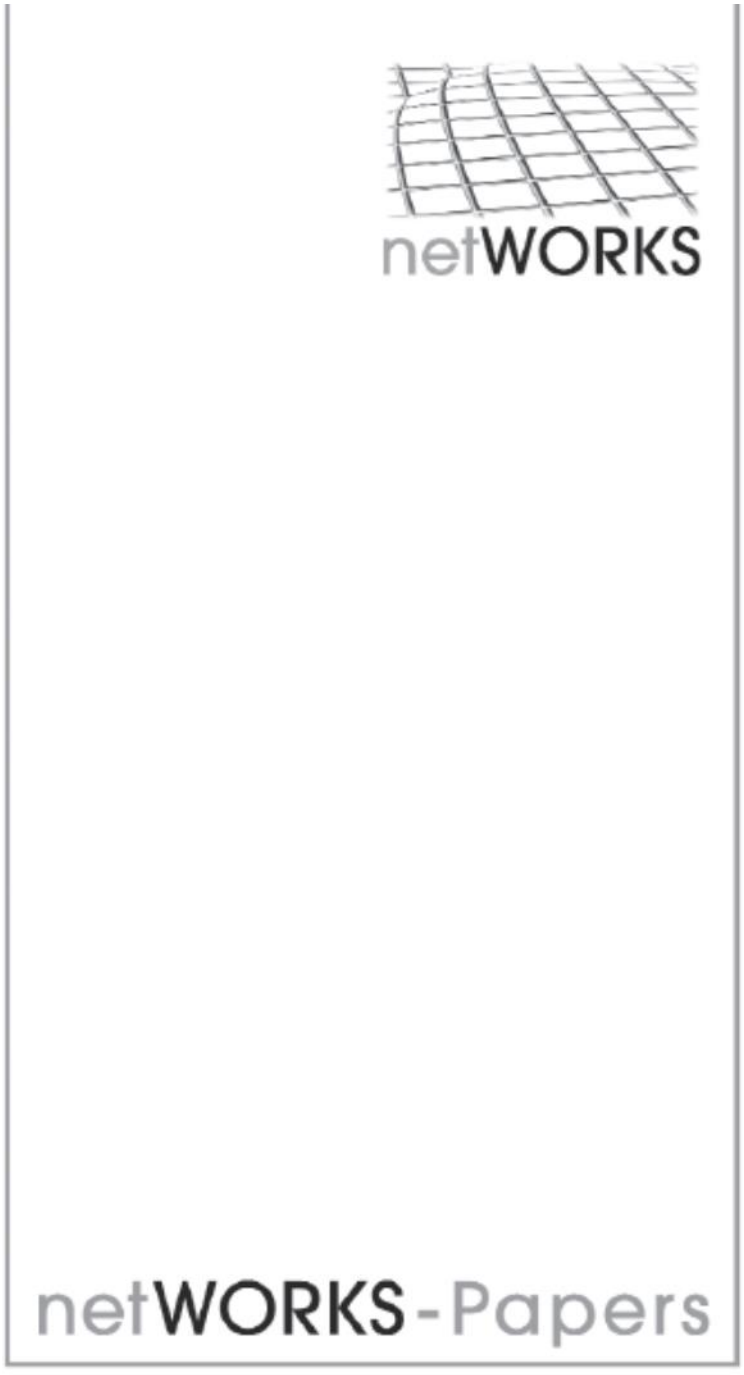
SÖF Sozial-ökologische Forschung

netWORKS-Papers

Institutionenökonomische Analyse der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen

Ralf Ott
Anna Wallbrecht
Nils Bieschke



Heft 33 ***Institutionenökonomische Analyse der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen***

Ralf Ott, Anna Wallbrecht, Nils Bieschke

Impressum

Ralf Ott, Anna Wallbrecht, Nils Bieschke

Die Autoren bedanken sich bei Thorsten Beckers, der die Forschungsaktivitäten der Autoren dieses Papers in dem Projekt netWORKS3 und damit auch die Erstellung dieses Papers wesentlich unterstützt hat, indem er in der ersten Phase des Projektes grundlegende methodische Überlegungen zur Untersuchung von (sektorinternen und -übergreifenden) Koordinationsfragen in Infrastruktursystemen beigesteuert hat.

Weiterhin bedanken sich die Autoren insbesondere bei den Experten der Siedlungswasserwirtschaft, die für das Forschungsprojekt für sehr ausführliche Interviews bereit standen.

Herausgeber

Forschungsverbund netWORKS

www.networks-group.de

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben „Potenzialabschätzung und Umsetzung wasserwirtschaftlicher Systemlösungen auf Quartiersebene in Frankfurt am Main und in Hamburg (netWORKS 3)“, das im Rahmen des Förderschwerpunkts „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“; Themenfeld „Innovative Siedlungs- und Infrastrukturkonzepte“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird.

Textverarbeitung

Christina Bloedorn
Steffi Greiner

Verlag und Vertrieb

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH
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, Oktober 2016

ISBN: 978-3-88118-580-6

Forschungsverbund netWORKS im Projekt „Potenzialabschätzung und Umsetzung wasserwirtschaftlicher Systemlösungen auf Quartiersebene in Frankfurt am Main und in Hamburg (netWORKS 3)“

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)
Dr.-Ing. Martina Winker (Koordination)
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt
Tel.: 0049 69 7076919-53
E-Mail: winker@isoe.de

Deutsches Institut für Urbanistik GmbH (Difu)
Dr. Jens Libbe
Zimmerstr. 13-15
10969 Berlin
Tel.: 0049 30 39001-115
E-Mail:libbe@difu.de

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP1)
Prof. Dr. Thorsten Beckers
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin
Tel.: 0049 30 314-23243
E-Mail: tb@wip.tu-berlin.de

COOPERATIVE Infrastruktur & Umwelt
Dr.-Ing. Bernhard Michel
Am Seegärtchen 23
64354 Reinheim
Tel.: 0049 6162 9117-582
E-Mail: b.michel@cooperative.de

ABG FRANKFURT HOLDING Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH
Frank Junker
Elbestraße 48
60329 Frankfurt/Main
Tel.: 0049 69 2068-276
E-Mail: f.junker@abg-fh.de

ABGnova GmbH, Unternehmen für Innovationen in der
Energie- und Wohnungswirtschaft (ABGnova)
Bernd Utesch
Ginnheimer Straße 48
60487 Frankfurt/Main
Tel.: 0049 69 21384101
E-Mail: b.utesch@abgnova.de

Hamburger Stadtentwässerung AöR, Unternehmen
der Abwasserwirtschaft (HSE)
Thomas Giese
Billhorner Deich
20539 Hamburg
Tel.: 0049 40 7888-82612
E-Mail: thomas.giese@hamburgwasser.de

Inhalt

Vorwort 10
1 Einführung 12
2 Methodik 15
3 Grundlagen und Vorbemerkungen zu Wasserinfrastruktursystemen 18
3.1 Grundlagen zur Wasserinfrastruktur 18
3.2 Vorbemerkungen zu neuartige Wasserinfrastruktursystemen und deren technische Module 21
3.2.1 Überblick über innovative Wasserinfrastruktursysteme 21
3.2.2 Annahmen zu Niederschlagswasser und Löschwasser 26
3.2.3 Aktuelle institutionelle Rahmenbedingungen der Siedlungswasserwirtschaft 26
4 Technisch-systemische Grundlagen der Subsysteme neuartiger Wasserinfrastruktur 29
4.1 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem Abwasser und betrachtete Modellvarianten neuartiger Abwasserentsorgung und –aufbereitung 29
4.1.1 Zentrale Abwasserentsorgung 29
4.1.2 Zentrales Schwarzwassersystem und semizentrales Grauwassersystem 30
4.1.3 Zentrales Schwarzwassersystem und dezentrales Grauwassersystem 31
4.1.4 Semizentrales Schwarz- und Grauwassersystem 32
4.2 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem Wärmerückgewinnung und -nutzung 33
4.2.1 Mögliches Variantenspektrum der Wärmerückgewinnung und -nutzung 33
4.2.2 Betrachtete Varianten der Wärmerückgewinnung und -nutzung 37
4.3 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen 39
4.3.1 Technisch-systemische Grundlagen 39
4.3.2 Aktueller institutioneller Rahmen 40
4.3.3 Betrachtete Modellvarianten der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen 40
4.4 In der Analyse betrachtete gekoppelte Systemvarianten 42
4.4.1 Konventionelles System 42
4.4.2 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit de-/ semizentraler
4.4.3 Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung 45
5 Entwicklung von Gestaltungsbereichen und Bewertungskriterien 47
5.1 Entwicklung von Gestaltungsbereichen für betrachtete Modelle 47
5.1.1 Zentrale vs. dezentrale Regelsetzung im Mehrebenensystem 47
5.1.2 Aufgaben und Rollen 47
5.1.3 Betrachtete Akteure und Akteurskonstellationen 48
5.2 Bewertungskriterien für die Analyse 49
6 Analyse der Systemvarianten neuartiger Wasserinfrastruktursysteme 51

6.1 Analyse ohne Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten 51
6.1.1 Konventionelles System 51
6.1.2 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung 57
6.1.3 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit dezentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung 61
6.1.4 Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung 64
6.2 Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten 66
7 Fazit 69
8 Quellen und Literatur 72
9 Anhang: Berücksichtigung konkreter Konstellationen bei der Umsetzung innovativer Wasserinfrastrukturen 77
9.1 Anwendung auf Quartiers- und Stadtteilebene 77
9.2 Umsetzung unter Berücksichtigung räumlich-struktureller Merkmale 78

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Schematische Übersicht der Stoffströme im Status quo (Felmeden et al. 2016) 21

Abbildung 2 Schematische Übersicht von Stoffströmen bei Regenwasser-, Grau- und Schwarzwasser- / Wärmebewirtschaftung (Felmeden et al. 2016) 23

Abbildung 3 Darstellung eines möglichen Wasserinfrastruktursystems am Beispiel des Struensee-Quartiers (Felmeden et al. 2016) 24

Abbildung 4 Überblick Zentrale Abwasserentsorgung 30

Abbildung 5 Überblick Zentrales Schwarzwassersystem und semizentrales Grauwassersystem 31

Abbildung 6 Überblick Zentrales Schwarzwassersystem und dezentrales Grauwassersystem 32

Abbildung 7 Überblick Semizentrales Schwarz- und Grauwassersystem 33

Abbildung 8 Überblick Wärmerückgewinnung und -nutzung ohne Stoffstromtrennung 35

Abbildung 9 Überblick Wärmerückgewinnung und -nutzung mit Stoffstromtrennung 37

Abbildung 10 Überblick integrierte Systemvariante "Konventionelles System" 43

Abbildung 11 Überblick integrierte Systemvariante “Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung“ 44

Abbildung 12 Überblick integrierte Systemvariante "Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit dezentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung" 45

Abbildung 13 Überblick integrierte Systemvariante "Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung" 46

Abbildung 14 Mögliche Rollenzuordnung im Konventionellen System 54

Abbildung 15 Mögliche Rollenzuordnung im System mit zentraler Schwarzwasseraufbereitung und dezentraler Grauwasseraufbereitung 60

Abbildung 16 Mögliche Rollenzuordnung im System mit zentraler Schwarzwasseraufbereitung und dezentraler Grauwasseraufbereitung 63

Abbildung 17 Mögliche Rollenzuordnung im System mit semizentraler Schwarzwasser- und Grauwasseraufbereitung 65

Vorwort

Die Siedlungswasserwirtschaft hat mehrere Aufgaben zu erfüllen. Es gilt, den Bürgerinnen und Bürgern eine qualitativ einwandfreie und zugleich quantitativ ausreichende Versorgung mit Trinkwasser sicherzustellen. Das anfallende Abwasser ist so zu behandeln, dass es entweder weiter genutzt oder schadlos an die Umwelt abgegeben werden kann. Alle notwendigen Dienstleistungen sind dabei im Sinne der Daseinsvorsorge für die Bürgerinnen und Bürger dauerhaft zugänglich und bezahlbar anzubieten.

In ihrer Aufgabenerfüllung ist die Siedlungswasserwirtschaft zahlreichen dynamischen Entwicklungen unterworfen. Zu diesen zählen demografische Veränderungen, steigende Energiepreise und der Klimawandel. Dadurch gerät das über Jahrzehnte gewachsene System der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung zunehmend unter Veränderungsdruck. Die Anpassung der Infrastrukturen verlangt nach neuen differenzierten Ansätzen, die die Wasserinfrastruktur auf die aktuellen und zukünftigen dynamischen Entwicklungen besser (re)agieren lassen.

Der Forschungsverbund netWORKS hat es sich zur Aufgabe gemacht, innovative und nachhaltige Lösungen im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu erarbeiten und Kommunen bei der Weiterentwicklung und Umgestaltung ihrer Wasserinfrastruktur zu unterstützen. Von besonderem Interesse sind dabei ebenso technologische wie organisatorische Ansätze, die gegenüber vorhandenen Infrastrukturen gleichermaßen ökologische, soziale und ökonomische Vorteile versprechen. Ob es sich um die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Wärme, die Verwendung von Abwasser und seiner Inhaltsstoffe oder die Umnutzung von Abwassernetzen handelt – diese „intelligenten“ und oft semi- oder dezentralen Lösungen versprechen zugleich flexiblere und wirtschaftlichere Wasserinfrastrukturen.

Das Forschungsteam ist interdisziplinär zusammengesetzt. Der Verbund arbeitet mit Städten und ihren Ver- und Entsorgungsunternehmen als Praxispartner zusammen, um deren Wissen und Erfahrungen einzubinden und die Arbeitsergebnisse mit ihnen zu reflektieren und weiterzuentwickeln.

Der Forschungsverbund arbeitet inzwischen an seinem dritten Projekt „Intelligente wasserwirtschaftliche Systemlösungen in Frankfurt am Main und Hamburg“. Während es in den Vorgängerprojekten eher um die Erarbeitung von Konzepten und um strategische Überlegungen ging, orientiert sich das dritte Projekt an konkreten Quartieren und den Möglichkeiten der Umsetzung.

In der Ausgangsbestimmung zu diesem Vorhaben konstatiert netWORKS, dass sich die neuen Lösungen trotz ihrer prinzipiell größeren Flexibilität und ökologischen Vorteilhaftigkeit in der Fläche bislang nicht durchgesetzt haben, da für die Kommunen und Akteure der Siedlungswasserwirtschaft noch zu viele Fragen offen sind. Neue technische Lösungen verändern Stadt- und Haustechnik gleichermaßen. Welche Möglichkeiten gibt es beim Umbau hin zu einer nachhaltigen Wasserinfrastruktur? Wie wirken sich innovative Wasserinfrastruktursysteme auf den Alltag der Bewohner aus? Welche Strategien und neuen Geschäftsmodelle zeichnen sich für Kommu-

nen bzw. die Ver- und Entsorgungswirtschaft ab? Welche Kosten ergeben sich aus neuen Koordinationserfordernissen in der Ver- und Entsorgung? Wie kommen die Akteure vor Ort zu einer umfassenden Bewertung und Auswahl der passenden Maßnahme? Diesen Fragen widmet sich netWORKS 3.

Ein besonderer Dank für ihre Offenheit, sich mit den Themen und Fragen des Forschungsverbundes netWORKS auseinanderzusetzen sowie für ihre konstruktiven Diskussionen und Anregungen gilt den Experten aus ausgewählten Unternehmen der Siedlungswasserwirtschaft, die uns zu Experteninterviews und im Rahmen eines Workshops zur Verfügung standen.

Berlin und Frankfurt/Main, im August 2016

Forschungsverbund netWORKS

Verbundkoordination

1 Einführung

Untersuchungsgegenstand, Ausgangslage und wissenschaftliche Relevanz

Das Forschungsprojekt „netWORKS 3“ widmet sich der Einführung neuartiger Wasserinfrastrukturen. Dabei werden die betrachteten neuartigen und hinsichtlich ihrer Stoffströme differenzierten Technologien der Siedlungswasserwirtschaft – mit Fokus auf Trink- und Abwasser und Wärmerückgewinnung sowie zum Teil der möglichen Gewinnung und Nutzung weiterer Stoffe – hinsichtlich der damit verbundenen Transaktionskosten im Allgemeinen und der Koordinationserfordernisse im Speziellen unter Verwendung der Erkenntnisse der Neuen Institutionenökonomik analysiert. Die hier vorgestellten Analysen bauen zum großen Teil auf den Ergebnissen aus den Vorgängerprojekten des Forschungsverbundes sowie den verschiedenen Arbeiten innerhalb dieses Forschungsprojektes auf.[1]

Verschiedene Entwicklungen machen die Einführung dieser neuartigen Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft nötig.[2] So werden die Auswirkungen des den ganzen Planeten beeinflussenden Klimawandels lokale Wasserinfrastrukturen in Deutschland betreffen (Trapp / Libbe 2016: 9). Des Weiteren wird mit der künftig möglicherweise zunehmenden Knappheit an Ressourcen die Frage nach der Ressourceneffizienz auch im Wassersektor immer bedeutender (DWA 2008: 20). Aufgrund der demographischen Entwicklung in Deutschland und der damit teilweise zusammenhängenden Problematik der Bevölkerungsverteilung auf urbane und ländliche Räume (DWA 2008: 22) wird der Wasserinfrastruktur zukünftig vermutlich in einem gewissen Maße eine höhere Flexibilität abverlangt werden.

Zentrale Fragen, Untersuchungsperspektive und Ziele der Analyse

Neuartige Wasserinfrastrukturen und deren verschiedene Systemvarianten, die zur Lösung der dargestellten Problemstellungen beitragen können, erfordern eine Abstimmung der mit den Wasserinfrastruktursystemen einhergehenden Aufgaben. Die vorgenommene institutionenökonomische Untersuchung wird vornehmlich analysieren, welche institutionellen Designs existieren, die eine effiziente Koordination der herausgearbeiteten Aufgabenfelder bzw. Rollen gewährleisten, die mit den verschiedenen, neuartigen technischen Systemvarianten einhergehen. Es wird somit dargestellt, wie sich verschiedene Tätigkeiten aufeinander abstimmen lassen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine große Komplexität bei der Koordination zwischen Akteuren in verschiedenen Infrastrukturen (hier vor allem Abwasser und Energie) bestehen könnte und daraus entsprechende (Transaktions-)Kosten resultieren können, die es neben den reinen

1 Vgl. hierzu bspw. die bereits erschienenen netWORKS-Papers (Trapp / Libbe, 2016), (Kerber et al. 2016) sowie (Hefter et al. 2015).

2 Vgl. für diesen Abschnitt allgemein (DWA 2008), (Libbe 2010), (Libbe / Schramm 2010), (Schramm 2010) und (Gawel / Bedtke 2015).

Produktionskosten zu berücksichtigen gilt. Koordinationsprobleme fallen nicht nur bei der Abstimmung „produktiver“ Tätigkeiten an, sondern ergeben sich auch aus Unsicherheiten über die Verteilung von Nutzen und Kosten zwischen den involvierten Akteuren, wozu auch die Ungewissheit über Auswirkungen auf mögliche Zahlungsrückflüsse zählt. Somit stellt sich die Frage, wie sich die Aufgabenfelder, die sich aus den technischen Infrastruktursystemen ergeben, aufeinander abstimmen lassen. Die Analyse beschränkt sich dabei nicht nur auf die neuartigen und differenzierten technischen Systeme, sondern nimmt auch ein abstraktes konventionelles System zu Vergleichszwecken in die Untersuchung mit auf.[3]

Die bei der Analyse eingenommene Perspektive bzw. das unterstellte Zielsystem ist grundsätzlich die Minimierung wohlfahrtsökonomischer Kosten, wobei – sofern nicht anders erwähnt – die Konsumenten- bzw. Nutzerperspektive eingenommen wird. Die Gewährleistung und Aufrechterhaltung der Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Einhaltung von Umweltaspekten bzw. Ressourceneffizienz bspw. in Form von Standards, Normen und Qualitäten sind dabei in jedem Fall weiterhin sicherzustellen. Eine kosteneffiziente Bereitstellung der Wasserinfrastruktur mit Berücksichtigung der für die Nutzer anfallenden Kosten dürfte wesentlichen Einfluss auf die Akzeptanz für neuartige Wasserinfrastruktursysteme haben. Auf Basis dieses Zielsystems werden institutionelle Lösungen unter Berücksichtigung von sich aus dem technischen System ergebenden Koordinationserfordernissen herausgearbeitet und untersucht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kommunen bzw. deren Unternehmen weitestgehend ein ähnliches Zielsystem wie das oben dargestellte verfolgen dürften.[4]

Ferner ist hinsichtlich der angestrebten Kosteneffizienz darauf hinzuweisen, dass es sich um die Minimierung der Summe aus Produktions- und Transaktionskosten im Wasserinfrastruktursystem handelt.[5] Diese Kosten sollten grundsätzlich mit Zahlungen vor allem für die Abwasserentsorgung – in Deutschland in Form von Gebühren und Abgaben – sowie Zahlungen für Energie (insbesondere Wärme) korrespondieren. Aus Sicht der Nutzer bzw. Konsumenten dürfte neben dem Ziel der allgemeinen Sicherstellung einer einwandfreien Ver- und Entsorgung besonders die Minimierung der Nutzerzahlungen (wobei nur in Ausnahmefällen eine Unterscheidung von Mietern und Hauseigentümern vorgenommen werden kann) im Vordergrund stehen.

3 Auf das bestehende technische System in Deutschland wird nur selektiv eingegangen.

4 Vgl. zum Zielsystem auch (Beckers et al. 2014: 220f.). Für ein ähnliches Zielsystem und ähnliche Herleitung siehe auch (Gawel / Bedtke 2015: 11). Zum möglichen Handeln öffentlicher Unternehmen bei Vorliegen einer öffentlichen Eigentümerschaft (Beckers et al. 2014: 218ff.)

5 Ein rein auf die Minimierung von Transaktionskosten ausgerichtetes Zielsystem könnte institutionelle Regelungen für Wasserinfrastruktursysteme begünstigen, die jedoch mit extrem hohen Produktionskosten einhergehen. Eine Einführung zu Transaktionskosten als Abgrenzung zu Produktionskosten, welche beim Einsatz von Produktionsfaktoren entstehen, vermittelt (Richter / Furubotn 2010: 13ff.).

Das Ziel der vorgenommenen Untersuchungen ist es, für die Entscheidungsträger die Handlungsoptionen mit Bezug zu den vorgestellten Fragekomplexen zu beurteilen. Hinsichtlich der mit möglichen Reformoptionen einhergehenden Kosten können insbesondere Pfadabhängigkeiten und damit auch Design-, (politische) Durchsetzungs- und Implementierungsprobleme zu berücksichtigen sein. Jedoch sind genauso wie auch bei den oben genannten Kosten Quantifizierungen nur schwer möglich, sodass eine rein qualitative Bewertung erfolgt. Die Analyse wird daher – gerade im Hinblick auf die Verwendbarkeit der Untersuchungsergebnisse in der kommunalen Praxis – mit Unschärfen versehen sein.

Struktur des Papers

Zunächst wird im folgenden Kapitel eine kurze Übersicht über die angewandte Methodik gegeben. Daraufhin werden zunächst grundlegende Vorbemerkungen zur Wasserinfrastruktur getätigt und sehr kurz der wesentliche aktuelle institutionelle Rahmen der Siedlungswasserwirtschaft vorgestellt. Anschließend werden technisch-systemische Grundlagen der verschiedenen Subsysteme neuartiger Wasserinfrastrukturen (mit einem Fokus auf Abwasser und Wärme) analysiert. Dies ist besonders bedeutsam für die später folgende Analyse unter Anwendung der oben beschriebenen Methodik. So können denkbare Systemvarianten entwickelt werden und für die Betrachtung des Sektors wichtige Schnittstellen und damit potenzielle Koordinationserfordernisse herausgearbeitet werden. Daher ist die detaillierte und umfassende Darstellung und Strukturierung des technischen Systems sowie des für die (technische) Umsetzung benötigten Wissens von Akteuren von besonderer Bedeutung für die (institutionen-)ökonomische Analyse. Der Detailgrad der Darstellung leitet sich dabei wiederum aus den zu untersuchenden Koordinationsfragen ab. Die Darstellung der technisch-systemischen Grundlagen kann somit abstrakt bleiben, immer dann wenn eine vertiefte Darstellung keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn verspricht.

Aufbauend auf den technisch-systemischen Grundlagen erfolgt die Ableitung von Aufgaben bzw. Aufgabenbündeln (Rollen). Auf diese Weise können Koordinationserfordernisse zwischen den Rollen herausgearbeitet werden. In einem nächsten Schritt werden die Systemvarianten insbesondere daraufhin untersucht, welche Rollen wiederum gebündelt werden können. Zudem wird analysiert, welche Rollen von welchem Akteur (bzw. verschiedenen Akteuren) wahrgenommen werden sollten. Abschließend werden die in der Analyse erarbeiteten Ergebnisse in einem Fazit zusammengefasst.

2 Methodik

In der Arbeit werden im Rahmen eines komparativen Ansatzes qualitative Analysen durchgeführt, die sich vornehmlich auf Erkenntnisse der Neuen Institutionenökonomik (NIÖ) stützen.[6] Die NIÖ geht u. a. auf Arbeiten von Ronald Coase und Oliver E. Williamson zurück, die sich mit Transaktionskosten, Märkten und Kooperationen und allen Arten ökonomischer Organisation beschäftigen (vgl. z. B. (Coase 1937), (Williamson 1990: 18)).[7] Die NIÖ betont besonders die Kosten, die im Rahmen von Transaktionen auftreten und die sich hieraus ergebende Bestimmung institutioneller Konstrukte (Richter / Furubotn 2010: 53).[8] Diese Kosten fallen beim Austausch von Eigentums- und Verfügungsrechten sowie insbesondere bei vertraglichen Vereinbarungen bezüglich dieses Austauschs an (Klatt 2011: 46). Anders als in der neoklassischen Theorie wird bei der hier angewandten Transaktionskostentheorie somit neben der unvollkommenen Voraussicht und eingeschränkten Rationalität der Akteure besonders das Vorhandensein von (positiven) Transaktionskosten explizit berücksichtigt (Richter / Furubotn 2010: 17).

Ziel der Transaktionskostentheorie ist es, Transaktionskosten als Kosten der Ausgestaltung von Vertragsbeziehungen zu erklären bzw. vorherzusagen und somit die Identifikation der günstigsten Koordinationsform für die jeweilige Transaktion zu ermöglichen. Kernüberlegung der Transaktionskostentheorie ist, dass Akteure im Rahmen unvollständiger Verträge spezifisch in eine Vertragsbeziehung investieren (Gizzi 2016: 37). Als zentrale Koordinationsformen gelten die „Hierarchie“, der „Markt“ und als „Hybride“ bezeichnete Zwischenlösungen.[9] Es ist zu beachten, dass die Wahl einer hinsichtlich des Zielsystems vorteilhaften Koordinationsform maßgeblich von den Eigenschaften der Transaktion sowie den Akteurscharakteristika abhängt.

Vor diesem Hintergrund und unter der Annahme einer gewissen Komplexität von Transaktionen müssen Verträge zwangsläufig unvollständig sein. Es besteht damit für Akteure jeweils die Gefahr, durch opportunistisches Verhalten des Transaktionspartners übervorteilt zu werden („Hold-up“). Diese Gefahr existiert insbesondere im Kontext spezifisch getätigter Investitionen, also

6 Hierbei werden u. a. Anreiz- und Kontroll- sowie Commitment- und Koordinationsprobleme betrachtet und in diesem Kontext die jeweiligen Transaktions-, Akteurs- und Marktcharakteristika sowie der institutionelle Rahmen berücksichtigt. Für einen Überblick zu den genannten Problemen und zur Einführung in die NIÖ siehe allgemein (Richter/Furubotn 2010) sowie (Klatt 2011).

7 Ronald Coase sowie auch Oliver E. Williamson (gemeinsam mit Elinor Ostrom) erhielten für ihre Forschungsarbeiten den Wirtschaftsnobelpreis.

8 Williamson sieht in einer Transaktion die Übertragung eines Gutes oder einer Leistung über eine technisch trennbare Schnittstelle hinweg (Williamson 1990: 1).

9 Bei der Hierarchie werden Transaktionen im Rahmen der Eigenerstellung im Unternehmen durchgeführt, bei der Koordinationsform Markt Transaktionen mittels kurzfristiger Verträge auf Spot-Märkten (Klatt 2011: 48). Bei beiden Koordinationsformen handelt es sich um idealtypische Formen, die im Rahmen der späteren Analyse anwendungsnäher verwendet werden (und dann eher Hybride in verschiedenen Ausprägungsformen darstellen).

wenn eine Investition außerhalb der zwischen zwei Geschäftspartnern getroffenen Vereinbarung einen weitaus geringeren Wert aufweist.[10]

Die Transaktionskostentheorie lässt sich grundsätzlich gut empirischen Phänomenen zuordnen und ermöglicht eine komparative Analyse verschiedener institutioneller Ausgestaltungsformen.[11] Wesentlich für die spätere Analyse ist dabei, ein umfassendes Verständnis für das technische System zu erlangen sowie wesentliche Akteure und deren Eigenschaften zu kennen. Als Ausgangspunkt für die Erstellung des Papers dienten die im Rahmen des Forschungsverbundes netWORKS bereits erfolgten Arbeiten sowie die im Rahmen des Vorhabens netWORKS3 von anderen Projektpartnern erstellten Arbeiten bzw. Ergebnisse. Weiterhin wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt.

Zudem wurden vier leitfadengestützte, qualitative Experteninterviews mit Entscheidungsträgern (Geschäftsführer, Abteilungsleiter) kommunaler Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen sowie mit Experten in der Siedlungswasserwirtschaft durchgeführt. Die hierfür ausgearbeiteten Leitfäden und ihre zentralen Fragestellungen wurden nach deren Erstellung innerhalb des Forschungsverbundes abgestimmt. Ziel der Interviews war es, sowohl technische als auch ökonomische Einschätzungen über neuartige Wasserinfrastrukturen zu generieren, welche aufgrund der Neuartigkeit der technischen Systeme derzeit nur bedingt und meist für konkrete Anwendungsfälle in der Literatur zu finden sind. Die Interviews wurden im Rahmen von persönlichen Gesprächen vor Ort geführt, um eine möglichst hohe Qualität in einem direkten Austausch sichern zu können. Die Gespräche dauerten jeweils etwa 2 bis 3 Stunden.

Die Aussagen der Gesprächspartner wurden mit dem Besuch diverser projektinterner wie auch projektexterner Workshops sowie Besprechungen und Abstimmungen innerhalb des Forschungsverbundes gehärtet. Die Ergebnisse der Interviews fließen im Rahmen dieses Berichtes insbesondere in die Beschreibung der technisch-systemischen Grundlagen in Kapitel 4 ein, wobei aufgrund der teilweise unterschiedlichen Einschätzungen der Experten sowie der Litera-

10 WILLIAMSON erläutert dies beispielhaft an Einzel- und Mehrzwecktechnologien und deren Wiederverwendbarkeit (Williamson 1990: 62). Dieser Wert, auch Quasi-Rente genannt, ergibt sich aus der Differenz des Ergebnisses des Faktoreinsatzes zwischen erst- und nächstbester Verwendung. Im Fall der Siedlungswasserwirtschaft könnte bspw. eine Investition in eine Anlage zur Abwasserbehandlung deutlich an Wert verlieren, wenn diese nach getätigter Investition nicht mehr oder nicht mehr mit der zuvor anvisierten Auslastung genutzt wird.

11 Vgl. zur empirischen Evidenz für die Transaktionskostentheorie z. B. (Economic Sciences Prize Commitee 2009: 4f.). Der Umgang mit externen Effekten dargestellt am Beispiel des Konfliktes zwischen zwei Akteuren über die Wasserqualität eines Flusses, verunreinigt durch Abwässer, wird bspw. häufig als Grund für die Überlegungen zur Einrichtung bestimmter Koordinationsformen angeführt. So stellte bspw. Ronald Coase hierzu seine Überlegungen über Koordinationsformen unter Berücksichtigung von Transaktionskosten an. Ein Beispiel für die Einführung von institutionellen Regelungen zur effizienten Koordination hinsichtlich der Qualität von Trink- und Abwasser ist das Wasserhaushaltsgesetz von 1960.

tur hinsichtlich der technischen und ökonomischen Vorteilhaftigkeit von verschiedenen Systemlösungen eine gewisse Unsicherheit besteht und diese auch zu berücksichtigen ist.[12]

12 Im Rahmen dieses Papers wird dies entsprechend durch Nutzung des Konjunktivs berücksichtigt.

3 Grundlagen und Vorbemerkungen zu Wasserinfrastruktursystemen

3.1 Grundlagen zur Wasserinfrastruktur

INVESTITIONEN IN WASSERINFRASTRUKTURSYSTEME

Bei der Errichtung des benötigten Wasserinfrastruktursystems bzw. der Einführung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme sind die Eigenschaften des technischen Systems zu berücksichtigen. So geht der Aufbau wie auch der Betrieb einer Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung mit einer hohen Kapitalintensität einher.[13] Weiterhin können die getätigten Investitionen in die leitungsgebundene Infrastruktur als sehr spezifisch angesehen werden, so dass diese außerhalb der ursprünglich angedachten Verwendung in der Regel nur über einen deutlich geringeren Wert verfügen. Die Nutzung der als versunken anzusehenden Investitionen ist meist über sehr lange Zeiträume von teilweise über 50 oder sogar 100 Jahren vorgesehen, wodurch Pfadabhängigkeiten entstehen können.[14] Dies bedeutet, dass Änderungen in bestehenden Wasserinfrastruktursystemen mit hohen Kosten z. B. in Form von Sonderabschreibungen einhergehen können. Fraglich ist dabei, ob solche Sonderabschreibungen auf die Nutzer in Form von Entgelten bzw. Gebühren übertragen werden können.[15]

Die genannten Eigenschaften können die Anpassungsfähigkeit in Bezug auf Änderungen der Wasserinfrastruktursysteme begrenzen, während diese Anpassungsfähigkeit beispielsweise durch technologische Entwicklungen bei der Haushaltsinfrastruktur, äußere Einflüsse wie Effekte des Klimawandels, aus ressourcenökonomischen Gründen oder durch demographischen Wandel künftig an Bedeutung gewinnen dürfte.[16] Des Weiteren sind bei der Errichtung der

13 Beispielsweise hatten die Aufwände für Abschreibungen und Zinsen im Abwasserbereich in Brandenburg im Jahr 2011 einen Anteil von 40 % an den Gesamtaufwendungen; bei der Trinkwasserversorgung waren es 33 % (Fahrenkrug et al. 2015). Im Rahmen einer Umfrage wird für das Jahr 2009 allgemein von einem Anteil von 44 % der Investitionskosten in Form kalkulatorischer Abschreibungen und Zinsen an den Gesamtkosten gesprochen (DWA 2010). Vgl. allgemein zu Abwasser auch (Holländer et. al. 2010: 51). Teilweise wird die Kapitalintensität auch mit Fixkosten verwechselt, wobei letztere entsprechend höher liegen und auf 70 bis 85 % geschätzt werden (BDEW 2011: 27).

14 Wie bereits beschrieben, sind Investitionen in Wasserinfrastruktursysteme in der Regel sehr spezifisch. Dies bedeutet dass sie außerhalb der eigentlichen Verwendung über einen geringeren Wert verfügen (beispielhaft sei auf die Investition in einen Abwasserkanal verwiesen, der nach der Investition aufgrund geänderter Rahmenbedingungen nicht mehr genutzt wird). Hierbei spricht man auch von versunkenen Investitionen (engl. „sunk costs“). Zur Dauer vgl. insbesondere die AfA-Tabelle der Energie- und Wasserversorgung des Bundesministeriums der Finanzen (BMF 1995); daher können sich bei Änderungen des Systems entsprechend auch Sonderabschreibungen ergeben. Vgl. auch (BDEW 2011: 25).

15 Vgl. hierzu (Trapp / Libbe 2016) sowie (Hanke 2016).

16 Zu diesen Entwicklungen und der Notwendigkeit neuartiger Wasserinfrastruktursysteme siehe neben den Ausführungen in Abschnitt 1 (DWA 2008) sowie (Gawel / Bedtke 2015).

Wasserinfrastruktur die dezentralen – in diesem Fall die lokalen – Gegebenheiten zu beachten, wodurch oftmals viel lokales Wissen für eine effiziente Wasserinfrastruktur in einem bestimmten Gebiet benötigt wird.[17]

Bestehendes Technisches System der Trinkwasserversorgung

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über das (konventionelle[18]) technische System der Wasserinfrastruktur gegeben, welches aktuell in Deutschland in der Regel vorzufinden ist.[19] Die Trinkwasserversorgung kann in die Stufen der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung, des -transports sowie des -verbrauchs unterteilt werden. Zur Trinkwassergewinnung können verschiedene Quellen wie Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser genutzt werden. An den eigentlichen Prozess der Trinkwassergewinnung schließt sich gegebenenfalls die Trinkwasseraufbereitung an, welche mittels physikalischen, chemischen oder biologischen Vorgängen durchgeführt wird. Der Transport des Trinkwassers findet in Deutschland leitungsgebunden über Trinkwasserrohre statt, wobei das Wasser meist über Hauptleitungen von den zentralen Trinkwassergewinnungsanlagen zu den Trinkwasserspeichern über Versorgungsleitungen zu den Hausanschlüssen der Verbraucher gelangt.

Bestehendes Technisches System der Abwasserentsorgung

Nach der Nutzung des Trinkwassers durch den Nutzer wird das Abwasser erfasst und zu den zentralen Behandlungsanlagen geleitet.[20] Üblicherweise findet dabei – eventuell mit Ausnahme von größeren Verbrauchern oder bestimmten Nutzungsgruppen für die spezielle Anforderungen gelten – keine Unterscheidung hinsichtlich des Verschmutzungsgrades des Abwassers statt, so dass vornehmlich häusliches Abwasser als eine Mischung aus Gelbwasser (Urin), Braunwasser (Fäzes), zusammengenommen auch Schwarzwasser genannt und Grauwasser abgeleitet

17 Zu lokalen Gegebenheiten siehe (Holländer et al. 2013), woraus sich u.a. der Bedarf von lokalen Wissen ergibt, welches bei Akteuren der Siedlungswasserwirtschaft in dieser Untersuchung als verortet gilt. Die Bedeutung von Wissen wird bspw. auch in (Gawel / Bedtke 2015) im Zuge der aktuellen Governance-Struktur der Wasserwirtschaft thematisiert. Dort wird allerdings der kommunalen Ebene „eine partielle Überforderung durch zunehmend anspruchsvolle kognitive Nachhaltigkeitsvoraussetzungen“ konstatiert.

18 Das konventionelle System soll im Rahmen dieses Projektes den vorherrschenden Status quo in der Abwasserentsorgung darstellen. Der Begriff dient der Abgrenzung zu den neuartigen Wasserinfrastrukturen und der vergleichenden Analyse, wobei in der Analyse ein abstraktes Modell des konventionellen Systems berücksichtigt wird.

19 Siehe hierzu bspw. auch Merkel et al. (2010: 161-171) sowie Tietz (2007).

20 Tietz definiert Abwasser als „das in seiner Eigenschaft veränderte sowie das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlagen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser, auch Regenwasser)“ (Tietz 2007: 228).

wird.[21] Der Transport erfolgt in der Regel über ein Schwemmsystem. Die in dem Abwasser enthaltene Energie (etwa in Form von Wärme) wird oftmals nicht genutzt und wird teilweise über die Kanalisation und teils nach der Kanalisation an die Umwelt abgegeben.

In der zentralen Abwasserinfrastruktur in Deutschland erfolgt die Ableitung entweder über einen Mischwasserkanal, in dem sowohl Abwasser als auch Niederschlagswasser gesammelt wird, oder über ein Trennsystem, das über einen Schmutzwasser- bzw. Abwasserkanal sowie einen Niederschlagswasserkanal (Regenwasser) verfügt. Die Schmutzwasserableitung erfolgt meist über die Kanalisation, wobei zwischen den (privaten) Anschlusskanälen auf den privaten Grundstücken (und der Hausinstallation/-infrastruktur) und den öffentlichen Kanälen mit Straßenkanälen, Nebensammlern und Hauptsammlern zu unterscheiden ist. Das Abwasser wird in der Regel in einer Kläranlage behandelt und aufbereitet um dann in einen Vorfluter eingeleitet zu werden. Die Abwasserbehandlung in den meist zentralen Behandlungsanlagen erfolgt über mechanische, biologische und chemische Reinigungsstufen. Bei der Behandlung entstehende Faulgase oder nutzbare Reststoffe dienen schon heute zum Teil der Energiegewinnung durch Verbrennung. Die je nach Art der Behandlung anfallenden Reststoffe wie etwa Asche und Gips können in der Bauindustrie als Baustoffe eingesetzt werden und die Schwermetallschlämme werden monodeponiert (Davoudi et al. 2016). Abbildung 1 zeigt schematisch die Stoffströme und deren Flüsse im Status quo auf.

21 Vgl. zu den Begrifflichkeiten auch (DWA 2008: 23).

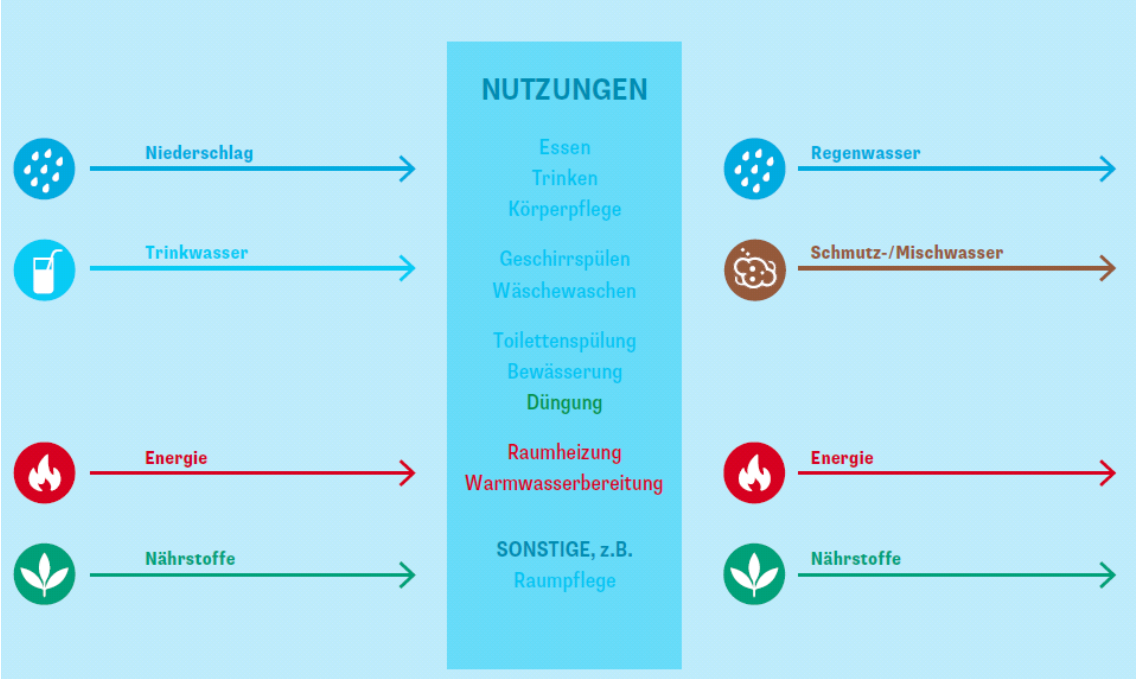


Abbildung 1 - Schematische Übersicht der Stoffströme im Status quo (Forschungsverbund netWORKS 2016)

3.2 Vorbemerkungen zu neuartigen Wasserinfrastruktursystemen und deren technische Module

3.2.1 Überblick über neuartige Wasserinfrastruktursysteme

Neuartige Wasserinfrastruktursysteme werden im Rahmen dieser Studie als jene (Teil- oder Sub-)Systeme definiert, welche eine getrennte Erfassung von Abwasserteilströmen mitsamt möglicher getrennter Behandlung und Nutzung, eine Rückgewinnung und Nutzung von Wärme aus den Stoffströmen an unterschiedlichen Orten, sowie die Verwertung von Abwasserinhaltsstoffen vorsehen und derzeit noch nicht der etablierten (konventionellen) Technik in Deutschland entsprechen (auch technische Module genannt).[22] Zwischen diesen einzelnen Subsystemen existieren gewisse Interdependenzen, insbesondere zwischen der Stoffstromtrennung und der Wärmerückgewinnung (WRG) sowie zwischen der Stoffstromtrennung und der Gewinnung und Nutzung von Abwasserinhaltsstoffen. Dennoch eignet sich die Einteilung in die einzelnen Subsysteme und deren technische Module gut, um im Folgenden Partialanalysen durchzuführen und diese dann anschließend durch eine Schnittstellenbetrachtung zwischen den Subsystemen zu integrieren. Ein besonderer Fokus liegt dabei zunächst auf der Partialanalyse zur Stoffstromtrennung im Abwasserbereich. Sie definiert die grundlegenden Systemvarianten, auf

22 Siehe hierzu auch die Definition von Neuartigen Sanitärsystemen (NASS) in (DWA 2008: 22). Für einen Gesamtüberblick über die Wasserinfrastruktur und insbesondere die Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme sei auch auf (Herbst 2008) sowie (Staben 2008) verwiesen.

deren Basis die Kompatibilität mit Ausgestaltungsvarianten der anderen Subsysteme geprüft wird. In Bezug auf die Trinkwasserversorgung wird eine weitgehende Beibehaltung des bestehenden Systems angenommen. Insofern sind lediglich die Rückwirkungen der Systemvarianten im Abwasserbereich auf das bestehende System der Analysegegenstand.

Möglichkeiten der Stoffstromtrennung und -aufbereitung sowie Nutzung

Im Gegensatz zum undifferenzierten Umgang mit Abwasserströmen im konventionellen System wird bei der neuartigen Abwasserentsorgung und -aufbereitung eine Aufteilung des Abwasserstroms in verschiedene Stoffströme vorgenommen.[23] Ziel der Stoffstromtrennung ist die unterschiedliche Behandlung bzw. Aufbereitung der verschiedenen Stoffströme bzw. darin enthaltener Stoffe für mehr Energieeffizienz und verbesserte Verwertungsmöglichkeiten von Reststoffen. Weiterhin erlaubt die Stoffstromtrennung möglicherweise eine gezieltere Nutzung von Wärme, die aus den Strömen übertragen und an anderer Stelle genutzt werden kann.

Das Abwasser bzw. Mischwasser kann in verschiedene Teilströme aufgeteilt werden, genauer das Niederschlagswasser und das Schmutzwasser.[24] Letzteres kann wiederum in Schwarzwasser, mit den Teilströmen Gelbwasser („Urin“) und Braunwasser („Fäzes“), und Grauwasser unterschieden werden (Staben 2008: 15). Grauwasser wird darüber hinaus häufig in stark („schweres“) und schwach belastetes („leichtes“) Grauwasser unterteilt, wobei eine genaue Abgrenzung der aus Bad, Küche und Waschmaschine stammenden Stoffströme nicht immer vorgenommen wird. Die Ableitung der Stoffströme zu den Behandlungsanlagen kann durch unterschiedliche Technologien bewerkstelligt werden. So kann der Transport zunächst leitungsgebunden über eine Schwemmkanalisation oder Vakuumableitung bzw. Unterdruckableitung durchgeführt werden. Allerdings ist eine Abführung mittels Vakuum bzw. Unterdruck aufgrund der damit verbundenen Kosten ökonomisch gemäß Expertenaussagen nur in sehr spezifischen Kontexten und kleinräumlich sinnvoll.[25] Der Transport von Abwasser kann auch nicht leitungsgebunden mithilfe von Fahrzeugen erfolgen. Derartige Modelle werden typischerweise für abgelegene Gegenden diskutiert.

Es ist möglich, dass bei neuartigen Abwasserentsorgungs- und -behandlungssystemen aufbereitetes Grauwasser direkt wieder einer Nutzung zugeführt wird, statt abgeleitet zu werden. Dieses Wasser mag in bestimmten Fällen die chemischen und mikrobiologischen Anforderungen an Trinkwasser erfüllen, dürfte jedoch in der Regel vorsorglich nur als Betriebswasser ge-

23 Für eine detaillierte Übersicht über Inhaltsstoffe des häuslichen Abwassers, seiner Teilströme, der Erfassung und des Transports sowie der Behandlung siehe (DWA 2008: 27ff.) sowie (Merkel et al. 2010: 161ff.).

24 Häufig werden sowohl Mischwasser als auch Schmutzwasser als „Abwasser“ bezeichnet.

25 Vgl. hierzu auch die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführte und sehr fallspezifische Machbarkeitsstudie von HamburgWasser (Werner / Giese 2016).

nutzt werden. Betriebswasser kann für bestimmte Anwendungen wie etwa zur Bewässerung oder Toilettenspülung und – bei entsprechender Akzeptanz – sogar zum Duschen oder für die Geschirrspülmaschine verwendet werden.

Abbildung 2 zeigt schematisch eine mögliche Stoffstromtrennung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme und Abbildung 3 zeigt eine anwendungsnahe Teilstromnutzung auf Quartiersebene.

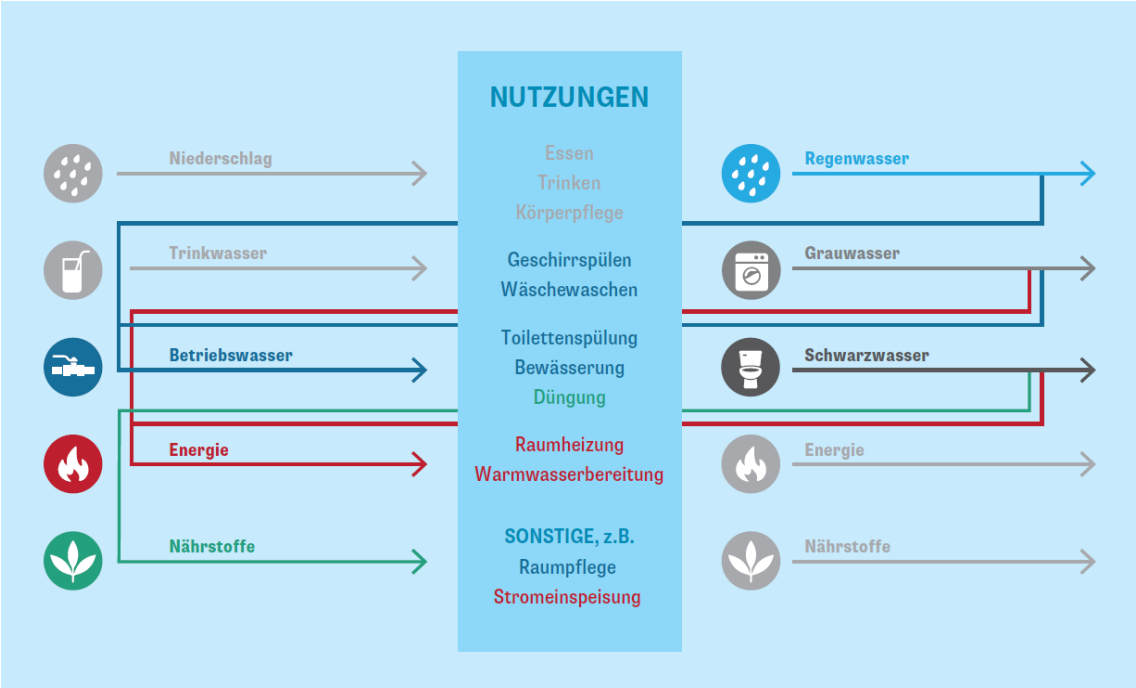


Abbildung 2 - Schematische Übersicht von Stoffströmen bei Regenwasser-, Grau- und Schwarzwasser- / Wärmebewirtschaftung (Forschungsverbund netWORKS 2016)

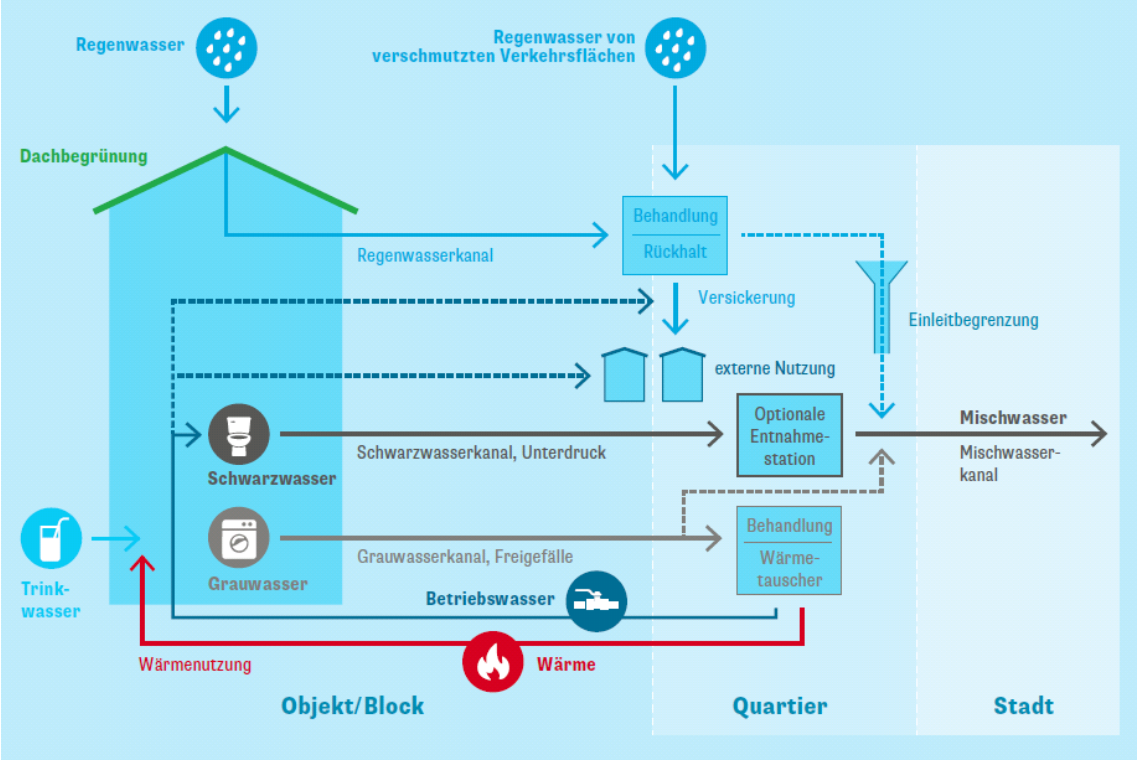


Abbildung 3 - Darstellung eines möglichen Wasserinfrastruktursystems am Beispiel des Struensee-Quartiers (Forschungsverbund netWORKS 2016)

Reifegrad der Technologien

Bezüglich des Reifegrads der neuartigen Wasserinfrastruktur ist festzustellen, dass die Technologien einen relativ neuartigen Charakter haben, insbesondere im Hinblick auf deren Verbreitung in der Praxis. Es existieren gemäß Aussagen der befragten Experten noch relativ wenige Erfahrungswerte hinsichtlich der Umsetzung und des Betriebs solcher Systeme in Deutschland, die über einen Charakter von Prototypen oder Forschungsarbeiten hinausgehen. Gleichwohl entsprechen die einzelnen Technologien teils dem Stand der Technik oder zumindest dem „Stand von Wissenschaft und Lehre“ (DWA 2008: 22). Das Wissen über neuartige Abwasserentsorgungs- und -behandlungssysteme und besonders über deren Anwendung dürfte unter Berücksichtigung der geringen Marktdiffusion nicht bei Abwasserentsorgungsunternehmen verankert sein. Das trifft vor allem für das Umsetzungswissen bezüglich der grundlegenden Systemvarianten zu – siehe Abschnitt 4 – dürfte jedoch in geringerem Umfang auch auf die Planung, den Bau und den Betrieb einzelner Anlagen zutreffen. Auch bei Akteuren der Siedlungswasserwirtschaft im weiteren Sinne dürfte das Wissen über diese Technologien unterschiedlich weit verbreitet sein.

Werden Stoffströme differenziert, so werden mehrere technische stoffstromspezifische (Teil-)Systeme und Abwasserinfrastrukturen notwendig. Dabei können zusätzliche Produktionskosten gegenüber dem konventionellen System entstehen, da Anlagen nicht im gleichen Maße

Skalenerträge realisieren können und zu einem gewissen Grad parallele Infrastrukturen etabliert werden. Zwischen den stoffstromspezifischen Infrastrukturen bestehen technische Schnittstellen und im Vergleich zum konventionellen System entstehen zusätzliche Schnittstellen und Koordinationsbedarf zwischen Aufgaben und Rollen. Dem potenziellen Mehraufwand stehen mögliche Effizienzgewinne und möglicherweise Zusatznutzen nicht realisierter Reststoff-, Brauchwasser- und Wärmepotenziale im konventionellen System gegenüber.

Weiterhin liegen bisher nur wenige Erkenntnisse zur Vorteilhaftigkeit der Anwendung der Technologien nach Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten und hinsichtlich der Ressourceneffizienz vor (siehe hierzu (Brunk et al. 2012), (Grazer Energieagentur GmbH 2007), (Herbst 2008), (Meinzinger 2010), (Remy 2010)). Für die Analyse von Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit gibt es im Forschungsverbund eigene Arbeitspakete, auf deren Ergebnisse an dieser Stelle verwiesen wird: (Davoudi et al. 2016) und (Felmeden et al. 2016). Allerdings können im Rahmen dieser Untersuchung keine definitiven Aussagen zur Vorteilhaftigkeit bestimmter Varianten getroffen werden. Es werden daher qualitativ-komparative Analysen zwischen unterschiedlichen institutionellen Regeln innerhalb und im Vergleich zwischen den einzelnen Systemvarianten vorgenommen, um die Vorteilhaftigkeit bestimmter institutioneller Regelungen hinsichtlich des Zielsystems herauszuarbeiten. Seitens des Forschungsverbundes netWORKS3 wird zunächst angenommen, dass diese neuartigen Technologien im Hinblick auf die Ressourceneffizienz und das Kosten-Nutzen-Verhältnis vorteilhaft im Vergleich zum aktuellen (konventionellen) System sein können.[26]

Mögliche Einsatzfelder neuartiger Wasserinfrastrukturen hinsichtlich Zeit und Ort

Bei neuartigen Wasserinfrastrukturtechnologien stellt sich die Frage, ob, in welcher räumlichen Umgebung und zu welchem Zeitpunkt deren Einführung sinnvoll sein kann. Mit der Frage des Zeitpunktes und der Gebiete für eine möglicherweise sinnvolle Einführung der Technologien wurde sich bereits im Rahmen von netWORKS2 beschäftigt (Kluge / Libbe 2010). So wurden als Gebiete insbesondere Transformationsgebiete, also Konversionsgebiete oder Gebiete in Innenstadtrandlage, sowie Gebiete mit einem hohen Bestand an Gebäuden mit Sanierungsbedarf identifiziert.[27]

26 Die endgültigen Ergebnisse der Forschungsarbeiten aus den einzelnen Arbeitspaketen, die sich mit diesen grundsätzlichen Fragen auseinandergesetzt haben, lagen zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieser Untersuchung noch nicht vor; vgl. http://www.networks-group.de/de/publikationen/networks-paper.html. Siehe zum Vorgehen zur umfassenden Bewertung insbesondere die Arbeiten der Integrierten Bewertung im Rahmen des Arbeitspaketes 4 (Felmeden et al. 2016). Zur Stoffstromanalyse zu verschiedenen Wasserinfrastruktursystemen in Frankfurter und Hamburger Quartieren siehe (Davoudi et al. 2016).

27 Siehe hierzu für weitere Ausführungen (Davoudi et al. 2016).

Im Rahmen dieser Arbeit soll nun untersucht werden, welche institutionellen Rahmenbedingungen den sinnvollen Einsatz neuartiger Wasserinfrastruktursysteme begünstigen und welche Koordinationsformen in diesem Kontext am geeignetsten erscheinen. Diese Untersuchung wird in einem zweiten Schritt auch die bestehenden Pfadabhängigkeiten von Wasserinfrastruktursystemen (mit selektivem Bezug zu Deutschland) kurz betrachtet.

3.2.2 Annahmen zu Niederschlagswasser und Löschwasser

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden verschiedene Annahmen hinsichtlich des Umgangs mit Niederschlagswasser und Löschwasser getroffen, die mehr oder weniger einem modernisierungsorientiertem Referenzszenario entsprechen: Das Niederschlagswasser wird annahmegemäß bereits durch den flächendeckenden Einsatz von Trennkanalisation bzw. örtlicher Versickerung erfasst (auch wenn in Deutschland aktuell noch häufig eine Mischkanalisation verwendet wird). Somit muss das Niederschlagswasser nicht oder wenn dann nur in geringem Maße bei der Analyse berücksichtigt werden. Abwasser bezeichnet folglich das Schmutzwasser aus häuslicher oder gewerblicher Nutzung von Trinkwasser.

Diese Vereinfachung hat nur in geringem Umfang eine Rückwirkung auf die Analyse der Systemvarianten. Zur Einordnung der Ergebnisse sei jedoch ergänzt, dass bei einer differenzierten Betrachtung von Niederschlagswasser, dieses als Substitut für aufbereitetes Grauwasser berücksichtigt werden könnte. Zum anderen kann eine Trennkanalisation Einfluss auf die Wärmerückgewinnung haben, denn durch diese könnten sich Änderungen hinsichtlich darin transportierter Wärme- und Volumenströme im Vergleich zu einer Mischkanalisation ergeben.

Von Auswirkungen einer Stoffstromtrennung auf die Löschwasserbereitstellung über die Trinkwassersysteme wird bei der vorliegenden Untersuchung abstrahiert, da grundsätzlich zunächst von einem hinreichenden Fortbestand der Trinkwasserkapazitäten oder von einer Substitution durch Oberflächenwasser ausgegangen wird.[28]

3.2.3 Aktuelle institutionelle Rahmenbedingungen der Siedlungswasserwirtschaft

Zur Gewährleistung einer den Güteanforderungen entsprechenden Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung existiert eine Vielzahl an Normen, Verordnungen und Gesetzen. Diese werden auf unterschiedlichen Ebenen und von verschiedenen Akteuren erlassen. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Ebenen sowie Normen, Verordnungen und Gesetze im Status Quo gegeben werden (siehe hierzu (Tauchmann et al. 2006), (Gawel 2015), (Libbe et al. 2010),

28 Die Umstellung des Wasserinfrastruktursystems könnte Auswirkungen auf die Bereitstellung des Löschwasser haben, z. B. könnte eine separate Löschwasserversorgung nötig sein (Davoudi et al. 2016). Wie auch in den anderen Arbeitspaketen des Forschungsprojektes wird auch im Rahmen dieser Untersuchung von Auswirkungen abstrahiert. Dieses Themenfeld bietet aber weiteren Forschungsbedarf, insbesondere sind zunächst die technischen Auswirkungen darzustellen, um im Anschluss institutionenökonomische Analysen durchführen zu können.

(Hanke 2010), (Hanke 2016)). Der aktuelle institutionelle Rahmen hat sich in einem Wechselspiel mit den gängigen Technologien im konventionellen System der Siedlungswasserwirtschaft entwickelt und dieses gleichermaßen mitgestaltet haben.[29] Somit ist von großen Pfadabhängigkeiten bei der institutionellen Ausgestaltung auszugehen.[30]

Regelsetzung für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung erfolgt auf der Ebene der Europäische Union (EU), des Bunds, der einzelnen Bundesländer sowie der Kommunen. Weiterhin existieren Verbände und Organisationen wie bspw. die DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) und DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.), die bestimmte Normen setzen. Als für die Siedlungswasserwirtschaft wesentliche Regelungen sind u. a. die Abwasserwasserverordnung (AbwV) sowie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zu nennen.

Eine Sonderrolle fällt in der derzeitigen institutionellen Ausgestaltung den Kommunen zu, da die Aufgabe der Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung ihnen zugeordnet ist[31] – unter der Aufsicht der Bundesländer. Die Abwasserentsorgung stellt eine hoheitliche Aufgabe der Gemeinden in Deutschland dar, wodurch diese eine Freistellung von bestimmten Steuern wie Umsatzsteuer und Gewerbesteuer erfährt. Gemeinden können – unter Berücksichtigung von spezifischen Regelungen wie den Gemeindeordnungen der Bundesländer – bspw. mithilfe der kommunalen Bauleitplanung oder Gemeindeordnungen wesentliche institutionelle Rahmenbedingungen für das Wasserinfrastruktursystem auf einer lokalen Ebene gestalten (Hanke 2010). Dies gilt insbesondere auch für neuartige Wasserinfrastruktursysteme, welche mittels verfügba-

29 Der Aufbau einer zentralen Versorgung von deutschen Städten und ländlichen Regionen mit Trinkwasser wurde vor etwa 150 Jahren begonnen. Bereits frühzeitig wurde dabei auf eine hohe Qualität des Trinkwassers Wert gelegt, was sich bis heute im Rahmen verschiedener oftmals gesetzlicher Vorgaben auf unterschiedlichen Ebenen fortsetzt. Aufgrund der mit der größeren Verfügbarkeit von Trinkwasser verbundenen Mengen an Abwasser wurden nach und nach Abwasserentsorgungssysteme installiert, wobei sich das System der Schwemmkanalisation durchgesetzt hat. Ebenso wie bei der Trinkwasserversorgung wurden auch bei der Abwasserentsorgung Regeln hinsichtlich der Qualität eingeführt und im Laufe der Jahre weiter verfeinert. Gerade die bei Abwasser entstehenden negativen externen Effekte, von welchen besonders flussabwärts gelegene Siedlungen betroffen sind, veranlassten die beteiligten Akteure zum Aufstellen von Koordinationsmechanismen, um andernfalls auftretende Konflikte und damit verbundene Transaktionskosten zu reduzieren. Für eine ausführliche Übersicht zur Entstehung der bestehenden Systeme zur Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung in Deutschland siehe (Kluge / Schramm 2010), (Tauchmann et al. 2006), (Tietz (2007) sowie (Gawel 2015). Im Allgemeinen wurde diese Übersicht (Kluge / Schramm 2010) entnommen und hier systematisierend dargestellt.

30 Pfadabhängigkeiten können hier aus technischer wie auch aus institutioneller Sicht vorliegen. Siehe hierzu auch (Gawel / Bedtke 2015: 9) Aufgrund der institutionellen Pfadabhängigkeiten im Status quo ist damit zu rechnen, dass Änderungen mit Kosten einhergehen, da auch Design-, (politische) Durchsetzungs- und Implementierungsprobleme zu berücksichtigen sind.

31 Diese Aufgaben werden landesrechtlich nur teilweise pflichtig definiert. De facto dürfte jedoch grundsätzlich eine Gewährleistungspflicht bestehen.

rer Instrumente wie (städtebaulichen) Verträgen regelbar (bzw. vorschreibbar) erscheinen (Libbe et al. 2010: 114), (Hanke 2010: 129). Selbst ein Eingriff in Privateigentum scheint möglich, sofern er verhältnismäßig ist und dem Wohle der Allgemeinheit dient (Hanke 2010: 136f.). Falls die Gemeinde zu bestimmten Vorschriften nicht befugt ist, wie es etwa bei hausinternen Installationen zur Ressourcenschonung der Fall sein könnte, ist weiterhin die Einführung von Bauvorschriften bei der Erfassungsinfrastruktur in Häusern auf Landesebene denkbar.

Bei der Betrachtung der Nutzung von Betriebswasser bspw. aus aufbereitetem Grauwasser ist auf die steuerliche Behandlung sowie Entgelte bei Brauch- und Trinkwasser hinzuweisen. So ist die Lieferung von Betriebswasser durch einen privaten Dritten im Vergleich zu Trinkwasser mit einer höheren Mehrwertsteuer belastet (19 % statt 7 %). Andererseits entfallen teilweise Konzessionsabgaben und Wasserentnahmeentgelte bei der Nutzung von Betriebswasser.[32]

32 Dies ist insbesondere nur der Fall, wenn direkt auf dem privaten Grundstück (oder in Kooperation mit anderen Grundstückseigentümern) agiert wird.

4 Technisch-systemische Grundlagen der Subsysteme neuartiger Wasserinfrastruktur

4.1 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem Abwasser und betrachtete Modellvarianten neuartiger Abwasserentsorgung und –aufbereitung

Die im Folgenden dargestellten Möglichkeiten der Stoffstromtrennung beim Subsystem Abwasser sowie der verschiedenen Wertschöpfungsstufen und räumlichen Betrachtungsebenen ergeben jeweils verschiedene technische Varianten, die teilweise unabhängig voneinander eingesetzt werden können. Für die Darstellung der möglichen Varianten von Abwasserentsorgungssystemen sind neben den Möglichkeiten der Stoffstromtrennung wie in Abschnitt 3.2.1 ausführlich dargestellt, die Wertschöpfungsstufen sowie die räumlichen Ebenen von Bedeutung. So kann die gesamte Wertschöpfungskette, wie bereits dargelegt, in die Trink- bzw. Betriebswassernutzung, die Abwassererfassung, den Abwassertransport, die Abwasserbehandlung (bzw. –aufbereitung) sowie die Abwasserverwertung unterteilt werden.

Im Hinblick auf die räumliche Ebene, in der die jeweiligen Stufen zu lokalisieren sind, können die Gesamtstadt, das Stadtteilgebiet, das Quartier, der Block sowie das Haus unterschieden werden. Häufig wird bei sehr abstrakten Untergliederungen auch von der zentralen, semizentralen und dezentralen Ebene gesprochen. Im Rahmen dieses Papers und auch mit Bezug zu den anderen Arbeitspaketen des Forschungsverbundes wird eine Unterteilung in Haus / Block (dezentral), Quartier / Stadtteilgebiet (semizentral) sowie Stadt (zentral) vorgenommen.

Aus dem dargestellten Variantenspektrum differenzierter Abwassersysteme hinsichtlich Stoffstromtrennung, Wertschöpfungsstufen und räumlicher Betrachtungsebenen werden nun diejenigen wesentlichen Varianten beschrieben sowie technisch und ökonomisch eingeordnet, welche im Rahmen der nachfolgenden Analyse untersucht werden. Die vorgestellten Varianten entsprechen dem Stand der Wissenschaft und sind aktuellen Planungen in den verschiedenen Modellgebieten des Forschungsprojektes angelehnt. Dabei werden hier, wie in anderen Arbeiten des Forschungsverbundes auch, nur diejenigen Modellvarianten betrachtet, deren Umsetzung in naher Zukunft in Deutschland möglich erscheint.[33]

4.1.1 Zentrale Abwasserentsorgung

In dieser Modellvariante wird davon ausgegangen, dass keine Stoffstromtrennung bei der Erfassung vorgenommen wird.[34] Die Behandlung des Abwassers erfolgt in einer zentralen Behandlungsanlage, anschließend könnte der Klärschlamm verbrannt werden oder zunächst in die

33 Varianten wie ein 3-Stoff-Strom-System sowie ein Wassersparkonzept mit dem möglichen Verzicht auf eine leitungsgebundene Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung werden daher nicht betrachtet. Weiterhin wäre theoretisch eine Vielzahl weiterer Varianten möglich, deren Beschreibung und Analyse im Rahmen dieses Papers jedoch nicht geleistet werden kann.

34 Wie bereits beschrieben, wird von einer Trennkanalisation ausgegangen.

Vergärung – eventuell mit Beimischung von Co-Substraten – gehen.[35] Wie bereits beschrieben wird angenommen, dass die Abwassererfassung über eine Trennkanalisation erfolgt und Niederschlagswasser wird somit nicht weiter betrachtet. Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung einer zentralen Abwasserentsorgung.

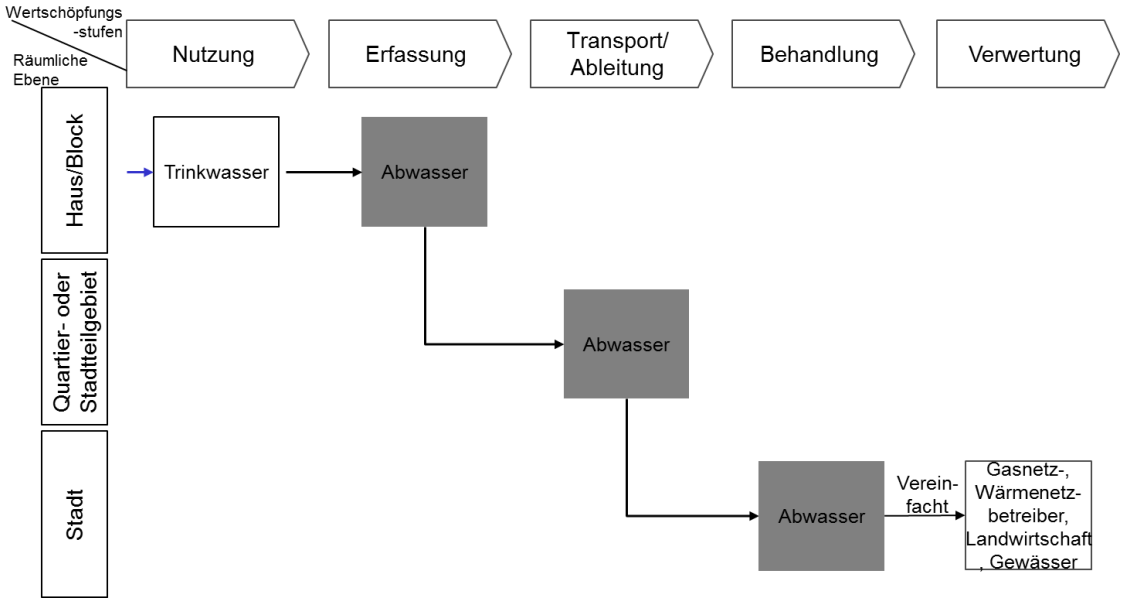


Abbildung 4 - Überblick Zentrale Abwasserentsorgung

4.1.2 Zentrales Schwarzwassersystem und semizentrales Grauwassersystem

In dieser Modellvariante erfolgt auf der Haus / Block-Ebene bei der Erfassung der Stoffströme eine Trennung in Grau- und Schwarzwasserstrom.[36] Nach dem Transport zur Quartiers- bzw. Stadtteilebene findet eine Behandlung des Grauwassers statt. Dabei handelt es sich meist um leichtes Grauwasser, welches entsprechend behandelt wiederum als Betriebswasser genutzt oder alternativ in den Vorfluter eingeleitet werden kann.[37] Das Schwarzwasser wird zur zentralen Behandlungsanlage transportiert und dort behandelt. Der Transport des Schwarzwassers kann gegebenenfalls auch mittels Vakuumtransport erfolgen, wodurch sich der Anteil von Wasser am Stoffstrom verringert und sich dessen Aufbereitung möglicherweise effizienter gestalten lässt.

35 Vgl. hierzu auch (Davoudi et al. 2016).

36 Eine weitere Unterscheidung von Grauwasser in „leichtes“ und „schweres“ ist für die Analyse nicht erheblich und wird daher nicht vorgenommen.

37 Es ist denkbar, dass zunächst nur ein Teil des Grauwassers aufbereitet wird bzw. eine Unterscheidung von leichtem und schwerem Grauwasser vorgenommen wird und dieses aufbereitete Grauwasser auch nur zu einem gewissen Grad als Betriebswasser genutzt wird, bspw. für die Toilettenspülung.

Potentielle Vorteile dieser (Modell-)Variante sind Energieeffizienzgewinne beim Transport aufgrund eines geringerem Transportvolumens bzw. -strecke sowie der Aufbereitung von Schwarz- und Grauwasser (durch gezieltere Aufbereitung je nach Eigenschaften des Stoffstroms) und im Vergleich zur zentralen Abwasserentsorgung geringerer Verbrauch von Trinkwasser durch Nutzung des aufbereiteten Grauwassers. Abbildung 5 stellt die vorgestellte Modellvariante schematisch dar.

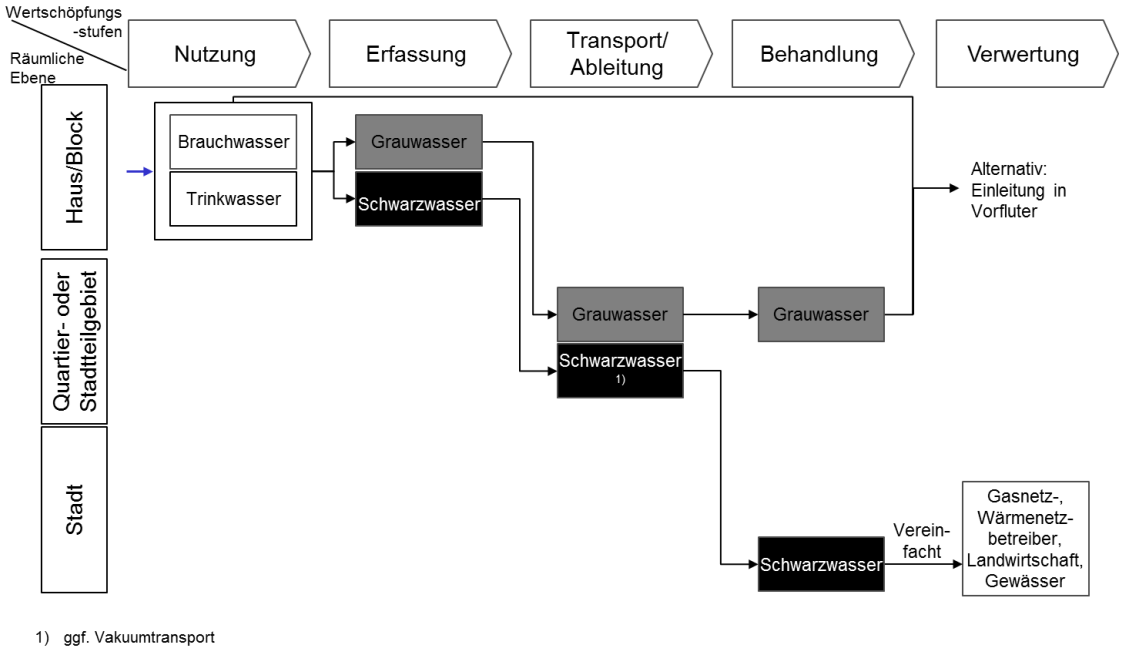


Abbildung 5 - Überblick Zentrales Schwarzwassersystem und semizentrales Grauwassersystem

4.1.3 Zentrales Schwarzwassersystem und dezentrales Grauwassersystem

Diese Modellvariante unterscheidet sich nur insoweit von der vorherigen Modellvariante, als dass das Grauwasser hier auf dezentraler Ebene, nämlich im Haus / Block, aufbereitet und dort als Betriebswasser wieder genutzt wird. Somit gelten für diese Modellvariante die gleichen Annahmen wie für die vorherige Modellvariante, jedoch könnten sich hinsichtlich der Rollen bzw. deren Wahrnehmung durch Akteure bei der zu wählenden Koordinationsform Unterschiede ergeben, da sich das dezentrale Grauwassersystem im privaten Bereich befindet. Ferner könnte eine Grauwasseraufbereitung auf dezentraler Ebene mit höheren volkswirtschaftlichen Kosten verbunden sein als eine semizentrale Grauwasseraufbereitung.[38] Einen schematischen Überblick gibt Abbildung 6.

38 Vgl. für weitere Daten u.a. die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführte Machbarkeitsstudie von HamburgWasser (Werner / Giese 2016). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese Machbarkeitsstudie sehr fallspezifisch ist und aus der Perspektive eines integrierten Trinkwasserver-

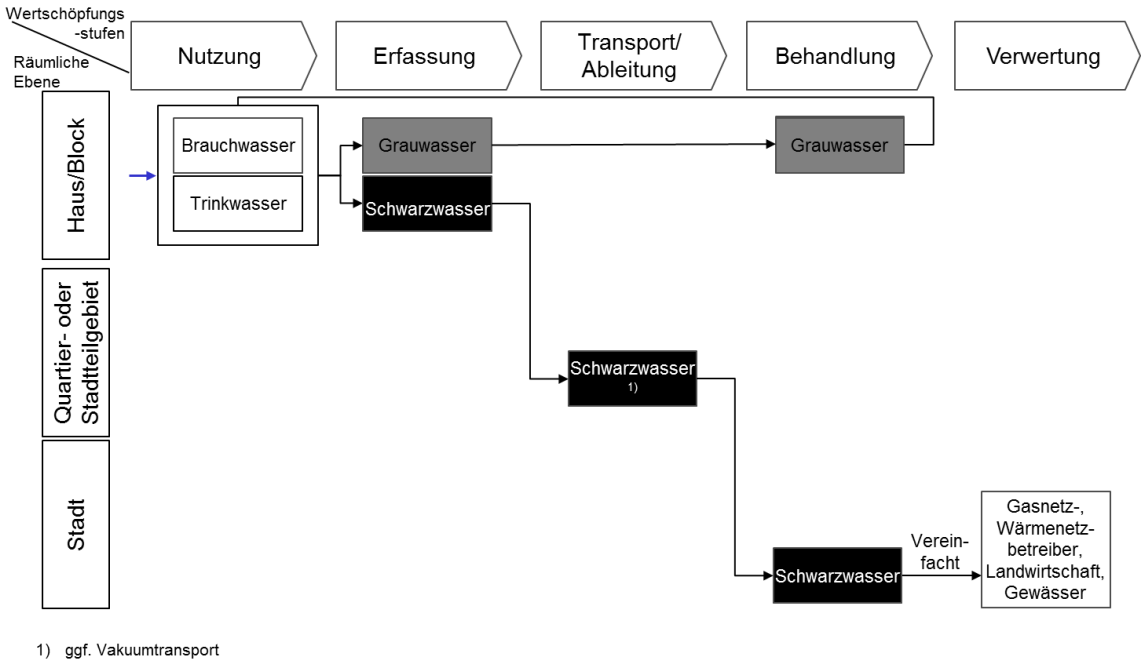


Abbildung 6 - Überblick Zentrales Schwarzwassersystem und dezentrales Grauwassersystem

4.1.4 Semizentrales Schwarz- und Grauwassersystem

Die Schwarzwasseraufbereitung kann statt zentral auch auf einer semizentralen Ebene, also im Quartier bzw. Stadtteil, erfolgen. Diese Modellvariante wird in Abbildung 7 schematisch dargestellt. Hierbei findet ebenfalls eine Stoffstromtrennung statt und der Transport des Schwarzwassers könnte – wie in den beiden vorangegangenen Modellvarianten – anstelle einer Schwemmkanalisation auch per Vakuum erfolgen. Vorteil gegenüber den anderen Modellvarianten kann eine weiter erhöhte Energieeffizienz beim Transport sein, welche bezogen auf die Modellvarianten mit zentralem Schwarzwassersystem insbesondere auch durch die deutlich geringeren Wege bis zur Behandlungsanlage realisiert wird. Die Aufbereitung des Schwarzwassers auf Quartiers- bzw. Stadtteilebene kann sowohl energetisch als auch hinsichtlich der Behandlung von Rückständen bspw. aus Medikamenten gemäß Expertenangaben vorteilhaft sein. Voraussetzung im Hinblick auf den Schwarzwasserstrom dürften hierfür allerdings bestimmte Mindestmengen und Mindestanforderungen, auch hinsichtlich der Stoffstromzusammensetzung,

und Abwasserentsorgers erstellt wurde. Andererseits wurde in Interviews mit Experten der Siedlungswasserwirtschaft daraufhin hingewiesen, dass eine dezentrale Grauwasseraufbereitung und -nutzung – zumindest aus einzelwirtschaftlicher Betrachtungsperspektive – ökonomisch vorteilhaft sein könnte.

sein. Wie schon in den beiden anderen Modellvarianten können die Reststoffe aus der Aufbereitung anderweitig eingesetzt werden, bspw. zur energetischen Nutzung.[39]

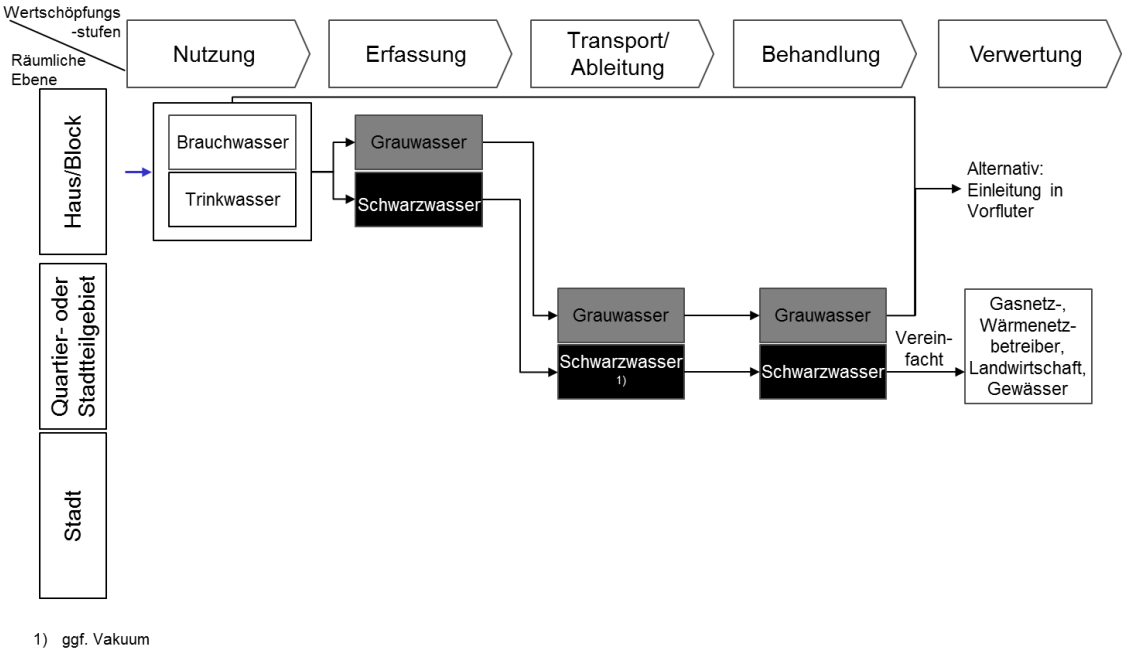


Abbildung 7 - Überblick Semizentrales Schwarz- und Grauwassersystem

4.2 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem Wärmerückgewinnung und -nutzung

Nachdem im vorherigen Abschnitt das Subsystem Abwasserentsorgung beschrieben wurde, wird nun eine Darstellung des Subsystems der Wärmerückgewinnung und -nutzung vorgenommen. Dieses Subsystem kann an einzelne Module des Subsystems Abwasserentsorgung angekoppelt werden, so dass eine Vielzahl an Varianten für neuartige Wasserinfrastruktursysteme denkbar sind.

4.2.1 Mögliches Variantenspektrum der Wärmerückgewinnung und -nutzung

Technisch-systemische Grundlagen

Die Wärmerückgewinnung bzw. der Austausch oder Entzug von Wärme kann über verschiedene technische Vorrichtungen erfolgen, wobei insbesondere die Technologie des Wärmetauschers hinreichende Erfahrungswerte bietet und dem aktuellen Stand der Technik entspricht.[40]

39 Eine Systemvariante für die dezentrale Schwarzwasseraufbereitung wird im Rahmen dieses Papers nicht betrachtet, da diese nicht Gegenstand der im Forschungsverbund untersuchten Systeme ist und vermutlich auch mit gewissen hygienischen Problemen verbunden sein dürfte.

40 Für einen kurzen und allgemeinen technischen Überblick zur Wärmerückgewinnung und -nutzung siehe Brunk et al. (2012) sowie Merkel et al. (2010: 177ff.).

Ein Wärmetauscher kann zudem mit Wärmepumpen kombiniert werden, die durch Zuführung von mechanischer bzw. elektrischer Energie einen höheren Nutzungsgrad bei der Wärmerückgewinnung ermöglichen. In den hier betrachteten Fällen sollen als Wärmequelle stets die verschiedenen Abwasserteilstoffströme dienen.

Es ist zu beachten, dass neben den unterschiedlichen Stoffströmen bei der Wärmerückgewinnung auch Unterschiede im Hinblick auf die räumlichen Ebenen existieren können, woraus sich wiederum bestimmte Eigenschaften des Wärmeprofils ergeben können. So kann die Wärmerückgewinnung auf Haus- / Blockebene aufgrund eher kleinerer Einheiten mit sehr unterschiedlichen Wärmeprofilen und eher geringeren Volumina einhergehen, wobei aufgrund geringerer Leitungslängen von geringeren Temperaturverlusten ausgegangen werden kann. Auf Ebene der (öffentlichen) semi- bzw. zentralen Kanalisation dürfte ein geringeres Temperaturniveau erreicht werden, aber dafür dürfte ein größerer und gleichmäßigerer Volumenstrom als auf dezentraler Ebene vorhanden sein. Bei der Behandlungsanlage, bei der die Wärmerückgewinnung meist nach der Behandlung erfolgt, ist davon auszugehen, dass die Stoffstromtemperatur bereits nahe der Umgebungstemperatur liegt. Zudem ist anzunehmen, dass die Behandlungsanlage in relativ großer Distanz zu möglichen Verbrauchern liegt.

Bei der Wärmenutzung wird die zurückgewonnene Energie in Form von Wärme durch einen Wärmetauscher an einen anderen Kreislauf (Senke) abgegeben, der die Wärme aufnimmt. Als Wärmesenke kann wiederum die dezentrale Ebene im Haus / Block genutzt werden, wobei hier auf die Höhe und die zeitliche Struktur des Wärmebedarfs zu achten ist. Bei der Kanalisation kann als Wärmesenke ein Objekt- bzw. Fernwärmenetz genutzt werden, welches die Wärme über bestimmte Strecken zu anderen Verbrauchern transportiert (sofern das Temperaturniveau der Wärmequelle ausreicht).[41] Auf Ebene der Behandlungsanlage ist darauf zu achten, ob diese überhaupt einen ausreichend hohen Wärmebedarf hat und wie groß der Abstand zu potenziellen Wärmenutzern ist.[42]

Für die Wärmerückgewinnung am (öffentlichen) Abwasserkanal werden je nach Einsatzort größere Einbaumaßnahmen sowie Gerätschaften benötigt. So kann beispielsweise die Wärmerückgewinnung im Kanal einen Umbau des Kanals inklusive der Errichtung eines sogenannten Bypasses nach sich ziehen. Weiterhin ist auch bei einer Wärmerückgewinnung und -nutzung im selben Gebäude der notwendige Einbau von Versorgungsleitungen zu berücksichtigen, was insbesondere bei Bestandsbauten eine Erhöhung der technischen Komplexität mit sich bringen kann.

41 Teilweise wird bei Fernwärmenetzen mit einer relativ geringen Größe auch von Nahwärmenetzen gesprochen.

42 Die Wärme kann zur Beheizung von Räumerlaufbahnen, zur Trocknung von Klärschlämmen und zur Beheizung vom Betriebsgebäude genutzt werden (LfU 2013: 15).

Abbildung 8 stellt die betrachteten und beschriebenen Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung (Wärmequelle) und -nutzung (Wärmesenke) schematisch dar.

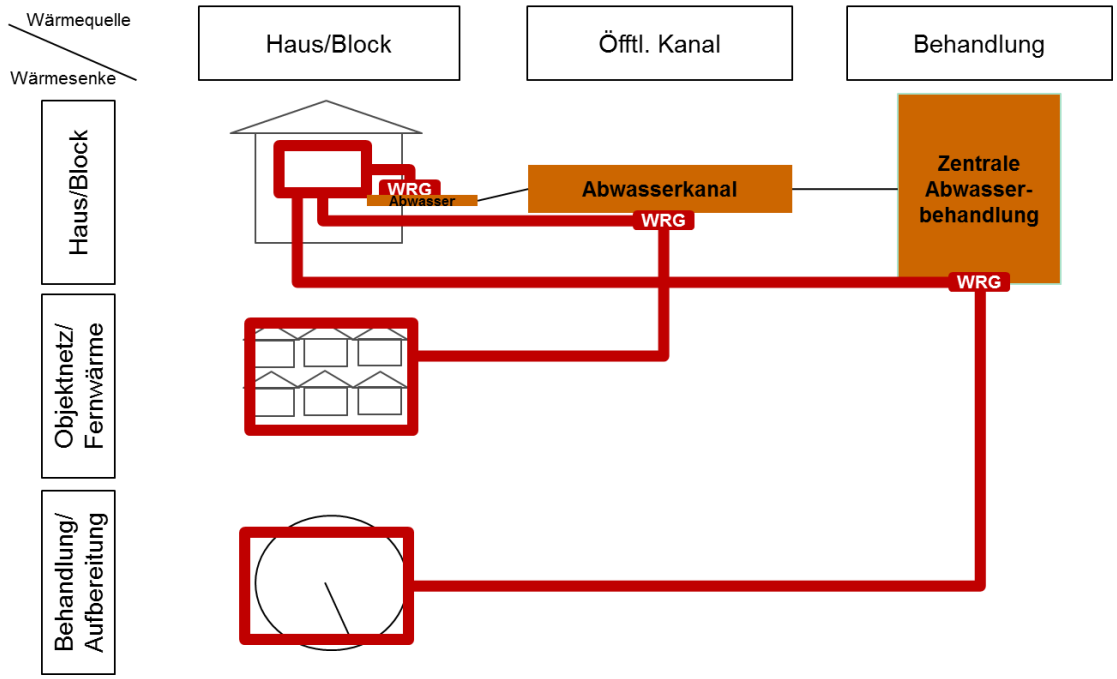


Abbildung 8 - Überblick Wärmerückgewinnung und -nutzung ohne Stoffstromtrennung

Interdependenzen bei der Wärmerückgewinnung und -nutzung

Bei der Wärmerückgewinnung sind gewisse Interdependenzen zwischen den Wärmequellen zu berücksichtigen. So kann eine Wärmerückgewinnung an einer relativ dezentralen Quelle und damit in einer entsprechend „frühen“ Wertschöpfungsstufe der Abwasserentsorgung möglicherweise Rückwirkungen auf das Wärmepotenzial auf nachgelagerten Stufen haben. Wird beispielsweise Wärme bereits im Haus / Block zurückgewonnen, wird für den nachgelagerten Kanal ein geringeres Wärmepotenzial zur Verfügung stehen. Hierdurch können bereits getätigte Investitionen entwertet bzw. die Anreize für Neuinvestitionen in solche Wärmerückgewinnungssysteme verringert werden. Eine derartige Reduktion des Wärmepotenzials für nachfolgende Wertschöpfungsstufen ist aber zunächst kaum zu erwarten, da dies eher bei sehr großflächigem Einsatz von Wärmerückgewinnung entsprechende Auswirkungen haben dürfte.

Weiterhin können geringere Wärmebedarfe den Wert bereits getätigter Investitionen in die Wärmerückgewinnung reduzieren. Dies könnte beispielsweise dann der Fall sein, wenn dezentral umfangreich in die Wärmeeinsparung investiert wird. Allerdings dürften die Potenziale der Wärmerückgewinnung aus Abwasser laut Expertenaussagen nicht so erheblich sein, als dass

sich durch mögliche Einsparpotenziale beim Wärmebedarf erhebliche Auswirkungen im Hinblick auf getätigte Investitionen ergeben.[43]

Kopplung der Infrastruktursysteme: Abwasserentsorgung und Wärmerückgewinnung und -nutzung

Bei dem Subsystem Wärmerückgewinnung und -nutzung kann die Vorteilhaftigkeit bestimmter technischer Varianten auch in Abhängigkeit der Stoffstromtrennung variieren. Die folgende Betrachtung wird daher unter Berücksichtigung der vorgestellten Modellvarianten hinsichtlich des Subsystems Abwasserentsorgung vorgenommen, wobei jedoch nur eine generelle Darstellung erfolgt.

Eine Stoffstromtrennung kann insbesondere Vorteile hinsichtlich der Effizienz der Wärmerückgewinnung haben, denn bestimmte Stoffströme können eine höhere Energiedichte im Hinblick auf die transportierte Wärme aufweisen (Menger-Krug et al. 2010).[44] Weiterhin können gemäß Expertenaussagen bestimmte Stoffe in den Strömen vorteilhaft bzw. negativ für den Wirkungsgrad eines Wärmetauschers sein, so dass sich durch eine sinnvolle Abstimmung von Wärmerückgewinnung und Stoffstromtrennung günstigere Produktionskosten erreichen lassen. Auch mit Bezug zur räumlichen Verortung der Wärmerückgewinnung (und dann auch der Wärmenutzung) lassen sich möglicherweise Effizienzvorteile heben. Beispielhaft sei hier auf eine Wärmerückgewinnung aus leicht verschmutzten Grauwasser (z. B. Duschwasser) hingewiesen, das mit einer relativ hohen Temperatur dezentral erfasst wird, direkt im Haus wieder genutzt wird und aufgrund der im geringeren Maße vorhandenen Fettstoffe auch den Wärmetauscher nicht stark verschmutzt. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auf das Wärmeprofil sowohl der Wärmequelle als auch der -senke zu achten.

Weiterhin könnte die Trennung von Stoffströmen die Eignung einer Wärmerückgewinnung an bestimmten Stellen im Kanal reduzieren. Ist beispielsweise die Wärmerückgewinnung auf einen hohen Volumenstrom an einem Kanal (z. B. eine Sammelleitung als Druckrohrableitung zu einer zentralen Behandlungsanlage) ausgelegt und erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt im System eine Stoffstromtrennung mit vermehrter de- bzw. semizentraler Aufbereitung von Grauwasser, könnten sich die Volumenströme im Kanal deutlich verringern. Hierdurch würden bereits getätigte Investitionen entwertet bzw. die Anreize für Neuinvestitionen in solche Wärmerückgewinnungssysteme reduziert.

Abbildung 9 zeigt die beschriebenen Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung und -nutzung mit Stoffstromtrennung schematisch auf.

43 Die durch Wärmerückgewinnung zurückgewonnene Energie reicht für ca. 10 – 18,5 % des Wärmebedarfs (Davoudi et al. 2016), abhängig von betrachteten Systemen und gesetzten Annahmen.

44 Eine umfangreiche Ausarbeitung dieses Konzeptes findet sich in Brunk et al. (2012: 5ff.).

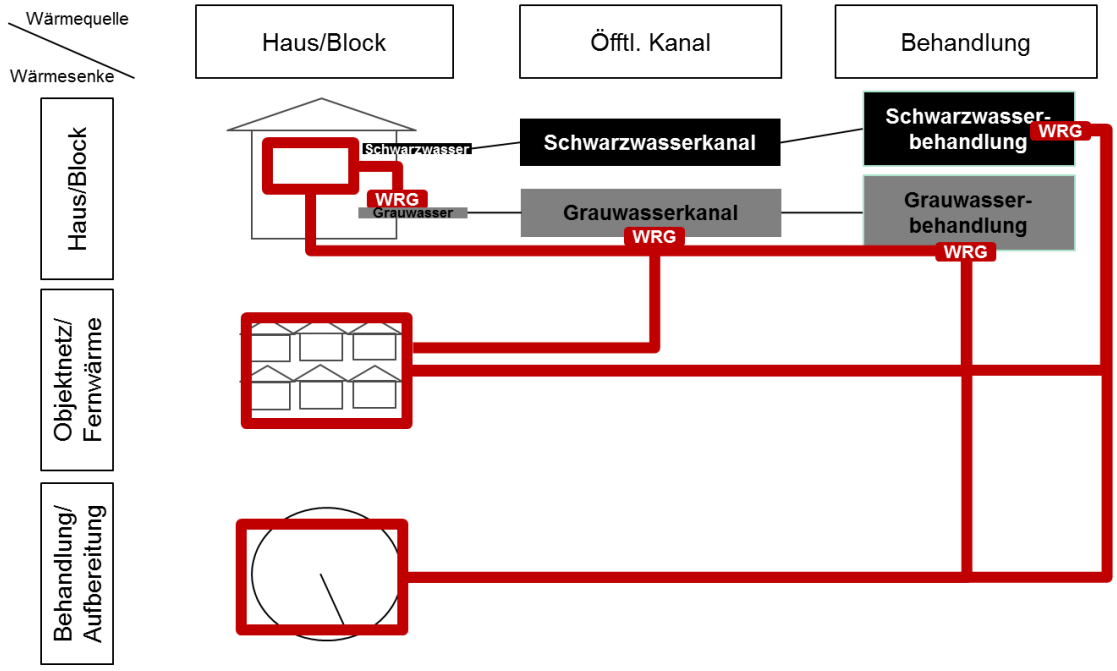


Abbildung 9 - Überblick Wärmerückgewinnung und -nutzung mit Stoffstromtrennung

4.2.2 Betrachtete Varianten der Wärmerückgewinnung und -nutzung

Die im Rahmen dieses Papers betrachteten Varianten der Wärmerückgewinnung und -nutzung werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Wärmerückgewinnung und -nutzung im Haus / Block

Bei dieser Variante wird Wärme im Haus / Block (bzw. Gebäude) zurückgewonnen und sogleich im Haus / Block verwendet, wobei zwar auch Schwarzwasserströme genutzt werden können, eine Verwendung von Grauwasser aufgrund in der Regel höheren Temperaturen sowie der möglicherweise geringeren Verunreinigung mit Störstoffen aber geeigneter sein könnte. Dem Abwasserstrom wird durch Wärmetauscher Wärme entzogen und dann (teils über eine zwischengeschaltete Wärmepumpe) zur Vorwärmung des genutzten Wassers verwendet.[45] Im Falle eines Neubaus können die technischen Einrichtungen im Gebäude sehr effizient geplant werden, so dass nur geringe Entfernungen zu überbrücken sind. Da die Nutzung von Wärmerückgewinnung in den allermeisten Anwendungsfällen nicht den gesamten Wärmebedarf deckt, benötigt dieses Konzept eine zusätzliche Wärmequelle zur ausreichenden Wärmeversorgung.

Die potentielle technische Vorteilhaftigkeit dieser Modellvariante liegt in der direkten Wärmenutzung vor Ort sowie der möglicherweise höheren Effizienz durch ein höheres Temperaturniveau

45 Siehe allgemein für das System der Wärmerückgewinnung und -nutzung im Haus / Block auch Menger-Krug et al. (2010) und Brunk et al. (2012).

bei der Wärmerückgewinnung. Allerdings sind aufgrund der relativ geringen anzunehmenden Größe der Abwasser- bzw. Grauwasserströme kaum Skaleneffekte zu erwarten. Zudem ist sowohl von einem ungleichmäßigeren Wärmebedarfsprofil als auch Wärmepotenzialprofil auszugehen als dies bei größeren, zentraleren Einheiten der Fall wäre. Aus ökonomischer Perspektive kann für diese Systeme keine generelle Vorteilhaftigkeit festgestellt werden, da im Einzelfall die Kosten dieser und anderer Technologien in der konkreten technischen Umsetzung sehr unterschiedlich ausfallen können. Jedoch könnte sich die Vorteilhaftigkeit bei zunehmenden Wärmequellen und -senken erhöhen (z. B. bei Anwendung in größeren Gebäuden).

Wärmerückgewinnung am öffentlichen Kanal

Bei dieser Variante wird Wärme am öffentlichen Kanal - wobei annahmegemäß hierzu auch die Wärmerückgewinnung im Quartier gezählt wird - zurückgewonnen und kann an verschiedenen Orten verwendet werden. So stehen zur Nutzung grundsätzlich das Haus / Block, das Objektnetz / Fernwärmenetz (wobei hierzu auf die entsprechende Einhaltung von Temperaturniveaus zu achten ist) sowie die Behandlungsanlage zur Verfügung. Darüber hinaus ist ein Wärmetauscher im öffentlichen Kanal nicht nur zur Wärmerückgewinnung sondern auch zur Kühlung von Objekten und damit zur Wärmeabgabe an das Abwasser nutzbar.[46]

Vorteile einer Wärmerückgewinnung am Kanal können im Vergleich zur Wärmerückgewinnung am Haus / Block das gleichmäßigere Wärmeprofil der Wärmequelle sowie die höheren Volumenströme sein. Andererseits dürften sowohl die technische als auch ökonomische Vorteilhaftigkeit nur unter der Voraussetzung bestimmter Begebenheiten vorliegen: So sollte der Kanal eine bestimmte Mindestgröße und Mindestdurchflussvolumen besitzen und der Nutzer nicht zu weit vom Kanal entfernt sein sowie über einen gewissen Mindestwärmebedarf und ein vorteilhaftes Wärmelastprofil verfügen (Grazer Energieagentur GmbH 2007). Unter Berücksichtigung der mit dem Einbau eines Wärmetauschers möglicherweise nötigen Tiefbauarbeiten könnte eine Nachrüstung eines Kanals unter Umständen nur dann unter Kostengesichtspunkten sinnvoll sein, wenn auch andere Arbeiten am Kanal zu tätigen sind. Außerdem sind bei einem nachträglichen Einbau solcher Systeme in einen bestehenden Kanal weitere betroffene Infrastruktursysteme und beispielsweise für deren Verlegung entstehende Mehrkosten zu beachten (bspw. verlegte Trinkwasserleitungen).

Die ökonomische Vorteilhaftigkeit dieser Art der Wärmerückgewinnung und -nutzung dürfte somit nur an bestimmten Stellen im Kanalnetz und nur zu bestimmten Zeitpunkten unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten gegeben sein. Sofern Kanäle aufgrund anderer Gründe zu erneuern sind (bspw. im Falle von Nachverdichtungen) kann die Vorteilhaftigkeit der Rückgewinnung unter Vorliegen der weiteren Begebenheiten entsprechend steigen.

46 Eine solche Wärmerückgewinnung und –nutzung inklusive der Wärmeabgabe zur Kühlung stellt das im Betrieb befindliche System des Einrichtungshauses Ikea Berlin-Lichtenberg dar.

Wärmerückgewinnung an der Behandlungsanlage

Bei dieser Variante wird Wärme an der Behandlungsanlage zurückgewonnen und direkt an der Behandlungsanlage genutzt. Aufgrund der Volumenströme ist ein entsprechend hohes Wärmepotenzial anzunehmen und, wenn die Wärmerückgewinnung aus gereinigtem Abwasser erfolgt, auch von einem geringen Verschmutzungsgrad und damit Wartungsaufwand des Wärmetauschers auszugehen.[47] Allerdings dürfte eine ökonomische Vorteilhaftigkeit nur dann gegeben sein, wenn genug Wärmenachfrager vorhanden sind. Davon dürfte aber aufgrund der üblicherweise eher abgelegenen örtlichen Lage von Behandlungsanlagen nicht auszugehen sein, es sei denn die Wärme ließe sich günstig zu Nutzern abtransportieren. Behandlungsanlagen selbst sind wiederum regelmäßig bereits durch anderweitige Einrichtungen wie die Faulgasverbrennung und -verstromung mit Wärme versorgt (Seibert-Erling 2015).

4.3 Technisch-systemische Grundlagen im Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen

Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die technischen Grundlagen des Subsystems der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen gegeben.[48] Da der Fokus des Projektes auf neuartigen Wasserinfrastrukturen (in Verknüpfung mit der Wärmerückgewinnung) liegt, das technische Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen relativ gut abgrenzbar und in nahezu allen technischen Systemvarianten neuartiger Wasserinfrastruktur umsetzbar erscheint, wird dieses Subsystem nicht in einer gleichermaßen tiefgehenden Art und Weise wie die beiden vorhergehenden Subsysteme behandelt.

4.3.1 Technisch-systemische Grundlagen

Reststoffe aus der Behandlung von Abwasser können bei bestimmten Produktionsverfahren als Einsatzfaktor zur Anwendung kommen. Dabei besteht eine große Nähe zur Gewinnung von wiederverwertbaren Reststoffen aus organischen Abfällen. Aus diesem Grund ist es denkbar, über die Zusammenführung der Stoffströme aus der Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung eine gemeinsame Behandlung umzusetzen. Der Transport zur Behandlungsanlage kann zum einen über Fahrzeuge und zum anderen über Leitungen erfolgen. Der leitungsgebundene Transport kann abgesehen von der rechtlichen Machbarkeit, technisch integriert für organische Abfälle und Abwasser erfolgen.

Die Behandlung bzw. Aufbereitung der Abfälle findet dann in einem gemeinsamen Prozess zusammen mit der Aufbereitung des Abwassers statt. Dabei können je nach Aufbereitungsprozess und Produkt sowie der damit einhergehenden Effizienz unterschiedliche Anforderungen an

47 Laut Aussagen von Experten erfolgt die Wärmerückgewinnung an der Behandlungsanlage oftmals nach der Aufbereitung (am Klarlauf). Für eine ähnliche Empfehlung sie auch (LfU 2013: 15). Weiterhin könnte es ökologische Vorteile aufgrund der geringeren Temperatur der Einleitung in die Vorflut geben.

48 Für eine Übersicht sei auf DWA (2008: 191ff.) sowie für einen kurzen Überblick auf Merkel et al. (2010: 177ff.) verwiesen.

den Stoffstrom bestehen, so dass beispielsweise manche Prozesse eine hohe Konzentration organischer Stoffe erfordern.

Die in dem Prozess entstehenden Produkte können unter anderem Faulgase sein, welche aufbereitet und in ein Gasnetz eingespeist, oder zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet werden können. Weiterhin kann entstehender Faulschlamm nach Trocknung und Entwässerung direkt verbrannt werden. Bestimmte Nährstoffe können im Behandlungsprozess gewonnen und anschließend genutzt werden. Dies hängt auch davon ab, welche Stoffströme separat erfasst und behandelt werden. Insbesondere das dabei gewonnene Phosphat und Stickstoff können dann in der Landwirtschaft verwertet werden.

4.3.2 Aktueller institutioneller Rahmen

Der institutionelle Rahmen mit Bezug zum Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen ist sehr weitreichend und wird daher in diesem Paper nur insofern dargestellt, als es relevant für die Analyse ist. Dabei ist zunächst wichtig, dass im Vergleich zur Wasserinfrastruktur deutlich mehr Normen, Vorschriften und Gesetzen den Rahmen definieren und mehr Akteure beteiligt sind. Auch wenn für einzelne Abfallfraktionen die Verantwortung bei anderen Akteuren liegen kann, so ist bei häuslichen Abfällen und Abwässern sowie bezüglich des Verbleibs der Endprodukte von einer kommunalen Verantwortung auszugehen.

Als Vorschriften sind beispielsweise die in der Regel existierende Überlassungspflicht häuslicher Abfälle an den öffentlichen Entsorgungsträger (z. B. Kreislaufwirtschaftsgesetz, Abfallsatzung) sowie die Fettabscheidungspflicht für essenszubereitendes Gewerbe (DIN-Normen, Abwassersatzung) zu nennen. Weiterhin bestehen Anforderungen an die Behandlung von organischen Abfällen und die Verwendung von deren Reststoffen (Bioabfallverordnung, Klärschlammverordnung, Düngemittelgesetzgebung). Für die Regelungen zur Einspeisung von Gas und Strom sei auf die Vorgaben im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sowie Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) verwiesen.

4.3.3 Betrachtete Modellvarianten der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen

Wie oben dargestellt, ist das Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen im Allgemeinen gut abgrenzbar. Bestehende Koordinationsprobleme sind nur in geringem Maße abhängig von der Ausgestaltung der beiden anderen Subsysteme und können daher separat betrachtet werden. Die relevanten Schnittstellen zu den anderen Subsystemen und damit einhergehende Koordinationserfordernisse werden im Folgenden kurz dargestellt.

SCHNITTSTELLE TRANSPORT ZU BEHANDLUNG

Als relevanter Koordinationsbereich ist zunächst der Transport der Stoffe zur Behandlung zu nennen. Hierbei ist zum einen der Transport beispielsweise von Grünschnitt oder anderen organischen Stoffen von einem Zulieferer zum Behandlungsanlagenbetreiber über nicht leitungsgebundene Medien wie LKW zu betrachten. Diese Schnittstelle erscheint aber prinzipiell gut

kontrahierbar, schließlich ist es gut möglich einen Vertrag über die Lieferung von organischen Abfällen im bestehenden System zu schließen und diesen hinreichend zu spezifizieren und zu überwachen. Zum anderen ist ein Transport weiterer organischer Abfallfraktionen über Abwasserströme direkt von Haushalten möglich. In diesem Fall dürfte es deutlich schwerer sein, die Zusammensetzung der organischen Abfälle zu überwachen und auch Quantitäten zuverlässig zu bestimmen. So können durch den Verbraucher auch Stoffe in den Abwasserstrom gelangen, die nicht in der Behandlungsanlage behandelt werden sollen und hierdurch Defekte an der hausseitigen wie auch öffentlichen Abwasserinfrastruktur verursachen oder die verwertbaren Reststoffe der Behandlung kontaminieren. Dieses Problem besteht bereits teilweise im konventionellen System (bspw. für Medikamente) kann sich jedoch verstärken, wenn das System für feste Abfallstoffe nutzbar gemacht wird. Weiterhin könnte neben dem unsachgemäßen Gebrauch auch eine fehlehrhafte Prognose hinsichtlich des Mengenanfalls der häuslichen Abfälle die Effizienz der Transportkapazitäten wie auch der Behandlungsanlage verringern.

Schnittstelle Weitergabe der Stoffe an Verwerter

Eine weitere Schnittstelle ist die Weitergabe der gewonnen Stoffe an einen möglichen Verwerter, der die Stoffe der Nutzung überführt. In diesem Kontext lassen sich drei mögliche Koordinationsbereiche identifizieren: Zunächst könnte der Abwasserbehandler bestimmte Stoffe wie beispielsweise zurückgewonnenes Phosphat an die Landwirtschaft veräußern. Dabei gilt, dass Reststoffe zunächst gut kontrahierbar zwischen Anlagenbetreiber und Reststoffverwerter sind und bereits im Status quo durch ein detailliertes Regelwerk geregelt werden. Ob ein derartiger Vertrag zu Stande kommt hängt von der jeweiligen Kosten- und Nutzenbetrachtung der Akteure ab. Derzeit ist die Nachfrage durch die Landwirtschaft gemäß Expertenaussagen noch begrenzt, da Substitute für die Reststoffe verfügbar sind. Darüber hinaus müssen Reststoffe teilweise aus Gründen des Gesundheitsschutzes zunächst ein Genehmigungsverfahren durchlaufen. Der hiermit verbundene Aufwand wird ebenfalls eingepreist und kann dazu führen, dass der Vertrag nicht zu Stande kommt. Weiterhin könnten Reststoffe auf der Kläranlage verbrannt und hierdurch Strom und Wärme erzeugt werden. Diese Schnittstelle scheint sehr gut koordinierbar (im Status quo über das EEG sowie EnWG) und außerdem kann ein hoher Anteil des erzeugten Stroms und der Wärme möglicherweise direkt auf der Behandlungsanlage selbst verbraucht werden, so dass gar keine oder nur in begrenztem Maße zusätzliche Koordinationserfordernisse entstehen. Ähnliches gilt für die Schnittstelle bei der Erzeugung von Gasen, die dann entweder vor Ort selbst verstromt oder aber in ein Gasnetz eingespeist werden. Auch diesbezüglich dürfte eine gute Kontrahierbarkeit bestehen, was empirisch dadurch zu belegen ist, dass bereits eine Vielzahl von Gaseinspeiseverträgen existieren.

Da die bestehenden Koordinationsbereiche gut durch bestehende institutionelle Regelungen gedeckt sind und darüber weitgehend unabhängig von der Umsetzung von neuartigen Abwassersystemen sind, kann das Subsystem der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen in den weiteren Analysen unberücksichtigt bleiben. Forschungsbedarf besteht in technischer Hinsicht in Bezug darauf, welche Reststoffe nutzbar gemacht werden können. Daraus entstehen jedoch

zunächst keine grundsätzlichen neuen Koordinationsprobleme an der Schnittstelle zwischen Abwasserbehandler und Verwerter (bspw. Landwirtschaft)

4.4 In der Analyse betrachtete gekoppelte Systemvarianten

Im Folgenden werden die Subsysteme kombiniert und zu gekoppelten bzw. integrierten Systemvarianten zusammengeführt, welche im Rahmen dieses Papers hinsichtlich möglicher Koordinationserfordernisse analysiert werden. Diese Systemvarianten berücksichtigen die Interdependenzen zwischen den Subsystemen Abwasserentsorgung sowie Wärmerückgewinnung und -nutzung. Die integrierten Systemvarianten stellen dabei Systeme da, die in ähnlicher Weise in den Modellgebieten des Forschungsprojektes angewandt werden. Wie bereits herausgearbeitet findet keine detaillierte Berücksichtigung von Niederschlagswasser sowie von der Rückgewinnung und Nutzung von Stoffen statt. Die Beschreibung der Systemvarianten unterliegt, wie schon zuvor bei den Modellvarianten, einem hohen Abstraktionsgrad, so dass es sich nur um vereinfachte Darstellungen handelt, die sich auf die zentralen Koordinationsbereiche konzentrieren.[49]

4.4.1 Konventionelles System

Die integrierte Systemvariante „Konventionelles System“ umschreibt abstrakt den Status quo der Wasserinfrastruktur in Deutschland. Das Schmutzwasser wird dabei über eine Schwemmkanalisation transportiert und anschließend in einer zentralen Behandlungsanlage aufbereitet. Bei diesem System kann an verschiedenen Stellen Wärme zurückgewonnen und genutzt werden. Vornehmlich soll dies am öffentlichen Kanal geschehen, der größere Abwassermengen eines Stadtteils zur zentralen Behandlungsanlage transportiert (z. B. über Druckrohrleitungen). Die Stoffe können dann bei der Behandlungsanlage zurückgewonnen und weiter verwertet werden, wie es schon heute im Status quo geschieht. Abbildung 10 stellt die integrierte Systemvariante „Konventionelles System“ schematisch dar.

49 Für eine detaillierte Darstellung sei auf (Davoudi et al. 2016) verwiesen.

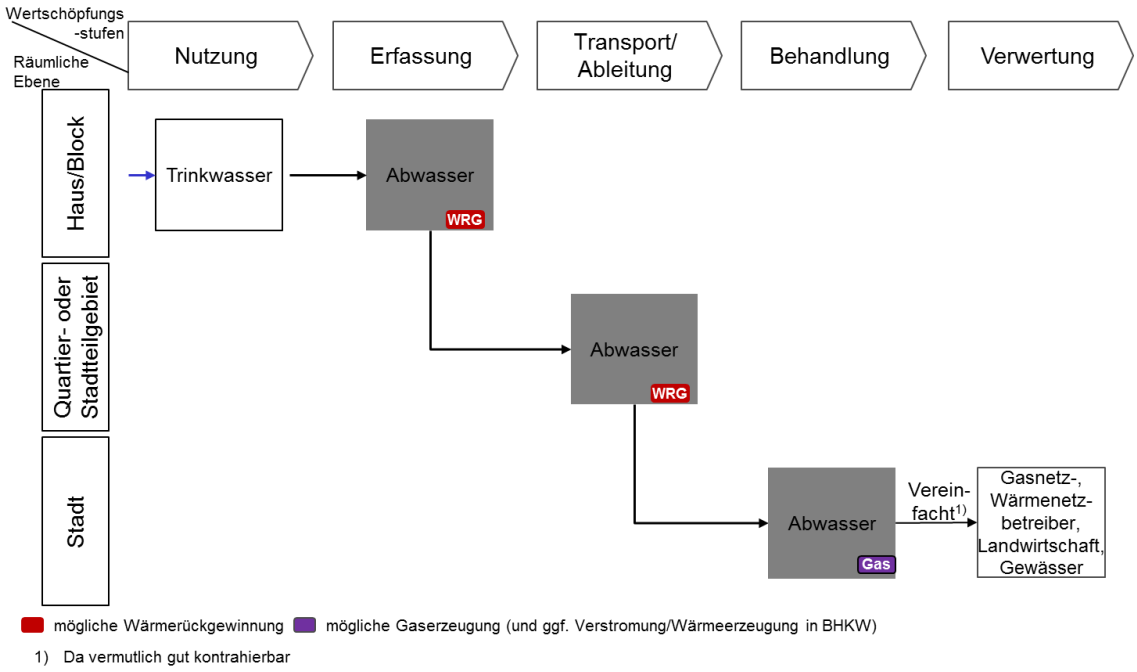


Abbildung 10 - Überblick integrierte Systemvariante "Konventionelles System"

4.4.2 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit de-/ semizentraler Grauwasser-aufbereitung

Bei der Systemvariante „Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit de-/semizentraler Grauwasseraufbereitung“ erfolgt eine Stoffstromtrennung zwischen Grau- und Schwarzwasser, wobei per Schwemmkanalisation abgeleitet wird. Das Schwarzwasser wird in dieser Variante weiterhin zentral aufbereitet, was im Vergleich zum Konventionellen System aufgrund der geringeren Transportmengen und den geringeren Stoffströmen energetisch effizienter ablaufen könnte.

Eine Wärmerückgewinnung könnte in diesem Fall insbesondere beim Grauwasserstrom auf dezentraler oder semizentraler Ebene erfolgen. Beim Schwarzwasserstrom wäre eventuell eine Wärmerückgewinnung beim Transport zur zentralen Behandlungsanlage möglich, wenn der Stoffstrom die entsprechenden technischen Anforderungen erfüllt (insbesondere hinsichtlich ausreichendem Volumenstrom und Temperatur).

Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung

Das Grauwasser wird in dieser (Unter-)Variante semizentral aufbereitet. Das aufbereitete Grauwasser wird dann als Betriebswasser dezentral genutzt, beispielsweise für die Toilettenspülung. Alternativ kann dieses auch in den Vorfluter eingeleitet werden, was z. B. im Fall einer bereits ausreichenden Menge an Betriebswasser vorteilhaft sein könnte. Abbildung 11 stellt die Systemvariante schematisch dar.

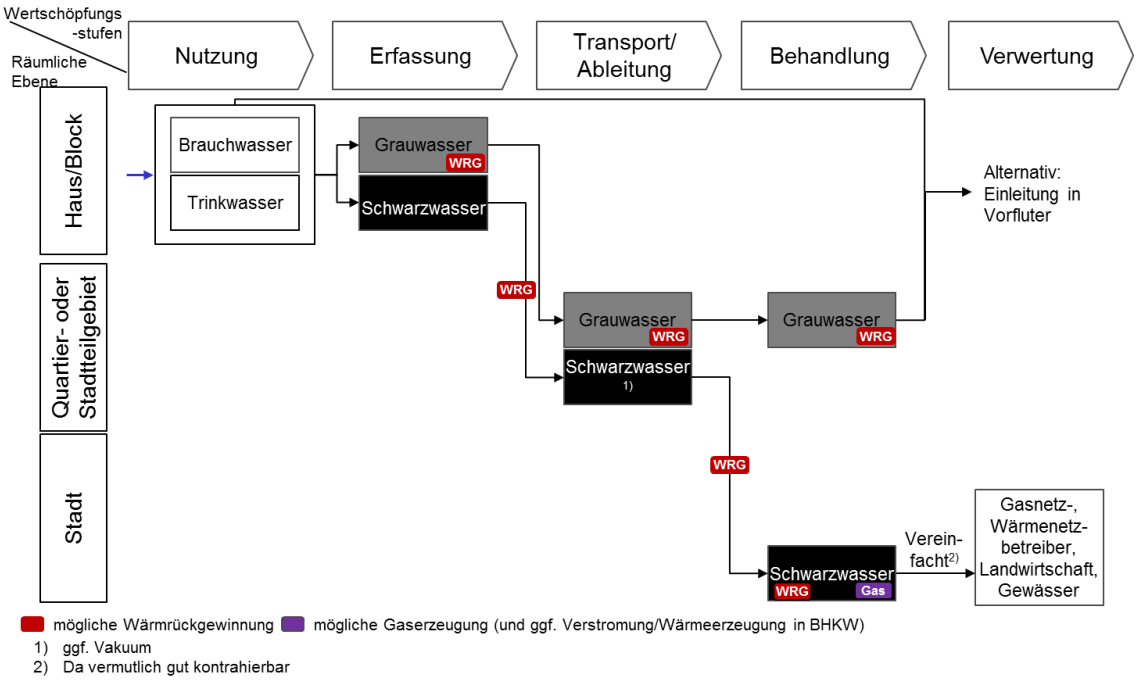


Abbildung 11 - Überblick integrierte Systemvariante "Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung"

Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit dezentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung

Im Vergleich zur Variante mit semizentraler Grauwasseraufbereitung wird auch eine Variante mit dezentraler Grauwasseraufbereitung auf Haus- bzw. Blockebene betrachtet. Dieses System ist aufgrund der möglichen Implikationen hinsichtlich einer dezentralen bzw. privaten Grauwasseraufbereitung und der daraus möglicherweise entstehenden Koordinationserfordernisse von besonderem Interesse. Diese Variante ist in Abbildung 12 dargestellt.

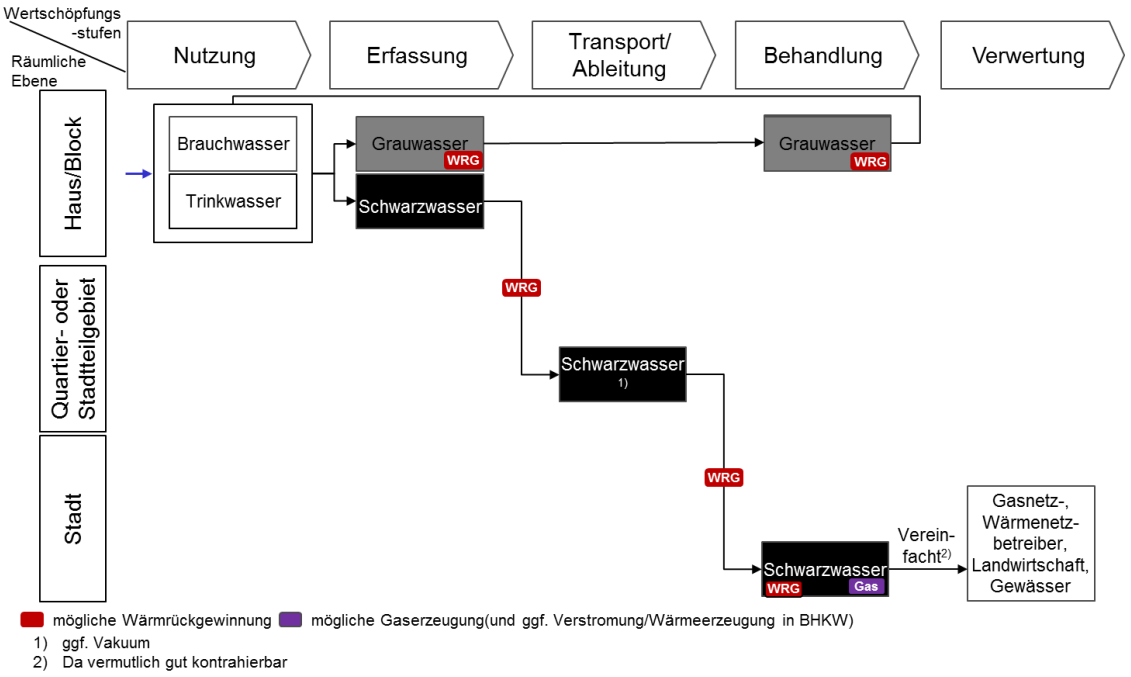


Abbildung 12 - Überblick integrierte Systemvariante "Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit dezentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung"

4.4.3 Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasser-aufbereitung und Wärmerückgewinnung

In der Systemvariante „Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung“ erfolgt eine Stoffstromtrennung zwischen Grau- und Schwarzwasser. Sowohl das Grau- als auch das Schwarzwasser werden in dieser Variante semizentral aufbereitet, wobei diese per Schwemmkanalisation abgeleitet werden, aber auch eine Vakuumableitung aufgrund kürzerer Distanzen sowie der höheren Stoffdichte erscheint möglich. Das aufbereitete Grauwasser wird dann als Betriebswasser dezentral genutzt, beispielsweise für die Toilettenspülung. Alternativ kann dieses auch in den Vorfluter eingeleitet werden, was z. B. im Fall einer bereits ausreichenden Menge an Betriebswasser sinnvoll sein könnte. Wie beim Frankfurter System könnte prinzipiell auch hier das Grauwasser auf Haus- bzw. Blockebene aufbereitet werden, was jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter beachtet wird.

Das Schwarzwasser kann in dieser Variante – eventuell auch unter Beigabe von organischen Stoffen – energetisch effizienter aufbereitet werden und die dabei gewonnenen Stoffe wiederum energetisch verwertet werden. Die Wärmerückgewinnung ist in diesem Fall vermutlich nur beim Grauwasserstrom sinnvoll, da der Schwarzwasserstrom aufgrund der Stoffstromtrennung und der semizentralen Behandlungsanlagen in der Regel nicht den technischen Anforderungen

entsprechen dürfte (ausreichender Volumenstrom und hinlänglich hohe Temperatur). Abbildung 13 zeigt die Systemvariante schematisch.

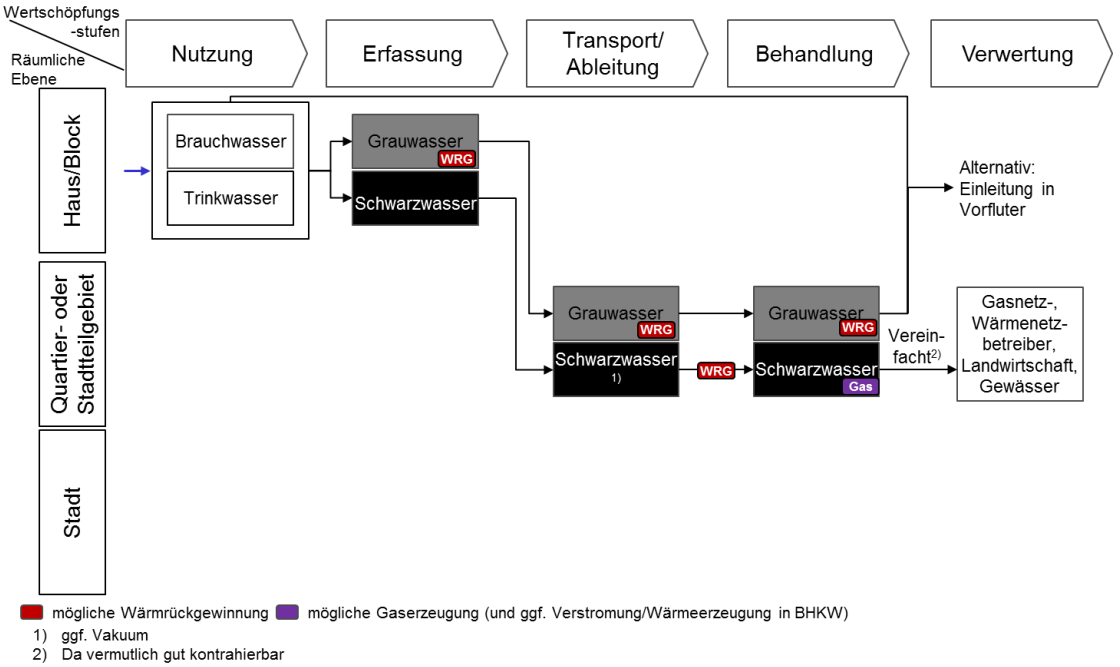


Abbildung 13 - Überblick integrierte Systemvariante "Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung"

5 Entwicklung von Gestaltungsbereichen und Bewertungskriterien

In diesem Kapitel werden zunächst die für die darauffolgende institutionenökonomische Analyse wesentlichen Gestaltungsbereiche im Hinblick auf die betrachteten Modelle dargestellt. Diese zeigen auf, welche institutionellen Ausgestaltungsmöglichkeiten untersucht werden können. Für die Modelle werden zunächst die Möglichkeiten zur Verortung der Regelsetzung, mögliche Rollen sowie die betrachteten Akteure und deren Eigenschaften dargestellt. Anschließend werden Bewertungskriterien für die Analyse hergeleitet.

5.1 Entwicklung von Gestaltungsbereichen für betrachtete Modelle

5.1.1 Zentrale vs. dezentrale Regelsetzung im Mehrebenensystem

Eine wesentliche Frage für die institutionelle Ausgestaltung ist die Verortung der Regelsetzung im Mehrebenensystem. Wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, kann in der Siedlungswasserwirtschaft zwischen verschiedenen Ebenen unterschieden werden. So sind auf oberer Ebene die EU bzw. der Bund zu nennen. Auf mittlerer Ebene stehen die Bundesländer, welche durch spezifischere landesgesetzliche Vorgaben auf die Siedlungswasserwirtschaft einwirken können. Eine besondere Rolle kommt der lokalen Ebene – insbesondere den Kommunen – zu, die durch sehr spezifische Regelungsmöglichkeiten wesentliche Entscheidungen bezüglich des Wasserinfrastruktursystems treffen können (siehe (Libbe et al. 2010: 103ff.), (Hanke 2010: 126ff.) und (Tauchmann et al. 2006)).

Hinsichtlich der nachfolgenden Analyse ist die Frage zu beantworten, auf welcher Ebene wesentliche Entscheidungsbefugnisse verortet werden sollten. Hierbei sind u. a. die verschiedenen Eigenschaften bspw. hinsichtlich des Wissens von Akteuren zu berücksichtigen.[50]

5.1.2 Aufgaben und Rollen

Neben der Betrachtung des technischen Systems und der Ebenen sind weiterhin Rollen zu definieren und es ist darüber zu entscheiden, welcher Akteur diese Rollen wahrnehmen kann bzw. sollte. Eine solche Zuordnung erfolgt im Rahmen der Analyse in Kapitel 6.

Eine Rolle beschreibt in diesem Paper ein Bündel von Aufgaben, die hinsichtlich der Erbringung einer definierten Leistung wahrzunehmen sind. Als wesentliche mögliche Rollen bei neuartigen Wasserinfrastrukturkonzepten können die Systementscheidung, die Anlageneigentümerschaft sowie der Betrieb und ferner die Rolle der Hauseigentümer genannt werden. Im Rahmen der Systementscheidung findet die Wahl des entsprechenden technischen Systems statt. Dies wird als entscheidende Rolle bei der Einführung und Umsetzung neuartigen Wasserinfrastrukturkon-

50 Eine trennscharfe Abgrenzung von Wissen und Know-how wird in diesem Paper nicht erfolgen. Wissen wird häufig als Oberbegriff verwendet, der die Wissensformen Daten, Informationen sowie (implizites und explizites) Know-how umfasst. der Begriff Know-how bezieht sich auf das Können, d. h. die Fähigkeit, verschiedene Dinge praktisch umsetzen zu können. (Klatt 2011: 62).

zepte gesehen und steht im Fokus der folgenden Analyse. Weiterhin kann eine Rolle für verschiedene Bereiche (Grauwasser, Schwarzwasser, Wärmerückgewinnung, Gewinnung und Nutzung von Stoffen) einzeln oder integriert definiert werden. Ferner ist auch die Rolle des Normengebers (bzw. Gesetzgebers) zu nennen. Rollen können über verschiedene räumliche Ebenen (Haus / Block, Quartier / Stadtteil, Stadt) und Wertschöpfungsstufen (Erfassung, Transport, Aufbereitung) der Siedlungswasserwirtschaft hinweg wahrgenommen werden. Aus Gründen der Darstellung und Komplexitätsminderung wird in der folgenden Analyse die Zuordnung von Rollen nur auf einem relativ abstrakten Niveau vorgenommen.

5.1.3 Betrachtete Akteure und Akteurskonstellationen

BETRACHTETE EIGENSCHAFTEN VON AKTEUREN

Bevor näher auf die Akteure der Siedlungswasserwirtschaft eingegangen wird, sollen zunächst deren Eigenschaften dargestellt werden, die sich je nach Akteur unterscheiden können.[51] So verfügen Akteure über einen bestimmten Wissensstand, dessen Ausprägungsformen beispielsweise deren Know-how (z. B. in Bezug auf technische oder finanzielle Aspekte) umfasst. Gerade bei innovativen Konzepten kann das verfügbare Know-how eine hohe Bedeutung haben. Weiterhin können Akteure unterschiedliche Risikoeinstellungen und Präferenzen sowie abweichende Zielsysteme aufweisen. In diesem Kontext ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass private Akteure ein von öffentlichen Akteuren deutlich abweichendes Zielsystem verfolgen können, gerade im Hinblick auf das Ziel der Gewinnmaximierung. Dieses dürfte bei privaten Akteuren stets im Mittelpunkt stehen, wohingegen bei öffentlichen Akteuren, auch aufgrund des Prinzips der Kostendeckung in der Siedlungswasserwirtschaft, die (reine) Gewinnmaximierung nicht als primäres Ziel anzunehmen ist.[52]

BETRACHTETE AKTEURE

Die betrachteten Akteure werden aufgrund des Abstraktionsgrades der vorgenommenen Analysen nur sehr kurz und in übergeordneten Gruppen dargestellt.[53] Als öffentliche Akteure sind insbesondere die Kommune sowie Behörden zu nennen. Weiterhin existieren Normengeber als private wie auch öffentliche sowie privat-öffentliche Akteure. Abwasserentsorger und Trinkwasserversorger sind ebenfalls meist öffentliche Unternehmen, die annahmegemäß im Status quo die gesamte für ihre Aufgabe benötigte Infrastruktur bereitstellen. Einen weiteren Akteur stellt

51 Für eine ausführliche Erläuterung der im Folgenden genutzten Begriffe (Gizzi 2016: 20ff.)

52 Für eine weitere Beschreibung des Zielsystems von Öffentlichen Unternehmen vgl. (Trapp / Libbe 2016: 31 ff.).

53 Bei der Beschreibung der betrachteten Akteure wird zum Teil auf den Status quo abgestellt, der sich aufgrund des vorherrschenden technischen Systems entwickelt hat (und zugleich das technische System vermutlich ebenfalls beeinflusst hat). Für eine ausführliche und weniger abstrakte Darstellung vgl. (Kerber et al. 2015).

das Energieversorgungsunternehmen dar, welches innerhalb verschiedener Bereiche (Wärme, Strom) und Wertschöpfungsstufen (Erzeugung, Vertrieb, Netze) tätig sein kann. In Bezug auf die Aufgaben im Kontext der Hausinfrastruktur sind unterschiedliche Akteure des überwiegend privaten Bereichs zu nennen. Dazu gehören zunächst die Hauseigentümer und die Bewohner der Immobilie. Hauseigentümer können sich wiederum Dritter bedienen, um einzelnen Aufgaben zu übernehmen. Dazu gehören beispielsweise Installationsunternehmen. Zuletzt kann auch die Landwirtschaft als Nutzer von Stoffen angeführt werden.

AKTEURSKONSTELLATIONEN

Für die Analyse neuartiger Abwasserinfrastruktursysteme werden zwei verschiedene Akteurskonstellationen unterschieden: So soll ein im Rahmen der Untersuchung betrachteter Fall die Situation eines integrierten kommunalen Stadtwerkes mit Abwasserentsorgung, Trinkwasserversorgung und Wärmelieferung darstellen (Ausgangsfall). Um mögliche Auswirkungen von abweichenden Akteurskonstellationen zu analysieren, wird weiterhin der Fall konstruiert, dass innerhalb einer Stadt sämtliche Unternehmen desintegriert sind und ausschließlich gemäß ihres Zielsystems (öffentlicher Zweck im Fall kommunaler Unternehmen, Gewinnmaximierung im Falle privater Unternehmen) agieren.

5.2 Bewertungskriterien für die Analyse

Für die folgende Analyse werden nun die wesentlichen Bewertungskriterien kurz erörtert. Die eingenommene Perspektive bei der Untersuchung bzw. das unterstellte Zielsystem ist grundsätzlich die Minimierung wohlfahrtsökonomischer Kosten, wobei – sofern nicht anders erwähnt – die Konsumenten- bzw. Nutzerperspektive eingenommen wird. Die Kosten als wesentliches Bewertungskriterium für die Eignung von Koordinationsmechanismen können jedoch im Rahmen der Analyse nur komparativ-qualitativ berücksichtigt werden.[54] Sie bestehen zum einen aus den Produktionskosten, die sich aus Investitions- sowie Betriebskosten ergeben.[55] Zum anderen existieren Transaktionskosten, welche beispielsweise aus der Abstimmung von Akteuren oder aufgrund von Unsicherheiten entstehen können (und damit höhere Kapitalkosten zur Folge haben können). Unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten sind auch jene Kosten einzubeziehen, welche sowohl systemintern als auch systemextern auftreten können, beispielsweise ein Nachfragerückgang von Trinkwasser oder geringere Abwasserableitung. Diese könnten zumindest für den einzelnen Konsumenten erhöhte Kosten beim Betrieb von Abwasserinfrastruktur zur Folge haben.

54 Aufgrund der geringen Erfahrungswerte bezüglich dieser neuartigen Wasserinfrastrukturkonzepte existieren derzeit noch keine umfassenden und allgemeindegültigen wissenschaftlichen Analysen zu deren Kosten.

55 Unter Investitions- sowie Betriebskosten werden sämtliche für den Betrieb notwendige Kosten zusammengefasst. Darunter fallen somit auch Kosten für die Erhaltung, Instandsetzung und Wartung.

Die Aufrechterhaltung der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung mit der entsprechenden Qualität ist in allen Systemvarianten jederzeit zu gewährleisten. Weiterhin finden im Rahmen der Analyse Umweltaspekte bzw. die Ressourceneffizienz als Nebenbedingungen Berücksichtigung. Auch die Flexibilität hinsichtlich der Veränderung des Systems stellt ein Kriterium zur Bewertung dar. Aufgrund der sehr hohen Unsicherheit hinsichtlich detaillierter Aussagen über den Ressourcen- und Energieverbrauch der verschiedenen Systemvarianten werden auch in diesem Zusammenhang nur komparativ-qualitative Einordnungen zwischen den jeweiligen Systemen vorgenommen.[56]

56 Für eine detaillierte Bewertung der Ressourceneffizienz bestimmter Wasserinfrastruktursysteme siehe (Davoudi et al. 2016) und für eine integrierte Bewertung siehe (Felmeden et al. 2016).

6 Analyse der Systemvarianten neuartiger Wasserinfrastruktursysteme

In diesem Kapitel wird mit Bezug zu den dargestellten neuartigen Wasserinfrastrukturen unter Rückgriff auf den herausgearbeiteten Untersuchungsansatz analysiert, welche institutionellen Lösungen zu einer effizienten Koordination zwischen den Akteuren führen, die bestimmte Rollen ausfüllen und die durch das technische System bedingten Aufgaben wahrnehmen. In Abhängigkeit des technischen Systems können sich dabei durchaus unterschiedliche institutionelle Lösungen als vorteilhaft herausstellen. In einem weiteren Schritt werden auch Pfadabhängigkeiten durch bestehende Systeme berücksichtigt.

6.1 Analyse ohne Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten

6.1.1 Konventionelles System

Systemdarstellung aus institutioneller Sicht

Das Konventionelle System stellt die in Abschnitt 4.4.1dargestellte integrierte Systemvariante dar. Es ist somit eine rein technische Darstellung der Abwasserentsorgung in Deutschland. Auf der „grünen Wiese“ dürfte dieses System aus wohlfahrtsökonomischer Sicht unter Berücksichtigung der zuvor genannten Bewertungskriterien gegenüber den anderen Systemvarianten nachteilig sein.[57] Denn bei dieser Variante ist der Transport mit einem relativ hohen Energieeinsatz im Vergleich zu neuartigen Wasserinfrastrukturen sowie damit einhergehend mit hohen Kosten verbunden. Gleiches gilt regelmäßig auch für die Abwasseraufbereitung, da für sämtliche Abwässer – also auch für das zunächst nur leichte verschmutzte Grauwasser – die gesamte Aufbereitungstechnologie angewandt werden muss. Zudem müssen in diesem zentralen System eventuell sehr hohe Kapazitäten aufgebaut bzw. beibehalten werden, so dass eine geringere Flexibilität als bei anderen Systemen bestehen könnte. Wird das konventionelle System beibehalten, bestehen technische Potenziale zur Optimierung des Systems wie beispielsweise Wärmerückgewinnung und ein verbesserter Umgang mit Reststoffen bestehen (so dass man ein sogenanntes optimiertes konventionelles System) erhielte.

Hinsichtlich der Wärmerückgewinnung und -nutzung lässt sich feststellen, dass Wärme im öffentlichen Kanal zurückgewonnen werden könnte, welcher durch die zentrale Abwassersammlung über einen ausreichenden Volumenstrom verfügen dürfte. Auch eine Wärmenutzung an der Behandlungsanlage ist möglich. Allerdings ist es vom Einzelfall abhängig, ob für die Nutzung der Wärme im gegebenen räumlichen Zusammenhang entsprechende Nachfrage besteht. Institutionell ist es bei gegebener Wärmesenke denkbar, dass der Abwasserkanalbetreiber die Wärme selber gewinnt und verkauft oder vertraglich Regeln definiert, mit denen einem Dritten die Wärmerückgewinnung ermöglicht wird. Aufgrund der nicht angenommenen Stoffstromtrennung im Hausbereich in der konventionellen Systemvariante dürfte eine dezentrale Wärme-

57 Vgl. hierzu auch (Davoudi et al. 2016).

rückgewinnung für Hauseigentümer in der Regel gemäß Expertenaussagen ökonomisch wenig vorteilhaft sein.[58] Dennoch besteht auch innerhalb von (insbesondere größeren) Gebäuden die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung und -nutzung und wird von Akteuren so auch angeboten.

Mögliche institutionelle Ausgestaltung

SUBSYSTEM ABWASSER

Da diese Systemvariante im weiteren Sinne den technischen Status quo abbildet, liegt es nahe den institutionellen Status quo als gegeben anzusehen. Die weiteren Ausführungen abstrahieren jedoch bewusst von dem aktuellen Status quo, da es sich hier um eine „grüne Wiese" Betrachtung handelt. Im Ergebnis können die diskutierten institutionellen Lösungen jedoch eine große Nähe zum Status quo haben.

Hinsichtlich der institutionellen Ausgestaltung ist bei dem konventionellen System eine integrierte (Kapazitäts-)Planung bei Bau, Betrieb und Instandhaltung von Transport- und Behandlungsanlagen mit relativ geringen Abstimmungskosten möglich. Die Rolle des Systementscheiders für die Abwasserinfrastruktur kann aufgrund der Zentralität durch die Kommune wahrgenommen werden. Wegen der breiten Diffusion des Wissens über das technische System muss diese Rolle allerdings nicht unbedingt ausschließlich der Kommune übertragen werden, sondern auch eine Delegation der Systementscheidung an einen Abwasserentsorger könnte prinzipiell vorteilhaft sein. Dieser wäre dann als integrierter Abwasserentsorger für Systemdesign, Systemplanung, Bau, Betrieb und Instandhaltung sowie Qualitätssicherung im Gesamtsystem zuständig.

Das Wissen über das technische System der hausseitigen Installation dürfte bei Hauseigentümern bzw. bei deren Installationsbetrieben weit verbreitet sein, so dass die Verantwortlichkeit für die Funktionalität der Erfassungsinfrastruktur dem Hauseigentümer übertragen werden kann. Dies erscheint speziell vorteilhaft, da der Hauseigentümer Synergiepotenziale bei Planung und Bau in Verbindung mit anderen Bauteilvorhaben heben zu kann und auch die Eigentümerschaft über alle Gewerke hinweg Vorteile bietet. Für die Nutzer der Wohnungen könnte dies den Vorteil haben, für sämtliche das Haus betreffende Aspekte einen einheitlichen Ansprechpartner und Verantwortlichen haben. Bei der hausseitigen Installation durch Hauseigentümer entstehen aufgrund der einfachen Abwasser- wie auch Trinkwasserleitung ebenfalls nur geringe Transaktionskosten an der Schnittstelle zum öffentlichen Leitungsnetz bzw. öffentlicher Kanalisation und Hausinstallation. Aus diesem Grund erscheint es unproblematisch die Zuständigkeit entlang der Wertschöpfungskette in zwei Rollen zu unterteilen.

58 Trotz dieser Einschätzung, dass solche Investitionen nicht den (erhofften) ökonomischen Mehrwert einbringen, kann es durchaus Akteure geben, die solche Investitionen tätigen. Dies kann beispielsweise aufgrund von Bestrebungen zur höheren Energieautarkie geschehen.

Wichtig ist hierbei, dass dem Abwasserentsorger bestimmte Maßnahmen zur Verfügung stehen, mit denen er Anreize der Hauseigentümer zum „Herausbrechen“ aus dem Gesamtsystem reduzieren kann. So sollten Regelungen in Betracht gezogen werden, die einzelnen Hauseigentümern den Anreiz nehmen, „gegen“ das Gesamtsystem und hier insbesondere hinsichtlich der Einsparung von Gebühren zu optimieren. Dieser Anreiz könnte dann gegeben sein, wenn sich Hauseigentümer durch eine Änderung der häuslichen Erfassungsinfrastruktur (Stoffstromtrennung und dezentrale Grauwasseraufbereitung und Nutzung als Betriebswasser) nur noch in geringem Maße an der Finanzierung der Fixkosten der Abwasserinfrastruktur beteiligen. Dieser Problematik kann durch einen Anschluss- und Benutzungszwang, durch Anzeige- und Genehmigungspflichten der Hauseigentümer gegenüber dem Abwasserentsorger und entsprechender Genehmigung durch diesen sowie einer Änderung des Gebührensystems begegnet werden. Durch Anzeige- und Genehmigungspflichten verbleibt die Aufgabe der Gesamtsystemoptimierung beim Abwasserentsorgungsunternehmen.

Es sind des Weiteren die spezifischen Akteurskonstellationen sowie die Anreiz- und Zielsysteme von Akteuren zu berücksichtigen. Geht man von einem integrierten kommunalen Trinkwasserversorger und Abwasserentsorgungsunternehmen aus, so hat dieses zunächst einen Anreiz, ein möglichst effizientes System auf Gesamtebene zu planen. Allerdings sind hierbei die Grenzen des Wasserinfrastruktursystems zu beachten. So könnte es unter Umständen möglich sein, dass Kommune bzw. Abwasserentsorger in ihrem Zielsystem nicht das mögliche Optimum auch auf Ebene einer interkommunalen Zusammenarbeit betrachten, sondern eine lokale Gewinnmaximierung anstreben.[59] Wenn Trinkwasserversorger und Abwasserentsorger getrennt voneinander agieren, ist bei dem Konventionellen System von eher geringen Anreizkonflikten auszugehen, da diese beiden Bereiche weitestgehend getrennt voneinander behandelt werden können. Allerdings könnten beide einen Anreiz haben, ein möglichst zentrales System auch dann aufrechtzuerhalten, wenn nach Kosten- und Effizienzgesichtspunkten der Übergang zu einem dezentraleren System mit Stoffstromtrennung langfristig eindeutig vorteilhaft ist.

Im konventionellen System bedarf es eines Normengebers auf übergeordneter Ebene, der die wesentlichen Rahmenbedingungen beispielsweise für die Qualität der Abwasseraufbereitung festlegt. Dies könnte auch Anreizen zu Kosteneinsparungen in Form von Qualitätsreduktionen innerhalb eines kommunalen Abwassersystems oder innerhalb der häuslichen Erfassungsinfrastruktur entgegenwirken.

Abbildung 14 stellt die mögliche Rollenzuordnung im Bereich der Abwasserinfrastruktur im Konventionellen System schematisch dar.

59 Zu möglichen Koordinationsproblemen bei einer interkommunalen Zusammenarbeit vgl. (Beckers et al. 2011). Auch im Rahmen von Experteninterviews wurden solche Probleme thematisiert und von einer ineffizienten „Kirchturmpolitik“ gesprochen.

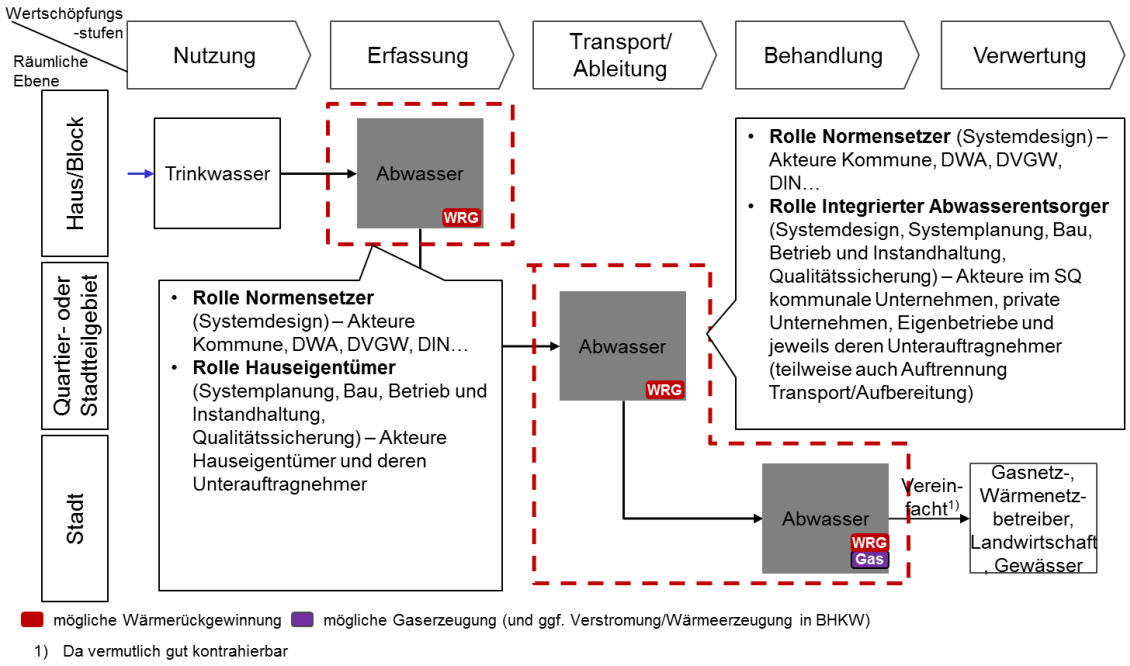


Abbildung 14 - Mögliche Rollenzuordnung im Konventionellen System

SUBSYSTEM WÄRMERÜCKGEWINNUNG UND -NUTZUNG

Mit Bezug zur Wärmerückgewinnung und -nutzung ist insbesondere hinsichtlich der Wärmerückgewinnung am öffentlichen Abwasserkanal eine institutionelle Regelung vorzusehen. Aufgrund des eher geringen Wärmepotenzials auf Haus- / Block-Ebene infolge der nicht vorgenommenen Stoffstromtrennung und der geringen Rückwirkungen auf das Wärmerückgewinnungspotenzial am Kanal bestehen hier im Vergleich zur Abwasserentsorgung weniger Anreize für ein „Herausbrechen“ bzw. negative Effekte auf die Wärmerückgewinnung am Kanal (jedenfalls sofern keine dezentrale Stoffstromtrennung und Grauwasseraufbereitung in größerem Ausmaß stattfindet). Bei größeren Wärmerückgewinnungsanlagen in Gebäuden (bzw. dem noch privaten Kanal) könnte eine Anzeigepflicht gegenüber dem Betreiber des öffentlichen Kanals vorgeschrieben werden. Der Kanalbetreiber wiederum könnte entsprechend mit einem Widerspruchsrecht ausgestattet werden. Im Falle eines sehr hohen Anteils an dezentraler Wärmerückgewinnung und einer dadurch bedingten Temperaturreduktion im öffentlichen Kanal könnte auch eine Minimaltemperatur durch den Abwasserversorger vorgesehen werden. Dies könnte durch einen Normengeber oder aber detaillierter durch den dezentralen Systementscheider geregelt werden.[60]

60 Vgl. hierzu die Vorgabe einer Maximaltemperatur von 35 °C für das Einleiten in den öffentlichen Kanal in DIN 1986-Teil 3, Absatz 2.5 „Einleiten in die Öffentliche Abwasseranlage“ sowie allgemein Einleitbe-

Das Potenzial für eine Wärmerückgewinnung am öffentlichen Kanal dürfte im Konventionellen System an spezifischen Stellen gegeben sein. Zudem erscheint eine derartige Maßnahme aus Sicht der Konsumenten ökonomisch sowie aus Gründen der Ressourcenschonung vorteilhaft zu sein, wenn man davon ausgeht, dass hierdurch andernfalls nicht genutzte Wärme nutzbar gemacht wird. Allerdings sollten für eine Wärmenutzung insbesondere die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Anforderungen erfüllt sein. Dem Abwasserentsorger könnten für eine eigenständige Nutzung des Kanals zur Wärmerückgewinnung das nötige technische Know-how sowie ökonomische Anreize fehlen, vor allem wenn dieser keine eigenständige Wärmeversorgung betreibt. Andererseits können sich insbesondere für integrierte Stadtwerke ökonomische Potenziale in der Wärmerückgewinnung am Kanal ergeben, vor allem wenn diese über die nötigen Ressourcen wie etwa Know-how verfügen.

Sollte die Erbringung der Rolle der Wärmerückgewinnung durch Dritte (wie dem Abwasserentsorger) vorgesehen sein, sind verschiedene institutionelle Regelungen denkbar. Der Abwasserentsorger könnte von der Kommune dazu verpflichtet werden, eine Wärmerückgewinnung zu implementieren oder es könnten ihm ökonomische Anreize hierfür gesetzt werden (wobei in diesem Kontext auf die Gebührenkalkulation und die Vorgaben des Kostendeckungsprinzips zu achten ist), auch um opportunistischem Verhalten des Abwasserentsorgers vorzubeugen. Es könnte beispielsweise eine Transparenzpflicht für den Abwasserentsorger eingeführt werden, so dass dezentrale Akteure Potenziale zur Wärmerückgewinnung und -nutzung effektiv ausnutzen können. Allerdings dürfte dies mit zusätzlichen Transaktionskosten für den Abwasserentsorger einhergehen, da dieser eventuell zunächst eine Potenzialanalyse durchführen muss und in Abstimmung mit dezentralen Akteuren sowie gegebenenfalls mit politischen Akteuren treten müsste. Weiterhin ist auf entsprechende Anreize sowie Informationsasymmetrien.

Selbst in größeren Städten ist jedoch wohl nur von einem punktuellen technischen Potenzial zur Wärmerückgewinnung und -nutzung auszugehen. Ist eine Wärmerückgewinnung durch Dritte vorgesehen, so sind üblicherweise Regeln zur Vergabe und Nutzung des Kanals nötig. In Fällen mit geringem Potenzial kann dies über (Standard-)Verträge geschehen, die zwischen Abwasserentsorger und Nutzer ausgehandelt werden. Im Falle von größeren Potenzialen an verschiedenen Stellen am Kanal innerhalb einer Stadt könnte auch eine Ausschreibung mit Standardverträgen angedacht werden, wobei klare Regelungen zu den Abständen zwischen Wärmerückgewinnungsanlagen am Kanal sowie deren Leistung implementiert werden sollten, um dadurch die Unsicherheit von Investoren zu reduzieren. Dies dürfte die Risikokosten für Investoren senken.

---

dingungen von Abwasserentsorgungen. Es ist allerdings fraglich, ob es hinsichtlich der Minimaltemperatur tatsächlich zu erheblichen technischen Einschränkungen kommen kann.

Weiterhin könnte es gerade im Hinblick auf ein sich graduell änderndes Abwassersystem unter Umständen sinnvoll sein, mit dezentralen Akteuren lediglich die Nutzung des öffentlichen Kanals zur Wärmerückgewinnung zu regeln und keinen bestimmten Volumenstrom mit entsprechendem Wärmeprofil vertraglich zuzusichern.[61] Dieser Aspekt ist von Relevanz, wenn mehrere Akteure an verschiedenen Stellen des Kanals Wärme entziehen möchten und es möglicherweise zu Interdependenzen beim Wärmeentzug kommt. Dies könnte insbesondere auch im Zusammenhang mit Investitionen in die Wärmerückgewinnung über mehrere Perioden hinweg eine Rolle spielen. Es erscheint hierbei vorteilhaft, die Ewigkeitsrechte zur Gewinnung und Nutzung der Wärme dauerhaft bei der Kommune bzw. dem Abwasserentsorger zu verorten und auf entsprechend begrenzte Vertragslaufzeiten mit Dritten zu achten. Folglich dürfte es auch hier ökonomisch vorteilhaft sein, dem Abwasserentsorger die Rolle als Systemdesigner der Abwasserentsorgung zu übertragen.

Besondere institutionelle Regelungen sind – wie bereits beschrieben – für den Fall vorzusehen, dass eine dezentrale Wärmerückgewinnung im Haus / Block eine am öffentlichen Kanal folgende semi- bzw. zentrale Wärmerückgewinnung hinsichtlich des Wirkungsgrades und damit der Produktionskosten beeinflusst. Sollte bei einer dynamischen Betrachtung in Zukunft eine stärkere dezentrale Wärmerückgewinnung stattfinden und zugleich ein Wärmeentzug am öffentlichen Kanal angedacht sein, so sind in dieser Konstellation diesbezügliche institutionelle Regelungen unter Berücksichtigung der getätigten Investitionen zu treffen. Für den Fall, dass eine Wärmerückgewinnung im Haus / Block bezogen auf das jeweilige Zielsystem vorteilhaft ist und zunächst nur Wärme am öffentlichen Kanal entzogen wird, würde ein Verbot der dezentralen Wärmerückgewinnung zu Wohlfahrtsverlusten führen. Daher könnte es gegebenenfalls vorteilhaft sein, das Risiko einer Investition – wie oben bereits für die Situation mehrfacher Wärmerückgewinnung beschrieben – dem Nutzer der Wärme im öffentlichen Kanal beispielsweise durch Vertragsregelungen zuzuordnen (siehe die Ausführungen zur ausschließlichen Zusicherung der Nutzung des Kanals oben). Falls sich zukünftig eine Wärmerückgewinnung am öffentlichen Kanal als vorteilhafter herausstellen sollte, ist es eventuell dennoch sinnvoll, bereits getätigte Investitionen in die dezentrale Wärmerückgewinnung nicht rückwirkend zu entwerten und den Akteuren zum Zeitpunkt der Investition – wenn noch keine Aussage über die Vorteilhaftigkeit einer Variante getroffen werden kann – somit eine gewisse Investitionssicherheit zuzugestehen. Denkbar sind Übergangsregelungen.

61 Wobei im Einzelfall eine Abwägung zwischen den hierdurch möglicherweise steigenden Transaktionskosten aufgrund von höherer Unsicherheit bei (privaten) Akteuren der Wärmerückgewinnung stattfinden sollte.

6.1.2 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung

Systemdarstellung aus institutioneller Sicht

Das System mit semizentraler Grauwasseraufbereitung stellt ein System mit Stoffstromtrennung dar. Das erfasste Schwarzwasser wird nach dem Transport per Schwemmkanalisation zentral behandelt. Grauwasser wird semizentral behandelt und kann als Betriebswasser dort zur Verfügung gestellt werden. Eine Wärmerückgewinnung ist insbesondere an der de- oder semizentralen Erfassungsinfrastruktur am Grauwasserstrom möglich, aber auch die Schwemmkanalisation zur zentralen Behandlungsanlage kann sich hierfür eignen.

Hinsichtlich der institutionellen Ausgestaltung scheint bei diesem System eine integrierte Systementscheidung und damit auch (Kapazitäts-)Planung bei Bau, Betrieb und Instandhaltung von Transport- und Behandlungsanlagen für das Schwarzwasser mit relativ geringen Abstimmungskosten möglich, allerdings könnten sich aufgrund der Stoffstromtrennung und der noch relativ wenigen Erfahrungswerte vor allem bei der häuslichen Infrastruktur Koordinationserfordernisse ergeben. Zudem sind wegen der Stoffstromtrennung sowohl hausseitig als auch bei der Transportinfrastruktur zwei Leitungssysteme erforderlich, was neben erhöhten Investitionskosten auch zu höheren Abstimmungskosten beim Einbau von Leitungen führen kann. Allerdings dürfte der Aufwand für die Verlegung zusätzlicher Leitungen unterproportional ansteigen.

Die Grauwasseraufbereitung erfolgt semizentral, so dass kürzere Transportwege zurückzulegen sind und die Behandlung möglicherweise weniger Kosten verursacht. Das aufbereitete Grauwasser kann als Betriebswasser wiedergenutzt werden, wozu allerdings einige institutionelle Anforderungen zu berücksichtigen sind. So könnte das Betriebswasser zur Substitution von Trinkwasser dienen, was zwar nach Umweltgesichtspunkten vorteilhaft ist, aber auch zu einer Entwertung einer möglicherweise bestehenden bzw. dies nicht berücksichtigenden Trinkwasserinfrastruktur sowie den entsprechenden Investitionen führen könnte. Dies hätte letztlich höhere Kosten für Nutzer zur Folge. Weiterhin stellen sich Fragen bezüglich des Verwendungszwecks des Betriebswassers, der möglichen Kosten sowie der Qualitätsanforderungen. Alternativ kann das aufbereitete Grauwasser auch einem Vorfluter zugeführt werden, was zur Flexibilität dieses Systems beiträgt.

Hinsichtlich der Wärmerückgewinnung und -nutzung ist festzustellen, dass Wärme vor allem dezentral zurückgewonnen werden könnte oder aber semizentral am Grauwasserkanal bzw. an der entsprechenden Behandlungsanlage. Aufgrund der Stoffstromtrennung ist eine Wärmerückgewinnung am zentralen Schwarzwasserkanal zwar möglich, ist dann aber analog der in Kap. 6.1.1 genannten Punkte zu prüfen.[62] Hierbei sind wiederum mögliche Anreizkonflikte des

62 Diese Option scheint aufgrund der erheblichen technischen Anforderungen und des geringen Volumenstroms mit eher geringer Temperatur eher fraglich hinsichtlich dessen Vorteilhaftigkeit.

Kanalbetreibers wie beim Konventionellen System zu berücksichtigen, wobei im Vergleich zum Konventionellen System ein verstärkter Einsatz einer dezentralen Wärmerückgewinnung im Haus / Block bzw. Gebäude durch dezentrale Akteure sowie auch eine verstärkte semizentrale Wärmerückgewinnung vorstellbar sind. Eine Wärmenutzung an der zentralen Behandlungsanlage dürfte nach wie vor möglich sein.

Mögliche institutionelle Ausgestaltung

SUBSYSTEM ABWASSER

Die Rolle des Systementscheiders könnte weiterhin bei der Kommune bzw. dem Abwasserentsorger liegen. Letzterer wäre dann als integrierter Abwasserentsorger für Systemdesign, Systemplanung, Bau, Betrieb und Instandhaltung sowie Qualitätssicherung im Gesamtsystem zuständig. Aufgrund der möglichen Rückwirkungen auf das System der Trinkwasserversorgung kann es zielführend sein, Trinkwasserversorgung sowie insbesondere die Grauwasseraufbereitung und die Abwasserentsorgung hinsichtlich der genannten Aufgaben aufeinander abzustimmen. Sofern eine Kontrahierung zwischen Trinkwasserversorger und Abwasserentsorger mit geringem Aufwand möglich ist, könnte auch ein Dritter die Grauwasseraufbereitung und Betriebswasserbereitstellung anbieten (sofern dieser Synergieeffekte heben kann), während der Abwasserentsorger lediglich die Aufgabe der Schwarzwasserentsorgung wahrnimmt. Hierfür sind jedoch durch einen Normensetzer sehr detaillierte Regelungen beispielsweise hinsichtlich Mindestqualitätsstandards vorzugeben. Falls allerdings eine solche Abstimmung mit hohem Aufwand verbunden ist, könnte eine integrierte Planung und Systementscheidung von Trinkwasserversorgung, Schwarzwasserentsorgung und Grauwasseraufbereitung sinnvoll sein. Dabei ist jedoch auf eine angemessene Ressourcenausstattung des integrierten Unternehmens zu achten. Darüber hinaus ist zu definieren, welcher Verschmutzungsgrad des Grauwassers zur direkten Aufbereitung zugelassen wird (und welche Qualität das Betriebswasser haben muss) und welches Grauwasser der zentralen Schwarzwasseraufbereitung zugeführt werden muss, zum anderen könnte diese Entscheidung aber durchaus auch als Spezifizierung auf lokaler Ebene durch den Systementscheider getroffen werden.

Die Stoffstromtrennung kann für Hauseigentümer den Anreiz verstärken, die Grauwasseraufbereitung (zusammen mit der Wärmerückgewinnung) dezentral vorzunehmen um damit etwaige Gebühren sowohl bei der Trinkwasserversorgung als auch bei der Abwasserentsorgung einzusparen (sogenanntes „Rosinenpickproblem“).[63] Folglich sind Maßnahmen zur Reduktion von derartigen Anreizen zum „Herausbrechen“ der Hauseigentümer aus dem Gesamtsystem – nämlich der semizentralen Grauwasseraufbereitung – vorzusehen, sofern diese dem Ziel der Kostenreduktion für alle Nutzer und ökologischen Zielen entgegenstehen. Dies könnte über einen

63 Von einer dezentralen Schwarzwasseraufbereitung wird abgesehen. Diese scheint derzeit nur in Gebieten mit sehr peripheren Verbrauchern ökonomisch sinnvoll. Eine dezentrale Schwarzwasseraufbereitung ist prinzipiell aber wohl denkbar, wie Forschungsprojekte beispielsweise in Berlin zeigen.

Anschluss- und Benutzungszwang, Anzeigepflichten der Hauseigentümer gegenüber dem Abwasserentsorger und entsprechende Genehmigung durch diesen sowie einem angepassten Gebührensystem erfolgen. Auf diese Weise könnte auch Kontrahierungsproblemen hinsichtlich der Qualität von aufbereitetem Grauwasser entgegengewirkt werden. Zudem scheint derzeit eine semizentrale Grauwasseraufbereitung vor allem aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive kostengünstiger als eine dezentrale Aufbereitung.[64]

Aufgrund der Ausgestaltung des Systems dürfte ein Anschluss- und Benutzungszwang für die Hauseigentümer an das System weiterhin notwendig sein. Das Wissen über das technische System dürfte bei Hauseigentümern und bei den Installationsbetrieben weniger weit verbreitet sein als beim Konventionellen System, was insbesondere auf die fehlenden Erfahrungswerte mit Bezug zur Stoffstromtrennung zurückzuführen ist. Daher ist es eventuell notwendig, dass der Systemplaner bestimmte Vorgaben macht und explizites Wissen beispielsweise in Form von Handbüchern zur Verfügung stellt (Schramm et al. 2016) und (Kerber et al. 2016). Im Hinblick auf die Hebung von Synergiepotenzialen und die Begrenzung von Nutzerkosten gibt es nach wie vor Argumente für eine Planung der Wasserinfrastruktur im Haus / Block durch die Hauseigentümer. Für die Nutzer dürften sich aufgrund der Mehrkosten für die Verlegung von zusätzlichen Leitungen innerhalb des Hauses zunächst höhere Investitionskosten (bzw. Kaltmieten) ergeben, allerdings könnten sich die Kosten für die Nutzung von Betriebswasser anstelle von Trinkwasser und Abwässer entsprechend reduzieren.

In diesem System kommt den spezifischen Akteurskonstellationen hinsichtlich der Anreiz- und Zielsysteme eine höhere Bedeutung als im Konventionellen System zu. Insbesondere die Lieferung von Betriebswasser als Substitut für Trinkwasser und der verringerte Bedarf an Trinkwasser sind in diesem Zusammenhang zu beachten. Bei der Planung des Gesamtsystems ohne Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten kann dem Anreizkonflikt zwischen Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung aber entgegengewirkt werden, indem eine integrierte Gesamtplanung der Trink- und Abwasserinfrastruktur vorgenommen wird. Während des Betriebs könnten allerdings sowohl Trinkwasserversorger als auch Grauwasseraufbereiter bzw. -behandler versuchen, ihre Liefermengen zur Gewinnmaximierung zu erhöhen, sofern es sich um unterschiedliche Akteure handelt (und von gewinnmaximierenden Akteuren ausgegangen wird; sollte es sich um lokale öffentliche Unternehmen handeln, könnten auch andere Ziele als die reine Gewinnmaximierung voranstehen). Weiterhin könnten für den Nutzer des Systems bei Veränderungen des Lieferverhältnisses von Betriebs- zu Trinkwasser aufgrund hoher Fixkosten Kostennachteile entstehen. Würde die Grauwasseraufbereitung und Betriebswasserbelieferung durch einen Dritten übernommen, was im Hinblick auf die Kontrahierbarkeit durchaus

64 Vgl. hierzu die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführte Machbarkeitsstudie von HamburgWasser (Werner / Giese 2016). Allerdings gibt es auch Modellvorhaben, die auf eine kostengünstige dezentrale Grauwasseraufbereitung hinweisen (Nolde / Heinhaus 2014).

vorstellbar wäre, könnten sich höhere Transaktionskosten infolge von Unsicherheiten und Vertragsverhandlungen ergeben.

Die Rolle eines Normengebers auf übergeordneter Ebene, der die wesentlichen Rahmenbedingungen beispielsweise hinsichtlich der Qualität der Abwasseraufbereitung setzt, ist auch in diesem System notwendig. Dies kann Anreizen zur Kosteneinsparungen durch Qualitätsreduktionen innerhalb eines kommunalen Abwassersystems sowie innerhalb der häuslichen Erfassungsinfrastruktur entgegenwirken.

Abbildung 15 stellt die mögliche Rollenzuordnung im Bereich der Abwasserinfrastruktur im Frankfurter System mit semizentraler Grauwasseraufbereitung schematisch dar.

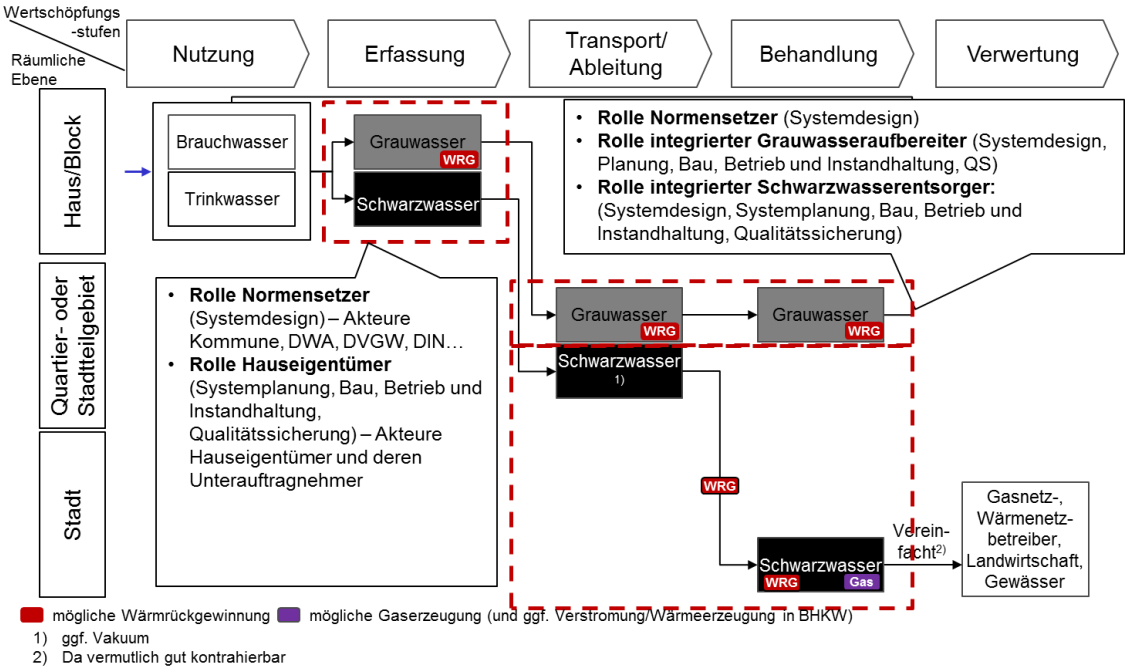


Abbildung 15 - Mögliche Rollenzuordnung im System mit zentraler Schwarzwasseraufbereitung und dezentraler Grauwasseraufbereitung

SUBSYSTEM WÄRMERÜCKGEWINNUNG UND -NUTZUNG

Mit Bezug zur Wärmerückgewinnung und –nutzung ist insbesondere hinsichtlich der Wärmerückgewinnung an dezentraler Stelle bei der Erfassungsinfrastruktur sowie semizentral am öffentlichen Grauwasserkanal eine institutionelle Regelung vorzusehen. Das Potenzial für eine Wärmerückgewinnung dürfte aufgrund der Stoffstromtrennung und der räumlichen (und möglicherweise auch organisatorischen) Nähe von Wärmequelle und –senke größer als im Konventionellen System sein.

Sollte der Abwasserentsorger zusätzlich eine Wärmerückgewinnung am öffentlichen (Grau-)Wasserkanal vornehmen, so ist auf entsprechende institutionelle Regelungen zu achten. Diese wurden bereits im Zusammenhang mit dem Konventionellen System beschrieben, worauf an dieser Stelle verwiesen sei. Jedoch erscheint wegen der potenziellen Vorteilhaftigkeit einer dezentralen Wärmerückgewinnung (vgl. Abschnitt 4.2) ein Eingriff in die Aktivitäten der dezentralen Akteure (also an der häuslichen Erfassungsinfrastruktur) noch weniger zielführend als im Konventionellen System. Folglich ist über die institutionellen Regelungen besonders eine Reduktion der Unsicherheit für dezentrale Investoren anzustreben.

Eine Integration der Wärmerückgewinnung an dezentraler bzw. semizentraler Stelle in das Aufgabenfeld des Abwasserentsorgers ist durchaus vorstellbar. Allerdings bleibt fraglich, inwiefern dieser in der Lage ist, auf diese Weise Kostensenkungspotenziale beispielsweise durch Synergieeffekte zu heben. Insbesondere für den Fall, dass der Abwasserentsorger nicht auch Wärmeversorger ist und darüber hinaus nicht über eine entsprechende Ressourcenausstattung verfügt, erscheint es derzeit als weniger vorteilhaft, speziell die dezentrale Wärmerückgewinnung und -nutzung in das Portfolio des Abwasserentsorgers mittels institutioneller Regelungen aufzunehmen.

6.1.3 Zentrale Schwarzwasseraufbereitung mit dezentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung

Systemdarstellung aus institutioneller Sicht

Dieses System unterscheidet sich zur vorherigen Systemvariante nur um die dezentrale Grauwasseraufbereitung, welche an die Stelle der semizentralen Aufbereitung tritt. Hierdurch ergeben sich für das Abwassersystem eher geringere, dezentrale Auswirkungen aus technischer Sicht, auf welche hier nur knapp eingegangen wird.[65] Allerdings könnte die Änderung bestimmte institutionelle Änderungen bedingen.

Es stellt sich insbesondere die Frage, ob in einem solchen System der Abwasserentsorger neben der Systementscheidung für das Abwassersystem auch für die dezentrale Grauwasseraufbereitung und Betriebswasserbelieferung verantwortlich sein sollte.[66] Dies könnte mit erhöhten Abstimmungskosten mit den Hauseigentümern einhergehen, da nunmehr bei der Systemplanung eine verstärkte Berücksichtigung der Präferenzen der Hauseigentümer und der Bewohner der Immobilien vorzunehmen ist. Bedeutsam im Hinblick auf die Vorteilhaftigkeit dieser Systemvariante könnte ferner sein, welche Qualitätserfordernisse vorgegeben werden und wie mit

65 Durch eine dezentrale Grauwasseraufbereitung könnten bestimmte Synergiepotenziale reduziert werden, andererseits könnte es zu einem geringeren Leitungsbau und damit zu geringeren Abstimmungskosten kommen.

66 Die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer dezentralen Grauwasseraufbereitung ist im Vergleich zur semizentralen Variante in einer Machbarkeitsstudie für ein konkretes Projekt allerdings nicht zu erkennen (Werner / Giese 2016).

möglicherweise nicht benötigtem, aufbereitetem Grauwasser umgegangen wird. Darüber hinaus dürfte der bereits in den vorherigen Kapiteln geschilderte Anreizkonflikt mit dem Trinkwasserversorger auch hier bestehen.

Hinsichtlich der Schwarzwasseraufbereitung sind nur wenige bis gar keine Änderungen gegenüber dem System mit semizentraler Grauwasseraufbereitung zu erwarten. Eine Wärmerückgewinnung am öffentlichen Grauwasserkanal ist nun nicht mehr möglich, so dass das Ausmaß der zu treffenden institutionellen Regelungen begrenzt ist.

Mögliche institutionelle Ausgestaltung

SUBSYSTEM ABWASSER

Während hinsichtlich des Schwarzwassersystems auf die Ausführungen im vorherigen Abschnitt 6.1.2 verwiesen werden kann, trifft letztere Aussage in besonderem Maße auf das Modul der Grauwasserbehandlung zu. Hier stellen sich vor allem die Fragen, ob die Planung von Schwarzwasser- und Grauwasseraufbereitung integriert stattfindet, ob Trinkwasserversorgung und Grauwasseraufbereitung aufeinander abgestimmt werden können bzw. wie dies institutionell ermöglicht werden kann, ob dem Abwasserentsorger auch die Verantwortung für die dezentrale Grauwasseraufbereitung übertragen werden sollte und welche Kostensenkungspotenziale hierdurch ermöglicht werden.

Aufgrund der geringen „Schnittmenge“ zwischen Grau- und Schwarzwasserbehandlung scheint es vorteilhaft zu sein, diese beiden Aufgaben auch organisatorisch voneinander getrennt zu behandeln. Es ist jedoch vorab zu regeln, inwieweit die Grauwasseraufbereitung auf das System der zentralen Schwarzwasserbehandlung zurückgreifen kann und soll, insbesondere zur Beibehaltung einer gewissen Systemflexibilität. Dies dürfte aber gut kontrahierbar sein bzw. könnte es weiterhin zielführend sein, eine zentrale Rolle für die Systementscheidung auf kommunaler Ebene vorzusehen.

Die dezentrale Grauwasseraufbereitung könnte wie auch die semizentrale Aufbereitung (siehe Beschreibung in Kap. 6.1.2) Rückwirkungen auf das System der Trinkwasserversorgung haben. Daher kann es sinnvoll sein, Trinkwasserversorgung und insbesondere die Grauwasseraufbereitung aufeinander abzustimmen. Dies dürfte ebenfalls gut kontrahierbar sein. Somit könnte auch ein Dritter die Grauwasseraufbereitung und Betriebswasserbereitstellung anbieten. Da aufgrund der dezentralen Anlagen zur Grauwasseraufbereitung im Haus / Block mit relativ hohen Investitionskosten und einem verhältnismäßig eher geringen Wartungsaufwand zu rechnen ist, dürfte der Betrieb mehrerer dezentraler Anlagen nicht mit allzu hohen Synergiepotenzialen verbunden sein. Daher ist es fraglich, ob ein desintegrierter Abwasserentsorger unbedingt für die dezentrale Grauwasseraufbereitung zuständig sein sollte oder ob aufgrund von möglicherweise geringeren Abstimmungskosten in dieser Systemvariante nicht vielmehr dezentrale Akteure mit entsprechendem Know-how diese Aufgabe wahrnehmen sollten, sofern sich die (qualitativen) Anforderungen an dieses System gut beschreiben und überwachen lassen.

Wie schon zuvor dargelegt, sind in diesem Kontext also durch einen Normensetzer sowie möglicherweise auch durch den Abwasserentsorger (Schwarzwasser) sehr detaillierte Regelungen beispielsweise über Mindestqualitätsstandards sowie auch Gebührenmodelle vorzugeben. Es ist darüber hinaus vorab zu definieren, welcher Verschmutzungsgrad des Grauwassers zur direkten Behandlung zugelassen wird, welches Grauwasser der zentralen Schwarzwasseraufbereitung zugeführt werden muss und welche Anforderungen an Betriebswasser gestellt werden. Aufgrund der Ausgestaltung des Systems könnte weiterhin ein Anschluss- und Benutzungszwang für die Hauseigentümer an das System notwendig sein. Das Wissen über das technische System dürfte bei Hauseigentümern und bei den Installationsbetrieben weniger weit verbreitet sein als beim Konventionellen System, was insbesondere in den mangelnden Erfahrungswerten im Hinblick auf die Stoffstromtrennung begründet ist. Daher ist es unerlässlich, dass der Systemplaner bestimmte Vorgaben macht und explizites Wissen beispielsweise in Form von Handbüchern zur Verfügung stellt.

Die Rolle eines Normengebers auf übergeordneter Ebene, der die wesentlichen Rahmenbedingungen beispielsweise hinsichtlich der Qualität der Abwasseraufbereitung setzt, ist wie auch bei den anderen Varianten notwendig. Dies könnte Anreizen zur Kosteneinsparung durch Qualitätsreduktion insbesondere innerhalb der häuslichen Erfassungsinfrastruktur entgegenwirken.

Abbildung 16 stellt die mögliche Rollenzuordnung im Bereich der Abwasserinfrastruktur im vorgestellten System mit dezentraler Grauwasseraufbereitung schematisch dar.

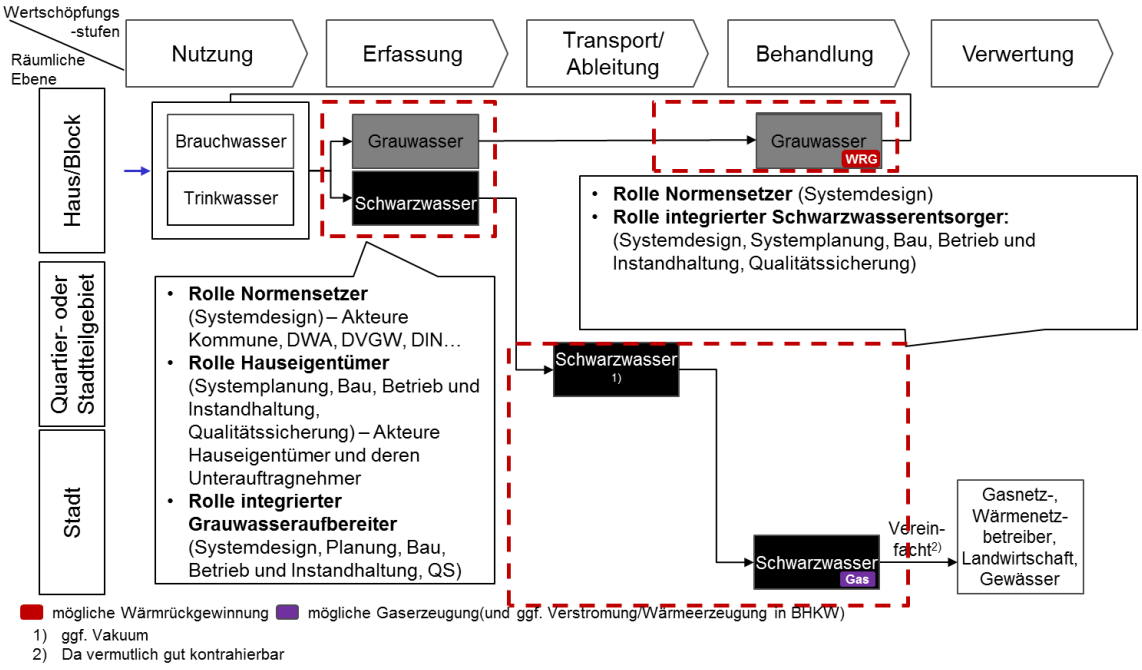


Abbildung 16 - Mögliche Rollenzuordnung im System mit zentraler Schwarzwasseraufbereitung und dezentraler Grauwasseraufbereitung

Bezüglich der Wärmerückgewinnung und –nutzung sind aufgrund der vornehmlich dezentralen häuslichen Erfassungsinfrastruktur im Vergleich zu den anderen Systemvarianten deutlich weniger institutionelle Regelungen vorzusehen.[67] Wie schon im vorherigen Abschnitt erläutert, ist eine Integration der dezentralen Wärmerückgewinnung in das Aufgabenfeld des Abwasserentsorgers durchaus vorstellbar. Dies gilt insbesondere, wenn dieser auch die Rolle des Grauwasseraufbereiters wahrnimmt. Allerdings bleibt fraglich, inwiefern er hierdurch Kostensenkungspotenziale beispielsweise in Form von Synergieeffekten realisieren kann.

6.1.4 Semizentrale Schwarzwasseraufbereitung mit semizentraler Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung

Systemdarstellung aus institutioneller Sicht

Grauwasser und Schwarzwasser werden bei dieser Systemvariante dezentral erfasst und semizentral behandelt. Das Grauwasser kann als Betriebswasser zur Verfügung gestellt werden. Eine Wärmerückgewinnung ist insbesondere an der dezentralen Erfassungsinfrastruktur am Grauwasserstrom sowie bei der semizentralen Transport- und Behandlungsinfrastruktur möglich. Da sich diese Systemvariante nur in der semizentralen Schwarzwasseraufbereitung von der Systemvariante mit zentraler Schwarzwasseraufbereitung und semizentraler Grauwasseraufbereitung unterscheidet, kann im Wesentlichen auf die Ausführungen in Abschnitt 6.1.2 verwiesen werden und es wird im Folgenden nur auf diesbezügliche Abweichungen eingegangen.

Hinsichtlich der institutionellen Ausgestaltung scheint bei diesem System ebenfalls eine integrierte Systementscheidung und damit auch (Kapazitäts-)Planung bei Bau, Betrieb und Instandhaltung von Transport- und Behandlungsanlagen für das Schwarzwassers mit relativ geringen Abstimmungskosten möglich.

Bei der Schwarzwasserbehandlung dürfte im Vergleich zu den bisher betrachteten Systemvarianten ein noch geringerer Energieaufwand für den Transport des Schwarzwassers nötig sein. Weiterhin könnte die semizentrale Schwarzwasserbehandlung Vorteile hinsichtlich der noch gezielteren Aufbereitung unterschiedlicher Stoffe bergen. Allerdings fallen die Synergieeffekte, die im Rahmen einer zentralen Aufbereitung realisiert werden, weg. Zudem scheint im aktuellen technischen System stets eine Aufbereitung in Verbindung mit einer Co-Vergärung von anderen Stoffen vorgesehen zu sein[68], was zwar für die Aufbereitung technisch vorteilhaft sein kann, jedoch Abstimmungskosten mit Zulieferern und gegebenenfalls Konflikte zu anderen Verwendungsformen der Eingangsstoffe mit sich bringen könnte.

67 Insofern nur auf eine Wärmerückgewinnung am Haus / Block am Grauwasserstrom abgestellt wird und nicht auch eine sehr hohe Wärmerückgewinnung beim Schwarzwasserstrom im Haus / Block.

68 Vgl. hierzu (Davoudi et al. 2016) sowie (Werner / Giese 2016).

Mögliche institutionelle Ausgestaltung

SUBSYSTEM ABWASSER

Im Hinblick auf die Rolle des Systementscheiders für Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung sei auf die relevanten Ausführungen in Abschnitt 6.1.2 verwiesen. Vermutlich ist es auch hier sinnvoll, die Verantwortung für die Erfassungsinfrastruktur bei den Hauseigentümern zu belassen. Darüber hinaus dürfte die Integration von Transport und Aufbereitung weiterhin vorteilhaft sein, allerdings ist eventuell in dieser Systemvariante im Vergleich zum Status quo und dem Konventionellen System die Normensetzung sowohl auf zentraler wie auch auf dezentraler Ebene anzupassen.

Die Vergärung von Bioabfällen, von Klärschlamm und Co-Substraten bedingt einen erhöhten Abstimmungsbedarf im Vergleich zu anderen Systemvarianten, welcher jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet wird.[69] Abbildung 17 stellt die mögliche Rollenzuordnung im Bereich der Abwasserentsorgung in dieser Systemvariante schematisch dar.

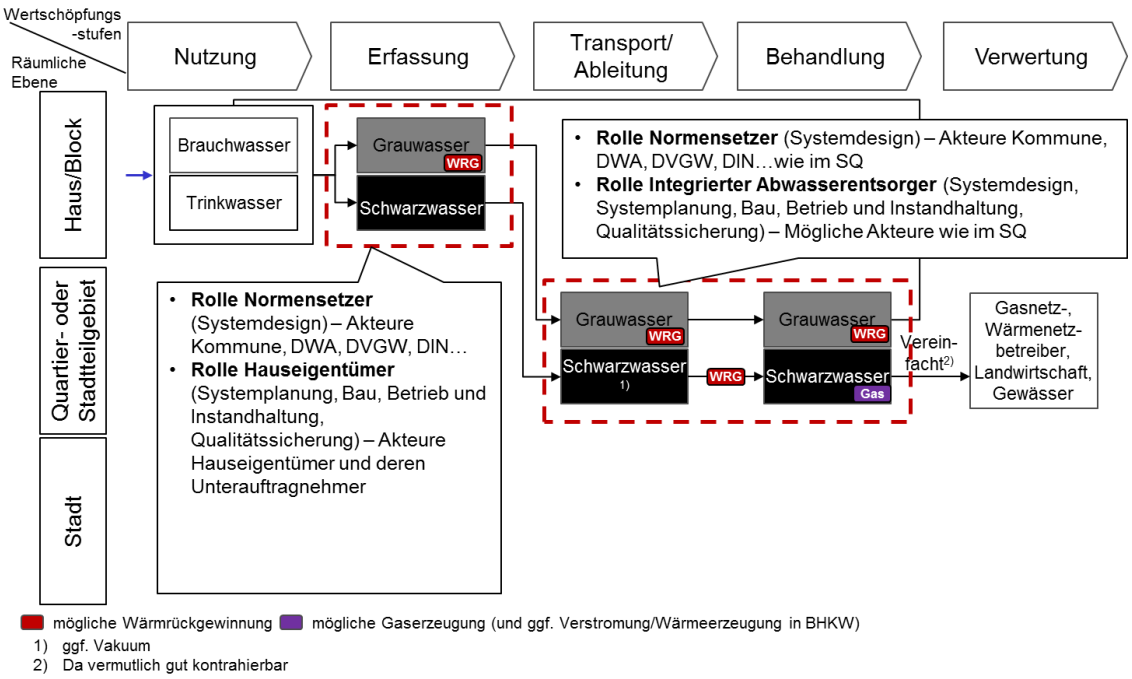


Abbildung 17 - Mögliche Rollenzuordnung im System mit semizentraler Schwarzwasser- und Grauwasseraufbereitung

69 Für die Vergärung und Nutzung der Stoffe sowie die Qualität der Abwasseraufbereitung sind die bestehenden Normen anzuwenden bzw. auf zentraler Ebene neue Normen zu definieren.

Diesbezüglich sei auf die Ausführungen in Abschnitt 6.1.2 verwiesen.

6.2 Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten

Im Folgenden werden die dargestellten Systemvarianten hinsichtlich ihrer Vorteilhaftigkeit sowie möglicher Koordinationserfordernisse unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten eingeordnet. Dabei wird weitestgehend auf die bereits vorgenommene Analyse zurückgegriffen und nur punktuell auf mögliche Änderungen eingegangen.

Auf der „grünen Wiese“ erscheint die Wahl des Konventionellen Systems nicht vorteilhaft in Hinblick auf Kosteneffizienz. Im Status quo der Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland wird jedoch nahezu ausschließlich diese Systemvariante verwendet. Somit könnten Änderungen des Systems, beispielsweise durch Einführung einer Stoffstromtrennung, zu einer Entwertung von bereits getätigten Investitionen in die Wasserinfrastruktur, zumindest kurzfristig zu einem erhöhten Wartungsaufwand aufgrund eines zu geringen Abwasserdurchflusses und zu einer ungünstigen Kapazitätsauslegung führen, was wiederum hinsichtlich der Kosteneffizienz negative Effekte für Konsumenten haben könnte. Längerfristig und bedingt durch einen erhöhten Änderungsdruck wie etwa durch demographischen Wandel und klimatische Veränderungen erscheint die Einführung neuartiger Wasserinfrastrukturen interessant und könnte insofern zielführend sein. Für städtische Regionen ist derzeit eine Parallelität von Anpassungsstrategien zu konstatieren. Hier geht es zunächst um eine Optimierung des existierenden Systems etwa durch Wärmerückgewinnung. Darüber hinaus geht es aber auch um die Verbreitung von innovativen und differenzierten Wasserinfrastrukturen.[70] Eine erste Einführung bzw. eine diesbezügliche Vorbereitung könnte beispielsweise in der Implementierung einer Stoffstromtrennung in der häuslichen Infrastruktur liegen. Diese kann auf verschiedenen Wegen forciert werden:

- die Kommune bzw. eines ihrer kommunalen Unternehmen ist selbst Bauherr,
- die Kommune vereinbart dementsprechende Bedingungen beim Verkauf von Bauland,
- die Kommune schreibt für bestimmte dafür geeignete Neubaugebiete die Implementierung der Stoffstromtrennung durch Bauleitpläne vor[71]
- Es werden kommunale Satzungen erlassen, die einen dementsprechenden Anschluss- und Benutzungszwang vorsehen[72.]

Einen entscheidenden Vorteil von neuartigen Wasserinfrastruktursystemen stellt die Möglichkeit der graduellen Anpassung auf dezentraler sowie semizentraler Ebene dar, so dass deren Ein-

70 Vgl. hierzu die Ergebnisse der BMBF-Fördermaßnahme INIS, dokumentiert etwa durch (Nickel / Langer 2016).

71 Im Bebauungsplan kann allerdings keine Bau- und Benutzungspflicht statuiert werden.

72 Dieses Vorgehen ist mit einige Risiken behaftet; vgl. netWORKS-Paper 2016, Heft 31.

führung auch unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten möglich wird. Darüber hinaus scheinen die betrachteten Systemvarianten im Hinblick auf die Flexibilität und umweltpolitische Ziele Vorteile gegenüber dem Konventionellen System aufzuweisen.[73] Der institutionelle Anpassungsaufwand dürfte insbesondere bei den beiden Systemvarianten mit semizentraler Grauwasseraufbereitung mit Bezug zum aktuellen Regelrahmen nicht allzu hoch sein, da viele Regelungen bereits heute über kommunalrechtliche Befugnisse einführbar sind. Allerdings dürften derzeit noch ein geringes Know-how und wenige Erfahrungswerte bezüglich der neuartigen Systemvarianten vorhanden sein, was insbesondere bei der Planung und Auslegung von Systemen Unsicherheiten schaffen und damit Kosten verursachen kann. Ferner könnte es bei einer graduellen Systemumstellung zu Überkapazitäten im Trink- und Abwasserbereich kommen, so dass gegebenenfalls kurz- bis mittelfristig steigende Kosten aus Konsumentenperspektive zu erwarten sind. Dies kann auch mit einer Umstellung der bisherigen Gebührensystematik für die betroffenen Systeme (Trinkwasser, Abwasser) einhergehen, da der Finanzierung der bestehenden Kapazität über fixe Gebühren statt variablen Entgelten eine größere Bedeutung zukommt. Derartige Tendenzen sind bereits heute in der Wasserwirtschaft aufgrund von Nachfragerückgängen zu beobachten. Weiterhin kann es in Zukunft notwendig sein, die steuerliche Behandlung von Betriebswasser anzupassen, um allokative Verzerrungen zu vermeiden. Zudem dürften Hauseigentümer nur geringe Anreize zur Installation neuer Anlagen haben und eine nachträgliche Installation im Hausbestand nur unter Inkaufnahme sehr hoher Kosten möglich sein.

Sollten de- oder semizentrale Systeme zur Grauwasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung eingesetzt werden, könnten sich für bisherige Akteure der Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wärmeversorger geringere Absatzmengen einstellen, andererseits sind auch neue Geschäftsfelder denkbar, die sich Wasserunternehmen erschließen können (Trapp / Libbe 2016). Verminderte Absatzmöglichkeiten bzw. Erlöse könnten zunächst zu Kostensteigerungen für andere Nutzer führen, falls sie unproblematisch auf diese Nutzer umgelegt werden können, oder aber geringere Erlöse bei den Unternehmen zur Folge haben. Andererseits könnten die neuartigen Systeme (und neuen Akteure) aufgrund von Effizienzvorteilen und Synergiepotenzialen langfristig die Kosten für alle Nutzer senken.

Insbesondere bei der Wärmerückgewinnung am Kanal dürfte aufgrund von technischen und institutionellen Pfadabhängigkeiten eine technisch und ökonomisch vorteilhafte Umsetzung schwer zu realisieren sein, denn Planung und Bau der Wärmeversorgung bei potenziellen Wärmesenken und Bauarbeiten an Kanälen müssen nicht zwangsweise zusammenfallen, so dass in der Vergangenheit die Option der Wärmerückgewinnung ggf. aus diesem Grund nicht berücksichtigt wurde. Im Einzelfall kann es sein, dass nur beim Zusammenfallen der Bauarbeiten am Kanal und der Bauarbeiten beim potenziellen Wärmenutzer, das Wärmepotenzial wirt-

73 Siehe hierzu (Felmeden et al. 2016), welches jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung des Papers noch nicht in einer finalen Fassung vorlag.

schaftlich erschlossen werden kann. Aus diesen Gründen ist es gut möglich, dass etwaiges Optimierungspotenzial in diesem Kontext auch zukünftig nur sehr punktuell ausgeschöpft wird. Dies dürfte vor allem dann der Fall sein, wenn dem Kanalbetreiber keine entsprechenden Anreize oder Vorgaben zur Hebung dieses Potenzials gesetzt werden.

7 Fazit

Die größtenteils abstrakten Ausführungen in diesem Paper zeigen, dass für eine kostengünstige Einführung von neuartigen, also innovativen und differenzierten Wasserinfrastrukturen gewisse neue institutionelle Regeln vorzusehen sind. Die Umsetzung der verschiedenen Systemvarianten kann dann sowohl Vorteile hinsichtlich der Erreichung von Umweltzielen, eine Flexibilitätserhöhung sowie – zumindest langfristig – Kostensenkungen für Konsumenten herbeiführen.

Zentrale Vorschriften auf Bundesebene zur Ausgestaltung des technischen Abwassersystems im Sinne der dargestellten Systemvarianten sind nicht sachgerecht in Hinblick auf die verfolgten Ziele. Aufgrund der vielen dezentralen bzw. lokalen Gegebenheiten eines solchen Systems – insbesondere unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten, aber auch ohne diese – sowie den Unsicherheiten über die Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Systemvarianten scheint eine gewisse Rationalität dafür zu bestehen, Entscheidungskompetenzen über das zu implementierende System der Kommune bzw. per Delegation dem Abwasserentsorger zuzuordnen. Davon unbelassen sind rahmensetzende Vorgaben durch einen zentralen Normen- bzw. Gesetzesgeber (Bund) beispielsweise zur Qualitätssicherung.

Insbesondere unter Berücksichtigung des aktuellen institutionellen Rahmens (mit der in Art 28 Abs. 2 grundgesetzlich garantierten kommunalen Selbstverwaltung) sowie dem Vorliegen der benötigten Ressourcen wie etwa Wissen auf der lokalen Ebene, ist die Zuordnung der Systementscheidung an die Kommune bzw. dessen verbundene Unternehmen vorteilhaft gegenüber einer zentralen Regelsetzung. Dies gilt umso mehr unter der Annahme, wenn die Kommune als Ziel die Senkung von Kosten aus Konsumentenperspektive hat und über das lokale Wissen verfügt, was bei räumlich differenzierten Wasserinfrastrukturen von besonderer Bedeutung ist.

Hinsichtlich der Kosteneffizienz sind bei der Implementierung neuartiger Wasserinfrastruktursystem neben technisch-systemischen Überlegungen auch finanzielle Anreize der einzelnen Akteure von wesentlicher Bedeutung. Es sind insbesondere auch Pfadabhängigkeiten durch das bestehende, bereits implementierte Abwassersystem zu berücksichtigen, so dass Abschreibungszeiten bestehender Infrastruktur und Sonderabschreibungsmöglichkeiten zu beachten sind. Daher sollten der Kommune und besonders im Falle eines von dieser beauftragten Unternehmens möglichst wenige Spielräume zu opportunistischem Verhalten eröffnet werden (z. B. durch Transparenzvorgaben im Bereich der Wärmerückgewinnung), eine Vorgabe die sich auch in den aktuellen Regelungen bereits wiederfindet.

Durch eine Zuordnung der Systementscheidung an einen Akteur (wie bspw. den lokalen Abwasserentsorger oder die Kommune) könnte auch ein „Herausbrechen“ aus dem System der (kommunalen) Wasserinfrastruktur und damit ein „Rosinenpicken“ – wie in Abschnitt 6 dargestellt – vermieden werden. Es ist unerlässlich, dass der Systementscheider über entsprechendes Know-how verfügt bzw. dieses aufbaut z. B. durch geeignetes Wissensmanagement einer zentralen Organisation. Aufgrund des aktuell eingespielten Gefüges in der Siedlungswasserwirtschaft mit den übergeordneten Verbänden und den bestehenden Institutionen, ist davon

auszugehen, dass Akteure der Siedlungswasserwirtschaft und insbesondere kommunale Unternehmen über das nötige Know-how verfügen bzw. sich dieses gut aneignen können.

Generell hat der Systementscheider durch seine Einschätzung über die Vorteilhaftigkeit eines bestimmten Wasserinfrastruktursystems und der Entscheidung zur Implementierung wesentlichen Einfluss auf die Handlungsspielräume der weiteren (lokalen) Akteure. Es ist vermutlich weiterhin angemessen, die häusliche Erfassungsinfrastruktur in Verantwortung des Hauseigentümers zu belassen, der den Betreib dann an Dritte delegieren könnte. Der Abwasserentsorger kann aber auch verstärkt de- und semizentrale Behandlungsanlagen für Grauwasser betreiben (Trapp / Libbe 2016), sofern diese gegenüber einer zentralen Aufbereitung vorteilhaft sind und der Systementscheider eine de-/semizentrale Aufbereitung überhaupt vorsieht und diese ermöglicht. Sollte eine dezentrale Grauwasseraufbereitung auf Haus- / Blockebene durch Dritte angestrebt werden, so kann eine (im weiteren Sinne) Zuordnung von Rechten an den Abwasserentsorger (z. B. Genehmigungspflicht für solche Anlagen) vorteilhaft sein, um auf diese Weise negative Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu vermeiden. Zudem sind auch Regelungen hinsichtlich der Qualität und Verwendung des Betriebswassers zu setzen, was auch von einem übergeordneten Normengeber gemacht werden könnte, etwa für das Trinkwasser der Fall ist (Trinkwasserverordnung als Bundesregelung).

Auch die sektorenübergreifende Optimierung kann der Kommune als Systementscheider zugeordnet werden, der im aktuellen System auch die Abwasserentsorgung obliegt. So kann bei der (zentralen) Wärmerückgewinnung eine Umsetzung durch den Abwasserentsorger vereinfacht erfolgen. Diese Wärmerückgewinnung scheint, zumindest wenn die technischen und institutionellen Anforderungen erfüllt sind, vorteilhaft hinsichtlich Ressourcen- und Kosteneffizienz zu sein. Allerdings ist bei Durchführung durch den Abwasserentsorger auf die möglichen Anreizkonflikte zu achten, so dass entsprechende Regelungen bei der Nutzung des öffentlichen Kanals vorzusehen sind. So könnte beispielsweise der Kanalbetreiber zu einer bestimmten Transparenz hinsichtlich der Wärmepotenziale verpflichtet werden oder es könnten auch informellere Verfahren wie kommunale Klimaschutzkonzepte oder kommunale Energieleitpläne durch den Systementscheider zur Zielerreichung angewendet werden. Sollte eine Wärmerückgewinnung durch Dritte und somit eine Überlassung des Kanals angedacht sein, so könnten Standardverträge bei geringem Wärmepotenzial oder aber Ausschreibungen bei größerem Potenzial implementiert werden. Eine Zuordnung der Ewigkeitsrechte zur Kommune und eine dann befristete Vergabe bspw. durch Konzessionen ist in diesem Fall sinnvoll. Es erscheint aus derzeitiger Sicht vorteilhaft, eine dezentrale Wärmerückgewinnung nicht zu unterbinden und das regulatorische Risiko für solche Investitionen nicht unnötig zu erhöhen (z. B. durch nachträgliche technische Anforderungen an die Minimaltemperatur), da die (technischen) Rückwirkungen auf das Gesamtsystem derzeit als eher gering einzuschätzen sind.

Aufgrund der technisch-systemischen Zusammenhänge von Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und Wärmerückgewinnung ist auf das Zielsystem der beteiligten Akteure zu achten. Ein integriertes kommunales Stadtwerk dürfte vermutlich eher eine Optimierung des Ge-

samtsystems – zumindest für die einzelne Kommune – über die verschiedenen Sparten hinweg und damit auch eine Senkung der Kosten für Nutzer anstreben. Geht man hingegen von nicht integrierten Unternehmen mit ungleichen Zielsystemen aus (bspw. bei rein privaten Unternehmen die Gewinnmaximierung), könnte dies zu einer ineffizienten Implementierung von Systemen und damit zu Kostensteigerungen für Nutzer führen. Diese Anreizkonflikte sind besonders dann zu beachten, wenn man von einer stärkeren Kopplung der Wasserinfrastruktursysteme ausgeht. So bestimmen sich die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung durch einen Wärmeversorger bei der Kopplung von Abwasser und Wärme wohl über die ausgewählte Systemvariante. Daher sind für diesen Fall auf Seiten der Kommune bzw. des Systementscheiders entsprechende Regelungen vorzusehen, die eine optimale Koordination ermöglichen.

Unter Berücksichtigung von Pfadabhängigkeiten könnte eine Umsetzung der neuartigen Wasserinfrastruktursysteme graduell ablaufen. Zunächst kann das bestehende Konventionelle System optimiert werden, wobei in diesem Fall möglichst die zukünftige Implementierung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme durch Optimierungen nicht erschwert werden sollte. Dort wo neuartige Wasserinfrastrukturen trotz der Pfadabhängigkeiten im Bestand in einem bestimmten Gebiet vorteilhaft sind, könnte die Anpassung der Wasserinfrastruktur vorerst in Form einer (teilräumlichen) Einführung (also bspw. für einzelne Quartiere) vorgenommen werden, so dass sich eine räumlich differenzierte Entwicklung der Wasserinfrastruktur ergibt.

Bei einer graduellen Umsetzung, die sich vorerst nur auf einzelne Quartiere oder Stadtteile erstreckt, kommt den Pfadabhängigkeiten und den eventuell noch unzureichenden Regelsetzungsmöglichkeiten eine wesentliche Bedeutung zu. Daher kann es zielführend sein, sich bei der Implementierung neuartiger Wasserinfrastrukturen auf Gebiete mit einer mittleren bis hohen Entwicklungsdynamik und einem geringen Transformationsaufwand sowie einer relativ homogenen Eigentümerstruktur (z. B. in kommunaler Hand) zu konzentrieren, um so möglichst Transaktionskosten zu reduzieren. Hierbei spielt auch das Know-how des Systementscheiders (also im Regelfall der Kommune) bzw. des jeweiligen Abwasserentsorgers eine wesentliche Rolle, um das Entstehen neuer Pfadabhängigkeiten im Kontext (langfristig) nicht vorteilhafter Systeme vermeiden zu können.

8 Quellen und Literatur

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2013): Energie aus Abwasser - Ein Leitfaden für Kommunen.

Beckers, Thorsten; Bieschke, Nils; Lenz, Ann-Katrin; Heurich, Johannes; Kühling, Jürgen; Hertel, Wolfram; Schäfer, Dorothea (2014): Alternative Modelle für die Organisation und die Finanzierung des Ausbaus der Stromübertragungsnetze in Deutschland – Eine (institutionen-)ökonomische Analyse unter Einbezug juristischer und technisch-systemischer Expertise; Gutachten im Rahmen des vom Ministerium für Finanzen und Wirtschaft (MFW) des Landes Baden-Württemberg, vom Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk (MWEIMH) des Landes Nordrhein-Westfalen und vom Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT) beauftragten Projektes „Alternativen zur Finanzierung des Ausbaus der Übertragungsnetze in Deutschland“, Online-Veröffentlichung.

Beckers, Thorsten; Klatt, Jan Peter; Zimmermann, Tobias (2011): Eine (institutionen-)ökonomische Analyse Interkommunaler Zusammenarbeit (IKZ). Working paper.

BMF - Bundesministerium der Finanzen (2005): AfA-Tabelle Energie- und Wasserversorgung. Abgerufen am 06.07.2016 unter http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/1995-01-24-afa-24.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Brunk, Marten F.; Seybold, Christopher; Osebold, Rainard; Beyert, Joachim; Vosen, Georg (2012): Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser. Aachen/Stuttgart.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2011): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2011. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

Coase, Ronald (1937): The Nature of the Firm. Economica, Vol. 4, Nr. 16, S. 386-405.

Davoudi, Arash; Milosevic, Danijela; Scheidegger, Ruth; Schramm, Engelbert; Winker, Martina (2016): Stoffstromanalyse zu verschiedenen Wasserinfrastruktursystemen in Frankfurter und Hamburger Quartieren. netWORKS-Papers, Heft 30. Berlin.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2008): Neuartige Sanitärsysteme. Hennef.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2010): Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung 2009 - Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage der

Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) und des Deutschen Städtetages sowie des Deutschen Städte- und Gemeindebundes. Hennef.

Economic Sciences Prize Committee (2009): Scientific Background on the Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2009 – Economic Governance. Abgerufen am 06.07.2016 unter http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/2009/advanced-economicsciences2009.pdf.

Fahrenkrug, Katrin; Melzer, Michael; Schneepmaker, Teike; Hug, Oliver Riedel, Sven; Kruppa, Armgard; Kühne, Rainer; Schmidt-Wottrich, Jörg (2015): Abschlussbericht Leitbild zukunftsfähige Siedlungswasserwirtschaft Brandenburg. Wedel/Hamburg/Berlin.

Forschungsverbund netWORKS (2016): Genutzte Grafiken entstammen dem Forschungsverbund netWORKS. Weitere Informationen siehe https://networks-group.de/de.

Gawel, Erik (2015): Die Governance der Wasserinfrastruktur.: Band 1: Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Optionen. (Studien zu Umweltökonomie und Umweltpolitik – Band 11). Berlin.

Gawel, Erik; Bedtke, Norman (2015): Infrastrukturtransformation und Nachhalitgkeitsinstitutionen – eine Problemskizze für die deutsche Wasserwirtschaft. in: Gawel, Erik (2015): Die Governance der Wasserinfrastruktur.: Band 1: Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Optionen. (Studien zu Umweltökonomie und Umweltpolitik – Band 11). Berlin, S. 9 - 32.

Gizzi, Florian (2016): Implementierung komplexer Systemgüter – Ein methodischer Ansatz für ökonomische Untersuchungen und seine Anwendung auf Verkehrstelematiksysteme für die Straße. Dissertationsschrift.

Grazer Energieagentur GmbH (2007): Technisches und wirtschaftliches Marktpotential der Wärmeenergienutzung aus dem Abwasser in Österreich. Graz.

Hanke, Stefanie (2010): Rechtliche Rahmenbedingungen für de- und semizentrale Abwasserentsorgung. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 126-141.

Hanke, Stefanie (2016): Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen – zu den rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen der Einführung von Grauwasserrecycling, Schwarzwasserbehandlung sowie Wärmerückgewinnung. netWORKS-Paper Nr. 31 (im Erscheinen).

Herbst, Heinrich Bernhard (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. In: Pinnekamp, Johannes (Hrsg.): GWA – Gewässerschutz, Wasser & Abwasser, Bd. 213. Aachen.

Holländer, Robert; Lautenschläger, Sabine; Rüger, Jana; Fälsch, Marcel (2013): Abwasserentgelte in Deutschland - Wie beeinflussen unterschiedliche Rahmenbedingungen die Kosten- und Entgeltstruktur der Abwasserbeseitigung? Im Auftrag von VKU Verband kommunaler Unternehmen e.V.

Kerber, Heide; Schramm, Engelbert; Winker, Martina (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation. netWORKS-Papers, Heft 28. Berlin.

Klatt, Jan Peter (2011): Eine institutionenökonomische Analyse von Finanzierungslösungen für die Bundesfernstraßen. Baden-Baden.

Kluge, Thomas; Libbe, Jens (Hrsg.) (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin.

Kluge, Thomas; Schramm, Engelbert (2010): Geschichtlicher Exkurs zur Genese der bestehenden Systeme. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 33-36.

Libbe, Jens (2010): Die Stadt der Zukunft – Nachhaltigkeit und Effizienz. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 17-22.

Libbe, Jens; Hanke, Stefanie; Kluge, Thomas; Koziol, Matthias (2010): Wasserinfrastruktur in der kommunalen Planungspraxis. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 103-125.

Libbe, Jens; Schramm, Engelbert (2010): Demografische Entwicklung und Klimawandel. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 23-27.

Meinzinger, Franziska (2010): Resource Efficiency of Urban Sanitation Systems: A Comparative Assessment Using Material and Energy Flow Analysis. Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 75. Hamburg.

Menger-Krug, Eve, Tettenborn, Felix; Hillenbrand, Thomas; Hiessl, Harald; Erhardt, Marc; Gropp, Mirko (2010): Entwicklung und Erprobung eines Anlagenkonzeptes zur Wärmerückgewinnung und Wasserrecycling aus Grauwasser. Abgerufen am 05.04.2016 unter

https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2006_6/2006-06_Abschlussbericht_Pontos.pdf.

Merkel, Wolf; Bräcker, Juliane; Robn, Anja; Staben, Nadine (2010): Technische Optionen und typische Einsatzbereiche (Datenblätter). In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 161-189.

Nickel, Darla; Langer, Margarethe 82016) : Zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Botschaften an Praxis und Politik, in: Transforming Cities. Urbane Systeme im Wandel. Das technisch-wissenschaftliche Fachmagazin (2016) 2, S. 28-31.

Nolde, Erwin; Heinhaus, Uwe (2014): Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung – ein Baustein vom Passiv- zum Nullenergiehaus? Abgerufen am 05.04.2016 unter http://www.abgnova.de/pdf/pdf-sophienhofabende/2014-06-04-SHA-Praxisbericht-Arnimplatz-Nolde.pdf.

Remy, Christian (2010): Life Cycle Assessment of conventional and source-separation systems for urban wastewater management. Abgerufen am 05.04.2016 unter http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-2370.

Richter, Rudolf; Furubotn, Eirik G. (2010): Neue Institutionenökonomik: Eine Einführung und kritische Würdigung. Übersetzt von Monika Streissler. 4. Aufl. Tübingen.

Schramm, Engelbert (2010): Vom Abwasser zur Ressource. In: Kluge, Thomas, Jens Libbe (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin, S. 28-30.

Seibert-Erling, Gerhard (2015): Energieautarke Kläranlagen in Deutschland und der Einfluss der Energiepolitik. Vortrag im Rahmen der 38. Berliner Wasserwerkstatt am 18.06.2015. Abgerufen am 05.04.2016 unter http://www.kompetenz-wasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/veranstaltungen/Wasserwerkstatt/WW38_Seibert_Erling_Energieautarke_KA_und_Politik.pdf.

Staben, Nadine (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur. netWORKS-Papers, Heft 24. Berlin.

Tauchmann, Harald; Hafkesbrink, Joachim; Nisipeanu, Peter; Thomzik, Markus; Bäumer, Arno; Brauer, Ansgar; Clausen, Hartmut; Drouet, Dominique; Engel, Dirk; Körkemeyer, Karsten; Rothgang, Michael; Schroll, Markus (2006): Innovationen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Einflussfaktoren und Handlungsbedarf. Heidelberg.

Tietz, Hans-Peter (2007): Systeme der Ver- und Entsorgung: Funktionen und räumliche Strukturen. Wiesbaden.

Trapp, Jan Hendrik; Libbe, Jens (2016): Neuartige Wasserinfrastrukturen – Optionen für Unternehmensstrategien und Innovation. netWORKS-Papers, Heft 29. Berlin.

Werner, Thomas; Giese, Thomas (2015): Machbarkeitsstudie zu den beiden Stadtquartieren Tucholsky- und Struensee-Quartier in Hamburg-Altona. Noch nicht veröffentlicht.

Williamson, Oliver E. (1990): Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus: Unternehmen, Märkte, Kooperationen. Übersetzt von Monika Streissler. Tübingen.

9 Anhang: Berücksichtigung konkreter Konstellationen bei der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen

Die vorangegangene Analyse wurde anhand abstrakter Überlegungen vorgenommen, in denen konkrete Konstellationen in potenziellen Umsetzungsgebieten grundsätzlich nicht berücksichtigt wurden. Im Folgenden soll daher kurz auf die Anwendung bzw. Umsetzung der Systemvarianten in den Modellgebieten Frankfurt und Hamburg sowie die Umsetzung unter Berücksichtigung räumlich-struktureller Merkmale eingegangen werden, um so mögliche Abweichungen in der Bewertung zwischen einzelnen Konstellationen darzustellen.

9.1 Anwendung auf Quartiers- und Stadtteilebene

Im Rahmen des Forschungsprojektes netWORKS3 wurde in anderen Arbeitspaketen insbesondere die Umsetzung konkreter Systemvarianten auf Quartiers- und Stadtteilebene analysiert. In diesem Kontext bietet sich die Möglichkeit einer deutlich detaillierteren Analyse konkreter Stoffströme verschiedener Systemvarianten sowie von Umsetzungsproblemen vor Ort. Da die vorliegende Untersuchung auf einer abstrakteren Ebene basiert, wird im Folgenden in Kürze auf die (möglichen) Besonderheiten der Modellgebiete eingegangen werden, welche sich auch im Allgemeinen bei einer Betrachtung der Quartiers- und Stadtteilebene ergeben können.[74]

Zunächst wurden spezielle Modellgebiete identifiziert, bei denen eine Implementierung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme möglich erscheint. Diese Modellgebiete sind typisierte Teilräume in den jeweiligen Städten Frankfurt am Main und Hamburg, wobei insbesondere Konversionsgebiete in Innenstadtrandlage als attraktive Teilräume mit einer mittleren bis hohen Entwicklungsdynamik und geringem Transformationsaufwand identifiziert wurden.

Weiterhin können diese Modellgebiete hinsichtlich ihrer Eigentümerstruktur typologisiert werden, wobei sich insbesondere die Frage stellt, inwiefern die Stadt aufgrund der vorherrschenden Eigentümer- und Gebäudestruktur unter dem aktuellen institutionellen Rahmen Einfluss auf das Systemdesign der Wasserinfrastruktur nehmen kann, ohne dass damit zu hohe Transaktionskosten einhergehen. Sofern eine homogene Eigentümerstruktur vorliegt oder gar viele der Flächen und Gebäude sich im Eigentum der Kommune befinden, dürfte eine Umsetzung von neuartigen Wasserinfrastrukturen eventuell mit geringeren Transaktionskosten möglich sein. So könnten beispielsweise potenziellen Investoren bei entsprechenden Kauf- oder Pachtverträgen Vorgaben zur Wasserinfrastruktur und zur Wärmeversorgung gemacht werden, was im aktuellen Regelsystem durch kommunale Vorgaben nicht oder nur unter Inkaufnahme höherer Transaktionskosten durchsetzbar wäre.

74 Insbesondere sei an dieser Stelle auf die Berichte des Forschungsverbundes verwiesen. In (Davoudi et al. 2016) wird eine Einordnung der verschiedenen Modellgebiete vorgenommen, auf die im Folgenden nur in Kürze eingegangen werden soll.

Neben der Eigentümerstruktur sind auch die Anzahl der vorhandenen Akteure sowie deren Zielsysteme von Bedeutung. Je größer die Anzahl der Akteure mit möglicherweise divergierender Interessen, desto eher können hieraus Koordinationserfordernisse entstehen. Dies kann bei einer unangemessenen Regelsetzung auf der entsprechenden Gebietsebene im Rahmen der Umsetzung zu erhöhten Transaktionsaktionskosten führen.

Des Weiteren kann das Know-how des Systementscheiders, also der Kommune, für die vorteilhafte Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen im konkreten Gebiet von wesentlicher Bedeutung sein. Aufgrund der aktuell noch geringen Erfahrungswerte hinsichtlich der jeweiligen technischen Module kann eine unvorteilhafte Systementscheidung zu neuen Pfadabhängigkeiten führen, die eine Umstellung des Systems in dem Quartier- oder Stadtteil in der Zukunft erschweren. Allgemein können die Pfadabhängigkeiten gerade in konkreten Gebieten eine Implementierung neuartiger Systeme verhindern. Zu solchen Pfadabhängigkeiten können nicht nur bereits getätigte Investitionen in die Infrastruktur zählen, sondern auch bereits getätigte spezifische Investitionen in die Planungen eines Gebietes (z. B. in Form der kommunalen Bauleitplanung).

Die beiden ausgewählten Modellgebiete in Frankfurt am Main, das Innovationsquartier und die Bürostadt Niederrad, unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Eigentümerstruktur und dem jeweiligen Status der Planung. Beim Innovationsquartier befinden sich viele Flächen in städtischer Hand und die kommunale Bauleitplanung ist noch nicht angeschlossen. Daher könnte eine Umsetzung neuartiger Wasserinfrastruktur in diesem Modellgebiet im Vergleich zur Bürostadt Niederrad, in der eine diffusere Eigentümerstruktur vorliegt, mit geringeren Transaktionskosten einhergehen. Bei dem Modellgebiet Struensee-Quartier in Hamburg ist sogar die gesamte Fläche im Eigentum der Stadt Hamburg, was die Umsetzung wiederum begünstigen könnte.

9.2 Umsetzung unter Berücksichtigung räumlich-struktureller Merkmale

Während bislang stets von einer Umsetzung in städtischen Gebieten ausgegangen wurde, wird im folgenden Abschnitt kurz auf mögliche Abweichungen eingegangen, die sich hinsichtlich der Betrachtung eines regionalen Bezugsraumes mit eher geringer Besiedelungsdichte ergeben.

Im Vergleich zu städtischen Gebieten sind für ländliche Gebiete in der Regel längere Transportstrecken für die Abwasserentsorgung nötig. Weiterhin ist in diesen Gebieten vermehrt mit einem hohen Einfluss von Niederschlagswasser zu rechnen, insbesondere wenn noch eine Mischkanalisation genutzt wird. Es ist ferner davon auszugehen, dass in diesen Gebieten eine geringere Dynamik im Hinblick auf Änderungen der weiteren Infrastruktur wie Straßenbau und Versorgungsleitungen besteht. Hinsichtlich der demographischen Entwicklung könnten sich darüber hinaus im Vergleich zur Stadt eher schwindende Bevölkerungszahlen über die kommenden Jahre ergeben.

Diese Eigenschaften eher ländlich geprägter Räume oder Regionen lassen vermuten, dass die Umsetzung der aufgezeigten innovativen und differenzierten Wasserinfrastrukturen in diesen Gebieten zunächst eine deutlich geringere Bedeutung haben dürfte. Gerade der Einfluss einer Grauwasseraufbereitung auf die insgesamt zu transportierenden Abwassermengen dürfte verhältnismäßig klein sein im Vergleich zu dem in Mischwassersystemen transportierten Mengen an Niederschlagswasser. Des Weiteren dürfte auch das Potenzial für eine großflächige Wärmerückgewinnung aufgrund der relativ großen Abstände zwischen Wärmequellen und -senken deutlich geringer sein.