

netWORKS-Papers

Integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme

**Vom städtischen Quartier über die Gesamtstadt
bis zur regionalen Perspektive**

Jörg Felmeden
Bernhard Michel
Martin Zimmermann



netWORKS-Papers

Heft 32 Integrierte Bewertung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme

Vom städtischen Quartier über die Gesamtstadt bis zur
regionalen Perspektive

Jörg Felmeden, Bernhard Michel, Martin Zimmermann

Impressum

Autoren

Jörg Felmeden
Bernhard Michel
Martin Zimmermann

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

Nadine Dräger
Antje Stegmann

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, Dezember 2016

ISBN: 978-3-88118-587-5

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 gGmbH (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



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	11
1 Einleitung	13
2 Betrachtete Modellgebiete und Wasserinfrastrukturen	15
2.1 Modellgebiete in Hamburg und Frankfurt am Main	15
2.2 Wasserinfrastrukturen	18
2.2.1 Systemabgrenzung	18
2.2.2 Technische Module	19
2.2.3 Technische Systemvarianten	23
3 Vorgehensweise bei der integrierten Bewertung	28
3.1 Bewertungsverfahren	28
3.2 Auswahl und Anwendung im Rahmen dieser Studie	30
3.3 Entwicklung des Bewertungsrahmens	32
3.3.1 Bewertungsebenen und räumlicher Bezug der Bewertung	32
3.3.2 Kategorien und Kriterien der Bewertung	33
3.3.3 Gewichtungsszenarien	36
4 Ergebnisse der Bewertungsebene 1: Modellgebiete	39
4.1 Vergleichende Bewertung technischer Systemvarianten am Beispiel des Tucholsky-Quartiers in Hamburg	39
4.1.1 Eckdaten des Modellgebietes	39
4.1.2 Modellgebietsspezifische technische Systemvarianten	41
4.1.3 Vergleichende Bewertung	43
4.2 Bewertungsergebnisse aller Modellgebiete und Systemvarianten	48
5 Ergebnisse der Bewertungsebene 2: Modellstadt	52
5.1 Teilräume und Gesamtstadt	52
5.2 Auswirkungen der Transformation	57
5.2.1 Technik	57
5.2.2 Ökologie	60
5.2.3 Ökonomie	61
5.2.4 Soziales	61
5.3 Anforderungen an den Transformationsprozess	62
5.3.1 Organisation (Technik)	62

5.3.2	Governance (Planung).....	63
5.3.3	Recht.....	63
6	Bewertungsebene 3: Regionale Perspektive – Ein Ausblick.....	65
6.1	Abgrenzung und Beschreibung von Regionstypen.....	66
6.2	Anforderungen an die Wasserinfrastruktur.....	69
6.3	Regionstypische Innovationsbedarfe.....	71
6.4	Regionstypische Transformationspotenziale.....	72
7	Fazit.....	75
8	Quellen und Literatur.....	78
9	Anhang.....	84
9.1	Technische Modulsysteme und modellgebietsspezifische Systemvarianten.....	84
9.2	Ergebnistabellen der vergleichenden Bewertung der Systemvarianten auf Modellgebietsebene, Auswirkungen der Transformation.....	94
9.3	Ergebnistabellen der vergleichenden Bewertung der Systemvarianten auf Modellgebietsebene, Anforderungen an den Transformationsprozess.....	104

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Typische Teilräume der Modellstadt „netWORKS“ und Zuordnung der Modellgebiete in Frankfurt am Main und Hamburg (Forschungsverbund netWORKS).....	16
Abbildung 2:	Systemabgrenzung der kommunalen Wasserinfrastruktur (Forschungsverbund netWORKS)	18
Abbildung 3:	Technische Module der vorhandenen kommunalen Wasserinfrastruktur, Status Quo (Forschungsverbund netWORKS)	20
Abbildung 4:	Technisches Modul 1 - Regenwasserbewirtschaftung (Forschungsverbund netWORKS)	21
Abbildung 5:	Technisches Modul 2 (Grauwasserbewirtschaftung, links) und Modul 3 (Schwarzwasserbewirtschaftung, rechts) (Forschungsverbund netWORKS)	22
Abbildung 6:	Technisches Modul 4a (Wärmebewirtschaftung Schmutz-/Mischwasser, links) und Modul 4b (Wärmebewirtschaftung Grauwasser, rechts) (Forschungsverbund netWORKS)	22
Abbildung 7:	Technisches Modulsystem 4 (Bewirtschaftung von Regen-, Grau- und Schwarzwasser inkl. Wärmerückgewinnung) (Forschungsverbund netWORKS).....	23
Abbildung 8:	Beispiel einer modellgebietspezifischen technischen Systemvariante (Systemvariante 1, Modellgebiet A, Frankfurt am Main) (Forschungsverbund netWORKS)	24
Abbildung 9:	Übersicht zu Bewertungsverfahren (Hein et al. 2015)	29
Abbildung 10:	Quartier-Entwicklung des Tucholsky-Quartiers (Entwurf Rahmenplan vom 10.12.2014, FHH, zitiert in Hamburg Wasser 2016)	40
Abbildung 11:	Referenzsystem Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS).....	41
Abbildung 12:	Systemvariante 1 Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS).....	42
Abbildung 13:	Systemvariante 2 Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS).....	43
Abbildung 14:	Räumliches Leitbild (Entwurf) der Stadt Hamburg, Zielbotschaft „Mehr Stadt in der Stadt – Handlungskonzept“ (Freie und Hansestadt Hamburg 2007)	53

Abbildung 15:	Leitbild für die Stadtentwicklung Frankfurt – Räumliches Entwicklungskonzept, inkl. Verortung der identifizierten Gebietstypen in Frankfurt am Main (Stadt Frankfurt am Main 2012).....	54
Abbildung 16:	Stadt-/Ortsteile von Hamburg und Entwurf einer Zuordnung zu typisierten Teilräumen (Forschungsverbund netWORKS)	55
Abbildung 17:	Teilräumliche Priorisierung der Transformation: Städtische Teilräume unterscheiden sich in ihrer Attraktivität (Davoudi et al. 2016).....	56
Abbildung 18:	Definition der Funktionsschwellen bei technischen Infrastruktursystemen (Koziol et al. 2006)	58
Abbildung 19:	Verknüpfung von strukturellen Rahmenbedingungen mit den Prozessen der Trinkwasserversorgung (Holländer 2008).....	65
Abbildung 20:	Demographische Regionstypen und voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung bis 2030 nach Landkreisen (Forschungsverbund netWORKS, auf der Grundlage siedlungsstruktureller Regionsgrundtypen und Raumordnungsprognose, vgl. BBSR 2012).....	66
Abbildung 21:	Regionale Entwicklungsdynamik (PROGNOS 2016).....	69
Abbildung 22:	Überblick über mögliche Strategien und Umsetzungsvarianten (Forschungsverbund netWORKS)	73

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Charakteristika der ausgewählten Modellgebiete in Frankfurt am Main und Hamburg (vgl. Davoudi et al. 2016)	17
Tabelle 2:	Bewertungsebenen(Forschungsverbund netWORKS)	33
Tabelle 3:	Bewertungsaspekte und zugeordnete Bewertungskategorien (Forschungsverbund netWORKS)	34
Tabelle 4:	Kategorien, Handlungsfelder, Kriterien, Indikatoren und Dimensionen der Bewertung der Auswirkungen der Transformation (Forschungsverbund netWORKS).....	35
Tabelle 5:	Kategorien, Handlungsfelder, Kriterien, Indikatoren und Dimensionen der Bewertung der Anforderungen an den Transformationsprozess (Forschungsverbund netWORKS)	36
Tabelle 6:	Relative Gewichtung der Bewertungskategorien im Rahmen der NWA, paarweiser Vergleich, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet ...	37
Tabelle 7:	Relative Gewichtung der Bewertungskriterien am Beispiel der Bewertungskategorie Technik im Rahmen der NWA, paarweiser Vergleich, gleichgewichtet.....	37
Tabelle 8:	Flächenverteilung im Tucholsky-Quartier (Hamburg Wasser 2016).....	40
Tabelle 9:	Bewertungsschema der vergleichenden Bewertung durch den Projektverbund am Beispiel des Referenzsystems, Tucholsky-Quartier, Hamburg ..	44
Tabelle 10:	Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Auswirkungen, Kategorien gleichgewichtet	45
Tabelle 11:	Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Auswirkungen, Kriterien innerhalb der Kategorien gleichgewichtet.....	46
Tabelle 12:	Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Anforderungen, Kriterien innerhalb der Kategorien gleichgewichtet	47
Tabelle 13:	Übersicht der Ergebnisse der vergleichenden Bewertung auf Bewertungsebene 1. Grau hinterlegte Nutzwerte stellen jeweils den höchsten Nutzwert im Vergleich zu den Bewertungsalternativen dar. Systemvarianten und Modellgebiete werden in Kapitel 2.1 und 2.2.3 dargestellt.	49
Tabelle 14:	Eckdaten der Regionstypen (Forschungsverbund netWORKS).....	68

Vorwort

Die Siedlungswasserwirtschaft hat mehrere Aufgaben zu erfüllen. Es gilt, eine qualitativ einwandfreie und zugleich quantitativ ausreichende Versorgung der Bürgerinnen und Bürger 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 angesichts der 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 Vorteilen 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 Haus-technik 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 Kommunen sowie 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.

1 Einleitung

Derzeitige Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen bedürfen einer Anpassung bzw. Transformation, um gegen Herausforderungen wie den demografischen Wandel, den Klimawandel oder Mikroverunreinigungen gewappnet zu sein und ihre Energie- und Ressourceneffizienz zu verbessern (Hüttl/Bens 2012, Hillenbrand et al. 2013, Schramm et al. 2013). In diesem Zusammenhang scheinen konventionelle Wasserinfrastrukturen aufgrund ihrer Pfadabhängigkeiten, hohen Investitionen und Abschreibungsperioden angesichts sich wandelnder Rahmenbedingungen weniger anpassungsfähig zu sein (Hillenbrand/Hiessl 2006). Aus den genannten Gründen werden Systemtransformationen vermieden und lediglich inkrementelle Verbesserungen durchgeführt (Nowak/Guenther 2009, Schramm et al. 2017).

Hier haben neuartige Wasserinfrastruktursysteme das Potenzial, sich besser an Veränderungen des Klimas, der Demografie oder auch von Nutzungsmustern anzupassen (Wikramanayake/Corea 2003, Daigger 2007, DWA 2008, Tukker et al. 2008, Bieker 2009, Felmeden et al. 2010, Wolf/Störmer 2010). Insbesondere Städte mit ihrem infrastrukturellen Geflecht von Netzen und Anlagen können vulnerabel sein, sofern nicht das Wassermanagement den ungewissen zukünftigen Entwicklungen gegenüber angemessen ist. Besondere Bedeutung kommt dabei der Minderung der Abhängigkeit von großtechnischen und energieintensiven Wasserinfrastrukturen zu (De Graf 2009). Eine größere Diversifizierung in der Nutzung von bestehenden Wasserressourcen und lokal anfallenden Wasserströmen wie Niederschlagswasser bzw. behandeltes Abwasser erlaubt es Städten, ihre Versorgungssicherheit zu verbessern und ihre Resilienz zu stärken (Kluge/Libbe 2010). Ferner können technologische Innovation, wie zum Beispiel die getrennte Ableitung, Behandlung und stofflich/energetische Nutzung verschiedener Abwasserströme zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks beitragen (DWA 2008, Rygaard et al. 2009, Merkel et al. 2010, Kluge/Schramm 2011). Trotzdem sind derartige Systeme in Deutschland bisher nur in einzelnen Fällen umgesetzt worden (Wolf/Störmer 2010, Kluge/Schramm 2011).

Eine Vielzahl von technischen Komponenten neuartiger Wasserinfrastrukturen steht für die o.g. Zwecke bereits zur Verfügung. Beispielsweise kann eine Wärmerückgewinnung aus Schmutz- oder Grauwasser auf Gebäude-, Block- oder Quartiersebene betrieben werden. Die unterschiedliche Kombination derartiger Komponenten ergibt eine große Zahl theoretisch möglicher technischer Optionen. Dabei stellt sich die Frage, wie diese verschiedenen Optionen neuartiger und konventioneller Wasserinfrastruktursysteme vergleichend bewertet werden können und welche Randbedingungen zu berücksichtigen sind. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen von netWORKS 3 ein entsprechender Bewertungsrahmen entwickelt, mit dem Ziel, aus ausgewählten technischen Optionen jeweils diejenige zu identifizieren, die unter den bestehenden Rahmenbedingungen am nachhaltigsten ist und die größte Wirkung nach erfolgter Transformation entfaltet.

Der Bewertungsrahmen umfasst dabei drei Bewertungsebenen:

- eine detaillierte Bewertung der Auswirkungen der Transformation und der Anforderungen an den Transformationsprozess in ausgewählten Modellgebieten (Bewertungsebene 1),
- die Berücksichtigung der gesamtstädtischen Auswirkungen und Bedingungen der Umgestaltung der Wasserinfrastruktur in den Modellstädten Hamburg und Frankfurt am Main (Bewertungsebene 2) sowie
- einen Ausblick in Bezug auf den Innovationsbedarf und das Transformationspotenzial aus regionaler Perspektive (Bewertungsebene 3).

Die unterschiedlichen Sichtweisen der Bewertung innerhalb der drei Bewertungsebenen zielen auf unterschiedliche Fragestellungen bzw. Bewertungsziele ab und erfordern unterschiedliche methodische Vorgehensweisen:

- Bewertungsebene 1 (Modellgebiete): Vergleichende Bewertung von Systemalternativen zur Identifikation der nachhaltigsten Systemvariante;
- Bewertungsebene 2 (Modellstädte): qualitative Analyse der „Externen Effekte“ (aus Perspektive der Modellgebiete) auf das bestehende Infrastruktursystem;
- Bewertungsebene 3 (Regionstypen): diskursive Beschreibung der regionstypischen Innovationsbedarfe und Transformationspotenziale als Ausblick.

Die Ergebnisse sollen Hinweise dazu liefern, welche Aspekte bei der Umsetzung innovativer und nachhaltiger Lösungen im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu beachten sind.

Dabei wurde ein mehrdimensionales Verständnis von Nachhaltigkeit zugrunde gelegt (vgl. auch Brundtland 1987, Bossel 1999, Jörisen et al. 1999). Der Forschungsverbund netWORKS sieht von einer Bezugnahme auf eine bestimmte Nachhaltigkeitsdefinition ab, da diesbezüglich in Wissenschaft und Praxis Uneinigkeit besteht. Um jedoch beurteilen zu können, ob eine Entwicklung als nachhaltig einzustufen ist, werden die folgenden Leitprinzipien herangezogen: Integration, Anpassungsfähigkeit, Funktionalität sowie ökologische, ökonomische und soziale Verträglichkeit (vgl. Kluge/Libbe 2006). Diese Leitprinzipien sind in den Bewertungen der drei Ebenen verankert.

2 Betrachtete Modellgebiete und Wasserinfrastrukturen

2.1 Modellgebiete in Hamburg und Frankfurt am Main

Im Rahmen des Vorgänger-Projektes netWORKS 2 wurde, ausgehend von generalisierbaren, städtebaulichen Gegebenheiten in nahezu allen deutschen Großstädten, das Siedlungsstrukturmodell „netWORKS“ konzipiert und mit den wesentlichen städtebaulichen und infrastrukturellen Eckdaten beschrieben (Felmeden et al. 2010: 27 ff.). Die Modellstadt “netWORKS” ist teils räumlich nach unterschiedlichen Stadtteilen mit ihren jeweils typischen Merkmalen differenziert. Die Teilräume sind aufgrund ihrer Lage wiederum den vier Kategorien Kernstadt, Innenstadt-randlage, Peripherie und Außengebiet zugeordnet. Die abgegrenzten Teilräume sind stellvertretend für typische stadträumliche Teilstrukturen in Deutschland. Unabhängig von den spezifischen örtlichen Gegebenheiten einer konkreten Stadt wurde jeweils nur ein Teilraum dargestellt. In der Realität wird es der Fall sein, dass Teilräume gar nicht oder mehrfach vorkommen oder andere Teilräume von Bedeutung sind.

Für die verschiedenen Teilraumtypen ergeben sich durch ihren unterschiedlichen Charakter verschiedene Entwicklungsdynamiken und Transformationsaufwände, so dass deutlich wird, dass verschiedene Teilraumtypen in ihrem Umwandlungspotenzial bezüglich der Wasserinfrastruktur (und damit in ihrer Attraktivität) differieren. Es wurde vor allem jenen städtischen Teilräumen großes Umwandlungspotenzial zugesprochen, die einer hohen Entwicklungsdynamik unterliegen und einen geringen Transformationsaufwand aufweisen. Während die Entwicklungsdynamik von demografischen, sozio-ökonomischen und städtebaulich bestimmten Entwicklungszyklen bestimmt wird, ergibt sich der spezifische Transformationsaufwand aus der technischen Struktur und den ökonomischen Verhältnissen der bestehenden Wasserinfrastruktur, und den Schnittstellen zu anderen technischen Infrastrukturen wie z.B. der Energieversorgung (Felmeden et al. 2010: 73 ff.).

Auf die Darstellung und Berücksichtigung spezifischer Besonderheiten, wie beispielsweise die regionale Einbindung, die demografischen Gegebenheiten, die wirtschaftlichen Bedingungen oder die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse wurde aufgrund der strategischen Ausrichtung des Modells verzichtet. Diese ergeben sich aus der bestehenden teils räumlichen Struktur und werden nun in der teils räumlichen bzw. modellgebietsspezifischen Analyse und Bewertung in netWORKS 3 berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund wurden durch Davoudi et al. (2016) insgesamt fünf Modellgebiete ausgewählt, davon drei in Frankfurt am Main und zwei in Hamburg. Das Strukturmodell sowie die teils räumliche Zuordnung der Modellgebiete sind in Abbildung 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

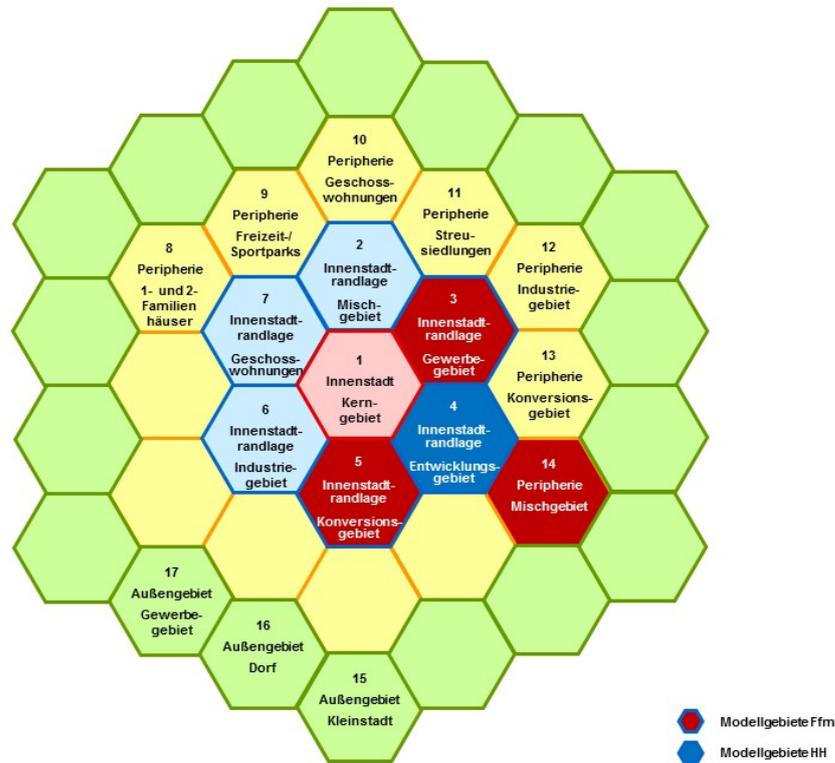


Abbildung 1: Typische Teilräume der Modellstadt „netWORKS“ und Zuordnung der Modellgebiete in Frankfurt am Main und Hamburg (Forschungsverbund netWORKS)

Hinsichtlich der Struktur der synthetischen Modellstadt ist für Hamburg anzumerken, dass diese aufgrund der Größe von Hamburg wie folgt von vier auf fünf Bereiche zu erweitern ist und die Bezeichnungen der Bereiche teilweise anzupassen sind: Innenstadt = City; Innenstadtrandlage = Kernbereich und Kernbereichsrand; Peripherie und Außengebiet bleiben unverändert. Im weiteren Text wird die ursprüngliche Struktur der Modellstadt mit vier Bereichen verwendet.

Die spezifischen Charakteristika der Modellgebiete sind in Tabelle 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben.

Tabelle 1: Charakteristika der ausgewählten Modellgebiete in Frankfurt am Main und Hamburg (vgl. Davoudi et al. 2016)

	Modellgebiete		Charakterisierung			Wasserinfrastrukturelle Merkmale	Eigentumsstruktur
	Kurzbezeichnung & Beschreibung	nach derzeitigem Teilraumtyp*	nach zukünftigem Teilraumtyp**	nach B-Plan**			
Frankfurt am Main	A	Wohnbebauung einer bisher temporär bzw. extensiv genutzten Fläche	Innenstadt-randlage: Konversions-gebiet	Innenstadt-randlage: Mischge-biet	Gewerbegebiet (GE), Gartenbau-wirtschaftliche Fläche (B-Plan erfordert Überar-beitung, noch im Verfahren)	Weitgehende RWB*** im Gebiet; Kanalisationsneu-bau im Quartier mit Trenn-kanalisation; innovatives Projekt in früher Planungs-phase bietet Potenzial für innovative Wasserinfra-struktur	Sehr heterogen; Vielzahl an Eigentümern und Pächtern; große Flächen im Eigentum der Stadt, eine große Fläche im Eigentum eines Unter-nnehmens
	B	Bürostandort mit Umwandlung/ Nachverdichtung im Wohnbereich	Peripherie: Mischgebiet	Peripherie: Mischgebiet Wandel von Peripherie zu Innenstadt-randlage auch möglich	Mischgebiete (MI), Kerngebiete (MK), Sondergebiete (SO)	Trennkanalisation im Quar-tier vorhanden; RWB; Versickerungsfähiger Sandboden (aber Grund-wasserspiegel rel. hoch); keine großen Schmutz-wasserkanäle, die sich für WRG eignen; Gewässer in der Nähe: Schwarzbach	überwiegend Privatei-gentum, das durch Kapitalgesellschaften verwaltet wird; Grund-stücke im Plangebiet nur vereinzelt in städtischem Besitz
	C	Gewerbe- und Industriegebiet mit geringem Wohnanteil wird verändert zu einem Gewerbe-gebiet mit höhe-rem Wohnanteil	Innenstadt-randlage: Gewerbe-gebiet	Innenstadt-randlage: Mischge-biet	allgemeine Wohn-gebiete (WA), Kerngebiete (MK), Industriegebiete (GI)	Mischkanalisation vorge-sehen, Kanalentlastung (RWB) erforderlich Große Mischkanäle im umliegenden Gebiet, die sich für WRG eignen Versickerung wegen Bodenkontamination und geringer Durchlässigkeit nicht möglich	Gewerbebetriebe unter-schiedlichster Art im Bestand neben neu geplanten Wohnquartie-ren Westlicher Bereich: Vielzahl an Eigentümern mit unterschiedlichen Interessen Östlicher Bereich: haupt-sächlich im Eigentum eines Unternehmens, Veräußerung der Fläche an Investor geplant
Hamburg	D	Neustrukturierung eines bisher reinen Schul-/Bildungsstandortes, Erhöhung des Wohnanteils	Innenstadt-randlage****: Entwick-lungsgebiet	Innenstadt-randlage: Mischge-biet	Noch kein rechts-verbundlicher B-Plan	Vorhandene Mischkanali-sation; RWB notwendig, da Kanalkapazität ausge-schöpft; Gebiet ist von Fernwärmenetz umgeben	Gesamte Fläche im Eigentum der Stadt Hamburg bis auf den S-Bahn-Ausgang Königs-straße
	E	Wohnungsbau / Nachverdichtung mit hohem Anteil an sozialem Wohnungsbau	Innenstadt-randlage****: Entwick-lungsgebiet	Innenstadt-randlage: Mischge-biet	Noch kein rechts-verbundlicher B-Plan	Vorhandene Mischkanali-sation umliegend (Neube-siedlung nur im Gebietsin-neren erforderlich) RWB notwendig, da Kanal-kapazität ausgeschöpft Kleine Kanäle (ungeeignet für WRG)	Flächen größtenteils im Eigentum der Stadt Hamburg, viele Gebäude von städtischer Woh-nungsbau-gesellschaft

* netWORKS 3 Terminologie: In Abgrenzung zu der in B-Plänen verwendeten Terminologie, wird die hier verwendete Begrifflichkeit zur Kategorisierung der Teilraumtypen auf aggregierter Ebene verwendet. So kann z.B. ein Mischgebiet in Innenstadt-randlage durchaus kleinere Industrie- oder Gewerbegebiete gemäß B-Plan enthalten, allerdings in der überwiegenden Nutzungsart ein Mischgebiet ergeben. (Zu Teilraumtypen vgl. auch Kluge/Libbe 2010: 44, Tab. 3).

** Die hier verwendeten Begriffe werden dagegen im Sinne der Baunutzungsverordnung verwendet.

*** RWB = Regenwasserbewirtschaftung

**** entspricht in HH den Bereichen Kernbereich und Kernbereichsrand.

2.2 Wasserinfrastrukturen

2.2.1 Systemabgrenzung

Die im Rahmen dieser Studie betrachteten kommunalen Wasserinfrastruktursysteme umfassen

- die Trink- und Betriebswasserversorgung,
- die Ableitung und Behandlung von Abwasser (Schmutzwasser, Regenwasser; Grauwasser; Schwarzwasser) sowie
- die Verwendung von aufbereiteten Abwasserteilströmen.

Das Potenzial der Rückgewinnung von Energie und Nährstoffen aus Abwasser und die energetischen Auswirkungen der Transformation auf den Energiebedarf der Wasserinfrastruktursysteme werden bilanziert und sind Bestandteil der Bewertung (Abbildung 2). Die tatsächliche Nutzung von Energie und Nährstoffen aus dem Abwasser ist zwar ein wesentlicher ökologischer Baustein der Transformation, wird in der Bewertungsebene 1 (Modellgebiete, siehe Kapitel 4) jedoch als „externer Effekt“ behandelt und nicht unmittelbar in die vergleichende Bewertung einbezogen, da die Wärmeversorgung der Gebäude im Modellgebiet und der Einsatz von Nährstoffen in der Landwirtschaft nicht bilanziert wurden.

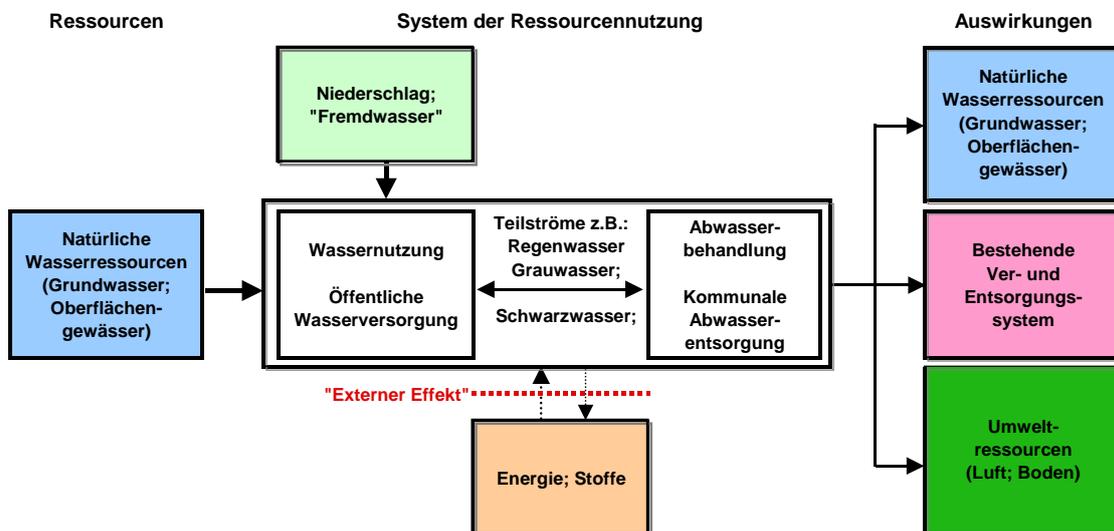


Abbildung 2: Systemabgrenzung der kommunalen Wasserinfrastruktur (Forschungsverbund netWORKS)

Auf der Bewertungsebene 2 (Modellstädte, siehe Kapitel 5) und der Bewertungsebene 3 (Regionstypen, siehe Kapitel 6) sind die energetischen und die stofflichen Aspekte der kommunalen Wasserinfrastruktur von signifikanter Bedeutung. Die Nutzung der Wärme aus Abwasser ist insbesondere im städtischen Raum eine beachtliche „Erneuerbare Energieressource“. Auf der regionalen Ebene kann sie gleichfalls zur Reduzierung der Energieverluste beitragen sowie die Nährstoffe zur Verringerung von mineralischen Düngern. Beide Aspekte ergänzen das regional verfügbare Potenzial der „Erneuerbaren Energien“.

2.2.2 Technische Module

Die derzeitige Struktur der kommunalen Wasserinfrastruktur in Deutschland hat vier Komponenten:

- Zentrale Trinkwasserversorgung,
- Wassernutzung,
- Abwasserableitung und
- zentrale Abwasserbehandlung.

Die Abwasserableitung und -behandlung liegt als „Mischsystem“, in dem Schmutzwasser und Regenwasser gemeinsam abgeführt und behandelt oder als „Trennsystem“, in dem Regenwasser und Schmutzwasser getrennt abgeführt und behandelt werden, vor. Im Trennsystem wird bei siedlungsstrukturellen Neuerschließungen und Nachverdichtungen von der Umsetzung der wasserrechtlich gebotenen getrennten Erfassung, Rückhaltung, Ableitung und Behandlung des Niederschlagswassers ausgegangen (vgl. WHG 2016).

Die o.g. Komponenten der vorhandenen kommunalen Wasserinfrastruktur (Status Quo) bestehen i.d.R. aus einer Kombination von technischen Modulen, die unterschiedlich konfiguriert sind und stark vereinfacht wie folgt gegliedert werden können (Abbildung 3):

- Versorgung (Niederschlag, Trinkwasser, Energie, Nährstoffe),
- Nutzung (Essen, Trinken, Körperpflege, Geschirrspülen, Wäschewaschen, Toiletten-spülung, Bewässerung, Sonstige Nutzungen),
- Entsorgung (Regenwasser, Schmutz-/Mischwasser, Energie, Nährstoffe).

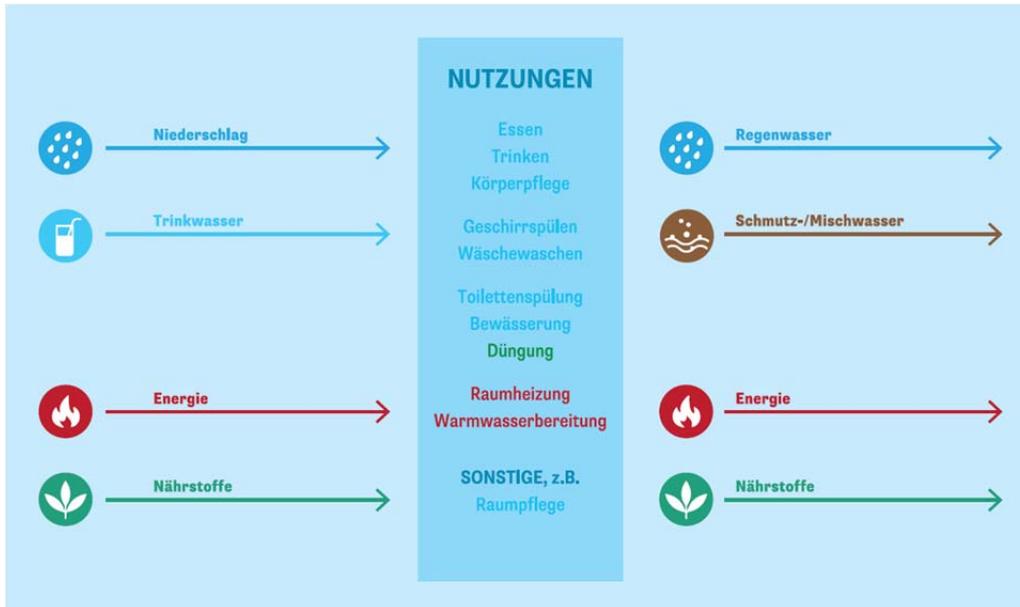


Abbildung 3: Technische Module der vorhandenen kommunalen Wasserinfrastruktur, Status Quo (Forschungsverbund netWORKS)

Im Rahmen einer bilanziellen Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen sind neben „Niederschlag“ und „Trinkwasser“ auch die Inputkomponenten „Energie“ und „Nährstoffe“ zu beachten, die durch Rückgewinnung und Wiederverwendung reduziert oder ersetzt werden können.

Diese Referenzstruktur in Abbildung 3 bildet die allgemeine Grundlage der vergleichenden Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen in den Modellegbieten (Bewertungsebene 1, s. Kap. 4), den Modellstädten (Bewertungsebene 2, s. Kap. 5) und auf der regionalen Ebene (Bewertungsebene 3, s. Kap. 6).

Ausgehend von diesem Status Quo können schrittweise weitere technische Module im Zuge einer Transformation der Wasserinfrastrukturen implementiert werden, die sich aus der stofflichen und energetischen Bewirtschaftung von Abwasser(teil-)strömen ergeben. Hierbei kann zunächst die bisherige Regenwasserbewirtschaftung (getrennte Erfassung, Rückhaltung, Ableitung und Behandlung) durch die systematische Nutzung von behandeltem Regenwasser als Betriebswasser für z.B. die Toilettenspülung oder das Wäschewaschen erweitert werden (Abbildung 4). Diesbezüglich sind mögliche Konkurrenzen zur Nutzung anderer behandelter Abwasserteilströme zu berücksichtigen.

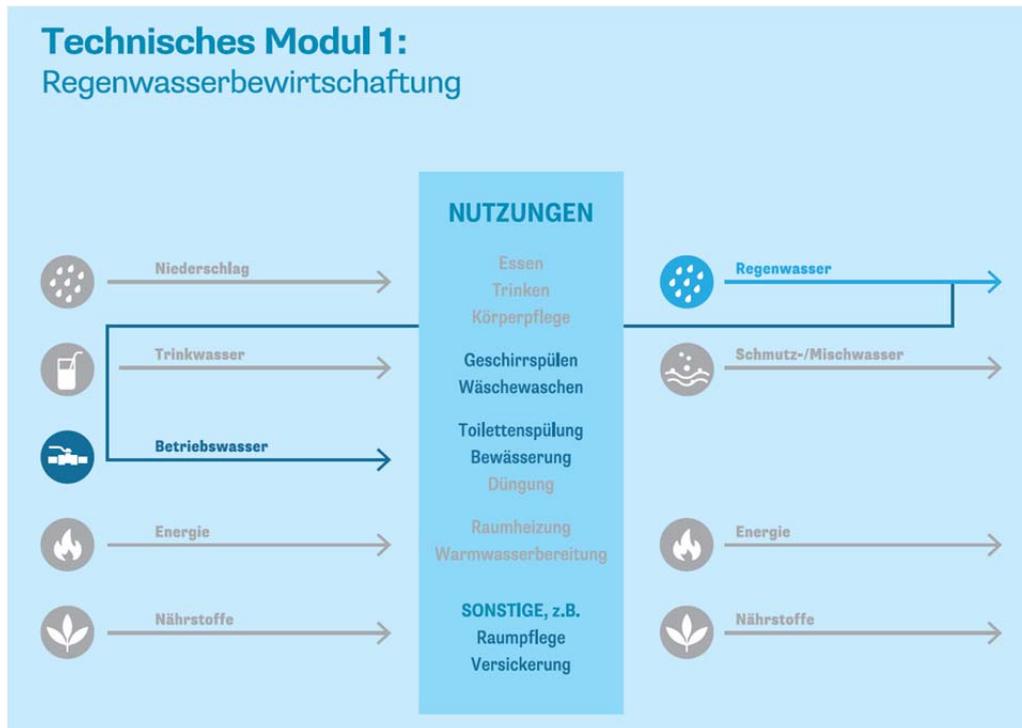


Abbildung 4: Technisches Modul 1 - Regenwasserbewirtschaftung (Forschungsverbund netWORKS)

Das häusliche Schmutzwasser kann zur stofflichen und energetischen Nutzung als Grau- und Schwarzwasser getrennt erfasst und bewirtschaftet werden, behandeltes Grauwasser als Betriebswasser z.B. für die Nutzungszwecke Geschirrspülen, Wäschewaschen, Toilettenspülung und Bewässerung sowie für sonstige Nutzungen (z.B. Raumpflege, Versickerung) und Nutzung der im Schwarzwasser enthaltenen bio-chemischen Energie zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung und zur Eigenstromversorgung bzw. Stromeinspeisung (Abbildung 5). Die Schwarzwasserbewirtschaftung (Technisches Modul 3, Abbildung 5 rechts) kann anstelle oder in Kombination mit der Nutzung der thermischen und elektrischen Energie auch auf eine Rückgewinnung und Verwendung der Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) zur Substitution mineralischer Dünger abzielen.

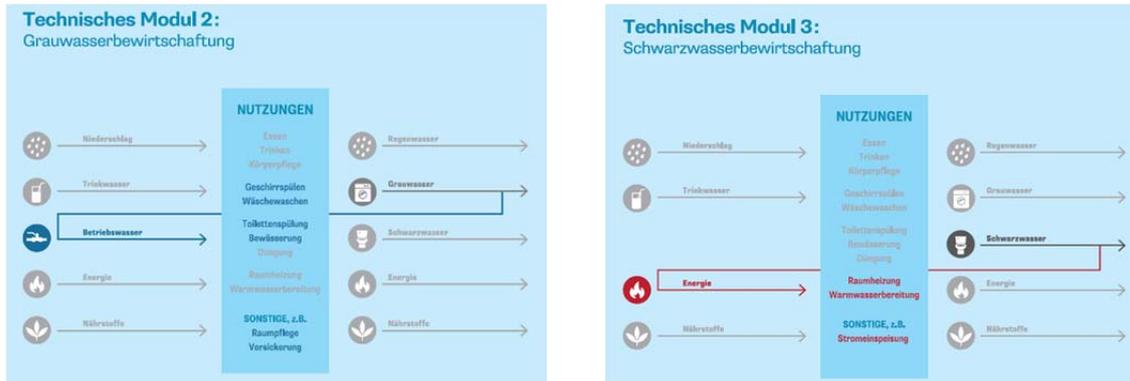


Abbildung 5: Technisches Modul 2 (Grauwasserbewirtschaftung, links) und Modul 3 (Schwarzwasserbewirtschaftung, rechts) (Forschungsverbund netWORKS)

Die im Abwasser enthaltene thermische Energie kann über die technischen Module der Wärmebewirtschaftung von Schmutz-/Mischwasser und Grauwasser für die Nutzungsarten Raumheizung und Warmwasserbereitung verfügbar gemacht werden (Abbildung 6).

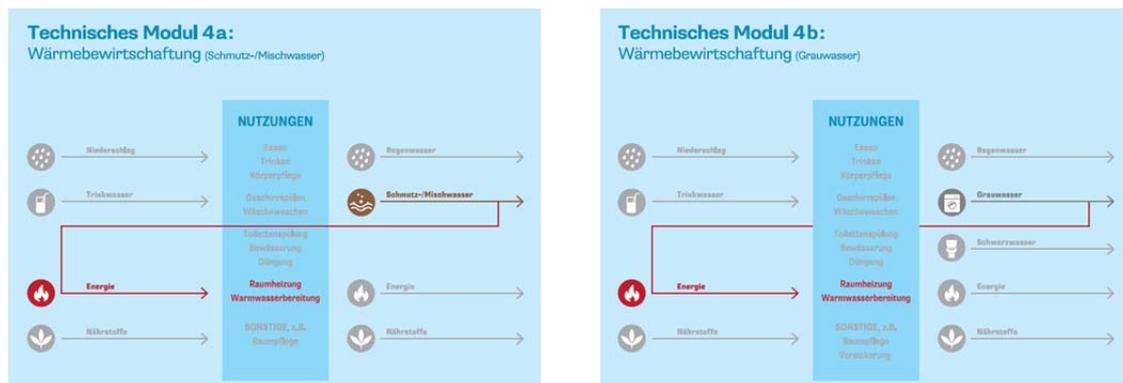


Abbildung 6: Technisches Modul 4a (Wärmebewirtschaftung Schmutz-/Mischwasser, links) und Modul 4b (Wärmebewirtschaftung Grauwasser, rechts) (Forschungsverbund netWORKS)

Die zuvor genannten technischen Module werden in der Praxis in Abhängigkeit der Zielsetzung und örtlichen Rahmenbedingungen einzeln oder in unterschiedlichen Kombinationen (hier als Modulsysteme bezeichnet) zur Anwendung kommen. Hierbei kann in der einfachsten Art zunächst „nur“ eine Anpassung bzw. Optimierung der bestehenden, zentral ausgerichteten Wasserinfrastruktur erfolgen (z.B. Technisches Modulsystem 1) oder sukzessive eine Transformation, also eine grundlegende systemische Umgestaltung begonnen werden, z.B.:

- Technisches Modulsystem 1: Regenwasserbewirtschaftung (Betriebswassernutzung) und Wärmebewirtschaftung des Schmutz-/Mischwassers (zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung),
- Technisches Modulsystem 2: Regenwasser- und Grauwasserbewirtschaftung (Betriebswassernutzung) und Wärmebewirtschaftung des Grauwasser (zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung),

- Technisches Modulsystem 3: Regenwasser- (Betriebswassernutzung) und Schwarzwasserbewirtschaftung (Raumheizung, Warmwasserbereitung, Stromeinspeisung, Düngung),

Die hier beispielhaft beschriebenen drei Kombinationen (entsprechende Abbildungen siehe Anhang Kapitel 9.1) können fortgeführt werden und letztlich in der Kombination bzw. Einbindung aller Wasser- und Abwasserströme in eine neuartige Wasserinfrastruktur resultieren (Abbildung 7).

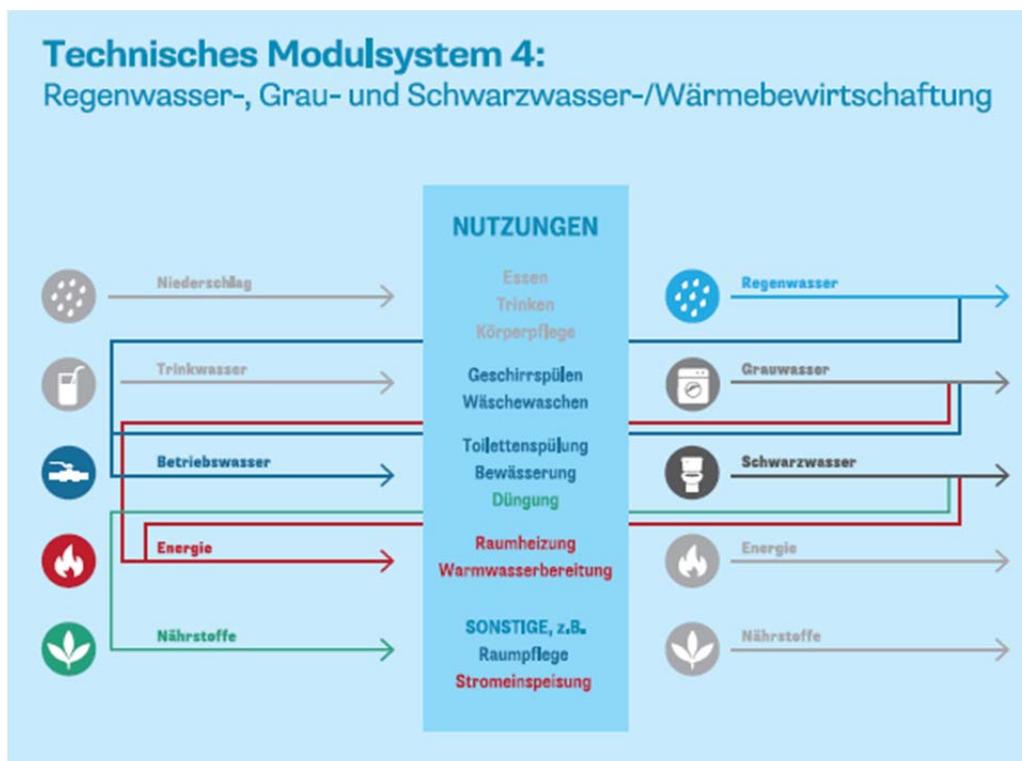


Abbildung 7: Technisches Modulsystem 4 (Bewirtschaftung von Regen-, Grau- und Schwarzwasser inkl. Wärmerückgewinnung) (Forschungsverbund netWORKS)

2.2.3 Technische Systemvarianten

Nach Auswahl der Modellgebiete (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurden die technischen Module/Modulsysteme hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit in den konkreten Modellgebieten geprüft und in Gesprächen mit Hamburg Wasser und der Stadtentwässerung Frankfurt am Main jeweils drei mögliche Systemvarianten für jedes Modellgebiet in Hamburg und Frankfurt am Main identifiziert. Für Details zum genauen Vorgehen zur Entwicklung der Systemvarianten im Wechselspiel mit den Modellgebieten siehe Davoudi et al. (2016):

- ein Referenzsystem, welches die bestehende Wasserinfrastruktur in der Stadt bzw. den umliegenden städtischen Teilräumen entspricht, jedoch mit teilweise anspruchsvolleren Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen und

- die Systemvarianten 1 (Abbildung 8) und 2, die technische Module neuartiger Wasserinfrastrukturen aufweisen.

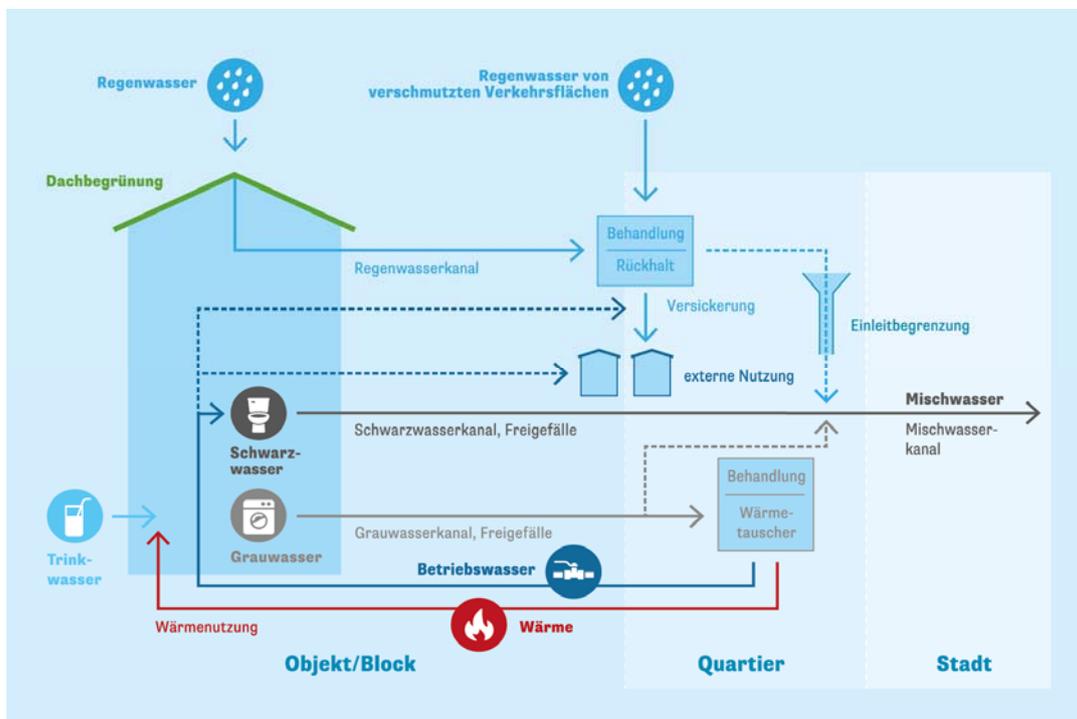


Abbildung 8: Beispiel einer modellgebietspezifischen technischen Systemvariante (Systemvariante 1, Modellgebiet A, Frankfurt am Main) (Forschungsverbund netWORKS)

Hierbei wurde zudem die technische Umsetzung des Wasserinfrastruktursystems (Grau-/Schwarzwassersystem mit Betriebswassernutzung und Wärmerückgewinnung) des Projektpartners ABG/ABGnova in einem Passivhaus in Frankfurt am Main berücksichtigt.

Die Abbildungen aller modellgebietspezifischen technischen Systemvarianten finden sich im Anhang, Kapitel 9.1.

Die technischen Systemvarianten basieren alle auf den folgenden Grundannahmen (vgl. Davoudi et al. 2016):

- **Trinkwasser:**
Grundsätzlich bleibt in allen Systemvarianten die zentrale Trinkwasserversorgung bestehen. Allerdings kann die Einführung neuer Systemvarianten auch Veränderungen bei der Wasserversorgung nach sich ziehen. Diese werden in der Bewertung der Varianten mit Blick auf die Gebiete zu prüfen sein (siehe Kap. 4).
- **Niederschlagswasser:**
Niederschlagswasser ist wichtig für die ganzheitliche Betrachtung. Häufig ist es in der planerischen Neugestaltung der wichtigste Ausgangspunkt für alternative Überlegungen. Im Referenzszenario wird das Niederschlagswasser analog der bestehenden Planung betrachtet. Für die neuartigen Systemvarianten wird davon ausgegangen, dass

ein Großteil des Niederschlagswassers über Maßnahmen wie Gründächer und lokale Versickerung im Gebiet verbleibt. Nur der Rest wird erfasst und in die Trennkanalisation abgeleitet.

- Nutzung von Betriebswasser:
Es wird davon ausgegangen, dass Betriebswasser in den Gebäuden zunächst nur für die Toilettenspülung eingesetzt wird. Außerdem kann es im Gebiet für die Grünpflege verwendet werden.
- Bioabfallbehandlung:
In beiden Projektstädten gibt es eine zentrale Bioabfallbehandlung. Im Gegensatz zu den verschiedenen technischen Systemvarianten der (Ab)Wasserinfrastruktur wurden keine alternativen Bioabfallbehandlungsvarianten auf Gebietsebene betrachtet.

In einem abschließenden Analyseschritt konnten aus den insgesamt 15 modellgebietspezifischen Systemvarianten die nachfolgend beschriebenen fünf allgemeinen technischen Systemvarianten als gemeinsame Grundlage abgeleitet werden, die einen allgemeinen räumlichen Bezug, also ohne Konkretisierung auf ein bestimmtes Modellgebiet in einer bestimmten Stadt, aufweisen (Stadt-, Quartiers- oder Blockebene; detaillierte Beschreibungen finden sich in Davoudi et al., 2016):

1. Konventionelles System Frankfurt am Main:

Die Erfassung und Ableitung des Abwassers erfolgt soweit vorhanden über eine Trenn- sonst Mischkanalisation. Für die betrachteten Gebiete ist eine Trennkanalisation entweder bereits vorhanden oder aber in Planung. In der zentralen Kläranlage findet die dreistufige Abwasserbehandlung (mechanisch, biologisch, chemisch) statt. Der Kläranlagenablauf erfolgt ins Oberflächengewässer. Klärschlamm wird ohne vorgeschalteten Faulungsprozess verbrannt. Reststoffe werden im Bergbau deponiert (SEF, o.J.). Strom und Wärme aus dem Verbrennungsprozess werden genutzt. Die Details orientieren sich stark an den spezifischen Gegebenheiten der Stadt und den hierzu verfügbaren Daten.

2. Konventionelles System Hamburg:

Die Abwassererfassung und -ableitung erfolgt über eine Trenn- und teilweise über eine Mischkanalisation. Die dreistufige Abwasserbehandlung (mechanisch, biologisch, chemisch) erfolgt zentral mit Ablauf ins Oberflächengewässer. Klärschlamm und Co-Substrate gehen in die Vergärung, Gärreste und Faulgas werden thermisch verwertet. Dadurch entstehende Wärme und Strom werden intern auf der Kläranlage und die Wärme auch zusätzlich extern (zur Versorgung von einem benachbarten Containerterminal über eine Fernwärmeleitung) genutzt. Zusätzlich wird eine kleine Menge aufbereitetes Faulgas (<10 %) als Biomethan in das Gasnetz eingespeist. Gips und Reste aus der Verbrennung, gehen als Baustoffe in die Bauindustrie, Schwermetalle werden monodeponiert. Die Asche wird rückholbar monodeponiert für eine spätere Phosphorrückgewinnung (Hamburg Wasser 2010).

3. FFM KonvGrau:

Leicht verschmutztes Grauwasser (Abwasser aus Dusche und Waschbecken sowie Waschmaschinenabläufen) und Schwarzwasser (Toilettenabwasser) inkl. Küchenabwasser (stark verschmutztes Grauwasser) werden getrennt erfasst und abgeleitet. Schwarzwasser und Küchenabwasser werden weiterhin konventionell behandelt (vgl. Referenzvariante für Frankfurt am Main). Aus dem leicht verschmutzten Grauwasser findet Wärmerückgewinnung statt und es wird zudem als Betriebswasser aufbereitet. Das Grauwasserverfahren kann wahlweise auf Haus-, Blockebene oder für ein gesamtes Gebiet/Quartier erfolgen. Auf Blockebene erfolgt die Grauwasseraufbereitung über Wirbelbettreaktoren inklusive Desinfektion (Nolde, o.J.) und auf Quartiersebene über eine Vollbiologie inklusive P-Fällung (Giese/Londong 2015). In dieser technischen Variante wurde von einer Etablierung der Behandlung auf Quartiersebene ausgegangen, wenn nicht anders benannt. Somit entstehen einerseits auf der zentralen Kläranlage anteilig Strom und Wärme durch das zugeführte Schwarzwasser inkl. Küchenabwasser, andererseits wird aufbereitetes Grauwasser lokal energetisch und stofflich genutzt (Wärme für Trinkwassererwärmung und/oder Raumheizung, Betriebswasser für Toilettenspülung).

4. HH KonvGrau:

In diesem System wird Grauwasser (Abwasser aus Dusche, Waschbecken und Waschmaschinenabläufen sowie Küchenabwasser) und Schwarzwasser (Toilettenabwasser) getrennt erfasst und im Falle des Schwarzwassers mit Vakuum im Quartier abgeleitet. An der Quartiersgrenze wird es in die umgebende Schwemmkanalisation überführt. Hintergrund dieses Ansatzes ist, das Gebiet mittelfristig mit weiteren angrenzenden kleineren Gebieten zusammenzuführen und dann das Schwarzwasser vor Ort zu behandeln. Beim Grauwasser findet Wärmerückgewinnung und Aufbereitung zu Betriebswasser statt (Giese/Londong 2015). Auf Blockebene erfolgt die Grauwasseraufbereitung über Wirbelbettreaktoren inklusive Desinfektion (Nolde, o.J.) und auf Quartiersebene über eine Vollbiologie inklusive P-Fällung (Giese/Londong 2015). Hier wurde von einer Etablierung der Behandlung auf Quartiersebene ausgegangen, wenn nicht anders benannt.

5. Hamburg Water Cycle – HWC:

Schwarz- und Grauwasser werden im Gebiet getrennt erfasst und abgeleitet. Im Falle von Schwarzwasser kommt ein Vakuumsystem zum Einsatz. Die Grauwasseraufbereitung erfolgt über eine biologische Behandlung mit P-Fällung, danach wird es als Betriebswasser genutzt. Schwarzwasser wird gemeinsam mit Co-Substraten/organischen Abfällen und Klärschlamm aus der Grauwasserbehandlung in einem CSTR (continuously stirred tank reactor) und einem UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) behandelt. Es findet hierbei eine Fest-flüssig-Trennung statt, die flüssige Phase wird im UASB und die feste Phase im CSTR behandelt. Gewonnenes Biogas geht in die Energieerzeugung. Die Feststoffe der Gärreste können zur Kompostierung bzw. zur Erzeu-

gung von Kompost eingesetzt und landwirtschaftlich genutzt werden. Die Flüssigphase der Gärreste geht in die Grauwasserbehandlung und wird zusammen mit dem behandelten Grauwasser als Betriebswasser genutzt bzw. aufbereitet in die Umwelt gegeben (Giese/Londong 2015).

Eine weitergehende Beschreibung und tabellarische Zusammenfassung dieser allgemeinen technischen Systemvarianten ist in Davoudi et al. (2016) zu finden.

3 Vorgehensweise bei der integrierten Bewertung

3.1 Bewertungsverfahren

Wasserwirtschaftliche Maßnahmen sind in der Regel sehr komplexer Natur mit einem vielfältigen Geflecht von Auswirkungen, die von den verschiedenen Beteiligten und Betroffenen häufig kontrovers wahrgenommen und bewertet werden. Durch eine nachvollziehbare Projektbewertung mit einem Bewertungsverfahren wird eine vergleichende Betrachtung wasserwirtschaftlicher Entscheidungen angestrebt, die einerseits diese unterschiedlich gearteten Auswirkungen u.a. wirtschaftlicher, technischer, ökologischer und sozialer Art und andererseits Prioritäten verschiedener Stakeholder berücksichtigt.

Bewertungsverfahren sind zentrale Planungsinstrumente; sie sind integraler Bestandteil von Planungsprozessen, in deren Fortschreiten sich der Einsatz von Bewertungsverfahren verlagert, von

- der Konzeption der Ressourcennutzung und Ressourcenverteilung über
- die Auswahl der vorteilhaftesten Systemkomponenten auf
- die Kostenoptimierung der Anlagen und Betriebsabläufe.

Generelles Ziel ist die Erstellung nachvollziehbarer Unterlagen für die Abwägung und Entscheidungsfindung. Alle Verfahren haben die gleiche Grundstruktur. Sie beruhen auf einem

- nachvollziehbaren Mengengerüst (Daten; Informationen; Prognosen) und
- einem definierten Wertegerüst (Anforderungen; Erwartungen; Einstellungen).

Diese bilden die Informationsgrundlagen für den Bewertungsprozess, der mit der Entscheidung abschließt.

Eine nachvollziehbare Alternativenbewertung verlangt zunächst die gründliche Auseinandersetzung mit den maßgeblichen Zielsetzungen sowie fachlich fundierte Aussagen über die Alternativen und die Auswirkungen möglicher Maßnahmen. Je nach Fragestellung und Situation ist zu unterscheiden zwischen

- der Kosten-/Aufwandminimierung bei fixiertem Nutzen,
- der Nutzenmaximierung bei begrenztem Mitteleinsatz,
- der Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses oder
- der nichtmonetären Nutzenbewertung.

Für die Bewertung der Maßnahmen sind verschiedene Bewertungsverfahren verfügbar. Als Bewertungsmaßstäbe kommen je nach Zielbereich bzw. Teil- oder Einzelziel entweder ausschließlich monetäre Einheiten oder aber darüber hinaus auch nichtmonetäre Größen oder Kriterien in Betracht. Im Rahmen monetärer Bewertungsverfahren werden alle Bewertungskriterien (Kosten, Auswirkungen) in monetären Größen angegeben. Nichtmonetäre Kriterien, z.B.

Auswirkungen auf die Umwelt, werden nicht berücksichtigt oder mit Hilfe von Indikatoren in monetäre Größen umgewandelt.

Monetäre Bewertungsansätze lassen sich eindimensionalen Verfahren zuordnen, deren Alternativenbewertung auf eine einzelne Zielgröße ausgerichtet ist. Zu diesen Verfahren gehören jedoch beispielsweise auch ökologische Ansätze, deren Zielgröße im Falle des Life Cycle Assessments (LCA) z.B. CO₂-Äquivalente sein kann. Demgegenüber sind mehrdimensionale Bewertungsverfahren in der Lage, eine Reihe von unterschiedlich gearteten Zielgrößen zu erfassen und in die Alternativenbewertung einzubeziehen. Abbildung 9 gibt einen Überblick über gängige Bewertungsverfahren und deren Unterscheidungsmerkmale.

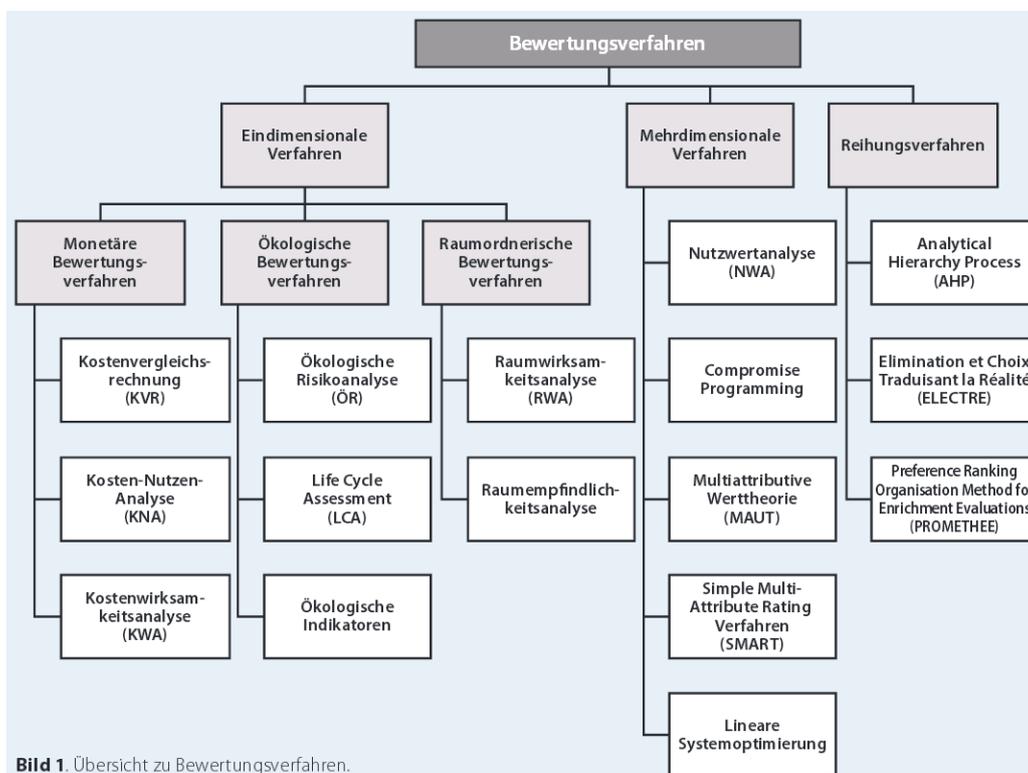


Bild 1. Übersicht zu Bewertungsverfahren.

Abbildung 9: Übersicht zu Bewertungsverfahren (Hein et al. 2015)

Diese Übersicht ist jedoch keinesfalls abschließend. Zu den weiteren, erwähnenswerten Verfahren zählt z.B. die Öko-Effizienz-Analyse (ÖEA), die eine Kombination und Weiterentwicklung monetärer und nichtmonetärer Bewertungsverfahren darstellt, insbesondere der Kostenvergleichsrechnung, der Kosten-Nutzen-Analyse und der Nutzwertanalyse (NWA). Dabei werden die Kosten und Auswirkungen der Maßnahmen dimensionslos normiert und vergleichend gegenübergestellt, wobei den Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit und Umwelt gleiche Bedeutung beigemessen wird. Zu breiten Palette gängiger Bewertungsverfahren und den spezifischen Anwendungsbedingungen ausgewählter Ansätze siehe auch KVR-Leitlinien (DWA 2012).

3.2 Auswahl und Anwendung im Rahmen dieser Studie

Ausgehend von den in Kapitel 2.2 definierten Systemvarianten sowie den Bewertungszielen und den entsprechenden Bewertungskriterien (vgl. Kapitel 3.3) kann nun aus den zur Verfügung stehenden Bewertungsverfahren ein geeignetes ausgewählt werden. Aufgrund der Vielfalt an definierten Bewertungskriterien kommen ausschließlich mehrdimensionale bzw. multikriterielle Verfahren (MCDA, Multi-Criteria Decision Analysis) in Frage. Diese sind in der Lage, unterschiedliche technische Systemvarianten in Bezug auf die Bewertungskriterien zu vergleichen und je Modellgebiet diejenige mit dem höchsten Nutzwert hinsichtlich des Bewertungsziels zu identifizieren. Der Einbezug von monetären und nicht-monetären sowie qualitativen und quantitativen Kriterien bzw. Indikatoren ermöglicht eine weit umfassendere Bewertung als dies bei eindimensionalen Verfahren möglich wäre, wodurch sich einseitige (z.B. durch rein wirtschaftliche Argumente getriebene) Entscheidungen vermeiden lassen. Ferner entspricht eine holistische Herangehensweise vielmehr einem integrierten Forschungsansatz (Winker et al. 2016) und damit auch den komplexen systemischen Herausforderungen wie sie in Kapitel 1 angesprochen wurden. Abgesehen davon haben sich MCDA-Verfahren im Wassersektor bewährt (Hellström et al. 2000, Balkema et al. 2002, Mysiak et al. 2005, Palme et al. 2005, Tanyimboha/Kalungib 2009, Larsen et al. 2010, Schuwirth et al. 2012, Lienert et al. 2014, Scholten et al. 2014).

Die im Rahmen der vorliegenden Studie in Erwägung gezogenen konkreten Methoden sind die Nutzwertanalyse (NWA) (Fishburn 1967, Zangemeister 1976, cf. Triantaphyllou 2000), der Analytische Hierarchie Prozess (AHP) (Saaty 1980, Saaty & Vargas 2012) sowie der Analytische Netzwerk Prozess (ANP) (Saaty & Vargas 2006). Letztendlich ist für die Bewertung auf Modellgebietsebene (Bewertungsebene 1) die NWA den anderen Verfahren aufgrund ihrer größeren Transparenz und Nachvollziehbarkeit vorgezogen worden. Beiden Aspekten kann eine umso größere Bedeutung im Rahmen von partizipativen Prozessen zugesprochen werden als dies bei Projekten ohne gesellschaftliche Relevanz der Fall wäre.

Bei der NWA handelt es sich um ein nichtmonetäres Bewertungsverfahren, bei dem die zur Wahl stehenden Maßnahmen bezüglich mehrerer Bewertungsmaßstäbe zu bewerten sind (Teilnutzen). Die durch Aggregation der Teilnutzen entstehenden Gesamtnutzen der Optionen werden dann herangezogen, um die Maßnahmen nach ihrer Vorteilhaftigkeit zu sortieren. Die Grundüberlegung der NWA besteht darin, eine beliebige Zahl von alternativen Lösungen einer bestimmten Aufgabe und Zielsetzung aufgrund unterschiedlicher Zielkriterien zu bewerten und nach der Höhe ihres Nutzwertes zu ordnen. Da bei der Zielfindung im Ressourcen-Management häufig eine Vielzahl unterschiedlicher Nutzen-Kategorien mit ungleichgewichtiger Bedeutung zu berücksichtigen sind, gehen in der NWA neben den objektiven Werten (z.B. physikalische Messgrößen) auch subjektive Gewichtungen von Entscheidungsträgern, Fachexperten, anderen an der Planung Beteiligten sowie von betroffenen Dritten in die Bewertung ein. Bei diesem Bewertungsverfahren wird der eigentliche subjektive Charakter von politischen Entscheidungen deutlich, auch wenn auf objektiven Bewertungskriterien aufgebaut wird. Die NWA erhält damit

auch die Funktion, Zusammenhänge zu verdeutlichen und Positionen von Beteiligten und Betroffenen zu klären.

Die NWA kommt zur Anwendung, wenn die Auswirkungen überwiegend nicht monetär, sondern vornehmlich qualitativ mit Nutzenpunkten bewertet werden können. Sie erlaubt damit die Berücksichtigung mehrdimensionaler Zielsysteme. Die mittels verschiedener Skalenniveaus (kardinal, ordinal oder nominal) gemessenen Teilziele werden durch eine Bewertung mit Nutzenpunkten vergleichbar gemacht und entsprechend ihrer Bedeutung für den Gesamtnutzen gewichtet. Die Nutzenpunkte jedes Teilzieles werden mit den Gewichtungsfaktoren multipliziert und ergeben dadurch gewichtete Teilnutzen. Aus der Addition ergibt sich der Gesamtnutzwert der betrachteten Alternative:

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j u_{ij}$$

für $i = 1, 2, 3, \dots, m$

U_i = Gesamtnutzen einer Option i

u_{ij} = Teilnutzen einer Option i hinsichtlich eines Kriteriums j

w_j = Gewicht eines Kriteriums j

Beim Vergleich von Alternativen kann in der Regel erst durch ein System von Zielen die Gesamtheit aller situationsspezifisch verfolgten Zielstellungen abgebildet werden. Die Zielkriterien sind die Bestandteile des Zielsystems, die der Bewertung der Alternativen zugrunde gelegt werden. Im Rahmen der Bestimmung der Zielkriterien ist auch die relative Gewichtung der Teilzeile festzulegen, um damit den relativen Bedeutungsunterschieden zwischen den einzelnen Zielkriterien innerhalb einer Zielkriteriengruppe und zwischen den Zielkriteriengruppen Rechnung zu tragen. Durch die Variation der Zielgewichtung können die Auswirkungen unterschiedlicher Prioritätssetzungen auf die Ergebnisse der Bewertung bzw. die Stabilität der Ergebnisse simuliert werden.

Die Bewertung der Zielerträge erfordert für jede Alternative und jedes Zielkriterium die Messung des Zielertrags. Die Zielerträge, die meist unterschiedliche Dimensionen (z.B. Anzahl, Farben, Dezibel) besitzen, werden nach dem Grad ihrer Zielerreichung mit entsprechenden dimensionslosen Punktzahlen bewertet (Zielwerte).

Die Wirkungsabschätzung erfolgt hinsichtlich der vorrangig qualitativen Kriterien 3-stufig in gering, mittel und hoch. Bei Bedarf wird vereinzelt eine weitere Abstufung in gering-mittel und mittel-hoch vorgenommen. Bei den quantitativ zu bewertenden Kriterien in den Kategorien Ökonomie und Ökologie werden die entsprechenden Werte und Dimensionen, z.B. MWh/a oder €/a, aus der Stoffstrommodellierung (Davoudi et al. 2016) und der Machbarkeitsstudie (Hamburg Wasser 2016) eingesetzt.

Anschließend werden die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Wirkungsabschätzung in entsprechende Zielerträge auf einer Skala von 0 bis 2 mittels linearer Wertefunktionen umgerechnet. Bei quantitativen Abschätzungen (Kriterien Energie und Klimaschutz und Ressourcenbilanz (Kategorie Ökologie) und Kosten, Einnahmen (Kategorie Ökonomie) wird der Median der Wirkungsabschätzung der drei zu vergleichenden Systemvarianten gebildet und mit dem Zielertrag 1 (mittel) übersetzt. Weichen die beiden übrigen Werte um mehr als 25 % vom Median ab (Quantile $Q_{0,25}$ bzw. $Q_{0,75}$), dann werden diese mit dem Zielertrag 2 oder 0 übersetzt.

Die Nutzwertermittlung oder Wertsynthese hat die Aufgabe, die eindimensionalen Präferenzordnungen aller Alternativen bezüglich der Zielkriterien logisch und operational zu einem Gesamtnutzwert jeder einzelnen Alternative zusammenzufassen. Mithilfe der NWA kann die Diskussion über Einflussfaktoren versachlicht und meist auch erheblich verkürzt werden. Mit einer NWA kann jedoch nicht entschieden werden, ob eine Maßnahme für sich allein zu befürworten ist. Sie lässt nur eine Aussage über die relative Vorteilhaftigkeit beim Vergleich alternativer Maßnahmen zu und ermöglicht das Aufstellen einer Rangfolge.

Im Rahmen der Bewertungsebene 2 (Modellstadt) werden gesamtstädtische Auswirkungen der Transformation der Wasserinfrastruktur argumentativ bewertet.

Die Bewertungsebene 3 ist als Ausblick auf die regionale Perspektive der Transformation der Wasserinfrastruktur zu verstehen.

3.3 Entwicklung des Bewertungsrahmens

Der Bewertungsrahmen wird definiert durch das gewählte Bewertungsverfahren und die relevanten Bewertungskriterien sowie durch den räumlichen Bezug der Maßnahmen. Der nachfolgend beschriebene Bewertungsrahmen wurde im Zuge von Workshops mit den städtischen Stakeholdern und durch Rückkopplung in Fachgesprächen mit verschiedenen Fachverbänden (BDEW, DWA, AGFW und LAWA) und mit Vertretern anderer Forschungsprojekte, die sich mit Bewertungen neuartiger Infrastrukturen beschäftigen (SWIP und INIS-Verbundprojekte NaCoSi und SinOptiKom) entwickelt.

3.3.1 Bewertungsebenen und räumlicher Bezug der Bewertung

Die Bewertung umfasst 3 Bewertungsebenen mit einem unterschiedlichen räumlichen Bezug:

- Bewertungsebene 1: Modellgebiete
(zur detaillierten Bewertung der Auswirkungen der Transformation und der Anforderungen an den Transformationsprozess)
- Bewertungsebene 2: Modellstädte
(zur Berücksichtigung der Auswirkungen und Bedingungen der Umgestaltung der Wasserinfrastruktur auf Gesamtstadtebene)

- Bewertungsebene 3: Regionstypen
(als Ausblick in Bezug auf den Innovationsbedarf und das Transformationspotenzial aus regionaler Perspektive)

Die jeweiligen Adressaten, die grundlegenden Fragestellungen und Zielsetzungen der Bewertung sind jeweils unterschiedlich (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Bewertungsebenen(Forschungsverbund netWORKS)

	Bewertungsebenen		
	1	2	3
Räumlicher Bezug	Modellgebiete	Modellstädte	Regionstypen
Grundlegende Fragestellung	Welche technische Systemvariante ist im jeweiligen Modellgebiet vergleichsweise am besten geeignet?	Wie sind die Umsetzungsbedingungen der Systemvarianten/-module auf städtischer Ebene zu bewerten?	Welche generellen Transformationspotenziale haben die Systemvarianten/-module auf regionaler Ebene?
Zeitlicher Bezug	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Zielsetzung	Projektierungen	Konzepte	Strategien/Leitbilder
Adressaten	Politische Entscheidungsträger; Stadtverwaltung; Investor/Bauherr; Ver-/Entsorgungsbetriebe	Politische Entscheidungsträger; Stadtverwaltung; Ver-/Entsorgungsbetriebe	Politische Entscheidungsträger; Fachverwaltungen; Fach- und Kommunalverbände; Wirtschaft; Wissenschaft

3.3.2 Kategorien und Kriterien der Bewertung

Der Bewertungsrahmen umfasst die Bewertungsaspekte „Auswirkungen der Transformation“ und „Anforderungen an die Transformationsprozesse“ (Tabelle 3). Sie enthalten jeweils mehrere Bewertungskategorien. Die zu unterscheidenden Bewertungsaspekte werden getrennt voneinander bewertet, da die Kriterien bezüglich der Anforderungen an den Transformationsprozess innerhalb der Kategorien Organisation, Governance und Recht für das Referenzsystem grundsätzlich positiver zu bewerten sind als für die neuartigen Systemvarianten 1 und 2 (siehe Kapitel 4.1.3.2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der zu bewertende „Aufwand“ im Referenzsystem generell geringer ist, weil „nur“ Optimierungen des vorhandenen Systems vorgenommen werden und keine systemischen Umbrüche (Transformation der zentral ausgerichteten in semi-/dezentrale Strukturen) stattfinden.

Tabelle 3: Bewertungsaspekte und zugeordnete Bewertungskategorien (Forschungsverbund netWORKS)

Bewertungskategorien	Bewertungsaspekte
Technik	Auswirkungen der Transformation
Ökologie	
Ökonomie	
Soziales	
Organisation (Technik)	Anforderungen an den Transformationsprozess
Governance (Planung)	
Recht	

Im Zuge eines Stakeholder-Dialogs (u.a. Stadtplanung, Landschaftsplanung, Stadtentwässerung, Umweltdezernat, Investoren) wurden mittels mehrerer Workshops in Frankfurt am Main und Hamburg insgesamt sieben Bewertungskategorien durch den Projektverbund definiert: Technik, Ökologie, Ökonomie, Soziales, Organisation, Governance und Recht. Diese übergeordneten Kategorien konkretisieren sich in jeweils unterschiedliche Bewertungskriterien und Indikatoren mit entsprechenden Dimensionen.

Zum Bewertungsaspekt „Auswirkungen der Transformation“ gehören die Bewertungskategorien „Technik“, „Ökologie“, „Ökonomie“ und „Soziales“ mit insgesamt 20 Kriterien (Tabelle 4). Die „Anforderungen an den Transformationsprozess“ werden durch die Bewertungskategorien „Organisation“, „Governance“ und „Recht“ mit insgesamt 11 Kriterien charakterisiert (Tabelle 5).

Die Ergebnisse aus dem Stakeholder-Dialog zu den Bewertungskriterien wurden mit bestehenden Kriterien und Indikatoren z.B. aus technischen Richtlinien (DWA 2014) und anderen Forschungsarbeiten zur integrierten Bewertung (vgl. Scholten et al. 2014) abgeglichen, um eventuelle Lücken zu füllen. Darüber hinaus haben die in der Einleitung erwähnten multidimensionalen Nachhaltigkeitskonzepte (Brundtland 1987, Bossel 1999, Jörissen et al. 1999) dazu beigetragen, die Vollständigkeit der Kriterien sicherzustellen.

Grundlagen der Bewertung der **Auswirkungen der Transformation** sind qualitative Aussagen der Projektpartner, Ergebnisse der Stoffstrommodellierung (vgl. dazu Davoudi et al. 2016) sowie die Kosten der Modellvarianten (vgl. dazu Hamburg Wasser 2016).

Tabelle 4: Kategorien, Handlungsfelder, Kriterien, Indikatoren und Dimensionen der Bewertung der Auswirkungen der Transformation (Forschungsverbund netWORKS)

Kategorie/ Handlungsfelder	Kriterien	Indikatoren	Dimensionen
Technik			
Integrierbarkeit	Auswirkung auf den Bestand	Anpassungsbedarf der bestehenden Wasser-/Gebäudeinfrastrukturen	gering, mittel, hoch
	Synergiepotenzial	Synergiepotenzial mit anderen Infrastrukturen und bezüglich EE (Abwärme, Gebäudekühlung, Biogas etc.)	hoch, mittel, gering
Anpassungsfähigkeit	Flexibilität	Flexibilitätsgrad hinsichtlich Veränderungen bei Klima, Demografie, Gesetze, Nutzungsmuster etc.	hoch, mittel, gering
Betriebsicherheit/ -robustheit	Prozessstabilität	Einfluss extremer Ereignisse (Starkregen, Abwasserreduktion, Stromausfall, Vandalismus, ...)	gering, mittel, hoch
		Auswirkungen bei Versagen einzelner Systemkomponenten (Resilienz)	gering, mittel, hoch
Ökologie			
Ressourcenschutz	Lokale Ökosystemfunktionen	Beitrag zu Erzeugung, Erhalt und Stärkung blauer und grüner Infrastrukturen	hoch, mittel, gering
	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	Verminderung des Eintrags von Nährstoffen (N, P) und ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering
	Boden-/Grundwasserschutz	Verminderung des Eintrags von ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering
	Energie und Klimaschutz	Emission klimarelevanter Gase (CO ₂ -Äquivalente)	t/a
Ressourcennutzung	Ressourcenbilanz	Trinkwasserbedarf	m ³ /a
		Strombedarf	MWh/a
		Wärmerückgewinnung	MWh/a
Ökonomie			
Ver- und Entsorgungs- unternehmen, Investoren	Kosten	Jahreskosten	1.000 €/a
	Einnahmen	potenzielle Einnahmen aus NASS-Produkten	1.000 €/a
	langfristige Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	Auswirkungen auf Image und Know-How	hoch, mittel, gering
	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	Dauer der AfA-Abschreibung	gering, mittel, hoch
Investoren, Bewohner	Wirtschaftlichkeit	Auswirkungen auf spezifi. Kosten (Kalt-/Warmmiete)	gering, mittel, hoch
Soziales			
Exklusion	sozio-ökonomische, kulturelle Barrieren	Exklusionsrisiko	gering, mittel, hoch
Gebrauchsfähigkeit, Alltagstauglichkeit	Handhabbarkeit	Bedienkomfort für Betreiber und Bewohner	hoch, mittel, gering
Umweltbewusstsein	Sensibilisierung bezüglich Ressourcennutzung (Wasser, Energie)	Sensibilisierungspotenzial (Bewohner, Betreiber, Investor, Politik)	hoch, mittel, gering

Die Bewertung der **Anforderungen an den Transformationsprozess** beruht auf den qualitativen Einschätzungen der Projektpartner, die analog zur den Auswirkungen der Transformation mittels standardisiertem Bewertungsbogen abgefragt wurden.

Tabelle 5: Kategorien, Handlungsfelder, Kriterien, Indikatoren und Dimensionen der Bewertung der Anforderungen an den Transformationsprozess (Forschungsverbund netWORKS)

Kategorie/ Handlungsfelder	Kriterien	Indikatoren	Dimensionen
Organisation (Technik)			
Organisationsform/-strukturen	Anpassung / Neuentwicklung	Anpassungsaufwand Organisation	gering, mittel, hoch
Betrieb	Kompetenz (Arbeitsabläufe, Kundenbetreuung, Technisches know-how)	Anpassungsaufwand, Qualifikationsbedarf	gering, mittel, hoch
Sektorübergreifende Koordination	Transaktionsaufwand	Abstimmungsaufwand (Trinkwasser, Löschwasser, Energie, Stadtplanung, Verkehr, Abfall, Grünflächenmanagement, Investor etc.)	gering, mittel, hoch
Governance (Planung)			
Leitbilder, Entwicklungskonzepte, Prozesse	Räumliche/infrastrukturelle Leitbilder	Synergiepotenzial (Raumordnung, Regionalplanung, Stadtentwicklung, Energie, Wasser, Abfall etc.)	hoch, mittel, gering
	Einbeziehung relevanter Stakeholder (Politische Entscheidungsträger, fachliche Akteure, Interessengruppen, allgemeine Öffentlichkeit)	Abstimmungsbedarf; Überzeugungsaufwand	gering, mittel, hoch
	Unternehmerisches Wagnis	regulatorisches Risiko	gering, mittel, hoch
Recht			
EU-Recht; Bundesrecht	RL 91/271/EWG; GG; WHG; BauGB; ROG; KWKG; EEWärmeG; TrinkVO; AVBen	Gesetzesänderungsbedarf	gering, mittel, hoch
Landesrecht	LWWaG; GemO; LBauO; KAG	Gesetzesänderungsbedarf	gering, mittel, hoch
Kommunalrecht	FLPI; Bplan; Satzungen	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch
Verträge	Städtebaulicher Vertrag; öffentlich-rechtliche / privatrechtliche Verträge	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch
Stand der Technik	Fachliche Normen und Standards	Anpassungsaufwand	gering, mittel, hoch

3.3.3 Gewichtungsszenarien

Im Anschluss wurden mehrere "Gewichtungsszenarien" kalkuliert, die unterschiedliche Präferenzordnungen repräsentieren. Diese Gewichtungsszenarien dienen zum einen dazu, die Bewertungsergebnisse zu untermauern, und zum anderen auch als Sensitivitätsanalyse. Drei Gewichtungsszenarien sind im Vorfeld durch die Forschergruppe definiert worden, um ein breites Spektrum an gegensätzlichen Kriteriengewichtungen abzubilden. Je ein weiteres Gewichtungsszenario ist durch die Stakeholder in beiden Städten bestimmt worden, um deren Präferenzen mitaufzunehmen. Im ersten Gewichtungsszenario besitzen alle vier Bewertungskategorien ein gleiches Gewicht von 25 %. Die Gewichtungen der Indikatoren ergab sich aus der Anzahl der Indikatoren in einer Kategorie (Kategoriengewicht geteilt durch Anzahl Indikatoren) und sind innerhalb einer Kategorie gleichverteilt. Im zweiten Gewichtungsszenario ("Tech+Ökon") wurde der technischen und wirtschaftlichen Kategorie jeweils ein Wert von 41,7 % beigemessen und der ökologischen und der sozialen Kategorie ein Wert von 8,3 %. Diese Präferenzordnung repräsentiert einen konventionellen Bewertungsansatz mit einem Fokus auf wirtschaftliche und technische Aspekte. Die Gewichte ergaben sich aus einer so genannten Cross-Impact-Analyse zwischen den vier Kategorien, wobei eine Kategorie im direkten Vergleich zu einer anderen den Wert 2 erhielt, wenn diese als wichtiger erachtet wurde, und den Wert 1, wenn beide Kategorien gleich wichtig sind (vgl. Tabelle 6). In dem angesprochenen Gewichtungsszenario erhielten die technische und wirtschaftliche Kategorie jeweils 5 Punkte (von 12 an alle Kategorien verteilten

Punkte) sowie die ökologische und soziale jeweils 1 Punkt. Im dritten Gewichtungsszenario ("Ökol+Soz") verfügten die ökologische und soziale Kategorie entsprechend über ein Gewicht von 41,7 % sowie die technische und wirtschaftliche jeweils eines von 8,3 %. Dieses Szenario repräsentiert damit eine alternative Präferenzordnung, die sozial-ökologischen Aspekten eine größere Relevanz beimisst. Innerhalb der Bewertungskategorien wurden die einzelnen Bewertungskriterien gleichgewichtet (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 6: Relative Gewichtung der Bewertungskategorien im Rahmen der NWA, paarweiser Vergleich, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

		als	Bewertungskategorie					Anteil (%) Gewichtung
			Technik	Ökologie	Ökonomie	Soziales	Summe	
Bewertungskategorie	Technik		0	1	0	1	8,3	
	Ökologie	2		2	1	5	41,7	
	Ökonomie	1	0		0	1	8,3	
	Soziales	2	1	2		5	41,7	
Summe			5	1	5	1	12	100

Bewertungsmaßstab:

- 0 weniger wichtig als die andere Kategorie 
- 1 gleich wichtig wie die andere Kategorie 
- 2 wichtiger als die andere Kategorie 

Tabelle 7: Relative Gewichtung der Bewertungskriterien am Beispiel der Bewertungskategorie Technik im Rahmen der NWA, paarweiser Vergleich, gleichgewichtet

		als	Bewertungskategorie Technik					Summe	Anteil (%) Gewichtung
			Auswirkungen auf Bestand	Synergiepotenzial	Flexibilität	Einfluss extremer Ereignisse	Prozessstabilität		
Bewertungskategorie Technik	Auswirkungen auf Bestand		1	1	1	1	4	20,0	
	Synergiepotenzial	1		1	1	1	4	20,0	
	Flexibilität	1	1		1	1	4	20,0	
	Einfluss extremer Ereignisse	1	1	1		1	4	20,0	
	Prozessstabilität	1	1	1	1		4	20,0	
Summe			4	4	4	4	4	20	100

Bewertungsmaßstab:

- 0 weniger wichtig als die andere Kategorie 
- 1 gleich wichtig wie die andere Kategorie 
- 2 wichtiger als die andere Kategorie 

Die Gewichtungen der Stakeholder wurden für beide Städte separat mit relevanten Akteuren im Rahmen von Workshops erarbeitet. In Bezug auf die Bewertungskategorien geschah dies über Aushandlungsprozesse zwischen den Stakeholdern. Hinsichtlich der Bewertungskriterien und -indikatoren sind die Akteure gebeten worden, diesen Punkte zu vergeben. Daher sind die Kriteriengewichte im Gegensatz zu den anderen Gewichtungsszenarien auch nicht gleichmäßig innerhalb einer Kategorie verteilt. Die Anzahl der vergebenen Punkte wurden daraufhin in Pro-

zentwerte umgerechnet, indem die Anzahl der jeweils vergebenen Punkte ins Verhältnis zur Anzahl der insgesamt vergebenen Punkte gesetzt wurde.

4 Ergebnisse der Bewertungsebene 1: Modellgebiete

Die Bewertungsebene 1 bezieht sich auf die Auswirkungen der Systemtransformation auf die abgegrenzten Modellgebiete in den Modellstädten Frankfurt am Main und Hamburg. Dabei bleiben alle Auswirkungen auf die Stadt und die gesamtstädtische Wasserinfrastruktur außer Acht. Diese werden in der Bewertungsebene 2 (Modellstadt, Kapitel 5) als „Externalitäten“ in die Bewertung einbezogen.

Aufgrund der identischen Vorgehensweise der vergleichenden Bewertung auf Modellgebiets-ebene für alle fünf Modellgebiete werden zur besseren Lesbarkeit die einzelnen Schritte und Ergebnisse nachfolgend exemplarisch am Beispiel des Tucholsky-Quartiers in Hamburg dargestellt. Eine Übersicht und Diskussion der Ergebnisse der Bewertung der Systemvarianten in allen fünf Modellgebieten erfolgt dann zusammenfassend in Kapitel 4.2.

4.1 Vergleichende Bewertung technischer Systemvarianten am Beispiel des Tucholsky-Quartiers in Hamburg

4.1.1 Eckdaten des Modellgebietes

Das Quartier (Modellgebiet E) soll nach einem Umzug der Tucholsky-Schule neu geordnet und städtebaulich weiterentwickelt werden (Abbildung 10). Für die vergleichende Bewertung wird auf die Angaben im Vorentwurf des Rahmenplans (Städtebaulich-landschaftsplanerische Rahmenplanung, Drucksachen-Nr. XIX-4143) und im Entwurf Rahmenplan vom 10.12.2014 zurückgegriffen. Dieser Stand des Städtebaulichen Entwurfs wurde während der Bearbeitungszeit einmal aktualisiert und dient im Weiteren einvernehmlich als feste Bezugsgröße. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Hamburg Wasser 2016) die nachfolgenden Grundlagen ausgewählt.

Die Gesamt-Quartiersgröße ist laut städtebaulich-landschaftsplanerischem Rahmenplan von 8/12 mit 13,5 ha ausgewiesen und umfasst die umliegenden Gebiets-Straßenachsen. Der Entwurf Rahmenplan ist für einen Geltungsbereich im zentralen Bereich mit 3,4 ha angegeben. Mit den zugehörigen Verkehrsflächen des öffentlichen Raumes von 1,1 ha ergibt sich als Einzugsgebiet eine Fläche von insgesamt 4,5 ha. Das Gebiet grenzt an die Stadtteile Ottensen, Bahrenfeld, Stellingen, Eimsbüttel, Sternschanze und Altona-Altstadt.

Zukünftig wird ein Mischgebiet mit hohem Anteil an Wohnungsbau angestrebt (Geschosswohnungsbau). Im Quartier werden 500 Wohneinheiten (WE) für 900 Personen entstehen (Ansatz 1,8 Personen pro Haushalt, basierend auf Strukturdaten 2010). Die durchschnittliche Wohnungsgröße beträgt $80 \text{ m}^2/\text{WE}$ (Obergrenze der im Entwurf Rahmenplan Tucholskyquartier vom 10.12.2014 genannten Anzahl an WE).



Abbildung 10: Quartier-Entwicklung des Tucholsky-Quartiers (Entwurf Rahmenplan vom 10.12.2014, FHH, zitiert in Hamburg Wasser 2016)

Bezüglich der wasserwirtschaftlichen Eckdaten wird von einem täglichen Trinkwasserbedarf in Höhe von 139 l/ (E*d) mit Kleingewerbe ausgegangen. Das Tucholsky-Quartier ist von vorhandener Mischkanalisation umgeben und entwässert von nordwestlicher in südöstlicher Richtung. Am südlichen Rand des Quartiers liegen zwei Mischwasser-Rückhaltebecken. Im Quartier selbst sind keine Abwasserkanäle vorhanden. Die maßgebenden Flächen für die Regenwasserbewirtschaftung sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Flächenverteilung im Tucholsky-Quartier (Hamburg Wasser 2016)

Grundfläche	45.000 qm	Abflussbeiwert (vereinfacht)
davon überbaute Fläche (extensive Gründächer)	8.000 qm	0,5
überbaute Bestandsfläche (Dachflächen >3%)	3.000 qm	1,0
geschätzte Verkehrsfläche (versiegelt, verschmutzt)	11.000 qm	1,0
verbleibende Grünfläche	23.000 qm	0,0

4.1.2 Modellgebietspezifische technische Systemvarianten

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, wurden für jedes Modellgebiet drei technische Systemvarianten festgelegt. Die modellgebietspezifischen technischen Systemvarianten umfassen

- ein Referenzsystem, das den heutigen Standard der Abwasserableitung und -behandlung in Hamburg widerspiegelt, und
- zwei Systemvarianten (hier benannt als Systemvariante 1 und 2), die technische Module neuartiger Wasserinfrastrukturen beinhalten.

Für das Referenzsystem im Tucholsky-Quartier dient das qualifizierte Trennsystem (Abbildung 11), es entspricht dem derzeitigen Standard von Hamburg Wasser. Das Regenwasser wird auf begrünten Dächern durch die Dachbegrünung aufgenommen und zurückgehalten. Überschüssiges Regenwasser passiert dann zeitlich versetzt im Abfluss ein im Quartier befindliches Rückhaltebecken und eine Versickerungspassage, so dass bei Starkregen nur eine gedrosselte Regenwassermenge in die umliegenden Mischwasserkanäle gelangt. Schmutzwasser aus den Häusern fließt im Schmutzwasserkanal ab, der durch die Aufnahme von Regenwasser von verschmutzten Verkehrsflächen zum Mischwasserkanal wird (siehe Hamburg Wasser 2016).

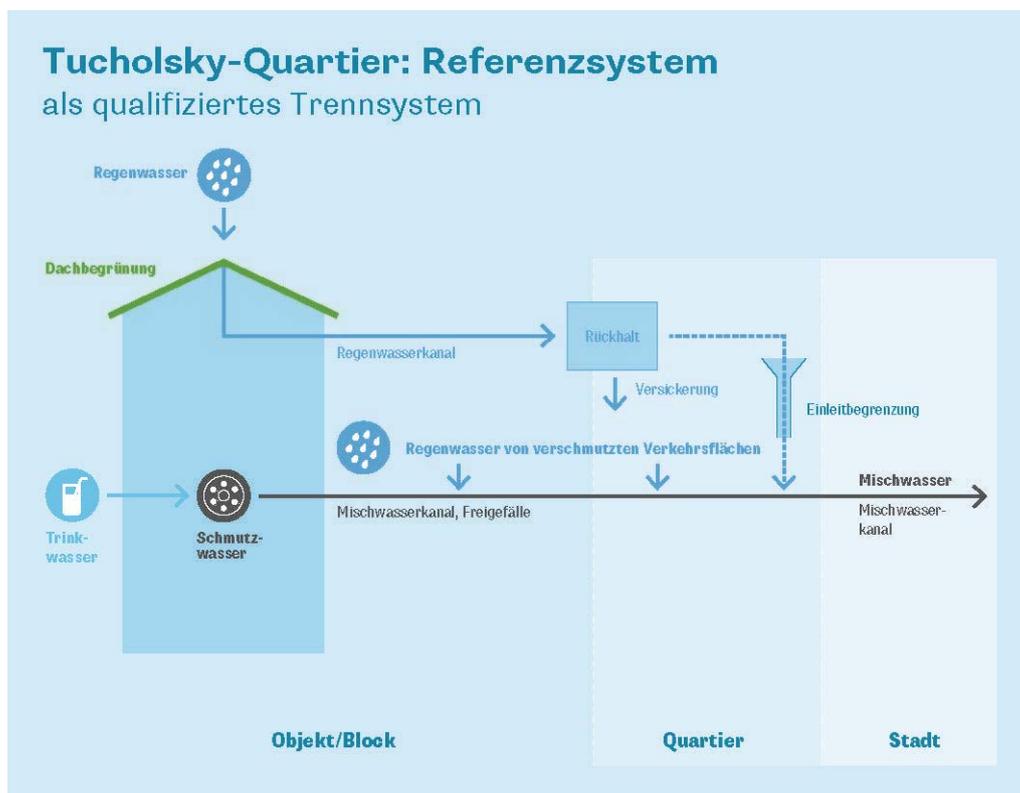


Abbildung 11: Referenzsystem Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS)

Die Systemvariante 1 ist durch eine Teilstromnutzung auf Quartiersebene charakterisiert und wird durch eine überquartierliche Wärmenutzung zur Einbindung von Abwasserwärme ergänzt (Abbildung 12).

Das häusliche Schmutzwasser fließt getrennt vom Regenwasser ab und wird am Entstehungsort in die zwei Stoffströme Grau- und Schwarzwasser separiert. Das Schwarzwasser wird im Gebäude über Vakuumtoiletten erfasst und über eine Vakuumentwässerung zur angrenzenden Mischwasserkanalisation abgeleitet. Für Schwarzwasser besteht zudem am Quartiersausgang die Option einer Entnahme zur weiteren Behandlung, während für Grauwasser eine Behandlung und Wiederverwertung im Quartier vorgesehen ist. Ein Abschlag in die angrenzende Mischwasserkanalisation ist nur bei Überlastung der Behandlungsanlage vorgesehen, während im normalen Betriebsfall überschüssiges Betriebswasser den Versickerungsanlagen zufließt. Das Regenwasser von verschmutzten Verkehrsflächen wird behandelt, bevor es zur Rückhaltung und Versickerung gelangt.

Die zurückgewonnene Wärme aus der Grauwasseranlage wird in einem Verteilungsnetz (kalte Nahwärme) den einzelnen Häusern zugeführt, ohne Wärmepumpe zur Trinkwassererwärmung eingesetzt und in der gleichen Leitungstrasse als Kreislaufleitung zurückgeführt. Die aus der umliegenden Mischwasserkanalisation zurückgewonnene Wärme wird mit Wärmepumpen zur Wohnungsbeheizung genutzt.

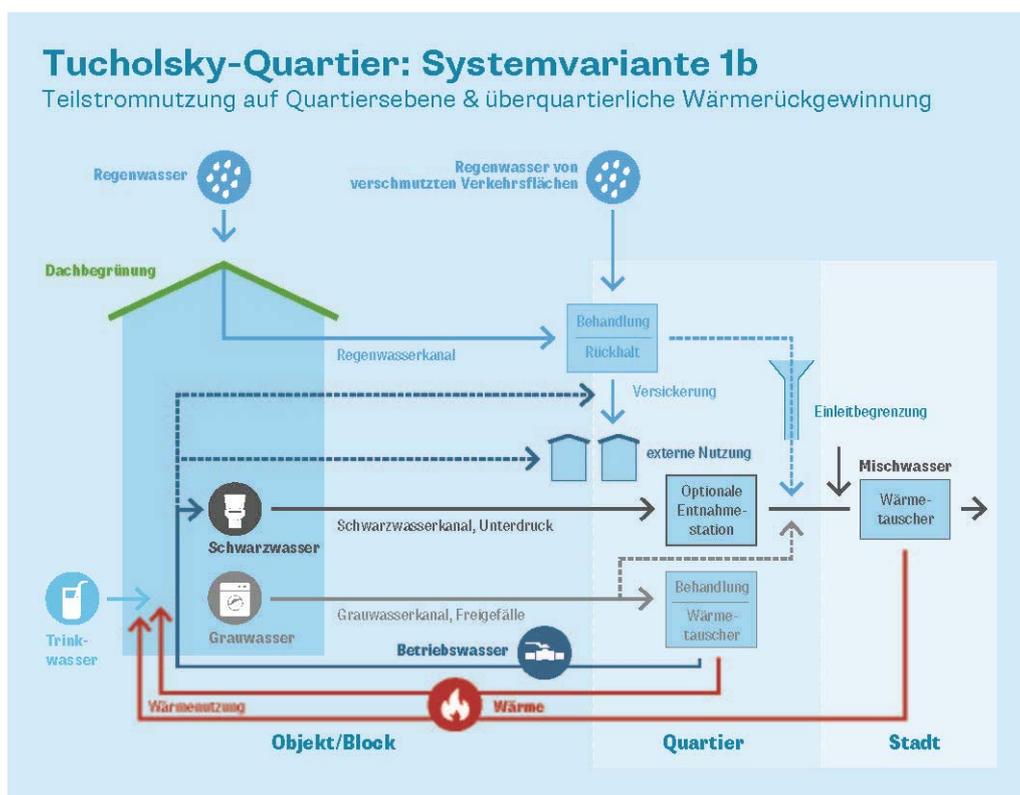


Abbildung 12: Systemvariante 1 Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS)

Die Systemvariante 2 ist durch eine Teilstromnutzung auf Blockebene charakterisiert (Abbildung 13). Der Unterschied zur Systemvariante 1 liegt in einer kleinräumigeren, blockweisen Nutzung des behandelten Grauwassers (Betriebswasser und Wärme), zudem findet keine überquartierliche Wärmerückgewinnung statt. Anstelle eines semizentralen Systems mit einer Behandlungs-

anlage im südlichen Quartiersteil werden in allen drei Baublöcken separate Behandlungsanlagen errichtet. Dafür entfällt das Leitungssystem für Grau- und Betriebswasser sowie für den Wärmetransport zwischen den Wohnblöcken und im öffentlichen Raum. Die Pfade für das Regen- und Schwarzwasser sind identisch mit der Systemvariante 1.

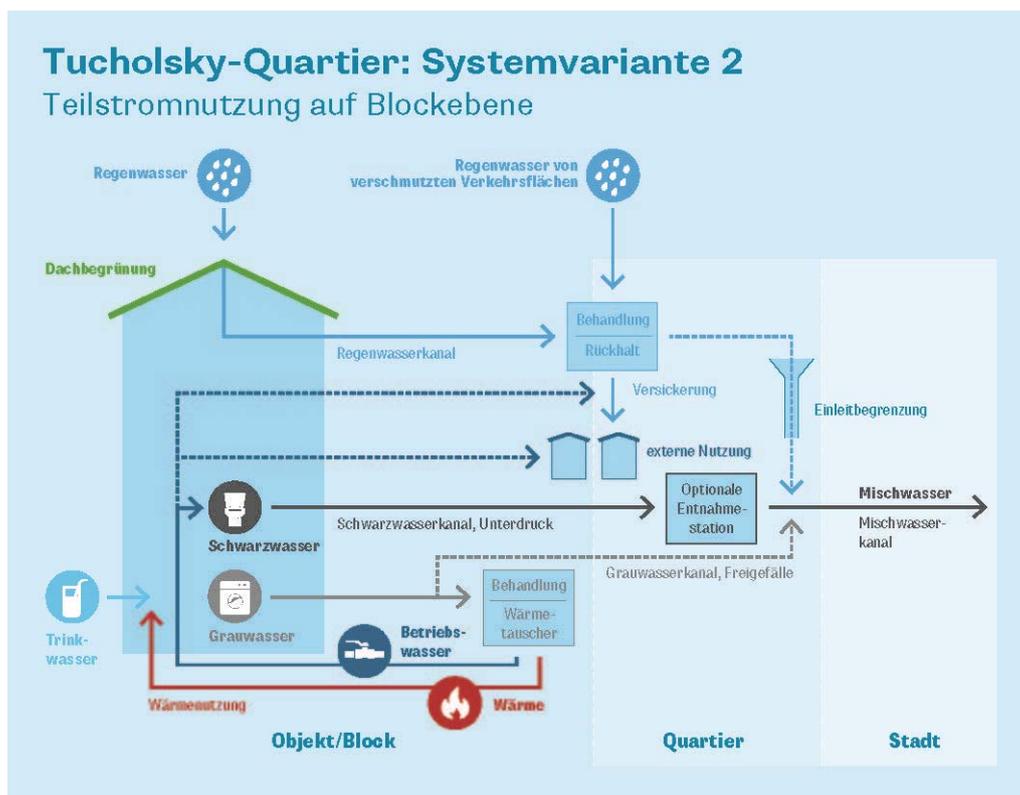


Abbildung 13: Systemvariante 2 Tucholsky-Quartier, Hamburg (Forschungsverbund netWORKS)

4.1.3 Vergleichende Bewertung

Durch den Bewertungsprozess können Nutzwerte der technischen Systemvarianten je Modellgebiet ermittelt werden, die einen Vergleich der Varianten ermöglichen. Auf der Grundlage der im Rahmen des Stakeholderprozesses festgelegten Bewertungskategorien und -kriterien (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5, Kap. 3.3), der Auswahl des Bewertungsverfahrens (Kap. 3.2) und der zuvor beschriebenen Eckdaten des Modellgebietes wurden die drei modellgebietspezifischen technischen Systemvarianten im Tucholsky-Quartier durch die Partner des Forschungsverbundes bewertet. Hierbei wurden innerhalb einzelner Kategorien ausgewählte Handlungsfelder oder Kriterien denjenigen Forschungs- und Praxispartnern zugeordnet, die über die fachliche Expertise der jeweiligen Bewertungskategorie verfügten und die jeweiligen Forschungsarbeiten i.d.R. durchgeführt haben (z.B. Stoffstromanalysen, Nutzerbefragungen, Kostenkalkulation). Auf diese Weise konnte die technische Variante mit dem höchsten Nutzwert ermittelt werden. So wurden z.B. die Auswirkungen der technischen Systemvarianten in Bezug auf die Kriterien in der Kategorie Soziales (siehe auch Hefter et al. 2015) und bezogen auf die Stoffstrommodellie-

rungen (Davoudi et al. 2016) durch das ISOE, rechtliche Aspekte durch das Difu (Hanke 2016) und Kostenkalkulationen u.a. durch Hamburg Wasser (Hamburg Wasser 2016) abgeschätzt.

4.1.3.1 Bewertung der Auswirkungen der Transformation

Das entsprechende Bewertungsschema für das Referenzsystem des Tucholsky-Quartiers mit den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung und den Zielerträgen für die Bewertungskategorien hinsichtlich der Auswirkungen auf die Transformation ist beispielhaft in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Bewertungsschema der vergleichenden Bewertung durch den Projektverbund am Beispiel des Referenzsystems, Tucholsky-Quartier, Hamburg

Modellgebiet: HH-Tucholsky					
Kategorie/ Handlungsfelder	Kriterien	Indikatoren	Dimensionen	Wirkungs- analyse	Zielertrag von gut (2) zu schlecht (0)
Technik					
Integrierbarkeit	Auswirkung auf den Bestand	Anpassungsbedarf der bestehenden Wasser-/Gebäudeinfrastrukturen	gering, mittel, hoch	gering/keine	2
	Synergiepotenzial	Synergiepotenzial mit anderen Infrastrukturen und bezüglich EE (Abwärme, Gebäudekühlung, Biogas etc.)	hoch, mittel, gering	gering	0
Anpassungsfähigkeit	Flexibilität	Flexibilitätsgrad hinsichtlich Veränderungen bei Klima, Demografie, Gesetze, Nutzungsmuster etc.	hoch, mittel, gering	gering	0
Betriebssicherheit/ -robustheit	Prozessstabilität	Einfluss extremer Ereignisse (z.B. Starkregen, Abwasserreduktion, Stromausfall, Vandalismus)	gering, mittel, hoch	mittel	1
		Auswirkungen bei Versagen einzelner Systemkomponenten (Resilienz)	gering, mittel, hoch	mittel	1
Ökologie					
Ressourcenschutz	Lokale Ökosystemfunktionen	Beitrag zu Erzeugung, Erhalt und Stärkung blauer und grüner Infrastrukturen	hoch, mittel, gering	gering	0
	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	Verminderung des Eintrags von Nährstoffen (N, P) und ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering	mittel	1,3
	Boden-/Grundwasserschutz	Verminderung des Eintrags von ökotoxikologischen Stoffen	hoch, mittel, gering	mittel	1,3
	Energie und Klimaschutz	Emission klimarelevanter Gase (CO ₂ -Äquivalente)	t/a	547	1
Ressourcennutzung	Ressourcenbilanz	Trinkwasserbedarf	m ³ /a	47.663	0
		Strombedarf	MWh/a	69	1
		Wärmerückgewinnung	MWh/a	0	0
Ökonomie					
Ver-/Entsorgungs- unternehmen, Investoren	Kosten	Jahreskosten	1.000 €/a	20	2
	Einnahmen	potenzielle Einnahmen aus NASS-Produkten	1.000 €/a	0	0
	langfristige Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	Auswirkungen auf Image und Know-How	hoch, mittel, gering	gering	0
	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	Dauer der AfA-Abschreibung	gering, mittel, hoch	hoch	0
Investoren, Bewohner	Wirtschaftlichkeit	Auswirkungen auf spezifi. Kosten (Kalt-/Warmmiete)	gering, mittel, hoch	gering	2
Soziales					
Exklusion	sozio-ökonomische, kulturelle Barrieren	Exklusionsrisiko	gering, mittel, hoch	gering/keine	2
Gebrauchsfähigkeit, Alltagstauglichkeit	Handhabbarkeit	Bedienkomfort für Betreiber und Bewohner	hoch, mittel, gering	hoch	2
Umweltbewusstsein	Sensibilisierung bezüglich Ressourcennutzung (Wasser, Energie)	Sensibilisierungspotenzial (Bewohner, Betreiber, Investor, Politik)	hoch, mittel, gering	gering	0

Die Zielerträge der einzelnen Kriterien werden mit der entsprechenden Gewichtung multipliziert und innerhalb einer Kategorie aufsummiert. Das Ergebnis der NWA für das Referenzsystem und die neuartigen technischen Systemvarianten im Tucholsky-Quartier sind in Tabelle 10 zusammenfassend für die gleichgewichteten Kategorien aufgeführt.

Tabelle 10: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Auswirkungen, Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien Nr. Bezeichnung	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	3,0	15,0
2 Ökologie	25,0	4,6	16,4	8,4	30,0	8,4	30,0
3 Ökonomie	25,0	4,0	20,0	5,0	25,0	4,0	20,0
4 Soziales	25,0	4,0	33,3	2,0	16,7	2,0	16,7
5 Gesamt	100,0	17	90	17	82	17	82

Das Referenzsystem erzielte in der vergleichenden Bewertung mit 90 Punkten den höchsten Nutzwert, wobei die drei Systemvarianten in ihren Nutzwerten insgesamt sehr nahe beieinander liegen. Auf der Ebene der Bewertungskategorien weist das Referenzsystem die größten Vorteile hinsichtlich der technischen und sozialen Aspekte auf. Dies zeigt sich insbesondere bei den technischen Kriterien in den Auswirkungen auf den Bestand bzw. bei Versagen und bei den sozialen Kriterien mit Bezug zum Exklusionsrisiko (sozio-ökonomische und kulturelle Barrieren, z.B. Ausschluss bestimmter Gruppen vom Gebrauch einzelner Komponenten neuartiger Wasserinfrastruktursysteme aus kulturellen Gründen) und der Handhabbarkeit (zum Beispiel Bedienkomfort für Bewohner). In Tabelle 11 sind diese wesentlichen Unterschiede in der Bewertung des Referenzsystems zu den neuartigen Systemvarianten farblich hinterlegt (grün: Zielerträge/Nutzwerte der neuartigen Systemvarianten = 0, orange: Zielerträge/Nutzwerte des Referenzsystem = 0).

Tabelle 11: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Auswirkungen, Kriterien innerhalb der Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien		Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
Nr.	Bezeichnung							
1	Technik	25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	3,0	15,0
1.1	Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2	Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.3	Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.4	Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0
1.5	Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Ökologie	25,0	4,6	16,4	8,4	30,0	8,4	30,0
2.1	Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.2	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	1,3	4,6	1,7	6,1	1,7	6,1
2.3	Boden-/Grundwasserschutz	3,6	1,3	4,6	1,7	6,1	1,7	6,1
2.4	Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5	Trinwasserbedarf	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.6	Strombedarf	3,6	1,0	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6
2.7	Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	1,0	3,6
3	Ökonomie	25,0	4,0	20,0	5,0	25,0	4,0	20,0
3.1	Systemkosten	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.2	Einnahmen	5,0	0,0	0,0	2,0	10,0	1,0	5,0
3.3	Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.4	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.5	Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Soziales	25,0	4,0	33,3	2,0	16,7	2,0	16,7
4.1	Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4.2	Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4.3	Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	2,0	16,7
5	Gesamt	100,0	17	90	17	82	17	82

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Das Referenzsystem schneidet in der vergleichenden Bewertung auch bei den anderen drei Gewichtungsszenarien der Kriterien und Kategorien besser ab als die neuartigen Systemvarianten (siehe Tabelle 13). Die potenziellen, zukünftigen Vorteile neuartiger Systeme kommen im Rahmen des hier gewählten Bewertungsrahmens nicht zum Tragen. Es werden die jeweiligen teilräumlichen Gegebenheiten und die Auswirkungen auf die vorhandene Wasserinfrastruktur im und für das Quartier, im Fall des Schwarzwassers (Vakuumentwässerung, optionale Entnahme und Behandlung) aber nicht darüber hinaus für die angrenzenden Quartier/Teilräume berücksichtigt. Dies ist auf die Definition der Systemgrenzen auf Modellgebietsebene zurückzuführen, die eine zukünftige Konversion anderer Gebiete und eventuelle Synergien nicht mit einbezieht und solche externen Effekte erst in der gesamtstädtischen Bewertungsebene berücksichtigt (s. Kap. 5).

Die Ergebnistabellen aller Gewichtungsszenarien für das Tucholsky-Quartier und der übrigen Modellgebiete in Hamburg und Frankfurt am Main sind in Anhang 9.2 aufgeführt.

4.1.3.2 Bewertung der Anforderungen an den Transformationsprozess

Wie zuvor beschrieben sind die Anforderungen an den Transformationsprozess getrennt von den Auswirkungen auf die Transformation zu bewerten. Mit zunehmender Komplexität der Systemvarianten steigt grundsätzlich der Aufwand für Anpassungen/Änderungen hinsichtlich bestehender Routinen bezüglich der Organisation (Betrieb), Governance (Planung) und Rechtsgrundlagen.

Die beispielhafte Anwendung der Nutzwertanalyse auf die Kriterien der Anforderungen an den Transformationsprozess analog zur vergleichenden Bewertung der Auswirkungen der Transformation ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet Tucholsky-Quartier, Hamburg, Anforderungen, Kriterien innerhalb der Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien		Relative Gewichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
Nr.	Bezeichnung							
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	5,5	61,1	5,5	61,1
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	1,5	16,7
2	Governance (Planung)	33,3	5,0	55,6	2,0	22,2	2,0	22,2
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	2,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	1,0	11,1
3	Recht	33,3	10,0	66,7	3,0	20,0	3,5	23,3
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	1,0	6,7
3.5	Fachliche Normen und Standards	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	189	11	103	11	107

¹⁾ **Zielerträge (Szenarien):** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte (Szenarien):** Gewichtung * Zielertrag

Das Referenzsystem wird mit einem Nutzwert von 189 wesentlich besser bewertet als die neuartigen Systemvarianten 1 und 2. Dies gilt in gleichem Maße für die Referenzsysteme der anderen Modellgebiete (siehe Anhang 9.2). Da im Referenzsystem „nur“ Optimierungen des vorhandenen Systems vorgenommen werden und keine systemischen Umbrüche (Transformation der zentral ausgerichteten in semi-/dezentrale Strukturen) stattfinden, ist die vergleichende Bewertung mittels NWA bezüglich der Anforderungen an den Transformationsprozess nicht zielführend und würde die neuartigen Systemvarianten systematisch benachteiligen. Vielmehr muss der Fokus der Bewertung auf den Vergleich zwischen den zwei neuartigen Systemvarianten 1 und 2 gelegt und entsprechende Vor- oder Nachteile bezüglich der Anforderungen an den Transformationsprozess gelegt werden. Im Fall des Tucholsky-Quartier schneidet die Variante 2 aufgrund der positiveren Bewertung hinsichtlich des Anpassungsaufwandes zur Vertragsgestaltung in der Bewertungskategorie Recht etwas besser ab als die Variante 1 (vgl. Hanke 2016).

Die entsprechenden Ergebnistabellen aller Gewichtungsszenarien für das Tucholsky-Quartier und der übrigen Modellgebiete in Hamburg und Frankfurt am Main sind in Anhang 9.3 aufgeführt.

4.2 Bewertungsergebnisse aller Modellgebiete und Systemvarianten

Analog zur vergleichenden Bewertung technischer Systemvarianten am Beispiel des Tucholsky-Quartiers in Hamburg (s. Kap. 4.1) wurden das Struensee-Quartier in Hamburg und die drei Modellgebiete in Frankfurt am Main hinsichtlich der Auswirkungen der Transformation mittels der NWA-Methode bewertet. Die Ergebnisse aller modellgebietspezifischen Bewertungen sind im Überblick in Tabelle 13 aufgeführt. Die höchsten Nutzwerte innerhalb eines Gewichtungsszenarios sind grau hinterlegt.

Tabelle 13: Übersicht der Ergebnisse der vergleichenden Bewertung auf Bewertungsebene 1. Grau hinterlegte Nutzwerte stellen jeweils den höchsten Nutzwert im Vergleich zu den Bewertungsalternativen dar. Systemvarianten und Modellgebiete werden in Kapitel 2.1 und 2.2.3 dargestellt.

Modellgebiet / Gewichtungsszenario	Referenzsystem	Systemvariante 1	Systemvariante 2
	[Nutzwert]		
Frankfurt			
A	Konventionelles System FFM	FFM KonvGrau	HWC mit WRG
Gleichgewichtet	89	84	76
Tech+Ökon	83	68	59
Ökol+Soz	95	99	93
Stakeholder	99	86	73
B	Konventionelles System FFM	FFM KonvGrau (Blockebene)	FFM KonvGrau (Quartiersebene)
Gleichgewichtet	80	87	78
Tech+Ökon	80	69	66
Ökol+Soz	81	105	90
Stakeholder	89	82	75
C	Konventionelles System FFM	FFM KonvGrau ¹⁾	Konv. System FFM mit WRG ²⁾
Gleichgewichtet	90	98	78
Tech+Ökon	83	79	73
Ökol+Soz	96	117	84
Stakeholder	97	90	75
Hamburg			
D	Konventionelles System HH	Konventionelles System HH mit WRG ⁴⁾	HH KonvGrau (Quartiersebene)
Gleichgewichtet	97	110	78
Tech+Ökon	86	97	66
Ökol+Soz	108	124	91
Stakeholder	99	106	71
E	Konventionelles System HH	HH KonvGrau (Quartiersebene) ³⁾	HH KonvGrau (Blockebene)
Gleichgewichtet	90	82	82
Tech+Ökon	83	74	74
Ökol+Soz	96	89	89
Stakeholder	92	72	74

WRG = Wärmerückgewinnung

¹⁾ ohne Grauwasserbehandlung, nur WRG aus Grauwasser auf Blockebene; mit zusätzl. WRG aus Mischwasser

²⁾ mit Betriebswassernutzung aus Regenwasser

³⁾ mit zusätzl. WRG aus Mischwasser

⁴⁾ Bei dieser Variante handelt es sich um ein mit WRG ausgestattetes konventionelles System, während energetische Aspekte bei der entsprechenden Referenzoption nicht berücksichtigt wurden. Die Variante erhält dadurch einen Vorteil, trägt aber nicht zur Transformation der bestehenden Infrastruktur bei.

Die Ergebnisse aller modellgebietspezifischen Bewertungen zeigen generell, dass die unterschiedlichen Systemvarianten in ihren Nutzwerten häufig sehr nahe beieinander liegen. Dies berücksichtigend wies von den 20 Bewertungsfällen (fünf Modellgebiete; vier Gewichtungsszenarien) das Referenzsystem in elf Fällen (55 %) den höchsten Nutzwert auf. Neuartige oder angepasste konventionelle Systemvarianten hatten in neun Fällen (45 %) einen höheren Nutzwert. Fünf dieser neun Varianten sind „KonvGrau“-Systeme mit Grauwassertrennung und vier mit Wärmerückgewinnung ausgestattete angepasste konventionelle Wasserinfrastruktursysteme. In Modellgebiet B hat sich beispielsweise die Systemvariante 1 (FFM KonvGrau auf Blockebene) sowohl im gleichgewichteten als auch im ökologisch-sozialen Gewichtungsszenario gegenüber den beiden Vergleichsoptionen durchgesetzt. Das Referenzsystem hingegen erzielte im technisch-ökonomischen sowie im Gewichtungsszenario der Stakeholder den größten Nutzwert.

Während in den Frankfurter Modellgebieten sowohl konventionelle als auch neuartige Systeme gleichermaßen als vergleichsweise am besten geeignete Option hervorgingen, wurden in den Hamburger Modellgebieten über alle Gewichtungsszenarien hinweg jeweils das Referenzsystem bzw. ein angepasstes konventionelles System am besten bewertet, weil die neuartigen Systeme aufgrund ihrer größeren technischen Komplexität höhere Kosten verursachen. Ihre potenziellen, zukünftigen Vorteile blieben jedoch im Rahmen des Bewertungsverfahrens unberücksichtigt. Dies liegt u.a. an der vergleichsweise geringen Größe der Modellgebiete (750 bis 4.000 Einwohner). Aufgrund von Skaleneffekten würden die Vorteile des HWC-Systems z.B. bei Vernetzung mehrerer derartiger Gebiete sichtbar werden und in die modellgebietspezifische Bewertung eingehen. Mit denselben Gründen ist der geringere Nutzwert der HWC-Option gegenüber der KonvGrau-Variante und dem konventionellen System in einem der Frankfurter Modellgebiete (A) zu erklären. Dies ist auf die Definition der Systemgrenzen auf Modellgebiets Ebene zurückzuführen, die eine zukünftige Konversion anderer Gebiete nicht mit einbezieht. Diese externen Effekte werden jedoch auf der Bewertungsebene der Gesamtstadt berücksichtigt (s. Kap. 5).

Bei näherer Betrachtung der Gewichtungsszenarien kann beobachtet werden, dass bei gleicher Gewichtung der Bewertungskategorien neuartige Systeme in drei Fällen den höchsten Nutzwert aufwiesen (Modellgebiete B, C und D) und konventionelle Systeme in zwei Fällen (A und E). Das Gewichtungsszenario mit technisch-wirtschaftlichem Schwerpunkt ergab außer in einem Fall (Modellgebiet D) vier Mal den höchsten Nutzwert für die konventionelle Infrastruktur. Dies liegt insbesondere daran, dass die Referenzsysteme vor dem Hintergrund einer Kostenvergleichsrechnung kostengünstiger sind als neuartige Systeme (vgl. HAMBURG WASSER 2016), die in vier Modellgebieten als vergleichsweise am besten geeignete Option hervorgingen, wenn sozialen und ökologischen Bewertungskategorien ein höheres Gewicht beigemessen wurde. Die einzige Ausnahme bildet Modellgebiet E aus den oben bereits genannten Gründen.

Die durch die Stakeholder durchgeführten Kriteriengewichtungen führen zu denselben Ergebnissen wie im Fall des technisch-wirtschaftlichen Gewichtungsszenarios. Obwohl die beteiligten

Akteure sich im Vorfeld mehrheitlich für die ökologischen Vorteile neuartiger Systeme ausgesprochen hatten, scheinen monetäre und technische Argumente bei einer konkreten Bewertung dennoch schwerer zu wiegen. Abgesehen davon wies das konventionelle System nur in einem Fall (Modellgebiet B) den vergleichsweise geringsten Nutzwert auf (in einem sozial-ökologischen Gewichtungsszenario). Ansonsten landeten ausschließlich neuartige Optionen auf dem dritten Rang.

Abschließend wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um diejenigen Bewertungskriterien zu identifizieren, die in besonderem Maße zur Beurteilung einer technischen Option beigetragen haben. Dies bezieht sich insbesondere auf Kriterien, in denen große Unterschiede zwischen den Nutzwerten der Systemvarianten zu erkennen sind. Das Referenzsystem erzielte durchgehend höhere Nutzwerte gegenüber den anderen Alternativen aufgrund seiner geringeren Auswirkungen auf den Bestand (zum Beispiel Anpassungsbedarf der bestehenden Wasser-/ Gebäudeinfrastrukturen), seiner geringeren Jahreskosten und besseren Wirtschaftlichkeit (zum Beispiel Auswirkungen auf spezifische Kosten, Kalt-/Warmmiete), seiner besseren Handhabbarkeit und Alltagstauglichkeit (zum Beispiel Bedienkomfort für Bewohner) sowie seiner geringeren sozio-ökonomischen und kulturellen Barrieren (z.B. Ausschluss bestimmter Gruppen vom Gebrauch einzelner Komponenten neuartiger Wasserinfrastruktursysteme aus kulturellen Gründen).

Die neuartigen Infrastrukturoptionen erhielten größtenteils bessere Bewertungen als die konventionelle Variante in Bezug auf ihr Synergiepotenzial mit anderen Infrastrukturen und bezüglich Erneuerbarer Energien (zum Beispiel Abwärmenutzung, Gebäudekühlung, Biogas), ihre Anpassungsfähigkeit (zum Beispiel hinsichtlich Veränderungen von Klima, Demografie, Gesetzen, Nutzungsmustern), ihre Ressourcenbilanz (insbesondere hinsichtlich Wärmerückgewinnung, falls dieses Modul involviert war), potenzielle Einnahmen aus Produkten Neuartiger Sanitärsysteme - NASS (z.B. Wärme, Betriebswasser) sowie ihr Sensibilisierungspotenzial hinsichtlich der Ressourcennutzung von Wasser und Energie.

5 Ergebnisse der Bewertungsebene 2: Modellstadt

Die Bewertung von technischen Systemvarianten auf Ebene einer Gesamtstadt (Bewertungsebene 2) beruht auf den Ergebnissen der vergleichenden Bewertung der modellgebietspezifischen technischen Systemvarianten in den Modellstädten Frankfurt am Main und Hamburg. Ausgehend von den in Kapitel 2.1 betrachteten Modellgebietstypen (Innenstadtrandlage-Entwicklungsgebiet etc.) wurden weitere entsprechende Gebiete in Frankfurt am Main und Hamburg mit Experten aus der Stadtentwicklung/-planung identifiziert. Sie wurden gemeinsam mit den zuvor untersuchten Modellgebieten betrachtet, um daraus Aussagen zur Bewertung von Transformationen der Wasserinfrastruktur auf Gesamtstadtebene ableiten zu können. Die Ergebnisse werden zusammengefasst und in verallgemeinerter Form beschrieben. Da die Städte Hamburg und Frankfurt am Main hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung weiterhin wachsen, stehen die Ergebnisse zugleich repräsentativ für den in Kapitel 6.1 abgegrenzten Regionstyp „Agglomerationsraum wachsend“.

5.1 Teilräume und Gesamtstadt

Die in Hamburg identifizierten Modellgebiete Tucholsky- und Struensee-Quartier des Gebietstyps „Entwicklungsgebiet, Innenstadtrandlage“ liegen mit Bezug zum Entwurf des räumlichen Leitbildes der Stadt im sogenannten Aktionsraum „Urbanisierungszone“, welcher als Übergangsbereich von der Inneren zur Äußeren Stadt definiert wird (Freie und Hansestadt Hamburg 2007: 39 ff.), siehe Abbildung 14. Dieser Übergangsbereich weist Entwicklungsreserven auf. Diese häufig bereits erschlossenen, aber zum Teil nicht (mehr) sinnvoll genutzten Flächen sollen durch Umstrukturierungen (z.B. Konversion, Nachverdichtung) und Standortaufwertungen mobilisiert werden.

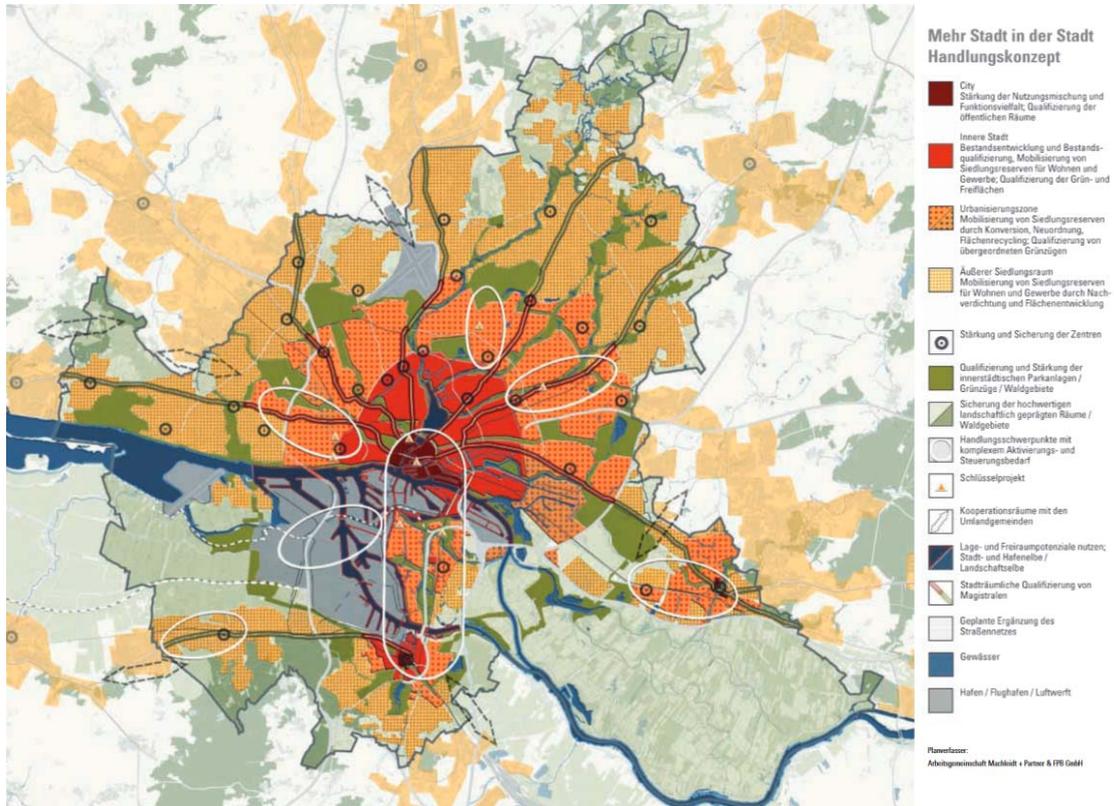


Abbildung 14: Räumliches Leitbild (Entwurf) der Stadt Hamburg, Zielbotschaft „Mehr Stadt in der Stadt – Handlungskonzept“ (Freie und Hansestadt Hamburg 2007)

Die drei untersuchten Modellgebiete in Frankfurt am Main finden sich ebenfalls im räumlichen Entwicklungskonzept wieder, u.a. als Umwandlungsflächen auf Gewerbebrachen (Stadt Frankfurt am Main 2012: 131), siehe Abbildung 15.

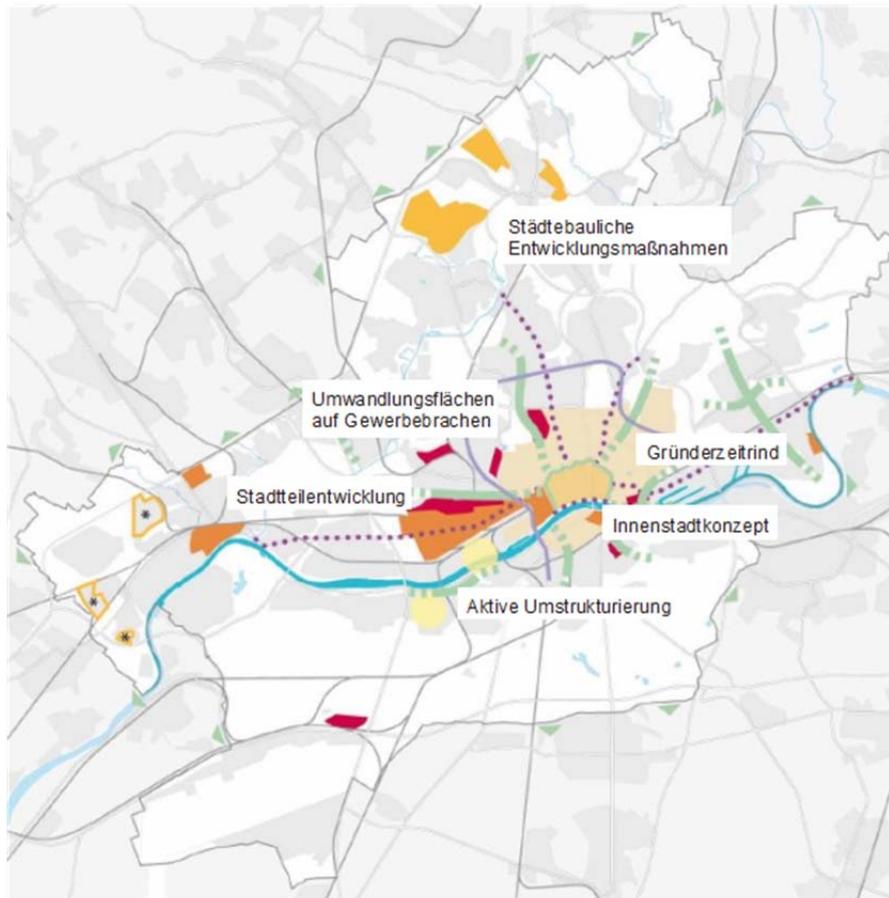


Abbildung 15: Leitbild für die Stadtentwicklung Frankfurt – Räumliches Entwicklungskonzept, inkl. Verortung der identifizierten Gebietstypen in Frankfurt am Main (Stadt Frankfurt am Main 2012)

Ausgehend von den untersuchten Modellgebieten wurden weitere, diesen Gebietstypen zugehörige Teilräume in Frankfurt am Main und Hamburg identifiziert. Die Beschreibung des allgemeinen Potenzials einer Transformation der Wasserinfrastruktur auf Gesamtstadtebene wird nachfolgend exemplarisch am Beispiel der Stadt Hamburg vorgenommen.

Für die Stadt Hamburg wurden u.a. folgende zusätzliche Entwicklungsgebiete zu den Modellgebieten D und E (Struensee- und Tucholsky- Quartier) genannt:

- Hammerbrook (mögliche Nachverdichtung um ca. 6.000 Einwohner)
- Rothenburgsort (mögliche Nachverdichtung um ca. 4.000 Einwohner)
- City-Nord (mögliche Nachverdichtung um ca. 2.000 Einwohner)
- Pergolenviertel (mögliche Nachverdichtung um ca. 2.800 Einwohner)

In Abbildung 16 ist beispielhaft im Entwurf eine erste Zuordnung der Stadt-/Ortsteile von Hamburg zu den in Kap. 2.1 beschriebenen typisierten Teilräumen dargestellt¹. Diese Zuordnung basiert auf Vereinfachungen (z.B. monozentrische Stadt) und bedarf für weitergehende Analysen einer Konkretisierung.

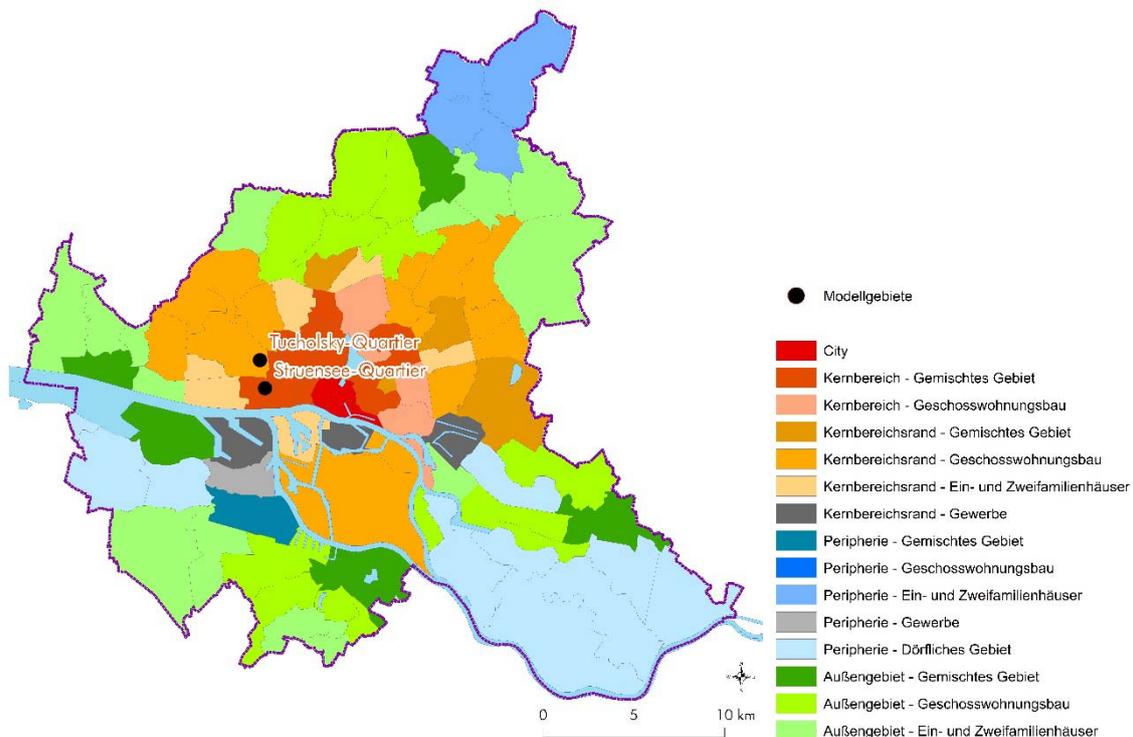


Abbildung 16: Stadt-/Ortsteile von Hamburg und Entwurf einer Zuordnung zu typisierten Teilräumen (Forschungsverbund netWORKS)

Eine Priorisierung der typisierten Teilräume für die Umsetzung einer Transformation der Wasserinfrastruktur hängt im Wesentlichen von der Entwicklungsdynamik und dem Transformationsaufwand des Teilraumes ab (Felmeden et al. 2010). Während die Dynamik von demografischen, sozio-ökonomischen und baulich bestimmten Entwicklungszyklen bestimmt wird, ist der Aufwand für die Umsetzung einer Transformation bestehender Wasserinfrastrukturen entscheidend von dem baulichen Zustand und der konzeptionellen Ausgestaltung (Konfiguration) der wasserwirtschaftlichen Ver- und Entsorgung (Netze und Anlagen) geprägt, wobei auch die Schnittstellen zu anderen technischen Infrastrukturen von Bedeutung sind.

¹ Aufgrund der Größe von Hamburg sind die in Kap. 2.1 beschriebenen vier Bereiche auf fünf Bereiche zu erweitern und die Bezeichnungen der Bereiche teilweise anzupassen: Innenstadt = City; Innenstadtrandlage = Kernbereich und Kernbereichsrand; Peripherie und Außengebiet bleiben unverändert.

Entsprechend den Kriterien Entwicklungsdynamik und Transformationsaufwand werden einige Stadtteiltypen eher einer Transformation zugänglich bzw. hierfür attraktiver sein als andere. In Bezug auf das Umwandelungspotenzial der Wasserinfrastruktur kann eine Zuordnung zu einer von drei möglichen Gruppen erfolgen (Davoudi et al. 2016):

- attraktive Teilräume: mittlere bis hohe Entwicklungsdynamik und geringer bis akzeptabler Transformationsaufwand; Beispiel: Konversionsgebiet in Innenstadtrandlage
- eher unattraktive Teilräume: geringe bis keine Entwicklungsdynamik und hoher bis sehr hoher Transformationsaufwand; Beispiel: Dorf im Außengebiet
- wechselnde bzw. ggf. attraktive Teilräume, die je nach Stadt und der regionalen Entwicklung sehr unterschiedlich bzgl. ihrer Entwicklungsdynamik und ihres Transformationsaufwandes einzuschätzen sind; Beispiel: Kleinstadt im Außengebiet oder Geschosswohnungen in der Peripherie.

Letzteres ist vor allem durch die Entwicklungsdynamik der jeweiligen Städte bestimmt. Je stärker der Bevölkerungszuwachs, umso größer der Bedarf an Siedlungsfläche, so dass auch unattraktive Räume potenziell attraktiv werden können (siehe Abbildung 17).

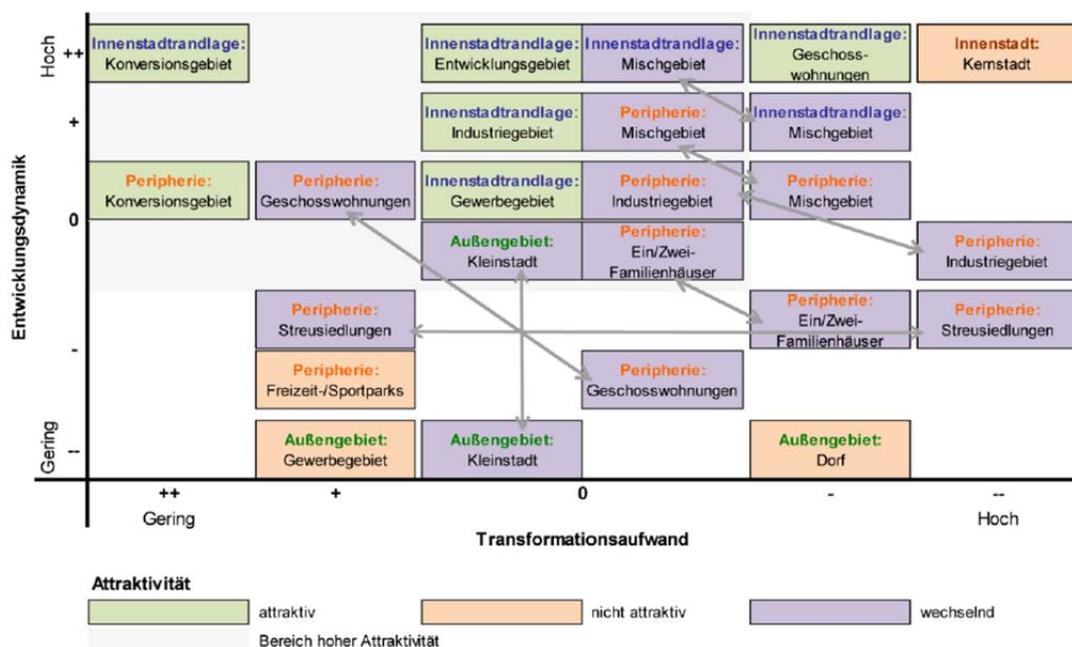


Abbildung 17: Teilräumliche Priorisierung der Transformation: Städtische Teilräume unterscheiden sich in ihrer Attraktivität (Davoudi et al. 2016)

Da die Stadt Hamburg (und Frankfurt am Main) hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung weiterhin wächst und zum Regionstyp „Agglomerationsraum wachsend“ zuzuordnen ist, handelt es sich bei den wechselnden Teilraumtypen hauptsächlich um attraktive Teilräume. Die ausgewählten Modellgebiete sowie die zusätzlichen Entwicklungsgebiete gehören zu den attraktiven Teilräumen in Hamburg und bestätigen, dass insbesondere Gebiete mit hoher Entwicklungsdynamik

namik und geringem Transformationsaufwand für eine Umwandlung in Betracht gezogen werden.

Werden die in Abbildung 17 als attraktiv eingeschätzten typisierten Teilräume der Innenstadt- randlage (Entwicklungsgebiet, Konversionsgebiet, Industriegebiet, Gewerbegebiet, Geschoss- wohnungen) und der Peripherie (Konversionsgebiet) anteilig auf die in Abbildung 16 entworfene Teilraum-Zuordnung in Hamburg bezogen, so können etwa 20 % der Stadt-/Ortsteile von Ham- burg als attraktive Teilräume für eine kurz- bis mittelfristige Transformation der Wasserinfra- struktur eingestuft werden.

Vor diesem Hintergrund können, analog zu der Bewertung der technischen Systemvarianten auf der Modellgebietsebene (siehe Kap. 4), mögliche Effekte einer Transformation der Wasser- infrastruktur weiterer Teilräume für die Gesamtstadtebene abgeschätzt und beschrieben wer- den, wobei insbesondere auch entsprechende Ergebnisse der netWORKS 3 Projektpartner Berücksichtigung finden. Im Prinzip werden die Bewertungen und Folgen der Teilgebietsebene auf eine höhere Maßstabsebene übertragen und die Konsequenzen anschließend qualitativ abgeschätzt. Zentrale Aspekte dieser hier vorgenommenen qualitativen Abschätzung sind die „Auswirkungen der Transformation“ auf die Kategorien Technik, Ökologie, Ökonomie und So- ziales (analog zu den Bewertungskategorien in Kap. 5). Mit Blick auf den „Transformationspro- zess“ lassen sich fördernde Faktoren und Folgen auf Gesamtstadtebene für die Kategorien Organisation (Betrieb), Governance (Planung) und Recht identifizieren.

5.2 Auswirkungen der Transformation

5.2.1 Technik

Die Umsetzung neuartiger Systemvarianten in den ausgewählten Modellgebieten in Frankfurt am Main und Hamburg haben aufgrund ihres Anteils (Einwohnerzahl) an der Gesamtstadt i.d.R. keine größeren Rückwirkungen auf die vorhandenen Netze und Anlagen auf Gesamtstadtebe- ne. Werden jedoch weitere Gebiete/städtische Teilräume mit neuartigen Wasserinfrastrukturen in die bestehenden technischen Strukturen integriert, sind die sich daraus ergebenden Conse- quenzen zu berücksichtigen.

So kann z.B. die Abkopplung von Abwasserteilströmen, insbesondere Grauwasser, und die Verringerung des Schmutzwasserabflusses bei Trockenwetter zu verringerten Fließgeschwin- digkeiten in Freispiegelsystemen führen, durch die möglicherweise Ablagerungsprobleme im Kanalnetz und damit verbundene Geruchsprobleme verstärkt werden. Andererseits kann durch die Abkopplung Feststoff behafteter Teilströme die **Ablagerungsproblematik entschärft** werden (DWA 2014).

Je nach Art und Umfang der Stoffstromtrennung können sich für die bestehende zentrale Ab- wasserbehandlung die Zulaufkonzentrationen, die Abwasserzusammensetzung und die Nähr- stoffverhältnisse (C:N:P) im **Zulauf verändern**. Diesbezügliche Auswirkungen können nach

DWA (2014) abgeschätzt werden. Zudem kann in Abhängigkeit vom bestehenden Einzugsgebiet das Verhältnis von kommunalem zu gewerblich/industriellem Abwasser erheblich verändert werden.

Mit zunehmender Abtrennung von Schwarzwasser und den darin enthaltenen Stickstofffraktionen vom bestehenden System können möglicherweise Schwellen-/Grenzwerte unterschritten werden, so dass ggf. **keine Nitrifikation/Denitrifikation auf der zentralen Behandlungsanlage** mehr erforderlich ist. Eine Grauwasserseparation kann möglicherweise das C:N:P-Verhältnis ungünstig zugunsten der Nährstoffe beeinflussen, sodass zur Denitrifikation eine zusätzliche Kohlenstoffquelle erforderlich wird (vgl. DWA 2014).

Bei zunehmender Integration von neuartigen Wasserinfrastrukturen auf Gesamtstadtebene bzw. der Abkopplung von Teilströmen vom Gesamtsystem sind grundsätzlich die unterschiedlichen **Funktionsschwellen bei technischen Infrastruktursystemen** zu beachten, siehe Abbildung 18.

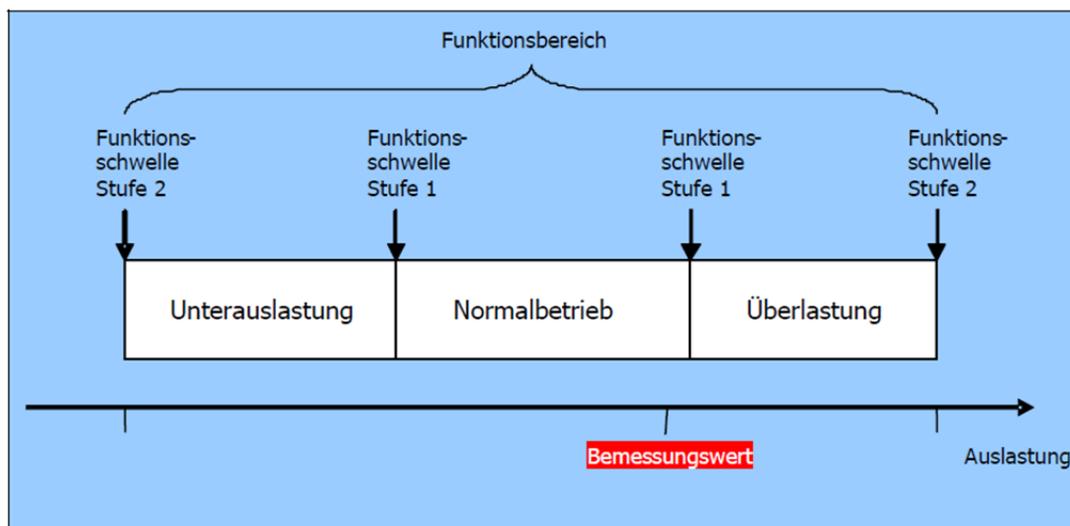


Abbildung 18: Definition der Funktionsschwellen bei technischen Infrastruktursystemen (Koziol et al. 2006)

Die Funktionsschwelle 1 bedeutet, dass zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der bestehenden Netze und Anlagen regelmäßig zusätzliche betriebstechnische Maßnahmen erforderlich sind. Wohingegen beim Erreichen der Funktionsschwelle 2 relevante bauliche Maßnahmen, also zusätzliche Investitionen, erforderlich sind. Diese Funktionsschwellen können im Fall der Überlastung des bestehenden zentralen Systems für die Integration neuartiger Wasserinfrastrukturen in weiteren Teilräumen auf Gesamtstadtebene sprechen.

Neben Auswirkungen auf die bestehende Infrastruktur – hierbei ist auch nochmals die Niederschlagsentwässerung besonders in den Blick zu nehmen – sind auch die **Schnittstellen zwischen einzelnen Teilräumen** mit neuartiger Wasserinfrastruktur zu beachten. In den Hamburger Modellgebieten wird beispielsweise das erfasste Schwarzwasser in den untersuchten Sys-

temvarianten (vgl. Kapitel 5) in die Kanalisation der angrenzenden Quartiere abgeleitet, ohne weiter vor Ort energetisch oder stofflich verwertet zu werden. Die Varianten beinhalten aber eine optionale Entnahmestation, um so weitere Entwicklungen wie z.B. die Zusammenlegung der zukünftigen Schwarzwasserbehandlung weiterer Modellgebiete/Teilräume offen zu halten und Synergien zu nutzen (vgl. HAMBURG WASSER 2016). Hier kann es sinnvoll sein, sogenannte Brückentechnologien wie etwa im Fall der Systemvariante von HH KonvGrau (siehe Kap. 5) einzusetzen, die den Wandel vom bestehenden System zu neuartigen Wasserinfrastrukturen gestalten und dabei die Daseinsvorsorge weiterhin garantieren. So ist es auch möglich, schrittweise neuartige Systemvarianten zu implementieren, im Betrieb zu erproben (wie etwa die Entwicklung von neuen Wartungs- und Kontrollroutinen) und zu optimieren, bevor der nächste Schritt der Transformation angegangen wird.

Bei einer Stoffstromtrennung von Grau- und Schwarzwasser eignet sich das (über Vakuumtoiletten und Unterdruckentwässerung erfasste) Schwarzwasser aufgrund seiner hohen Konzentration an organischen Stoffen für eine Vergärung und somit für die Produktion von Biogas. **Weitere Bioressourcen**, wie z.B. Fette, Speisereste, Rasenschnitt oder Fraktionen davon können in der Vergärungsanlage für Schwarzwasser mitbehandelt werden und liefern zusätzlich Wärme und Strom. Der Strom kann in das öffentliche Netz eingespeist werden; ein Teil der Wärme wird für die Temperierung der Vergärungsanlage verwendet, der Wärmeüberschuss kann zur Nutzung im Stadtquartier zur Verfügung stehen (Giese und Londong 2015).

Besteht in einem Gebiet beispielsweise bereits eine Fernwärmeversorgung, und soll diese dauerhaft aufrechterhalten oder ausgebaut werden, ist die Sinnigkeit einer punktuellen Wärmerückgewinnung aus Abwasser kritisch zu prüfen, da dies unter Umständen zu Lasten der Effizienz des bestehenden Versorgungssystems geht. Zudem ist die **Einbindung der Abwasserwärme in bestehende Fernwärmenetze** aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen von Fernwärmenetzen grundsätzlich schwierig und wenn, dann z.B. nur mittels Großwärmepumpen realisierbar. Großwärmepumpen erreichen derzeit Vorlauftemperaturen von ca. 80 °C, was für die Einbindung in Fernwärmenetze in vielen Fällen zu niedrig ist. In den Wintermonaten liegen die Vorlauftemperaturen von Fernwärmenetzen häufig über 100 °C, so dass der Betrieb einer Großwärmepumpe als nicht geeignet erscheint. In den Sommermonaten mit niedrigeren Vorlauftemperaturen ist der Einsatz von Großwärmepumpen grundsätzlich denkbar. Andererseits ist durch die Umsetzung der EnEV bzw. deren kontinuierliche Verschärfung ein rückläufiger Wärmebedarf insbesondere im Gebäudeneubau zu erwarten, der Anpassungen in Fernwärmenetzen wie z.B. Temperaturabsenkungen zur Folge haben kann, wodurch sich die Einsatzbedingungen für Großwärmepumpen erheblich verbessern. Änderungen der Netzstruktur, beispielsweise die Entwicklung von Inselnetzen, können sich ebenfalls positiv auf die Einsatzbedingungen von Abwasserwärme auswirken (AGFW 2013).

5.2.2 Ökologie

Aus den Stoffstrommodellierungen in den untersuchten Modellgebieten in Hamburg und Frankfurt am Main wurde deutlich (Davoudi et al. 2016), dass ein erheblicher Betriebswasserüberschuss auf lokaler Ebene erzeugt werden kann, solange Betriebswasser nur für die Toiletenspülung zum Einsatz kommt. Das produzierte Betriebswasser steht somit anderen Nutzungszweck zur Verfügung und kann z.B. zur **Verbesserung der grünen (Grünanlagen, Gründächer usw.) Infrastruktur** beitragen. Es steht lokal/im Quartier zur Verfügung und kann dort in den Naturhaushalt zurückgegeben werden. Zum einen ergibt sich darüber ein kontinuierlicher, lokal vorhandener Wasservorrat, der genutzt werden kann. Damit können Grünflächen ganzjährig unabhängig von der anfallenden Niederschlagswassermenge und den vorhandenen Speicherkapazitäten bewässert werden; gestalterische Elemente wie z.B. kleine Wasserläufe oder Wasserspielplätze lassen sich gut realisieren. Zum anderen kann dadurch anders über Fassadenbegrünung oder auch Formen urbanen Gärtnerns (Urban Gardening) nachgedacht werden. Zudem führen Fassadenbegrünung, Grünflächen als auch Wasserflächen zu einer Temperaturabsenkung und können insbesondere in langanhaltenden, heißen sommerlichen Trockenperioden wertvolle Dienste für das Mikroklima im Quartier bzw. der Stadt leisten (Felmeden et al. 2016).

Bei weitergehender Integration von neuartigen Wasserinfrastrukturen auf Gesamtstadtebene führt die Reduzierung der Trockenwetterabflüsse und -frachten aufgrund des volumenmäßigen Anteils im Mischwasserabfluss nur zu einer leichten Verringerung der Entlastungstätigkeit (bzgl. Häufigkeit, Volumen) von Regenüberlaufbauwerken in den verbleibenden Mischsystemen. Demgegenüber gehen je nach abgetrenntem Teilstrom die in die Gewässer **ausgetragenen Schmutzfrachten jedoch erheblich zurück**, z.B. emittierte Stickstofffrachten bei Abtrennung von Schwarzwasser (vgl. DWA 2014).

Die Stoffstrommodellierungen der untersuchten fünf Modellgebiete in Hamburg und Frankfurt am Main haben gebietsübergreifend gezeigt, dass durch die Einführung von neuartigen Systemvarianten mit Betriebswassernutzung z.B. bis zu 30 % an **Trinkwassereinsparung**, bezogen auf den Trinkwasserverbrauch im jeweiligen Modellgebiet, erzielt werden können (Davoudi et al. 2016). Diese Potenziale der Trinkwassereinsparung in zwei oder drei relativ kleinen Modellgebieten sind im Vergleich zum Trinkwasserverbrauch auf Gesamtstadtebene verschwindend gering. Würden jedoch weitere Gebiete transformiert, könnten diese in Summe einen signifikanten Einfluss auf die Verbesserung der Ressourceneffizienz (hinsichtlich Wasser, aber auch bezüglich der Nährstoff- und Energierückgewinnung sowie der Reduktion von CO₂-Emissionen) und damit auf den Wasserbedarf der Gesamtstadt, den diese unter Umständen an ihr Umland stellt, haben.

5.2.3 Ökonomie

Die von der Stadtplanung identifizierten zusätzlichen Entwicklungsgebiete in Hamburg liegen über die Stadtfläche räumlich verteilt und ergeben keine zusammenhängende Fläche. Bezüglich der Einwohneranzahl wird z.B. die Anschlussgröße für eine wirtschaftliche Schwarzwasserbehandlung in den Entwicklungsgebieten in Hammerbrook und Rothenburgsort zusammengekommen mit insgesamt circa 10.000 Einwohnern gerade erreicht (vgl. Hamburg Wasser 2016). Bei bestimmten Komponenten neuartiger Wasserinfrastrukturen bestehen zwar ökologische Vorteile auf Modellgebietsebene, jedoch werden erst durch die Perspektive der Gesamtstadt und das synergetische Erschließen weiterer Transformationen in benachbarten Teilräumen Skaleneffekte erreicht, die es ermöglichen, auch **betriebswirtschaftliche Potenziale** besser zu nutzen bzw. potenzielle Mehrkosten zu vermindern.

Bei den Kosten für die teilräumliche Implementierung neuartiger Wasserinfrastruktursysteme sind auch mögliche Einsparungen auf der zentralen Abwasserbehandlungsanlage gegenzurechnen. So können bei der Abtrennung oder der semizentralen Schwarzwasserbehandlung **Betriebskosten** auf der zentralen Behandlungsanlage vor allem beim Sauerstoffbedarf (bei verringerter Nitrifikation) und beim Fällmittelbedarf für die Phosphorfällung eingespart werden (DWA 2014).

5.2.4 Soziales

Bei den in den Modellgebieten untersuchten technischen Systemvarianten erfolgte die Erfassung des Abwasser/der Abwasserteilströme weitestgehend über standardmäßige sanitäre Armaturen (abgesehen von Vakuumtoiletten bei den Varianten mit Vakuumentwässerung für das Schwarzwasser) und ohne Einschränkung des **Komforts für Bewohner**. Die Untersuchungen von Hefter et al. (2016) zur Akzeptanz von Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung im Wohnungsbau zeigen, dass die Zufriedenheit bezüglich solcher Wasser- und Abwassersysteme überwiegend groß ist, da die Anlagen in der Regel unauffällig funktionieren und daher im Alltag nicht thematisiert werden. Dies entspricht den Ansprüchen der Bewohner an eine moderne Haustechnik, die reibungslos funktionieren soll und mit der man im Alltag möglichst nicht konfrontiert werden möchte. Derartige Komponenten neuartiger Wasserinfrastrukturen lassen sich hinsichtlich der Akzeptanz leichter in das Gesamtkonzept einer Stadt einfügen als solche, die stärker in das Alltagsverhalten bei den Benutzern eingreifen (z.B. Trenn- oder Komposttoiletten).

Weitere Umsetzungen neuartiger Wasserinfrastrukturen in städtischen Teilräumen (Quartieren) können eine wichtige Funktion hinsichtlich der **Steigerung des Umweltbewusstseins bzw. der Sensibilisierung für eine effiziente Ressourcennutzung** (Wasser, Energie etc.) auf Gesamtstadtebene einnehmen. Nach den Untersuchungen von Hefter et al. (2016) erzeugt der vermutete Umweltnutzen bei vielen Bewohnern von Häusern mit Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung v.a. ein positives Gefühl, wobei sie konkrete Umweltvorteile besonders in der Wasser- und Ressourceneinsparung sehen. Die neuartigen Systeme werden neben anderen

Technologien wie z.B. Solarthermie und Passivhausbauweise als sinnvolle Elemente des ökologischen Bauens betrachtet. Dies kann gleichermaßen für die Ansprache von (weiteren) Investoren und Betreibern bzw. politischen Entscheidungsträgern hilfreich sein und das Transformationsmanagement auf Ebene der Gesamtstadt unterstützen.

Auf der anderen Seite erscheint es sinnvoll, unterschiedlichen Akteursgruppen (Nutzer, Investoren, etc.) leichtverständliche Vergleiche zwischen den Verbrauchswerten z.B. eines Grauwasserrecyclings inkl. Wärmerückgewinnung und durchschnittlichen Haushaltsverbräuchen darzustellen, um mögliche monetäre Einsparungen sichtbar und transparent zu machen, das Interesse zu stärken (vgl. Hefter et al. 2016) und der Frage nach **sozio-ökonomischen Barrieren** neuartiger Wasserinfrastrukturen Rechnung zu tragen.

5.3 Anforderungen an den Transformationsprozess

5.3.1 Organisation (Technik)

Im Kontext der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen können **Anpassungen bestehender Organisationsmodelle** erforderlich werden. Grundsätzlich steht den Kommunen und ihren wasserwirtschaftlichen Unternehmen eine breite Palette von Optionen zur Verfügung (von der Anpassung der einzelnen Unternehmenssatzung und der betrieblich-unternehmerischen Ziele an veränderte Aufgaben über Kooperationsverträge mit Dritten bis zum Aufbau von neuen Konzernstrukturen (etwa durch Ausgliederungen spezifischer Aufgaben), (vgl. Trapp und Libbe 2016). Diese Möglichkeiten und die konkrete Anpassung bzw. der Neuaufbau von Organisationsstrukturen können insbesondere aus gesamtstädtischer Perspektive Schnittstellen und mögliche Synergien bergen, die bei einer zunehmenden teilräumlichen Transformation über ein Modellgebiet hinaus frühzeitig zu berücksichtigen sind.

Die Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen bedarf sowohl in der kommunalen Verwaltung als auch in den Unternehmen entsprechender **Kompetenzen und entsprechenden Personals**. Angepasste oder neue Organisationsmodelle kommunaler Wasserunternehmen bieten Ansatzpunkte, neues Personal für die Bearbeitung der neuen Geschäftsfelder einzustellen bzw. das bestehende Personal im Unternehmen weiterzuentwickeln (Trapp und Libbe 2016). In diesem Zusammenhang spielt auch der sich abzeichnende Fachkräftemangel in der Ver- und Entsorgungswirtschaft und der damit einhergehende und zunehmende Wettbewerb um Fachkräfte eine Rolle. Bezüglich eingeschränkter Rekrutierungsmöglichkeiten öffentlicher Unternehmen können neue Geschäftsmodelle bzw. –felder auch eine positive Wirkung entfalten, wenn diese als vielfältige und anspruchsvolle Aufgaben wahrgenommen werden.

Bei einer zunehmenden Umsetzung unterschiedlicher neuartiger Wasserinfrastrukturen in einer Stadt, mit sich weiter ausdifferenzierenden Anlagen und Teilsystemen, kann die Anzahl involvierter Marktteilnehmer und Planungsakteure steigen, was eine **sektorenübergreifende Koordination** erforderlich macht. Dies gilt sowohl für die städtische Ebene, als auch für die betrieblichen Abläufe in und zwischen Infrastrukturunternehmen (Trapp und Libbe 2016).

5.3.2 Governance (Planung)

Neuartige Wasserinfrastrukturen kommen in Branchenleitbildern oder **Leitbildern** der räumlichen Entwicklung bisher kaum vor. Dies ändert sich derzeit vor dem Hintergrund des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf die Städte. Es kann davon ausgegangen werden, dass regionale Orientierungen zum Umgang mit Wasser und Wasserinfrastrukturen und deren Rolle in Energie- und Klimakonzepten in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen. Dies bietet Chancen, innovative Lösungen voranzutreiben und Leitvorstellungen mit konkreten Maßnahmen zu unterlegen.

Die erfolgreiche Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen setzt **Abstimmungs- und Kooperationsprozesse** voraus, in denen alle wichtigen Stakeholder einbezogen werden. Letztlich muss mit den Kooperationspartnern ein gemeinsames Verständnis über Ziele und Inhalte der Kooperation zur Umsetzung teilräumlicher Transformationen erzeugt werden (Kerber et al. 2016). Die Erfahrungen und zunehmend eingespielten sektorübergreifenden Beziehungen zwischen den Akteuren aus den ersten teilräumlichen Umsetzungen können sich positiv auf den Transformationsprozess auf Gesamtstadtebene auswirken und stetig verbesserte Abstimmungsroutinen den Überzeugungsaufwand mindern.

Das **unternehmerische Wagnis bezüglich regulatorischer Risiken** wurde im Rahmen der Bewertung neuartiger Wasserinfrastrukturen auf Modellgebietsebene i.d.R. als mittel eingeschätzt, da die betrachteten technischen Module oft Standardverfahren aus der Anwendung in der Industrie darstellen, die nur anders bzw. neu kombiniert werden. Jedoch können auf Gesamtstadtebene z.B. bei der Wärmerückgewinnung (WRG) aus Abwasser regulatorische Risiken steigen, wenn von Seiten der Abwasserbehandlung aufgrund technischer Anforderungen an die Abwassertemperatur weitere Anlagen zur WRG nicht zugelassen bzw. nachträgliche technische Anforderungen zu verringerten Rückgewinnungspotenzialen führen (vgl. Ott et al. 2016).

5.3.3 Recht

Bei den rechtlichen Rahmenbedingungen sind neben den zu entwickelnden fachlichen Normen und Standards die Änderungsbedarfe bzw. Anpassungsaufwände bezüglich der unterschiedlichen Ebenen (EU, Bund, Land, Kommune) von Bedeutung. Der **bestehende rechtliche Rahmen** wird zuweilen als Hemmnis für Transformation im Bestand angesehen, was auf spezifische Satzungszwecke, fehlende gesetzliche Vorgaben und Verbindlichkeiten sowie eine teils widersprüchliche Gesetzgebung zurückgeführt wird (vgl. Hanke 2016). Doch bietet der gegebene Rechtsrahmen heute schon vielfältige Möglichkeiten und manches kann vor Ort regulatorisch ermöglicht werden. So war für die Umsetzung des Leuchtturmprojekts Jenfelder Au in Hamburg die Anpassung des Hamburger Abwassergesetzes (HmbAbwG) ein zentraler Schlüssel, der auch auf weitere Teilräume bzw. die Gesamtstadt eine Anwendung finden kann.

Eine zukünftig vermehrte Entwicklung von **Mustersatzungen und Musterverträgen**, die sich auf unterschiedliche technische Module neuartiger Wasserinfrastrukturen beziehen und auch im Bereich der Regenwasserbewirtschaftung bereits vorhanden sind (König 2016), ist mit Blick auf die Anforderungen an den Transformationsprozess weiterer Teilräume bzw. auf Ebene der Gesamtstadt ebenfalls förderlich.

Des Weiteren ist z.B. der **Flächennutzungsplan** aufgrund seines Maßstabes und fehlender Grundstücksschärfe wenig geeignet für konkrete rechtliche Vorgaben zu neuartigen Wasserinfrastrukturen. Er kann jedoch ein wichtiges Instrument zur Verankerung von möglichen Transformationsstrategien der Wasserinfrastruktur auf Gesamtstadtebene sein, analog zu Beispielen aus der Energiewende, in denen u.a. Ausweisungen zur grundsätzlichen Energieinfrastruktur vorgenommen wurden (Hanke 2016). Darüber lässt sich auch nochmals die Verknüpfung zwischen dem städtischen Raum und seinem Umland besser in den Blick nehmen.

6 Bewertungsebene 3: Regionale Perspektive – Ein Ausblick

Es ist Aufgabe der Regionalplanung und Raumordnungspolitik, langfristige Zielvorstellungen zur Entwicklung von Regionen zu konzipieren und umzusetzen. Dazu gehören auch kreative Lösungen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit und zur Begrenzung der Kosten der Wasserinfrastruktur unter Berücksichtigung der regionalen Standortqualität.

Neben der reagierenden Erfüllung von infrastruktureller Daseinsvorsorge sollten in ländlichen Regionen vor allem auch die „Entwicklungsimpulse“ berücksichtigt werden, die durch technische Infrastrukturen mobilisiert werden können. Die Veränderung einzelner Infrastrukturkomponenten muss in Bezug auf deren Auswirkungen auf die Standortqualität und -entwicklung betrachtet werden. Negative Trends der räumlichen Entwicklung dürfen nicht durch eine reduzierte Infrastrukturqualität verschärft werden.

Der Innovationsbedarf und das Transformationspotenzial der kommunalen Wasserinfrastruktur in Deutschland sind regional sehr unterschiedlich. Sie hängen primär ab von der vorhandenen Wasserinfrastruktur, den naturräumlichen Gegebenheiten, der Demografie (Einwohnerdichte; Bevölkerungsentwicklung) und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Kosten der Infrastruktursysteme; Wasserpreise; Abwassergebühren; regionale Wirtschaftskraft). Die Verknüpfung dieser Faktoren liefert Hinweise für die Ermittlung und Bewertung des spezifischen Innovationsbedarfs und Transformationspotenzials (vgl. Holländer 2008).

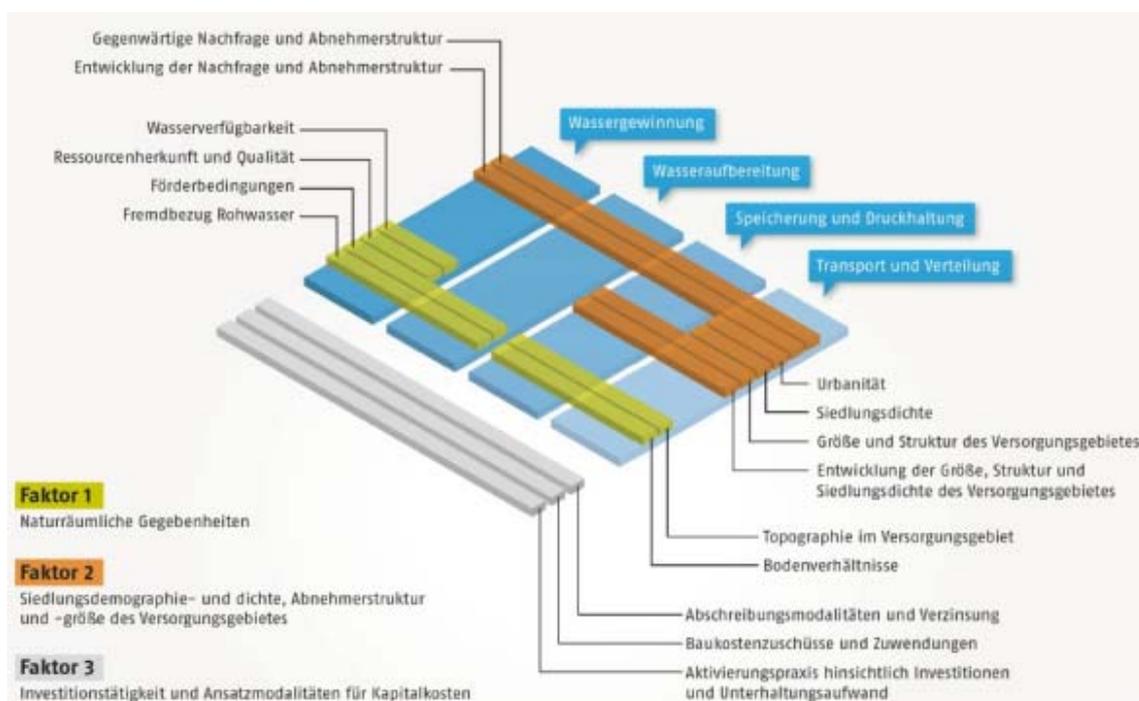


Abbildung 19: Verknüpfung von strukturellen Rahmenbedingungen mit den Prozessen der Trinkwasserversorgung (Holländer 2008)

Zur Identifikation und Bewertung des regionalen Innovationsbedarfs und des regionalen Transformationspotenzials der kommunalen Wasserinfrastruktur werden im Folgenden die maßgeblichen strukturellen Eckdaten ausgewertet.

6.1 Abgrenzung und Beschreibung von Regionstypen

Auf der Grundlage der Einwohnerdichte und der voraussichtlichen Bevölkerungsentwicklung können Regionstypen gebildet und abgegrenzt werden, die unterschiedliche Merkmale in Bezug auf den spezifischen Innovationsbedarf und die spezifischen Transformationspotenziale aufweisen. Insbesondere in den dünnbesiedelten östlichen Bundesländern ist in den nächsten Jahrzehnten mit einer erheblichen Abnahme der Einwohnerzahl und damit verbunden mit einer deutlichen Verringerung des Wasserbedarfs bzw. des Schmutzwasseranfalls zurechnen (vgl. Lux 2009, Rost et al. 2015), während in den dicht besiedelten Agglomerationen und verstärkter Regionen i.d.R. von einer Zunahme der Bevölkerung und der Wirtschaft auszugehen ist (vgl. Prognos 2016) (Abbildung 20).

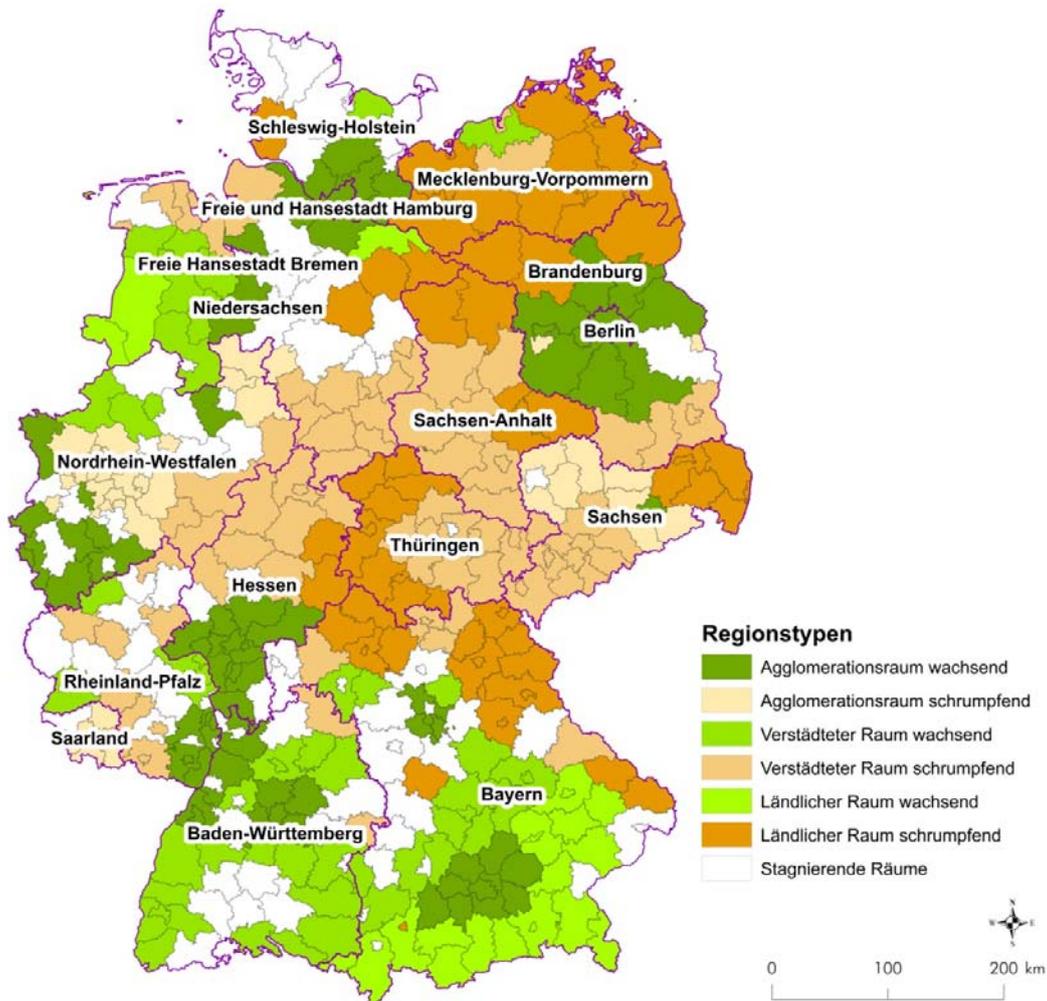


Abbildung 20: Demographische Regionstypen und voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung bis 2030 nach Landkreisen (Forschungsverbund netWORKS, auf der Grundlage siedlungsstruktureller Regionstypen und Raumordnungsprognose, vgl. BBSR 2012)

Insbesondere in den dünn besiedelten ländlichen Regionen mit negativer Bevölkerungsentwicklung besteht häufig ein erheblicher Anpassungs- und damit letztlich auch Innovationsbedarf i.d.S, die Folgen der Überdimensionierung von Anlagen und damit verbundenen hohen spezifischen Kosten zu mindern (vgl. MLUL 2015). Dies trifft insbesondere auf die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt sowie Teile von Thüringen, Hessen und Franken zu.

Für die wachsenden Agglomerationsräume wie z.B. Hamburg, Rhein-Main/Rhein-Neckar und München ergibt sich demgegenüber der Innovationsbedarf generell eher aus der Sicht der rationalen Nutzung der Wasserressourcen. Die Ansatzpunkte für die Bewertung des Innovationsbedarfs und des Transformationspotenzials in wachsenden Agglomerationen und verstärkten Regionen wurden in den Kapiteln 4 und 5 behandelt.

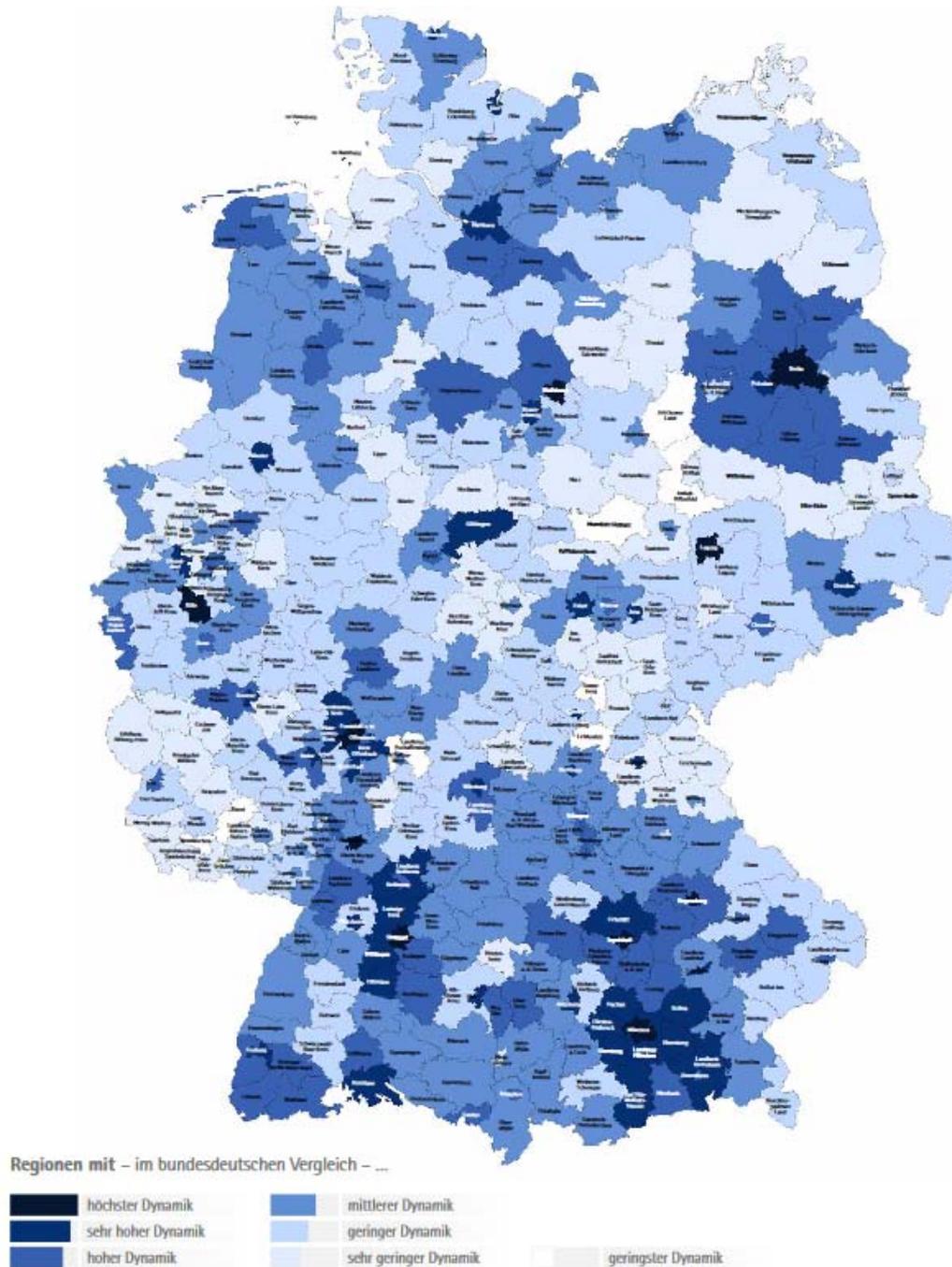
Schrumpfende ländliche Räume (Landkreise) umfassen mit rund 5,8 Mio. Einwohner und einer Fläche von 70.505 km² rund 7 % der Einwohner und 20 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland. Wachsende Agglomerationsräume (Landkreise) haben mit 24,6 Mio. Einwohner und einer Fläche von 55.368 km² rund 30 % der Einwohner und 15 % der Fläche (Tabelle 14).

Tabelle 14: Eckdaten der Regionstypen (Forschungsverbund netWORKS)

Regionstyp	Anzahl Einwohner	Fläche	Anzahl Kreise/ Kreisfreie Städte
	(-)	(km ²)	(-)
Agglomerationsraum	42.601.693	94.108	144
stagnierend	8.477.006	19.035	30
schrumpfend	9.542.681	19.706	42
wachsend	24.582.006	55.368	72
Verstädteter Raum	27.880.351	158.986	189
stagnierend	8.032.567	37.681	48
schrumpfend	10.820.273	74.407	91
wachsend	9.027.511	46.898	50
Ländlicher Raum	10.150.462	107.395	99
stagnierend	1.573.726	14.123	13
schrumpfend	5.777.333	70.505	64
wachsend	2.799.403	22.767	22
Summe	80.632.506	360.489	432

Regionstyp	Anzahl Einwohner	Fläche	Anzahl Kreise/ Kreisfreie Städte
	Anteil (%)		
Agglomerationsraum	53	26	33
stagnierend	11	5	7
schrumpfend	12	5	10
wachsend	30	15	17
Verstädteter Raum	35	44	44
stagnierend	10	10	11
schrumpfend	13	21	21
wachsend	11	13	12
Ländlicher Raum	13	30	23
stagnierend	2	4	3
schrumpfend	7	20	15
wachsend	3	6	5
Summe	100	100	100

Die Regionstypen haben eine sehr unterschiedliche Wirtschaftskraft. Die ungleiche regionale Wirtschaftskraft drückt sich aus in ihrer unterschiedlichen Entwicklungsdynamik (vgl. Prognos 2016). Die relativ geringe Kaufkraft in den dünnbesiedelten ländlichen Regionen, deren Einwohnerzahl und Wirtschaftskraft in Zukunft voraussichtlich weiter schrumpfen wird, sind bei der Ermittlung der Innovationsbedarfs und des Transformationspotenzials neuartiger Wasserinfrastrukturen zu berücksichtigen.



i | Prognos Zukunftsatlas 2016

www.prognos.com/zukunftsatlas

Abbildung 21: Regionale Entwicklungsdynamik (PROGNOS 2016)

6.2 Anforderungen an die Wasserinfrastruktur

Zentrale Anforderung an die Wasser-/Abwasser-Infrastruktur sind in der DIN 2000 und der DIN 4046 formuliert:

„Aufgabe der Wasserversorgung ist die jederzeit ausreichende Versorgung von Mensch und Tier sowie Gewerbe und Industrie mit Trink- und Brauchwasser bzw. Betriebswasser zweckentsprechender Beschaffenheit“ (DIN 2000).

„Die Versorgung mit hygienisch einwandfreiem Trink- und Brauchwasser in stets ausreichender Menge und die einwandfreie Beseitigung des Abwassers ist die unerlässliche Voraussetzung für die Siedlungstätigkeit, für die Entwicklung von Gemeinden und der landwirtschaftlichen, gewerblichen und industriellen Betriebe“ (DIN 4046).

Für die Entwicklung alternativer Wasserinfrastrukturen sind folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- es ist ein Mengenstandard festzulegen,
- die Kapazitäten der Systemkomponenten sind auf den zu erwartenden Bedarf abzustimmen,
- die Flexibilität gegenüber Veränderungen ist zu beachten,
- zu erwartende umweltpolitische Setzungen wie z.B. Neuordnung der Klärschlammverwertung mit Phosphorrückgewinnung und
- die Auswirkungen auf andere Infrastrukturbereiche sind einzubeziehen.

Es sollte eine Wasserinfrastruktur angestrebt werden, die unter ökonomischen und ökologischen Zielsetzungen einen optimalen Einsatz der verfügbaren Wasserressourcen und finanziellen Mittel erlaubt. Dabei sind die Auswirkungen auf die teilräumliche Entwicklung sowie die Auswirkungen auf die Umwelt in Form von „Umwelt- und Ressourcenkosten“ (externe Effekte) und teilräumliche Verflechtungen zu berücksichtigen.

Neben der reagierenden Erfüllung von infrastrukturellen „Versorgungsfunktionen“ müssen in schrumpfenden ländlichen Regionen vor allem auch die „Entwicklungsfunktionen“ der Infrastrukturen berücksichtigt werden. Dabei sind Induktionswirkungen und Potenzialwirkungen zu unterscheiden.

Die standardisierte öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung werden bisher in allen Regionen als ubiquitäre Leistungen angesehen und haben infolge dessen keine ausgeprägten standortbildenden Effekte; ihre Induktionswirkung in Bezug auf die regionale Entwicklung ist daher eng begrenzt. Die zukünftige Veränderung einzelner Infrastrukturkomponenten muss demgegenüber in Bezug auf potenziell negative Auswirkungen auf die subjektive Standortbewertung durch die Bevölkerung und die Wirtschaft betrachtet werden. Negative Trends der räumlichen Entwicklung dürfen nicht durch eine („vermeintlich“) reduzierte Infrastrukturqualität verstärkt werden.

Die Betrachtung der Wasserinfrastruktur in Bezug auf Technik und Organisation aus einer regionalen Perspektive zielt darauf ab,

- regionale Disparitäten z.B. der Wasser-/Abwasserentgelte abzubauen,
- die regionale Entwicklung z.B. durch die Verbesserung der Ver-/Entsorgungsqualität zu begünstigen,
- teilträumliche Potenziale z.B. in Bezug auf die Mobilisierung von Erneuerbaren Energien und von Nährstoffen auszuschöpfen und
- die natürlichen Wasserressourcen zu bewahren.

Bei der Konzeption und Bewertung „neuartiger Wasserinfrastrukturen“ sind diese raumrelevanten Entwicklungsaspekte zu berücksichtigen.

6.3 Regionstypische Innovationsbedarfe

Die Strukturierung genereller, teilträumlicher Lösungsansätze ist einerseits begründet in absehbaren technischen und wirtschaftlichen Defiziten, die sich vor allem aus einem rückläufigen Wasserbedarf ergeben, andererseits aber auch von den regional und örtlich verfügbaren Alternativen zur dauerhaften Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung abhängig.

Im Leitbild zukunftsfähige Siedlungswasserwirtschaft des Landes Brandenburg wird beispielsweise die Frage behandelt, wie die Kommunen, insbesondere in sehr dünnbesiedelten Gebieten die Preise für Trinkwasser und Abwasser bezahlbar halten können. „Dies ist existenziell für die Lebensqualität und die Attraktivität der Kommunen für Leben, Wohnen und Arbeiten im Land Brandenburg.“ „Aus der Kombination von Bevölkerungsrückgang und sinkenden Einkommen ergeben sich für die Siedlungswasserwirtschaft zum Teil besorgniserregende Folgen. Dabei steckt die Siedlungswasserwirtschaft in einer Zwickmühle. Sie kann sich, vor allem aufgrund von Immobilität und der langen Abschreibungszeiträume der Anlagen, kurzfristig kaum an die demografische Entwicklung anpassen. Gleichzeitig führt ein Bevölkerungsrückgang wegen der hohen Fixkosten unmittelbar zu steigenden einwohnerspezifischen Kosten“ (MLUL 2015).

Probleme können sich auch als Auswirkungen des Klimawandels in Form von Trockenheit oder Überflutungen sowie infolge der Anforderungen an die Effizienz der Ressourcennutzung ergeben. Mögliche relevante Aspekte in der Analyse zur Identifizierung des Handlungsbedarfs in spezifischen Räumen sind:

- der teilträumliche Wasserbedarf und Abwasseranfall,
- die Einbindung in zentrale Verbundnetze,
- die technischen Bedingungen der Anlagen,
- die Verknüpfung mit anderen Teilräumen und
- die möglichen Alternativen der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur.

Der teilträumliche Handlungsbedarf lässt sich nach den Kriterien

- zentral oder Randlage (Endstrang) im Verbundnetz,
- zentral oder Randlage (Endstrang) im teilträumlichen Netz sowie
- dezentrales Netz

weiter differenzieren.

Unabhängig von den jeweiligen anrechenbaren, teilträumlichen Kosten (Leitungsnetze; Wasserwerke; Abwasserreinigungsanlagen) wird davon ausgegangen, dass im gesamten Ver- und Entsorgungsgebiet einheitliche Wasserabgabepreise und Abwassergebühren erhoben werden. Eine Abkehr von diesem Solidaritätsprinzip in regionalen Ver- und Entsorgungsgebieten hätte weitreichende negative Folgen für die Infrastruktur- und Standortqualität, die bei der Bewertung als „Externe Effekte“ zu berücksichtigen sind.

6.4 Regionstypische Transformationspotenziale

Mögliche Lösungsansätze zur Bewältigung der o.g. Herausforderungen lassen sich nach den drei folgenden Maßnahmenkategorien unterscheiden:

- a) Betrieblich-organisatorische Maßnahmen
- b) Bauliche Maßnahmen
- c) Konzeptionelle Maßnahmen

Die konzeptionellen Maßnahmen können verschiedene alternative Strategien umfassen: Das „Konventionelle System“ stellt einen heute üblichen Lösungsansatz in der Abwasserentsorgung dar. Die „Technische Anpassung“ (Strategie A) bedeutet, dass Netze und Anlagen an veränderte Randbedingungen angepasst, aber keine grundlegenden Änderungen am bestehenden System (z.B. Stoffstromtrennung oder Semi-Zentralisierung) vorgenommen werden.

Die konzeptionelle Strategie B geht mit systematischen Veränderungen einher, deren gemeinsames Charakteristikum der Ausbau des bestehenden teilträumlichen bzw. regionalen Netzes darstellt. Die konzeptionelle Strategie C hingegen zielt auf eine Abwasserentsorgung ohne Nutzung der zentralen Strukturen. In den Strategien B und C können Module neuartiger Wasserinfrastrukturen (z.B. separate Ableitung und Behandlung von Abwasserteilströmen wie Grau- und Schwarzwasser und Rückgewinnung von Wasser, Energie und Nährstoffen) einen Beitrag zur systemischen Veränderungen und damit Transformation darstellen.

Diese konzeptionellen Ansätze können zentrale und partiell semi-/dezentrale Systemkomponenten umfassen (s. Abbildung 22).

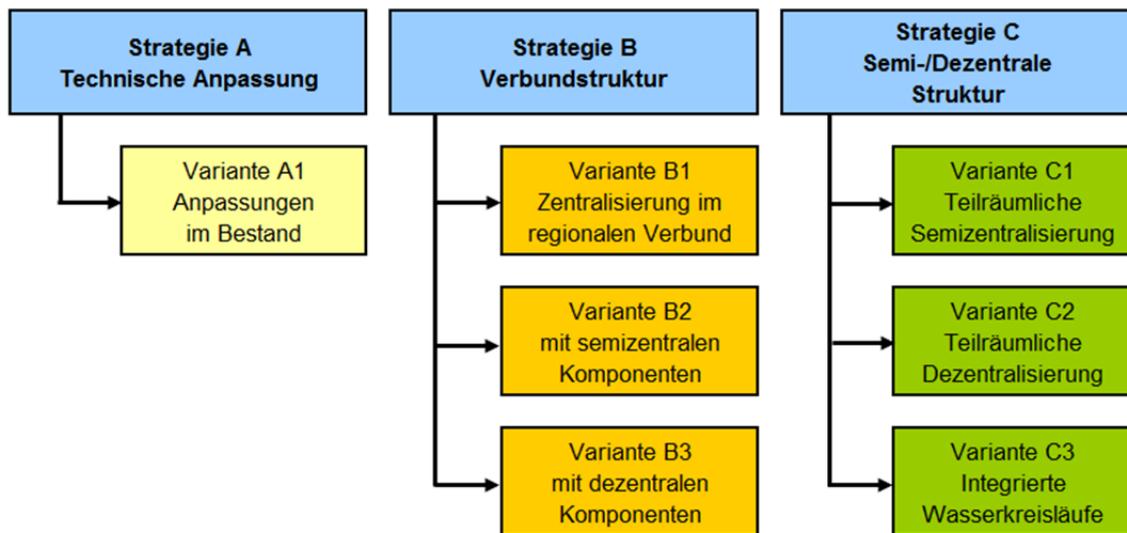


Abbildung 22: Überblick über mögliche Strategien und Umsetzungsvarianten (Forschungsverbund netWORKS)

Sie setzen sich aus unterschiedlichen Maßnahmen zusammen, die nachfolgend in ihren wesentlichen Merkmalen kurz erläutert werden:

- Variante A1: Anpassung im Bestand

Die vorhandenen Wasserinfrastruktursysteme werden in ihrer Grundstruktur nicht verändert. Die Gewährleistung der Versorgungsqualität erfolgt durch sukzessives Anpassen der bestehenden Infrastruktur (Netze und Anlagen) an den sich veränderten Trink-/Abwasserbedarf. Es wird ein Trinkwasser mit gleicher Qualität für alle Verwendungszwecke bereitgestellt bzw. genutzt.

- Variante B1: Zentralisierung im regionalen Verbund

Die vorhandenen Netze und Anlagen werden in ihrer Struktur verändert. Es erfolgt ein Anschluss von bisher de- bzw. semizentral versorgten Teilräumen an den Verbund. Zwischen den örtlichen Netzen und den Verbundnetzen wird eine Verbindung erstellt. Damit gehen technische Anpassungsmaßnahmen in den vorhandenen Strukturen einher. Die bestehenden örtlichen Anlagen werden aufgegeben.

- Variante B2: Regionale Verbundstruktur mit semizentralen Komponenten

Die vorhandenen Systeme werden in ihrer Struktur nicht wesentlich verändert, jedoch teilträumlich ergänzt. Betrieb und Wartung der Anlagen wird durch ein zentrales Management gewährleistet.

- Variante B3: Regionale Verbundstruktur mit dezentralen Komponenten

Die vorhandenen Systeme werden in ihrer Struktur nicht wesentlich verändert, jedoch örtlich ergänzt. Betrieb und Wartung der Anlagen wird durch ein zentrales Management gewährleistet.

- Variante C1: Teilräumliche Semizentralisierung

Die vorhandenen Systeme werden in ihrer Struktur verändert. Es erfolgt eine Abkopplung zuvor zentral versorgter Teilräume vom Verbundnetz bzw. eine Vernetzung semizentraler Komponenten.

- Variante C2: Teilräumliche Dezentralisierung

Die vorhandenen Systeme werden in ihrer Struktur verändert. Es erfolgt eine Abkopplung zuvor zentral versorgter Teilräume vom Verbundnetz bzw. eine Vernetzung dezentraler Komponenten.

- Variante C3: Integrierte Wasserkreisläufe

Die vorhandenen Systeme werden in ihrer Struktur wesentlich verändert. Es erfolgt eine Differenzierung und Schließung teilräumlicher Wasser- und Stoffkreisläufe auf der Ver- und Entsorgungsseite.

Für die vergleichende Bewertung der möglichen Lösungsansätze (Strategien) kann auf die sieben definierten Bewertungskategorien Technik, Ökologie, Ökonomie, Soziales, Organisation (Technik), Governance (Planung) und Recht analog Kapitel 4 und 5 zurückgegriffen werden. Hierbei ist insbesondere auf technisch-funktionale und ökonomische Aspekte zu achten.

Es ergeben sich spezifische Lösungskorridore für eine effiziente und nachhaltige Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung in den peripheren Teilräumen, die geprägt sind von einem voraussichtlich deutlich rückläufigen Trinkwasserbedarf und Abwasseranfall in den nächsten Jahrzehnten, was zu möglichen Funktionsstörungen bei zentralen Systemmodulen und steigenden spezifischen Kosten führen wird.

Die Lösungskorridore können unterschieden werden nach

- Geeigneten Maßnahmen: a) Anschluss an regionale/teilräumliche Verbundnetze
b) Ausbau semi- und dezentraler Komponenten
- Denkbaren Maßnahmen: a) Ausbau regionaler/teilräumlicher Verbundnetze
b) Anpassung der Netze und Anlagen an den Bedarf
- Ungeeigneten Maßnahmen a) Aufgabe der zentralen Ver-/Entsorgung

7 Fazit

Die zentrale Erkenntnis des in dieser Studie entwickelten **Bewertungsrahmens** ist, dass dieser es erlaubt, mehrere räumliche und zeitliche Ebenen zu berücksichtigen: die Modellgebiete, Modellstädte und Regionstypen. Die Unterscheidung dieser Bewertungsebenen beeinflusst auch die Ermittlung und Festlegung des jeweiligen Bewertungsziels. So galt es im Fall der Modellgebietsebene, die Option für das jeweilige Modellgebiet zu finden, die vergleichsweise die größte Nachhaltigkeit verspricht, während auf Stadt- und Regionsebene das sich daraus entfaltende Transformationspotential in den Fokus rückte.

Die Frage, welche Ausgestaltung städtischer Wasserinfrastrukturen jeweils eine große Nachhaltigkeit verspricht, lässt sich in Bezug auf die **Modellgebietsebene** nur in Abhängigkeit der vorzufindenden Rahmenbedingungen sowie der Gewichtung beantworten, die technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien beigemessen wird. Dies macht eine Neubewertung der allgemeinen Annahmen zu konventionellen Wasserinfrastrukturen erforderlich. Gleichzeitig zeigen die Analysen auf Modellgebietsebene, dass neuartige Wasserinfrastruktursysteme durchaus mit konventionellen konkurrieren können. Bei einer starken Gewichtung der ökologischen und sozialen Belange sind neuartige Wasserinfrastruktursysteme ihnen häufig sogar überlegen.

→ **Die Wasserinfrastruktur wird zukünftig durch eine Diversifizierung konventioneller und neuartiger Systeme ausgezeichnet sein. Eine multikriterielle Bewertung bietet hier eine gute Grundlage für die Identifizierung der teilräumlichen Varianten mit dem größten Potenzial. Dabei sind deren Wirkungen, der Transformationsaufwand und die sich dabei eröffnenden Chancen abzuschätzen. Da die Ergebnisse zwischen einzelnen Gebieten sehr unterschiedlich ausfallen, empfiehlt sich eine Fall-zu-Fall-Prüfung.**

Die nachhaltigste technische Systemvariante in einem konkreten Modellgebiet muss nicht zwangsläufig auch für den jeweiligen Stadtteil bzw. die Gesamtstadt geeignet sein. Darüber hinaus weist die Infrastruktur eines Modellgebiets zahlreiche Interdependenzen mit der städtischen Infrastruktur auf, in die sie eingebettet ist. Diese müssen als externe Effekte berücksichtigt werden und sind wesentlich bei der Betrachtung der Transformationsprozesse in der Gesamtstadt. Die **Modellstädte** Hamburg und Frankfurt am Main repräsentieren typische Zentren von dynamisch wachsenden Agglomerationen. Sie sind daher für einen Umbau der Wasserinfrastruktur vorrangig von Interesse. Die konzeptionelle Einordnung der potenziellen Veränderung der kommunalen Wasserinfrastruktur sollte in Form einer längerfristigen gesamtstädtischen Perspektive der Systemtransformation erfolgen, d.h. es sind Gesamtkonzepte anzustreben, um die möglichen negativen Rückwirkungen auf der Ebene der Gesamtstadt vermeiden bzw. minimieren und entsprechende Synergien und Potenziale heben zu können. Dies kann durchaus bedeuten, dass eine teilräumliche Systemvariante, die auf der Modellgebietsebene zunächst als sehr vielversprechend eingeordnet wurde, dadurch zurückgestuft und eine andere weiterverfolgt

wird. Daher ist es für die strategischen Entscheidungen zur Gestaltung zukunftsfähiger Wasserinfrastrukturen in der gesamten Stadt wichtig, eine grundlegende politische Vision und Entscheidung der Kommune zur künftigen Organisation der kommunalen Daseinsvorsorge, ihrer Beiträge und Funktionen im Kontext integrierter Stadtentwicklung und damit letztlich zur Lebensqualität vor Ort zu besitzen. Sind diese Voraussetzungen geschaffen, können kommunale Betreiber von Wasserinfrastrukturen gemeinsam mit der Verwaltung infrastrukturelle Transformations- und Abstimmungsprozesse zur Beförderung der integrierten Stadtentwicklung ausgestalten (Trapp und Libbe 2016).

→ **Neben der integrierten Bewertung der Wasserinfrastruktursysteme für einen Teilraum selbst, müssen auch die weiteren räumlichen Skalenebenen über den Stadtteil bis zur Gesamtstadt in den Blick genommen werden. Denn es kann durchaus sein, dass eine teilräumliche Variante sich nur aufgrund der kleinräumlichen Rahmenbedingungen, wie etwa die bereits rundum bestehende Wasserinfrastruktur, als besonders vorteilhaft für das Gebiet erwiesen hat.**

Städte können in **Regionen** mit sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen liegen: So können sie vom Klimawandel betroffen sein (oder auch nicht); auch können sie hinsichtlich der Bevölkerungszahl schrumpfen oder (z.B. aufgrund von Zuwanderung aus anderen Räumen) wachsen. Für wasserwirtschaftliche Fragestellungen, die weit über die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einzelner Aufgabenträger oder die Kosten für die Anpassung von Einzelanlagen und -netzen hinausgehen, bieten sich sogenannte konzeptionelle Leitbilder an. Unverzichtbar für einen regionalen Prozess der Leitbildentwicklung ist das Engagement vor Ort, in den Kommunen der Region und möglichst in Kooperation mit den Nachbarkommunen sowie in Abstimmung mit den betroffenen Bürgerinnen und Bürgern. Die Ansatzpunkte neuartiger Wasserinfrastrukturen in ländlichen Regionen beruhen u.a. auf folgenden Zielsetzungen:

- Ausschöpfung und effiziente Nutzung der verfügbaren örtlichen und regionalen Ressourcen;
- Sicherung der Qualität der Ver- und Entsorgung,
- Erhaltung der regionalen Standortqualität;
- Begrenzung der Kosten;
- Bezahlbare Preise und Gebühren;
- Anpassungsfähigkeit an klimatische und demografische Veränderungen.

Diese konzeptionellen Ansätze können angepasste zentrale und partiell semi-/dezentrale Systemkomponenten umfassen. In diesem Zusammenhang erfordern differenzierte technische Systeme ein Management auf aggregierter Ebene, z.B. in einem teilräumlich-regionalen organisatorischen Verbund.

→ **Es sind die Auswirkungen auf die regionale Entwicklung, Auswirkungen auf die Umwelt und teilräumliche Verflechtungen zu berücksichtigen. Negative Trends der**

räumlichen Entwicklung dürfen nicht durch eine reduzierte Infrastrukturqualität begünstigt werden. Auch ist darauf zu achten, dass wenn Infrastrukturen vorteilhaft für eine Stadt sind, diese ihre Region nicht etwa durch einen überproportional hohen Wasserbedarf nachhaltig beeinträchtigen.

8 Quellen und Literatur

- AGFW (2013): Transformationsstrategien Fernwärme. TRAF0 - Ein Gemeinschaftsprojekt von ifeu-Institut, GEF Ingenieur AG und AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Forschung und Entwicklung, Heft 24, Frankfurt am Main.
- Balkema, A.; Preisig, H.; Otterpohl, R.; Lambert, F. (2002): Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, 4, 153-161.
- Bieker, S. (2009): Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme – neue Lösungen für schnell wachsende urbane Räume. Untersuchung empfehlenswerter Größenordnungen. Dissertation, Technical University of Darmstadt, Germany.
- Bossel, H. (1999): Indicators for Sustainable Development - Theory, Method, Applications - A Report to the Balaton Group. International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg, Manitoba.
- Brundtland, G. (1987): Our common future. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2012): Raumordnungsbericht 2011. Berlin.
- Daigger, G. (2007): Wastewater management in the 21st century. *Journal of Environmental Engineering* 11(7), 671-680.
- Davoudi, A.; Millosevic, D.; Schramm, E.; Winker, M. (2016): Stoffstromanalyse zu verschiedenen Wasserinfrastruktursystemen in Frankfurter und Hamburger Quartieren. netWORKS-Paper Nr. 30. Berlin.
- De Graf, R. (2009): Innovations in Urban Water Management to Reduce the Vulnerability of Cities: Feasibility, Case Studies and Governance. Doctoral thesis, TU Den Haag.
- DIN – Deutsches Institut für Normung (2017): DIN 2000. Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen.
- DIN – Deutsches Institut für Normung (1983): DIN 4046. Wasserversorgung; Begriffe; Technische Regel des DVGW.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2008): Neuartige Sanitärsysteme (NASS). DWA-Themenband. Hennef.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Überarbeitete Auflage. Hennef.

- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2014): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS). Hennef.
- Felmeden, J.; Kluge, T.; Koziol, M.; Libbe, J.; Michel, B.; Scheele, U. (2010): Öko-Effizienz kommunaler Wasser-Infrastrukturen – Bilanzierung und Bewertung bestehender und alternativer Systeme. netWORKS-Paper Nr. 26. Berlin.
- Felmeden, J.; Libbe, J.; Michel, B.; Schramm, E.; Winker, M. (2016): Integrierte Infrastrukturbeurteilung. Zur Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen. Die Planerin (6), 9-11.
- Fishburn, P. (1967): Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments. Operations Research Society of America (ORSA), Baltimore.
- Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.) (2007): Räumliches Leitbild Entwurf. Wachsende Stadt – Grüne Metropole am Wasser. Hamburg.
- Giese, T.; Londong, J. (2015): KOPPLUNG VON REGENERATIVER ENERGIEGEWINNUNG MIT INNOVATIVER STADTENTWÄSSERUNG – SYNTHESEBERICHT ZUM FORSCHUNGSPROJEKT KREIS. Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is), Heft 30. Weimar.
- Hamburg Wasser (2016): Machbarkeitsstudie zu den beiden Stadtquartieren Tucholsky-Quartier und Struensee-Quartier in Hamburg Altona. Im Rahmen des Forschungsprojektes netWORKS 3. Abteilung Q 2 HAMBURG WASSER. Hamburg.
- Hefter, T.; Birzle-Harder, B.; Deffner, J. (2016): Akzeptanz von Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung im Wohnungsbau. Ergebnisse einer qualitativen Bewohnerbefragung. netWORKS-Paper Nr. 27. Berlin.
- Hein, A.; Lévai, P.; Wencki, K. (2015): Multikriterielle Bewertungsverfahren: Kurzbeschreibung und Defizitanalyse (Teil 1). gwf-Wasser Abwasser, Heft 1, 58-61.
- Hellström, D.; Jeppsson, U.; Kärrman, E. (2000): A framework for systems analysis of sustainable urban water management. Environmental Impact Assessment Review, 20, 311-321.
- Hillenbrand, T.; Hiesl, H. (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. KA Abwasser Abfall, 53(12), 1265-1271.
- Hillenbrand, T.; Hiesl, H.; Klug, S.; von Lüninck, B.; Niederste-Hollenberg, J.; Sartorius, C.; Walz, R. (2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Innovationsreport. TAB – Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (ed), Arbeitsbericht (153), Berlin, Germany. <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab158.pdf>. Accessed January 20th, 2016.

- Holländer, R.; Zenker, C.; Ammermüller, B.; Geyley, S.; Lautenschläger, S. (2008): Gutachten. Trinkwasserpreise in Deutschland – Welche Faktoren begründen regionale Unterschiede? Institut für Infrastruktur und Ressourcen-management, Universität Leipzig, Leipzig.
- Hüttl, R.; Bens, O. (Eds.) (2012): Geoessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Munich, Germany.
- Jörissen, J. et al. (1999): HGF-Projekt: "Untersuchung zu einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung: Bestandsaufnahme, Problemanalyse, Weiterentwicklung". In: Abschlußbericht Band 3: Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung (ITAS), Karlsruhe.
- Kerber, Heide, Engelbert Schramm, Martina Winker (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation. netWORKS-Paper Nr. 28. Berlin.
- Kluge, T.; Libbe, J. (Hrsg.) (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Berlin.
- Kluge, T., Schramm, E. (2011): Wassermärkte der Zukunft: Systemische Innovationen – weltweit. Ökom-Verlag, München.
- Larsen et al. (2010): Decision support in urban water management based on generic scenarios: The example of NoMix technology. *Journal of Environmental Management*, 91, 2676-2687.
- Lienert, J.; Scholten, L.; Egger, C.; Maurer, M. (2014): Structured decision-making for sustainable water infrastructure planning and four future scenarios. *EURO J Decision Processes* 3(1-2):107-140.
- Lux, A. (2009): Wasserversorgung im Umbruch. Der Bevölkerungsrückgang und seine Folgen für die öffentliche Wasserwirtschaft. Frankfurt, New York.
- Merkel, W.; Bräker, J.; Rohn, A.; Staben, N. (2010): Technische Optionen und typische Einsatzbereiche (Datenblätter). In: Kluge, T., Libbe, J. (Hrsg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Berlin.
- MLUL - Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (2015): Abschlussbericht Leitbild zukunftsfähige Siedlungswasserwirtschaft Brandenburg. Potsdam.
- Moss, T. (2008): 'Cold spots' of Urban Infrastructure: 'Shrinking' Processes in Eastern Germany and the Modern Infrastructural Ideal. *International Journal of Urban and Regional Research* 32(2), 436-451.

- Mysiak, J.; Giupponi, C.; Rosato, C. (2005): Towards development of a decision support system for water resource management. *Environmental Modelling & Software*, 20, 203-214.
- Nowak, M.; Guenther, E. (2009): Scenario planning: Managing the effects of demographic change on East German wastewater companies. IHDP Open Meeting 2009 7th International Science Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, 26-30 April 2009, Bonn.
- Ott, R.; Wallbrecht, A.; Bieschke, N. (2016): Institutionenökonomische Analyse der Umsetzung neuartiger Wasserinfrastrukturen. netWORKS-Paper Nr. 33. Berlin.
- Palme, U.; Lundin, M.; Tillman, A.-M.; Molander, S. (2005): Sustainable development indicators for wastewater systems – researchers and indicator users in a co-operative case study. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 43, Issue 3, 293–311.
- Pognos AG (2016): Prognos Zukunftsatlas 2016. Das Ranking für Deutschlands Regionen. www.prognos.com/zukunftsatlas.
- Rost, G.; Maier, K.; Böhm, M.; Londong, J. (2015). Auswirkungen eines technischen Paradigmenwechsels auf die wasserwirtschaftliche Organisation in strukturschwachen ländlichen Räumen. *Raumforschung und Raumordnung*, 73(5), 343-356.
- Rygaard, M.; Albrechtsen, H.-J.; Binning, P.J. (2009): *Alternative Water Management and Self-Sufficient Water Supplies*. IWA-Publishing.
- Saaty, T. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.; Vargas, L. G. (2006): *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. New York: Springer.
- Saaty, T.; Vargas, L. (2012): *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, 2nd edn. International series in operations research & management science 175. Springer, New York.
- Scholten, L.; Egger, C.; Zheng, J.; Lienert, J. (2014): Multikriterielle Entscheidungsanalyse. Neue Ansätze für langfristige Infrastrukturplanung in der Wasserver- und -entsorgung. *AQUA & GAS* (5), 62-69.
- Schramm, E.; Kluge, T.; Beck, S.; Hansjürgens, B.; Hiessl, H.; Sartorius, C. (2013): Integrierte Systemlösungen als Strategie für eine nachhaltige und exportstarke Wasserwirtschaft (Integrated system solutions as strategy for a sustainable water management with export strength). *Wasser Abf.* (1-2):39–44.

- Schramm, E.; Kerber, H.; Trapp, J.; Zimmermann, M.; Winker, M. (2017): Novel urban water systems in Germany: governance structures to encourage transformation, *Urban Water Journal*, DOI: 10.1080/1573062X.2017.1293694.
- Schuwirth, N.; Reichert, P.; Lienert, J. (2012): Methodological aspects of multi-criteria decision analysis for 919 policy support: A case study on pharmaceutical removal from hospital wastewater. *Eur J Oper Res* 220(2):472-483.
- Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planen, Bauen, Wohnen und Grundbesitz, Stadtplanungsamt (Hrsg.) (2012): Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2012, Baustein 1/12. Frankfurt am Main.
- Tanyimboha, T.; Kalungib, P. (2009): Multicriteria assessment of optimal design, rehabilitation and upgrading schemes for water distribution networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 26 (2), 117–140.
- Trapp, J.; Libbe J. (2016): Neuartige Wasserinfrastrukturen – Optionen für Unternehmensstrategien und Innovation. netWORKS-Paper Nr. 29. Berlin.
- Triantaphyllou, E. (2000): *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tukker, A.; Charter, M.; Vezzoli, C.; Stø, E.; Munch Andersen, M. (Hrsg.) (2008): *System Innovation for Sustainability 1: Perspectives on Radical Change to Sustainable Consumption and Production*. Sheffield.
- WHG (2016): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. April 2016 (BGBl. I S. 745) geändert worden ist.
- Wikramanayake, N.; Corea, E. J. H. (2003): Alternative Technology for Urban Wastewater Treatment: Case Studies and Issues of Implementation and Sustainability *World Water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia*, (doi 10.1061/40685(2003)252).
- Winker, M.; Schramm, E.; Schulz, O.; Zimmermann, M.; Liehr, S. (2016): Integrated water research and how it can help address the challenges faced by Germany's water sector. In: *Environmental Earth Sciences*. Thematic Issue: Water Resources and Research in Germany. Springer.
- Wolf, M.; Störmer, E. (2010): Decentralisation of wastewater infrastructure in Eastern Germany. *Network Industries Quarterly* 12(1), 7-10.

Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Dissertation, Technical University Berlin, 1970, 4th edn. Wittemann, Munich, Germany.

9 Anhang

9.1 Technische Modulsysteme und modellgebietspezifische Systemvarianten

Technische Modulsysteme

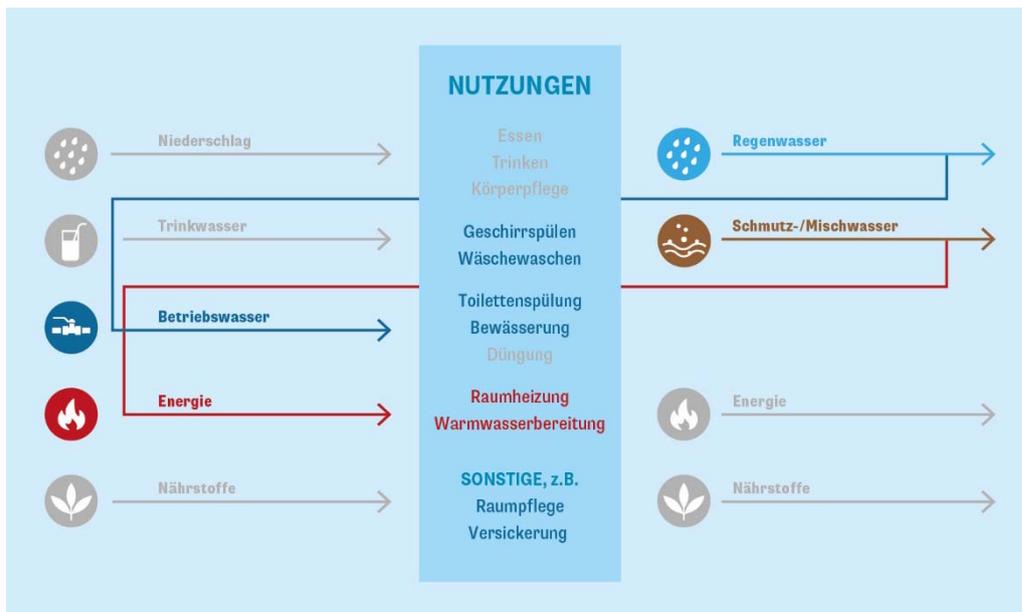


Abbildung 9.1.1: Technisches Modulsystem 1

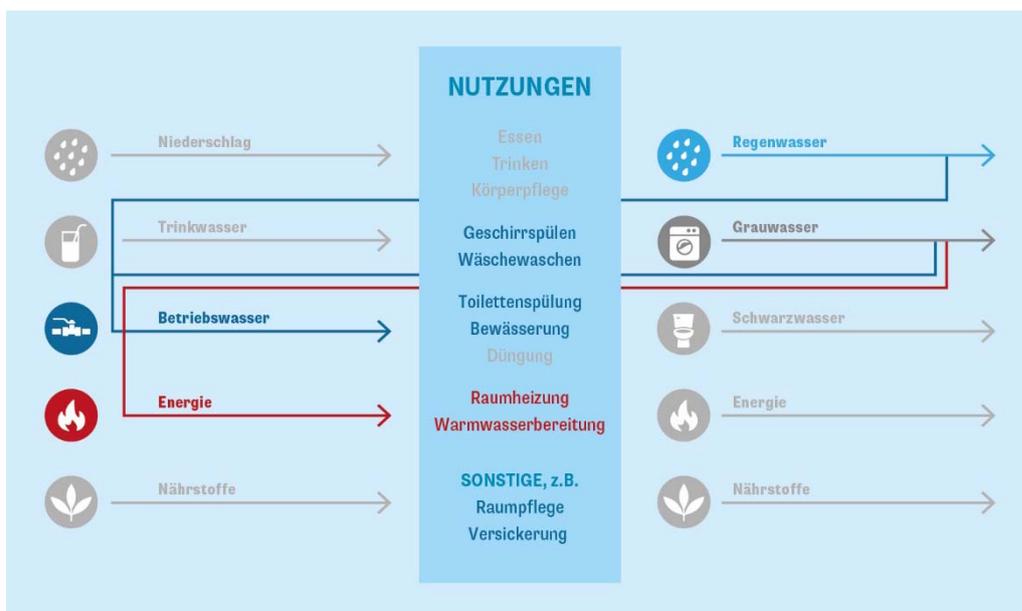


Abbildung 9.1.2: Technisches Modulsystem 2

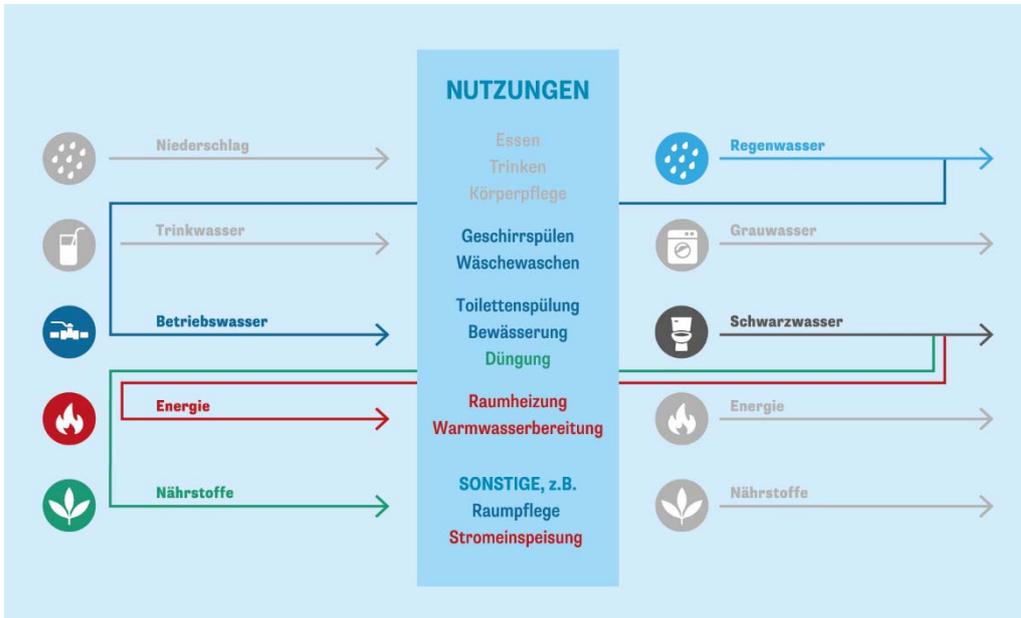


Abbildung 9.1.3: Technisches Modulsystem 3

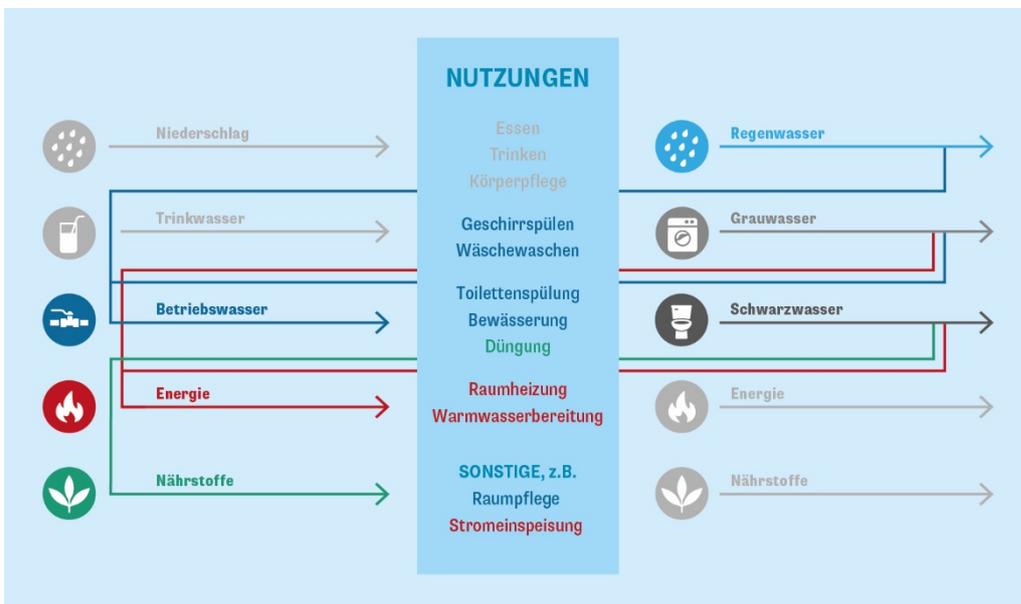


Abbildung 9.1.4: Technisches Modulsystem 4

Modellgebietspezifische technische Systemvarianten

Modellgebiet A, Frankfurt am Main

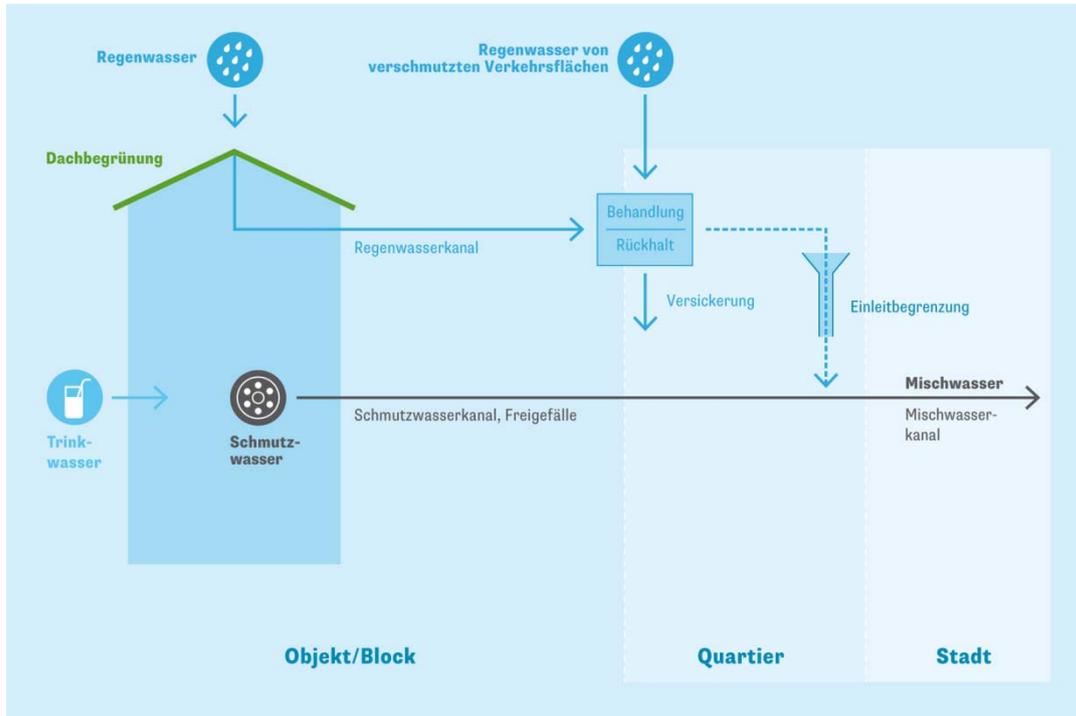


Abbildung 9.1.5: Referenzsystem im Modellgebiet A, Frankfurt am Main

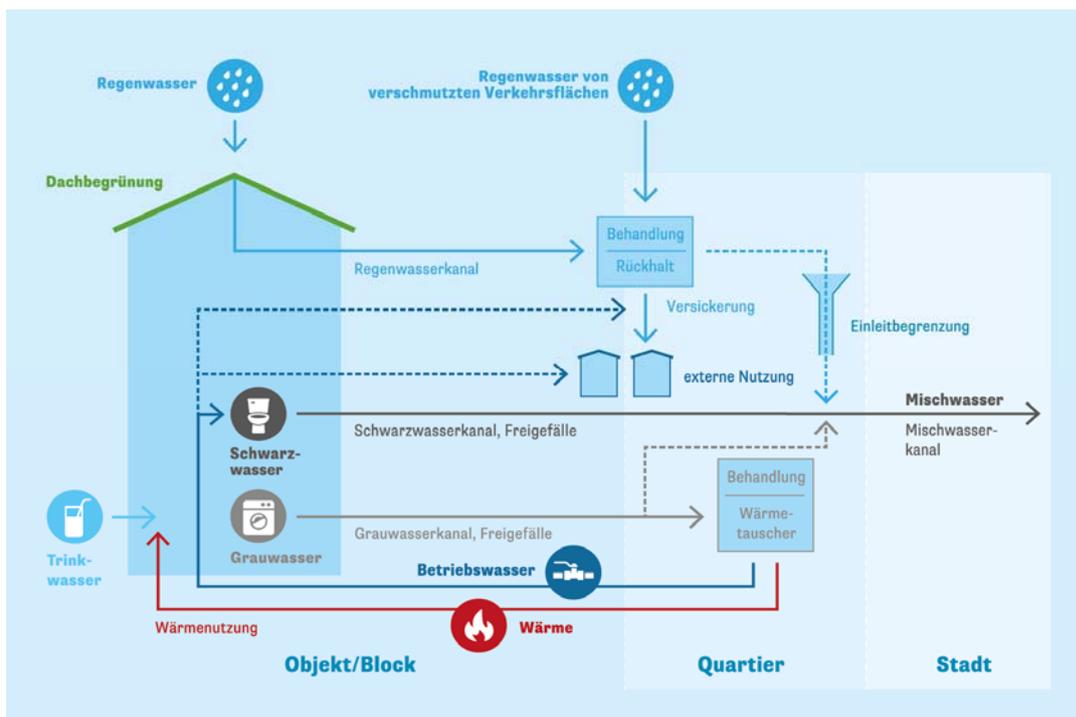


Abbildung 9.1.6: Systemvariante 1 im Modellgebiet A, Frankfurt am Main

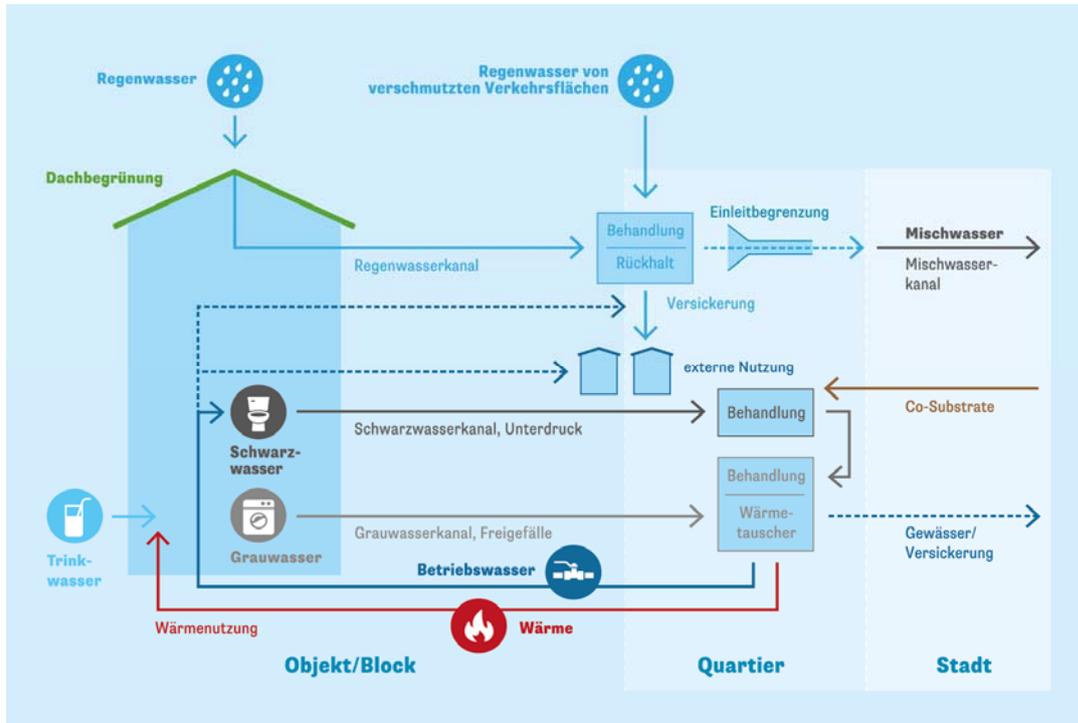


Abbildung 9.1.7: Systemvariante 2 im Modellgebiet A, Frankfurt am Main

Modellgebiet B, Frankfurt am Main

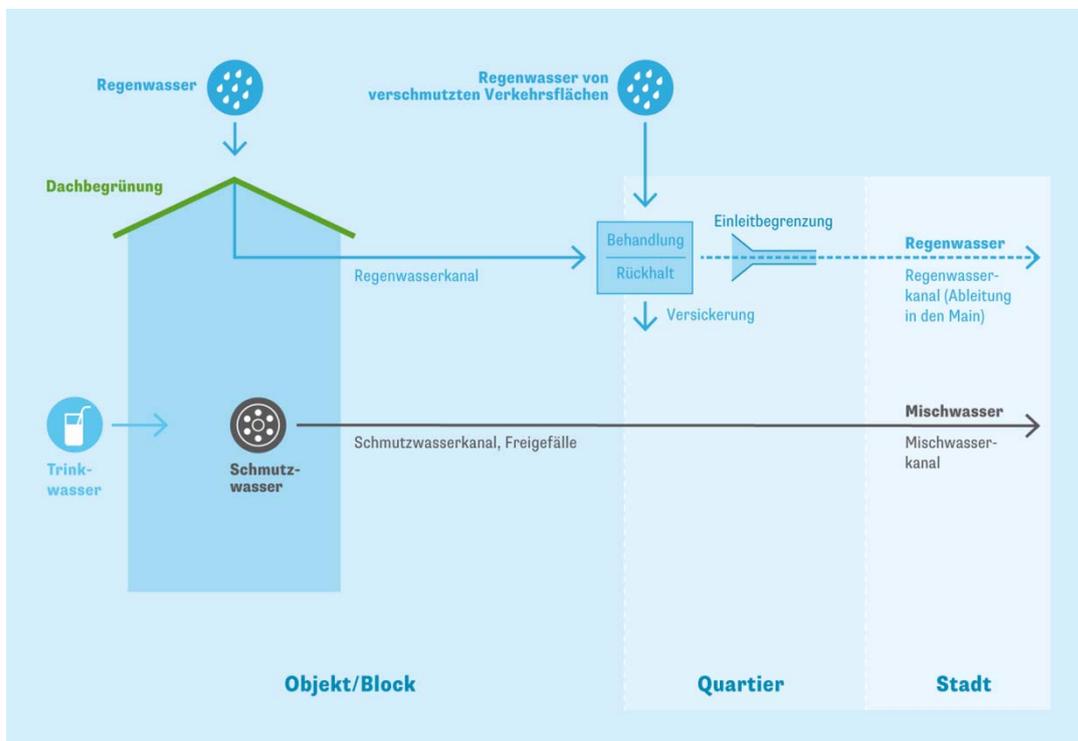


Abbildung 9.1.8: Referenzsystem im Modellgebiet B, Frankfurt am Main

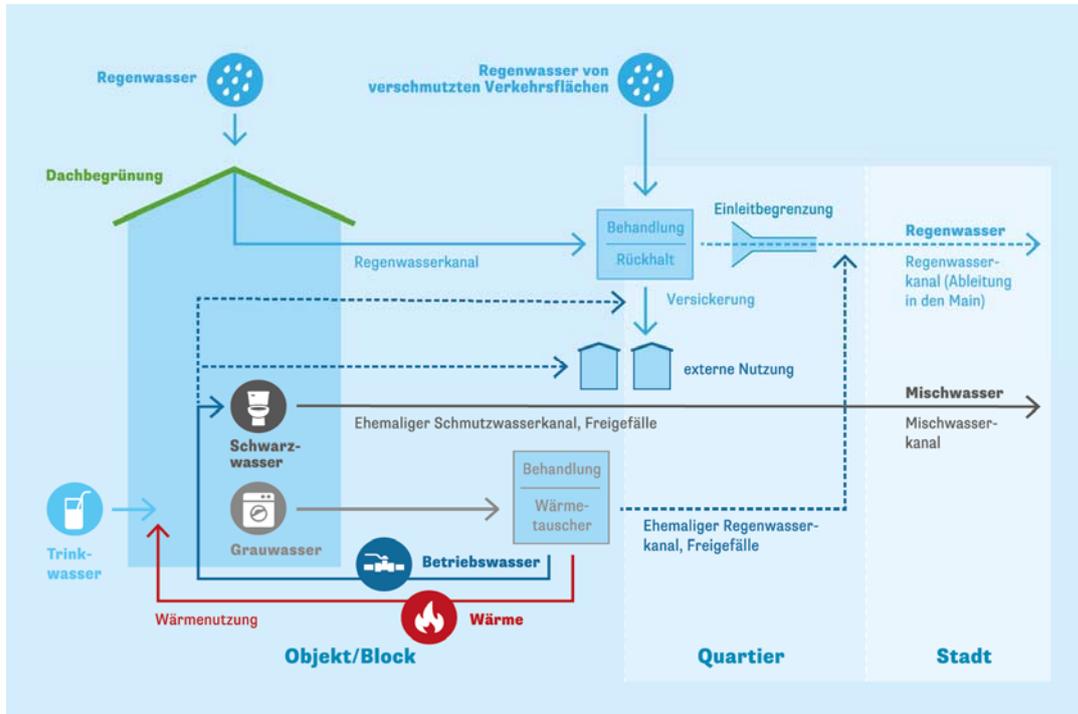


Abbildung 9.1.9: Systemvariante 1 im Modellgebiet B, Frankfurt am Main

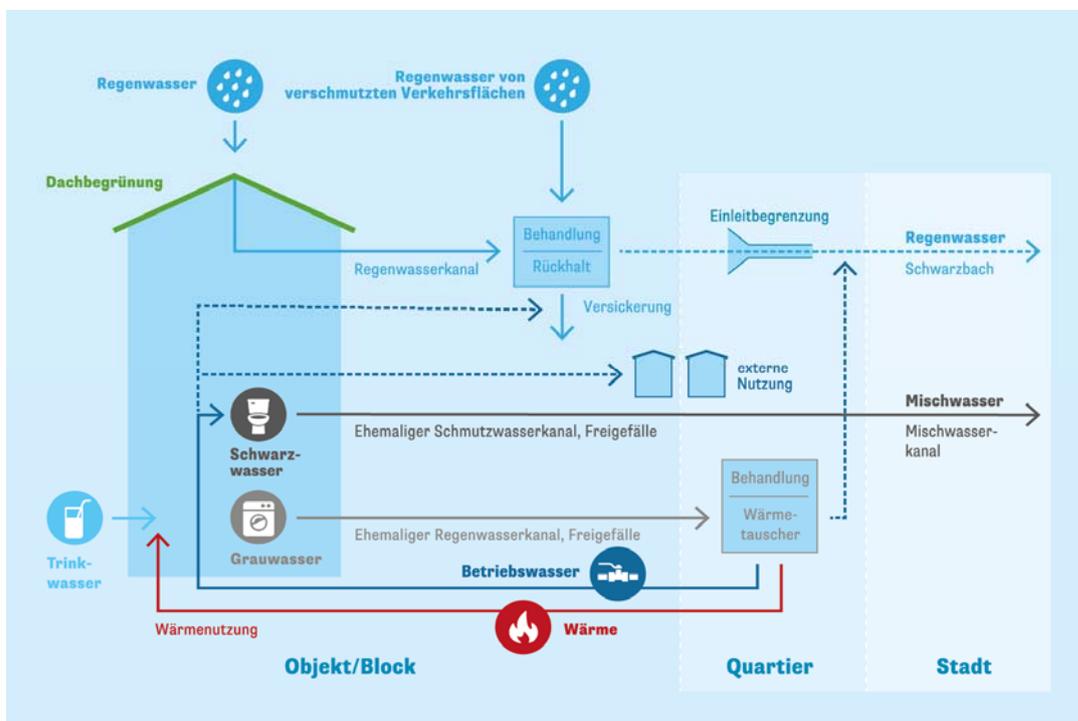


Abbildung 9.1.10: Systemvariante 2 im Modellgebiet B, Frankfurt am Main

Modellgebiet C, Frankfurt am Main

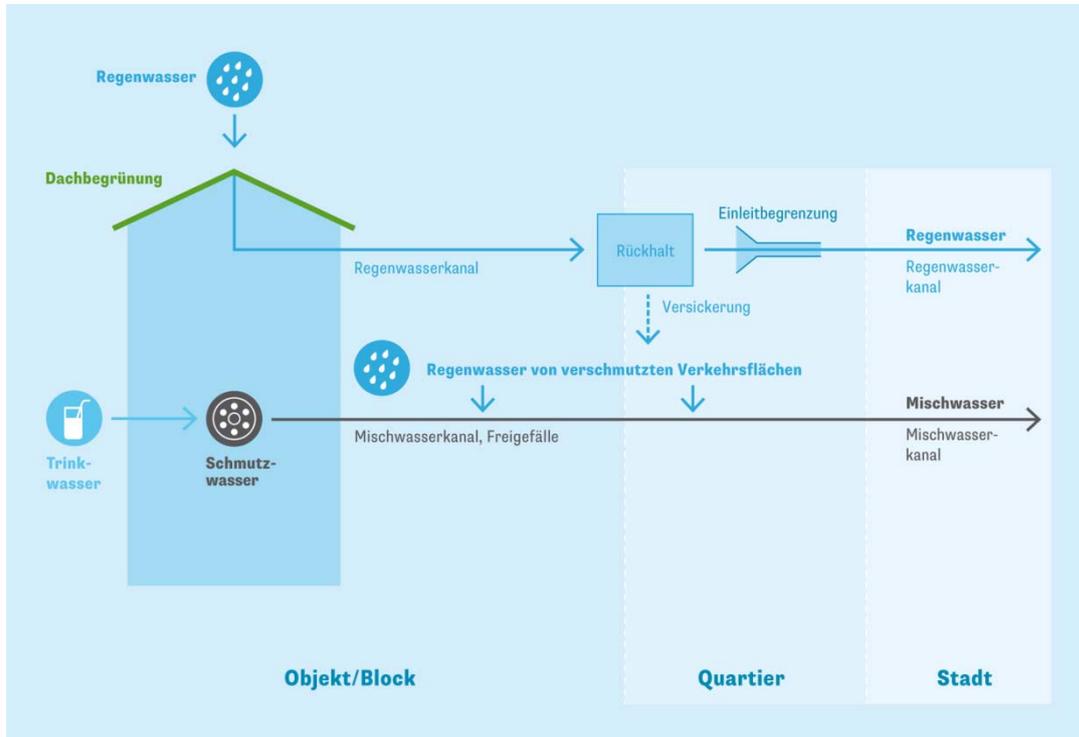


Abbildung 9.1.11: Referenzsystem im Modellgebiet C, Frankfurt am Main

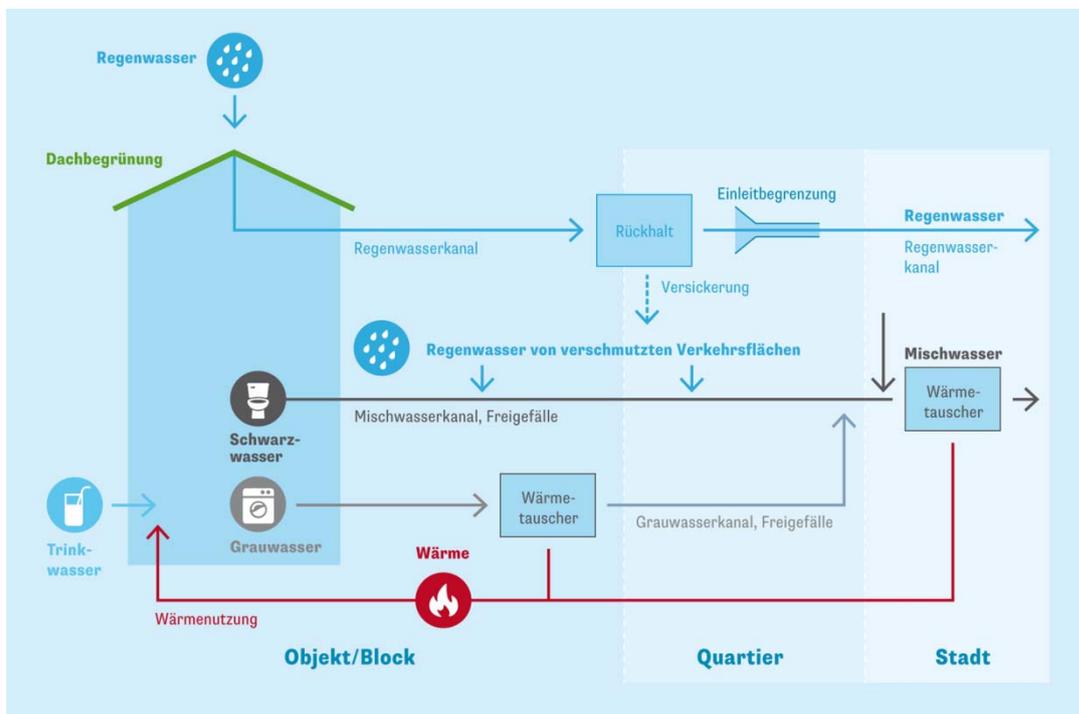


Abbildung 9.1.12: Systemvariante 1 im Modellgebiet C, Frankfurt am Main

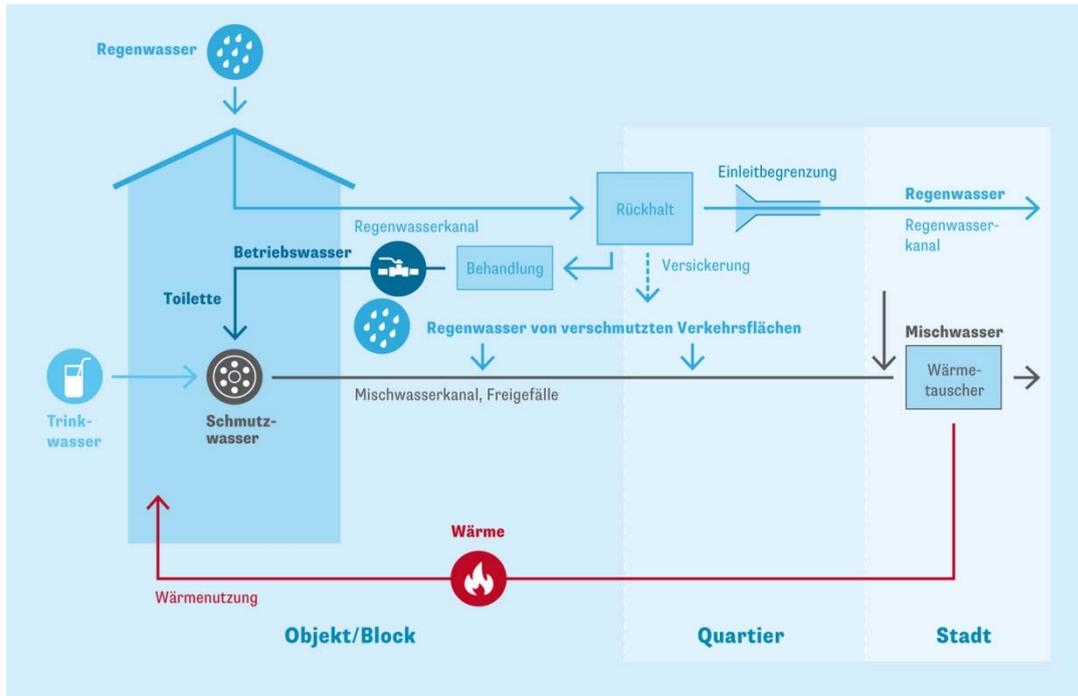


Abbildung 9.1.13: Systemvariante 2 im Modellgebiet C, Frankfurt am Main

Modellgebiet D, Hamburg

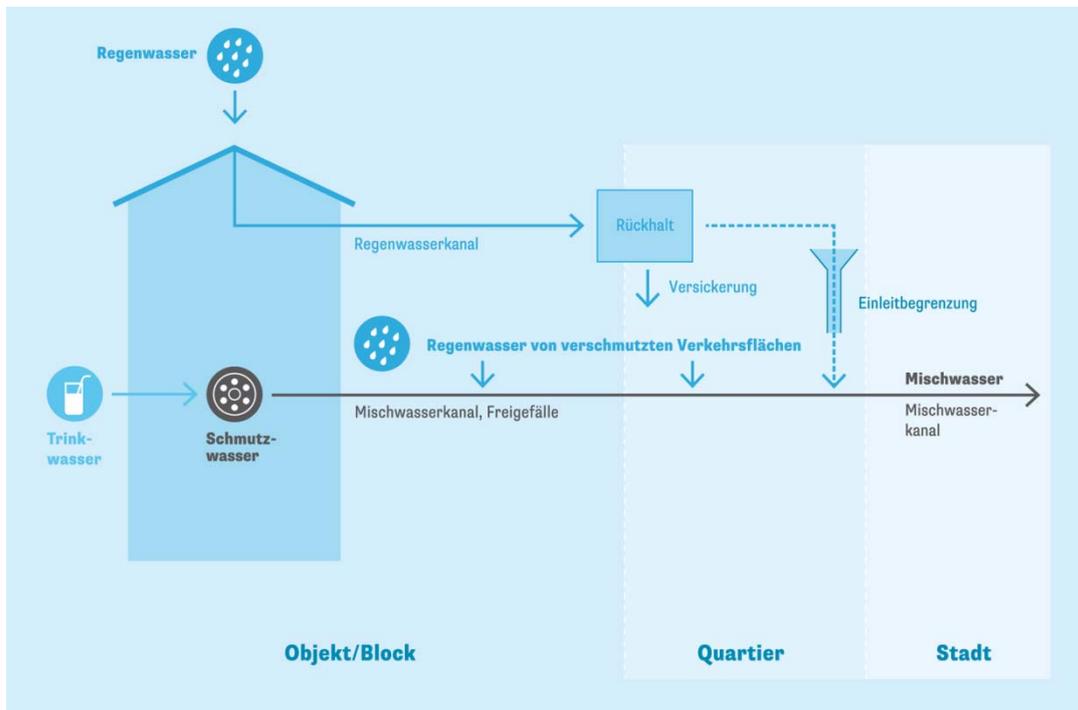


Abbildung 9.1.14: Referenzsystem im Modellgebiet D, Hamburg

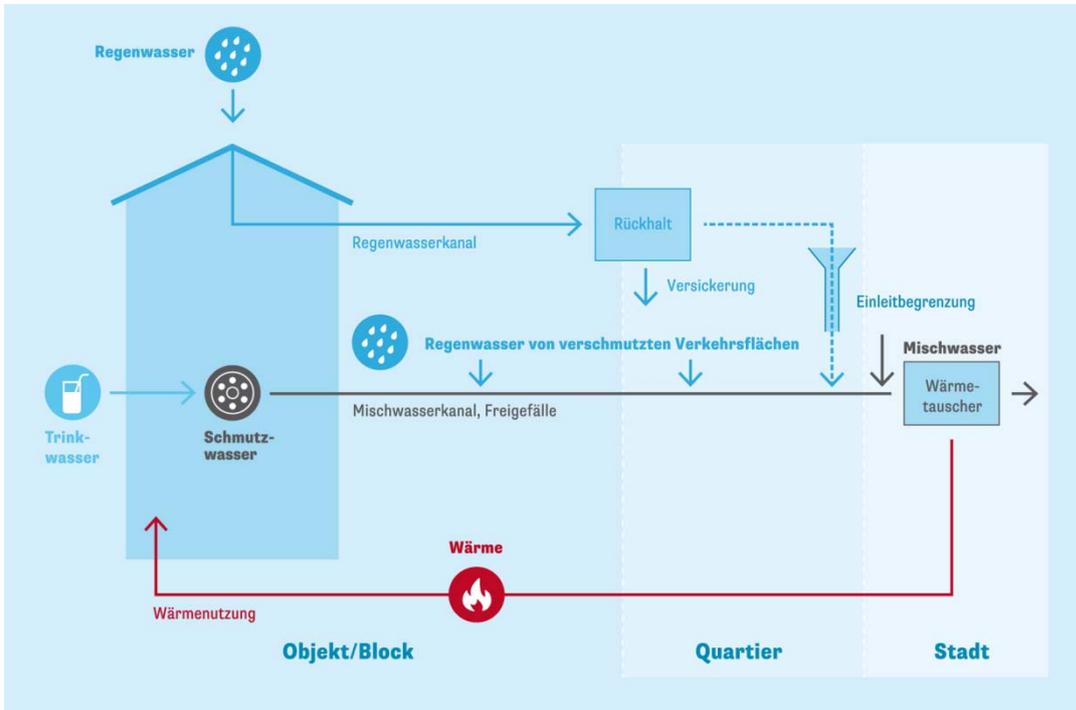


Abbildung 9.1.15: Systemvariante 1 im Modellgebiet D, Hamburg

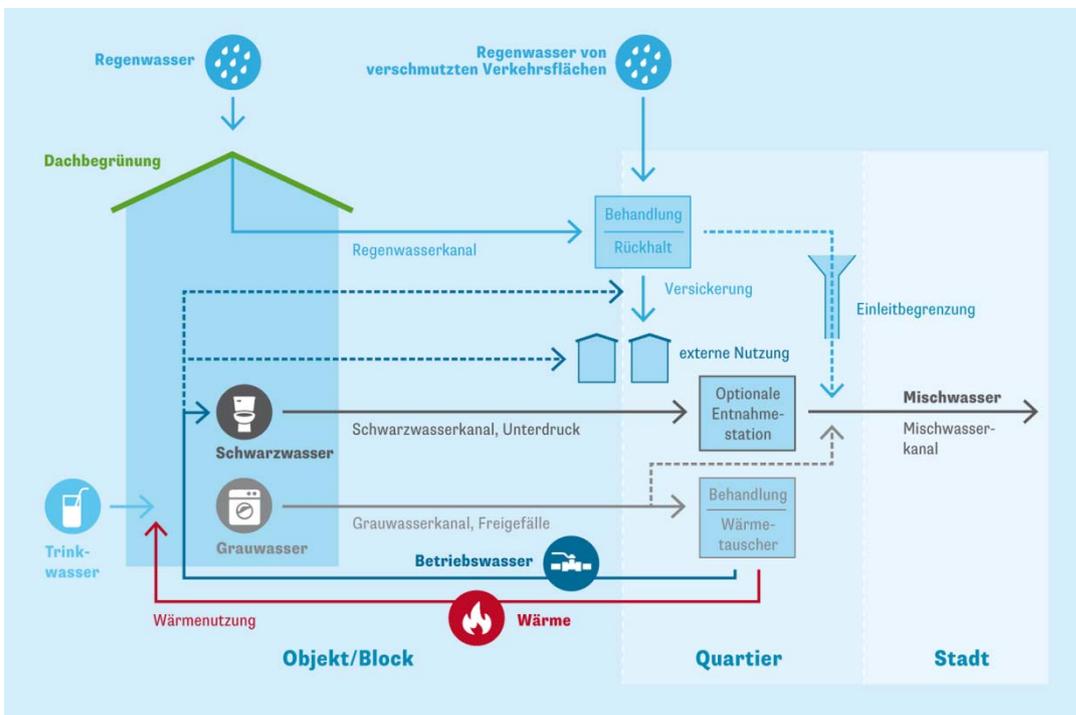


Abbildung 9.1.16: Systemvariante 2 im Modellgebiet D, Hamburg

Modellgebiet E, Hamburg

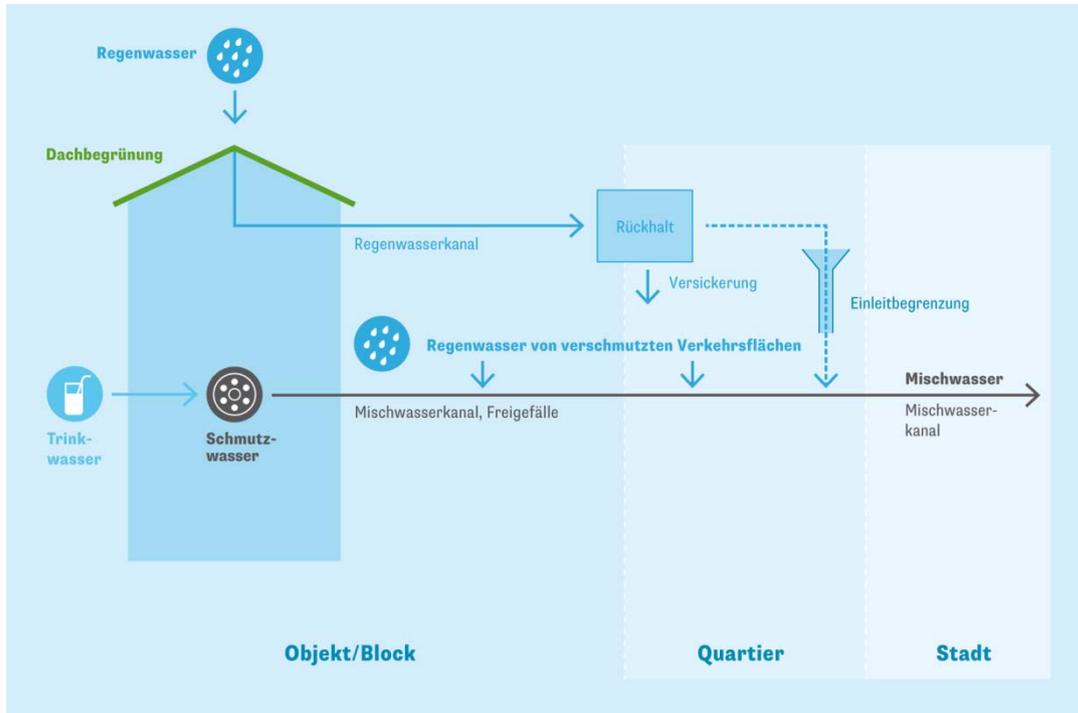


Abbildung 9.1.17: Referenzsystem im Modellgebiet E, Hamburg

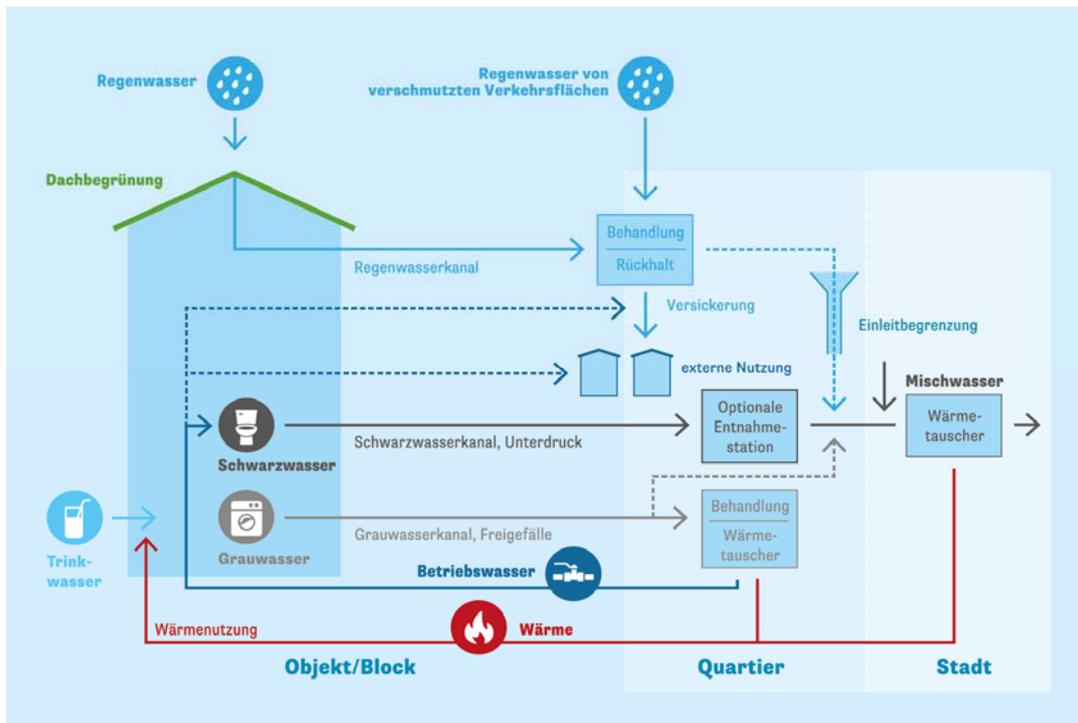


Abbildung 9.1.18: Systemvariante 1 im Modellgebiet E, Hamburg

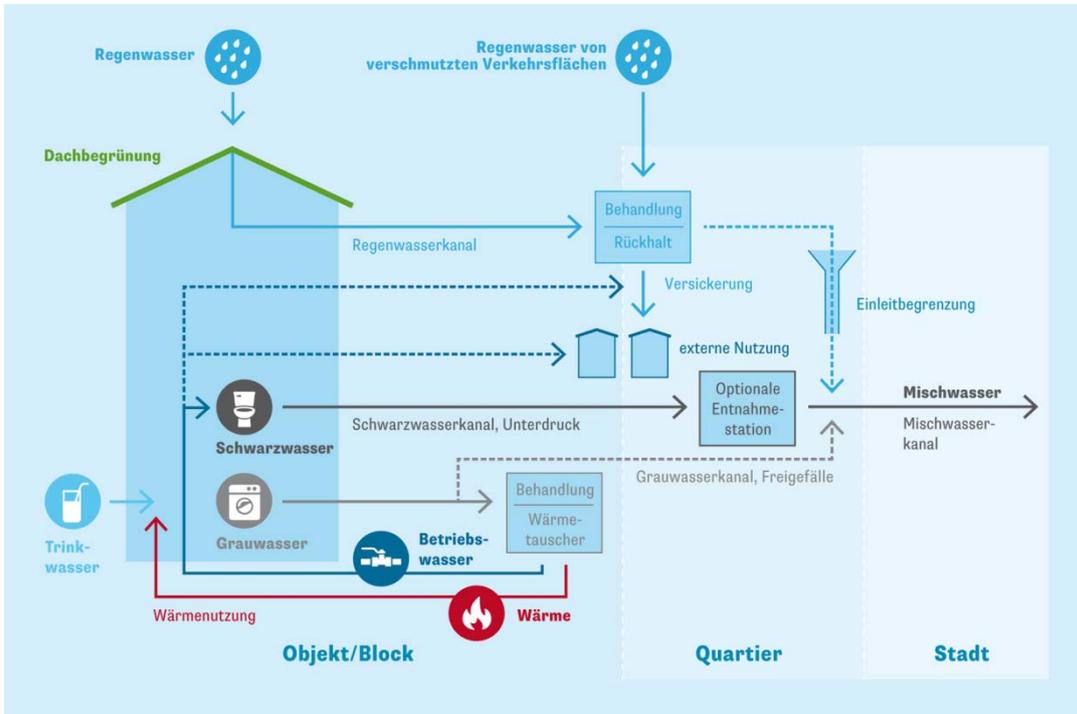


Abbildung 9.1.19: Systemvariante 2 im Modellgebiet E, Hamburg

9.2 Ergebnistabellen der vergleichenden Bewertung der Systemvarianten auf Modellgebietsebene, Auswirkungen der Transformation

Modellgebiet A, Frankfurt am Main

Tabelle 9.2.1: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet A, Frankfurt am Main, Kategorien gleichgewichtet

Nr. Bezeichnung	Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1	Technik	25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	2,0	10,0
1.1	Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2	Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	0,5	2,5	1,0	5,0
1.3	Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	0,5	2,5	1,0	5,0
1.4	Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	0,5	2,5	0,0	0,0
1.5	Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	0,5	2,5	0,0	0,0
2	Ökologie	25,0	4,4	15,7	8,0	28,6	9,6	34,3
2.1	Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.2	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	0,7	2,5	1,5	5,4	1,8	6,4
2.3	Boden-/Grundwasserschutz	3,6	0,7	2,5	1,5	5,4	1,8	6,4
2.4	Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5	Trinwasserbedarf	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.6	Strombedarf	3,6	2,0	7,1	1,0	3,6	1,0	3,6
2.7	Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	2,0	7,1
3	Ökonomie	25,0	4,0	20,0	4,0	20,0	3,0	15,0
3.1	Systemkosten	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	0,0	0,0
3.2	Einnahmen	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.3	Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0
3.4	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.5	Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	0,0	0,0
4	Soziales	25,0	4,0	33,3	3,0	25,0	2,0	16,7
4.1	Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
4.2	Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
4.3	Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	2,0	16,7
5	Gesamt	100,0	16	89	17	84	17	76

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.2: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet A, Frankfurt am Main, Kategorien Technik und Ökonomie höher gewichtet

Nr. Bezeichnung	Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1	Technik	41,7	4,0	33,3	2,0	16,7	2,0	16,7
1.1	Auswirkung auf den Bestand	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2	Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	8,3	0,0	0,0	0,5	4,2	1,0	8,3
1.3	Systemflexibilität	8,3	0,0	0,0	0,5	4,2	1,0	8,3
1.4	Einfluss extremer Ereignisse	8,3	1,0	8,3	0,5	4,2	0,0	0,0
1.5	Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	8,3	1,0	8,3	0,5	4,2	0,0	0,0
2	Ökologie	8,3	4,4	5,2	8,0	9,5	9,6	11,4
2.1	Lokale Ökosystemfunktionen	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	1,0	1,2
2.2	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	1,2	0,7	0,8	1,5	1,8	1,8	2,1
2.3	Boden-/Grundwasserschutz	1,2	0,7	0,8	1,5	1,8	1,8	2,1
2.4	Energie und Klimaschutz	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.5	Trinwasserbedarf	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	1,0	1,2
2.6	Strombedarf	1,2	2,0	2,4	1,0	1,2	1,0	1,2
2.7	Wärmerückgewinnung	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	2,0	2,4
3	Ökonomie	41,7	4,0	33,3	4,0	33,3	3,0	25,0
3.1	Systemkosten	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
3.2	Einnahmen	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.3	Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	8,3
3.4	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.5	Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
4	Soziales	8,3	4,0	11,1	3,0	8,3	2,0	5,6
4.1	Exklusionsrisiko	2,8	2,0	5,6	1,0	2,8	0,0	0,0
4.2	Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	2,8	2,0	5,6	1,0	2,8	0,0	0,0
4.3	Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	2,8	0,0	0,0	1,0	2,8	2,0	5,6
5	Gesamt	100,0	16	83	17	68	17	59

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.3: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet A, Frankfurt am Main, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	8,3	4,0	6,7	2,0	3,3	2,0	3,3
1.1 Auswirkung auf den Bestand	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	1,7	0,0	0,0	0,5	0,8	1,0	1,7
1.3 Systemflexibilität	1,7	0,0	0,0	0,5	0,8	1,0	1,7
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	1,7	1,0	1,7	0,5	0,8	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	1,7	1,0	1,7	0,5	0,8	0,0	0,0
2 Ökologie	41,7	4,4	26,2	8,0	47,6	9,6	57,1
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	6,0	0,7	4,2	1,5	8,9	1,8	10,7
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	6,0	0,7	4,2	1,5	8,9	1,8	10,7
2.4 Energie und Klimaschutz	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.5 Trinwasserbedarf	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.6 Strombedarf	6,0	2,0	11,9	1,0	6,0	1,0	6,0
2.7 Wärmerückgewinnung	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	2,0	11,9
3 Ökonomie	8,3	4,0	6,7	4,0	6,7	3,0	5,0
3.1 Systemkosten	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,7
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	0,0	0,0
4 Soziales	41,7	4,0	55,6	3,0	41,7	2,0	27,8
4.1 Exklusionsrisiko	13,9	2,0	27,8	1,0	13,9	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	13,9	2,0	27,8	1,0	13,9	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	13,9	0,0	0,0	1,0	13,9	2,0	27,8
5 Gesamt	100,0	16	95	17	99	17	93

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.4: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet A, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien nach Stakeholder-Gewichtung

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	19,4	2,0	10,0	2,0	10,6
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	3,8	0,0	0,0	0,5	1,9	1,0	3,8
1.3 Systemflexibilität	6,9	0,0	0,0	0,5	3,4	1,0	6,9
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	0,5	2,5	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	4,4	1,0	4,4	0,5	2,2	0,0	0,0
2 Ökologie	27,5	4,4	19,0	8,0	32,7	9,6	38,2
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,4	0,0	0,0	1,0	3,4	1,0	3,4
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	4,9	0,7	3,4	1,5	7,4	1,8	8,8
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	5,4	0,7	3,8	1,5	8,1	1,8	9,7
2.4 Energie und Klimaschutz	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9
2.5 Trinwasserbedarf	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	1,0	2,5
2.6 Strombedarf	2,9	2,0	5,9	1,0	2,9	1,0	2,9
2.7 Wärmerückgewinnung	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	2,0	4,9
3 Ökonomie	25,0	4,0	28,8	4,0	20,6	3,0	10,6
3.1 Systemkosten	6,3	2,0	12,5	1,0	6,3	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	1,0	2,5
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	4,4
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	3,8	0,0	0,0	1,0	3,8	1,0	3,8
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,1	2,0	16,3	1,0	8,1	0,0	0,0
4 Soziales	22,5	4,0	31,9	3,0	22,5	2,0	13,1
4.1 Exklusionsrisiko	7,5	2,0	15,0	1,0	7,5	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,4	2,0	16,9	1,0	8,4	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	6,6	0,0	0,0	1,0	6,6	2,0	13,1
5 Gesamt	100,0	16	99	17	86	17	73

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Modellgebiet B, Frankfurt am Main

Table 9.2.5: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet B, Frankfurt am Main, Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	20,0	3,0	15,0	2,0	10,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.3 Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	25,0	2,0	7,1	9,0	32,1	6,4	22,9
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	2,0	7,1
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	0,7	2,5
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	0,7	2,5
2.4 Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5 Trinkwasserbedarf	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.6 Strombedarf	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	0,0	0,0
2.7 Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	1,0	3,6
3 Ökonomie	25,0	4,0	20,0	3,0	15,0	4,0	20,0
3.1 Systemkosten	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	1,0	5,0
3.2 Einnahmen	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	25,0	4,0	33,3	3,0	25,0	3,0	25,0
4.1 Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	1,0	8,3
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	1,0	8,3
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
5 Gesamt	100,0	14	80	18	87	15	78

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Table 9.2.6: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet B, Frankfurt am Main, Kategorien Technik und Ökonomie höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	41,7	4,0	33,3	3,0	25,0	2,0	16,7
1.1 Auswirkung auf den Bestand	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
1.3 Systemflexibilität	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	8,3	1,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	8,3	2,0	2,4	9,0	10,7	6,4	7,6
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	1,2	0,0	0,0	2,0	2,4	2,0	2,4
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	0,7	0,8
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	0,7	0,8
2.4 Energie und Klimaschutz	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.5 Trinkwasserbedarf	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	1,0	1,2
2.6 Strombedarf	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	0,0	0,0
2.7 Wärmerückgewinnung	1,2	0,0	0,0	2,0	2,4	1,0	1,2
3 Ökonomie	41,7	4,0	33,3	3,0	25,0	4,0	33,3
3.1 Systemkosten	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	1,0	8,3
3.2 Einnahmen	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	8,3	4,0	11,1	3,0	8,3	3,0	8,3
4.1 Exklusionsrisiko	2,8	2,0	5,6	1,0	2,8	1,0	2,8
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	2,8	2,0	5,6	1,0	2,8	1,0	2,8
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	2,8	0,0	0,0	1,0	2,8	1,0	2,8
5 Gesamt	100,0	14	80	18	69	15	66

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.7: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet B, Frankfurt am Main, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien Nr. Bezeichnung	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	8,3	4,0	6,7	3,0	5,0	2,0	3,3
1.1 Auswirkung auf den Bestand	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
1.3 Systemflexibilität	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	1,7	1,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	41,7	2,0	11,9	9,0	53,6	6,4	38,1
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	6,0	0,0	0,0	2,0	11,9	2,0	11,9
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	0,7	4,2
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	0,7	4,2
2.4 Energie und Klimaschutz	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.5 Trinkwasserbedarf	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.6 Strombedarf	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	0,0	0,0
2.7 Wärmerückgewinnung	6,0	0,0	0,0	2,0	11,9	1,0	6,0
3 Ökonomie	8,3	4,0	6,7	3,0	5,0	4,0	6,7
3.1 Systemkosten	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	1,0	1,7
3.2 Einnahmen	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	41,7	4,0	55,6	3,0	41,7	3,0	41,7
4.1 Exklusionsrisiko	13,9	2,0	27,8	1,0	13,9	1,0	13,9
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	13,9	2,0	27,8	1,0	13,9	1,0	13,9
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	13,9	0,0	0,0	1,0	13,9	1,0	13,9
5 Gesamt	100,0	14	81	18	105	15	90

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.8: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet B, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien nach Stakeholder-Gewichtung

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien Nr. Bezeichnung	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	19,4	3,0	15,6	2,0	10,6
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	3,8	0,0	0,0	1,0	3,8	1,0	3,8
1.3 Systemflexibilität	6,9	0,0	0,0	1,0	6,9	1,0	6,9
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	4,4	1,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	27,5	2,0	8,8	9,0	33,4	6,4	24,9
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,4	0,0	0,0	2,0	6,9	2,0	6,9
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	4,9	0,0	0,0	1,0	4,9	0,7	3,4
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	5,4	0,0	0,0	1,0	5,4	0,7	3,8
2.4 Energie und Klimaschutz	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9
2.5 Trinkwasserbedarf	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	1,0	2,5
2.6 Strombedarf	2,9	1,0	2,9	1,0	2,9	0,0	0,0
2.7 Wärmerückgewinnung	2,5	0,0	0,0	2,0	4,9	1,0	2,5
3 Ökonomie	25,0	4,0	28,8	3,0	10,6	4,0	16,9
3.1 Systemkosten	6,3	2,0	12,5	0,0	0,0	1,0	6,3
3.2 Einnahmen	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	1,0	2,5
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	4,4	0,0	0,0	1,0	4,4	1,0	4,4
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	3,8	0,0	0,0	1,0	3,8	1,0	3,8
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,1	2,0	16,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	22,5	4,0	31,9	3,0	22,5	3,0	22,5
4.1 Exklusionsrisiko	7,5	2,0	15,0	1,0	7,5	1,0	7,5
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,4	2,0	16,9	1,0	8,4	1,0	8,4
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	6,6	0,0	0,0	1,0	6,6	1,0	6,6
5 Gesamt	100,0	14	89	18	82	15	75

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Modellgebiet C, Frankfurt am Main

Tabelle 9.2.9: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet C, Frankfurt am Main, Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	2,0	10,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.3 Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
2 Ökologie	25,0	4,6	16,4	6,0	21,4	5,1	18,2
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,8
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	0,3	1,1	0,5	1,8	0,3	1,1
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	3,6	0,3	1,1	0,5	1,8	0,3	1,1
2.4 Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5 Trinwasserbedarf	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.6 Strombedarf	3,6	2,0	7,1	1,0	3,6	1,0	3,6
2.7 Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	1,0	3,6
3 Ökonomie	25,0	4,0	20,0	5,0	25,0	5,0	25,0
3.1 Systemkosten	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	1,0	5,0
3.2 Einnahmen	5,0	0,0	0,0	2,0	10,0	1,0	5,0
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	1,0	5,0
4 Soziales	25,0	4,0	33,3	5,0	41,7	3,0	25,0
4.1 Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	2,0	16,7	1,0	8,3
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	2,0	16,7	1,0	8,3
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
5 Gesamt	100,0	17	90	18	98	15	78

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.10: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet C, Frankfurt am Main, Kategorien Technik und Ökonomie höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	41,7	4,0	33,3	2,0	16,7	2,0	16,7
1.1 Auswirkung auf den Bestand	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.3 Systemflexibilität	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3
2 Ökologie	8,3	4,6	5,5	6,0	7,1	5,1	6,1
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	1,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	1,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4
2.4 Energie und Klimaschutz	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.5 Trinwasserbedarf	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.6 Strombedarf	1,2	2,0	2,4	1,0	1,2	1,0	1,2
2.7 Wärmerückgewinnung	1,2	0,0	0,0	2,0	2,4	1,0	1,2
3 Ökonomie	41,7	4,0	33,3	5,0	41,7	5,0	41,7
3.1 Systemkosten	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	1,0	8,3
3.2 Einnahmen	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	1,0	8,3
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	1,0	8,3
4 Soziales	8,3	4,0	11,1	5,0	13,9	3,0	8,3
4.1 Exklusionsrisiko	2,8	2,0	5,6	2,0	5,6	1,0	2,8
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	2,8	2,0	5,6	2,0	5,6	1,0	2,8
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	2,8	0,0	0,0	1,0	2,8	1,0	2,8
5 Gesamt	100,0	17	83	18	79	15	73

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.11: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet C, Frankfurt am Main, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	8,3	4,0	6,7	2,0	3,3	2,0	3,3
1.1 Auswirkung auf den Bestand	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.3 Systemflexibilität	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7
2 Ökologie	41,7	4,6	27,4	6,0	35,7	5,1	30,4
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	3,0
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	6,0	0,3	1,8	0,5	3,0	0,3	1,8
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	6,0	0,3	1,8	0,5	3,0	0,3	1,8
2.4 Energie und Klimaschutz	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.5 Trinkwasserbedarf	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.6 Strombedarf	6,0	2,0	11,9	1,0	6,0	1,0	6,0
2.7 Wärmerückgewinnung	6,0	0,0	0,0	2,0	11,9	1,0	6,0
3 Ökonomie	8,3	4,0	6,7	5,0	8,3	5,0	8,3
3.1 Systemkosten	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	1,0	1,7
3.2 Einnahmen	1,7	0,0	0,0	2,0	3,3	1,0	1,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	1,0	1,7
4 Soziales	41,7	4,0	55,6	5,0	69,4	3,0	41,7
4.1 Exklusionsrisiko	13,9	2,0	27,8	2,0	27,8	1,0	13,9
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	13,9	2,0	27,8	2,0	27,8	1,0	13,9
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	13,9	0,0	0,0	1,0	13,9	1,0	13,9
5 Gesamt	100,0	17	96	18	117	15	84

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.12: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet C, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien nach Stakeholder-Gewichtung

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	19,4	2,0	9,4	2,0	9,4
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.3 Systemflexibilität	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	4,4	1,0	4,4	1,0	4,4	1,0	4,4
2 Ökologie	27,5	4,6	17,3	6,0	21,4	5,1	18,6
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	4,9	0,3	1,5	0,5	2,5	0,3	1,5
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	5,4	0,3	1,6	0,5	2,7	0,3	1,6
2.4 Energie und Klimaschutz	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9	1,0	5,9
2.5 Trinkwasserbedarf	2,5	1,0	2,5	1,0	2,5	1,0	2,5
2.6 Strombedarf	2,9	2,0	5,9	1,0	2,9	1,0	2,9
2.7 Wärmerückgewinnung	2,5	0,0	0,0	2,0	4,9	1,0	2,5
3 Ökonomie	25,0	4,0	28,8	5,0	21,3	5,0	25,0
3.1 Systemkosten	6,3	2,0	12,5	0,0	0,0	1,0	6,3
3.2 Einnahmen	2,5	0,0	0,0	2,0	5,0	1,0	2,5
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	4,4	0,0	0,0	1,0	4,4	1,0	4,4
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	3,8	0,0	0,0	1,0	3,8	1,0	3,8
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,1	2,0	16,3	1,0	8,1	1,0	8,1
4 Soziales	22,5	4,0	31,9	5,0	38,4	3,0	22,5
4.1 Exklusionsrisiko	7,5	2,0	15,0	2,0	15,0	1,0	7,5
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,4	2,0	16,9	2,0	16,9	1,0	8,4
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	6,6	0,0	0,0	1,0	6,6	1,0	6,6
5 Gesamt	100,0	17	97	18	90	15	75

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Modellgebiet D, Hamburg

Tabelle 9.2.13: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet D, Hamburg, Kategorien gleichgewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	3,0	15,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0
1.3 Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0
2 Ökologie	25,0	6,6	23,6	6,6	23,6	8,9	31,8
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,8
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	1,3	4,6	1,3	4,6	1,7	6,1
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	3,6	1,3	4,6	1,3	4,6	1,7	6,1
2.4 Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5 Trinwasserbedarf	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	2,0	7,1
2.6 Strombedarf	3,6	2,0	7,1	0,0	0,0	1,0	3,6
2.7 Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	1,0	3,6
3 Ökonomie	25,0	4,0	20,0	7,0	35,0	3,0	15,0
3.1 Systemkosten	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	5,0	0,0	0,0	2,0	10,0	1,0	5,0
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	2,0	10,0	1,0	5,0
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	0,0	0,0
4 Soziales	25,0	4,0	33,3	5,0	41,7	2,0	16,7
4.1 Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	2,0	16,7	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	2,0	16,7	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	2,0	16,7
5 Gesamt	100,0	19	97	21	110	17	78

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.14: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet D, Hamburg, Kategorien Technik und Ökonomie höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	41,7	4,0	33,3	2,0	16,7	3,0	25,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	8,3
1.3 Systemflexibilität	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	8,3
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	8,3	1,0	8,3	1,0	8,3	0,0	0,0
2 Ökologie	8,3	6,6	7,9	6,6	7,9	8,9	10,6
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	1,2	1,3	1,5	1,3	1,5	1,7	2,0
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	1,2	1,3	1,5	1,3	1,5	1,7	2,0
2.4 Energie und Klimaschutz	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.5 Trinwasserbedarf	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	2,0	2,4
2.6 Strombedarf	1,2	2,0	2,4	0,0	0,0	1,0	1,2
2.7 Wärmerückgewinnung	1,2	0,0	0,0	2,0	2,4	1,0	1,2
3 Ökonomie	41,7	4,0	33,3	7,0	58,3	3,0	25,0
3.1 Systemkosten	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	1,0	8,3
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	1,0	8,3
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	0,0	0,0
4 Soziales	8,3	4,0	11,1	5,0	13,9	2,0	5,6
4.1 Exklusionsrisiko	2,8	2,0	5,6	2,0	5,6	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	2,8	2,0	5,6	2,0	5,6	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	2,8	0,0	0,0	1,0	2,8	2,0	5,6
5 Gesamt	100,0	19	86	21	97	17	66

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.15: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet D, Hamburg, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	8,3	4,0	6,7	2,0	3,3	3,0	5,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,7
1.3 Systemflexibilität	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,7
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	1,7	1,0	1,7	1,0	1,7	0,0	0,0
2 Ökologie	41,7	6,6	39,3	6,6	39,3	8,9	53,0
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	3,0
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	6,0	1,3	7,7	1,3	7,7	1,7	10,1
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	6,0	1,3	7,7	1,3	7,7	1,7	10,1
2.4 Energie und Klimaschutz	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.5 Trinkwasserbedarf	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	2,0	11,9
2.6 Strombedarf	6,0	2,0	11,9	0,0	0,0	1,0	6,0
2.7 Wärmerückgewinnung	6,0	0,0	0,0	2,0	11,9	1,0	6,0
3 Ökonomie	8,3	4,0	6,7	7,0	11,7	3,0	5,0
3.1 Systemkosten	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	1,7	0,0	0,0	2,0	3,3	1,0	1,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	1,7	0,0	0,0	2,0	3,3	1,0	1,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	0,0	0,0
4 Soziales	41,7	4,0	55,6	5,0	69,4	2,0	27,8
4.1 Exklusionsrisiko	13,9	2,0	27,8	2,0	27,8	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	13,9	2,0	27,8	2,0	27,8	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	13,9	0,0	0,0	1,0	13,9	2,0	27,8
5 Gesamt	100,0	19	108	21	124	17	91

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.16: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet D, Hamburg, Kategorien und Kriterien nach Stakeholder-Gewichtung

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	30,0	4,0	22,5	2,0	12,0	3,0	18,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,3	2,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,5
1.3 Systemflexibilität	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,3
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,3	1,0	5,3	1,0	5,3	1,0	5,3
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	6,8	1,0	6,8	1,0	6,8	0,0	0,0
2 Ökologie	23,8	6,6	20,9	6,6	22,6	8,9	27,9
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	2,1	1,3	2,8	1,3	2,8	1,7	3,6
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	2,5	1,3	3,3	1,3	3,3	1,7	4,3
2.4 Energie und Klimaschutz	3,8	1,0	3,8	1,0	3,8	1,0	3,8
2.5 Trinkwasserbedarf	2,5	1,0	2,5	1,0	2,5	2,0	5,1
2.6 Strombedarf	4,2	2,0	8,5	0,0	0,0	1,0	4,2
2.7 Wärmerückgewinnung	5,1	0,0	0,0	2,0	10,2	1,0	5,1
3 Ökonomie	21,3	4,0	18,1	7,0	27,6	3,0	12,2
3.1 Systemkosten	4,3	2,0	8,5	1,0	4,3	0,0	0,0
3.2 Einnahmen	2,7	0,0	0,0	2,0	5,3	1,0	2,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,8	0,0	0,0	1,0	5,8	1,0	5,8
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	3,7	0,0	0,0	2,0	7,4	1,0	3,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	4,8	2,0	9,6	1,0	4,8	0,0	0,0
4 Soziales	25,0	4,0	37,5	5,0	43,8	2,0	12,5
4.1 Exklusionsrisiko	3,1	2,0	6,3	2,0	6,3	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	15,6	2,0	31,3	2,0	31,3	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	6,3	0,0	0,0	1,0	6,3	2,0	12,5
5 Gesamt	100	19	99	21	106	17	71

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Modellgebiet E, Hamburg

Tabelle 9.2.17: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet E (Tucholsky-Quartier), Hamburg, Kategorien gleichgewichtet

Nr. Bezeichnung	Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik		25,0	4,0	20,0	2,0	10,0	3,0	15,0
1.1	Auswirkung auf den Bestand	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2	Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.3	Systemflexibilität	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
1.4	Einfluss extremer Ereignisse	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0
1.5	Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	5,0	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie		25,0	4,6	16,4	8,4	30,0	8,4	30,0
2.1	Lokale Ökosystemfunktionen	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.2	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	3,6	1,3	4,6	1,7	6,1	1,7	6,1
2.3	Boden-/Grundwasserschutz	3,6	1,3	4,6	1,7	6,1	1,7	6,1
2.4	Energie und Klimaschutz	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6	1,0	3,6
2.5	Trinwasserbedarf	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6	1,0	3,6
2.6	Strombedarf	3,6	1,0	3,6	0,0	0,0	1,0	3,6
2.7	Wärmerückgewinnung	3,6	0,0	0,0	2,0	7,1	1,0	3,6
3 Ökonomie		25,0	4,0	20,0	5,0	25,0	4,0	20,0
3.1	Systemkosten	5,0	2,0	10,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.2	Einnahmen	5,0	0,0	0,0	2,0	10,0	1,0	5,0
3.3	Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.4	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	5,0	0,0	0,0	1,0	5,0	1,0	5,0
3.5	Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	5,0	2,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales		25,0	4,0	33,3	2,0	16,7	2,0	16,7
4.1	Exklusionsrisiko	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4.2	Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4.3	Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	2,0	16,7
5 Gesamt		100,0	17	90	17	82	17	82

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.18: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet E (Tucholsky-Quartier), Hamburg, Kategorien Technik und Ökonomie höher gewichtet

Nr. Bezeichnung	Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik		41,7	4,0	33,3	2,0	16,7	3,0	25,0
1.1	Auswirkung auf den Bestand	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2	Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
1.3	Systemflexibilität	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
1.4	Einfluss extremer Ereignisse	8,3	1,0	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3
1.5	Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	8,3	1,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie		8,3	4,6	5,5	8,4	10,0	8,4	10,0
2.1	Lokale Ökosystemfunktionen	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	1,0	1,2
2.2	Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	1,2	1,3	1,5	1,7	2,0	1,7	2,0
2.3	Boden-/Grundwasserschutz	1,2	1,3	1,5	1,7	2,0	1,7	2,0
2.4	Energie und Klimaschutz	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
2.5	Trinwasserbedarf	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2	1,0	1,2
2.6	Strombedarf	1,2	1,0	1,2	0,0	0,0	1,0	1,2
2.7	Wärmerückgewinnung	1,2	0,0	0,0	2,0	2,4	1,0	1,2
3 Ökonomie		41,7	4,0	33,3	5,0	41,7	4,0	33,3
3.1	Systemkosten	8,3	2,0	16,7	1,0	8,3	1,0	8,3
3.2	Einnahmen	8,3	0,0	0,0	2,0	16,7	1,0	8,3
3.3	Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.4	Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	8,3	0,0	0,0	1,0	8,3	1,0	8,3
3.5	Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	8,3	2,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales		8,3	4,0	11,1	2,0	5,6	2,0	5,6
4.1	Exklusionsrisiko	2,8	2,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4.2	Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	2,8	2,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4.3	Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	2,8	0,0	0,0	2,0	5,6	2,0	5,6
5 Gesamt		100,0	17	83	17	74	17	74

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.19: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet E (Tucholsky-Quartier), Hamburg, Kategorien Ökologie und Soziales höher gewichtet

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	8,3	4,0	6,7	2,0	3,3	3,0	5,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
1.3 Systemflexibilität	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	1,7	1,0	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	1,7	1,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	41,7	4,6	27,4	8,4	50,0	8,4	50,0
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	6,0	1,3	7,7	1,7	10,1	1,7	10,1
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	6,0	1,3	7,7	1,7	10,1	1,7	10,1
2.4 Energie und Klimaschutz	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.5 Trinwasserbedarf	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0	1,0	6,0
2.6 Strombedarf	6,0	1,0	6,0	0,0	0,0	1,0	6,0
2.7 Wärmerückgewinnung	6,0	0,0	0,0	2,0	11,9	1,0	6,0
3 Ökonomie	8,3	4,0	6,7	5,0	8,3	4,0	6,7
3.1 Systemkosten	1,7	2,0	3,3	1,0	1,7	1,0	1,7
3.2 Einnahmen	1,7	0,0	0,0	2,0	3,3	1,0	1,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	1,7	0,0	0,0	1,0	1,7	1,0	1,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	1,7	2,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	41,7	4,0	55,6	2,0	27,8	2,0	27,8
4.1 Exklusionsrisiko	13,9	2,0	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	13,9	2,0	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	13,9	0,0	0,0	2,0	27,8	2,0	27,8
5 Gesamt	100,0	17	96	17	89	17	89

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.2.20: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet E (Tucholsky-Quartier), Hamburg, Kategorien und Kriterien nach Stakeholder-Gewichtung

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien	Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
		Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1 Technik	30,0	4,0	22,5	2,0	12,8	3,0	18,0
1.1 Auswirkung auf den Bestand	5,3	2,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1.2 Synergiepotenzial (mit anderen Infrastrukturen)	7,5	0,0	0,0	1,0	7,5	1,0	7,5
1.3 Systemflexibilität	5,3	0,0	0,0	1,0	5,3	1,0	5,3
1.4 Einfluss extremer Ereignisse	5,3	1,0	5,3	0,0	0,0	1,0	5,3
1.5 Auswirkung bei Versagen (Resilienz)	6,8	1,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0
2 Ökologie	23,8	4,6	14,1	8,4	27,9	8,4	27,0
2.1 Lokale Ökosystemfunktionen	3,4	0,0	0,0	1,0	3,4	1,0	3,4
2.2 Gewässerschutz (Oberflächengewässer)	2,1	1,3	2,8	1,7	3,6	1,7	3,6
2.3 Boden-/Grundwasserschutz	2,5	1,3	3,3	1,7	4,3	1,7	4,3
2.4 Energie und Klimaschutz	3,8	1,0	3,8	1,0	3,8	1,0	3,8
2.5 Trinwasserbedarf	2,5	0,0	0,0	1,0	2,5	1,0	2,5
2.6 Strombedarf	4,2	1,0	4,2	0,0	0,0	1,0	4,2
2.7 Wärmerückgewinnung	5,1	0,0	0,0	2,0	10,2	1,0	5,1
3 Ökonomie	21,3	4,0	18,1	5,0	19,1	4,0	16,5
3.1 Systemkosten	4,3	2,0	8,5	1,0	4,3	1,0	4,3
3.2 Einnahmen	2,7	0,0	0,0	2,0	5,3	1,0	2,7
3.3 Wettbewerbsfähigkeit, Innovationsführerschaft	5,8	0,0	0,0	1,0	5,8	1,0	5,8
3.4 Systemwechselfähigkeit (Flexibilität)	3,7	0,0	0,0	1,0	3,7	1,0	3,7
3.5 Auswirkungen auf spez. Kosten (Warm-/Kaltmiete)	4,8	2,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Soziales	25,0	4,0	37,5	2,0	12,5	2,0	12,5
4.1 Exklusionsrisiko	3,1	2,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4.2 Handhabbarkeit (Bedienkomfort)	15,6	2,0	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4.3 Sensibilisierungspotenzial (Ressourcennutzung)	6,3	0,0	0,0	2,0	12,5	2,0	12,5
5 Gesamt	100,0	17	92	17	72	17	74

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

9.3 Ergebnistabellen der vergleichenden Bewertung der Systemvarianten auf Modellgebietsebene, Anforderungen an den Transformationsprozess

Tabelle 9.3.1: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet A, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien gleichgewichtet, Anforderungen

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien		Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	4,5	50,0	4,0	44,4
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	1,5	16,7
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	0,5	5,6
2	Governance (Planung)	33,3	4,5	50,0	1,5	16,7	1,0	11,1
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	1,5	16,7	0,5	5,6	0,0	0,0
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	1,0	11,1
3	Recht	33,3	10,0	66,7	8,0	53,3	7,5	50,0
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	0,5	3,3
3.5	Fachliche Normen und Standards (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	183	14	120	13	106

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.3.2: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet B, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien gleichgewichtet, Anforderungen

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien		Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	4,5	50,0	4,5	50,0
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	1,5	16,7
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	1,0	11,1
2	Governance (Planung)	33,3	5,0	55,6	2,0	22,2	1,5	16,7
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	0,5	5,6
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	1,0	11,1
3	Recht	33,3	10,0	66,7	6,5	43,3	7,0	46,7
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,5	10,0	1,5	10,0
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	0,0	0,0	0,5	3,3
3.5	Fachliche Normen und Standards (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	189	13	116	13	113

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.3.3: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet C, Frankfurt am Main, Kategorien und Kriterien gleichgewichtet, Anforderungen

Nr.	Bezeichnung	Relative Gewichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾	Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾	Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	5,0	55,6	6,0	66,7
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	2,0	22,2
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	2,0	22,2
2	Governance (Planung)	33,3	4,5	50,0	3,5	38,9	4,0	44,4
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	1,5	16,7	1,5	16,7	1,0	11,1
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	2,0	22,2
3	Recht	33,3	10,0	66,7	8,0	53,3	8,0	53,3
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	2,0	13,3
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
3.5	Fachliche Normen und Standards (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	183	17	148	18	164

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.3.4: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet D (Struensee-Quartier), Hamburg, Kategorien und Kriterien gleichgewichtet, Anforderungen

Nr.	Bezeichnung	Relative Gewichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾	Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾	Ziel-erträge ¹⁾	Nutz-werte ²⁾
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	6,0	66,7	5,5	61,1
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	1,5	16,7
2	Governance (Planung)	33,3	4,5	50,0	4,5	50,0	2,0	22,2
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	1,5	16,7	1,5	16,7	0,0	0,0
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	1,0	11,1
3	Recht	33,3	10,0	66,7	8,0	53,3	4,0	26,7
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	0,5	3,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	0,5	3,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	2,0	13,3	0,5	3,3
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,5	10,0
3.5	Fachliche Normen und Standards	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	183	19	170	12	110

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag

Tabelle 9.3.5: Ergebnisse der vergleichenden Bewertung (NWA) der technischen Systemvarianten im Modellgebiet E (Tucholsky-Quartier), Hamburg, Kategorien und Kriterien gleichgewichtet, Anforderungen

Bewertungskategorien/ Bewertungskriterien		Relative Ge- wichtung	Referenz		Variante 1		Variante 2	
			Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾	Ziel- erträge ¹⁾	Nutz- werte ²⁾
Nr.	Bezeichnung							
1	Organisation (Technik)	33,3	6,0	66,7	5,5	61,1	5,5	61,1
1.1	Strukturen/Formen (Anpassungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.2	Betrieb/Kompetenzen (Qualifikationsbedarf)	11,1	2,0	22,2	2,0	22,2	2,0	22,2
1.3	Transaktionsaufwand (Abstimmungsaufwand)	11,1	2,0	22,2	1,5	16,7	1,5	16,7
2	Governance (Planung)	33,3	5,0	55,6	2,0	22,2	2,0	22,2
2.1	Synergiepotenzial (Leitbilder)	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1	1,0	11,1
2.2	Abstimmungsbedarf (Stakeholder)	11,1	2,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2.3	Unternehmerisches Wagnis (regulatorisches Risiko)	11,1	2,0	22,2	1,0	11,1	1,0	11,1
3	Recht	33,3	10,0	66,7	3,0	20,0	3,5	23,3
3.1	EU-Recht; Bundesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.2	Landesrecht (Änderungsbedarf)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.3	Kommunalrecht (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	0,5	3,3
3.4	Vertragsgestaltung (Anpassungsaufwand)	6,7	2,0	13,3	0,5	3,3	1,0	6,7
3.5	Fachliche Normen und Standards	6,7	2,0	13,3	1,0	6,7	1,0	6,7
4	Gesamt	100,0	21	189	11	103	11	107

¹⁾ **Zielerträge:** 2 (gut), 1 (mittel), 0 (schlecht)

²⁾ **Nutzwerte:** Gewichtung * Zielertrag