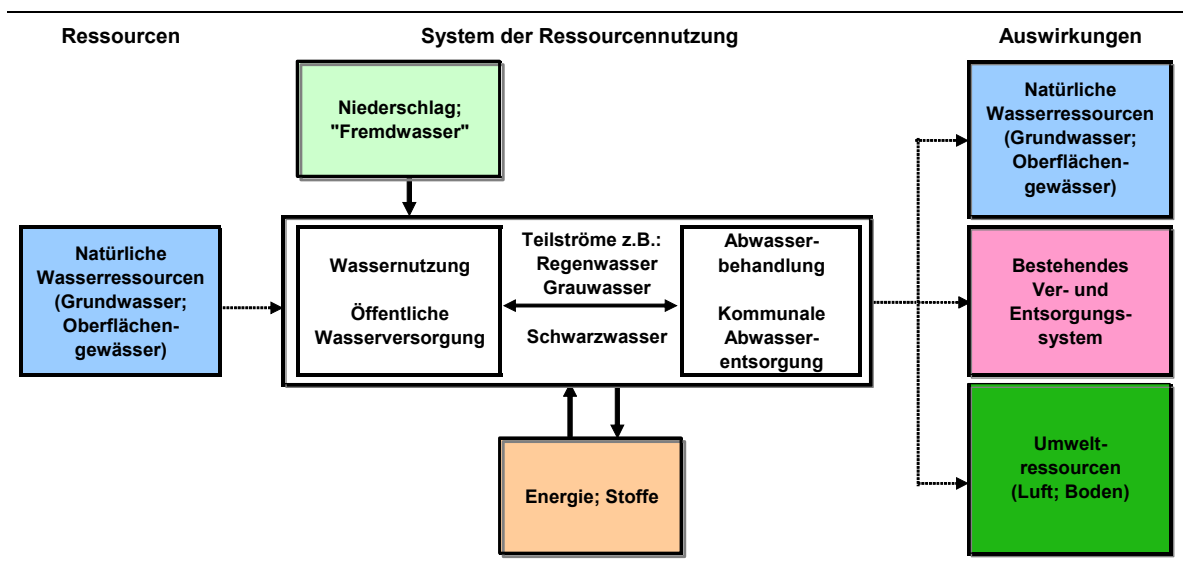


Eine in energetischer und ressourcenwirtschaftlicher Hinsicht nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

- reduziert die Nutzung der natürlichen Wasserressourcen,
- bezieht Niederschlagswasser und „Fremdwasser“ in die Nutzung ein,
- nutzt die Energie- und Wertstoffpotenziale des Abwassers und
- vermindert die Belastung der natürlichen Ressourcen Gewässer, Boden und Luft.

Dabei überlagern sich durch die dezentrale Erfassung und Behandlung von Teilströmen nutzerseitig Systeme der Ver- und Entsorgung (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Schema einer nachhaltigen Struktur der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

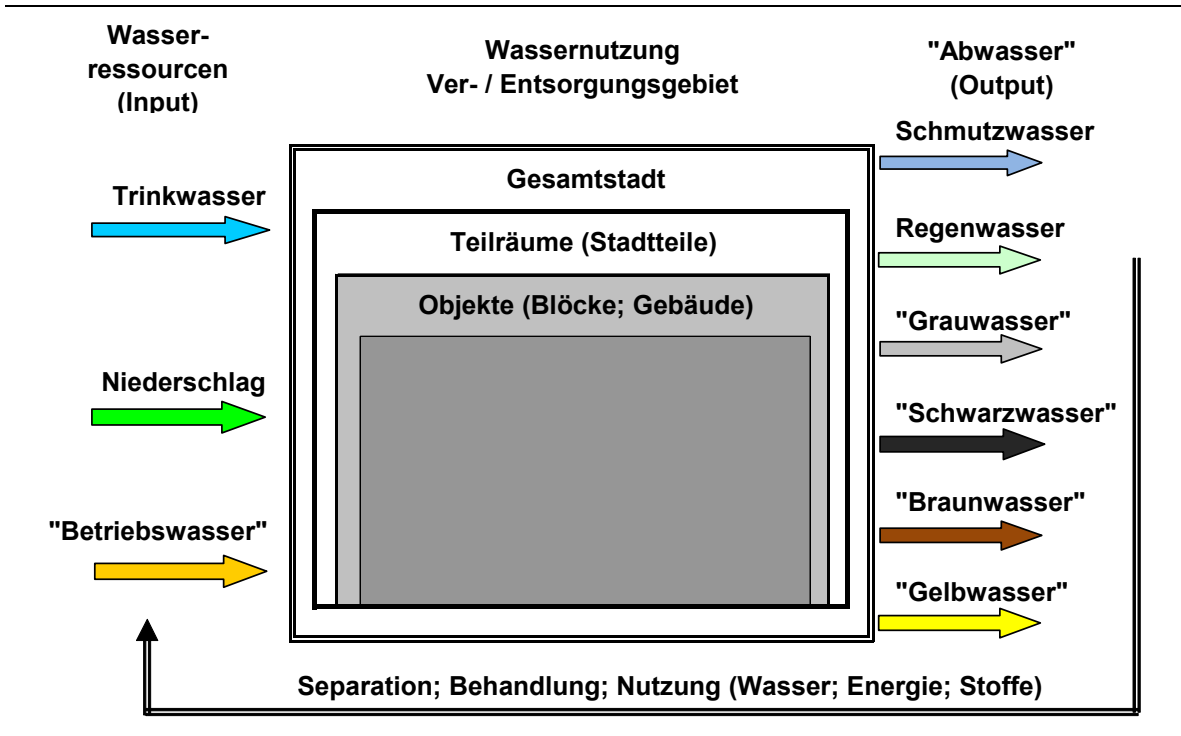


Im räumlichen Bezug werden unterschieden:

- Zentrale Anlagen (Gesamtstadt),
- semizentrale Anlagen (Stadtteile),
- dezentrale Anlagen (Einzelobjekte, Blöcke).

Zur Orientierung ist in der Abbildung 3 ein generelles Verfahrensschema der öffentlichen Wasserversorgung und kommunalen Abwasserentsorgung mit den verschiedenen Möglichkeiten der Wasserressourcen (Input), der räumlichen Ebenen der Wassernutzung und dem „Abwasser“ (Output) dargestellt.

Abbildung 3: Verfahrensschema der öffentlichen Wasserversorgung und kommunalen Abwasserentsorgung



2.3 Informationsgrundlagen

Die systematische Analyse und vergleichende Bewertung der aktuellen Strukturen (Status quo 2010) und der möglichen, langfristigen Entwicklung (Referenz 2080, Transformation 2080) der kommunalen Wasser-Infrastruktur erfordert eine weit gefächerte Informationsgrundlage, mit der die maßgeblichen Rahmenbedingungen, Wirkungszusammenhänge und Bewertungskriterien mit hinreichender Zuverlässigkeit und Schärfe beschrieben werden können. Dazu gehören vor allem Daten, Informationen und kompetente Meinungen zu

- der spezifischen technischen Ausprägung der öffentlichen Wasserversorgung und der kommunalen Abwasserentsorgung in den Teilräumen,
- den Nutzungsstrukturen des Trinkwassers in Haushalten, öffentlichen Einrichtungen, Gewerbe- und Industriebetrieben,
- spezifischen Umsetzungsbedingungen und Auswirkungen von alternativen Wasser-Infrastruktursystemen,
- den typischen räumlichen und sozio-ökonomischen Merkmalen der Stadt sowie
- den teilräumlichen Entwicklungspotenzialen.

Die erforderlichen Daten und Informationen wurden zunächst durch eine umfassende Auswertung der aktuellen nationalen und internationalen Fachliteratur sowie aus den Er-

gebnissen von Pilot- und Modellvorhaben gewonnen. Der aktuelle Stand ist im DWA-Themenheft „Neuartige Sanitärsysteme“ (DWA 2008) zusammenfassend dargestellt. Die Aspekte der Regenwassernutzung und des Grauwasser-Recycling werden in den Veröffentlichungen der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) umfassend behandelt. Diese zusammenfassenden Berichte und die Vielzahl an Fachveröffentlichungen zu verschiedenen Aspekten einer nachhaltigen und effizienten kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung beschäftigen sich mit technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Einzelaspekten; eine integrierte Bilanzierung und Bewertung der kommunalen Wasser-Infrastruktur steht jedoch aus.

Weltweit gibt es in der Zwischenzeit eine wachsende Diskussion über alternative, innovative Konzepte städtischer Wasserver- und Abwasserentsorgung auch innerhalb der Industrienationen. Im Gegensatz zu Deutschland gibt es in zahlreichen Staaten bereits Vorhaben, in denen neue Konzepte in einem größeren räumlichen Kontext realisiert wurden.

Im Rahmen des Forschungsverbundes netWORKS sind diese internationalen Erfahrungen umfassend dargestellt und ausgewertet worden. Die Ergebnisse sind u.a. im netWORKS-Paper 25 „Transformation städtischer Wasserinfrastrukturen: Internationale Erfahrungen“ (Scheele u.a. 2008) zusammengefasst; sie bildeten gleichzeitig auch die Basis für einen internationalen Workshop, der vom netWORKS-Verbund im September 2008 organisiert wurde und an dem zahlreiche Experten aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland teilnahmen.

Die Motivlage bei den realisierten internationalen Projekten ist sehr unterschiedlich: Bevölkerungswachstum, wirtschaftlicher Druck, Klimawandel und Wasserknappheit sind die wichtigsten Gründe („driving forces“) für die Entwicklung und Umsetzung neuartiger Wasser-Infrastruktur-Systeme. Schrumpfungsprozesse vergleichbar der in vielen deutschen Regionen spielen dagegen kaum eine Rolle. In der Mehrheit der Fälle ist die Antwort auf die neue Problemlage die Umsetzung dezentraler oder semizentraler Konzepte, mit denen flexibel auf veränderte Herausforderungen reagiert werden kann.

Die Hintergründe, die planerisch-konzeptionelle Einbettung der Projekte in die Stadtentwicklung, aber auch die Größe der realisierten Projekte sind sehr unterschiedlich, dennoch lassen sich einige allgemeine Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Projekte sind sektorübergreifend, d.h. sie umfassen sowohl energiewirtschaftliche, wasserwirtschaftliche als auch abfallwirtschaftliche Komponenten, wobei ein Schwerpunkt in der Integration der sog. „green infrastructure“ liegen (Wasserläufe, Grünflächen, Retentionsflächen).
- Mit Blick auf die wasserwirtschaftlichen Komponenten ist die Differenzierung nach Wasserarten und Wassernutzungen vorherrschend: Grauwassernutzung, doppelte Versorgungsnetze und die Ressourcenrückgewinnung aus Abwässern sind Kernelemente.
- In der Mehrzahl der Projekte handelt es sich um sog. „greenfield-Lösungen“, d.h. sie werden auf bislang infrastrukturell nicht erschlossenen Gebieten realisiert bzw. auf innerstädtischen Brachen, wo die ehemals vorhandene Infrastruktur nicht mehr funkti-

onsfähig ist. Es fehlen auch im internationalen Kontext bisher Lösungen, die auf eine Anpassung bzw. Transformation bestehender Systeme abzielen.

- Die Projekte basieren auf kooperativen Ansätzen; für den langfristigen Erfolg entscheidend ist die Zusammenarbeit zwischen den Planungsbehörden, den Projektträgern, den Ver- und Entsorgungsunternehmen und den potenziellen Bewohnern.
- Die Wirtschaftlichkeit der Projekte ist bislang systematisch nicht untersucht worden, dies auch vor dem Hintergrund der Tatsache, dass viele Projekte Modellcharakter haben und entsprechend subventioniert worden sind. Auf der anderen Seite ist davon auszugehen, dass gerade in den Wassermangelregionen klassische Versorgungslösungen nicht oder nur zu sehr hohen Kosten verfügbar sind, alternative Konzepte von daher sowohl unter betriebswirtschaftlichen und unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten vorteilhaft sind.

Bedeutsame Erkenntnisgewinne hat die Zusammenarbeit mit den sechs Praxispartnern im Rahmen von Fachgesprächen und teilräumlichen Planspielen erbracht. Im Rahmen von integrierten Fachgesprächen, mit den Vertretern aus den Bereichen Stadtentwicklung und Stadtplanung sowie den Trägern der kommunalen Wasser-Infrastruktur und in Szenario-Workshops zu den Ausgangsbedingungen, erforderlichen Veränderungen der Wasser-Infrastruktur und den Auswirkungen auf die Stadtentwicklung und die kommunale Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in ausgewählten Stadtteilen, wurde die Systematik einer räumlichen Struktur der Städte und die typischen Merkmale der Teilräume (Stadtteile) diskutiert und festgelegt. Hieraus konnten wertvolle Erkenntnisse für die Identifikation erfolgversprechender Ansatzpunkte und Restriktionen der Transformation der kommunalen Wasser-Infrastrukturen gewonnen werden.

2.4 Vorgehensweise der Untersuchung

Die Bilanzierung und Bewertung bestehender und alternativer Systeme der kommunalen Wasser-Infrastruktur erfolgt in fünf Phasen:

- Phase 1:** Entwicklung eines Siedlungsstrukturmodells,
- Phase 2:** Formulierung von Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur,
- Phase 3:** Erstellung von Bilanzen,
- Phase 4:** Bewertung der Systemalternativen,
- Phase 5:** Beschreibung der teilräumlichen Umsetzungsbedingungen.

Zentrales Element der Untersuchung ist die Modellstadt „netWORKS“ als siedlungsstruktureller Bezugsrahmen der Bilanzierung und Bewertung von Szenarien der Wasser-Infrastruktur und der Beurteilung von teilräumlichen Umsetzungsbedingungen. Sie ist teilräumlich nach unterschiedlichen Stadtteilen mit ihren jeweils typischen, städtebaulichen Merkmalen und infrastrukturellen Gegebenheiten differenziert. Die Grundlagen des Modellstadtkonzeptes mit der Abgrenzung und Typisierung von Teilräumen sind neben einer Literaturrecherche durch Strukturanalysen der beteiligten Partnerstädte entwickelt worden.

Die Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur beruhen auf der Auswertung der aktuellen Fachliteratur sowie der Daten und Informationen von Modell- und Pilotvorhaben. Sie umfassen drei Systemvarianten:

- Status quo 2010 (System im Ist-Zustand),
- Referenz 2080 (Szenario der Systemoptimierung/-anpassung) und
- Transformation 2080 (Szenario der grundlegenden Systemumgestaltung).

Die Bilanzierung von Wasser-Infrastruktursystemen umfasst alle relevanten Merkmale und Auswirkungen, die für die nachfolgende Bewertung von Bedeutung sind:

- Volumenströme (Wasser; Abwasser),
- Energieeinsatz und Energieerträge,
- Einsatzstoffe und gewonnenen Wertstoffe,
- Kosten und Erlöse.

Sie wurden auf der Grundlage der Angaben in der aktuellen Fachliteratur ermittelt und in einer Vielzahl von Fachgesprächen überprüft und ggf. modifiziert.

Die Bewertung der Systemalternativen umfasst betriebswirtschaftliche, volkswirtschaftliche und umweltrelevante Kriterien. Im Rahmen einer Öko-Effizienz-Analyse werden die wirtschaftlichen und umweltseitigen Aspekte verknüpft und integriert bewertet.

Neben den betriebswirtschaftlichen und umweltökonomischen Kriterien sind die teilsräumliche Entwicklungsdynamik und der erforderliche Transformationsaufwand ausschlaggebend für die teilsräumlichen Umsetzungsbedingungen der Transformation der kommunalen Wasser-Infrastruktur. In Abschnitt 6 werden diese Aspekte behandelt und daraus zeitliche und räumliche Prioritäten der Umsetzung abgeleitet.

2.5 Abgrenzung des Untersuchungsrahmens

Der Untersuchungsrahmen der Öko-Effizienz-Analyse der kommunalen Wasser-Infrastruktur im Forschungsverbund netWORKS erstreckt sich auf

- die Bereitstellung von Wasser durch die Öffentliche Wasserversorgung,
- die Verwendung von Wasser durch die Wassernutzer und
- die Ableitung und Behandlung durch die kommunale Abwasserentsorgung.

Die Eigenversorgung mit Betriebswasser (Prozesswasser, Beregnungswasser etc.) durch die Nutzer selbst (Industriebetriebe, Landwirtschaft) sowie die Abwasserbehandlung durch die Direkteinleiter (Industriebetriebe) werden nicht einbezogen. Gleichwohl können im Einzelfall Wechselwirkungen und Synergismen auftreten, die von Bedeutung sind. Im Rahmen der Konzeption, Bewertung und Umsetzung von teilsräumlichen Maßnahmen sind diese zu berücksichtigen.

Aufgrund des hohen Anteils der Kapitalkosten und der langen Ausreifungszeit der kommunalen Wasser-Infrastruktur, aber auch wegen der Dauerhaftigkeit städtischer Strukturen und der Langfristigkeit räumlicher Entwicklungen, wurde dazu ein Zeithorizont von 70 Jahren gewählt.

Die Systemgrenzen wurden so gewählt, dass die Bilanzierung der für die Bewertung wesentlichen Wasser-, Energie- und Stoffflüsse innerhalb des Rahmens der kommunalen Wasser-Infrastruktur möglich ist. Das bedeutet, dass die sicherlich nicht unwesentlichen Aspekte der regionalen und lokalen Verfügbarkeit der Wasser-, Energie- und Stoffressourcen (Input) sowie die Nutzungsbedingungen der gewonnenen Wasser-, Energie- und Wertstoffpotenziale nicht in die Bewertung einbezogen werden. Dies würde den Untersuchungsrahmen und die Möglichkeiten der Bilanzierung und Bewertung für einen so langen Untersuchungszeitraum sprengen. Hier müssen Unsicherheiten in Kauf genommen werden, deren möglichen Auswirkungen auf die Ergebnisse im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (siehe Abschnitt 4.6) ermittelt und dargestellt werden.

3. Siedlungsstrukturmodell und Szenarien der Wasser-Infrastruktur

3.1 Modellstadt „netWORKS“

Um eine systematische Analyse und Bewertung von Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur zu ermöglichen, wurde, ausgehend von generalisierbaren, städtebaulichen Gegebenheiten in nahezu allen deutschen Großstädten ein Siedlungsstrukturmodell – die Modellstadt „netWORKS“ – konzipiert und mit den wesentlichen städtebaulichen und infrastrukturellen Eckdaten beschrieben. Diese Daten und Informationen wurden in Fachgesprächen mit den Vertretern der Partnerstädte Bielefeld, Chemnitz, Cottbus, Essen, Hamburg und Schwerin diskutiert und spezifiziert.

Das Stadtmodell steht für die Vielzahl vergleichbarer Städte. Auf die Darstellung und Berücksichtigung spezifischer Besonderheiten, wie beispielsweise die regionale Einbindung, die demografischen Gegebenheiten, die wirtschaftlichen Bedingungen oder die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, kann hier verzichtet werden, da die langfristige Gestaltung der Wasser-Infrastruktur vorrangig von strategischer Bedeutung ist.

Spezifische Aspekte, die sich aus der bestehenden teilträumlichen Struktur ergeben, werden in der teilträumlichen Analyse und Bewertung berücksichtigt.

3.1.1 Gesamtstadt

Um die Modellstadt „netWORKS“ zu charakterisieren, wird von den in Tabelle 2 aufgeführten Eckdaten ausgegangen.

Tabelle 2: Eckdaten der Modellstadt

Merkmal	Wert	Einheit
Siedlungsfläche (BBL)	5.000	ha
Besiedlungsdichte	100	E/ha BBL
Arbeitsplatzdichte	50	AP/ha BBL
Mittlerer Jahresniederschlag	650	mm/a
Anteil versiegelte Fläche	35	%
Abflussbeiwert	0,8	-
Verhältnis Misch-/Trennsystem	60/40	-
Spezifischer Trinkwasserbedarf (E)	45	m ³ /(E*a)
Spezifischer Trinkwasserbedarf (AP)	10,5	m ³ /(AP*a)
Fremdwasseranfall	2.000	m ³ /ha BBL

Die Modellstadt „netWORKS“ ist teilträumlich nach unterschiedlichen Stadtteilen mit ihren jeweils typischen Merkmalen differenziert (siehe Abbildung 4). Die insgesamt 16 Teilräume sind aufgrund ihrer Lage wiederum den vier Kategorien Kernstadt, Innenstadtrandlage, Peripherie und Außengebiet zugeordnet.

Abbildung 4: Modellstadt „netWORKS“



Es geht darum, typische und übertragbare Problemkonstellationen für die Stadtplanung und die Wasser-Infrastruktur zu beschreiben. Auf dieser Basis werden die spezifischen teilträumlichen Ansatzpunkte für Transformationsprozesse identifiziert.

Die abgegrenzten Teilräume der Modellstadt „netWORKS“ sind stellvertretend für typische stadträumliche Teilstrukturen. Unabhängig von den spezifischen örtlichen Gegebenheiten einer konkreten Stadt wird jeweils nur ein Teilraum dargestellt. In der Realität wird es der Fall sein, dass Teilräume gar nicht oder mehrfach vorkommen.

3.1.2 Teilräume

Es wird davon ausgegangen, dass die Teilräume eine homogene Struktur aufweisen. Damit ist es möglich, typische, teilträumliche Gegebenheiten, sozio-ökonomische Entwicklungslinien und Wasser-Infrastruktursysteme zugrunde zu legen. Im konkreten Fall müssen diese jeweils ermittelt und definiert werden.

In Tabelle 3 sind die teilträumlichen Eckdaten hinsichtlich der Siedlungsstruktur mit den Dimensionen Besiedlungs- und Arbeitsplatzdichte, Gebäudeleerstand, Bebauungsdichte, Bausubstanz und Eigentümerstruktur zusammenfassend dargestellt. Die Eigenschaften der Teilräume sind in Form von Steckbriefen ausführlich dokumentiert und können in Anhang 1 exemplarisch für fünf Teilräume (Nr. 4, 5, 8, 10 und 15) nachvollzogen werden. In

Tabelle 4 sind analog zur Siedlungsstruktur (Tabelle 3) die teilräumlichen Eckdaten hinsichtlich der Wasserinfrastruktur aufgeführt.

Tabelle 3: Eckdaten der Teilräume – Siedlungsstruktur

Struktur-typ	Lage	Teilraum	Besied-lungs-dichte	Arbeits-platz-dichte	Leer-stand	Bebauungs-dichte	Bau-substanz	Eigen-tümer-struktur
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung	E/ha	AP/ha	%	GFZ (BMZ)	Baujahr	Streubesitz %
1	Innenstadt	Kerngebiet	40-80	165	0-15	> 1,5	1870/1980-2000	30
2	Innenstadt-rand	Mischgebiet	50-140	50	0-15	0,6-1,2	1870-1975	80
3		Gewerbegebiet	5	35-90	0-15	1,2-2,4 (5-10)	1870-1960	70
4		Entwicklungsgebiet	50-100	10-20	0-15	> 0,3	1870-1960	80
5		Konversionsgebiet	25-50		30-60	< 0,3	1870-1960	80
6		Industriegebiet	2-20	20-200	-	1,0-2,4 (4-10)	1870-1975	
7		Geschosswohnungsbau	140-175	28-53	0-15	> 1,0	1870/1980-2000	80
8	Peripherie	1-2 Familienhausgebiet	28-65	3-7	0	> 0,3	nach 1959	100
9		Freizeit- und Sportparks	-	-	-	-	-	-
10		Geschosswohnungsbau ("Platte")	160-185	16-19	25	1,2	nach 1970/1990	15
11		Streusiedlungen	20	2	15	0,15	nach 1950	100
12		Industriegebiet	3-17	35-170	10	1,0-2,4 (4-10)	nach 1960	
13		Konversionsgebiet	-	-	-	-	-	-
14	Außen-gebiet	Kleinstadt	50-100	50	15	0,3-0,6	1850-1995	90
15		Dorf	10-30	5-10	15	0,1-0,5	1850-1970/1970-2000	100
16		Gewerbegebiet	2	25-80	0-15	0,6-1,2 (3-8)	nach 1959	90

Tabelle 4: Eckdaten der Teilräume – Wasserinfrastruktur

Struktur-typ	Lage	Teilraum	spezifischer Wasserbedarf		spezifische Leitungsdichte		Misch-/Trenn-system	Auslastung Schmutz-wassernetz
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung	Einwohner L/(E*d)	Arbeitsplatz L/(AP*d)	Wasser m/ha	Abwasser m/ha	%	%
1	Innenstadt	Kerngebiet	125	27	95-112	119-152	90/10	50-80
2	Innenstadt-rand	Mischgebiet	125	27	95-112	119-152	90/10	50-80
3		Gewerbegebiet	125	27	95-112	119-152	90/10	50-80
4		Entwicklungsgebiet	125	27	95-112	119-152	90/10	30-50
5		Konversionsgebiet	125	27	95-112	119-152	90/10	15-25
6		Industriegebiet	100	27	100-140	119-152	90/10	40-60
7		Geschosswohnungsbau	120	27	95-112	120-152	90/10	50-80
8	Peripherie	1-2 Familienhausgebiet	125	27	118-141	234-270	10/90	40-60
9		Freizeit- und Sportparks	-	-	-	-	-	-
10		Geschosswohnungsbau "Platte"	85-100	27	104-135	167-191	20/80	30-50
11		Streusiedlungen	80	27	94	117-163	10/90	40-60
12		Industriegebiet	100	27	100-140	90-130	0/100	40-60
13		Konversionsgebiet	-	-	-	-	-	-
14	Außen-gebiet	Kleinstadt	100	100	95-112	119-152	90/10	50-80
15		Dorf	85	85	84-93	74-103	80/20	40-60
16		Gewerbegebiet	85	27,39726	100-140	90-130	0/100	40-60

3.2 Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur

3.2.1 Randbedingungen der Szenarienbildung

Die Betrachtung des infrastrukturellen Umbaus erfolgt über einen Zeitraum von 70 Jahren. Dieser Szenarienhorizont trägt u.a. den langen Abschreibungszeiträumen bzw. Nutzungsdauern, die es beim Umbau der vorhandenen Strukturen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu beachten gilt, der erforderlichen Zeitspanne zur Etablierung der heute vorherrschenden Wasserinfrastrukturen sowie der Dauerhaftigkeit räumlicher Strukturen Rechnung.

Die der Bilanzierung (vgl. Abschnitt 4) und Bewertung (vgl. Abschnitt 5) zugrunde liegenden drei Systemvarianten

- Status quo 2010 (System im Ist-Zustand),
- Referenz 2080 (Szenario der Systemoptimierung/-anpassung) und
- Transformation 2080 (Szenario der grundlegenden Systemumgestaltung)

werden hinsichtlich ihrer wasserwirtschaftlichen Systemkomponenten und wesentlichen Eckdaten auf Gesamtstadt-Ebene in den folgenden Abschnitten dargestellt und erläutert.

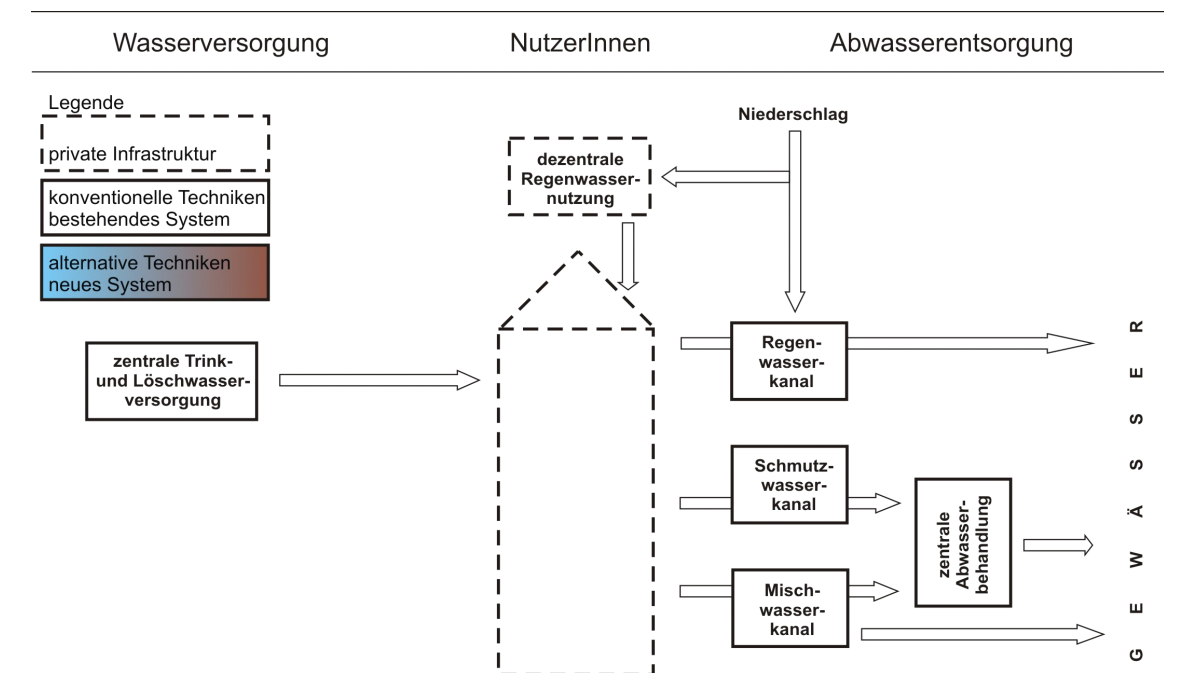
Es gelten grundsätzlich die nachstehend aufgeführten Randbedingungen:

- Die Bevölkerungsentwicklung weist in den Szenarien Referenz und Transformation jeweils einen Rückgang in Höhe von 25 Prozent auf (in Anlehnung an Statistisches Bundesamt 2006).
- Der Klimawandel mit den Dimensionen Temperatur und Niederschlag stellt einen weiteren Einflussfaktor auf zukünftige Szenarien dar. Entsprechende Jahresmengen/-werte (z.B. Niederschlag = 650 mm/a), ändern sich zwischen den Bezugshorizonten 2010 und 2080 nicht maßgeblich. Saisonale Ausprägungen, z.B. längere Trockenperioden im Sommer und häufigere sowie mengenmäßig größere Niederschlagsereignisse im Winter, sind für konkrete Planungsschritte relevant, finden jedoch innerhalb der hier unternommenen strukturellen Betrachtung keine direkte Berücksichtigung.
- Das heute vorherrschende zentrale System der Trinkwasserversorgung (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung) erfährt keine grundsätzliche Umgestaltung.
- Hinsichtlich der Szenarien für den Bezugshorizont 2080 (Referenz und Transformation) erfolgt eine Vermeidung des Phosphor-Eintrages über die Küchenabwässer (Geschirrspülmaschinen) in das häusliche Abwasser.
- Die hier aufgeführten Systemvarianten der Wasserinfrastruktur beziehen sich ausschließlich auf häusliche Abwässer nach DIN EN 752 (DIN 2008). Die Behandlung der Industrieabwässer erfolgt durch die Betriebe selbst.
- Die der Betrachtung zugrunde liegenden Systemgrenzen auf der Abwasserseite schließen die Klärschlammmentwässerung ein (UBA 2008). Die Klärschlammmentsorgung sowie die Mitbehandlung häuslicher Bioabfälle werden qualitativ/argumentativ berücksichtigt.

3.2.2 Ist-Zustand Status quo 2010

Die Systemvariante „Status quo 2010“ beschreibt eine heute übliche Systemstruktur der zentralen Wasserver- und Abwasserentsorgung. Die wesentlichen Systemkomponenten sind in Abbildung 5 grafisch dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

Abbildung 5: Systemskizze Gesamtstadt – Status quo 2010



Versorgung

Der einwohnerspezifische Trinkwasserbedarf beträgt ca. 124 L/E/d (45 m³/E/a) und wird über ein zentral ausgerichtetes Trinkwasserversorgungssystem (inklusive Löschwasserbereitstellung) abgedeckt.

Die Nutzung von Niederschlagswasser (vereinzelte Gebäude, mittels Regenwassertonnen/-zisternen) überwiegend für Bewässerungszwecke sowie vereinzelt für Toilettenspülung und Sonstige Nutzungen stellt keinen Bestandteil des öffentlichen Wasserinfrastruktursystems dar.

Die gesamte Wassernutzung, bestehend aus Trink- und Niederschlagswasser in den Haushalten und am Arbeitsplatz, beläuft sich auf ca. 59 m³/(E+AP)/a und ist in Abhängigkeit der unterschiedlichen Wasser- und Nutzungsarten in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Eckdaten Gesamtstadt – Status quo 2010

Siedlungsfläche; gesamt [ha]:	5.000	Niederschlag [mm/a]:	650	Mischwasserentlastung [-]:	0,20					
Anteil versiegelte Fläche [-]:	0,35	Abflussbeiwert [-]:	0,80	Anteil Trennsystem [-]:	0,40					
Versiegelte Fläche [ha]:	1.750	Fremdwasser [m³/ha/a]:	2.000	Anteil Mischsystem [-]:	0,60					
Einwohnerdichte [E/ha]:	100	Einwohner (E):	500.000	Einwohnerwerte [-]:	625.000					
Arbeitsplatzdichte [AP/ha]:	50	Arbeitsplätze (AP):	250.000	Einwohnergleichwert AP [-]:	0,50					
Nutzungsart	Trinkwasser				Regenwasser		beh. Grauwasser		Σ Wassernutzung	
	Haushalte		Gewerbe		Haushalt+Gewerbe		Haushalt+Gewerbe		Haushalt+Gewerbe	
Verwendungszweck	[%]	[m³/ E/a]	[%]	[m³/ AP/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]
Kochen, Trinken	4	2,0	5	0,5	0	0,0	0	0,0	4	2,5
Körperpflege	33	15,0	5	0,5	0	0,0	0	0,0	26	15,5
Geschirr spülen	7	3,0	5	0,5	0	0,0	0	0,0	6	3,5
Wäsche waschen	13	6,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	10	6,0
Toilettenspülung	27	12,0	57	6,0	17	0,5	0	0,0	32	18,5
Sonstige Nutzungen	7	3,0	19	2,0	17	0,5	0	0,0	9	5,5
Gartenbewässerung	9	4,0	10	1,0	67	2,0	0	0,0	12	7,0
Summe	100	45,0	100	10,5	100	3,0	0	0,0	100	58,5

Entsorgung

Die Erfassung der Toilettenabwässer erfolgt über handelsübliche Spültoiletten und Wasserurinale. Das häusliche Abwasser wird mehrheitlich im Mischsystem mit dem über die dezentrale Nutzung hinaus anfallendem Niederschlagswasser mittels Schwerkraftentwässerung zentral abgeleitet. In Entwässerungsgebieten mit Trennsystem erfolgt die Ableitung über separate Schmutz- und Regenwasserkanäle.

Die entlasteten Misch- und Regenwasserabschläge werden überwiegend einer mechanischen Behandlung mittels konventioneller Verfahren (Regenüberlauf- und Regenklärbecken) unterzogen.

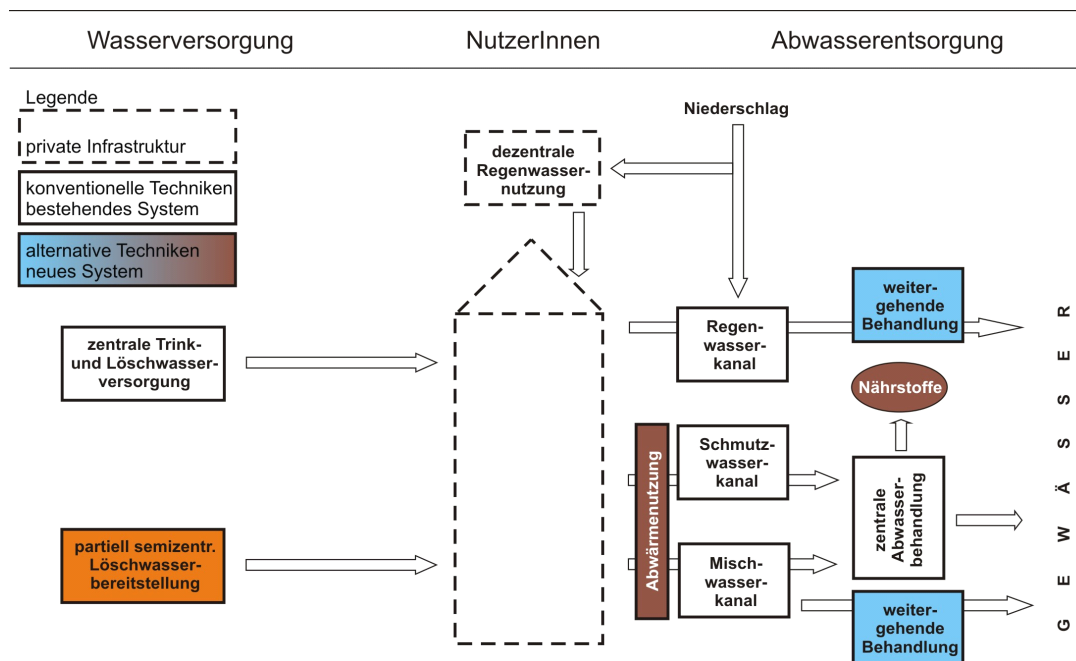
Das Schmutz- bzw. Mischwasser wird einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage zugeführt und zunächst unter Anwendung aerober Verfahren (Kohlenstoffabbau und Stickstoffumwandlung) behandelt. Die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor werden mittels Denitrifikation und Simultan-Fällung (in Verbindung mit vermehrter biologischer Elimination) weitgehend entfernt.

Der anfallende Klärschlamm wird anaerob stabilisiert und das dabei entstehende Faulgas mittels Blockheizkraftwerk zur Strom- und Wärmeerzeugung (Eigenversorgung) genutzt. Der stabilisierte Klärschlamm wird maschinell entwässert und anschließend einer thermischen oder stofflichen Verwertung (Co-Verbrennung, Landschaftsbau) zugeführt.

3.2.3 Szenario Referenz 2080

Das Referenz-Szenario für den Bezugshorizont 2080 stellt eine Fortschreibung des bestehenden Wasserinfrastruktursystems der Ausgangslage (Status quo 2010) dar. Die wesentlichen Systemkomponenten sind in Abbildung 6 grafisch dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

Abbildung 6: Systemskizze Gesamtstadt – Referenz 2080



Versorgung

Der einwohnerspezifische Trinkwasserbedarf beträgt ca. 93 L/E/d (34 m³/E/a) und wird über ein zentral ausgerichtetes Trinkwasserversorgungssystem abgedeckt. Der verringerte Trinkwasserbedarf gegenüber dem Status quo 2010 resultiert aus der weitgehend flächendeckenden Implementierung Wasser sparender Armaturen und Geräte (z. B. Wasserspartoiletten) und einer gesteigerten Niederschlagswassernutzung (private Infrastruktur) in den Bereichen Toilettenspülung und Gartenbewässerung.

Die Löschwasserbereitstellung wird teilweise vom Trinkwassersystem abgekoppelt und mittels Löschwasserteichen/-behältern sichergestellt. Diese werden durch Niederschlagswasser gespeist und ggf. über das Trinkwassersystem nachgespeist. Aufgrund der veränderten Löschwasservorhaltung werden im Rahmen erforderlicher Sanierungsarbeiten geringere Leitungsquerschnitte im Trinkwasserverteilungssystem zur Anpassung an den veränderten Bedarf eingebaut.

Die gesamte Wassernutzung in den Haushalten und am Arbeitsplatz, bestehend aus Trink- und Niederschlagswasser, beträgt ca. $50 \text{ m}^3/(E+AP)/a$ und ist in Abhängigkeit der unterschiedlichen Wasser- und Nutzungsarten in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Eckdaten Gesamtstadt – Referenz 2080

Siedlungsfläche; gesamt [ha]:	5.000	Niederschlag [mm/a]:	650	Mischwasserentlastung [-]:	0,15					
Anteil versiegelte Fläche [-]:	0,35	Abflussbeiwert [-]:	0,80	Anteil Trennsystem [-]:	0,60					
Versiegelte Fläche [ha]:	1.750	Fremdwasser [m³/ha/a]:	2.000	Anteil Mischsystem [-]:	0,40					
Einwohnerdichte [E/ha]:	75	Einwohner (E):	375.000	Einwohnerwerte [-]:	450.000					
Arbeitsplatzdichte [AP/ha]:	30	Arbeitsplätze (AP):	150.000	Einwohnergleichwert AP [-]:	0,50					
Nutzungsart	Trinkwasser				Regenwasser	Grauwasser		Σ Wassernutzung		
	Haushalte		Gewerbe		Haushalt+Gewerbe	Haushalt+Gewerbe		Haushalt+Gewerbe		
Verwendungszweck	[%]	[m³/ E/a]	[%]	[m³/ AP/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]
Kochen, Trinken	6	2,0	6	0,5	0	0,0	0	0,0	5	2,5
Körperpflege	35	12,0	6	0,5	0	0,0	0	0,0	25	12,5
Geschirr spülen	6	2,0	6	0,5	0	0,0	0	0,0	5	2,5
Wäsche waschen	12	4,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	8	4,0
Toilettenspülung	26	9,0	50	4,5	31	2,0	0	0,0	31	15,5
Sonstige Nutzungen	9	3,0	22	2,0	8	0,5	0	0,0	11	5,5
Gartenbewässerung	6	2,0	11	1,0	62	4,0	0	0,0	14	7,0
Summe	100	34,0	100	9,0	100	6,5	0	0,0	100	49,5

Entsorgung

Die Erfassung der Toilettenabwässer erfolgt über Wasser sparende Spültoiletten und wasserlose Urinale. Der häusliche Abwasserstrom wird zentral abgeleitet. Hinsichtlich des Entwässerungssystems hat im Rahmen der anstehenden Sanierungen ein Wechsel vom vorherrschenden Mischsystem zum Trennsystem stattgefunden, infolgedessen nun mehrheitlich separate Schmutz- und Regenwasserkanäle vorzufinden sind. In Einzelfällen ist die bestehende Schwerkraftentwässerung des Schmutzwassers durch eine Unterdruckentwässerung (Vakuumsystem innerhalb/außerhalb der Gebäude) ersetzt worden.

Die Abwärme des Abwassers wird mittels Wärmetauscher im Schmutz- und Mischwassersystem zurück gewonnen und in die bestehende Wärmeversorgung eingespeist.

Die entlasteten Misch- und Regenwasserabschläge werden zusätzlich zur bestehenden mechanischen einer weitergehenden Behandlung (z. B. Bodenfilter) unterzogen.

Das Schmutzwasser und die Abflüsse aus den verbleibenden Mischsystemen werden einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage zugeführt und zunächst unter Anwendung aerober Verfahren (Kohlenstoffabbau und Stickstoffumwandlung) behandelt. Der Nährstoff Stickstoff wird mittels Denitrifikation weitgehend aus der Wasserphase entfernt. Phosphor wird ohne Fällmittelzugabe aufgrund vermehrter biologischer Elimination zunächst in die

Schlammphase überführt und anschließend über eine Verfahrensanpassung der Schlammeindickung wieder in die Wasserphase (Überstandswasser) rückgelöst.

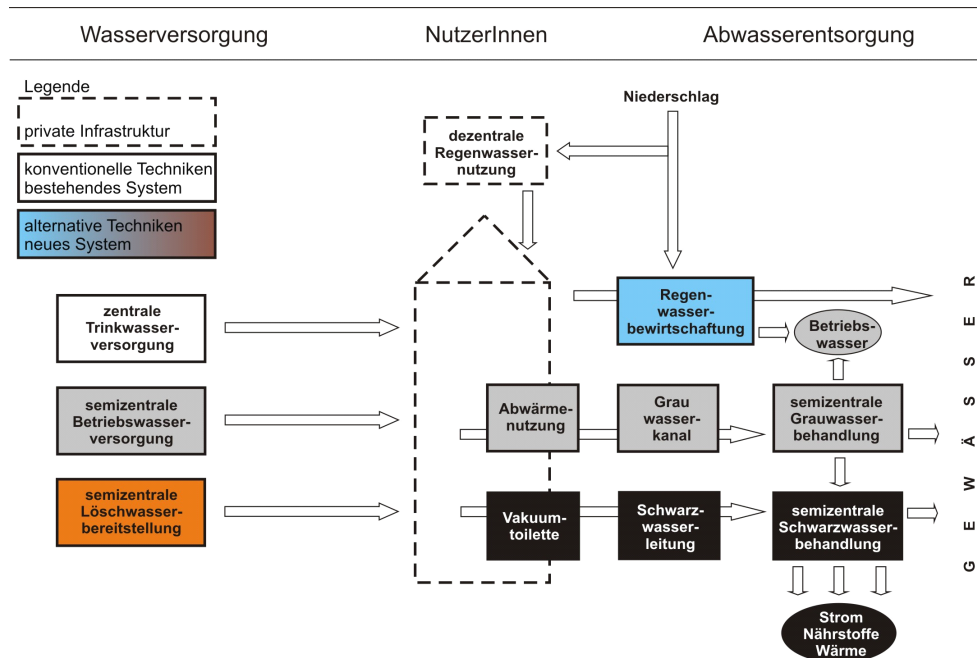
Die Prozesswässer der Klärschlammeindickung/-entwässerung werden nicht wie bisher in die Abwasserbehandlung zurückgeführt, sondern einer separaten Behandlung mit dem Ziel der Nährstoffrückgewinnung unterzogen. Zunächst wird der Phosphoranteil mittels Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) recycelt und Stickstoff als Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL) über eine nachgeschaltete Luftstrippung zurückgewonnen. Anschließend werden die erzeugten Wertstoffe als Dünger in der Landwirtschaft verwendet.

Der anfallende Klärschlamm wird entsprechend dem Status quo 2010 anaerob stabilisiert, jedoch erfolgt nun im Zuge der Nutzung vorhandener Kapazitätsreserven teilweise eine Mitbehandlung der häuslichen Bioabfälle (Tonnensystem). Hierdurch wird eine größere Faulgasausbeute erreicht, die zusätzlich mittels verbesserter BHKW-Technik effizienter genutzt wird. Die erzeugte elektrische Energie und Wärme werden zur Eigenversorgung auf der Abwasserbehandlungsanlage eingesetzt und entsprechende Überschüsse vermarktet. Das stabilisierte Gemisch aus Klärschlamm und Bioabfällen wird maschinell entwässert und anschließend einer thermischen Verwertung (Co-Verbrennung) zugeführt.

3.2.4 Szenario Transformation 2080

Das Szenario Transformation 2080 unterscheidet sich in vielen Aspekten wesentlich von der Ausgangsvariante (Status quo 2010) und dem Referenz-Szenario 2080. Es umfasst eine grundlegende Umgestaltung der Wasserinfrastruktur und Wassernutzung. Die wesentlichen Systemkomponenten sind in Abbildung 7 grafisch dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

Abbildung 7: Systemskizze Gesamtstadt– Transformation 2080



Versorgung

Der einwohnerspezifische Trinkwasserbedarf beträgt ca. 45 L/E/d (16 m³/E/a) und wird über ein zentral ausgerichtetes Trinkwasserversorgungssystem abgedeckt. Der verringerte Trinkwasserbedarf gegenüber dem Status quo 2010 und der Referenz 2080 resultiert aus der weitgehend flächendeckenden Implementierung Wasser sparender Armaturen und Geräte (z.B. Vakuumtoiletten) und einer dem Qualitätsniveau des Trinkwassers angepassten Nutzung für die Verwendungszwecke Kochen und Trinken, Körperpflege und Geschirr spülen. Der Verbrauch an Trinkwasser für die Verwendungszwecke Wäsche waschen, Toilettenspülung, Gartenbewässerung und sonstige Nutzungen wird durch Betriebswasser (Regenwasser; aufbereitetes Grauwasser) substituiert.

Die Löschwasserbereitstellung wird vom Trinkwassersystem abgekoppelt und in der Regel über Oberflächenwasser bzw. mittels Löschwasserteichen/-behältern sichergestellt. Diese werden durch Niederschlagswasser gespeist und ggf. über das Trinkwassersystem nachgespeist. Aufgrund der veränderten Löschwasservorhaltung werden im Rahmen erforderlicher Sanierungsarbeiten geringere Leitungsquerschnitte im Trinkwasserverteilungssystem zur Anpassung an den veränderten Bedarf eingebaut. Weiterhin erfolgt eine teilweise Entmaschung des Verteilungsnetzes in übergeordnete und Versorgungsnetze.

Die gesamte Wassernutzung, bestehend aus Trink-, Regen- und Betriebswasser in den Haushalten und am Arbeitsplatz, beträgt ca. 37 m³/(E+AP)/a. Die Aufteilung des Wasserverbrauches in Abhängigkeit der unterschiedlichen Wasser- und Nutzungsarten ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Eckdaten Gesamtstadt – Transformation 2080

Siedlungsfläche; gesamt [ha]: 5.000		Niederschlag [mm/a]: 650		Mischwasserentlastung [-]: entfällt						
Anteil versiegelte Fläche [-]: 0,35		Abflussbeiwert [-]: 0,80		Anteil Trennsystem [-]:(Stoffstrom-						
Versiegelte Fläche [ha]: 1.750		Fremdwasser [m³/ha/a]: 2.000		Anteil Mischsystem [-]: trennung)						
Einwohnerdichte [E/ha]: 75		Einwohner (E): 375.000		Einwohnerwerte [-]: 450.000						
Arbeitsplatzdichte [AP/ha]: 30		Arbeitsplätze (AP): 150.000		Einwohnergleichwert AP [-]: 0,50						
Nutzungsart	Trinkwasser				Regenwasser		Grauwasser		Σ Wassernutzung	
	Haushalte		Gewerbe		Haushalt+Gewerbe		Haushalt+Gewerbe		Haushalt+Gewerbe	
Verwendungszweck	[%]	[m³/ E/a]	[%]	[m³/ AP/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]	[%]	[m³/(E+ AP)/a]
Kochen, Trinken	13	2,0	33	0,5	0	0,0	0	0,0	7	2,5
Körperpflege	75	12,0	33	0,5	0	0,0	0	0,0	34	12,5
Geschirr spülen	13	2,0	33	0,5	0	0,0	0	0,0	7	2,5
Wäsche waschen	0	0,0	0	0,0	13	1,0	26	3,0	11	4,0
Toilettenspülung	0	0,0	0	0,0	13	1,0	17	2,0	8	3,0
Sonstige Nutzungen	0	0,0	0	0,0	13	1,0	39	4,5	15	5,5
Gartenbewässerung	0	0,0	0	0,0	63	5,0	17	2,0	19	7,0
Summe	100	16,0	100	1,5	100	8,0	0	11,5	100	37,0

Entsorgung

Zur Erfassung der Toilettenabwässer werden flächendeckend wasserarme Vakuumtoiletten und wasserlose Urinale eingesetzt. Dieses Schwarzwasser wird getrennt von dem verbleibenden häuslichen Abwasser (Grauwasser) mittels Unterdruckentwässerung erfasst und abgeleitet. Die häuslichen Bioabfälle werden mittels Zerkleinerer vorbehandelt und gemeinsam mit dem Schwarzwasser über das Vakuumsystem abgeleitet. Das Grauwasser wird über die bestehenden Hausanschlussleitungen mittels Schwerkraftentwässerung abgeleitet. Das Entwässerungssystem erfährt somit neben der klassischen Trennkana-lisation eine weitergehende Stoffstromaufteilung des Schmutzwassers in Grau- und Schwarzwasser und wird zusätzlich zur Erfassung von Bioabfällen genutzt.

Unter der Maßgabe der größtmöglichen Nutzung vorhandener Kanäle und der damit ver-bundenen Vermögenswerte wird in den bisherigen Stadtgebieten mit Trennsystem der bestehende Schmutzwasserkanal als Grauwasserkanal genutzt und nur ein Neubau des Schwarzwasser-Vakuumsystems, das innerhalb des jetzigen Grauwasserkanals eingezo-gen wird, erforderlich. In den bisherigen Mischsystemen werden (soweit möglich) der Grau- und der Schwarzwasserkanal in den vorhandenen Mischwasserkanal, der jetzt als Regenwasserkanal fungiert, einge-zogen.

Der nutzbare Anteil des hohen Abwärmepotenzials des Grauwassers wird möglichst nah am Entstehungsort über Wärmetauscher zurück gewonnen und in die Wärmeversorgung eingespeist.

Das Grauwasser wird semizentral mit auf den Zweck der Wiederverwendung abgestimm-ten energiearmen Verfahren (z.B. Biofilm-Verfahren) aufbereitet und als Betriebswasser in

das neu zu errichtende semizentrale Betriebswassersystem eingespeist (Überlauf zur Füllung der Löschwasservorhaltung bzw. zur Erneuerung/Auffrischung des darin befindlichen Löschwassers).

Das Schwarzwasser (inklusive der häuslichen Bioabfälle) wird mit den Schlämmen aus der Grauwasseraufbereitung in semizentralen Anaerobanlagen behandelt. Das dabei entstehende Faulgas wird mittels verbesserter BHKW-Technik effizient zur Strom- und Wärmeerzeugung für die Eigenversorgung und eine entsprechende Vermarktung der Überschüsse genutzt. Die Gärreste aus der Anaerobanlage werden einer thermischen Verwertung (Co-Verbrennung) zugeführt.

Die verbleibende flüssige Phase der Anaerobanlage wird einer separaten Behandlung zugeführt. Zunächst wird der Phosphoranteil mittels Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) recycelt und Stickstoff als Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL) über eine nachgeschaltete Luftstrippung zurück gewonnen. Der hohe Restgehalt an Kohlenstoff (u.a. aufgrund der häuslichen Bioabfälle) wird mittels aerober Verfahren weitestgehend abgebaut. Anschließend werden die erzeugten Wertstoffe als Dünger in der Landwirtschaft verwendet.

Die zentrale Abwasserbehandlungsanlage ist in ihrer bisherigen Funktion nicht mehr erforderlich und kann innerhalb des Systemverbundes neuen Aufgaben zugeordnet werden (z.B. als Standort für semizentrale Behandlungsanlagen).

4. Mengen- und Kostenbilanzen

Die Bilanzierung der Systemvarianten ist, unabhängig von den gewählten Bewertungsverfahren, der erste und unverzichtbare Schritt jeder Bewertung. Die Ergebnisse der Bilanzierung sind immer quantitative Werte beispielsweise in Form physikalischer Einheiten (m^3 , kWh, t) oder Währungseinheiten (Euro), die in getrennten „Konten“ geführt werden, während die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung in der Regel als relative Werte (größer – kleiner, besser – schlechter) dargestellt werden.

Als Grundlage für die Bewertung der Systemvarianten werden

- Wasserbilanzen,
- Energiebilanzen,
- Stoffbilanzen und
- Kostenbilanzen.

erstellt.

4.1 Annahmen

Die zugrunde gelegten gesamtstädtischen Eckdaten (vgl. Tabelle 5 bis Tabelle 7) beruhen auf plausiblen Annahmen der städtebaulichen und technischen Entwicklung.

Die Systemvarianten Referenz und Transformation berücksichtigen Veränderungen in der demografischen Entwicklung und des spezifischen Wasserverbrauchs sowie eine Anpassung der Infrastruktur (Netze und Anlagen) an den veränderten Bedarf.

Für die Erstellung der Mengen- und Kostenbilanzen sind eine Vielzahl unterschiedlicher Kenndaten erforderlich. Die wesentlichen Annahmen hierzu sind in der Tabelle 8 aufgeführt und in die Bereiche

- Energiebedarf und Energieertrag,
- Volumenströme,
- Einsatzstoffe und Wertstoffe und
- Kosten und Erlöse

untergliedert, die wiederum unterschiedliche spezifische Ausprägungen (Merkmale) aufweisen.

Die angegebenen Werte sind der aktuellen Literatur entnommen und aus geplanten oder bereits umgesetzten Modellprojekten abgeleitet (vgl. Spalte Erläuterungen in Tabelle 8) und sofern erforderlich durch eigene Annahmen ergänzt worden. Begleitend wurden diese Annahmen während der Bearbeitungsphase im Zuge einzelner Fachgespräche einer Qualitätssicherung unterzogen.

Aufgrund des sehr langen Zeithorizonts von 70 Jahren, der für die Identifikation und Bewertung von systemischen Veränderungen der kommunalen Wasser-Infrastrukturen erforderlich ist, ergeben sich besondere Anforderungen und Schwierigkeiten. Prägende dafür sind eine grundlegende Unvollkommenheit des Wissens vor allem in Bezug auf

- die voraussichtliche technische Entwicklung von Systemkomponenten (z.B. Abwasserbehandlung, Energietechnik),
- die betriebswirtschaftlichen Eckdaten (Kosten) sowie
- die umweltökonomischen Rahmenbedingungen.

Insbesondere technologische Entwicklungen sind nur schwer zu prognostizieren, haben jedoch maßgeblichen Einfluss auf die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen. Vor allem handelt es sich aber um die Frage, welcher kurzfristige Aufwand für den nachhaltigen Schutz der Ressourcen und die langfristige Effizienz der Ressourcennutzung akzeptiert werden soll. Hier gibt es – je nach Blickwinkel und Interessenlage – sehr unterschiedliche Präferenzen. Dies gilt insbesondere für eine vorsorgende Umwelt- und Infrastrukturpolitik, bei der die Veränderung der Rahmenbedingungen unklar ist und nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit beschrieben werden kann.

Mit der Umsetzung von vorsorgenden Infrastruktur- und Umweltmaßnahmen treten methodische Schwierigkeiten auf, weil unterschiedliche Zeithorizonte von ökonomischen Belastungen und ökologischen Auswirkungen auftreten. So profitieren später Generationen beispielsweise von heutigen bzw. kurzfristigen strukturellen Veränderungen und Investitionen. Aufgrund dieser Unsicherheiten wird die nachfolgende umweltökonomische Bilanzierung und Bewertung einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, in der ausgewählte Parameter, die eine maßgebliche Bedeutung für die Kostenbilanz haben, verändert werden.

Insbesondere die grundlegenden, umweltökonomischen Rahmenbedingungen wie

- die Inflationsrate,
- die Entwicklung der Relationen zwischen dem allgemeinen Preisniveau und den Energiepreisen und
- die Entwicklung der umweltökonomischen Instrumente zur Einbeziehung der Umweltauswirkungen in die Kosten und Preise der Umweltnutzung (Wasser, Energie etc.)

werden zunächst unverändert in ihrem heutigen Kontext beibehalten, um spekulative Aspekte weitgehend auszuschließen. Die Inflationsrate wird zunächst nicht in die umweltökonomische Bilanzierung und Bewertung einbezogen.

Tabelle 8: Wesentliche Annahmen der Mengen- und Kostenbilanzen

Annahmen	Merkmal	Einheit	Wert			Erläuterungen
			Status quo 2010	Referenz 2080	Transformation 2080	
Energiebedarf	Trinkwasserversorgung	kWh/m³	-0,5	-0,5	-0,5	Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung
	Betriebswassernutzung	kWh/m³	-	-	-0,3	Druckhaltung; Herbst 2008
	Abwasserbehandlungsanlage	kWh/(E*a)	-32	-30	-	Status quo: Mittelwert Größenklasse 5; Referenz: Toleranzwert Größenklasse 4+5; UBA 2008
	Mischwasserbehandlung	kWh/m³	-0,5	-1	-	Referenz: weitergehende Behandlung
	Regenwasserbehandlung	kWh/m³	-	-0,5	-0,5	weitergehende Behandlung
	Grauwasserbehandlung	kWh/m³	-	-	-0,6	inklusive UV-Desinfektion; Herbst 2008
	Vakuumsystem	kWh/(E*a)	-	-	-10	Ableitung Schwarzwasser
	Vergärung Schwarzwasser	kWh/(E*a)	-	-	-10	elektrisch; Wendland 2008
	Vergärung Schwarzwasser	kWh/(E*a)	-	-	-88	thermisch; Wendland 2008
	Luftstrippung (N)	kWh/m³	-	-1,7	-1,7	Mittelwert; DWA 2005
	Luftstrippung (N)	kWh/m³	-	-9	-9	thermisch: Mittelwert; DWA 2005 (Vgl. Fußnote 1) im Tabellenblatt "Ausgabe Mengenbilanzen")
	Fällung (P)	kWh/m³	-	-1,6	-1,6	Mittelwert; DWA 2005
	CSB-Restelimination	kWh/m³	-	-	-1,5	Behandlung Schwarzwasser
Energieertrag	Faulgas	kWh/m³	6,5	6,5	6,5	UBA 2008
	Wirkungsgrad BHKW (el)	-	0,26	0,4	0,4	elektrisch; DWA 2008a
	Wirkungsgrad BHKW (th)	-	0,5	0,45	0,45	thermisch; DWA 2008a
	Abwärmenutzung (delta T)	K	-	2	15	Referenz: Abwasser; Transformation; Grauwasser
Volumenströme	Fäzes	[L/(E*d)]	-	-	0,14	DWA 2008
	Urin	[L/(E*d)]	-	-	1,37	DWA 2008
	Faulgasanfall	m³/(E*d)	0,02	0,02	0,02	Transformation; Wendland 2008
Einsatzstoffe	Schlammwässer (P, N)	L/(E*d)	-	5,65	-	Eindicker = 5,5; Klärschlammwässer = 0,15; Herbst u.a. 2007
	P-Fällung	g/g P	-22	-2,1	-2,1	Status quo: Eisen-Chlorid-Sulfat (FeClSO₄), 78 %ige Schwefelsäure; Mittelwert DWA 2005
	N-Luftstrippung	g/g N	-	-3,8	-3,8	
Wertstoffe	spez. P-Fracht	g P/(E*d)	-	-	0,5	Fäzes; DWA 2008
	spez. P-Fracht	g P/(E*d)	-	-	1	Urin; DWA 2008
	spez. P-Fracht	g P/(E*d)	-	-	0,5	Grauwasser; DWA 2008
	Wirkungsgrad P; MAP	-	-	0,9	0,9	Referenz: MAP Kristallisation (Herbst u.a. 2007) Transformation: Schwarzwasser (DWA 2008)
	spez. N-Fracht	g N/(E*d)	-	1,5	10,4	Transformation: Urin (DWA 2008)
	Wirkungsgrad N; ASL	-	-	0,9	0,9	DWA 2008
Kosten	Trinkwasserversorgung	€/m³	2,00	-	-	Referenz und Transformation: Kostenentwicklung siehe Kostenbilanz
	fix (Kapitalkosten)	%	0,60	0,50	0,40	Status quo: BK-Wasser 2007; Referenz/Transformation: Anpassung Netze/Anlagen
	variabel (Betriebskosten)	%	0,40	0,50	0,60	Status quo: BK-Wasser 2007; Referenz/Transformation: Anpassung Netze/Anlagen
	Abwasserentsorgung	€/m³	2,50	-	-	siehe Kostenbilanz
	fix (Kapitalkosten)	%	0,70	0,60	0,50	Transformation: Anpassung Netze/Anlagen
	variabel (Betriebskosten)	%	0,30	0,40	0,50	Transformation; Anpassung Netze/Anlagen
	Anteil Ableitung	%	0,50	0,50	0,50	Status quo: BK-Wasser 2007
	Anteil Behandlung	%	0,50	0,50	0,50	Status quo: BK-Wasser 2008
	Regenwasserentsorgung	€/m³	2,50	-	-	inklusive Mischwasser; Referenz und Transformation: Kostenentwicklung siehe Kostenbilanz
	fix (Kapitalkosten)	%	0,90	0,90	0,90	
	variabel (Betriebskosten)	%	0,10	0,10	0,10	
	Regenwasserbehandlung	€/m³	-	0,50	0,50	weitergehende Behandlung
	Mischwasserbehandlung	€/m³	-	0,50	-	weitergehende Behandlung
	Betriebswassernutzung	€/m³	-	-	1,00	Speicherung, Druckhaltung, Verteilung
	Grauwasserentsorgung	€/m³	-	-	1,25	Behandlung
Erlöse	Abwärmerückgewinnung	€/m³	-	0,75	0,75	Referenz: Abwasser; Transformation: Grauwasser
	Schlammwasserbehandlung	€/m³	-	2,00	-	Nährstoffrückgewinnung (PRISA, N-Luftstrippung)
	Schwarzwasserentsorgung	€/m³	-	-	20,00	Vakuumbefüllung, anaerobe und aerobe (Rest-CSB) Behandlung, P-Fällung, N-Luftstrippung
	thermische Energie	€/m³	70	70	70	
	elektrische Energie	€/m³	140	140	140	
	relative Preissteigerung	%/a	-	0,0	0,0	bezüglich thermischer und elektrischer Energie, über Betrachtungszeitraum 70 Jahre
	MAP	€/t	100	100	100	Magnesium-Ammonium-Phosphat; UBA 2007
	ASL	€/t	20	20	20	Ammonium-Sulfat-Lösung

4.2 Wasserbilanzen

Ausgehend von den gesamtstädtischen Eckdaten der einzelnen Systemvarianten (vgl. Tabelle 5 bis Tabelle 7) und unter Berücksichtigung der Annahmen bezüglich der Volumenströme für Fäkalien und Schlammwasser (vgl. Tabelle 8), ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten absoluten Werte für die Wasserbilanzen der Ver- und Entsorgung.

Durch die demografische Entwicklung (Bevölkerungsrückgang um 25 Prozent) und die Verminderung des spezifischen Trinkwasserverbrauchs (Wasser sparende Armaturen und Geräte; erhöhte Niederschlagswassernutzung) wird sich der jährliche Trinkwasserbedarf im Referenz-Szenario bis zum Jahr 2080 von 25,1 auf 14,1 Mio. m³ nahezu halbieren. Diese Entwicklung ist im Szenario Transformation 2080 durch die grundlegende Systemumgestaltung (differenzierte Wassernutzung und Abwasserableitung bzw. -behandlung) noch stärker ausgeprägt und führt zu einer Verminderung der benötigten Trinkwassermenge um circa 75 Prozent auf jährlich nur noch 6,2 Mio. m³.

Hinsichtlich der Abwasserbeseitigung ist mit einem Rückgang des ursprünglichen Abwasservolumenstromes (Abwasserentsorgung, Mischwasserentlastung) um circa ein Drittel im Referenz-Szenario bzw. um circa zwei Drittel im Transformations-Szenario (Grauwasser und Schwarzwasser) zu rechnen.

Tabelle 9: Wasserbilanzen der Systemvarianten

Wasserbilanz (Mio. m³/a)	Status quo 2010	Referenz-Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Trinkwasserversorgung	25,1	14,1	6,2
Betriebswassernutzung	0,0	0,0	10,8
Regenwasserentsorgung	4,7	6,4	12,9
Grauwasserentsorgung	0,0	0,0	12,8
Mischwasserentlastung	4,8	1,8	0,0
Abwasserentsorgung	30,7	21,8	0,0
Schlammwasserbehandlung	0,0	0,9	0,0
Schwarzwasserentsorgung	0,0	0,0	1,8

Ergänzend zu den Wasserbilanzen der einzelnen Systemvarianten in Tabelle 9 ist die Analyse der entsprechenden Wasserflüsse mittels schematischer Fließbilder grafisch in Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 aufgeführt. Ausgehend von den Wasserressourcen auf der linken Seite werden die Arten der unterschiedlichen Wassernutzungen, die Systeme der Abwasserableitung und -behandlung sowie die Emissionen (Einleitungen ins Gewässer) dargestellt. Die einzelnen Wasserflüsse sind durch unterschiedlich farbige Pfeile visualisiert, deren Breite sich proportional zur Flussmenge verhält.

Abbildung 8: Wasserfluss-Analyse Status quo 2010

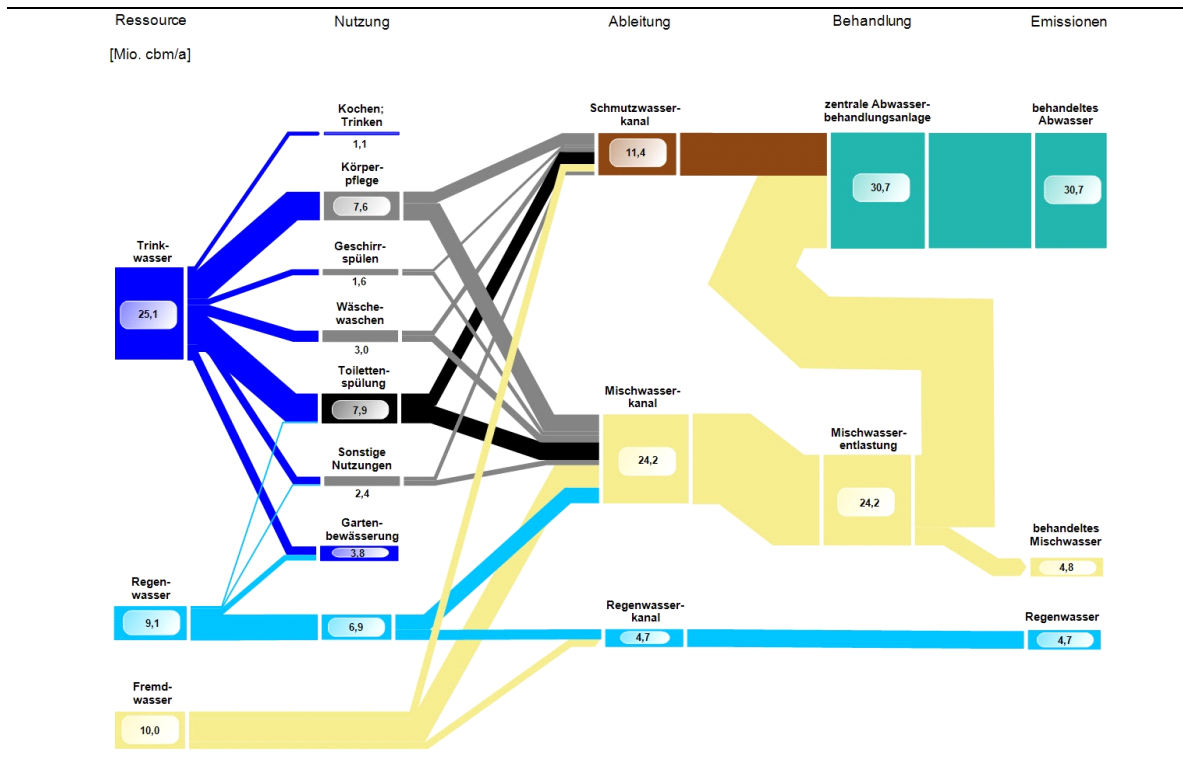
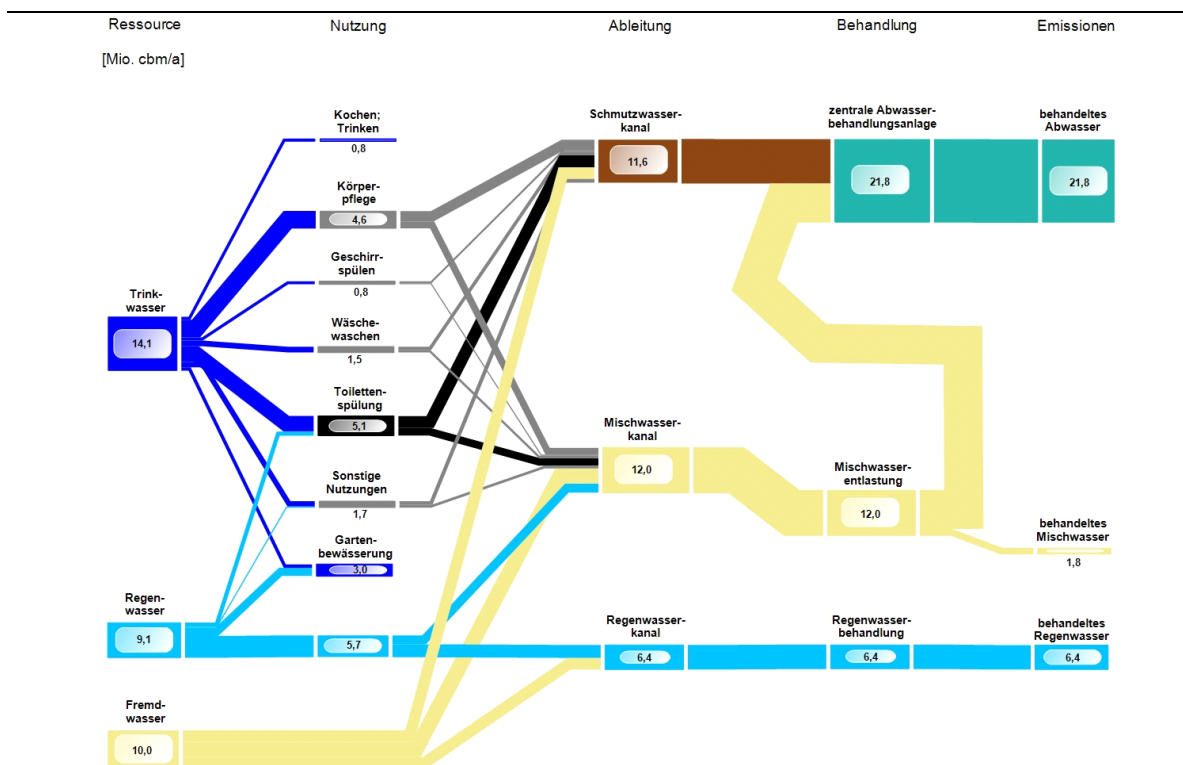


Abbildung 9: Wasserfluss-Analyse Referenz 2080



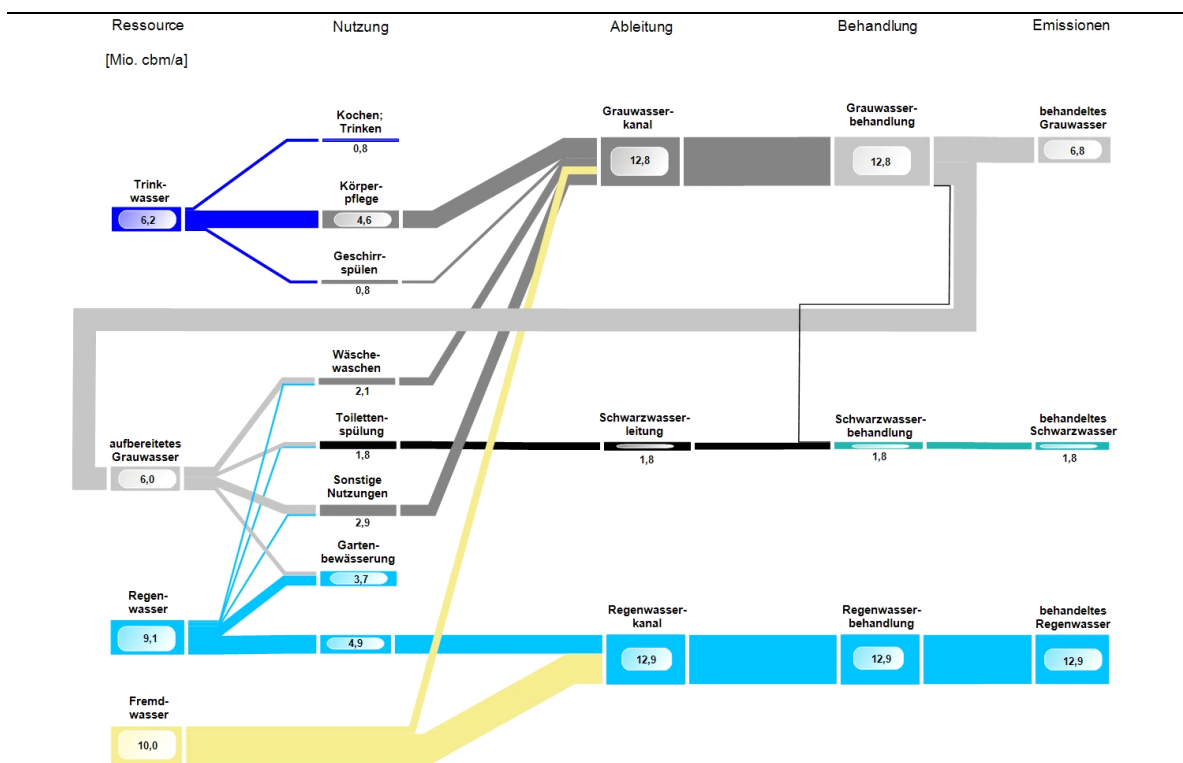
Die Referenz 2080 unterscheidet sich vom Status quo 2010 im Wesentlichen durch den stark verringerten Trinkwasservolumenstrom, der in das System eingespeist wird und durch den deutlich geringeren Mischwasserfluss, der bei etwa gleich bleibendem Schmutzwasserfluss (Ausgleich zwischen einwohnerspezifischem bzw. Einwohneranzahl bedingtem Rückgang und Erhöhung des Trennsystemsanteils auf 60 Prozent) den oben genannten Rückgang des Abwasservolumenstromes (ca. -30 Prozent) prägt.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das Fremdwasser aufgrund seiner Menge als relevante „Ressource“ in allen drei Wasserbilanzen bzw. Wasserfluss-Analysen grundsätzlich mitbetrachtet und bei Änderungen im Entwässerungssystem (z.B. Nutzung von Mischwasserkanälen als Regenwasserkanäle) entsprechend anteilig berücksichtigt wird.

In Abbildung 10 ergibt sich für die Wasserfluss-Analyse der Transformation 2080 ein grundlegend anderes Bild.

Die bisherigen Wasserressourcen Trinkwasser und Regenwasser (Fremdwasser) werden durch die neue erschlossene Ressource Betriebswasser (aufbereitetes Grau- und Regenwasser) ergänzt, in einer mit der Trinkwassermenge vergleichbaren Größenordnung von circa 6,0 Mio. m³/Jahr. Der „one-way“-Charakter (linear von der Ressource zur Emission) der Wasserflüsse in den Systemvarianten Status quo und Referenz wird durch die Aufbereitung und teilweise Wiederverwendung bzw. Nachnutzung (Re-Use) von „Abwasser“ aufgebrochen und Wasserkreisläufe im System werden teilweise geschlossen.

Abbildung 10: Wasserfluss-Analyse Transformation 2080



Neben der nutzungsorientierten Verwendung unterschiedlicher Wasserqualitäten (Trink-, Betriebs- und Regenwasser) erfolgt zudem eine Reduzierung und Konzentrierung hoch belasteter Abwasserströme (Schwarzwasser). Zugleich wird das im System befindliche Fremdwasser aufgrund der Umnutzung der vorhandenen Kanäle größtenteils über die Niederschlagsentwässerung dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt.

4.3 Energiebilanzen

Für die Erstellung der Energiebilanzen wurden zunächst die Ausgangswerte der Energiebedarfe und -erträge, die in Tabelle 8 mit einem einwohnerspezifischen Bezug vorliegen (kWh/(E*Jahr)), auf den Kubikmeter des jeweiligen Wasserstroms umgerechnet. Zusammenfassend sind in Tabelle 10 die spezifischen Energie-Kennwerte (kWh/m³) dargestellt. Zur besseren Unterscheidung der Bedarfe und Erträge sind die spezifischen Energiebedarfe mit negativem Vorzeichen und rot markiert aufgeführt. Die in einer Systemvariante nicht vorkommenden Energiegruppen (z.B. Betriebswassernutzung in Status quo und Referenz) sind mit einer Null deklariert. Die spezifischen Kennwerte für die anaerobe Schlammbehandlung (Vergärung) in den Systemvarianten Status quo und Referenz sind in den pauschalen Angaben zur Abwasserentsorgung enthalten. Die Kennwerte für die Abwärme aus Abwasser bzw. Grauwasser entsprechen dem Potenzial, das sich aus der Berücksichtigung der Temperaturdifferenz durch die Abwärmerückgewinnung mittels Wärmetauscher ergibt (ohne Wärmepumpe etc.). Die Angaben zur Schwarzwasservergärung sind einschließlich der oben aufgeführten BHKW-Wirkungsgrade zu verstehen.

Tabelle 10: Spezifische Kennwerte der Energiebilanz

Spezifische Energie-Kennwerte (kWh/m ³)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Trinkwasserversorgung	-0,5	-0,5	-0,5
Betriebswassernutzung (Druckhaltung)	0	0	-0,3
(weitergehende) Regenwasserbehandlung	0	-0,5	-0,5
Grauwasserentsorgung	0	0	-0,6
(weitergehende) Mischwasserbehandlung	-0,5	-1,0	0
Abwasserentsorgung	-0,7	-0,4	0
P-Rückgewinnung (Strom)	0	-1,6	-1,6
N-Rückgewinnung (Strom)	0	-1,7	-1,7
N-Rückgewinnung (Wärme)	0	-9,0	-9,0
CSB-Restelimination (Strom)	0	0	-1,5
Vakuumsystem	0	0	-2,5
Abwärme (Abwasser, Grauwasser)	0	2,0	17,0
Vergärung Schwarzwasser (Wärme)	0	0	-16,5
Vergärung Schwarzwasser (Strom)	0	0	2,2

Ausgehend von diesen spezifischen Energie-Kennwerten und den entsprechenden Wassermengen bzw. Volumenströmen der Wasserbilanz (vgl. Tabelle 9) ergeben sich die Energiebilanzen (MWh/Jahr) für die Systemvarianten in Tabelle 11. Zur Gesamtsumme der einzelnen Energiegruppen am unteren Ende der Tabelle werden die Summenwerte für elektrische Energie und thermische Energie getrennt aufgelistet.

Tabelle 11: Energiebilanzen der Systemvarianten

Energiebilanz (MWh/a)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Trinkwasserversorgung	-12.563	-7.050	-3.113
Betriebswassernutzung (Druckhaltung)	0	0	-3.240
weitergehende Regenwasserbehandlung	0	-3.206	-6.450
Grauwasserentsorgung	0	0	-7.680
weitergehende Mischwasserbehandlung	-2.415	-1.802	0
Abwasserentsorgung	-20.000	-8.728	0
P-Rückgewinnung (Strom)	0	-1.485	-2.917
N-Rückgewinnung (Strom)	0	-1.531	-3.008
N-Rückgewinnung (Wärme)	0	-8.352	-16.407
CSB-Restelimination (Strom)	0	0	-2.735
Vakuumsystem	0	0	-4.500
Abwärme (Abwasser, Grauwasser)	0	43.642	183.600
Vergärung Schwarzwasser (Wärme)	0	0	-29.991
Vergärung Schwarzwasser (Strom)	0	0	4.041
Summe elektrisch	-34.978	-23.803	-29.601
Summe thermisch	0	35.290	137.201
Gesamtsumme	-34.978	11.487	107.601

Das heutige Wasser-Infrastruktursystem (Status quo 2010) weist einen Energieverbrauch von insgesamt circa 35.000 MWh/Jahr auf. Die Energiebilanzen der Szenarien Referenz 2080 und Transformation 2080 sind demgegenüber positiv ausgeprägt, was vor allem auf die Abwärmenutzung – insbesondere des Grauwassers im Szenario Transformation 2080 – zurückzuführen ist¹. Durch Effizienzsteigerungen und insgesamt geringe Volumenströme fällt der elektrische Energieverbrauch, trotz qualitativer und quantitativer Zunahme des Behandlungsniveaus, in den Szenarien Referenz und Transformation gegenüber dem Ist-Zustand geringer aus.

¹ Die negative Ausprägung der thermischen Energiebilanz der Schwarzwasservergärung kann bei einer quantitativen Berücksichtigung der Bioabfälle (vgl. Abschnitt 3.2.1 Systemgrenzen) wesentlich verringert bzw. aufgehoben werden.

4.4 Stoffbilanzen

Analog zur Energiebilanz sind in Tabelle 12 die spezifischen Kennwerte der Stoffbilanz dargestellt, die sich auf die Einsatzstoffe zur Phosphorelimination (Eisen-Chlorid-Sulfat) im Status quo und zur Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff im Referenz- und Transformationsszenario (Magnesiumoxid; Schwefelsäure) beziehen.

Tabelle 12: Spezifische Kennwerte der Stoffbilanz²

Spezifische Stoff-Kennwerte (t/1.000 m³)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Fällmitteleinsatz FeClSO ₄	-0,2	0	0
Fällmitteleinsatz MgO	0	-0,24	-0,17
Fällmitteleinsatz H ₂ SO ₄	0	-0,9	-3,2
P-Gewinnung	0	0,1	0,1
N-Gewinnung	0	0,2	0,8

Unter Berücksichtigung der spezifischen Stoff-Kennwerte, der entsprechenden Volumenströme der Wasserbilanz (vgl. Tabelle 9) und den Annahmen zu Einsatz- und Wertstoffen in Tabelle 8 ergeben sich die Stoffbilanzen (t/a) für die Systemvarianten in Tabelle 13. Die Szenarien Referenz und Transformation weisen aufgrund der Nährstoff-Rückgewinnung und der gleichzeitigen „Nährstoff-Veredelung“ zu landwirtschaftlichen Düngermitteln (MAP und ASL) insgesamt eine positive Stoffbilanz auf, wohingegen sich diese im Status quo durch die Elimination von Nährstoffen entsprechend negativ ausprägt. Die Stickstoffelimination ist im Status quo nicht dargestellt, da der wesentliche Ressourceneinsatz (elektrische Energie) in den Energiebilanzen enthalten ist.

² Bei der Gewinnung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) und Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL) in den Szenarien 2080 wird davon ausgegangen, dass keine Natronlauge (NaOH) zur pH-Wert Einstellung notwendig ist. Einerseits erfolgt im Referenz-Szenario eine pH-Wert Anhebung im Zuge der Klärschlammmentwässerung (Kalkkonditionierung) und andererseits liegt beim Transformations-Szenario das Schwarzwasser in einem hierfür günstigen pH-Bereich und das Dissoziationsgleichgewicht zugunsten Ammoniak wird über die Temperatur (Wärmezufuhr) gewährleistet.

Tabelle 13: Stoffbilanzen der Systemvarianten

Stoffbilanz (t/a)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
P-Fällmittelbedarf (FeClSO_4)	-5.019	0	0
P-Fällmittelbedarf (MgO)	0	-227	-310
N-Fällmittelbedarf (H_2SO_4)	0	-843	-5.842
P-Rückgewinnung	0	108	148
N-Rückgewinnung	0	222	1.537
Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)	0	475	650
Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL)	0	2.661	18.449

4.5 Kostenbilanzen

Die nachfolgenden Kostenbilanzen der Systemvarianten gehen von den zuvor dargestellten Mengenbilanzen aus und verknüpfen diese mit plausiblen Annahmen (vgl. Tabelle 8) hinsichtlich der wesentlichen ökonomischen Rahmenbedingungen

- Bau- und Betriebskosten von Systemkomponenten und
- Energiepreise.

Diese gehen von heutigen Verhältnissen bzw. Kostenansätzen aus, die aus realisierten Projekten, Pilot- und Modellprojekten abgeleitet wurden. Die in Tabelle 14 dargestellten Jahreskosten der wasserwirtschaftlichen Ver- und Entsorgung berücksichtigen zudem die in Tabelle 16 aufgeführten erzielbaren Erlöse. Den Kostengruppen Abwasserentsorgung (Referenz) und Grau- bzw. Schwarzwasserentsorgung (Transformation) sind die aus diesen Systemkomponenten entstehenden Erlöse, durch die Vermarktung der entsprechenden Wertstoffe (MAP; ASL) und Energie (thermisch und elektrisch), zugeordnet.

Das wasserwirtschaftliche Infrastruktursystem des Status quo 2010 weist Jahreskosten in Höhe von ca. 151 Mio. Euro auf, die sich auf drei Kostengruppen (Trinkwasserversorgung, Regenwasser- und Abwasserentsorgung) verteilen. Die Gesamtkosten im Szenario Referenz 2080 (Fortschreibung bzw. Optimierung des bestehenden Systems) fallen mit circa 140 Mio. Euro/Jahr etwas geringer aus als im Ausgangszustand (Status quo 2010). Wird das Wasser-Infrastruktursystem grundlegend umgestaltet (Transformation 2080), so ist mit vergleichbaren Jahreskosten von circa 141 Mio. Euro wie im Referenz-Szenario zu rechnen, wobei sich die jeweiligen Kostengruppen innerhalb der Gesamtkostenbilanz im Szenario Referenz und Transformation deutlich voneinander unterscheiden.

Tabelle 14: Kostenbilanzen der Systemvarianten

Kostenbilanz (inklusive Erlöse) (Mio. Euro/a)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Trinkwasserversorgung	50,3	39,2	27,6
Betriebswassernutzung (behand. Grau-/Regenwasser)	-	-	10,8
Regenwasserentsorgung	23,9	19,5	35,4
Grauwasserentsorgung	-	-	31,7
Abwasserentsorgung	76,7	79,7	-
Schlammwasserbehandlung	-	1,9	-
Schwarzwasserentsorgung	-	-	35,5
Summe	150,9	140,3	140,9

Die einzelnen Kostenanteile (z.B. Fixkosten, variable Kosten, Ableitung, Behandlung, Neubau, Umnutzung) der Kostenbilanzen sind in Abhängigkeit der oben genannten Kostengruppen in Anhang 3 (Formelsammlung) differenziert dargestellt.

Werden die Jahreskosten der einzelnen Kostengruppen in den Szenarien Referenz und Transformation auf die entsprechenden Wassermengen umgelegt, ergeben sich die in Tabelle 15 dargestellten Entwicklungen der spezifischen Kosten. Gegenüber dem Status quo 2010 sind zum Teil deutliche Kostensteigerungen für Trinkwasser, Abwasser und Regenwasser zu verzeichnen, die bei der Kostengruppe Trinkwasser im Transformations-Szenario bis zu 120 Prozent betragen. Bei der Kostengruppe Betriebswasser (Betriebswassernutzung und Grauwasserentsorgung) im Transformations-Szenario werden die reinen Entstehungskosten von 3,0 Euro/m³ durch die Einrechnung der erzielten Erlöse (Abwärmenutzung Grauwasser) auf 1,8 Euro/m³ verringert.

Tabelle 15: Spezifische Kosten der Systemvarianten

Spezifische Kosten (Preise/Gebühren) (Euro/m³)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Trinkwasser	2,0	2,8	4,4
Betriebswasser (Betriebswassernutzung + Grauwasserentsorgung)	-	-	1,8
Abwasser	2,5	3,6	-
Schwarzwasser	-	-	19,5
Regenwasser (inkl. Mischwasser)	2,5	2,4	2,7

Durch die Rückgewinnung von Nährstoffen und Erzeugung von vermarktbareren Düngemitteln (MAP, ASL) und die Abwärmenutzung aus Abwasser und Grauwasser lassen sich die in Tabelle 16 angegebenen Erlöse erzielen. Diese fallen im Transformations-Szenario aufgrund einer konsequenten Nährstoffrückgewinnung (keine Elimination von Stickstoff) und einer effizienteren Abwärmenutzung (höheres Temperaturniveau im Grauwasser) um den Faktor 4 höher aus als im Referenz-Szenario.

Tabelle 16: Erlöse für Stoffe und Energie

Erlöse (Mio. Euro/a)	Status quo 2010	Referenz- Szenario 2080	Transformations- Szenario 2080
Magnesium-Ammonium-Phosphat	-	0,05	0,07
Ammonium-Sulfat-Lösung	-	0,05	0,37
Stoffe gesamt	-	0,10	0,43
Thermische Energie	-	3,05	12,85
Elektrische Energie	-	-	0,57
Energie gesamt	-	3,05	13,42

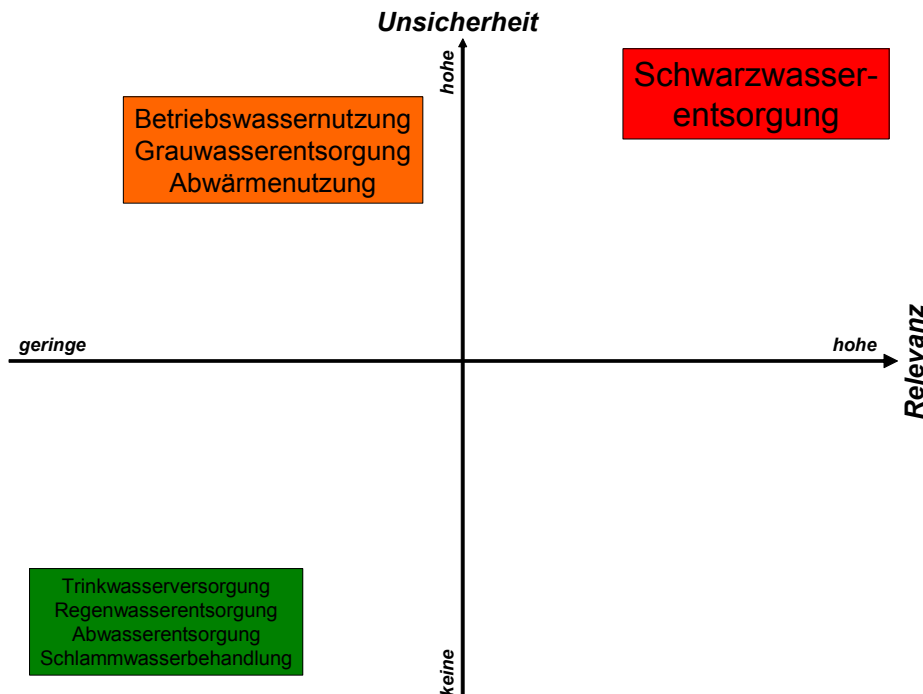
4.6 Sensitivitätsanalyse der ökonomischen Auswirkungen

Durch die Veränderung der ökonomischen Eckdaten in einer denkbaren Spannbreite kann die Abhängigkeit der wirtschaftlichen Bedingungen der Systemvarianten dargestellt werden. Es zeigt sich, dass insbesondere

- die spezifischen Kosten der Schwarzwasserentsorgung,
- die spezifischen Kosten der Betriebswassernutzung
- die spezifischen Kosten der Grauwasserentsorgung,
- die spezifischen Kosten der Abwärmenutzung aus Abwasser bzw. Grauwasser sowie
- die Veränderung der spezifischen Energiepreise im Verhältnis zu generellen Preisentwicklung (Inflationsrate)

einen erheblichen Einfluss auf die Kostenbilanz haben und gleichzeitig zum Teil relativ unsichere Kostenannahmen aufweisen. Dagegen haben die Kosten der Trinkwasserversorgung, der Regenwasser- und Abwasserentsorgung sowie der Schlammwasserbehandlung nur eine geringe Relevanz für die Kostenbilanzen bei insgesamt vergleichsweise hoher Informationssicherheit (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Relevanz und Unsicherheit der ökonomischen Kriterien

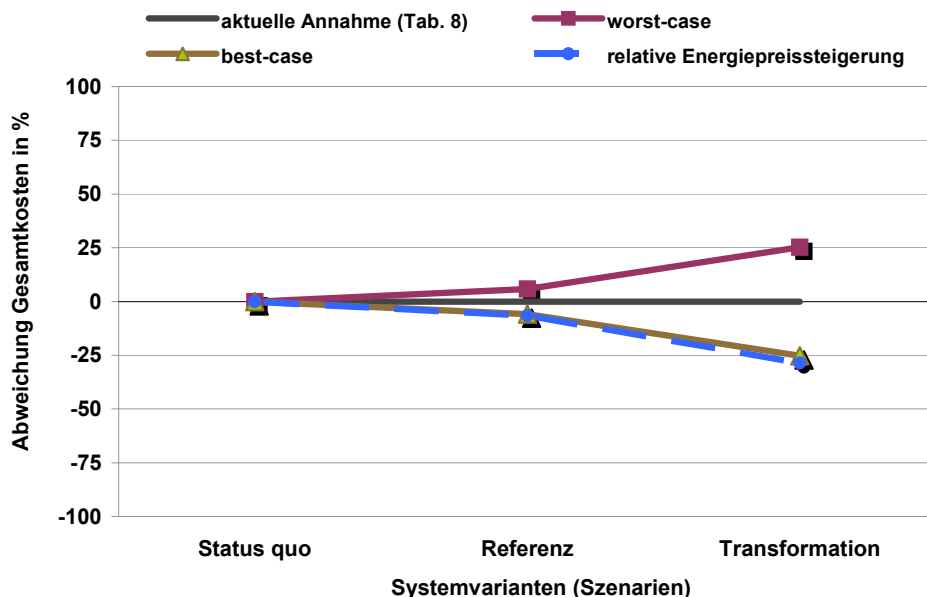


Es wird hier von einer hohen Relevanz gesprochen, wenn eine Änderung der Gesamtkostenstruktur zwischen den Szenarien Referenz und Transformation von über zehn Prozent gegenüber dem Status quo bei einer Erhöhung/Verringerung der spezifischen Kosten um 50 Prozent auftritt.

Setzt man jeweils extreme Kostenannahmen für diese Kriterien an, ergibt sich die maximale Spannbreite der jeweiligen Kosten. Die Veränderung der spezifischen Energiepreise im Verhältnis zu generellen Preisentwicklung (Inflationsrate) ist dabei von besonderer Bedeutung. Lässt man alle anderen Werte konstant, ergeben sich deutlich höhere Erlöse und somit geringe Gesamtkosten im Transformations-Szenario gegenüber dem Referenz-Szenario (siehe Abbildung 12). Die Auswirkungen veränderter Energiepreise auf die Kosten der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung werden dabei nicht berücksichtigt; sie werden voraussichtlich zu einer weiteren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen.

Setzt man eine relative Veränderung der oben genannten spezifischen Kosten um ± 50 Prozent an (ohne Energiepreisänderung), sodass sie zu einer möglichst ungünstigen („worst-case“) bzw. günstigen („best-case“) Ausprägung der Kostenbilanz des Transformations-Szenarios führen, ergeben sich Abweichungen von den ursprünglichen Gesamtkosten (basierend auf den Ausgangsannahmen in Tabelle 8) von bis zu ± 25 Prozent (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Relative Veränderung der Gesamtkosten bei ungünstigen bzw. günstigen Kostenannahmen („worst-case“ bzw. „best-case“) sowie einer relativen Energiepreissteigerung von zwei Prozent/Jahr



Die Abbildung zeigt, dass die Ergebnisse der Kostenvergleiche zwischen dem Referenz-Szenario und dem Transformations-Szenario trotz des langen Zeitrahmens von 70 Jahren und der teilweise großen Unsicherheiten in Bezug auf die technische Entwicklung und Kosten von neuartigen Infrastrukturkomponenten (Grauwasseraufbereitung und -nutzung, Vakuumtechnologie, Schwarzwasserbehandlung, Abwärmenutzung von Grauwasser etc.) sowie hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen (relative Energiepreisveränderungen) relativ stabil sind.

Zwischen dem Ergebnis mit den ungünstigsten Annahmen („worst-case“) und den günstigsten Annahmen („best-case“) liegt eine Spanne von ca. 40 Prozent der Abweichung der Gesamtkosten zwischen dem Referenz- und dem Transformations-Szenario für den Fall, dass alle negativen Annahmen bzw. alle positiven Annahmen gleichzeitig eintreten.

Im Einzelfall, insbesondere bei der Bilanzierung und vergleichenden Bewertung von teils räumlichen Maßnahmen, müssen die Annahmen konkretisiert werden. Wegen des dann in der Regel kürzeren Untersuchungszeitraumes und der gesicherten Rahmenbedingungen wird sich eine deutlich geringe Spannweite der „Unsicherheit“ ergeben.

5. Bewertung der Systemalternativen

5.1 Zielsetzungen der Bewertung – Nachhaltigkeit und Effizienz

Die betriebswirtschaftliche und umweltökonomische Bewertung der Systemalternativen eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung zielt ab auf eine integrierte Betrachtung von

- Systemalternativen (Techniklinien) der öffentlichen Wasserversorgung, der Wassernutzung und der kommunalen Abwasserentsorgung,
- teilträumlichen Transformationsprozessen in typischen Stadtbereichen sowie
- teilträumlichen, gesamtstädtischen und regionalen Transformationsstrategien

als Grundlage für eine möglichst konfliktfreie Einleitung und Umsetzung von effizienten und zukunftsweisenden Systemen.

Eine integrierte, fachliche und wirtschaftliche Wirkungsanalyse ist Voraussetzung der Bewertung von Systemtransformationen. Von entscheidender Bedeutung sind dabei

- die funktionale Abgrenzung des Bezugsrahmens der Auswirkungen (scoping) und
- die Quantifizierung der fachlichen Auswirkungen auf die vorhandenen und neuen Systeme bzw. Systemkomponenten.

Grundlage für Bewertung der Transformations-Szenarien sind die jeweiligen Referenz-Szenarien, die den Bezugspunkt der Bewertung darstellen. Zum Vergleich der Referenz-Szenarien und der Transformations-Szenarien wurden Wasserbilanzen, Stoffbilanzen, Energiebilanzen und Kostenbilanzen erstellt. Damit wurden die spezifischen teilträumlichen und zeitlichen Transformationsbedingungen definiert.

Das vorliegende Konzept zielt ab auf die mehrdimensionale Bewertung von integrierten Transformationsstrategien unter Berücksichtigung

- eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und
- einer effizienten Ressourcennutzung

in ausgewählten Modellfällen (Modellstadt netWORKS) mit ausgewählten Teilräumen.

Die Bewertung unterschiedlicher Systemalternativen (technische Optionen, Szenarien) zum Transformationsmanagement umfasst die betriebswirtschaftlichen Aspekte aus Sicht der Ver- und Entsorgung sowie die umweltökonomischen Kriterien der Ressourcennutzung. Das methodische Konzept der Bewertung orientiert sich an

- den Grundsätzen der Kostenrechnung der Versorgungswirtschaft,
- den Regelungen der Kommunalabgabengesetze,
- den Methoden der Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR) und an
- den Maßgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie.

Die unterschiedlichen ökonomischen und ökologischen Bewertungskriterien werden in getrennten „Konten“ geführt und so aufbereitet, dass sie im Rahmen der Szenarien genutzt werden können.

Die Bewertung umfasst grundsätzlich folgende Schritte:

- (1) Beschreibung von technischen Optionen (Merkmale) und Maßnahmen (Szenarien);
- (2) Identifikation der relevanten Auswirkungen (Wirkungsanalyse; Mengengerüst);
- (3) Dokumentation der spezifischen Bewertungsmaßstäbe (Wertegerüst);
- (4) Validierung der relevanten Auswirkungen (Entscheidungsgrundlage).

Diese Schritte sind in der Regel unter den spezifischen Bedingungen (fallbezogen) durchzuführen. Als Grundlage für die Erstellung und Diskussion von Transformations-Szenarien wird jedoch eine raumunabhängige Bewertung technischer Transformations-Optionen vorgeschaltet. Sie sollen ausreichende Informationen für die Erörterung der teilräumlichen Szenarien für die Modellstadt netWORKS liefern. Es wird davon ausgegangen, dass die situations- und raumunabhängige Bewertung von technischen Optionen dazu geeignet ist, die Ansätze und Auswirkungen technischer Optionen zu strukturieren und für die teilräumlichen Transformations-Szenarien verfügbar zu machen.

Bei der Beschreibung der technischen Optionen und ihren Auswirkungen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die bestehenden Systeme der öffentlichen Wasserversorgung und kommunalen Abwasserbeseitigung getrennt und zentral strukturiert sind.

Es wird darauf verzichtet, Einzelkomponenten nachhaltiger Ver- und Entsorgungssysteme, die in Modellprojekten entwickelt und teilweise objektbezogen (dezentral) oder teilräumlich (semizentral) umgesetzt wurden, zu berücksichtigen, um die Transformationslogik zu verdeutlichen.

Im Rahmen einer Recherche des Forschungsverbundes netWORKS über die technischen Möglichkeiten einer alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktursysteme (Staben 2008) wurden Praxisbeispiele nachhaltiger Sanitärkonzepte hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken bewertet. Diese Ansätze sowie weitere Untersuchungsergebnisse wie die Beschreibung neuartiger Sanitärsysteme (DWA 2008) wurden jedoch in die Konzeption des Transformations-Szenarios aufgenommen. Und bei der Erstellung der Mengenbilanzen teilweise berücksichtigt.

Außerdem wurden die Ergebnisse und Anregungen der im Rahmen des Verbundvorhabens durchgeführten Fachgespräche mit den Praxispartner sowie der Szenario-Workshops und eines internationalen Workshops in die Konzeptgestaltung und -bewertung eingebunden.

5.2 Öko-Effizienz-Analyse

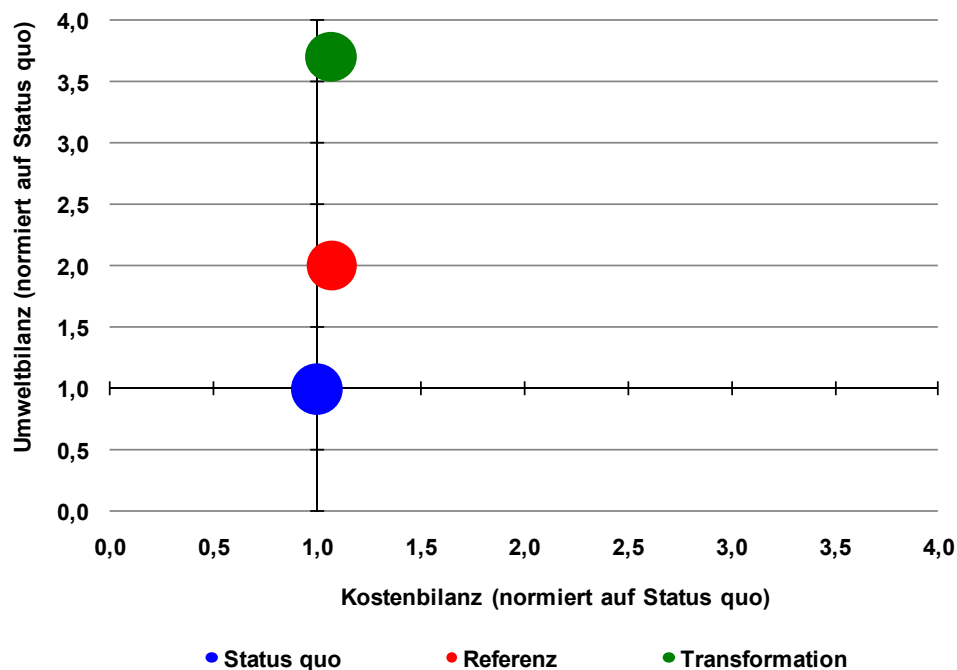
In der Öko-Effizienz-Analyse werden die wirtschaftlichen und die umweltseitigen Aspekte verknüpft und integriert bewertet. Als Ergebnis wird ein Öko-Effizienz-Faktor für die jeweiligen Szenarien und Maßnahmen ermittelt.

$$\text{Öko-Effizienz-Faktor (ÖEF)} = \frac{\text{Kostenbilanz (Nutzung/Verbrauch wirtschaftlicher Ressourcen)}}{\text{Umweltbilanz (Nutzung/Verbrauch natürlicher Ressourcen)}}$$

Die Umweltbilanz basiert auf den Ergebnissen der Mengenbilanzen hinsichtlich Wasser, Energie und Stoffe. Es werden jeweils der Ressourcenverbrauch (Input in das Wasserinfrastruktursystem) und die erzeugten Emissionen bzw. Produkte (Output aus dem Wasserinfrastruktursystem) berücksichtigt (vgl. Abschnitt 4). Die Summen des In- und Outputs für die Ausprägungen Wasser, Energie und Stoffe der Referenz- und Transformations-Szenarien werden zur Vergleichbarkeit auf die Summen Status quo normiert und gehen zu gleichen Teilen in je eine zusammenfassende Maßzahl für die unterschiedlichen Systemvarianten ein. Analog hierzu werden bei der Kostenbilanz die Gesamtkosten (inklusive der Erlöse) der Systemvarianten Referenz und Transformation auf den entsprechenden Ist-Zustand normiert.

Als Ergebnis sind in Abbildung 13 die Systemvarianten hinsichtlich ihrer Öko-Effizienz (Integration von Umwelt- und Kostenbilanz) vergleichend dargestellt.

Abbildung 13: Vergleichende Öko-Effizienz-Analyse der Szenarien



Wie in Abschnitt 4 dargestellt, liegen die Szenarien Referenz und Transformation hinsichtlich der Kosten auf einem vergleichbaren (bezogen auf den Status quo auf einem etwas geringeren) Niveau. Sie unterscheiden sich aber erheblich in ihren Auswirkungen auf die Umwelt, bei der sich das Transformations-Szenario gegenüber dem Referenz-Szenario wesentlich günstiger darstellt bzw. eine deutlich geringe Beanspruchung der Umweltressourcen aufweist.

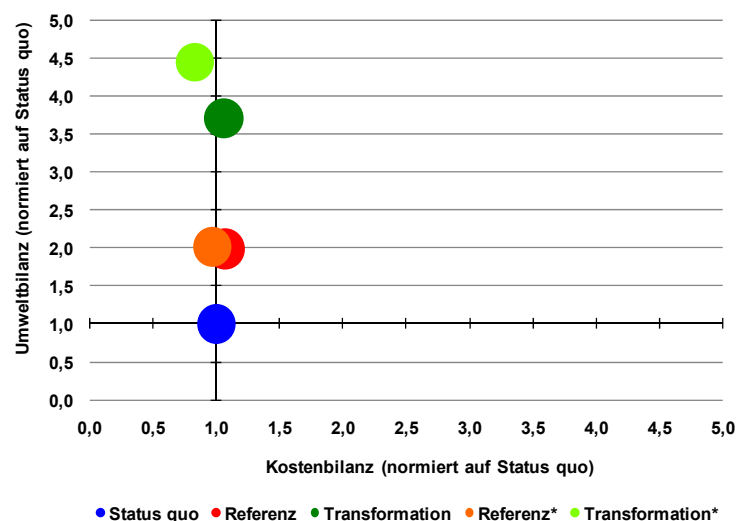
5.3 Ergänzung „Technik“-Szenarien (ohne demografischen Wandel)

Die zuvor bewerteten Systemvarianten Referenz und Transformation berücksichtigen Veränderungen in der demografischen Entwicklung und des spezifischen Wasserverbrauchs sowie eine auf die Dimensionierung bezogene Anpassung der Infrastruktur (Netze und Anlagen) an den veränderten Bedarf bzw. die veränderten Wassermengen.

Ergänzend hierzu werden nachfolgend die Varianten **Referenz*** und **Transformation*** aufgeführt, die in ihren konzeptionellen Grundzügen den Systemvarianten Referenz und Transformation entsprechen, aber im Gegensatz hierzu keine Veränderung der demografischen Entwicklung (und folglich auch keine Anpassung der Netze und Anlagen an den veränderten Bedarf) berücksichtigen. Dies ermöglicht es, den Einfluss einer Veränderung der „technischen“ Systemausgestaltung zur Basisvariante Status quo 2010 (ohne den Effekt der Demografie) darzustellen und zu bewerten.

Die vergleichende Öko-Effizienz-Analyse in Abbildung 14 zeigt, dass die ergänzenden Szenarien Referenz* und Transformation* eine etwas ungünstigere Kostenbilanz, jedoch eine vergleichbare (Referenz) bzw. günstigere (Transformation) Umweltbilanz aufweisen. Dies ist kostenseitig u.a. auf die größeren Volumenströme (Demografie analog Status quo) und auf die gleich bleibenden Anteile der fixen und variablen Kosten (keine Anpassung der Infrastruktur) und der somit insgesamt höheren Gesamtkosten zurückzuführen, die durch die ebenfalls höheren Erlöse (Energie und Wertstoffe) nicht ausgeglichen werden. In der Umweltbilanz wirkt sich die Effizienz der Energie- und Nährstoffrückgewinnung sowie die Wasserwiederverwendung der Transformation* entsprechend positiv aus.

Abbildung 14: Öko-Effizienz-Analyse inklusive Referenz* und Transformation*



Die entsprechenden Bilanzen hinsichtlich Wasser, Stoffe, Energie und Kosten aller fünf Systemvarianten können vergleichend in Anhang 2 nachvollzogen werden.

6. Teilräumliche Umsetzungsbedingungen

Die zeitlichen und teilträumlichen Prioritäten der Umsetzung der Transformation hängen ab von:

- der teilträumlichen Entwicklungsdynamik und
- dem teilträumlichen Transformationsaufwand.

Diese Kriterien weisen teilträumliche typische Merkmale auf.

6.1 Kriterien der teilträumlichen Entwicklungsdynamik

Die teilträumliche Entwicklungsdynamik wird maßgeblich von den ökonomischen Rahmenbedingungen geprägt. Dabei sind die aktuellen Immobilienwerte, die lagebedingten Erlöspotenziale der Nutzungen (Vermietung, Verpachtung, Unternehmensgewinne) sowie die mittel- und langfristigen Nutzungs- und ökonomischen Verwertungserwartungen von ausschlaggebender Bedeutung. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass eine hohe Investitionsbereitschaft für eine infrastrukturelle und bauliche Aufwertung besteht.

In der Regel besitzen die Innenstädte als Kerngebiete der Großstädte sowie innenstadtnahe Misch-, Entwicklungs- und Konversionsgebiete eine ökonomisch begründete hohe Entwicklungsdynamik, während aufgrund der aktuellen und absehbaren demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung periphere Teilräume eine geringe Entwicklungsdynamik oder sogar negative Entwicklungstendenzen aufzeigen, in denen Investitionen in den Umbau oder den Ausbau der städtischen Infrastruktur unwahrscheinlich ist. Besonders problematisch sind aus dieser Sicht die peripheren Gebiete mit Geschosswohnungsbau und ländlich geprägte Außengebiete.

Die Ausweisung eines Teilraumes beispielsweise als Entwicklungs- oder Sanierungsgebiet oder die Ausweisung als sozialer Brennpunkt haben erhebliche Auswirkungen auf die öffentliche und private Investitionsbereitschaft, die Voraussetzung für durchgreifende infrastrukturelle Maßnahmen ist.

6.2 Kriterien des teilträumlichen Transformationsaufwands

Der Aufwand für die Umsetzung einer Transformation bestehender Wasser-Infrastrukturen ist entscheidend von dem baulichen Zustand und der konzeptionellen Ausgestaltung (Konfiguration) der wasserwirtschaftlichen Ver- und Entsorgung (Netze und Anlagen) geprägt. Eine mangelnde bauliche Substanz bzw. ein hoher Sanierungsbedarf bietet grundsätzlich günstige Randbedingungen für eine Veränderung dieser Wasser-Infrastrukturen, da Handlungsbedarf besteht und ohnehin Investitionen in absehbarer Zeit getätigt werden müssen. Sind zudem vorhandene Systemkomponenten im Zuge der Transformation für eine mögliche Umnutzung geeignet, z.B. die Nutzung des bestehenden Mischwasserkanals zur Niederschlagsentwässerung oder des Schmutzwasserkanals zur Grauwasserableitung, kann der Umsetzungsaufwand verringert und ggf. eine kaska-

denartige „Verwertung“ der bestehenden Wasser-Infrastruktur (in Abhängigkeit des baulichen Zustandes und der Qualität des zu entwässernden Mediums) erreicht werden.

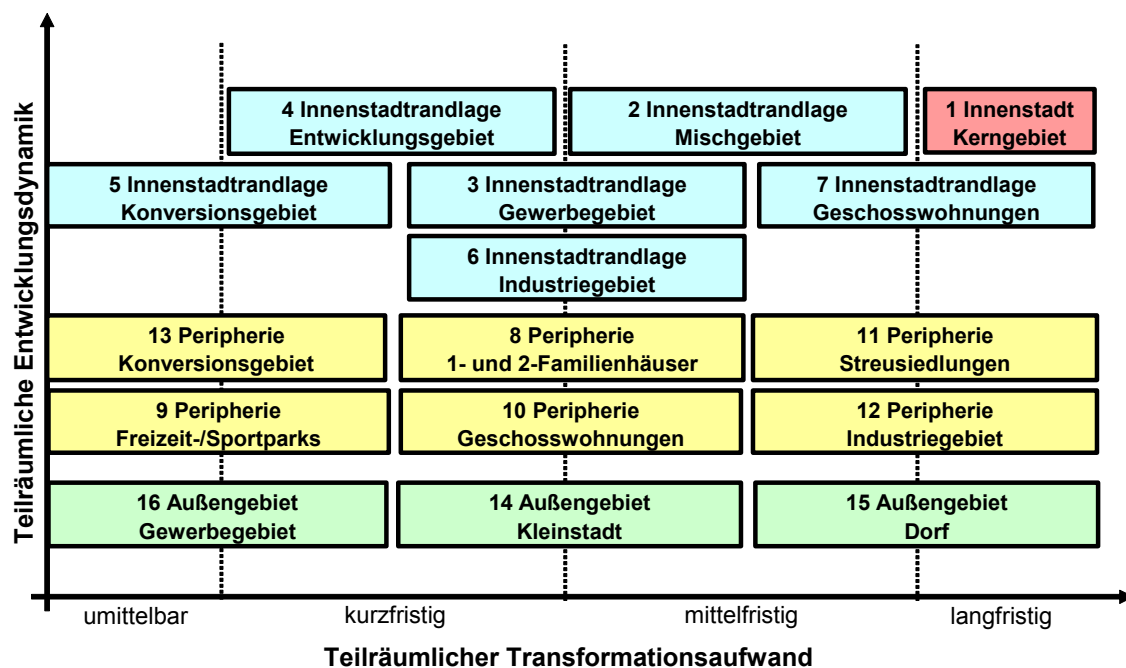
Der teilräumliche Transformationsaufwand ist zudem immer im übergeordneten gesamtstädtischen Kontext zu bewerten. Hierbei sind einerseits die Gewährleistung bzw. die Sicherstellung der bestehenden Funktionalität des gesamtstädtischen Ver- und Entsorgungssystems, andererseits aber auch mögliche Funktionsdefizite (Über- oder Unterauslastung, Ressourcenverfügbarkeit) zu berücksichtigen.

Wie bereits in den Systemvarianten (Szenarien) und entsprechenden Mengen- und Kostenbilanzen aufgezeigt (vgl. Abschnitt 4), ist eine isolierte Betrachtung der Wasser-Infrastrukturen innerhalb der technischen Stadt-Infrastrukturen nicht mehr zielführend bzw. eine zunehmende Kopplung dieser Systeme zu erwarten. Im Zuge dessen sind hinsichtlich des teilräumlichen Transformationsaufwandes die Zusammenhänge mit anderen technischen Infrastrukturen (z.B. Abfallentsorgung, Energieversorgung) bzw. deren bestehende Konfiguration und mögliche Entwicklung mit einzubeziehen.

6.3 Zeitliche und räumliche Prioritäten

Entsprechend den zuvor aufgeführten Kriterien Entwicklungsdynamik und Transformationsaufwand werden einige Stadtteiltypen eher einer Transformation zugänglich sein als andere. Eine erste Einstufung der zeitlichen und teilräumlichen Umsetzung der Transformation des Wasserinfrastruktursystems ist in Abbildung 15 dargestellt.

Abbildung 15: Teilräumliche Priorisierung der Transformation



Die Positionierung der Teilräume in diesem Prioritätenraster muss als eine generalisierende Einschätzung verstanden werden, die im Einzelfall im Rahmen einer städtebaulichen Analyse konkretisiert und in einem Stadtentwicklungskonzept festgeschrieben werden.

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

(1) Begründung und Ansatzpunkte der Transformation

Die demografische Entwicklung in Deutschland mit ihren erheblichen Wirkungen auf Wohnungswirtschaft, Städtebau und alle technischen und sozialen Infrastrukturen zeigt für die Systeme der technischen Infrastruktur eine völlig neue Problematik auf: das Erreichen von Funktionsschwellen von Anlagen und Netzen infolge abnehmender Auslastung. Zudem wirken sich zunehmend auch die globalen und regionalen Veränderungen der Ressourcenverfügbarkeit und der Ressourcenkosten sowie die veränderten Umweltauforderungen auf die Wasserwirtschaft aus; im Vordergrund stehen dabei die Energiepreise und der Klimaschutz. Noch bedeutsamer ist der sich verändernde energiepolitische Rahmen. Politische Zielvorgaben und rechtliche Entwicklungen auf europäischer und nationaler Ebene treiben den Wandel der energetischen Infrastruktur in unseren Städten voran. Zu konstatieren ist ein Trend hin zu dezentralen Versorgungsstrukturen auf der einen Seite, zu deutlich sinkenden Raumwärmebedarfen auf der anderen Seite. Für die Realisierung aller vorhandenen Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien in der Stadt sowie aller Energieeffizienzpotenziale gewinnen die Schnittstellen zwischen stadttechnischen Infrastrukturen zunehmend an Bedeutung. So birgt Abwasser ein bisher noch weitgehend ungenutztes Potenzial an thermischer und chemischer Energie.

(2) Generelle Zielsetzung der Untersuchung und Optionen der Transformation

Generelle Zielsetzung der Untersuchung sind die Sicherstellung eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung. Folgende Optionen für eine Transformation der kommunalen Wasser-Infrastruktur sind in diesem Zusammenhang zu beachten:

- die Differenzierung der Wassernutzung nach Verwendungszwecken,
- die getrennte Erfassung und Ableitung von unterschiedlichen Teilströmen (Wasser, Inhaltsstoffe, Behandlungsprodukte),
- die dezentrale bzw. semizentrale Verknüpfung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (z.B. Regenwassernutzung; Nutzung von aufbereitetem „Abwasser“ bzw. „Grauwasser“),
- die Separation und Rückführung von Stoffen zur (Wieder-) Verwertung sowie
- die Nutzung der Energiepotenziale des Abwassers (biogene Stoffe; Wärme).

(3) Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen der Öko-Effizienz-Analyse der kommunalen Wasser-Infrastruktur im Forschungsverbund netWORKS erstreckt sich auf

- die Bereitstellung von Wasser durch die Öffentliche Wasserversorgung,
- die Verwendung von Wasser durch die Wassernutzer und
- die Ableitung und Behandlung durch die kommunale Abwasserentsorgung.

(4) Modellstadt „netWORKS“

Um eine systematische Analyse und Bewertung von Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur zu ermöglichen, wurde, ausgehend von generalisierbaren, städ-

tebaulichen Gegebenheiten in nahezu allen deutschen Großstädten ein Siedlungsstrukturmodell – die Modellstadt „netWORKS“ – konzipiert und mit den wesentlichen städtebaulichen und infrastrukturellen Eckdaten beschrieben. Auf die Darstellung und Berücksichtigung spezifischer Besonderheiten, wie beispielsweise die regionale Einbindung, die demografischen Gegebenheiten, die wirtschaftlichen Bedingungen oder die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, wird verzichtet werden, da die langfristige Gestaltung der Wasser-Infrastruktur vorrangig eine von strategischer Bedeutung ist. Spezifische Aspekte, die sich aus der bestehenden teilsräumlichen Struktur ergeben, werden in der teilsräumlichen Analyse und Bewertung berücksichtigt. Auf dieser Basis werden die spezifischen teilsräumlichen Ansatzpunkte für Transformationsprozesse identifiziert.

(5) Szenarien der kommunalen Wasser-Infrastruktur

Die Bilanzierung und Bewertung des infrastrukturellen Umbaus (Transformation) erfolgt über einen Zeitraum von 70 Jahren. Es werden drei Systemvarianten (Szenarien) untersucht:

- Status quo 2010 (System im Ist-Zustand),
- Referenz 2080 (Szenario der Systemoptimierung/-anpassung) und
- Transformation 2080 (Szenario der grundlegenden Systemumgestaltung)

Es gelten grundsätzlich die nachstehend aufgeführten Randbedingungen:

- Die Bevölkerungsentwicklung weist im Referenz- und im Transformations-Szenario jeweils einen Rückgang in Höhe von 25 Prozent auf;
- die Einflüsse des Klimawandels werden nicht berücksichtigt;
- das zentrale System der Trinkwasserversorgung (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung) bleibt erhalten;
- die hier aufgeführten Systemvarianten der Wasser-Infrastruktur beziehen sich ausschließlich auf häusliche Abwässer nach DIN EN 752;
- Die Abwasserentsorgung schließt die Klärschlammmentwässerung nicht jedoch die Klärschlammmentsorgung ein.

(6) Bilanzen

Als Grundlage für die Bewertung der Systemvarianten wurden

- Wasserbilanzen,
- Energiebilanzen,
- Stoffbilanzen und
- Kostenbilanzen

erstellt. Die wesentlichen Kenndaten zur Erstellung der Bilanzen umfassen Angaben

- zum Energiebedarf und zum Energieertrag,
- zu den Volumenströmen,
- zu den Einsatzstoffen und Wertstoffen sowie
- zu den Kosten und Erlösen.

(7) Ergebnisse der Öko-Effizienz-Analyse

Zielsetzungen der Bewertung ist der Nachweis der Nachhaltigkeit des Ressourcenschutzes und der Effizienz der Ressourcennutzung. Dazu ist das Verfahren der Öko-Effizienz-Analyse geeignet. In der Öko-Effizienz-Analyse werden die wirtschaftlichen und die umweltseitigen Aspekte verknüpft und integriert bewertet. Als Ergebnis wird ein Öko-Effizienz-Faktor für die jeweiligen Szenarien und Maßnahmen ermittelt. Grundlage für Bewertung der Transformations-Szenarien sind die Referenz-Szenarien, die den Bezugspunkt der Bewertung darstellen.

Die Szenarien liegen hinsichtlich der Kosten auf einem vergleichbaren Niveau. Sie unterscheiden sich aber erheblich in ihren Auswirkungen auf die Umwelt, bei der sich das Transformations-Szenario gegenüber der Referenz-Szenario wesentlich günstiger darstellt bzw. eine deutlich geringe Beanspruchung der Umweltressourcen aufweist.

(8) Stabilität der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass trotz des langen Zeitrahmens von 70 Jahren und der teilweise großen Unsicherheiten in Bezug auf die technische Entwicklung und Kosten von neuartigen Infrastrukturkomponenten (Grauwasseraufbereitung und -nutzung, Vakuumtechnologie, Schwarzwasserbehandlung, Abwärmenutzung von Grauwasser etc.) sowie hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen (relative Energiepreisveränderungen) die Ergebnisse der Öko-Effizienz-Analyse relativ stabil sind.

Zwischen dem Ergebnis mit den ungünstigsten Annahmen („worst-case“) und den günstigsten Annahmen („best-case“) liegt eine Spanne von ca. 40 Prozent der Abweichung der Gesamtkosten zwischen dem Referenz- und dem Transformations-Szenario für den Fall, dass alle negativen Annahmen bzw. alle positiven Annahmen gleichzeitig eintreten.

Im Einzelfall, insbesondere bei der Bilanzierung und vergleichenden Bewertung von teilträumlichen Maßnahmen, müssen die Annahmen konkretisiert werden. Wegen des dann in der Regel kürzeren Untersuchungszeitraumes und der gesicherten Rahmenbedingungen wird sich eine deutlich geringe Spannbreite der „Unsicherheit“ ergeben.

(9) Teilträumliche Umsetzungsbedingungen

Die zeitlichen und teilträumlichen Prioritäten der Umsetzung der Transformation hängen ab von:

- der teilträumlichen Entwicklungsdynamik und
- dem teilträumlichen Transformationsaufwand.

Die teilträumliche Entwicklungsdynamik wird maßgeblich von den ökonomischen Rahmenbedingungen geprägt. Dabei sind die aktuellen Immobilienwerte, die lagebedingten Erlöspotenziale der Nutzungen (Vermietung, Verpachtung, Unternehmensgewinne) sowie die mittel- und langfristigen Nutzungs- und ökonomischen Verwertungserwartungen von ausschlaggebender Bedeutung. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass eine hohe Investitionsbereitschaft für eine infrastrukturelle und bauliche Aufwertung besteht.

In der Regel besitzen die Innenstädte als Kerngebiete der Grosstädte sowie innenstadtnahe Misch-, Entwicklungs- und Konversionsgebiete eine ökonomisch begründete hohe Entwicklungsdynamik, während aufgrund der aktuellen und absehbaren demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung periphere Teilräume eine geringe Entwicklungsdynamik oder sogar negative Entwicklungstendenzen aufzeigen, in denen Investitionen in den Umbau oder den Ausbau der städtischen Infrastruktur unwahrscheinlich ist. Besonders problematisch sind aus dieser Sicht die peripheren Gebiete mit Geschosswohnungsbau und ländlich geprägte Außengebiete

Der Aufwand für die Umsetzung einer Transformation bestehender Wasser-Infrastrukturen ist entscheidend von dem baulichen Zustand und der konzeptionellen Ausgestaltung (Konfiguration) der wasserwirtschaftlichen Ver- und Entsorgung (Netze und Anlagen) geprägt. Sind vorhandene Systemkomponenten im Zuge der Transformation für eine weitere Nutzung geeignet, kann der Umsetzungsaufwand verringert und ggf. eine kaskadenartige „Verwertung“ der bestehenden Wasser-Infrastruktur erreicht werden.

Die Positionierung der Teilräume in dem dargestellten Prioritätenraster muss als eine generalisierende Einschätzung verstanden werden, die im Einzelfall im Rahmen einer städtebaulichen Analyse konkretisiert und in einem Stadtentwicklungskonzept festgeschrieben werden.

(10) Schlussfolgerungen

Der mit der vorliegenden Untersuchung erbrachte Nachweis der wirtschaftlichen Tragfähigkeit eines grundlegenden Umbaus der kommunalen Wasser-Infrastruktur kann nur als ein erster Schritt hin zur Umsetzung verstanden werden. Es besteht weiterer Klärungsbedarf in Hinblick auf die spezifischen Anforderungen und Voraussetzungen eines solchen strukturellen Umbaus. Dies betrifft nicht zuletzt die Schnittstellen zur Stadtentwicklung sowie zu anderen Ver- und Entsorgungssektoren.

Die Umsetzung neuer Formen der Bewirtschaftung von Wasser und Abwasser bedarf einer langfristigen Strategie für die Gesamtstadt. Die hier vorgenommene stadträumliche Differenzierung und Priorisierung ebenso wie die technologischen Möglichkeiten einer verstärkten Dezentralisierung sind ohne eine starke koordinierende und betriebsführende Rolle der Kommunen und ihrer Wasserversorgungsunternehmen bzw. Abwasserbetriebe nicht sinnvoll denkbar. Dezentralisierung sollte nicht als ungesteuerte Privatisierung missverstanden werden. Im Gegenteil: Es bedarf integrierter Infrastrukturkonzepte, gemeinsam getragen von Stadtplanung und Infrastrukturplanung, von denen ausgehend teilräumliche Transformationsschritte unternommen werden. Kommunen und Kommunalwirtschaft sind somit die zentralen Akteure.

Die Nutzung von Abwasser als Ressource berührt die traditionell auch organisatorische Trennung von Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Bei der Realisierung von neuartigen Wasserkonzepten wird eine engere Abstimmung zwischen beiden Bereichen unumgänglich sein, wenngleich hier noch zahlreiche Fragen offen sind.

Wärmeenergie und chemische Energie nicht ins Abwasser zu geben, ist ein wichtiger Baustein einer klima- und ressourcenschonenden Stadttechnik bzw. des „Energiesystems Stadt“. Energieversorgung sowie Abwasser- und Abfallmanagement sollten daher integrativ betrachtet werden. Dazu bedarf es einer stärkeren Verzahnung von Energie-, Wasser- und Abfallwirtschaft.

Diese und andere Aspekte wurden in der vorliegenden Öko-Effizienz-Analyse nicht behandelt. Es besteht weiterer Untersuchungsbedarf, um die rechtlich-organisatorischen und städtebaulich-infrastrukturellen Rahmenbedingungen und Umsetzungsanforderungen zu klären und im Kontext mit allen Beteiligten zu erörtern und zu definieren.

Quellen und Literatur

- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2009): Trinkwasserverwendung im Haushalt 2008. Durchschnittswerte bezogen auf die Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe; [www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Druckvorlage_Trinkwasserverwendung_im_Haushalt/\\$file/09%2012%2017%20Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202008.pdf](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_Druckvorlage_Trinkwasserverwendung_im_Haushalt/$file/09%2012%2017%20Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202008.pdf).
- Bieker, Susanne (2009): Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme – neue Lösungen für schnell wachsende urbane Räume. Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen. PhD Thesis, Technische Universität Darmstadt.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V. (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Deutsche Fassung EN 752:2008.
- Donner, Susanne (2005): Falsche Dimension. Wasserinfrastruktur ist für die Zukunft schlecht gerüstet, in: Entsorga-Magazin, H. 6, S. 22 f.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2005): Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Verfahren zur Schlammwasserbehandlung, Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe AK-1.3. Hennef.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2008): Neuartige Sanitärsysteme, DWA-Themen. Hennef.
- Eekhoff, Johann, Iris Böschen, Bianca Weber und Jana Laasch (2006): Gute Beispiele zur Stabilisierung der Wohnnebenkosten in der kommunalen Praxis – Trinkwasser, Abwasser und Abfall (Werkstatt: Praxis, H. 39); www.bbr.bund.de/veroeffentlichungen/download/werkprax_39_2006.pdf
- EU – Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EU-WRRL). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 327 vom 22. Dezember 2000.
- fbr – Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (2002): Ökologische Sanitätskonzepte contra Betriebs- und Regenwassernutzung? (fbr-Schriftenreihe, Bd. 9).
- fbr – Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (Hrsg.) (2005): Grauwasser-Recycling. Planungsgrundlagen und Betriebshinweise. Hinweisblatt H 201. Darmstadt.
- fbr – Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (Hrsg.) (2009): Grauwasser-Recycling – Wasser zweimal nutzen (fbr-Schriftenreihe, Bd. 12).
- Haug, Peter (2004): Sinkende Einwohnerzahlen und steigende Kosten für kommunale Leistungen, in: Wirtschaft im Wandel, H. 11, hrsg. vom IWH Halle.
- Herbst, Heinrich, David Montag, Katrin Gethke und Johannes Pinnekamp (2007): Potenziale, Techniken und Kosten der Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Abwasser, in: Korrespondenz Abwasser Abfall, H. 10 (54), S. 1013-1024.

- Hiessl, Harald (2001): Wasserbedarf – Ein Konzept im Wandel, n: K.-U. Rudolph und T. Block (Hrsg.): Der Wassersektor in Deutschland – Methoden und Erfahrungen. Berlin/Bonn/Witten (Umweltbundesamt).
- Hiessl, Harald (2005): Wassertechnologien für eine nachhaltige Zukunft. S.140-173, in: S. Mappus (Hrsg.) (2005): ERDE 2.0 – Technologische Innovationen als Chance für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin und Heidelberg.
- Hiessl, Harald, D. Toussaint, M. Becker u.a. (2005): AKWA 2100: Alternativen der kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Karlsruhe (ISI Karlsruhe).
- ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung/COOPERATIVE Infrastruktur und Umwelt (2008): Integrierte Wasserbedarfsprognose 2030 für das Versorgungsgebiet der Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW) in der Metropolregion Hamburg. Frankfurt a.M. und Darmstadt.
- Kluge, Thomas, und Jens Libbe (Hrsg.) (2006): Transformation netzgebundener Infrastruktur. Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser. Berlin (Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 45).
- Kluge, Thomas, Jens Libbe und Ulrich Scheele (2005): Kommunales Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft, in: Zeitschrift für öffentliche und gemeinwirtschaftliche Unternehmen (Zögu), Bd. 28, H. 3, S. 282–299.
- Koziol, Matthias (2006): Transformationsmanagement unter den besonderen Bedingungen der Schrumpfung, in: Thomas Kluge und Jens Libbe: Transformation netzgebundener Infrastruktur. Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser. Berlin (Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 35), S. 355-400.
- Koziol, Matthias, Antje Veit und Jörg Walther (2006): Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung? Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadttechnischen Transformationsprozess. Gesamtbericht des Analysemoduls „Stadttechnik“ im Forschungsverbund netWORKS. Berlin (netWORKS-Papers 22).
- KompetenzZentrum Wasser Berlin gGmbH (Hrsg.) (2007): Sanitation Concepts for Separate Treatment of Urine, Faeces and Greywater (SCST) – Results. Berlin.
- Larsen, T.A., und K.M. Udert (1999): Urinseparation – ein Konzept zur Schließung der Nährstoffkreisläufe, in: Wasser & Boden, 51/11, S. 6–9.
- Libbe, J., und C. Tracht (2007): Literaturrecherche zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Städte und potenzielle Anpassungsstrategien, Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin (Difu-interner Bericht).
- Lux, Alexandra (2009): Wasserversorgung im Umbrauch. Der Bevölkerungsrückgang und seine Folgen für die öffentliche Wasserwirtschaft. Frankfurt am Main/New York (Campus Forschung, Bd. 938).
- Otterpohl Ralf, Martin Oldenburg (2002): Innovative Technologien zur Abwasserbehandlung in urbanen Gebieten, in: Korrespondenz Abwasser 49, S. 1364–1371.

- Pinnekamp, Johannes (Hrsg.) (2008): Phosphorrückgewinnung bei der Abwasserreinigung – Entwicklung eines Verfahrens zur Integration in kommunale Kläranlagen. Bd. 212. Aachen.
- Runge-Metzger, A. (1995): Closing the cycle: Obstacles to efficient P management for improved global security, in: H. Tiessen (Hrsg.): Phosphorus in the Global Environment - Transfers, Cycles, and Management. New York.
- Scheele, Ulrich, Jens Libbe und Engelbert Schramm (2008): Transformation städtischer Wasser-Infrastrukturen: Internationale Erfahrungen. Berlin (netWORKS-Papers 25).
- Schramm, Engelbert (2000): Am Bild des Kreislaufs. Perspektiven für den städtischen Umgang mit Wasser, in: Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Wasser. Köln (Schriftenreihe FORUM, Bd. 9), S. 344-353.
- Staben, Nadine (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Berlin (netWORKS-Papers 24).
- Statistisches Bundesamt (2009): Umwelt. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Wiesbaden (Fachserie 19 Reihe 2.1 und 2.2).
- Tietz, Hans-Peter (2004): Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Netzinfrastruktur. Beitrag für den Arbeitskreis Raumstrukturelle Wirkungen des demographischen Wandels der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. o.O.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2007): Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesiumammoniumphosphat – MAP“ aus Abwasser und Klärschlamm. Dessau-Roßlau (UBA-Texte 25/07).
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Dessau-Roßlau (UBA-Texte 11/08).

Anhang

Anhang 1: Teilräumliche Steckbriefe

Tabelle 17: Steckbrief Teilraum 4 (Entwicklungsgebiet, Innenstadttrandlage)

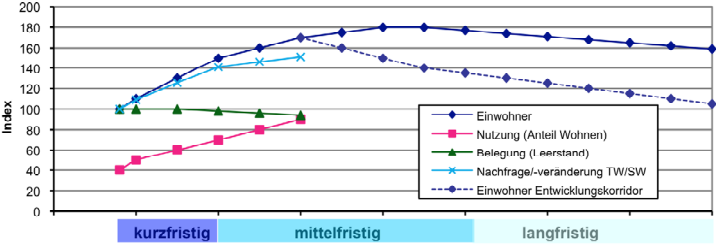
Städtebauliche Struktur		Bildbeispiel	
			
Pos.	Merkmal Bezeichnung	Ausprägung Bezeichnung	Ist - Wert Dimension
1	Nutzung, räumliche und bauliche Struktur		
1.1	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte	50-100 E/ha
1.2	Nutzungsstruktur	Art der Nutzung	Wohnen+KGewerbe
1.3	Bebauungsstruktur	Maß der Nutzung (GFZ)	> 0,3
1.4	Qualität der Nutzung	Leerstand	0-15 %
1.5	Gebäudesubstanz	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870-1960 Jahr
1.6	Eigentümerstruktur	Anteil der Einzeleigentümer im Streubesitz	80 %
2	Funktion, Wasserinfrastruktur		
2.1	Wasser		
2.1.1	Struktur der Leitungsnetze	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	95-112 m/ha
2.1.2	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870/1970-80 Jahr
2.1.3	Zustand der Leitungsnetze	Zustandsklassen (analog DWA)	2-3
2.1.4	Wasserbedarf	Spezifischer Wasserbedarf/Trinkwasserbedarf	125 L/(E*d)
2.1.5	Auslastung Leitungsnetze	Auslastung/Auslegung	40-60 %
2.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)		
2.2.1	Struktur des Kanalsystems	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	119-152 m/ha
2.2.2	Entwässerungsverfahren	Anteile Mischsystem/Trennsystem	90/10 %
2.2.3	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870/1970-80 Jahr
2.2.4	Zustand des Kanalnetzes	Zustandsklassen (nach DWA)	2-3
2.2.5	Schmutzwasser	Spezifischer Schmutzwasseranfall	125 L/(E*d)
2.2.6	Niederschlagswasser	Spezifischer Niederschlagswasseranfall	0,3 L/(s*ha)
2.2.7	Auslastung Kanalnetz (Schmutzwasser)	Auslastung/Auslegung	30-50 %
3	Wirtschaftliche Bewertung der Anlagen		
3.1	Wasser		
3.1.1	Wert der Leitungsnetze	spez. Restbuchwert	25 €/m
3.1.2	Kapitalkosten	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	(17-25) €/m*a
3.1.3	Betriebskosten	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-30 % Kapitalkosten/a
3.1.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10 Jahre
3.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)		
3.2.1	Wert der Kanalnetze	spez. Restbuchwert	100 €/m
3.2.2	Kapitalkosten (Schmutz-/Regenwasser)	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	(28-64)/(30-80) €/m*a
3.2.3	Betriebskosten (Schmutz-/Regenwasser)	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-25/10-15 % Kapitalkosten/a
3.2.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10 Jahre
4	Entwicklungsdynamik des Teilraumes		
4.1	Einwohner		
4.2	Nutzung (Anteil Wohnen)		
4.3	Belegung (Leerstand)		
4.4	Nachfrage (Trinkwasser)		
4.5	Raum-/Stadtentwicklung	keine Veränderung der räumlichen Ausdehnung des Siedlungsgebietes, Nutzungsänderung Richtung	
4.6	Wirtschaft/Investitionspotential	Investitionspotential steigt durch Sanierung und Entwicklung	
4.7	Investitionen und Finanzierung	Sanierung Trinkwassernetz im Zuge der Sanierung/Entwicklung	
4.8	Konversionsmaßnahmen	keine	
4.9	Neuerschließung	keine	

Tabelle 18: Steckbrief Teilraum 5 (Konversionsgebiet, Innenstadttrandlage)

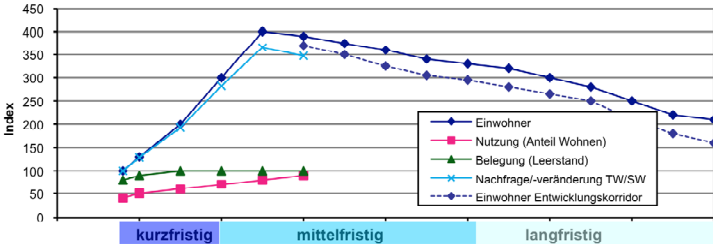
Städtebauliche Struktur		Bildbeispiel	
			
Merkmal		Ausprägung	
Pos.	Bezeichnung	Bezeichnung	Dimension
1 Nutzung, räumliche und bauliche Struktur			
1.1	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte	25-50 E/ha
1.2	Nutzungsstruktur	Art der Nutzung	Wohnen+KGewerbe -
1.3	Bebauungsstruktur	Maß der Nutzung (GFZ)	< 0,3 -
1.4	Qualität der Nutzung	Leerstand	0-15 %
1.5	Gebäudesubstanz	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870-1960 Jahr
1.6	Eigentümerstruktur	Anteil der Einzeleigentümer im Streubesitz	80 %
2 Funktion, Wasserinfrastruktur			
2.1 Wasser			
2.1.1	Struktur der Leitungsnetze	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	95-112 m/ha
2.1.2	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870/1970-80 Jahr
2.1.3	Zustand der Leitungsnetze	Zustandsklassen (analog DWA)	1-2 -
2.1.4	Wasserbedarf	Spezifischer Wasserbedarf/Trinkwasserbedarf	125 L/(E*d)
2.1.5	Auslastung Leitungsnetze	Auslastung/Auslegung	20-40 %
2.2 Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)			
2.2.1	Struktur des Kanalsystems	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	119-152 m/ha
2.2.2	Entwässerungsverfahren	Anteile Mischsystem/Trennsystem	90/10 %
2.2.3	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1870/1970-80 Jahr
2.2.4	Zustand des Kanalnetzes	Zustandsklassen (nach DWA)	1-2 -
2.2.5	Schmutzwasser	Spezifischer Schmutzwasseranfall	125 L/(E*d)
2.2.6	Niederschlagswasser	Spezifischer Niederschlagswasseranfall	0,3 L/(s*ha)
2.2.7	Auslastung Kanalnetz (Schmutzwasser)	Auslastung/Auslegung	15-25 %
3 Wirtschaftliche Bewertung der Anlagen			
3.1 Wasser			
3.1.1	Wert der Leitungsnetze	spez. Restbuchwert	0 €/m
3.1.2	Kapitalkosten	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	(17-25) €/(m*a)
3.1.3	Betriebskosten	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-30 % Kapitalkosten/a
3.1.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	0 Jahre
3.2 Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)			
3.2.1	Wert der Kanalnetze	spez. Restbuchwert	0 €/m
3.2.2	Kapitalkosten (Schmutz-/Regenwasser)	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	(28-64)/(30-80) €/(m*a)
3.2.3	Betriebskosten (Schmutz-/Regenwasser)	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-25/10-15 % Kapitalkosten/a
3.2.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	0 Jahre
4 Entwicklungsdynamik des Teilraumes			
4.1	Einwohner		
4.2	Nutzung (Anteil Wohnen)		
4.3	Belegung (Leerstand)		
4.4	Nachfrage (Trinkwasser)		
4.5	Raum-/Stadtentwicklung	keine Veränderung der räumlichen Ausdehnung des Siedlungsgebietes, Nutzungsänderung Richtung	
4.6	Wirtschaft/Investitionspotential	Investitionspotential steigt durch Sanierung und Entwicklung der Konversionsflächen	
4.7	Investitionen und Finanzierung	Sanierung Trinkwassernetz und Abwassernetz im Zuge der Sanierung/Entwicklung der	
4.8	Konversionsmaßnahmen	Alltagsanierung, Entwicklung Richtung Wohnen und Dienstleistungen	
4.9	Neuerschließung	keine	

Tabelle 19: Steckbrief Teilraum 8 (Ein- und Zwei-Familienhausgebiet, Innenstadttrandlage)

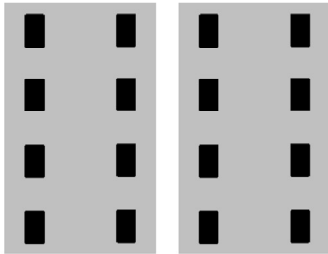
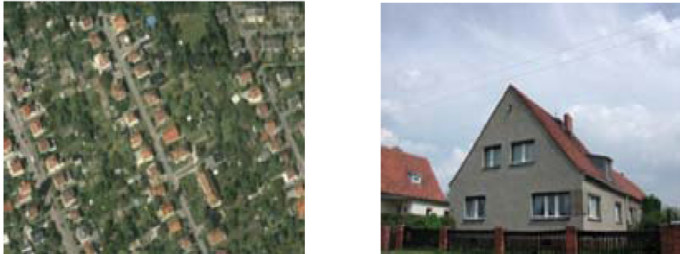
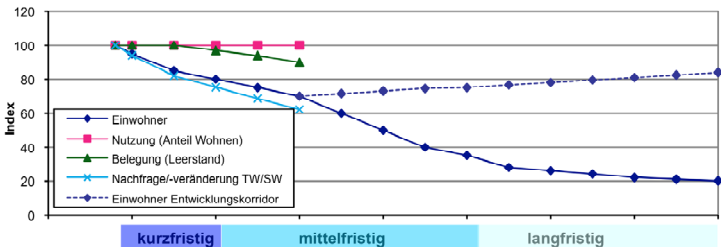
Städtebauliche Struktur		Bildbeispiel	
			
Pos.	Merkmal	Ausprägung	
	Bezeichnung	Ist - Wert	Dimension
1	Nutzung, räumliche und bauliche Struktur		
1.1	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte	28-56 E/ha
1.2	Nutzungsstruktur	Art der Nutzung	Wohnen
1.3	Bebauungsstruktur	Maß der Nutzung (GFZ)	> 0,3
1.4	Qualität der Nutzung	Leerstand	0 %
1.5	Gebäudesubstanz	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1959/1980 Jahr
1.6	Eigentümerstruktur	Anteil der Einzeleigentümer im Streubesitz	100 %
2	Funktion, Wasserinfrastruktur		
2.1	Wasser		
2.1.1	Struktur der Leitungsnetze	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	118-141 m/ha
2.1.2	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1959 Jahr
2.1.3	Zustand der Leitungsnetze	Zustandsklassen (analog DWA)	2-3
2.1.4	Wasserbedarf	Spezifischer Wasserbedarf/Trinkwasserbedarf	125 L/(E*d)
2.1.5	Auslastung Leitungsnetze	Auslastung/Auslegung	40-50 %
2.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)		
2.2.1	Struktur des Kanalsystems	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	234-279 m/ha
2.2.2	Entwässerungsverfahren	Anteile Mischsystem/Trennsystem	10/90 %
2.2.3	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1959 Jahr
2.2.4	Zustand des Kanalnetzes	Zustandsklassen (nach DWA)	2-3
2.2.5	Schmutzwasser	Spezifischer Schmutzwasseranfall	125 L/(E*d)
2.2.6	Niederschlagswasser	Spezifischer Niederschlagswasseranfall	0,3 L/(s*ha)
2.2.7	Auslastung Kanalnetz (Schmutzwasser)	Auslastung/Auslegung	40-60 %
3	Wirtschaftliche Bewertung der Anlagen		
3.1	Wasser		
3.1.1	Wert der Leitungsnetze	spez. Restbuchwert	25 €/m
3.1.2	Kapitalkosten	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	11-15 €/m*a
3.1.3	Betriebskosten	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-30 % Kapitalkosten/a
3.1.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10 Jahre
3.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)		
3.2.1	Wert der Kanalnetze	spez. Restbuchwert	100 €/m
3.2.2	Kapitalkosten (Schmutz-/Regenwasser)	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	16-27/16-40 €/m*a
3.2.3	Betriebskosten (Schmutz-/Regenwasser)	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-25/10-15 % Kapitalkosten/a
3.2.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10 Jahre
4	Entwicklungsdynamik des Teilraumes		
4.5	Raum-/Stadtentwicklung	keine Veränderung der räumlichen Ausdehnung des Siedlungsgebietes, keine Nutzungsänderung	
4.6	Wirtschaft/Investitionspotential	Investitionspotential sinkt deutlich durch Überalterung	
4.7	Investitionen und Finanzierung	Sanierung Trinkwassernetz ab ca. 2020 erforderlich	
4.8	Konversionsmaßnahmen	keine	
4.9	Neuerschließung	keine	

Tabelle 20: Steckbrief Teilraum 10 (Geschosswohnungsbau, Peripherie)

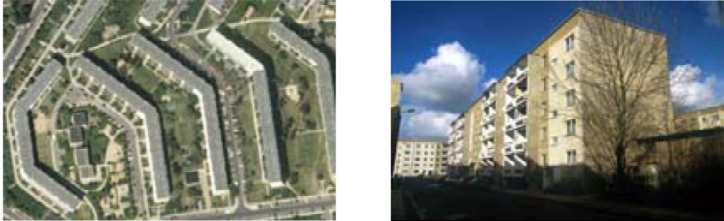
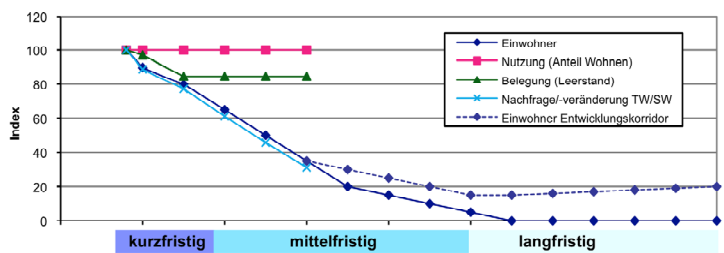
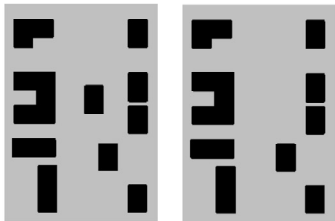
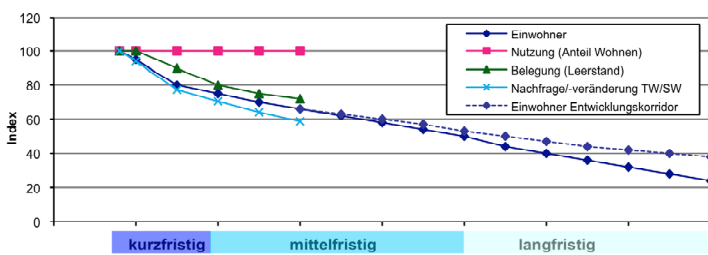
Städtebauliche Struktur		Bildbeispiel		
				
Pos.	Merkmal Bezeichnung	Ausprägung Bezeichnung	Ist - Wert	Dimension
1	Nutzung, räumliche und bauliche Struktur			
1.1	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte	160- 185	E/ha
1.2	Nutzungsstruktur	Art der Nutzung	Wohnen	-
1.3	Bebauungsstruktur	Maß der Nutzung (GFZ)	1,2	-
1.4	Qualität der Nutzung	Leerstand	25	%
1.5	Gebäudesubstanz	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1970/1995	Jahr
1.6	Eigentümerstruktur	Anteil der Einzeleigentümer im Streubesitz	15	%
2	Funktion, Wasserinfrastruktur			
2.1	Wasser			
2.1.1	Struktur der Leitungsnetze	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	104-135	m/ha
2.1.2	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1970/nach 1990	Jahr
2.1.3	Zustand der Leitungsnetze	Zustandsklassen (analog DWA)	3-4	-
2.1.4	Wasserbedarf	Spezifischer Wasserbedarf/Trinkwasserbedarf	85-100	L/(E*d)
2.1.5	Auslastung Leitungsnetze	Auslastung/Auslegung	30-50	%
2.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)			
2.2.1	Struktur des Kanalsystems	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	167-191	m/ha
2.2.2	Entwässerungsverfahren	Anteile Mischsystem/Trennsystem	20/80	%
2.2.3	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1970	Jahr
2.2.4	Zustand des Kanalnetzes	Zustandsklassen (nach DWA)	2-3	-
2.2.5	Schmutzwasser	Spezifischer Schmutzwasseranfall	85-100	L/(E*d)
2.2.6	Niederschlagswasser	Spezifischer Niederschlagswasseranfall	0,3	L/(s*ha)
2.2.7	Auslastung Kanalnetz (Schmutzwasser)	Auslastung/Auslegung	30-50	%
3	Wirtschaftliche Bewertung der Anlagen			
3.1	Wasser			
3.1.1	Wert der Leitungsnetze	spez. Restbuchwert	50	€/m
3.1.2	Kapitalkosten	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	15-22	€/m³a
3.1.3	Betriebskosten	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-30	% Kapitalkosten/a
3.1.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	20	Jahre
3.2	Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)			
3.2.1	Wert der Kanalnetze	spez. Restbuchwert	100	€/m
3.2.2	Kapitalkosten (Schmutz-/Regenwasser)	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	28-64/30-80	€/m³a
3.2.3	Betriebskosten (Schmutz-/Regenwasser)	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-25/10-15	% Kapitalkosten/a
3.2.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10	Jahre
4	Entwicklungsdynamik des Teilraumes			
4.1	Einwohner			
4.2	Nutzung (Anteil Wohnen)			
4.3	Belegung (Leerstand)			
4.4	Nachfrage (Trinkwasser)			
4.5	Raum-/Stadtentwicklung	Verringerung der räumlichen Ausdehnung des Siedlungsgebietes auf weniger als 1/3 durch Rückbau, ggf. Wiederbesiedlung durch Einfamilienhausstrukturen		
4.6	Wirtschaft/Investitionspotential	Investitionspotential sinkt durch Überalterung und zunehmendem Leerstand		
4.7	Investitionen und Finanzierung	Anpassung Leitungsbestand durch Rückbau erforderlich		
4.8	Konversionsmaßnahmen	keine		
4.9	Neuerschließung	keine		

Tabelle 21: Steckbrief Teilraum 15 (Dorf, Außengebiet)

Städtebauliche Struktur		Bildbeispiel		
				
Merkmal		Ausprägung		
Pos.	Bezeichnung	Bezeichnung	Ist - Wert	Dimension
1 Nutzung, räumliche und bauliche Struktur				
1.1	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte	20-30	E/ha
1.2	Nutzungsstruktur	Art der Nutzung	Mischnutzung	-
1.3	Bebauungsstruktur	Maß der Nutzung (GFZ)	0,1-0,5	-
1.4	Qualität der Nutzung	Leerstand	15	%
1.5	Gebäudesubstanz	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	1850-1970/1970-2000	Jahr
1.6	Eigentümerstruktur	Anteil der Einzeleigentümer im Streubesitz	100	%
2 Funktion, Wasserinfrastruktur				
2.1 Wasser				
2.1.1	Struktur der Leitungsnetze	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	84-93	m/ha
2.1.2	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1959	Jahr
2.1.3	Zustand der Leitungsnetze	Zustandsklassen (analog DWA)	2-3	-
2.1.4	Wasserbedarf	Spezifischer Wasserbedarf/Trinkwasserbedarf	85	L/(E*d)
2.1.5	Auslastung Leitungsnetze	Auslastung/Auslegung	40-60	%
2.2 Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)				
2.2.1	Struktur des Kanalsystems	Spezifische Leitungsdichte (gesamt)	74-103	m/ha
2.2.2	Entwässerungsverfahren	Anteile Mischsystem/Trennsystem	80/20	%
2.2.3	Alter der Netze	Zeitraum des Baus/einer grundlegenden Erneuerung	nach 1959	Jahr
2.2.4	Zustand des Kanalnetzes	Zustandsklassen (nach DWA)	2-3	-
2.2.5	Schmutzwasser	Spezifischer Schmutzwasseranfall	95	L/(E*d)
2.2.6	Niederschlagswasser	Spezifischer Niederschlagswasseranfall	0,3	L/(s*ha)
2.2.7	Auslastung Kanalnetz (Schmutzwasser)	Auslastung/Auslegung	40-60	%
3 Wirtschaftliche Bewertung der Anlagen				
3.1 Wasser				
3.1.1	Wert der Leitungsnetze	spez. Restbuchwert	25	€/m
3.1.2	Kapitalkosten	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	11-15	€/m*a
3.1.3	Betriebskosten	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-30	% Kapitalkosten/a
3.1.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10	Jahre
3.2 Abwasser (Schmutz-/Regenwasser)				
3.2.1	Wert der Kanalnetze	spez. Restbuchwert	100	€/m
3.2.2	Kapitalkosten (Schmutz-/Regenwasser)	Abschreibung; Zinsen; Substanzerhaltung	16-27/16-40	€/m*a
3.2.3	Betriebskosten (Schmutz-/Regenwasser)	Betrieb; Wartung; Unterhaltung	15-25/10-15	% Kapitalkosten/a
3.2.4	Nutzungsdauer	Restabschreibungsdauer	10	Jahre
4 Entwicklungsdynamik des Teilraumes				
4.1	Einwohner			
4.2	Nutzung (Anteil Wohnen)			
4.3	Belegung (Leerstand)			
4.4	Nachfrage (Trinkwasser)			
4.5	Raum-/Stadtentwicklung	keine Veränderung der räumlichen Ausdehnung des Siedlungsgebietes, keine Nutzungsänderung, Rückbau von Einzelgebäuden		
4.6	Wirtschaft/Investitionspotential	Investitionspotential sinkt durch Überalterung und zunehmendem Leerstand		
4.7	Investitionen und Finanzierung	Sanierung Trinkwassernetz ab ca. 2020 erforderlich		
4.8	Konversionsmaßnahmen	keine		
4.9	Neuerschließung	keine		

Anhang 2: Mengen- und Kostenbilanzen inklusive Referenz* und Transformation*

Tabelle 22: Wasserbilanzen der Systemvarianten*

Wasserbilanz (Mio. m³/a)	Status quo 2010	Refe- renz 2080	Transfor- mation 2080	Refe- renz* 2080	Transfor- mation* 2080
Trinkwasserversorgung	25,1	14,1	6,2	19,3	8,4
Betriebswassernutzung	0,0	0,0	10,8	0,0	14,9
Regenwasserentsorgung	4,7	6,4	12,9	5,5	11,1
Grauwasserentsorgung	0,0	0,0	12,8	0,0	16,9
Mischwasserentlastung	4,8	1,8	0,0	2,0	0,0
Abwasserentsorgung	30,7	21,8	0,0	26,3	0,0
Schlammwasserbehandlung	0,0	0,9	0,0	1,3	0,0
Schwarzwasserentsorgung	0,0	0,0	1,8	0,0	2,6

Abbildung 16: Wasserfluss-Analyse Referenz* 2080

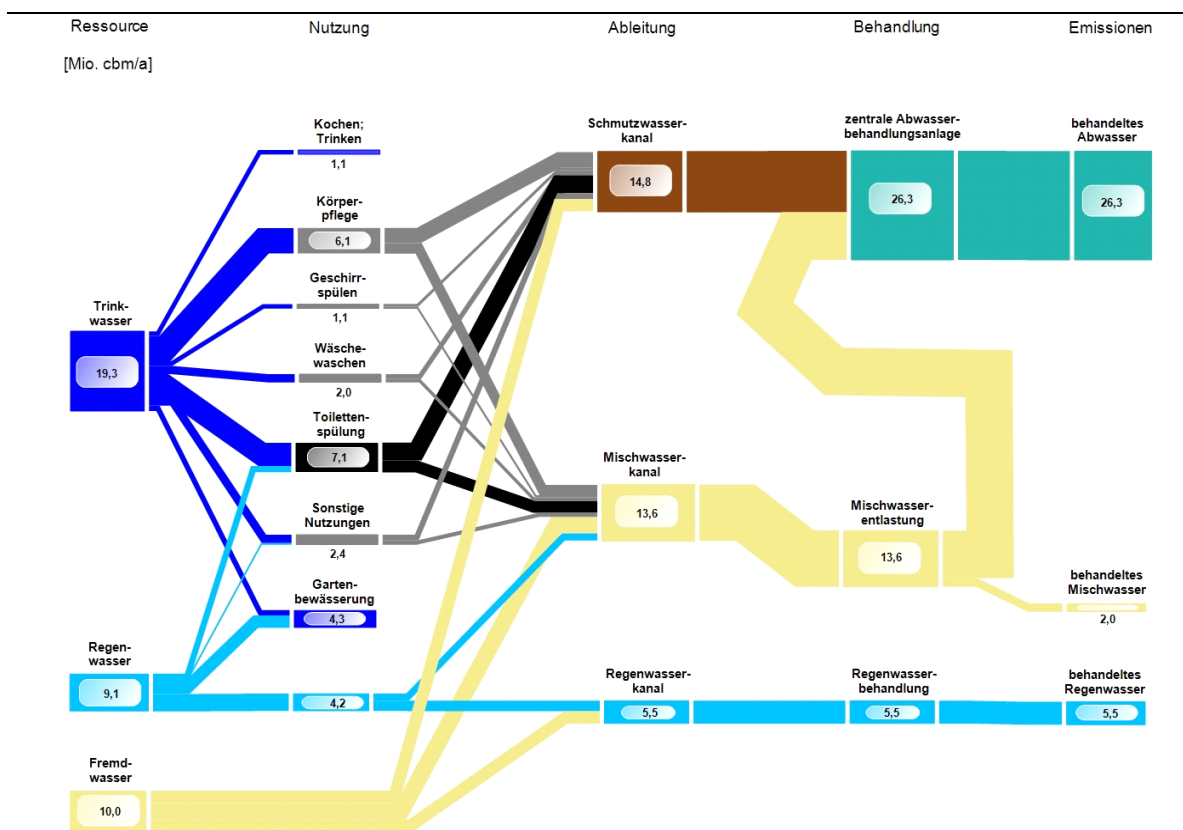


Abbildung 17: Wasserfluss-Analyse Transformation* 2080

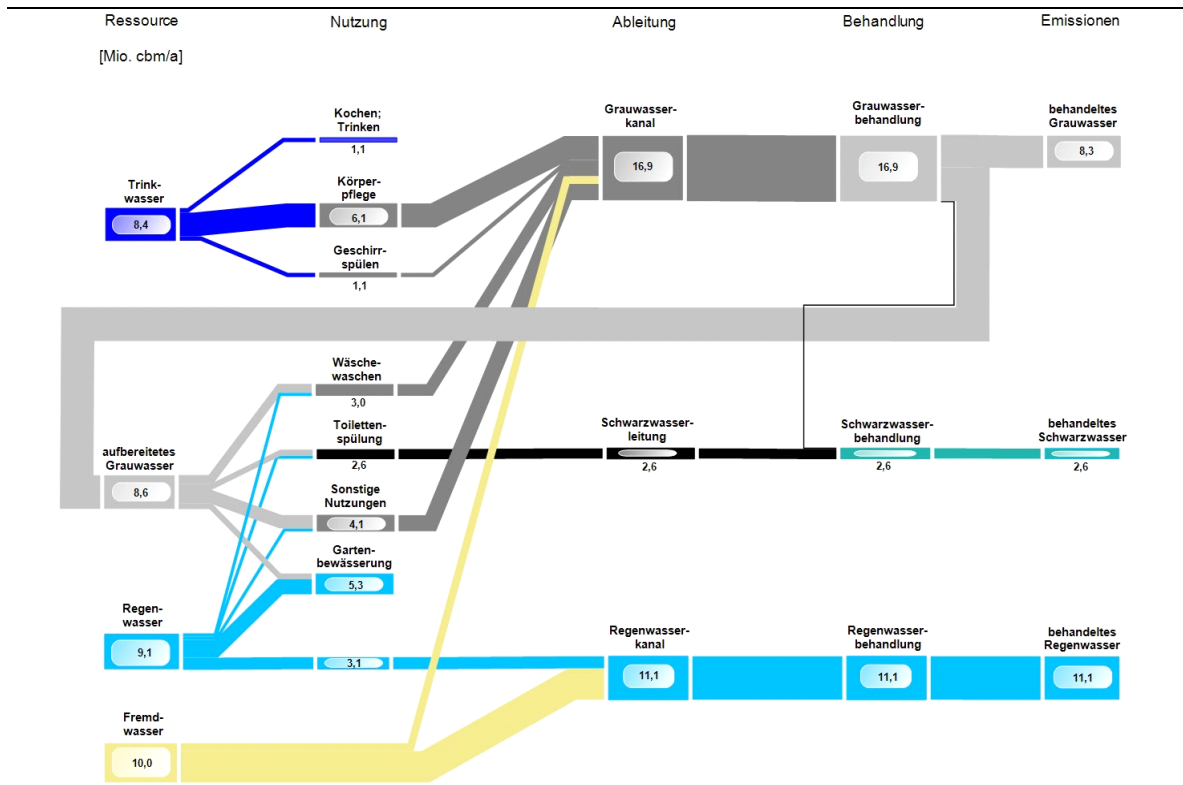


Tabelle 23: Energiebilanzen der Systemvarianten*

Energiebilanz (MWh/a)	Status quo 2010	Referenz 2080	Transformation 2080	Referenz* 2080	Transformation* 2080
Trinkwasserversorgung	-12.563	-7.050	-3.113	-9.625	-4.188
Betriebswassernutzung (Druckerhöhung)	0	0	-3.240	0	-4.481
(weitergehende) Regenwasserbehandlung	0	-3.206	-6.450	-2.768	-5.550
Grauwasserentsorgung	0	0	-7.680	0	-10.163
(weitergehende) Mischwasserbehandlung	-2.415	-1.802	0	-2.033	0
Abwasserentsorgung	-20.000	-8.728	0	-10.526	0
P-Rückgewinnung (Strom)	0	-1.485	-2.917	-2.062	-4.151
N-Rückgewinnung (Strom)	0	-1.531	-3.008	-2.127	-4.281
N-Rückgewinnung (Wärme)	0	-8.352	-16.407	-11.600	-23.350
CSB-Restelimination (Strom)	0	0	-2.735	0	-3.892
Vakuumsystem	0	0	-4.500	0	-6.250
Abwärme (Abwasser, Grauwasser)	0	43.642	183.600	52.628	253.938
Vergärung Schwarzwasser (thermisch)	0	0	-29.991	0	-41.655
Vergärung Schwarzwasser (elektrisch)	0	0	4.041	0	5.613
Summe elektrisch	-34.978	-23.803	-29.601	-29.140	-37.342
Summe thermisch	0	35.290	137.201	41.028	188.933
Gesamtsumme	-34.978	11.487	107.601	11.888	151.590

Tabelle 24: Stoffbilanzen der Systemvarianten*

Stoffbilanz (t/a)	Status quo 2010	Refe- renz 2080	Transfor- mation 2080	Refe- renz* 2080	Transfor- mation* 2080
P-Fällmittelbedarf (FeClSO ₄)	-5.019	0	0	0	0
P-Fällmittelbedarf (MgO)	0	-227	-310	-315	-431
N-Fällmittelbedarf (H ₂ SO ₄)	0	-843	-5.842	-1.170	-8.114
P-Rückgewinnung	0	108	148	150	205
N-Rückgewinnung	0	222	1.537	308	2.135
Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)	0	475	650	660	903
Ammonium-Sulfat-Lösung (ASL)	0	2.661	18.449	3.696	25.623

Tabelle 25: Kostenbilanzen der Systemvarianten*

Kostenbilanz (inkl. Erlöse) (Mio. Euro/a)	Status quo 2010	Refe- renz 2080	Transfor- mation 2080	Refe- renz* 2080	Transfor- mation* 2080
Trinkwasserversorgung	50,3	39,2	27,6	45,6	36,9
Betriebswassernutzung (behand. Grau-/Regenwasser)	-	-	10,8	-	14,9
Regenwasserentsorgung	23,9	19,5	35,4	19,1	33,9
Grauwasserentsorgung	-	-	31,7	-	40,6
Abwasserentsorgung	76,7	79,7	-	88,6	-
Schlammwasserbehandlung	-	1,9	-	2,6	-
Schwarzwasserentsorgung	-	-	35,5	-	50,5
Summe	150,9	140,3	140,9	155,8	176,8

Tabelle 26: Erlöse für Stoffe und Energie*

Erlöse (Mio. Euro/a)	Status quo 2010	Refe- renz 2080	Transfor- mation 2080	Refe- renz* 2080	Transfor- mation* 2080
Magnesium-Ammonium-Phosphat	-	0,05	0,07	0,07	0,09
Ammonium-Sulfat-Lösung	-	0,05	0,37	0,07	0,51
Stoffe gesamt	-	0,10	0,43	0,14	0,60
Thermische Energie	-	3,05	12,85	3,68	17,78
Elektrische Energie	-	-	0,57	-	0,79
Energie gesamt	-	3,05	13,42	3,68	18,56

Anhang 3: Formelsammlung Kostenbilanz

Tabelle 27: Kostenermittlung Trinkwasserversorgung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Referenz	Geringere (spez.) Menge, Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf					
Fixkosten	Trinkwassermenge Status quo 25,1	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Fixkosten Referenz 0,5			25,1
Variable Kosten	Trinkwassermenge Referenz 14,1	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Variable Kosten Referenz 0,5			14,1
Summe						39,2
Referenz*	Geringere spez. Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf					
Fixkosten	Trinkwassermenge Status quo 25,1	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Fixkosten Status quo 0,6			30,2
Variable Kosten	Trinkwassermenge Referenz* 19,3	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,4			15,4
Summe						45,6
Transformation	Geringere (spez.) Menge, Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf					
Fixkosten	Trinkwassermenge Status quo 25,1	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Fixkosten Transformation 0,4			20,1
Variable Kosten	Trinkwassermenge Transformation 6,2	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Variable Kosten Trans- formation 0,6			7,5
Summe						27,6
Transformation*	Geringere spez. Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen am Bedarf					
Fixkosten	Trinkwassermenge Status quo 25,1	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Fixkosten Status quo 0,6			30,2
Variable Kosten	Trinkwassermenge Transformation* 8,4	* Kosten Trinkwasser- versorgung 2,0	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,4			6,7
Summe						36,9

Tabelle 28: Kostenermittlung Betriebswassernutzung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Transformation	-					
Gesamtkosten Neubau	Betriebswasser- menge Transfor- mation 10,8	* Kosten Betriebswasser- nutzung 1,0				10,8
Summe						10,8
Transformation*	-					
Gesamtkosten Neubau	Betriebswasser menge Transformation* 14,9	* Kosten Betriebswasser- nutzung 1,0				14,9
Summe						14,9

Tabelle 29: Kostenermittlung Regenwasserentsorgung (Referenz-Szenarien)

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Referenz	Größere Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf, 20 % mehr Regenwasserkanal (ehemals Mischwasserkanal), neue weitergehende Behandlung					
Fixkosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwassermenge Status quo 9,6	* Kosten Regenwasserentsorgung 2,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,9	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		8,6
Variable Kosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwassermenge Referenz 8,2	* Kosten Regenwasserentsorgung 2,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,1	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		0,8
Fixkosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasserentsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7	* Anteil Umnutzung Mischwasserkanal 0,2	5,4
Variable Kosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Regen- und Mischwassermenge Referenz 8,2	* Kosten Abwasserentsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Umnutzung Mischwasserkanal 0,2	0,6
Gesamtkosten Neubau weitergeh. Behandlung	Regenwassermenge Referenz 6,4	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5	+ Mischwassermenge Referenz 1,8	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5		4,1
Summe						19,5
Referenz*	Größere Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf, 20 % mehr Regenwasserkanal (ehemals Mischwasserkanal), neue weitergehende Behandlung					
Fixkosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwassermenge Status quo 9,6	* Kosten Regenwasserentsorgung 2,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,9	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		8,6
Variable Kosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwassermenge Referenz* 7,6	* Kosten Regenwasserentsorgung 2,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,1	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		0,8
Fixkosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasserentsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7	* Anteil Umnutzung Mischwasserkanal 0,2	5,4
Variable Kosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Regen- und Mischwassermenge Referenz* 7,6	* Kosten Abwasserentsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Umnutzung Mischwasserkanal 0,2	0,6
Gesamtkosten Neubau weitergeh. Behandlung	Regenwassermenge Referenz* 5,5	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5	+ Mischwassermenge Referenz* 2,0	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5		3,8
Summe						19,1

Tabelle 30: Kostenermittlung Regenwasserentsorgung (Transformations-Szenarien)

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Transformation	Größere Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf, 60 % mehr Regenwasserkanal (ehemals Mischwasserkanal), neue weitergehende Behandlung					
Fixkosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwasser-menge Status quo 9,6	* Kosten Regen-wasser-entsorgung 2,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,9	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		8,6
Variable Kosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regenwasser-menge Transformation 12,9	* Kosten Regen-wasser-entsorgung 2,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,1	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		1,3
Fixkosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser-entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7	* Anteil Umnutzung Misch-wasserkanal 0,6	16,1
Variable Kosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Regenwasser-menge Transformation 12,9	* Kosten Abwasser-entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Umnutzung Misch-wasserkanal 0,6	2,9
Gesamtkosten Neubau weitergeh. Behandlung	Regenwasser-menge Transformation 12,9	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5				6,5
Summe						35,4
Transformation*	Größere Menge, keine Anpassung vorhandener Netze und Anlagen an Bedarf, 60 % mehr Regenwasserkanal (ehemals Mischwasserkanal), neue weitergehende Behandlung					
Fixkosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regen- und Mischwasser-menge Status quo 9,6	* Kosten Regen-wasser-entsorgung 2,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,9	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		8,6
Variable Kosten, vorh. Ableitung und Behandlung	Regenwasser-menge Transformation* 11,1	* Kosten Regen-wasser-entsorgung 2,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,1	* Anteil vorhandener Bestand 0,4		1,1
Fixkosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser-entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7	* Anteil Umnutzung Misch-wasserkanal 0,6	16,1
Variable Kosten, Umnutzung ehem. Mischwasserkanal	Regenwasser-menge Transformation * 11,1	* Kosten Abwasser-entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Umnutzung Misch-wasserkanal 0,6	2,5
Gesamtkosten Neubau weitergeh. Behandlung	Regenwasser-menge Transformation * 11,1	* Kosten weitergehende Behandlung 0,5				5,6
Summe						33,9

Tabelle 31: Kostenermittlung Grauwasserentsorgung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Transformation	40 % vorh. Schmutzwasserkanal wird Grauwasserkanal, in 60 % vorhandenem Mischwasserkanal (jetzt Regenwasser) wird neuer Grauwasserkanal eingezogen, Anpassung vorhandener Kanäle an Bedarf					
Gesamtkosten Neubau Behandlung	Grauwassermenge Transformation 12,8	* Kosten Behand- lung Grauwasser 1,25				16,0
Fixkosten vorh. Ableitung	Abwasserwasser- menge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Transformation 0,5	* Anteil Bestand Schmutz- wasserkanal 0,4	7,7
Variable Kosten vorh. Ableitung	Grauwassermenge Transformation 12,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Transformation 0,5	* Anteil Bestand Schmutz- wasserkanal 0,4	3,2
Fixkosten Neubau Ableitung	Grauwassermenge Transformation 12,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Transformation 0,5	* Anteil Neubau 0,6	4,8
Variable Kosten Neubau Ableitung	Grauwassermenge Transformation 12,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Transformation 0,5	* Anteil Neubau 0,6	4,8
Gesamtkosten Neubau Abwärmenutzung	Grauwassermenge Transformation (ohne Fremd- wasser) 10,8	* Kosten Abwärme- nutzung 0,75				8,1
Erlöse Abwärmenutzung	Erlöse Abwärmenutzung 12,9					12,9
Summe						31,7
Transformation*	40 % vorh. Schmutzwasserkanal wird Grauwasserkanal, in 60 % vorhandenem Mischwasserkanal (jetzt Regenwasser) wird neuer Grauwasserkanal eingezogen, keine Anpassung vorhandener Kanäle an Bedarf					
Gesamtkosten Neubau Behandlung	Grauwassermenge Transformation* 16,9	* Kosten Behand- lung Grauwasser 1,25				21,2
Fixkosten vorh. Ableitung	Abwasserwasser- menge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fix- kosten Status quo 0,7	* Anteil Bestand Schmutz- wasserkanal 0,4	10,7
Variable Kosten vorh. Ableitung	Grauwassermenge Transformation* 16,9	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Bestand Schmutz- wasserkanal 0,4	2,5
Fixkosten Neubau Ableitung	Grauwassermenge Transformation* 16,9	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7	* Anteil Neubau 0,6	8,9
Variable Kosten Neubau Ableitung	Grauwassermenge Transformation* 16,9	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3	* Anteil Neubau 0,6	3,8
Gesamtkosten Neubau Abwärmenutzung	Grauwassermenge Transformation* (ohne Fremd- wasser) 14,9	* Kosten Abwärme nutzung 0,75				11,2
Erlöse Abwärmenutzung	Erlöse Abwärmenutzung 17,8					17,8
Summe						40,6

Tabelle 32: Kostenermittlung Abwasserentsorgung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Referenz	20 % Mischwasserkanal gehen über in Sparte Regenwasserentsorgung, 20 % Schmutzwasserkanal Neubau, Anpassung Netze und Anlagen an Bedarf					
Fixkosten vorh. Behandlung	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasserentsorgung 2,5	* Anteil Behandlung 0,5	* Anteil Fixkosten Referenz 0,6		23,0
Variable Kosten vorh. Behandlung	Abwasserwasser- menge Referenz 21,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Behandlung 0,5	* Anteil Variable Kosten Referenz 0,4		10,9
Fixkosten vorh. Ableitung	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Referenz 0,6	* Anteil Kanal- bestand 0,8	18,4
Variable Kosten vorh. Ableitung	Abwassermenge Referenz 21,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Referenz 0,4	* Anteil Kanal- bestand 0,8	8,7
Gesamtkosten Neubau Ableitung	Abwassermenge Referenz 21,8	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Neubau Schmutz- wasserkanal 0,2		5,5
Gesamtkosten Neubau Abwärmenutzung	Abwassermenge Referenz 21,8	* Kosten Abwärme- nutzung 0,75				16,4
Erlöse Stoffe und Energie	Erlöse Stoffe Referenz 0,1	+ Erlöse Energie Referenz 3,1				3,2
Summe						79,7
Referenz*	20 % Mischwasserkanal gehen über in Sparte Regenwasserentsorgung, 20 % Schmutzwasserkanal Neubau, keine Anpassung Netze und Anlagen an Bedarf					
Fixkosten vorh. Behandlung	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Behandlung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,7		26,9
Variable Kosten vorh. Behandlung	Abwasserwasser- menge Referenz* 26,3	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Behandlung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,3		9,9
Fixkosten vorh. Ableitung	Abwassermenge Status quo 30,7	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Variable Kosten Status quo 0,7	* Anteil Kanalbestand 0,8	21,5
Variable Kosten vorh. Ableitung	Abwassermenge Referenz* 26,3	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Fixkosten Status quo 0,3	* Anteil Kanalbestand 0,8	7,9
Gesamtkosten Neubau Ableitung	Abwassermenge Referenz* 26,3	* Kosten Abwasser- entsorgung 2,5	* Anteil Ableitung 0,5	* Anteil Neubau Schmutz- wasserkanal 0,2		6,6
Gesamtkosten Neubau Abwärmenutzung	Abwassermenge Referenz* 26,3	* Kosten Abwärme- nutzung 0,75				19,7
Erlöse Stoffe und Energie	Erlöse Stoffe Referenz* 0,1	+ Erlöse Energie Referenz* 3,7				3,8
Summe						88,6

Tabelle 33: Kostenermittlung Schlammwasserbehandlung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Referenz	-					
Gesamtkosten Neubau	Schlammwasser- menge Referenz 0,9	* Kosten Schlamm- wasserbehandlung 2,0				1,9
Summe						1,9
Referenz*	-					
Gesamtkosten Neubau	Schlammwasser- menge Referenz* 1,3	* Kosten Schlamm- wasserbehandlung 2,0				2,6
Summe						2,6

Tabelle 34: Kostenermittlung Schwarzwasserentsorgung

Variante	Veränderung in Bezug auf Status quo					
Kostenanteile	Formel					(Mio. Euro/a)
Transformation	-					
Gesamtkosten Neubau	Schwarzwasser- menge Transformation 1,8	* Kosten Schwarz- wasserentsorgung 20,0				36,5
Erlöse Stoffe und Energie	Erlöse Stoffe (ges.) Transformation 0,4	+ Erlöse Energie Transformation 0,6				1,0
Summe						35,5
Transformation*	-					
Gesamtkosten Neubau	Schwarzwasse- rmenge Transformation* 2,6	* Kosten Schwarz- wasserentsorgung 20,0				51,9
Erlöse Stoffe und Energie	Erlöse Stoffe (ges.) Transformation* 0,6	+ Erlöse Energie Transformation* 0,8				1,4
Summe						50,5

Abkürzungen

a	Jahr
AP	Arbeitsplätze
ASL	Ammonium-Sulfat-Lösung
BBL	Bruttobauland
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMZ	Baumassenzahl
d	Tag
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
E	Einwohner
EW	Einwohnerwert
FeClSO ₄	Eisen-Chlorid-Sulfat
GFZ	Geschossflächenzahl
GRZ	Grundflächenzahl
ha	Hektar
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
kWh	Kilowattstunde
L	Liter
MAP	Magnesium-Ammonium-Phosphat
MgO	Magnesiumoxid
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Mrd.	Milliarden
MWh	Megawattstunde
m ³ , cbm	Kubikmeter
N	Stickstoff
NBL	Nettobauland
P	Phosphor

Glossar

Abflussbeiwert	Vom Einzugsgebiet abhängiger Faktor, mit dem die Regenmenge je Zeiteinheit multipliziert wird, um den zu erwartenden Regenabfluss zu erhalten, der in das Entwässerungssystem eingeleitet werden soll.
Abwärme	Der bei der Kraft- oder Wärmeerzeugung oder bei chemischen Prozessen anfallende Anteil an Wärmeenergie, der ungenutzt in die Umwelt entweicht.
Abwasser	Wasser, bestehend aus jeglicher Kombination von abgeleitetem Wasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbebetrieben, Oberflächenabfluss und unbeabsichtigter Fremdwasserzufluss.
Aerobe Verfahren	Durch biologische Verfahren lassen sich gelöste, biologisch abbaubare Stoffe (Substrat) aus Abwasser entfernen. Bei der Aerobtechnik wird das System Abwasser/Mikroorganismen mit Sauerstoff/Luft versorgt, um den Abbau der Abwasserinhaltsstoffe zu unterstützen. Diese werden oxidativ in mineralische Bestandteile umgewandelt.
Anaerobe Verfahren	Die Besonderheit der Anaerobtechnik liegt in der Versäuerung und Vergärung organischer Kohlenstoffverbindungen zu den Endprodukten Methan und Kohlendioxid. Anaerobe Verfahren benötigen keine Sauerstoffbelüftung und die Menge an Überschussschlamm ist gering.
Betriebswasser	Gewerblichen, industriellen, landwirtschaftlichen oder ähnlichen Zwecken dienendes Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften, worin Trinkwassereigenschaft eingeschlossen sein kann.
Bioabfall	Organische (pflanzliche und tierische) Abfälle aus privaten Haushalten und Garten, die durch Mikroorganismen, Bodenlebewesen und Enzyme abgebaut werden können.
Braunwasser	Fäzes mit Spülwasser
Co-Vergärung	Mitbehandlung von externen Substraten (z.B. Bioabfall) bei der anaeroben Abwasserbehandlung
Dezentral	Als „dezentral“ wird eine Struktur bezeichnet, bei der Prozesse auf der räumlichen Ebene von Einzelobjekten (Gebäuden, Betriebe) oder von Blöcken (Gruppen von Einzelobjekten) erfolgen.
Direkteinleiter	Gewerbe- und Industriebetriebe, die ihre Abwässer nach einer Behandlung in einer eigenen Anlage direkt in ein Gewässer einleiten, werden als „Direkteinleiter“ bezeichnet. Hierzu ist eine wasserrechtliche Erlaubnis nach dem Wasserhaushaltsgesetz erforderlich. Für die Einleitungen

	gelten die „Mindestanforderungen an Abwassereinleitungen“ nach dem § 7a des Wasserhaushaltsgesetzes.
Fäkalien	Urin und Fäzes
Fäzes	Kot; feste menschliche Ausscheidungen
Fremdwasser	Unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem (z.B. Dränwasser)
Gelbwasser	Urin mit Spülwasser
Grauwasser	Häusliches Abwasser ohne Fäkalien (Abfluss aus Badewanne, Dusche, Handwaschbecken, Wasch- und Geschirrspülmaschine, Küchenspüle etc.)
Hygienewasser	Wasser, das den Anforderungen an Trinkwasser entspricht und ausschließlich zum Verzehr (Trinken; Kochen) genutzt wird .
Klärschlamm	Klärschlamm fällt bei der Abwasserreinigung an und ist eine Mischung aus Wasser und Feststoffen. Man unterscheidet Rohschlamm und behandelten Klärschlamm. Rohschlamm fällt auf Kläranlagen als Produkt der biologischen Abwasserreinigung an. Er besteht überwiegend aus Mikroorganismen (z.B. Bakterien). Durch aerobe oder anaerobe Stabilisierung des Rohschlammes erhält man stabilisierten Klärschlamm. Die anaerobe Behandlung erfolgt in kommunalen Kläranlagen in der Regel in Faultürmen (Faulschlamm).
Kommunale Abwasserbeseitigung	Hoheitliche Organisation der Abwasserbeseitigung als zentraler Bestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge für alle angeschlossenen Abwassereinleiter (Haushalte; Betriebe)
Komposttoilette	Trockentoilette mit integrierter Kompostierung
Kraft-Wärme-Kopplung	Die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie, die in der Regel unmittelbar in elektrischen Strom umgewandelt wird, und nutzbarer Wärme für Heizzwecke (Fernwärme) oder Produktionsprozesse (Prozesswärme) in einem Heizkraftwerk.
Mischsystem	Entwässerungssystem zur gemeinsamen Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser im gleichen Leitungssystem
Mischwasser	Abwasser, das aus Schmutzwasser und Niederschlagswasser besteht und gemeinsam erfasst und abgeleitet wird.
Mischwasserentlastung	Die Mischwasserentlastungen (Regenentlastungen) sind Bauwerke der Mischwasserkanalisation, in denen bei starken Regen das verdünnte und über die Kläranlagen-

	kapazität hinausgehende Abwasser (Mischwasser) aus der Kanalisation abgeschlagen und in ein Gewässer eingeleitet wird. Die Entlastung ist häufig mit einer Mischwasserbehandlung kombiniert.
Nährstoff-Rückgewinnung	Rückgewinnung von Nährstoffen (Phosphor; Stickstoff) aus Abwasser, Schwarzwasser und Klärschlamm
Niederschlagswasser	Wasser aus Regen, Graupel, Schnee, Nebel etc.
Nutzer	Haushalte, Kleingewerbe, Industriebetriebe, Landwirtschaft
Öffentliche Wasserversorgung	Die öffentliche Wasserversorgung umfasst die Gewinnung und Aufbereitung von Rohwasser sowie die Abgabe von Trinkwasser. Sie wird in Deutschland von insgesamt 6.211 öffentlichen, gemischtwirtschaftlichen oder privaten Unternehmen getragen.
Prozesswasser (Betriebswasser)	Prozesswasser (Betriebswasser) ist Wasser, das zur Herstellung von Produkten oder zu Zwecken verwendet wird, die spezifische Anforderungen an die Wasserqualität stellen. Es hat gegenüber Trinkwasser je nach Verwendungszweck erhöhte oder verringerte qualitative Anforderungen.
Regenwasser (Niederschlagswasser)	Auf Grundstücken anfallendes Wasser aus Niederschlag
Schmutzwasser	Durch Gebrauch verändertes und in ein Entwässerungssystem eingeleitetes Wasser
Schwarzwasser	Braun- und Gelbwasser
Schwerkraftentwässerung	Ableitung von Abwasser in einem Abflussrohr bzw. Kanal mit ausreichendem Gefälle
Semizentral	Als „semizentral“ wird eine Struktur bezeichnet, bei der Prozesse auf der räumlichen Ebene von Stadtteilen erfolgen.
Transformation	Transformation bezeichnet die Überwindung („trans“) einer bestehenden Form/Gestalt („formation“). Im Unterschied zu kontinuierlich verlaufenden Veränderungen (z.B. einer moderaten Modernisierung kommunaler Wasser-Infrastrukturen), erlaubt die Transformation Brüche (nicht lineare Sprünge) und grundlegende Systemwandel zu denken und wahrzunehmen.
Trennsystem	Entwässerungssystem, üblicherweise bestehend aus zwei Leitungs-/Kanalsystemen für die getrennte Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser
Trenntoilette	Toilette mit getrennter Erfassung von Fäzes/Braunwasser und Urin/Gelbwasser

Trinkwasser	Trinkwasser ist Wasser für den menschlichen Genuss. Die Güteanforderungen an Trinkwasser sind in Deutschland in der DIN 2000 und der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgelegt.
Trockentoilette	Latrine, Toilette ohne Wasserspülung, z.B. Komposttoilette
Urin	Harn; flüssige menschliche Ausscheidungen
Vakuumentwässerung	(Unterdruckentwässerung) Erzeugung des erforderlichen hydraulischen Gefälles in Abwasserableitungen durch Unterdruck. Statt Vakuumentwässerung wird daher wird daher auch der Begriff "Unterdruckentwässerung" verwendet
Vakuumtoilette	(Unterdrucktoilette) Toilette mit Wasserspülung zur Ableitung von Schwarzwasser, die Unterdruck für die Abwasserableitung nutzt
Wasser-Infrastruktur	Alle Komponenten (Anlagen, Netze) der öffentlichen Wasserversorgung und kommunalen Abwasserentsorgung
Wassernutzung	Verwendung von Wasser für unterschiedliche Zwecke (Trinken, Kochen, Körperpflege, Wäschewaschen, Toilettenspülung, Bewässerung, Reinigung von Anlagen, Produktion etc.)
Zentral	Als „zentral“ wird eine Struktur bezeichnet, bei der Prozesse auf der räumlichen Ebene der Gesamtstadt oder für mehrere Stadtteile erfolgen

Veröffentlichungen des Forschungsverbunds netWORKS

netWORKS-Papers

Die Ergebnisse des Forschungsverbundes netWORKS erscheinen in der Reihe netWORKS-Papers. Kommunen haben die Möglichkeit, diese Veröffentlichungen kostenlos über das Deutsche Institut für Urbanistik zu beziehen. Interessenten aus Wissenschaft und Forschung sowie der übrigen Fachöffentlichkeit können sich die Texte kostenlos von der Projektplattform www.networks-group.de herunterladen. Bisher sind folgende Papers erschienen:

- Ulrich Scheele in Kooperation mit Jens Libbe und Engelbert Schramm
Transformation städtischer Wasser-Infrastrukturen: Internationale Erfahrungen
Berlin 2008 (netWORKS-Papers, Nr. 25)
- Nadine Staben
Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Eine Technikrecherche im Rahmen des Projekts „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“
Berlin 2008 (netWORKS-Papers, Nr. 24) (vergriffen)
- Scheele, Ulrich
Versorgungssicherheit und Qualitätsstandards in der Wasserversorgung – Neue Herausforderungen unter veränderten Rahmenbedingungen. Diskussionspapier
Berlin 2006 (netWORKS-Papers, Nr. 23, nur Internetfassung: www.networks-group.de)
- Koziol, Matthias/Veit, Antje/Walther, Jörg
Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung?
Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadttechnischen Transformationsprozess. Gesamtbericht des Analysemoduls „Stadttechnik“ im Forschungsverbund netWORKS
Berlin 2006 (netWORKS-Papers, Nr. 22) (vergriffen)
- Naumann, Matthias/Wissen, Markus
Neue Räume der Wasserwirtschaft. Untersuchungen zur Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung in den Regionen München, Hannover und Frankfurt (Oder)
Berlin 2006 (netWORKS-Papers, Nr. 21) (vergriffen)
- Monstadt, Jochen/v. Schlippenbach, Ulrike
Privatisierung und Kommerzialisierung als Herausforderung regionaler Infrastrukturpolitik – Eine Untersuchung der Berliner Strom-, Gas- und Wasserversorgung sowie Abwasserversorgung
Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 20) (vergriffen)
- Lux, Alexandra
Handelbare Wasserentnahmerechte als Ergänzung der ordnungsrechtlichen Vergabepolitik? Mit einem juristischen Gutachten von Eckard Reh binder
Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 19) (vergriffen)
- Braunmühl, Claudia von
Water Governance – Partizipation in der Wasserversorgung
Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 18) (vergriffen)
- Lux, Alexandra/Scheele, Ulrich/Schramm, Engelbert
Benchmarking in der Wasserwirtschaft – Möglichkeiten und Grenzen einer Erweiterung des Benchmarking um ökologische und soziale Aspekte
Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 17) (vergriffen)

- Malz, Simone/Scheele, Ulrich
Handelbare Wasserrechte – Stand der internationalen Debatte
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 16) (vergriffen)
- Kluge, Thomas
Ansätze zur sozial-ökologischen Regulation der Ressource Wasser – neue Anforderungen an die Bewirtschaftung durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie und Privatisierungstendenzen
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 15) (vergriffen)
- Schramm, Engelbert
Naturale Aspekte sozial-ökologischer Regulation. Bericht aus dem Analysemodul „Ressourcenregulation“ im Verbundvorhaben netWORKS
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 14) (vergriffen)
- Spitzner, Meike
Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Gender-Analyse am Beispiel ÖPNV
 Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 13) (vergriffen)
- Döring, Patrick
Sicherung kommunaler Gestaltungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Privatisierungsformen – Beispiel Wasserversorgung
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 12) (vergriffen)
- Reh binder, Eckard
Privatisierung und Vergaberecht in der Wasserwirtschaft
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, Nr. 11) (vergriffen)
- Monstadt, Jochen/Naumann. Matthias
Neue Räume technischer Infrastruktursysteme. Forschungsstand und -perspektiven zu räumlichen Aspekten des Wandels der Strom- und Wasserversorgung in Deutschland
 Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 10) (vergriffen)
- Monstadt, Jochen/Naumann. Matthias
New Geographics of Infrastructure Systems. Spatial Science Perspectives and the Socio-Technical Change of Energy and Water Supply Systems in Germany
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, No. 10) (vergriffen)
- Hummel, Diana/Kluge, Thomas
Sozial-ökologische Regulationen
 Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 9) (vergriffen)
- Libbe, Jens/Trapp, Jan Hendrik/Tomerius, Stephan
Gemeinwohlsicherung als Herausforderung – umweltpolitisches Handeln in der Gewährleistungskommune. Theoretische Verortung der Druckpunkte und Veränderungen in Kommunen
 Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 8) (vergriffen)
- Libbe, Jens/Trapp, Jan Hendrik/Tomerius, Stephan
The Challenge of Securing the Public Interest – Environmental Policy Action in the Ensuring Local Authority in Germany. Theoretical identification of current pressure points and changes in municipalities
 Berlin 2005 (netWORKS-Papers, No. 8) (vergriffen)
- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
Benchmarking – Konzepte in der Wasserwirtschaft: Zwischen betrieblicher Effizienzsteigerung und Regulierungsinstrument. Dokumentation des Symposiums am 28.4.2004 in Frankfurt am Main
 Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 7) (vergriffen)

- Tomerius, Stephan
Örtliche und überörtliche wirtschaftliche Betätigung kommunaler Unternehmen. Zum aktuellen Diskussionsstand über die rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen in Literatur und Rechtsprechung
Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 6) (vergriffen)
- Monstadt, Jochen/Naumann, Matthias
Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Stromversorgung
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 5) (vergriffen)
- Scheele, Ulrich/Kühl, Timo
Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Telekommunikation
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 4) (vergriffen)
- Bracher, Tilman/Trapp, Jan Hendrik
Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse ÖPNV
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 3) (vergriffen)
- Bracher, Tilman/Trapp, Jan Hendrik
Network-Related Infrastructures under Pressure for Change – Sectoral Analysis Public Transport
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, No. 3) (vergriffen)
- Kluge, Thomas/Koziol, Matthias/Lux, Alexandra/Schramm Engelbert/Veit, Antje
Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Wasser
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 2) (vergriffen)
- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
Transformationsprozesse in netzgebundenen Infrastrukturektoren. Neue Problemlagen und Regulationserfordernisse
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 1) (vergriffen)
- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
Transformation Processes in Network Industries. Regulatory Requirements
Berlin 2003 (netWORKS-Papers, No. 1) (vergriffen)

Weitere Veröffentlichungen des Forschungsverbundes netWORKS:

- Kluge, Thomas/Libbe, Jens (Hrsg.)
Transformation netzgebundener Infrastruktur – Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser
Berlin 2006, Schutzgebühr Euro 19,– (Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 45)
- Libbe, Jens/Trapp, Jan Hendrik
Gemeinwohlsicherung als Herausforderung – kommunale Steuerungspotenziale in differenzierten Formen der Aufgabenwahrnehmung. Eine Positionsbestimmung
Berlin 2005 (Download unter www.networks-group.de/ergebnisse/05gemeinwohlsicherung.phtml)
- Tomerius, Stephan
Gestaltungsoptionen öffentlicher Auftraggeber unter dem Blickwinkel des Vergaberechts
Berlin 2005, Schutzgebühr Euro 15,– (Difu-Materialien 1/2005)

- Trapp, Jan Hendrik/Bolay, Sebastian
Privatisierung in Kommunen – eine Auswertung kommunaler Beteiligungsberichte
Berlin 2003, Schutzgebühr Euro 15,– (Difu-Materialien 10/2003)
- Trapp, Jan Hendrik/Bolay, Sebastian
Privatisation in Local Authorities – An Analysis of Reports on Municipal Holdings
Berlin 2003 (Translated from Difu-Materialien 10/2003)

Eine Gesamtübersicht aller Veröffentlichungen des Forschungsverbunds networks ist unter www.networks-group.de/veroeffentlichungen abrufbar.