



ISOE-Materialien Soziale Ökologie **68**

Engelbert Schramm, Martina Winker

# Transformation der Wasserinfrastruktur im Siedlungsbestand als Herausforderung

**Pfade, Instrumente und Entwicklungsbedarf**



ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 68

ISSN 1614-8193

Die Reihe „ISOE-Materialien Soziale Ökologie“ setzt die Reihe  
„Materialien Soziale Ökologie (MSÖ)“ (ISSN: 1617-3120) fort.

Engelbert Schramm, Martina Winker

# Transformation der Wasserinfrastruktur im Siedlungsbestand als Herausforderung

**Pfade, Instrumente und Entwicklungsbedarf**

Herausgeber:

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH

Hamburger Allee 45

60486 Frankfurt am Main



Namensnennung – Weitergabe unter gleichen  
Bedingungen 3.0 Deutschland (CC BY-SA 3.0 DE)

Titelbild: romeo ninov/EyeEm – stock.adobe.com

Frankfurt am Main, 2023

## Zu diesem Text

Ein veränderter Umgang mit der Ressource Wasser in den Gemeinden und Städten kann Umweltentlastungen, Klimaanpassung und Klimaschutz bewirken. Die in diesem Zusammenhang anstehenden Umweltinnovationen zielen unter anderem auf neuartige Wassersysteme, die die Nutzung von Betriebswasser beziehungsweise die Rückführung von getrennten Abwasserströmen zur weiteren Verwertung und Nutzung beinhalten. Dies erfordert eine Umgestaltung der Wasserinfrastruktur, die insbesondere für den Gebäudebestand noch nicht systematisch auf funktionierende Lösungen hin entwickelt ist. Mit Förderung der DBU konnte diese Arbeit zur wasserwirtschaftlichen Transformation im Bestand über eine Desktop-Untersuchung und ein Werkstattgespräch aufgenommen werden; die Ergebnisse werden hier vorgestellt. Es wurden entkräftbare Einwände, aber auch existierende Hemmnisse ermittelt. Die Anlässe und Gelegenheitsfenster, die sich für die Transformation ergeben, werden nach Bestandsgebietstypen und möglichen Transformationspfaden beispielhaft dargelegt. Die möglichen Instrumente sind als eine Art Werkzeugkasten nach planungs- und rechtlichen, finanziellen und fördernden, technisch-organisatorischen, kooperativen und informativen Instrumenten sortiert. Darüber hinaus wurden die Forschungs- und Entwicklungsbedarfe identifiziert, die anzugehen sind, will man die Transformation der Wasserinfrastruktur im Gebäudebestand voranbringen.

## About this text

A change in the way municipalities handle their water resources can cause environmental relief, climate adaptation and climate protection. The environmental innovations in this context are aimed, among other things, at novel water systems that include the use of process water or the recycling of separate wastewater flows for reuse. But this requires a redesign of the water infrastructure, which has not yet been systematically developed to provide functioning solutions, especially for existing settlements. With funding from the DBU, it was possible to start this work on water management transformation in existing settlements via a desktop study and a workshop discussion the results of which are presented herein. Both refutable objections and existing obstacles were identified. The occasions and windows of opportunity that arise for transformation are exemplified according to existing area type and possible transformation paths. The eligible instruments are sorted as a kind of toolbox according to the following instruments: Planning, legal, financial, funding, technologic-organizational, cooperative and informative ones. In addition, research and development needs were identified that should be addressed in order to advance the transformation of the water infrastructure in existing settlements.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Transformation im Bestand als Herausforderung</b> .....	<b>6</b>
2.1	Zielstellungen und Anlässe der Innovation.....	6
2.2	Hindernisse, Risiken und Widerstände.....	7
2.2.1	Entkräftbare Einwände.....	8
2.2.2	Hemmnisse und Hürden.....	11
2.2.3	Komplexität als Herausforderung.....	14
<b>3</b>	<b>Unterschiedliche Bestandstypen</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Mögliche Transformationspfade</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Instrumente</b> .....	<b>24</b>
5.1	Planungs- und rechtliche Instrumente.....	24
5.2	Finanzielle und Förderinstrumente.....	27
5.3	Technisch-organisatorische Instrumente.....	28
5.4	Kooperative Instrumente.....	29
5.5	Informatorische Instrumente.....	30
<b>6</b>	<b>Identifizierter Forschungs- und Entwicklungsbedarf</b> .....	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>38</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der diskutierten Wasserinfrastruktursystemen im Kontext von Wasserfraktionen und Grad der Dezentralität.....	20
--	----

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestandstypen und ihr Transformationspotenzial.....	19
--	----

## Abkürzungsverzeichnis

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bzw.	beziehungsweise
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsches Institut für Normung
fbr	Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V.
gr.	griechisch
ISOE	Institut für sozial-ökologische Forschung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
NGO	Nichtregierungsorganisationen
Pkw	Personenkraftwagen
TA	Technikfolgenabschätzung
vgl.	vergleiche
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z. B.	zum Beispiel

# 1 Hintergrund

Die Belastung der Ressource Wasser nimmt kontinuierlich zu: Der Klimawandel und seine Wirkung auf die Wasserressourcen durch Starkregen oder auch lange Phasen der Hitze und Trockenheit, wachsende Metropolregionen mit steigenden Wasserbedarfen, die Verschmutzung von Oberflächengewässern etwa mit Spurenstoffen oder durch Stickstoff-/Phosphoreinträge von eingeleiteten Kläranlagenabläufen erzeugen Handlungsbedarf. Gleichzeitig wird Wasser aufwendig und mit großem Ressourcenaufwand zu Trinkwasser aufbereitet und zum Teil über große Distanzen transportiert für Zwecke, für die es nicht unbedingt notwendig ist wie zum Beispiel für das Spülen von Toiletten oder zum Bewässern von Grünflächen. Für beides könnten auch lokale Wasserressourcen mit geringerer Qualität wie etwa aufbereitetes Abwasser oder Niederschlagswasser genutzt werden. Soweit sich die bestehenden Nutzungsmuster nicht ändern, werden aufgrund des Klimawandels zunehmende Trockenperioden und Hitze dazu führen, dass zusätzliche Wasserressourcen in Anspruch genommen werden müssen (Kluge/Treskatis 2022). Eine Veränderung der bestehenden Nutzungsmuster im Wasserbereich erlaubt zudem die Ausschöpfung von energetischen Reserven aus dem Abwasser (Davoudi/Scheidegger/Winker 2017). Eine Abkehr von einer alleine nachsorgenden Abwasserbehandlung und ein Einbezug von Maßnahmen an der Quelle ermöglicht es, die großen hygienischen Herausforderungen im Abwasserbereich nachhaltig zu bearbeiten (Londong 2022).

Ein Ziel aktueller Forschung in der Siedlungswasserwirtschaft ist es, Umweltentlastungen, Klimaanpassung und Klimaschutzmaßnahmen mittels eines nachhaltigeren Umgangs mit der Ressource Wasser in den Gemeinden und Städten zu bewirken. Die in diesem Zusammenhang anstehenden Umweltinnovationen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft zielen auf neuartige Wassersysteme (Larsen et al. 2016; Londong/Hillenbrand/Niederste-Hollenberg 2011). Im Zentrum steht die (häusliche) Nutzung von Betriebswasser bzw. die Rückführung von getrennten Abwasserströmen zur weiteren Verwertung und Nutzung, im weiteren Text auch als Gebrauchsartendifferenzierung bezeichnet. Dies erfordert eine Umgestaltung der Wasserinfrastruktur, die, wenn sie Gemeinden und Städte weitgehend oder gar umfassend betreffen soll, sowohl im häuslichen als auch im öffentlichen Bereich stattfinden muss. Mittlerweile sind alle Vorbedingungen vorhanden, um diese Neuerungen in Neubaugebieten zu implementieren. Dagegen wurden bisher Umsetzungen im Gebäudebestand vernachlässigt. Die großen Umwelteffekte der Innovation werden allerdings nur zu erreichen sein, wenn es zu flächendeckenden Umsetzungen kommt und die neuartigen Wasserinfrastrukturen auch in Bestandsgebäude eingezogen, angeschlossen, betrieben und genutzt werden.

Im mit Förderung der DBU durchgeführten Vorhaben wurde geprüft, welche Hemmnisse und Hürden gegenüber einer wasserwirtschaftlichen Transformation im Bestand existieren, welche Anlässe und Gelegenheitsfenster sich hierfür ergeben und welche Instrumente diese Transformation befördern könnten. Aufbauend auf einer Desktop-Untersuchung wurde zu diesem Thema am 15. Juni 2022 ein Werkstattgespräch mit ausgewählten Expert\*innen aus der Wissenschaft, der Beratung und der kommunalen Praxis durchgeführt und im Nachgang ausgewertet.

## 2 Transformation im Bestand als Herausforderung

Aktuelle Entwicklungen in Ländern in Industriestaaten und Transformationsländern deuten auf einen Wechsel von konventionellen städtischen Wassersystemen hin zu alternativen Lösungen, die sich durch eine stärkere Stoffstromtrennung, Dezentralisierung und Modularisierung auszeichnen. Zu diesen Lösungen gehört neben netzunabhängigen Ansätzen insbesondere die Gebrauchsartendifferenzierung mit Hilfe hybrider Infrastruktursysteme (vgl. 5.3), mit denen dringende globale Herausforderungen wie Klimawandel, Eutrophierung und rasche Urbanisierung angegangen werden können. Diese transformierten Wasserinfrastrukturen erlauben es nicht nur, Kreisläufe zu schließen und wertvolle Ressourcen zurückzugewinnen, sie passen sich auch flexibel an veränderte Randbedingungen wie die Bevölkerungszahl an (Hoffmann et al. 2020) und erhöhen die Klimaresilienz städtischer Agglomerationsgebiete (Trapp/Winker 2020).

Für Neubauprojekte bzw. neu erschlossene Quartiere ist die Einführung und der Betrieb solcher neuartiger Wasserinfrastrukturen aus wissenschaftlicher Sicht bearbeitet (Kluge/Schramm 2016). Eine Umsetzung in die Praxis ist unaufwendig möglich. Im Siedlungsbestand kann dies hingegen nicht in gleicher Weise umgesetzt werden. Dies liegt zum einen daran, dass die Versorgung des Bestands durchgehend aufrechterhalten werden muss. Während jedes Transformationsprozesses ist daher für den Siedlungsbestand zu gewährleisten, dass dort die Funktionssicherheit der bestehenden Infrastruktursysteme unbedingt bestehen bleiben muss (Kaufmann Alves/Knerr 2010; Staben 2008). Insbesondere werden nicht alle Gebäude eines Gebietes gleichzeitig umgeschossen, sondern sukzessive: Neben der technischen Funktionalität und der (damit komplementär verknüpften) Sicherheit der Ver- bzw. Entsorgungsleistung für die Bestandsbevölkerung sind dabei auch die institutionelle Funktionalität (Einhaltung von Gesetzen und technischen Regelwerken) und die wirtschaftliche Funktionalität (Kosten, Bezahlbarkeit) zu beachten (Kaufmann Alves/Knerr 2010).

In Hinblick auf den Bestand an Wohnsiedlungen sowie an Gewerbegebieten sind bisher nur sehr vereinzelt Möglichkeiten für eine Transformation entwickelt worden. Dies gilt sowohl in Bezug auf die technische Machbarkeit (vgl. Vesper/Berndt 2014; Vesper/Londong 2017), die notwendige Planung (Winker/Trapp 2017) als auch die rechtliche Einschätzung (Hanke 2016). Nach Kaufmann Alves (2012: 50) stellt „die Bereitschaft der Eigentümer zur Änderung der Systeme ... die entscheidende Einflussgröße dar.“

### 2.1 Zielstellungen und Anlässe der Innovation

Die Innovationsrichtung der Gebrauchsartendifferenzierung kann, wie bereits kurz erwähnt, sehr unterschiedliche Zielstellungen haben (die auch nebeneinander angelegt sein können):

- Kreislaufwirtschaft und Ressourcenpflege
- Wassergüte und Einleitqualität des Klarwassers in die Gewässer gemäß WRRL
- Gekoppelte Infrastrukturen (mit der Hausenergie) zur Nutzung von Restwärme im Grauwasser

- Gekoppelte Infrastrukturen zur Herstellung lokaler Wasserkreisläufe (z.B. Regenwasserbewirtschaftung)
- Gekoppelte Infrastrukturen (mit blau-grünen Infrastrukturen) zur Klimaanpassung in den Kommunen
- Einsparung von betrieblichen Kosten und Aufwand durch bessere Konzeption und Dimensionierung (z.B. bei Anlagen im ländlichen Raum)
- Reduktion der hygienischen Risiken durch gezielte und strikte Erfassung einzelner Abwasserströme.

Köhler et al. (2017: 13) weisen darauf hin, dass sich die Wasserinfrastrukturen im Bestand häufig in einem Zustand befinden, „der gerade für die nächsten Jahrzehnte einen erheblichen Sanierungs- und Neubaubedarf erwarten lässt. Dieses Zeitfenster eröffnet die Möglichkeit, Wasserinfrastruktursysteme in einer Art und Weise anzupassen und weiterzuentwickeln, mit denen die beschriebenen Herausforderungen sich besser bewältigen lassen.“ Aktuell existieren recht unterschiedliche Anlässe, aufgrund derer sich die Kommune oder andere Akteure für derartige Transformationen entscheiden können (sie werden zum Teil nicht als solche begriffen). Die im Folgenden genannten Gelegenheiten wurden auf dem Workshop bestätigt und sind hier gruppiert geordnet:

- Städtebaulicher Umbau
  - Beseitigung/Reduktion von hydraulischen Engpässen in der Kanalisation
  - Ertüchtigung/Umbau der Kanalisation (z.B. Anpassung an Demographie, Klimaanpassung, Alter, Maßnahmen an der Quelle zur Reduktion von hygienischen Belastungen und Spurenstoffen)
  - Umbau der Wasserversorgung (z.B. Anpassung an Demographie)
  - Klimaanpassung durch wassersensitive Stadtentwicklung
- Renovierungsbedarf von Hauswasserwerken (insbesondere im Gebäudebestand vor 1945) mit Risiken für Trinkwasserversorgung, Wasserschäden usw.
  - Verbesserung evtl. zukünftiger Zugangsregelungen für Hausversicherungen (z.B. nach einem Leitungswasserschaden)
- Probleme beim Wasserdargebot bzw. bei weiterer Erschließung von Wasserressourcen
- Kommunale und staatliche Förderung

Gelegenheitsfenster ergeben sich insbesondere dann, wenn mehrere dieser Anlässe zusammenfallen. Allerdings liegen diese Anlässe bisher alleine in der Aufmerksamkeit sehr unterschiedlicher Akteure (z.B. Stadtplanung, Abwasserbeseitiger, Hausbesitzer, Wasserversorger). Um bereits frühzeitig und proaktiv diese Gelegenheitsfenster für die Transformation zu identifizieren, wird es also entscheidend darauf ankommen, hinsichtlich der Zusammenschau der Anlässe eine entsprechende ressort- bzw. sektorübergreifende Wahrnehmung zu entwickeln.

## 2.2 Hindernisse, Risiken und Widerstände

Die im Siedlungsbereich vorhandene neuzeitliche Wasserinfrastruktur ist seit dem 19. Jahrhundert entstanden. Sie hat sich seitdem durch vielfältige inkrementelle Innovationen ausdifferenziert und weiterentwickelt. Die Wasserinfrastruktur funktioniert

daher und erfüllt die gesetzlich vorgeschriebenen Aufgaben der Daseinsvorsorge, insbesondere die schadlose Beseitigung der Abwässer aus dem Siedlungsgebiet und die durchgängige Versorgung der Bevölkerung mit Wasser.

Daher ist es nicht verwunderlich, dass die vorhandenen Handlungsrouinen, die mit der etablierten Wasserinfrastruktur verknüpften technischen Normen, aber auch die bekannten Strategien die Entscheidungsträger in der Kommune, insbesondere bei ihren siedlungswasserwirtschaftlichen Aufgabenträgern, weitgehend prägen; in der Folge bildet sich ein Beharrungsvermögen gegenüber den Transformationen aus. Dies führt dazu, einmal eingeschlagene Lösungswege als erfolgreich zu bewerten und sie trotz veränderter Rahmenbedingungen beizubehalten, statt zu überlegen, ob und wie sich mit Hilfe der Transformation von bestehenden Zwängen befreit werden könnte (Trapp/Lippe 2016: 28).

### 2.2.1 Entkräftbare Einwände

Gegen eine Transformation der Wasserinfrastruktur im Bestand werden, wie die Autor\*innen und Workshopteilnehmenden in den letzten Jahren auch in mehreren Projekten praktisch erleben mussten, häufig Einwände der folgenden Art vorgebracht (vgl. exemplarisch auch Trapp/Lippe 2016: 26ff):

- Die hygienischen Risiken seien nicht beherrschbar.
- Für die Umrüstung müssten Mieter in Ersatzquartiere umgesiedelt werden.
- Für eine dezentrale Versorgung/Abwasseraufbereitung reiche der zusätzliche Platz nicht aus.
- Die Kosten für doppelte Strukturen seien viel zu hoch, nicht bezahlbar.
- Der stofflich-materielle Aufwand für doppelte Strukturen sei viel höher.
- Es komme zu (unsolidarischer) „Rosinenpickerei“ (und in der Folge für diejenigen, die weiterhin über die Infrastruktur ver-/entsorgt würden, zu einer Erhöhung der Kosten).
- Die Bewohner\*innen würden eine Transformation nicht mögen.
- Es gäbe Unsicherheiten bzgl. der benötigten Wassermengen nach Gebrauchsklassifizierung.
- Es beständen Unsicherheiten über den langfristigen Nutzen („benefit“) und die Rentabilität neuartiger Wasserinfrastrukturen.

Diese Einwände beziehen sich nur zum Teil ausdrücklich auf den Bestand. Die meisten dieser Einwände lassen sich zudem leicht widerlegen und stellen insofern kein generelles Transformationshemmnis dar. So ist ein Risikomanagement für die Beherrschung von hygienischen Risiken unaufwendig einführbar; Fehlanlüsse zwischen Trink- und Betriebswasserleitungen lassen sich mit den vorgeschriebenen Kennzeichnungen und darauf aufbauenden Qualitätssicherungsmaßnahmen vermeiden (Schramm/Winker/Zimmermann 2020).

Die Umrüstung der Wasserinfrastrukturen erfordert in belegten Wohnungen für die Mieter\*innen einen beherrschbaren organisatorischen Aufwand (bestenfalls ist es erforderlich, für mehrere Tage einen Zugang zu Ersatztoiletten zu haben; keinesfalls müssen aber die Mieter\*innen in ein Hotel oder eine Ersatzwohnung ziehen).

Der Platz für eine dezentrale Versorgung kann in Gebäuden, bei denen alle Kellerräume belegt sind, außerhalb geschaffen werden (z. B. lassen sich Zisternen und Steuerungseinheiten für eine Regenwasserversorgung unter dem Mülleimerstellplatz, im Carport oder in Vorgärten unterbringen). Die zusätzlichen innerhäuslichen Leitungen für eine Betriebswasserversorgung lassen sich – vor allem bezogen auf die Toiletten-Spülkästen als Hauptverbraucher – notfalls zunächst über Putz verlegen (bis zur nächsten Grundsanierung des Toilettenraums); für die Ableitung von Grauwasser können gegebenenfalls Inliner in die Abwasserrohre eingezogen werden. Auch kann die Außenwand sowohl Zu- und Ableitungen als auch Aufbereitungstechnik aufnehmen.

In Hinblick auf die Transformation der Wasserinfrastrukturen im Siedlungsbestand kann sich grundsätzlich vor allem die unterirdische Flächenbelegung als Herausforderung erweisen. Häufig ist der Straßenraum bereits, insbesondere aufgrund der Vorschriften der DIN 1998, „von einer durchgehenden Belegung des unterirdischen Raums mit Leitungen und Medien geprägt“ (Pallasch 2021: 174). Wo es zu einer solchen Situation kommt, könnte ein Einsatz der Inliner-Technik zu einer Entlastung führen. Die für die unterirdische Leitungsführung Verantwortlichen sollten zudem wissen, dass Betriebswasser thermisch weniger im Untergrund isoliert werden muss, da (u. a. aufgrund reduzierter Hygieneansprüche) hier höhere Liefertemperaturen tolerierbar sind. Auch insofern kann die Ausnutzung des im Straßenraum des Bestandes vorhandenen Untergrundvolumens noch optimiert werden.

Ermittlungen von Systemkosten für Betriebs- und Grauwasseranlagen zeigen, dass diese meist nur geringfügig höher sind; das ist allerdings extrem von den räumlichen Umständen abhängig. Entstehende Betriebskosten sind gut umlegbar (evtl. auch bewusst in alternativen Vertragsmodalitäten der Wohnungswirtschaft wie einer Pauschalmiete oder Nebenkostenpauschale, die bisher allerdings in Deutschland anders als in vielen Nachbarstaaten nicht den Regelfall darstellen). Wo eine verbrauchsgenaue Abrechnung von Betriebswasser bevorzugt wird, kann allerdings nicht auf Wohnungswasserzähler verzichtet werden (hier besteht dann ein extrem hoher Wartungs- und Kostenaufwand; sofern sich an den bestehenden Eichfristen für den Trinkwasserbereich orientiert wird, sind die Wasseruhren nach wenigen Jahren auszuwechseln).

Noch nicht sicher beurteilen lassen sich (da Erfahrungswerte fehlen) allerdings die langfristigen Kosten der neuartigen Wasserinfrastrukturen. Für viele der verwendeten Materialien auf Polymerbasis, die innerhäuslich verwendet werden, ist noch nicht bekannt, wie lange die Materialien voll funktionsfähig bleiben. Entsprechend schwierig abschätzbar ist die Zeitspanne zwischen der Installation und einer eventuell erforderlich werdenden Komplett- oder Teilsanierung der häuslichen Wasserinfrastruktur (die angelehnt an die DIN 6001 durchgeführt werden kann, vgl. Scholzen 2008: 172ff).

Der materiell-stoffliche Aufwand für die Errichtung „doppelter“ Infrastrukturen, zu denen die Gebrauchsartendifferenzierung regelmäßig führt, da Leitungen für zwei Wasserarten im Zustrom und häufig drei Abwasserarten im Abstrom benötigt werden (vgl. Kap. 3.3.), ist höher als für herkömmliche Systeme, lässt sich aber optimieren. Konzepte zur Ressourcenpflege sind für den Bestand ohnehin zu erarbeiten (vgl. Schebek/Linke 2021). Die Transformation im Bestand erlaubt es, den Siedlungsbestand zu erhalten

anstatt dort abzureißen und neu zu bauen. Sowohl die Bau- als auch die Infrastruktursubstanz kann also weiterverwendet werden, was aus Perspektive einer Ressourcenpflege positiv ist.

Eine „Rosinenpickerei“ im Bestand meint, dass an lukrativen Standorten (z.B. Bürohochhäuser, für die es möglich ist, unaufwendig Betriebswasser aus Grund- oder Flusswasser zu gewinnen), private Akteure auf ihren Grundstücken zum Kostensparen in die Gebrauchsartendifferenzierung einsteigen (dort geht dann die Trinkwasserrechnung um über die Hälfte zurück), aber ab diesem Zeitpunkt der Rest der Trinkwassernutzer überproportional für die Fixkosten der öffentlichen Trinkwasserversorgung zahlen muss. Ein solches Ausbrechen aus der öffentlichen Versorgung können die Kommunen bzw. ihre siedlungswasserwirtschaftlichen Institutionen durch ein gezieltes Management vermeiden, eventuell sogar durch eigene Angebote (z.B. eine öffentliche Betriebswasserversorgung) überflüssig machen.

In verschiedenen Umfragen wurde immer wieder festgestellt, dass in Deutschland einer Wasserwiederverwendung im Bereich der Toilettenspülung ein sehr hohes Akzeptanzpotenzial zugeordnet werden kann (Deffner/Birzle-Harder 2017; Hefter/Deffner/Birzle-Harder 2015; Keuter/Deerberg 2009). Dabei zeigte sich, dass die Akzeptanz stark vom Verwendungszweck abhängt (Keuter/Deerberg 2009). Bislang werden Grauwasseranlagen überwiegend in einzelnen Gebäuden installiert, die Anzahl der erfahrenen Nutzer\*innen ist daher noch gering. Repräsentative Untersuchungen über die Akzeptanz von Betriebswasser in der Bevölkerung sind auf dieser Basis kaum möglich. Qualitative Erhebungen kommen aber zu dem Ergebnis, dass die Bewohnerinnen und Bewohner mit Anlagen zur Nutzung von Brauchwasser überwiegend zufrieden sind (Deffner/Birzle-Harder 2017; Hefter/Deffner/Birzle-Harder 2015). Für die Befragten eine hohe Zuverlässigkeit entscheidend ist, welche erreicht wird, sobald eine Aufbereitungsanlage unauffällig und störungsfrei läuft und keine hygienischen Bedenken vorliegen (Deffner/Birzle-Harder 2017; Giese/Londong 2015; Hefter/Deffner/Birzle-Harder 2015). In einer repräsentativen Befragung in Norderstedt konnten diese Ergebnisse in den Grundzügen bestätigt werden (Winker et al. 2019b).

Unsicherheiten über den langfristigen Nutzen und die Rentabilität bestehen grundsätzlich auch für die konventionellen Wasserinfrastrukturen. Sicherlich ist hier ein sehr großer Erfahrungsschatz vorhanden, aber sobald sich die Rahmenbedingungen ändern, kann sich die Nutzen- oder die Rentabilitätsbewertung der vorhandenen Infrastruktursysteme sehr schnell auf die negative Seite verschieben. (Dies zeigt der Blick in einen anderen Infrastruktursektor: Noch vor einem Jahr hätten fast alle Expert\*innen die vorherrschenden Systeme der Wohnungsheizung für krisenfest gehalten. Ähnliches könnte sich für die Wasserversorgung aufgrund des Klimawandels ergeben. Die Wassergewinnung kann sich sowohl aus konventionellen Grundwasserleitern als auch aus den Oberflächengewässern erschweren.)

Auch eine in der Vergangenheit häufig fehlende räumliche Kontextualisierung (vgl. hingegen Kluge/Libbe 2010) wurde von der Unternehmenspraxis als ein zentrales Umsetzungshemmnis für neuartige Wasserinfrastrukturen im Bestand bzw. „in der Fläche“

verstanden (vgl. Trapp/Libbe 2016: 28). Mit der Einführung differenzierter Wasserinfrastrukturen ist zudem gegebenenfalls nicht nur ein hoher Transformationsaufwand auf der Ebene der technischen Infrastruktur erwartbar, sondern auch im organisatorischen Bereich (z. B. hinsichtlich Unternehmensprozessen, Qualifikationsprofil der Mitarbeitenden usw.). Die siedlungswasserwirtschaftlichen Aufgabenträger der Kommunen nehmen dies gleichfalls als Transformationsrisiko bzw. Umsetzungshemmnis wahr (vgl. ebd.), solange sie nicht die Chancen erkennen, die diese veränderten Kompetenzprofile auch für ihre eigene nachhaltige Entwicklung bedeuten.

### 2.2.2 Hemmnisse und Hürden

Ein grundsätzliches Hemmnis besteht darin, dass bisher im Siedlungsbestand keine Erfahrungen mit der Transformation gemacht worden sind. Bei den ersten Umsetzungen resultiert daraus die Herausforderung, dass viel aus dem Neubaubereich auf den Bestandsbereich übertragen werden muss und zunächst unklar ist, ob das bisherige Wissen auch für diesen Bereich gültig ist und verallgemeinert werden kann. Insofern werden die ersten Umsetzungen im Bestand krisenhaft sein – wobei unter Krise (gr. *Kp(veiv)*) hier zunächst einmal nur Unsicherheiten und Ungewissheiten verstanden werden, wie sie für eine Entscheidung an einem Wendepunkt typisch sind, insbesondere, solange das Terrain dahinter unbekannt ist (vgl. Jahn 1991).

Transformationen gehen unweigerlich mit Ungewissheiten und damit auch mit Risiken einher; dabei kann es nicht nur zu sozio-ökonomischen und sozial-ökologischen Strukturbrüchen kommen, die frühzeitig zu antizipieren sind. Auch aus anderen Gründen ist die Realisierung von veränderten Wasserinfrastrukturen für die Kommunen und ihre siedlungswasserwirtschaftlichen Aufgabenträger mit dem verbunden, was Schramm et al. (2016) als Transformationsrisiken in die Debatte über wasserwirtschaftliche Innovationen eingeführt haben (vgl. dazu eingehend Wolf/Londong 2020). Derartige Risiken der Transformation der Wasserinfrastruktur (Kerber/Schramm/Winker 2016: 13ff) führen bei den Beteiligten in den Kommunen zunächst häufig zu einer abwartenden Haltung gegenüber den Innovationen; der erforderliche proaktive Umgang mit den Herausforderungen und ein bewusstes Betreiben der Transformation unterbleiben. Letztlich erfordern diese Risiken, dass sie selbst genauer analysiert und gegebenenfalls mittels eines Risikomanagements bearbeitet werden.

Bisher werden diese Transformationsrisiken jedoch nicht mit Hilfe des Konzeptes einer Risikogovernance betrachtet und so praktisch angegangen bzw. minimiert. Vielmehr werden sie von den Praktikern aus den siedlungswasserwirtschaftlichen Unternehmen und den Kommunen häufig einfach als kaum aus dem Weg räumbare Umsetzungshemmnisse begriffen (vgl. Trapp/Libbe 2016: 24ff) und bisher zumeist hingenommen. Ebenso wie die im Folgenden ausführlicher behandelten Pfadabhängigkeiten funktionieren sie bisher noch als Entschuldigung für ein Nichthandeln.

Gerade die so genannten Pfadabhängigkeiten werden immer wieder als Hauptgrund für die bisher kaum erfolgenden Transformationen der Wasserinfrastruktur angeführt, weshalb sie im Folgenden etwas ausführlicher betrachtet werden. „Die vorhandenen

Systeme zur Wasserver- und Abwasserentsorgung sind durch hohe Anfangsinvestitionen und lange Nutzungsdauern geprägt. Leitungs- und Kanalnetze haben eine Nutzungsdauer von teilweise 80 bis 100 Jahren mit der Konsequenz einer hohen Pfadabhängigkeit und Inflexibilität in Hinblick auf sich verändernde Rahmenbedingungen wie der Zahl der Nutzer, Nutzerverhalten, Klimaeinflüsse oder ökologische Anforderungen.“ (Köhler et al. 2017: 12f).

Das Konzept der Pfadabhängigkeit versuchte zunächst in der wirtschaftswissenschaftlich ausgerichteten Forschung zu Innovationen, empirisch beobachtbare Beharrungsmomente bei der Durchsetzung von Technologien zu erklären. Im Zentrum der Überlegungen von William Brian Arthur und Paul Allan David, die bis dahin die für das Innovationsgeschehen vorherrschende Effizienzerklärungen kritisch sahen (vgl. Beyer 2006: 14ff) stand die Beobachtung, dass sich in einer Wettbewerbssituation nicht notwendigerweise die bessere Technologie durchsetzt, sondern an einer inferioren Technologie festgehalten wird. Statt eine Neuerung zu verfolgen wird unter Berufung auf „increasing returns“ eine Lösung, in die man bereits investiert hat, beibehalten: Steigende Skalenerträge sorgen häufig dafür, dass ein einmal gewonnener Marktanteil sich weiter positiv auf die Produktionskosten auswirkt. Die vorhandene Lösung wird weiterhin dadurch stabilisiert, dass dazu passende Produkte oder Dienstleistungen entwickelt werden, die auch zu einer Verbesserung beitragen können (aber z. B. energie- und teilweise auch materialaufwendig sind). So schreitet die Evolution auf dem begangenen Pfad immer weiter voran. Häufig führt das zu einer Lock-in-Situation, in der eine Unumkehrbarkeit in der Innovationsentwicklung angenommen wird. Gängige Beispiele in der Literatur sind die QWERTY-Tastenanordnung von Schreibmaschinen, Eisenbahn-Spurweiten oder Kernreakortypen (ebd.). Allerdings bauen die klassischen (ökonomischen) Modelle der Pfadabhängigkeit auf sehr idealistischen Annahmen auf (ebd.: 28ff); zu ihnen gibt es inzwischen Alternativen. Mittlerweile ist das Spektrum der wissenschaftlichen Erklärungsansätze einer Pfadabhängigkeit sehr breit. Beispielsweise gibt es auch viele Kausalannahmen, mit deren Hilfe einzelfallbezogen die hohe Stabilität von technischen Entwicklungen erklärt werden kann. Keinesfalls ist diese Vielfalt an unterschiedlichen Varianten des Konzepts von Pfadabhängigkeit konsistent (ebd.: 27). Bei vielen Erklärungsansätzen handelt es sich nicht um konservative Modelle, die die Beharrung überbetonen; immer „ist auch das Ende eines Pfades im Bereich des Möglichen“ (ebd.: 37). Um einen etablierten Pfad zu verlassen und einen neuen Pfad einzuschlagen und diesem zu folgen, sind den Modellen zufolge jedoch häufig große organisatorische bzw. institutionelle Anstrengungen erforderlich. Allerdings können auch in Lock-in-Situationen „Akteure jeweils einen Schlüssel finden ..., um das Schloss wieder aufzuschließen“; auch sind Interventionen möglich, um eine Veränderung zu erreichen (ebd.: 39).

Etwas traditioneller sieht eine Arbeitsgruppe um Fishedick und Grunwald (2017: 8, 49) in den Pfadabhängigkeiten (im von ihnen untersuchten Fall der Transformation zur Elektromobilität) insbesondere „Hürden, die den Umstieg auf eine andere Option erschweren oder verhindern.“ Diese Hürden können nicht nur entstehen, wenn Investitionen bei einer Systemveränderung verloren zu gehen drohen („versunkene Kosten“).

Auch Kostenvorteile durch Massenproduktion („Skaleneffekte“) oder eine hohe Nutzerzahl („Netzwerkeffekte“) können dem etablierten System einen Vorteil gegenüber seinen Alternativen verleihen, aber auch sich selbst stabilisierende Erwartungsmuster („Pfadabhängigkeit in den Köpfen“). Eine ähnliche Position hat in seinem einführenden Statement im hier ausgewerteten Workshop Philipp Beutler für das konventionelle System der Siedlungswasserwirtschaft eingenommen; dabei hat er aber auch darauf hingewiesen, dass es externe Schocks ermöglichen, die „Lock-In-Situation“ zu überwinden.

Fischedick und Grunwald (2017: 5) stellen den alten Pfadabhängigkeiten instruktiv erwartbare neue Pfadabhängigkeiten gegenüber, die als Folge einer Transformation entstehen können. Sie werben für ein grundsätzlich höheres Bewusstsein von den Pfadabhängigkeiten, welche den Entscheidungsträgern aus Politik und Wirtschaft in den Transformationsprozessen an verschiedensten Stellen begegnen, zum Beispiel bei der Sektorkopplung oder beim Netzausbau. Die Arbeitsgruppe empfiehlt sogar, „die Pfadabhängigkeiten zukünftig als wesentliches Kriterium in politischen Entscheidungsprozessen zu berücksichtigen“ (ebd.: 51). Da es in demokratischen Gesellschaften im Interesse aller liegt, Gestaltungsräume möglichst offen zu halten bzw. dort, wo aus guten Gründen Pfadabhängigkeiten eingegangen werden, dies transparent zu machen, sollten entsprechende „Entscheidungen in gesellschaftlichem Einvernehmen und mit hoher Transparenz erfolgen“ (ebd.). Durch diese bewusste (und partizipative) Thematisierung könne sich die Transformation auch „dem gesellschaftlichen Diskurs über die Frage, wie wir künftig leben wollen“, öffnen (ebd.: 5). Ein entsprechendes Bewusstsein über die alten und die möglichen neuen Pfadabhängigkeiten, die aus einer siedlungswasserwirtschaftlichen Transformation entstehen könnten, fehlt und kann für den Diskurs zum zukünftigen Umgang mit Wasser bisher nicht benutzt werden.

Insbesondere im Bestand ist die starke Beharrung, die Innovationen bzw. Transformationen verhindert, jedoch ein idealistisches Bild. Denn dort werden in der Regel Infrastruktursysteme nicht im Ganzen erneuert. „Technische Innovationen – neue Rohrtypen, neue Schützen, neue Dichtungen – werden selten auf das Gesamtsystem angewandt, sondern finden dort Anwendung, wo geflickt werden muss“ (Harms 2019: 17). Auch folgt bei der Transformation nicht auf eine Infrastruktur A eine Infrastruktur B (wie etwa beim Wechsel des Pkw-Antriebs die elektrischen Ladestationen auf die Mineralöl-Tankstellen). Vielmehr kann die Trinkwasserversorgungsstruktur zwar zukünftig eventuell geringer dimensioniert werden, bleibt aber neben einer nun parallel und oberhalb dazu im Straßenraum führbaren Betriebswasserversorgung. Diese muss nicht auf einmal in der gesamten Kommune aufgebaut werden, sondern dies kann sukzessive geschehen, unter Umständen parallel zu Erneuerungsarbeiten an den Trinkwasserleitungen (recht ähnlich wäre die Situation im Abwasserbereich); auch kann es pragmatisch sinnvoll sein, bestimmte Bestandsgebiete vollständig auszuklammern.

Tatsächlich gibt es im Bestand jedoch insofern eine grundsätzlichere Strukturabhängigkeit, weil alle dort bereits vorhandenen Infrastrukturen „zukünftige Arrangements, Entwicklungen und alltagspraktische Handlungen“ vorprägen; so „unterwerfen sie als überdauernde Gebilde die Zeit und den Raum einer Pfadabhängigkeit“ (ebd.: 22). Bei-

spielsweise folgt eine Hochbahn ebenso wie die Abwasserleitung der Straße in der Gebäudeflucht. Letztlich stellen Infrastrukturen Verräumlichungsprozesse auf Dauer, indem sie Raumformate durchsetzen und Raumordnungen zementieren (ebd.: 20ff). Diese Herausforderung des Siedlungsbestandes gegenüber der grünen Wiese besteht ganz grundsätzlich.

Ergänzend gilt es noch zu betonen, dass für die Transformation kompetentes und gut ausgebildetes Fachpersonal essenziell ist. Dies ist aktuell schwer zu bekommen. Auch klagen viele Unternehmen und Institutionen im Bereich der Wasserinfrastruktur, dass es schwerfällt, junge Leute für das Fach zu gewinnen, das im Vergleich zu anderen Berufsfeldern aufgrund physischer Belastungen trotz digitaler Innovationen wenig attraktiv ist und im öffentlichen Bereich schlechter als im weithin vergleichbaren Energiesektor bezahlt wird. Hier könnten die notwendige Transformation und die neuen Herausforderungen genau den Anreiz setzen, den es braucht, um kompetentes Fachpersonal mittelfristig zu gewinnen.

### 2.2.3 Komplexität als Herausforderung

Bisher fehlt in den Städten eine Planungstradition, die die wasserwirtschaftliche Fachplanung frühzeitig in Umstrukturierungsprozesse einbezieht (Trapp/Winker 2022). Wie bei Neubaugebieten werden die Wasserfachleute erst herangezogen, wenn eine Planung bereits in ihren Grundzügen abgeschlossen ist. Häufig wird eine Umplanung eines Quartiers alleine in der Stadtplanung betrieben, wobei in den letzten Jahren verstärkt (potenzielle) Großinvestoren frühzeitig einbezogen worden sind. Ein früher Einbezug von Expert\*innen, die ein Wissen über alternative Wasserressourcen vor Ort haben, kann es erleichtern, zu anderen Entscheidungen zu kommen.

Gegenüber dem Neubaubereich zeichnet sich der Bestand häufig zudem durch eine höhere Komplexität aus. Wo im Neubau wenige Schlüsselakteure vorhanden sind, da meist nur wenige Immobilienentwickler Gebäude bauen lassen, die später wohnungs- oder hausweise verkauft werden, wird im Bestand eine Ansprache vieler Grundstückseigentümer\*innen und Mieter\*innen erforderlich, die sich zudem in hohem Maße mit ihrer Wohnung oder Gewerbegrundstück identifizieren und eigene Pläne haben. Wenn diese Anspruchshaltungen nicht ignoriert, sondern in die Transformation integriert werden können, kann die Umsetzung nicht nur leichter werden, sondern sie wird sich in den meisten Fällen auch noch verbessern.

Allerdings sind die Motivlagen ebenso wie die Beweggründe bei verschiedenen Eigentümergruppen extrem unterschiedlich. Hier lässt sich etwa folgende Bandbreite feststellen (vgl. Rohrbach/Schramm/Winker 2023; Schramm/Trapp/Winker 2022):

- Nachhaltige Orientierung bei den kommunalen Wohnungswirtschaftsunternehmen (z.B. Bestandspflege, Öffnung hin zu Passivhausbauweise, nicht-fossilen Energieträgern usw.)
- Tendenziell nachhaltige Orientierung bei anderen großen Unternehmen (z.B. Chemieindustrie, Gebäudewirtschaft)

- „Heuschreckenmentalität“ (bei einigen großen Wohnungswirtschaftsunternehmen)
- „Sparmentalität“ (lieber keine Investition für nächste Generation)
- „Intergeneratives Verhalten“ (z.B. frühzeitige Schenkung an nächste Generation)

Aufgrund dieses breiten Spektrums wird es allerdings sehr schwierig werden, in Transformationsprozessen diese heterogenen Akteure/Gruppen in gleicher Weise anzusprechen und mitzunehmen. Möglicherweise sind für eine erfolgreiche Transformation im Bestand sehr verschiedene Formen der Koordination bzw. Zusammenarbeit nebeneinander erforderlich. Es können wenigstens die folgenden Formen festgestellt werden, die es parallel braucht:

- Individuelle Entscheider entscheiden für Einzelobjekte oder eine Siedlung.
- Zusammenarbeit verschiedener privater Entscheider (z.B. Grauwasseranlage für Haus wird von Drittem betrieben oder gemeinsame Bewirtschaftung von Regenwasser in den Grünflächen)
- Zusammenarbeit verschiedener öffentlicher Entscheider (z.B. Zusammenarbeit von Sport- und Grünanlagen)
- Zusammenarbeit von privaten Entscheidern mit der Kommune (z.B. Überlassung von Sumpfungswasser für öffentliche Grünanlage)

In der Vergangenheit waren die durchgeführten F&E-Vorhaben meist auf individuelle Entscheider\*innen ausgerichtet, wie das auch Neubauvorhaben regelmäßig prägt. Im Bestand müssen allerdings diese Entscheidungen zur Transformation von einer Vielzahl von Grundstückseigentümer\*innen und anderen Akteuren getroffen werden, sowie zugleich zeitlich synchronisiert. Um diese Herausforderungen erfolgreich bewältigen zu können, sollte das Koordinations- bzw. Kooperationsmanagement besser als bisher thematisiert werden (Schramm/Trapp/Winker 2022). Hierbei wächst den Kommunen (quasi als „Gewährleistenden“, aber auch als Aufzeigenden von Rahmenbedingungen) eine entscheidende Rolle zu.

Als zweiter wichtiger Grund für die mangelnde Umsetzung im Bestand werden in der Literatur sozioinstitutionelle Hemmnisse genannt, insbesondere Barrieren im Infrastrukturplanungsprozess. Um diese Barrieren zu überwinden, werden Veränderungen in der Planungskultur der Kommunen gefordert, insbesondere stärker strukturierte und zugleich dialogorientierte Multi-Stakeholder-Planungsprozesse. Eine derartige Vorgehensweise erfordert jedoch nicht nur die genaue Identifizierung der Barrieren und der Gründe für ihr Fortbestehen. Zugleich müssen vielmehr jene Akteure identifiziert werden, die zur Überwindung dieser Barrieren erforderlich sind. Auch müssen (möglichst intrinsische) Motivationen eruiert werden, die es diesen ermöglichen, an den Partizipationsrunden teilzunehmen und mit Lust und Begeisterung ihre Kompetenzen dort einzutragen. Auch diese Aufgabe kann ein Kooperationsmanagement übernehmen, um eine möglichst „glatte“ Transformation zu initiieren.

### 3 Unterschiedliche Bestandstypen

Der Gebäudebestand unserer Städte und Kommunen ist komplex. Er wandelt sich fort-dauernd aufgrund sich ändernder Rahmenbedingungen wie etwa weiter entwickelten baurechtlichen Vorschriften, dem technischen Fortschritt im Bausektor oder Moden und sich ablösenden Leitbildern. Aber auch technische Standardsetzungen beeinflussen Planvorgaben von Architekten und der Immobilienwirtschaft ebenso wie kommunalpolitische Zielsetzungen wie etwa Steigerung der Lebensqualität von Quartieren oder notwendige Änderungen zur Anpassung an den Klimawandel und an den demographischen Wandel. Zudem unterliegt der Gebäude- und Flächenbestand unterschiedlichsten Nutzungsmustern – um hier nur einige Aspekte der Komplexität zu benennen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass bau- und siedlungsstrukturelle Aspekte wie Gebäudeabmessung, Freiflächenanteil, Ensemblebildung, aber auch die Sozialstruktur eines Bestandsgebietes Bedingungen darstellen, von denen jeweils die Implementierungsmöglichkeiten neuartiger Wasserinfrastrukturen abhängen können (Ziedorn/Meininger/Peters 2008/2011). Es sind folglich Unterscheidungen zu treffen.

Das Potenzial für Transformationen in Richtung Gebrauchsartendifferenzierung unterschiedlich strukturierter Bestandsgebiete muss die Unterschiede dieser Gebiete aufnehmen. Im Siedlungsbestand bietet sich (aufbauend auf Michel/Felmeden/Kluge 2010; Winker et al. 2017) folgende Auflistung an:

- Konversionsgebiete
- Nachverdichtungsquartiere (auch Wohntürme, wenige Besitzer\*innen)
- Bestandsgebiete mit Mehrfamilienhäusern mit vielen Besitzer\*innen
- Bestandsgebiete mit Ein- und Zweifamilienhäusern
- Industrieparks mit einem Wasser-/Energiebetreiber
- Gewerbegebiete mit heterogener Eigentümer- und Hausbetreiberstruktur
- Grünflächen, Sportanlagen, Schulen usw.

Unserer Annahme, dass Transformationspotenziale dieser verschiedenen Gebietstypen unterschiedlich entwickelt werden sollten, wurde von den Teilnehmenden des Workshops zugestimmt. Vermutlich lassen sich die oben unterschiedenen Typen von Bestandsgebieten auch nicht alle vollständig transformieren.

Weitgehend (aber noch nicht voll) im Hinblick auf die Gebrauchsartendifferenzierung entwickelt sind schon lange die Industrieparks. In großen Industrieparks wird die Gebrauchsartendifferenzierung erfolgreich praktiziert, zuerst in der Wasserversorgung, wo meist mehrere Wassersorten nebeneinander in den Produktionsstätten genutzt werden, zunehmend aber auch auf der Abwasserseite, da es häufig sinnvoll ist, dieses nicht gleich mit Abwässern anderer Produktionsstätten zu vermischen, sondern gezielt weiterzuverwenden und aufzuarbeiten oder wenigstens vorzubehandeln (Bauer/Linke/Wagner 2020; Veolia 2022). Erfahrungen mit der Abkopplung von Regenwasser aus der Kanalisation, etwa aus dem Emschergebiet, zeigen, dass Umsetzungen vor allem auf bereits bestehenden Gewerbeflächen gelingen, aber kaum in den Siedlungsbestand vordringen (Becker/Werntgen-Orman 2017; Geyley/Bedtke/Gawel 2013).

Ähnlich wie Neubaugebiete lassen sich Konversionsflächen entwickeln. In Konversionsgebieten erlauben hohe Entwicklungsdynamiken bei einem vergleichsweise geringen Transformationsaufwand siedlungswasserwirtschaftliche Neuerungen. Insbesondere in Konversionsgebieten mit Sanierungs- bzw. Anpassungsbedarf im bestehenden Wasser-/Abwassernetz sind wasserwirtschaftliche Transformation möglich (Michel/Felmeden/Kluge: 47ff). In Einzelfällen sind in derartigen Konversionsgebieten erfolgreich neuartige Wasserinfrastrukturen aufgebaut worden (wie die Beispiele Freiburg-Vauban oder Jenfelder Au in Hamburg belegen; vgl. Giese/Londong 2015; Hansen et al. 2007; Panesar et al. 2016).

Nachverdichtungen erlauben in Gebieten mit wenigen Eigentümer\*innen, zugleich auch über eine siedlungswasserwirtschaftliche Umstrukturierung mittels einer Betriebswasserbewirtschaftung nachzudenken. Anlass hier könnte sowohl eine Umgestaltung der Grünflächen zwischen den Gebäuden, bei der die Verdunstungskälte zur Klimaanpassung genutzt werden soll, sein (Schramm/Trapp/Winker 2022) als auch die Abschöpfung der bisherigen Wärmesenke im Grauwasser zur Warmwasserbereitung (Schramm et al. 2022). Eine standardisierte Siedlungsstruktur und eine weitgehend homogene Eigentums- bzw. Mieterstruktur, wie sie in vielen „Plattenbau“-Gebieten in ostdeutschen Städten vorhanden ist, reduziert die angesprochene Komplexität der Umsetzung und kann eine Transformation im Bestand erleichtern (Abbate/Wrieger-Bechtold 2015; Wrieger-Bechtold/Abbate 2017).

Die oben dargelegte Typologie ist also nur bedingt ohne sozialstrukturelle Betrachtung nutzbar. Denn je nach gebauten Strukturen, verlegten Netzen und physischen Gegebenheit kann der Transformationsaufwand, der sich auch finanziell in den Kosten niederschlägt, in jedem dieser Typen extrem unterschiedlich sein, beispielsweise in den Bestandsgebieten mit Mehrfamilienhäusern und vielen Besitzer\*innen. Im Gebäudebestand führen zwar „unter anderem die Gebäudestruktur (Bautyp, Dachgeometrie, Unterkellerung, Parkhaus), die räumliche Lage der Entwässerungssysteme (Lage der Fallrohre zum Geländegefälle) und Sickerverhältnisse über den Bedarf an invasiven Baumaßnahmen“ (Pallasch 2021: 128). Ob aber der Bedarf in Richtung Transformation realisiert wird, entscheiden normalerweise im Gebäudebestand deren Besitzer\*innen. Da die Eigentümer\*innen von Mehrfamilienhäusern nicht notwendigerweise in diesen Gebäuden wohnen, werden sie auch nicht Neuerungen von ihren Nachbarn nach Art einer Imitation übernehmen, wie dies für Einfamilienhäuser denkbar ist.

Für Bestandsgebiete mit Mehrfamilienhäusern bei heterogener Eigentümerstruktur bestätigte sich zwar das Bild früherer Untersuchungen, dass in diesen Quartieren eine wasserwirtschaftliche Transformation vergleichsweise aufwendiger ist (vgl. Michel/Felmeden/Kluge 2010; Winker et al. 2017). Auch dort kann es aber nutzbare Anlässe für die Umstellung geben, etwa wenn es aus Gründen der Klimaanpassung sinnvoll ist, auf eine wassersensitive Entwicklung umzustellen (vgl. Schramm/Trapp/Winker 2022) oder wenn es dort zur Erneuerung von Netzen und Kanälen kommen muss bzw. vom Quartier aus eine neu errichtete Betriebswasserversorgung, die zum Beispiel zur Versorgung

eines benachbarten Gewerbegebietes errichtet wurde, mitgenutzt werden kann. Das Alter der Hauswasseranlagen und die Risiken eines Leitungswasserschadens kann die Gebäudeeigentümer\*innen eventuell zum Mitmachen bewegen.

In Bestandsgebieten mit Ein- und Zweifamilienhäusern können Eigentümer\*innen, eventuell aber sogar auch Mieter\*innen unaufwendig handeln und Regenwasser im Garten nutzen. Das Trinkwasser für die Gartenbewässerung lässt sich in diesen Haustypen durch das auf der Dachfläche aufgefangene Regenwasser der Theorie nach zu einem großen Umfang substituieren (Schramm et al. 2019b). In der innerhäuslichen Wasserversorgung ist es zum Teil gleichfalls möglich, im Keller befindliche Waschmaschinen mit geringem Bauaufwand an eine auf Regenwasser zurückgreifende Betriebswasserversorgung anzuschließen; ein weitergehender innerhäuslicher Aufbau eines zweiten Leitungssystems für Betriebswasser ist hingegen davon abhängig, ob es bei dem Haus zu einer Generalsanierung kommt (für die sich meist nur beim Eigentümer- bzw. Generationswechsel eine gute Gelegenheit findet).

Grundsätzlich gestatten ältere Gebiete in einem Wohnbestand mit eingetretenen strukturellen Defiziten siedlungswasserwirtschaftliche Transformationen (Michel/Felmeden/Kluge 2010: 47ff). Diese Gebiete werden häufig als städtebauliche Sanierungs- bzw. Stadtumbau- oder Entwicklungsgebiete ausgewiesen (vgl. Kap. 5.1.). Das erleichtert es der Kommune auch, die Grundstückseigentümer\*innen anzusprechen und bezüglich der Transformation zu einer Koordination zu kommen. Aufbauend auf Erhebungen zum Sanierungsbedarf in den Hauswasserleitungen (vgl. Kap. 5.5) oder Abschätzungen könnte koordiniert in den Gebäuden und im öffentlichen Netz die Erneuerung von Leitungen so geplant und umgesetzt werden, dass dabei „quasi nebenbei“ hybride Wasserinfrastrukturen entstehen. Dabei ist es zudem sinnvoll, Gebiete nach ihrem städtebaulichen Entwicklungsgrad (der zum Teil auch über Sukzessionsmodelle begriffen wird) und gegebenenfalls nach Eigentümerstrukturen zu unterscheiden.

Insofern beginnt sich bei dieser Differenzierung der verschiedenen Bestandsgebiete und einer Betrachtung ihres räumlichen Kontextes aktuell die grundsätzlich skeptische planerische Haltung zu revidieren, die in der Vergangenheit von der Praxis teilweise sehr pauschal gegenüber „den“ Bestandsgebieten eingenommen wurde (vgl. Trapp/Libbe 2016: 28). Auch im baulichen Bestand verdichteter Städte mit hohen Bebauungs- und Netzdichten können neuartige Wasserinfrastrukturen folglich plausibel und ökonomisch darstellbar sein, obgleich dort bereits eine Ausstattung mit einem zentralen Wasserversorgungsnetz und Abwasserkanalisation existiert. Die vorhandenen zentralen Infrastrukturlösungen werden in diesen Gebieten auch keineswegs aufgegeben, sondern umgenutzt und planmäßig durch weitere Wasserinfrastrukturen ergänzt; diese können je nach räumlichem Kontext und politischem Willen der Kommune zentral oder semizentral betrieben werden (vgl. Kap. 4.).

Aufbauend auf älteren Abschätzungen aus dem Projekt netWORKS sind wir die unterschiedlichen Bestandstypen durchgegangen. Ausgehend von Erkenntnissen aus einer umfangreichen Abschätzung der Substitutionspotenziale für die Stadt Frankfurt am Main (vgl. Schramm et al. 2022) haben wir dabei den Bestand an Ein- und Zweifamilienhäusern neu bewertet, sofern dort dezentral das Niederschlagswasser als Quelle

herangezogen wird. Anders als früher haben wir zudem festgestellt, dass sich der Transformationsaufwand deutlich verringert, wenn ein Quartier einen einheitlichen Betreiber hat (z. B. kommunale oder genossenschaftliche Wohnungswirtschaft). Letztlich lässt sich in den meisten Bestandstypen eine Transformation durchführen (vgl. Tabelle 1).

*Tabelle 1: Bestandstypen und ihr Transformationspotenzial  
(Weiterentwicklung auf Basis von Michel/Felmeden/Kluge 2010)*

Gebietstyp	Lage	Quartierstypen	Bewertung der Kategorie	
			Entwicklungsdynamik	Transformationsaufwand
<b>Wohngebiete</b>	Kernstadt	Kerngebiet	++	--
		Altstadt	++	--
	Randlage Innenstadt	Geschosswohnungen mit einheitlichem Betreiber	++	+
		Geschosswohnungen mit verschiedenen Betreibern	++	0
		Mischgebiet	+	-
	Peripherie	Ein- und Zweifamilienhäuser	+	++
		Geschosswohnungen mit einheitlichem Betreiber	0	++
		Geschosswohnungen mit verschiedenen Betreibern	0	+
		Streusiedlung	-	+
	Außengebiet	Kleinstadt	0	0
		Dorf	0	+
	<b>Gewerbe- &amp; Industriegebiete</b>	Randlage Innenstadt	Gewerbegebiet	0
Mischgebiet			+	-
Industriegebiet mit einheitlichem Betreiber			+	+
Industriegebiet mit verschiedenen Betreibern			+	0
Peripherie		Industriegebiet mit einheitlichem Betreiber	0	+
		Industriegebiet mit verschiedenen Betreiber	0	0
		Gewerbegebiet	0	+
<b>Weitere Gebiete</b>	Randlage Innenstadt	Konversionsgebiet	++	++
		Entwicklungsgebiet	++	0
	Peripherie	Freizeit-/Sportparks	-	+
		Konversionsgebiet	0	++
	In beiden Bereichen	Schul-/Hochschulviertel	0	+
		Krankenhäuser/Klinikgebiete	-	+

**Legende:**

- sehr gute Eignung für wasserwirtschaftliche Transformation im Bestand
- gute Eignung für wasserwirtschaftliche Transformation im Bestand
- geringere Eignung

++: sehr hohe Entwicklungsdynamik (ED) bzw. hoher Transformationsaufwand (TA), +: hohe ED bzw. TA,  
0: durchschnittliche ED bzw. TA, -: geringe ED bzw. TA, --: sehr geringe ED bzw. TA

## 4 Mögliche Transformationspfade

Bei der mit der Gebrauchsartendifferenzierung einhergehenden Innovationsrichtung lassen sich recht unterschiedliche Pfade beschreiten, die sich auch nochmals je nach Grad der Dezentralität unterscheiden (siehe Abbildung 1). Hinsichtlich der Unterscheidung der Transformationspfade wurde sich an Winker et al. (2019a; 2017) orientiert; entscheidend sind dabei die Abhängigkeiten von der bestehenden siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur. Verknüpfungen mit der energetischen Infrastruktur sind hier bewusst nicht erfolgt, um die Komplexität nicht noch weiter zu erhöhen. Sie sind jedoch sinnvoll und sollten insbesondere bei der Bearbeitung des Grauwasserstroms explizit mitgedacht werden.

Wasserfraktion	Grad der Dezentralität			
	Gebäudeebene	Grundstücksebene	Quartiersebene	Gesamte Kommune
Niederschlagswasser	[Bar chart showing high intensity at Gebäudeebene]			
Grauwasser	[Bar chart showing high intensity at Gebäudeebene]			
		[Bar chart showing high intensity at Grundstücksebene]		
Anderes Betriebswasser	[Bar chart showing high intensity at Gebäudeebene]			
		[Bar chart showing high intensity at Grundstücksebene]		
Ressourcenmix	[Bar chart showing high intensity across all levels]			

Abbildung 1: Darstellung der diskutierten Wasserinfrastruktursystemen im Kontext von Wasserfraktionen und Grad der Dezentralität.

Der einfachste Transformationsfall ist bei einer *wasserwirtschaftlichen Insellage* gegeben, bei der der Grundstückskomplex nicht an die öffentliche Wasserversorgung und die kommunale Abwasserbeseitigung angeschlossen ist. Hier kann entsprechend der schon länger geführten Diskussion über wasserautarke Grundstücke/Kleinsiedlungen im Bestand eine differenzierte Wasserversorgung und Abwasserbehandlung mit Wasserwiedernutzung aufgebaut werden (fbr 2011).

Der nächst einfache Fall ist eine *teilweise Nutzung von Regenwasser auf dem eigenen Grundstück*. Der aufgefangene Niederschlag wird zur Nutzung in Garten und Grünanlage bzw. zusätzlich innerhäuslich/innerbetrieblich eingesetzt. In diesem Fall kann auf den Aufwand der Errichtung von (öffentlichen) Betriebswasserleitungen und der Synchronisation der Transformation in der öffentlichen und häuslichen Wasserinfrastruktur verzichtet werden. Gleiches gilt auch für den Fall, dass auf den Dächern aller Gebäude einer Kommune das Regenwasser aufgefangen und genutzt wird. In diesem Fall

wird sich allerdings die Menge des in der Kommune abgenommenen Trinkwassers spürbar verringern, so dass die Trinkwasserversorgung und deren Ressourcenentnahme aus dem Naturhaushalt anders als bisher gesteuert werden kann.

Eine *weitgehende (systematische) Nutzung von Regenwasser auf dem eigenen Grundstück (Niederschlagswasser Pur)* ist nur bei Ein- und eventuell auch Zweifamilienhäusern möglich. Hier wird der aufgefangene Niederschlag nicht nur zur Gartenbewässerung genutzt, sondern ebenso auch für innerhäusliche Nutzungszwecke (insbesondere die Toilettenspülung, zusätzlich evtl. auch für Waschmaschine, Spülmaschine oder zur Hausreinigung). Für die Gebiete mit Ein- und Zweifamilienhäusern ist gegebenenfalls aufgrund des Mengenrückgangs die öffentliche Wasserversorgungsinfrastruktur zu adaptieren (Aufrechterhaltung des Durchflusses).

Auch beim *Aufbau eines lokalen Kleinnetzes zur Abtrennung von Grauwasser und der Nutzung* des daraus aufbereiteten Betriebswassers in einem dezentralen Maßstab sind zwar in allen Häusern doppelte Netze aufzubauen; allerdings ist eine Synchronisation der öffentlichen und der häuslichen/semizentralen Wasserinfrastruktur auf der Ebene der Netzstruktur noch nicht erforderlich. Wird der *Aufbau eines gebietlichen Netzes zur Abtrennung von Grauwasser und zur Betriebswassernutzung* im semizentralen Maßstab (z.B. für ein Quartier oder einen Stadtteil) realisiert, wird es semizentral nur zu einer einzigen Aufbereitungsanlage für das Grauwasser kommen. Hier sind folglich im Straßenraum Transportleitungen für die Ableitung von Grauwasser und die Versorgung mit Betriebswasser zu installieren und zu betreiben. Je nach kommunalen Konzessionsvertrag können hier der Wasserversorger und der Abwasserbeseitiger der Kommune eine Monopolstellung haben. Andererseits könnten hier zum Beispiel auch Siedlungsgenossenschaften oder private Betreiber tätig werden. Die Straßenbaubehörde koordiniert die Belegung des Straßenraums für die neu erforderlichen Leitungen.

Würde diese Innovation allerdings *flächendeckend in allen geeigneten Bestandsgebieten* durchgeführt und alle Wohngebäude und Sportanlagen einer Kommune betreffen, so hätte dies erhebliche Auswirkungen auf den Betrieb von Trinkwasserversorgung und Abwasserbeseitigung; möglicherweise wären die öffentlichen Netze stark entlastet; die Anlagen zur Schmutzwasserbehandlung können mit einem höheren Konzentrationsgrad betrieben werden und die Aufenthaltsdauer in den Reaktoren der biologischen Behandlung könnte heraufgesetzt werden. Organisatorisch wäre für diesen Fall allerdings zusätzlich eine Struktur zur gemeinsamen Steuerung aller Grauwasseranlagen aufzubauen, um hier wirtschaftlich rentabel zu handeln.

Durch den Einsatz sogenannter Abwasserweichen (Hörnlein et al. 2022) kommt es zu einer *zeitlich flexibilisierten Netznutzung für unterschiedliche Teilströme*. Hier kann auf die doppelten Ableitungen von Schmutz- und Grauwasser sogar weitgehend verzichtet werden. Der Einsatz dieses Systems erfordert allerdings, dass der Betreiber der Grauwasseraufbereitung identisch mit dem kommunalen Abwasserbeseitiger ist. Andernfalls ist eine erhöhte Netzkoordination erforderlich (z.B. müssen sich die beiden Betreiber einigen, wie Kosten für Reparaturen oder Neuverlegung verteilt und wie Risiken bei Stör- und Ausfällen reguliert werden).

Als weiterer Fall denkbar ist auch eine *Gebrauchsartendifferenzierung alleine auf der Wasserversorgungsseite, bei der Wasser von außen hinzugeführt wird*. Bei einer dezentralen, grundstücksbezogenen Anwendung (z. B. Förderung aus Grundwasser) sind hier in den Hauswasseranlagen doppelte Netze zur Wasserverteilung zu installieren. Soweit hier das Wasser semizentral auf der Ebene von Bestandsquartieren gefördert und verteilt werden kann, könnte diese Aufgabe, wenn keine entsprechenden kommunalen Konzessionsverträge abgeschlossen sind, auch bei neuen wasserwirtschaftlichen Akteuren (z. B. Siedlungsgenossenschaften bzw. einer kommunalen Wohnungsbaugesellschaft, die Eignerin des Quartiers ist) oder auch einem Versorgungsunternehmen, das beispielsweise sonst Industrieparks betreibt, liegen, andernfalls fällt diese Aufgabe dem bereits in der Kommune tätigen Versorger zu (die Kommune kann sich in einigen Bundesländern ohnehin für den Aufbau einer öffentlichen Betriebswasserversorgung aussprechen und diese aktiv betreiben (vgl. z. B. § 30 Hessisches Wassergesetz)). Die Straßenbaubehörde koordiniert das Nebeneinander der neuen und alten Leitungen im Straßenraum. Wird eine Substitution von Trink- durch Betriebswasser für die gesamte Gemeinde verfolgt, so kann es zur Ausnutzung von Skaleneffekten vorteilhaft sein, möglichst große Ressourcen für die Betriebswassergewinnung zentral zu bewirtschaften statt ein Nebeneinander einer Vielzahl unterschiedlichster Ressourcen.

Wird stattdessen die Strategie eines *Multi-Ressourcen-Mixes zur Trinkwassersubstitution auf Ebene der Kommune* verfolgt, so sind die Maßnahmen zur Wassergewinnung und -nutzung möglichst zu koordinieren. Hierfür braucht es eine kommunale Strategie, was die Kommune erreichen möchte. Davon ausgehend sind dann die verschiedenen städtischen Gebiete entlang der verfügbaren alternativen Wasserressourcen als auch bezüglich der Quartiersstrukturen und -typen zu analysieren und so eine städtische Wasserkarte zu erstellen. Davon ausgehend können dann Maßnahmen identifiziert und Umsetzungsprozesse angestoßen werden. Entsprechend gilt es in solch einem Transformationsfall zu überlegen, ob es sinnvoll ist, wenn alle Grundstückseigener eine private Regenwasserbewirtschaftung haben und daneben noch ein öffentliches Versorgungsnetz flächendeckend betrieben wird. Hierzu wären möglicherweise Gebiete im Bestand zu identifizieren, in denen eine öffentliche Betriebswasserversorgung errichtet wird; auch ist zu regeln, ob eher periphere Siedlungen noch zentral mit Betriebswasser versorgt werden.

Für alle beschriebenen Fälle gilt es zudem auch, die nicht veränderten Wasserströme in den Blick zu nehmen. Das heißt, was bedeutet eine Teilnutzung oder Mehrfachnutzung für die Ableitung und Behandlung des Rest- oder gar nur Schwarzwassers? Was bedeutet die gewählte Lösung für das notwendige Löschwasser als auch Spitzenlasten im Netz? So wird deutlich, bis zu welchem Punkt das bestehende System weiterbetrieben werden kann wie bisher. Es zeigt sich, wann und wo eine Veränderung und Umnutzung aktiv anzugehen ist, etwa indem Inliner eingezogen und das Abwassernetz in einem reduzierten Durchmesser dann als Schwarzwassernetz betrieben werden kann. Aber auch, wie das neue System mit Betriebswasserspeicher und -leitungen auch Aufgaben im Bereich Löschwasser übernehmen und Spitzenlasten im Trinkwassernetz reduzieren kann. In diesem Zusammenhang gibt es bisher nahezu keine Erfahrungswerte.

Es wird deutlich, dass es dabei keinen vollständigen Wechsel zu einer anderen Wasserinfrastruktur gibt, sondern dass hybride Mischformen aus der alten („einheitlichen“ und „zentralen“) und einer nachhaltigeren neuen (auf alternativen Wasserressourcen und einer Gebrauchsartendifferenzierung beruhenden) Wasserinfrastruktur entstehen werden. Möglicherweise kann es dabei in einer Stadt, schon aufgrund der unterschiedlichen siedlungsstrukturellen, naturräumlichen und Nutzungserfordernissen, mehrerer dieser hybriden Wasserinfrastrukturen nebeneinander geben. Regelmäßig werden dabei Infrastrukturen für zwei Wasserarten (Trinkwasser, Betriebswasser) im Zustrom und häufig für drei Abwasserarten (Regenwasser, Grauwasser, Schmutzwasser) benötigt werden, die parallel aufgebaut und betrieben werden müssen. Teilweise kann es bei einem Einsatz von Abwasserweichen und Speichern auch möglich sein, zur Aufwandsminimierung verschiedene Abwasserströme zeitlich versetzt durch eine Leitung fließen zu lassen.

Der Übergang insbesondere zu den hybriden Infrastrukturen erfordert sowohl technische als auch sozio-technische und soziale Innovationen. Einerseits erfordert der Aufbau dieser Infrastrukturen im Bestand organisatorisch ein abgestimmtes Zusammenwirken vieler, heterogener Akteure. Andererseits ist es aber auch für den stabilen Betrieb der integrierten (gekoppelten) Wasserinfrastrukturen erforderlich, eine Kostendeckung zu erreichen und Transformationsrisiken möglichst zu vermeiden (Hoffmann et al. 2020; Kerber/Schramm/Winker 2016).

## 5 Instrumente

Um eine Transformation der Wasserinfrastruktur im Bestand zu bewirken, lassen sich unterschiedliche Instrumente einsetzen. Grundsätzlich kann die kommunale Entwicklungs- und Stadtplanung zur Transformation (z. B. über eine Förderung von Grau- bzw. Regenwassernutzung) sowohl städtebauliche und andere planungsrechtliche als auch satzungsrechtliche Instrumente nutzen (Trapp/Winker 2020). Des Weiteren sind hier auch finanzielle und Förderinstrumente zu erwähnen. Angesichts der großen Herausforderungen, die zu meistern sind, sind weiterhin informatorische Instrumente wichtig, eventuell auch kooperative Instrumente. Vermutlich empfiehlt sich ein Instrumentenmix.

### 5.1 Planungs- und rechtliche Instrumente

Nur in wenigen Bundesländern ist eine langfristig vorausschauende Wasserplanung bisher vorgeschrieben. In Südhessen wird derzeit erstmals probiert, auf Ebene der einzelnen Kommunen Wasserversorgungskonzepte aufzustellen, die auf einen mittelfristigen Planungshorizont angelegt sind und Auswirkungen der Klimaveränderungen berücksichtigen (z. B. eine verstärkte Nachfrage nach Bewässerungswasser für öffentliche Grünanlagen und Straßenbäume). Im Abwasserbereich müssen (fast ausnahmslos in NRW) die Kommunen bzw. die dort zuständigen Abwasserbetriebe Abwasserbeseitigungskonzepte bzw. Regenwasserbewirtschaftungskonzepte aufstellen. Bisher sind jedoch die Wasserkonzepte und die Abwasserkonzepte nicht verknüpft. Aufgrund vermuteter Pfadabhängigkeiten wird zudem nicht versucht, in solchen kombinierten Zukunftsplänen die Transformation zu veränderten Wasserinfrastrukturen strategisch anzulegen (z. B. in Szenarioform). Derartige Zukunftskonzepte sollten nach Möglichkeit so langfristig angelegt werden, dass sie auch bei Lock-in-Situationen (siehe Kap. 3.2.2) verdeutlichen, wie sukzessive eine Transformation zu einer hybriden Wasserinfrastruktur stattfinden kann.

Bisher fehlt in den Städten eine Planungstradition, die die wasserwirtschaftliche Fachplanung frühzeitig in Umstrukturierungsprozesse einbezieht (wie bei Neubaugebieten werden die Wasserfachleute auch bei Konversionsgebieten erst herangezogen, wenn eine Planung bereits in ihren Grundzügen, meist die Flächenbelegung, abgeschlossen ist). Häufig wird eine Umplanung eines Quartiers alleine in der Stadtplanung betrieben, wobei in den letzten Jahren verstärkt (potenzielle) Großinvestoren frühzeitig einbezogen worden sind. Ein früher Einbezug von Expert\*innen, die ein Wissen über alternative Wasserressourcen vor Ort haben, kann es erleichtern, zu anderen Entscheidungen zu kommen (Trapp/Winker 2022).

Das Instrument des B-Plans, mit dem eine ortsnahe und dezentrale Niederschlagsversickerung festgelegt werden kann (Verbücheln/Jolk/Pichl 2017: 96), greift nur in jenen Bestandsgebieten, in denen (ausnahmsweise) ein Bebauungsplanverfahren durchgeführt wird, insbesondere in Konversionsgebieten.

Hervorzuheben ist nach Verbücheln et al. (2021: 94ff) auch die Entwicklung von Konzepten zur nachhaltigen Wasser- und Abwasserentsorgung, die zum Beispiel im Rah-

men von sogenannten informellen Planungsinstrumenten wie kommunalen Regenwasserbewirtschaftungskonzepten oder Zukunftskonzepten einer nachhaltigen Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in Umsetzung gebracht werden können, die in einigen Bundesländern wie Rheinland-Pfalz oder Nordrhein-Westfalen vorgeschrieben sind. Beispielsweise wird die Stadt Frankfurt am Main in ihrem Wasserkonzept für 2030 eine verstärkte Trinkwassersubstitution durch Einsatz von Betriebswasser vorschreiben (Magistrat der Stadt Frankfurt a.M. 2021). Aufbauend auf Konzepten der Fachwelt und Fachplanungsgesetzen können die kommunalen Fachplanungen hinsichtlich der Entwicklung eines veränderten Umgangs mit Wasser (z.B. Einsatz von Regen- und Grauwasser) mit Transformationsmaßnahmen Effizienzsteigerungen umzusetzen. Diese Konzepte erlangen Verbindlichkeit für die Kommune (und damit auch ihre Administration und die evtl. ausgegliederten Kommunalunternehmen für Wasser/Abwasser), wenn sie vom Kommunalparlament verabschiedet werden (Rohrbach/Schramm/Winker 2023; Verbücheln et al. 2021: 95). Im Bestand können sie aber nur dort umgesetzt werden, wo die Kommune über eigene Flächen (z.B. Schulviertel, Sportanlagen, Verwaltungseinrichtungen) verfügt oder wo ein B-Plan anhängig ist.

In zahlreichen Kommunen werden bereits Klimaanpassungsbelange mit Hilfe von durch die Klimaveränderung ausgelösten Stadtentwicklungsplänen betrachtet (Rohrbach/Schramm/Winker 2023). Für das Land Berlin wird ein Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima 2019 fortgeschrieben, der neben der räumlichen Verortung von Defiziträumen konzeptionelle Ansätze für den Baubestand und den Neubau enthält (Pallasch 2021: 156).

Die Regenwasserbewirtschaftung kann mit Hilfe des Satzungsrechts für die Kommune insgesamt oder besonders geeignete Teilgebiete festgelegt werden (Geyler/Bedtke/Gawel 2013; Pallasch 2021; Vogt/Vack/Schramm 1998); in der Regel sind dabei auch Bestandsgebiete erfasst.

Ordnungspolitische Festschreibungen von Zielstellungen (z.B. Anschlussquoten vom Kanal) lassen sich zwar kommunalpolitisch gut verankern, es bleibt aber die Frage, ob sie sich auch erfolgreich durchsetzen lassen. Die Teilnehmenden waren hier sehr skeptisch. Erinnerung sei hier auch an die Vereinbarungen, die die Emschergenossenschaft mit ihren Mitgliedsgemeinden politisch zur Abkopplung des Niederschlagswassers aus dem Kanal abgeschlossen hat. Nur in wenigen Städten ist es gelungen, hier tatsächlich auch die Zielstellungen über zehn Jahre, die in der Größenordnung von 10 % vereinbart waren, zu erreichen.

Bisher noch nicht erprobt hinsichtlich einer wasserwirtschaftlichen Transformation ist das städtebauliche Instrument der Sanierungsgebiete (Verbücheln et al. 2021: 95), das nach § 136 Abs. 2 Nr. 1 des Baugesetzbuchs (BauGB), das für den Bestand aufgrund einer Substanz- oder einer Funktionsschwächenanierung einrichtbar ist. Die städtebauliche Sanierung und Erneuerung, die auch zu einer Transformation führen kann, wurde in Deutschland seit den 1960er-Jahren geschaffen, um bewohnbare Altbaugebäude mit massiven Substanzmängeln oder Altbauquartiere mit Funktionsmängeln systematisch anzugehen und unter koordiniertem Einsatz erheblicher Mittel die Mängel zu beseitigen. Schon die dazu notwendigen Abstimmungsleistungen der Eigentümer\*innen, die

der Sanierungsplanung zustimmen müssen, können in der Regel durch konventionelle Verabredungen untereinander kaum erbracht werden; zudem fehlen den Privaten häufig auch erforderliche finanzielle Mittel. Daher rechtfertigt sich hier das planerische Eingreifen der Kommune zu einer koordinierenden Umordnung mit Hilfe einer Sanierungssatzung, um ein Gebiet zur Behebung städtebaulicher Missstände wesentlich zu verbessern oder umzugestalten. Dabei reicht es nicht aus, dass die einheitliche Vorbereitung und zügige Durchführung der Sanierungsmaßnahme im öffentlichen Interesse liegt, sondern es müssen auch städtebauliche Missstände vorliegen (Haag/Menzel/Katz 2007). Diese können sich bei einer Funktionsschwächenanierung auch darauf beziehen, dass das Gebiet in der Erfüllung der Aufgaben, die ihm nach seiner Lage und Funktion jetzt oder zukünftig obliegen, erheblich beeinträchtigt ist. Aktuell wird diskutiert, ob und wieweit auch hinsichtlich der Aufgabe der Klimaanpassung, beispielsweise durch eine Verbesserung der blau-grünen Infrastruktur und deren wasserwirtschaftliche Optimierung, das städtebauliche Instrument greifen wird (Schramm/Trapp/Winker 2022).

Soweit es nicht erforderlich ist, für städtebauliche Sanierungsgebiete kommunales Satzungsrecht zu schaffen, ist es auch möglich, nach 171a BauGB ein Bestandsgebiet als Stadtumbaugebiet auszuweisen. In diesen Fällen ist ein einfacher Beschluss des zuständigen Gemeindeorgans ausreichend. Bei der Arbeit in Stadtumbaugebieten verzichtet die Kommune dann jedoch auf hoheitliche Befugnisse (z. B. eine Flächenenteignung, um besser durchgreifen zu können). „Die Festlegung eines Stadtumbaugebietes setzt allerdings voraus, dass die Gemeinde ein städtebauliches Entwicklungskonzept aufstellt, in dem die Ziele und Maßnahmen im Stadtumbaugebiet schriftlich darzustellen sind“, dabei sind die verschiedenen (öffentlichen und privaten) Belange gegeneinander und untereinander abzuwägen (Böhme/Bunzel 2014: 21). Zur Erfüllung der Aufgaben der Gemeinden werden vielfach entsprechend § 167 BauGB Entwicklungsträger oder andere Beauftragte eingeschaltet, bei Sanierungsmaßnahmen Sanierungsträger (Haag/Menzel/Katz 2007), die auch in der Lage sind, die verschiedenen Grundstückseigentümer\*innen in einem Bestandsgebiet wirksam zu koordinieren (Schramm/Trapp/Winker 2022).

Um eine Transformation der Wasserinfrastruktur in Bestandsgebieten vorzuschreiben, könnte eine Kommune diese auch ohne Rückgriff auf das Stadtumbau- oder Stadtsanierungsrecht satzungsrechtlich anordnen; hierbei ist die Transformationsrichtung klar vorzugeben und auch der Zeitpunkt, bis zu dem die häusliche Wasserinfrastruktur so umgestaltet ist, dass die dann veränderte öffentliche Wasserinfrastruktur auch in ihren neuen Bestandteilen genutzt werden kann. Dabei sollte den Grundeigentümern eine ausreichend lange Umbaufrist gegeben werden (Meinecke/Vack 1997). Eine solche Satzung könnte mit dem in § 177 BauGB verankerten Modernisierungs- und Instandsetzungsgebot verbunden werden. Grundsätzlich ist es auch aus anderen Gründen sinnvoll, wenn bestimmte Spezifika neuer Wasserinfrastruktursysteme (z. B. Ventile für Unterdrucksysteme, Trenneinrichtungen für die getrennte Erfassung von Schwarz- und Grauwasser, Abwasserweichen) und eventuell auch Pflegenotwendigkeiten durch die Kommune satzungsrechtlich geregelt werden (vgl. Maier o. J.).

In der Literatur geäußerte Hoffnungen, dass der gesplittete Abwassertarif (in eine Schmutzwasser- und eine Niederschlagsgebühr mit einer Gebührenbefreiung für nicht im Kanal erfasstes Regenwasser) nicht nur hinsichtlich der Auskopplung von Regenwasser aus der Kanalisation, sondern auch bezüglich der Nutzung von Regenwasser zur Trinkwassersubstitution eine große Wirkung in Bestandsgebieten haben, konnten empirisch nicht bestätigt werden. Insbesondere im Bestand mit Mehrfamilienhäusern ist die Anreizwirkung häufig gering, da eine Niederschlagsgebühr über die Umlage regelmäßig an die Mietparteien weitergereicht (Schramm/Trapp/Winker 2022). Außerhalb der attraktiven Ballungsräume kann dies anders sein, insbesondere dort, wo es einen sogenannten Mietermarkt gibt, also wo ein großes Vermietungsangebot einer kleinen Nachfrage gegenübersteht. Soweit Vermietende oder Eigentümergemeinschaften „durch hohe Nebenkosten einen Wettbewerbsnachteil auf dem kommunalen Wohnungsmarkt haben oder eine negative Mietenentwicklung vorliegt, kann das monetäre Anreizinstrument der Gebührenbefreiung seine Wirkung entfalten“ (Pallasch 2021: 144). Allenfalls bei grundlegenden Modernisierungsvorhaben ist sonst im Bestand damit zu rechnen, dass sich für Investitionen mit einer Neukonfiguration der häuslichen Wasserinfrastruktur entschieden wird (Kruse 2015).

Eine weitere Möglichkeit ist es, Verbote auszusprechen. So werden in unterschiedlichen Regionen in Deutschland und von verschiedenen Kommunen, Landkreisen oder Regierungsbezirken bei einem Notstand der Trinkwasserversorgung etwa in langen Trocken- und Hitzeperioden bereits heute Bewässerungsverbote ausgesprochen, meist in Kombination mit anderen Einschränkungen (keine Pools, keine Autowäsche usw.). Wenn solche Verbote regelmäßig zum Einsatz kommen, können sie auch ein Anreiz sein, alternative Wasserressourcen in das eigene Nutzungskonzept zu integrieren (vgl. Schramm et al. 2019a).

Perspektivisch wissen heute schon manche Städte, dass sie mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zukünftig die gemäß WRRL geforderte Wasserqualität in Bächen und Flüssen nicht einhalten können werden, da die Durchmischung der eingeleiteten gereinigten Abwässer nicht mehr in ausreichendem Maße gegeben sein wird. Dies erfordert dann Nachrüstungen auf der Kläranlage oder andere Eingriffe in das Abwassermanagement. So arbeitet etwa Paris an Konzepten, die eine Urinabtrennung in Gebäuden vorsehen (Matar et al. 2022). Ziel ist es, diesen hochkonzentrierten Abwasserstrom direkt an der Quelle getrennt zu erfassen, um nicht die bestehenden kommunalen Kläranlagen massiv aufrüsten zu müssen.

## 5.2 Finanzielle und Förderinstrumente

Eine Initiierung und Steuerung des Umbaus im Bestand durch Instrumente einer finanziellen Förderung ist gleichfalls denkbar. Hierfür wäre es sinnvoll, wenn der Bund zunächst entsprechende Modellvorhaben auflegen würde.

In Zeiten knapper Finanzmittel ist darüber nachzudenken, aus welchen Fördertöpfen entsprechende Geldmittel auch jenseits von Modellvorhaben und eventuell auch im Rahmen der Bund-Länder-Programmgestaltung aufgelegten Städtebauförderprogram-

men bereitgestellt werden können. Mit KfW-Mitteln könnten hier Sanierungsmaßnahmen noch stärker sektorübergreifend vorangetrieben werden, um etwa energetische mit wassertechnischen Maßnahmen wirkungsvoll zu verknüpfen. Weiterhin ist es denkbar, dass Landesmittel eingesetzt werden, um erste Erfahrungen zu sammeln und eine Umsetzung auf Landesebene zu fördern, wie es etwa die Förderung von Regenwassernutzung des Landes Bremen aktuell vormacht (Bremer Umwelt Beratung e.V. 2022).

Eigene Förderprogramme der Kommunen sind nur in wenigen Fällen erwartbar; sie erfordern eine Bereitstellung der erforderlichen Mittel im kommunalen Haushalt. Angesichts der strukturellen Probleme der Kommunen besteht zumeist nur ein geringer Spielraum für die Durchführung derartiger, von der Kommune finanzierter Förderprogramme. Gemeinden, die im Rahmen der Kommunalaufsicht Auflagen zur Haushalts-sicherung erfüllen müssen, haben diese Möglichkeit nicht. Nur die Bereitstellung zusätzlicher Mittel von dritter Seite kann hier Spielräume schaffen (Böhme/Bunzel 2014). Zur Förderung bieten sich weiterhin bereits bestehende Gebührenaufkommen an (wie in den beiden folgenden Absätzen ausgeführt).

Mit einer Grundwasserentnahmegebühr kann der Nutzung von Grundwasservorkommen entgegengewirkt werden. Die für die Nutzung des Grundwassers erhobenen Gebühren können verwendet werden, um zu einer Schonung der Ressource beizutragen. Bei einer hohen Grundwasserentnahmegebühr, die an die Verbraucher\*innen zum Beispiel über deren Trinkwasserverbrauch umgelegt wird, lässt sich teilweise bereits ohne eine solche Lenkungswirkung beobachten, dass sich die Systemkosten zwischen den häuslich einsetzbaren Wasserarten verschieben; daher rechnet sich beispielsweise in Berlin ein häuslicher Betrieb von Grauwasseranlagen und die Nutzung des Betriebswassers.

Mit der Abwassergebühr wurde auf eine Verbesserung des Gewässerzustands gezielt, in der Vergangenheit zunächst durch die Einführung einer ordnungsgemäßen Schmutzwasserreinigung auf den Kläranlagen. Die Abwasserabgabe soll mit einer Gesetzesnovelle an geänderte umweltpolitische, rechtliche und technische Rahmenbedingungen angepasst werden. Sie soll künftig nicht nur auf Schmutzwasser erhoben werden; daneben sollen eine Spurenstoff- und eine wirksamere Niederschlagsabgabe treten. Für die Niederschlagswasserabgabe sieht zum Beispiel der Referentenentwurf der Bundesregierung vor, dass über eine geänderte Bemessung der Schadeinheiten ein Anreiz gesetzt wird, Flächen zu entsiegeln, von der zentralen Abwasserbeseitigung abzukoppeln sowie Niederschlagswasser zu nutzen bzw. dezentral zu versickern (vgl. Gawel et al. 2021). Grundsätzlich kann das Gebührenaufkommen auch für die Finanzierung von geeigneten Systemen im Siedlungsbestand verwendet werden. Ähnlich ist denkbar, auch das Aufkommen aus der Spurenstoffabgabe einzusetzen, um an der Quelle durch eine Stoffstromtrennung eine Verbesserung des Zustandes zu erreichen.

### 5.3 Technisch-organisatorische Instrumente

Aus infrastrukturtechnischer Sicht gilt es zunächst festzustellen, dass eine Vielzahl technischer Systemlösungen bereitsteht und genutzt werden kann. Auch sind sie im Neubau an ausgewählten Quartieren wie der Jenfelder Au in Hamburg, in Knittlingen

und Pfaffenhofen, in den verschiedenen Ökosiedlungen der 1990er-Jahre, aber auch international in Göteborg oder Quingdao erprobt worden, so dass Erfahrungswerte zu ihrer Funktionalität und Zuverlässigkeit als auch zu Optimierungsmöglichkeiten vorliegen (vgl. Kisser et al. 2020). Diese systemischen Anwendungsfälle werden noch durch technische Teillösungen wie Inliner für Abwasserrohre (EvaSens-Vakuuminliner, Veser/Londong 2017), die Abwasserweiche (Hörnlein et al. 2022) oder auch neue Entwicklungen im Bereich der energetischen Rückgewinnung aus Teilströmen (wie etwa <https://www.revincus.com/de/einsatzbereiche/>) ergänzt, die sich besonders für einen Einsatz im Bestand eignen. Allerdings muss der zeitlich flexibilisierte Betrieb von Abwassernetzen mit Abwässern verschiedener Qualitäten mit Netzbetreibern erprobt werden, damit sich die Einsatzmöglichkeiten präzise bestimmen lassen. Darauf aufbauend haben sich auch nochmals neue systemische Lösungen mit Blick auf Klimaanpassung oder Energieeffizienz ergeben wie etwa die Vertikaa-Konzeption, bei der Abwasser innerhalb einer begrünten Fassade aufbereitet und dann als Betriebswasser wiedernutzt wird (Veser/Londong 2017).

In kurzer Zeit und ohne großen Aufwand (z.B. für Aufklopfen von Leitungsstrecken) installieren lassen sich doppelte Leitungen im Abwasserbereich über diese Inliner. Für den Aufbau der häuslichen Versorgung mit Betriebswasser können flexibel verlegbare Leitungssysteme aus Mehrschichtverbundrohren, wie sie mehrere Hersteller anbieten, auf Putz installiert werden. Wo in den Gebäuden wenig Platz für die Verlegung zusätzlicher Leitungen vorhanden ist, kann es auch sinnvoll sein, an einer Außenwand diese Leitungen zu verlegen. Diese Wand kann gleichzeitig genutzt werden, um die Aufbereitungsanlagen und einen Betriebswassertank aufzunehmen. Ergänzend kommt hinzu, dass bei der Durchführung solcher Maßnahmen auch darauf geachtet werden sollte, in den Wohnungen die Trinkwasserleitung jeweils als Ringleitung auszubauen. So entstehen keine Qualitätsprobleme aufgrund sich reduzierender Trinkwasserbedarfe.

Wichtig ist es, dass im Zuge dieser Differenzierung der Ab- und Zuleitungen Fehlan schlüsse vermieden werden. Während in der Abwasserableitung eine Vermeidung der Fehlan schlüsse über ca. 10–20 % je nach System anzustreben ist, gilt es mit absoluter Sicherheit, Fehlan schlüsse zwischen Trink- und Betriebswasser auszuschließen. Dies kann durch eine Mischung aus entsprechenden rechtlichen und normierenden Vorgaben, der notwendigen Aufmerksamkeit in Planung, Bau und Betrieb, Schulungen der Handwerker\*innen, Information der Gebäudebesitzer\*innen, -betreibenden und -nutzenden sowie durch technische Maßnahmen wie Markierung der Rohre, verschiedene Materialien und Gewinde usw. gelingen. Maßnahmen zur Qualitätssicherung können hier unterstützend wirken (Ebert et al. 2019; Schramm et al. 2019a).

## 5.4 Kooperative Instrumente

Zu den kooperativen Instrumenten zählen freiwillige Selbstverpflichtungen und Vereinbarungen. Privatrechtliche Vereinbarungen, aber auch städtebauliche Verträge können etwa bei Maßnahmen zum Aufbau von blau-grünen Infrastrukturen im Bestand

zukünftig eine gewisse Rolle spielen (Schramm/Trapp/Winker 2022). Erprobte kooperative Instrumente sind zum Beispiel Baum(scheiben)patenschaften oder das ehrenamtliche Engagement von Vereinen, Bürgerinitiativen oder anderen NGOs.

## 5.5 Informatrische Instrumente

Für die Schweiz wurden Entscheidungsunterstützungsinstrumente für die Kommunalpolitik entwickelt, bei denen, wenn es die Situation erfordert, auch eine Transformation der Wasserinfrastruktur empfohlen wird (vgl. Beutler et al. 2021).

In Sanierungsgebieten, aber auch in Konversionsgebieten bietet es sich zum Beispiel an, frühzeitig immer auch zu prüfen, wieweit in diesen Gebieten ein siedlungswasserwirtschaftlicher Transformationspfad beschritten werden kann. Dort, wo in Gebieten ein Gebäudealtbestand vorhanden ist, könnte es gleichfalls sinnvoll sein, wenn die Kommune die Initiative ergreift und die anstehenden Ertüchtigungen sowohl der häuslichen als auch der öffentlichen Wasserinfrastruktur als Startpunkt für eine wasserwirtschaftliche Transformation begreift, die zugleich eine wassersensible Stadtentwicklung und verbesserten Klimaschutz (durch erhöhte Energiesuffizienz) umfassen kann. Die Entwicklung eines einfach durchführbaren Transformations-Checks könnte Stadtplaner und Kommunalpolitiker bei der Identifikation von Gelegenheitsfenstern unterstützen.

Bislang fehlen bei den Instrumenten zur Entscheidungsunterstützung solche, die Kommunalakteuren helfen, konkret die gut geeigneten Gelegenheitsfenster im Bestand zu identifizieren und dafür Daten aus dem Asset-Management über den Zustand der öffentlichen Abwasser- und Trinkwassernetze mit Hinweisen über den Sanierungsbedarf auch der Hauswasserleitungen verschneiden. Entsprechende Informationsinstrumente wären sehr hilfreich.

Bisher fehlt auf der Bundesebene eine Institution, die die bisherigen Erfahrungen zur Transformation der Wasserinfrastruktur sammelt und bewertet, um Kommunen und Investoren darauf aufbauend so zu beraten, dass sich frühzeitig besonders vorteilhafte Lösungen in der Praxis durchsetzen. Durch eine unvoreingenommene Bewertung können Schritte hinsichtlich der Identifikation von Gelegenheitsfenstern und der Evolution der Neuerungen abgekürzt und nicht gewünschte Pfadabhängigkeiten bzw. Lock-in-Situationen vermieden werden.

Entscheidend für eine erfolgreiche Transformation sind ausreichend dokumentierte Ist-Zustände der Gebäude und Quartiere. Auf der Grundlage von aktuell gehaltenen Leitungs- und Netzplänen kann eine Transformation gut vorgedacht und konzipiert werden. Leider besteht diese Art der Dokumentation für Gebäude nur in wenigen Fällen; teils sind sie veraltet. Sonst muss man sich mit den ursprünglichen Planungen behelfen, aus denen sich nicht entnehmen lässt, ob sie so umgesetzt wurden. Wenn diese Dokumentationen nicht existieren, ergibt sich ein gewisser Mehraufwand in deren nachträglicher Erstellung oder durch die Unwägbarkeiten im Veränderungsprozess.

Im Vergleich zur Energiewende fällt auf, dass für diejenigen, die über Baumaßnahmen in einem Gebäude entscheiden, bisher keine systematische Beratung rund um die häusliche Wasserversorgung aufgebaut wurde, insbesondere, wenn sie nur ein oder wenige Häuser besitzen. Derzeit existiert zwar ein sehr bescheidenes Geschäftsfeld für Beratungsinstitutionen, sich an die Hauseigentümer\*innen zu wenden, um ohne einen Wasserschaden präventive Sanierungspläne zu erstellen (vorhandene Berater\*innen arbeiten vor allem hygienische Risiken durch Legionellen und Pseudomonas ab); jenseits der Legionellenuntersuchung (alleine für Warmwassersysteme) wird bisher kaum ein Bewusstsein bei den Eigentümer\*innen geschaffen. Auch fehlt ein Instrument wie der Energiepass, der auch die Kommunikation mit Mietparteien erleichtern könnte, vor allem aber Hausbesitzende darüber informiert, ob sie ihre Aufgaben erledigt haben bzw. zu welchem Zeitpunkt sie diese erledigen sollten.

Mit Hilfe von Checklisten und Handlungsempfehlungen kann der Sanierungsbedarf in den Hauswasserleitungen erarbeitet werden. Dieses sogenannte Leitungswassermanagement kann nicht nur für ein einzelnes Gebäude (z. B. ein Wohnhochhaus), sondern auch systematisch für alle Liegenschaften einer Kommune oder des kommunalen Wohnungsunternehmens aufgebaut werden (Scholzen 2008: 141ff). Ebenso ist es auch möglich, sich in Sanierungs- bzw. Stadtumbaugebieten frühzeitig mit Hilfe eines exemplarischen Querschnitts durch das Quartier einen Überblick über die eventuell erforderliche Sanierung/Erneuerung der Hauswasserleitungen (einschließlich Abwasser) zu verschaffen.

Perspektivische informatorische Instrumente könnten weiterhin sowohl eine individuelle spezifische Informationsbereitstellung, beispielsweise einen solchen Hauswasserpass, sowie Maßnahmen zur Behebung des Fachkräftemangels umfassen. Durch Letzteren bzw. den bereits angesprochenen deutlichen Mangel an Nachwuchs insbesondere im Handwerk wird die Umsetzbarkeit der Transformation im Bestand erschwert (das sind sehr auffällige Parallelen zur Wärmewende). Möglichkeiten zur Fachkräftegewinnung sind zum Beispiel Nachwuchs- und Umschulungsprogramme, Maßnahmen zur Erhöhung der Attraktivität der Berufe durch Gleichwertigkeit der Abschlüsse, aber auch die Anpassung der Aus- und Weiterbildungsprogramme von Handwerker\*innen an zielkompatible Technologien (Kost et al. 2021: 106).

## 6 Identifizierter Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Für Hoffmann et al. (2020) ist zwar bereits die derzeitige Umsetzung alternativer Wassersysteme in den Städten vielversprechend. Dennoch unterstreichen die bisher verfolgten Ansätze die Notwendigkeit, Forschungsfragen fachlich nicht zu eng fokussiert zu behandeln, sondern sowohl aus technischer als auch sozio-ökonomischer und transformativer Perspektive anzugehen.

Ein zentrales Forschungs- und Entwicklungsziel, das bereits Kaufmann Alves (2012: 280) identifizierte, hat sich bestätigt: Grundsätzlich sollte die **Entwicklung effizienter und innovativer Leitungsführungen innerhalb und außerhalb von Gebäuden** vorangetrieben werden, mit denen es möglich wird, die Kosten, aber auch den Aufwand (z. B. für die Mietparteien) bei infrastrukturellen Transformationen im Bestand zu reduzieren. Im Rahmen weiterer F&E-Vorhaben ist zu überprüfen, wie lange derartige Verbundmaterialien unter Praxisbedingungen funktionsfähig sind bzw. halten und ob hier evtl. durch Einsatz anderer Polymere eine bessere Umweltbilanz erzielt werden kann.

Zur **Bewertung der technischen Möglichkeiten einer ressourcenschonenden Umrüstung** in Bestandsgebäuden reicht es nicht aus, alleine an die in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit vorherrschenden Systeme (z. B. Life-Cycle-Analyse bzw. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) anzuschließen, da damit die Ressourcenintensität im Betrieb, wie sie in Stoffstromanalysen erhoben wird, nur teilweise bewertet werden kann. Gesichtspunkte wie die langfristige Robustheit bzw. Resilienz der Wasserinfrastruktursysteme, aber auch deren Kritizität (z. B. aufgrund einer Rohstoffabhängigkeit von tendenziell instabilen oder erpresserischen Herkunftsländern) spielen in der politischen und zivilgesellschaftlichen Debatte zunehmend eine Rolle und sollten hier eingehen. Die EAWAG hat gute Erfahrungen mit multikriteriellen Entscheidungsanalysen gemacht, auf denen aufgebaut werden kann (Beutler et al. 2021; Marttunen/Lienert/Belton 2017; Scholten et al. 2014). Es ist zu untersuchen, was erforderlich ist, um diese Bewertungen und Entscheidungsanalysen zur Grundlage der kommunalen Entscheidungsprozesse zur künftigen Gestaltung der Wasserinfrastruktur zu machen.

Es fehlt der Kommunalpolitik bisher ein **Informationsinstrument zur sektor- und ressortübergreifenden Identifizierung der Gelegenheitsfenster im Bestand**. Dazu sind zumindest Daten aus dem Asset-Management des Abwasserbeseitigers und des Trinkwasserversorgers über den Zustand ihrer Netze und bekannte Schwachpunkte mit Hinweisen über den Sanierungsbedarf der Hauswasserleitungen zu verschneiden. Bei der Erarbeitung eines solchen Instruments muss geklärt werden, wie die Kommune überhaupt eine Übersicht über sich häufende Leitungswasserschäden oder Sanierungspläne in den Gebäuden erhalten kann (z. B. über eine entsprechende eigene Beratungseinrichtung, evtl. aber auch über Faustzahlen). Gegebenenfalls lässt sich dieses Instrument auch mit einem Transformations-Check (vgl. 3.5.5.) kombinieren.

Gemeinsam mit den Gebäudeversicherern könnte untersucht werden, wieweit es sinnvoll ist, einen eigenen **Wasserpas für Gebäude** zu erarbeiten, der über etwaige Sanierungsbedarfe der Hauswasserleitungen informiert, es aber auch erlaubt, bei der Strukturierung der Planung von weiteren Arbeiten zum Erhalt und der Weiterentwicklung

der Gebäude (z.B. hinsichtlich blau-grüner Infrastruktur) zu unterstützen. Eventuell besteht auch ein Regelungsbedarf hinsichtlich einer Dokumentation der verbauten Materialien bzw. einer Netzdokumentation in den Gebäuden.

Übergreifend gilt es, ein **Bewusstsein der Gebäudeeigentümer\*innen für Wasserbelange** zu schaffen. Hierzu zählt zuallererst aufgrund der sich verändernden Rahmenbedingungen eine Technik, die aktuell ist und mit den Herausforderungen wie Trockenheit mit nachfolgenden Bewässerungsverboten, dem Schutz vor Starkregen, dem Erhalt der Hygiene im Leitungssystem, aber auch einem grundsätzlichen ressourcenschonenden Management von Wasser und Energie (Warmwasser) umgehen kann. Hier ist sicherlich ein Wasserpass ein interessanter Baustein, reicht jedoch nicht aus.

Hinsichtlich der zu novellierenden Abwassergebühr liegen bisher erste Abschätzungen der möglichen Aufkommens- und Zahllasteffekte vor (Gawel et al. 2021). Wieweit für die bauliche Veränderung der Wasserzu- und ableitungen und neue Anlagen in den Bestandsgebieten zukünftig zielgerichtet die eingenommenen Gebühren aus der Abwassergebühr verwendet werden könnten und sollten, wurde bisher hingegen nicht ermittelt. Folglich sollte näher untersucht werden, unter welchen Voraussetzungen zukünftig auch für die **monetäre Förderung der Transformation der Wasserinfrastruktur im Siedlungsbestand auf das Gebührenaufkommen aus der Abwassergebühr** zurückgegriffen werden könnte, insbesondere, wenn dadurch ein gezieltes Abstellen von hygienisch problematischen Einträgen in die öffentliche Schmutzwasserleitung erreicht werden kann. Vor der Einführung der Spurenstoffabgabe wäre es zudem erforderlich, hygienisch besonders problematische Typen von Einleitern im Bestand zu identifizieren.

Darüber hinaus gilt es zu analysieren, ob bzw. inwiefern es eine **Neugestaltung der bestehenden Tarif-/Gebührenmodelle** braucht. Bei den bestehenden Modellen käme es für künftig nur noch weniger beanspruchte Infrastruktureilsysteme in der Transformation zu einer immensen Steigerung der Fixkosten, man könnte sogar von einer Fixkostenfalle sprechen (Backhaus 1998). Diese Gestaltung sollte neben einer sinnvollen Kostenverteilung idealerweise auch echte monetäre Anreize zur Transformation enthalten. Wie beide Ziele gleichermaßen erreicht werden können, gilt es zu untersuchen.

Für Kommunen ist das **frühzeitige Erkennen relevanter Barrieren und deren Beziehungen zu einzelnen Stakeholdern** wesentlich. Insbesondere ist es für eine gute Entscheidung im Transformationsprozess wichtig, hier zwischen vorgeschobenen und echten Barrieren von Schlüsselakteuren unterscheiden zu können und damit die Bereiche, die eine gemeinsame konstruktive Weiterentwicklung benötigen, von denen unterscheiden zu können, wo es um eine Konfliktbearbeitung etwa aufgrund unterschiedlicher Prioritätensetzung oder Arbeitskulturen geht. Bisher ist kein analytischer Rahmen entwickelt, der dies Kommunen systematisch und zuverlässig erlaubt. Hier kann gut auf Vorarbeiten im Bereich der Akteur-Netzwerk-Theorie mittels Konstellationsanalysen aufgebaut werden (Schramm/Trapp/Winker 2022; Schramm et al. 2023). Diese erlauben es den Kommunen nicht nur, geeignete Netzwerkstrukturen zu erkennen, sondern auch Hemmnisse in der Kooperation und im Entscheidungsprozess von Schlüsselakteuren zu identifizieren und gemeinsam aufzubrechen. Konstellationsanalysen als

ein pragmatisches, von der Kommune selbst einsetzbares Instrument für die Vorbereitung der Transformation der Wasserinfrastrukturen sind bereits im Ansatz entwickelt (vgl. Wolf/Londong 2020); unter Rückgriff auf reale Veränderungen im Bestand sollten sie systematisch untersucht sowie in der gemeinsamen Anwendung erprobt und gegebenenfalls weiterentwickelt werden.

Ähnlich wie bei Neubauvorhaben sind auch im Bestand hinsichtlich der Realisierung neuartiger Wasserinfrastrukturen die **subjektiven und objektiven Transformationshemmnisse und -risiken** zu erkennen, zu vermindern und zu vermeiden, um den zögerlichen Umgang mit den Neuerungen und Transformationshemmnissen rational zu bearbeiten und möglichst zu überwinden. Letztlich spricht ähnlich wie beispielsweise bei klassischen Innovationsrisiken in Unternehmen auch bezüglich der siedlungswasserwirtschaftlichen Transformationsprozesse viel dafür, aufbauend auf den Erkenntnissen der Risikoforschung eine Governance der Transformationsrisiken vorbereitend bereits mit der Durchführung entsprechender Modellvorhaben im Bestand aufzubauen.

Um die Debatte zur siedlungswasserwirtschaftlichen Transformation mit der Frage, mit welchen Abhängigkeiten wir in Zukunft leben wollen, zu verknüpfen, wäre es sinnvoll, nicht nur die alten Pfadabhängigkeiten zu identifizieren, sondern mit Hilfe von TA-Ansätzen und Szenarien auch die **möglichen neuen Pfadabhängigkeiten aufzudecken**, die mit der Transformation verbunden sein könnten, und ein Bewusstsein hierüber herzustellen.

Neben der konkreten Integrierbarkeit im Gebäudebestand bzw. der Siedlungsstruktur wurde als weitere wichtige Aufgabe die **Identifizierung von Potenzial- und Vorranggebieten im Bestand** benannt, in denen eine Transformation zunächst verfolgt werden sollte. Hierzu kann bereits auf vorliegenden konzeptionellen Überlegungen, vergleichenden Analysen und ersten Planungstools aufgebaut werden (Kaufmann Alves 2012; vgl. Kluge/Libbe 2010; Kruse 2015; Niederste-Hollenberg et al. 2016; Schramm et al. 2018; Winker et al. 2017).

In weiteren Forschungsvorhaben sollte es darum gehen, die **derzeitigen Lösungswege zu differenzieren**, um letztlich Antworten für jede Art von Bestand zu finden. Zukünftige Forschung sollte zudem nicht alleine praxisbezogen ausgerichtet werden, sondern einen **kritischen transdisziplinären Forschungsansatz** verfolgen. Erforderlich ist hierfür eine Förderung nicht nur durch die Ressortforschung, die eine derartige transdisziplinäre Breite in der Regel nicht finanzieren kann, sondern vor allem auch durch das BMBF in Form weiterer soziotechnischer „Leuchtturmprojekte“, in denen alternative städtische Wassersysteme in großem Maßstab umgesetzt werden, auch im Siedlungsbestand. Entsprechend der Analyse von Hoffmann et al. (2020) sollte solche Forschung unbedingt auf den Erfahrungen bereits bestehender Leuchtturmprojekte aufbauen, ihre Potenziale und Grenzen aus einer integrierten Perspektive identifizieren und ihre Erfolge und Misserfolge im gesamten städtischen Wassersektor teilen.

Auch für Neubauprojekte bzw. neu erschlossene Quartiere sollten noch **offene Punkte und Handlungsbedarfe im Transformationsprozess identifiziert und bearbeitet werden**, etwa über eine wissenschaftliche Begleitung von Pilotprojekten. Bisher

hängt dies stark von den entsprechenden Planungen und Fördermöglichkeiten ab (Winker et al. 2017). Auch für den Neubau fehlt auf Bundesebene eine Institution, die Kommunen und Investoren berät. Hinsichtlich mehrerer aufgrund von fehlender Weiterfinanzierung durch das BMBF wissenschaftlich nicht weiterbegleiteter Leuchtturmprojekte (z. B. KREIS in Hamburg (Oldenburg/Giese/Londong 2016), SEMIZENTRAL in Xingdao) empfiehlt sich eine fachübergreifende wissenschaftliche Auswertung des aktuellen Betriebs, um potenzielle Schwachstellen, aber auch ergriffene „Goldrand“-Lösungen, die sich für eine Standardisierung vereinfachen lassen, zu identifizieren. Nur so lassen sich auch für Neubauvorhaben exportfähige Lösungen erarbeiten, die international wettbewerbsfähig sind.

## 7 Schlussfolgerungen

Voraussetzung für eine wirksame Transformation im Bestand wird, von wenigen Ausnahmen abgesehen, eine politische Entscheidung der Kommune für eine aktive Umgestaltung der Wasserinfrastruktur (z.B. Beschluss für eine öffentliche Betriebswasserversorgung oder für eine wassersensitive Stadtentwicklung) sein. Diese gibt es bisher kaum – schon gar nicht für Bestandsgebiete. Um eine solche Entscheidung rational treffen zu können, sollte die Kommune aufbauen auf einer wasserwirtschaftlichen Ersteinschätzung zur Regenwasserbewirtschaftung (Vogt/Vack/Schramm 1998), einem Masterplan zur Betriebswasserversorgung oder ähnlichen Formen einer wissenschaftlich gestützten Zielfindung aufbauen.

Um Synergien zu nutzen, sollten unterschiedliche politische Instrumente und Anreizsysteme kombiniert werden. Weiter sollte lokal (in den vorrangig zu behandelnden Bestandsgebieten) das Bewusstsein für Transformation geschaffen werden, um eine Kultur der Transformation zu erzeugen.

In der Erarbeitung der Thematik wie auch in der Diskussion mit den Expert\*innen wurde nochmals deutlich, wie dringlich der Gestaltungs- und Handlungsbedarf ist. Die Transformation von Infrastrukturen zieht sich über einen langen Zeitraum und umfasst die unterschiedlichsten Räume und Akteure. Daher bedeutet jedes Nichthandeln nicht nur eine Verzögerung, sondern eine Verstärkung möglicher Lock-in-Situationen und irreversibel verlorene Ressourcen. Dabei beziehen sich die Ressourcen nicht nur auf nicht eingesparte Wasser- und Energiemengen sowie Umweltbelastungen, sondern auch auf Arbeitskraft und Kapital, die verwendet worden sind, ohne den Wandel anzustoßen. Besonders eklatant dabei ist, dass durch das Verharren im Status quo nicht die Synergien und Kooperationspotenziale mit dem Energiesektor gehoben werden können.

Darüber hinaus kommt natürlich auch dem Umweltbundesamt eine wichtige Rolle zu. Hier werden die Grundsatzentscheidungen zum Umgang mit Wasserwiederverwendung, aktuell etwa die Umsetzung der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung, zum Handling von Starkregenabschlag oder auch zur vierten Reinigungsstufe fachlich vorbereitet, um nur einige wenige zu nennen, die damit über Jahrzehnte den geforderten Umbau der Wasserinfrastruktur bestimmen.

Die Kommune kann gegebenenfalls eigene Wohnungsunternehmen überzeugen, Veränderungen im Bestand anzugehen. Das wäre ein wichtiger Schritt, zumal dabei ganz praktisch die immer noch die weitverbreitete Meinung widerlegt werden kann, dass nur bei einer Gebäudekernsanierung eine wasserwirtschaftliche Veränderung im Bestand realisierbar sei. So lassen sich folglich erhebliche (zeitliche) Barrieren im Veränderungsprozess angehen und verringern.

Eine (letztlich fast flächendeckende) Transformation ist im Bestand bei Nutzung aller Instrumente zunächst eine utopisch erscheinende Unternehmung, aber mittel- bis langfristig bei einer zeitnahen entsprechenden Weichenstellung und Bearbeitung der offenen Fragestellungen erreichbar.

## 8 Danksagung

Ohne die finanzielle Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wäre es nicht möglich gewesen, den Expert\*innenworkshop im Sommer 2020 zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Wir danken Herrn Franz-Peter Heidenreich von der Bundesstiftung, aber auch allen Teilnehmenden am Workshop für die eingetragenen Erfahrungen und Einschätzungen. Dieses Diskussionspapier ist eine verkürzte und leicht veränderte Fassung des Schlussberichtes an die Stiftung.

## 9 Literaturverzeichnis

- Abbate, Moritz/Alexander Wrieger-Bechtold (2015): Wasser: Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft. In: King, Luise/Jürgen Weidinger/Matthias Barjenbruch/Markus Naimer/Florian Köhl (Hg.): Zingster reloaded: Zur Zukunft einer Plattenbausiedlung in Berlin. Berlin, 47–76
- Backhaus, Klaus (1998): Die Fixkostenfalle. *Manager Magazin* 3, 134–137
- Bauer, Sonja/Hans Joachim Linke/Martin Wagner (2020): Combining industrial and urban water-reuse concepts for increasing the water resources in water-scarce regions. *Water Environment Research* 92 (7), 1027–1041
- Becker, Michael/Markus Werntgen-Orman (2017): Leitbild wassersensitive Emscherregion, Lösungsstrategien für urbane Räume. *Göttinger Wassertage*
- Beutler, Philipp/Tove A. Larsen/Max Maurer/Philipp Staufer/Judit Lienert (2021): Potenzial dezentraler Abwassersysteme. *Aqua & Gas* 101 (1), 66–75
- Beyer, Jürgen (Hg.) (2006): Pfadabhängigkeit. Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel. Frankfurt am Main
- Böhme, Christa/Arno Bunzel (2014): Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum. Expertise „Instrumente zur Erhaltung und Schaffung von Umweltgerechtigkeit“. Berlin
- Bremer Umwelt Beratung e. V. (Hg.) (2022): Förderprogramme Regenwassernutzung. <https://www.bremer-umwelt-beratung.de/Foerderprogramme-Regenwassernutzung.html>
- Davoudi, Arash/Ruth Scheidegger/Martina Winker (2017): Stoffstromanalyse. In: Schramm, Engelbert (Hg.): Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potenziale, institutionelle Spielräume. Edition Difu – Stadt Forschung Praxis, 16. Berlin, 119–131
- Deffner, Jutta/Barbara Birzle-Harder (2017): Betriebswasserversorgung und Wärmerückgewinnung aus Bewohnersicht. In: Winker, Martina/Jan Hendrik Trapp (Hg.): Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potentiale, institutionelle Spielräume. Edition Difu – Stadt Forschung Praxis, 16. Berlin, 143–158
- Ebert, Björn/Engelbert Schramm/Bingxiang Wang/Martina Winker (2019): Governance instruments for optimising source separation in novel urban water systems: the case of cross-connections in urban water systems. *Water Policy* 21 (2), 412–427
- fbr – Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V. (2011): Wasserautarkes Grundstück. fbr-Schriftenreihe 15, Darmstadt
- Fischedick, Manfred/Armin Grunwald (Hg.) (2017): Pfadabhängigkeiten in der Energiewende: Das Beispiel Mobilität. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München
- Gawel, Erik/Sebastian Strunz/Robert Holländer/Sabine Lautenschläger/Lukas Stumpf/Gregor Jaschke/Hermann Spillecke (2021): Reform des Abwasserabgabengesetzes – mögliche Aufkommens- und Zahllasteffekte. UBA Texte 60. Dessau-Roßlau
- Geyler, Stefan/Norman Bedtke/Erik Gawel (2013): Nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung – aktuelle Steuerungstendenzen im Siedlungsbestand. UFZ Discussion Papers 3. Leipzig

- Giese, Thomas/Jörg Londong (2015): Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung. Synthesebericht zum Forschungsprojekt KREIS. Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme 30. Berlin
- Haag, Theodor/Petra Menzel/Jürgen Katz (2007): Städtebauliche Sanierungs- und Entwicklungsmaßnahmen: Ein Handbuch für die Praxis mit zahlreichen Mustern, Beispielen, Schemata und Übersichten. Stuttgart
- Hanke, Stefanie (Hg.) (2016): Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen. Zu den rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen der Einführung von Grauwasserrecycling, Schwarzwasserbehandlung sowie Wasserrückgewinnung. netWORKS-Papers 31. Berlin
- Hansen, Joachim/et al. (2007): KOMPLETT – Ein Verbundvorhaben zur Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen. GWF Wasser Abwasser 148 (10), 691–697
- Harms, Arne (Hg.) (2019): Infrastruktur. Dialektik des Globalen. Kernbegriffe. Oldenburg
- Hefter, Tomas/Jutta Deffner/Barbara Birzle-Harder (2015): Akzeptanz von Grauwasserbehandlung und Wärmerückgewinnung im Alltag. fbr-wasserspiegel (3), 18–21
- Hoffmann, Sabine/et al. (2020): A research agenda for the future of urban water management: exploring the potential of nongrid, small-grid, and hybrid solutions. Environmental Science & Technology 54.9, 5312–5322
- Hörnlein, S./J. Londong/S. Vesper/M. Berndt (2022): Technische Lösungen für Source Separation im Bestand. fbr-wasserspiegel 2, 27–33
- Jahn, Thomas (Hg.) (1991): Krise als gesellschaftliche Erfahrungsform: Vorarbeiten zu einem sozial-ökologischen Gesellschaftskonzept. Frankfurt am Main
- Kaufmann Alves, Inka (2012): Strategieentwicklung zur Integration ressourcenorientierter Abwasserbewirtschaftung durch mathematische Optimierung. Dissertation. TU Kaiserslautern
- Kaufmann Alves, Inka/Henning Knerr (2010): Systemintegration. Koexistenz mit bestehender Infrastruktur?! DWA NASS-Tage – Neuartige Sanitärsysteme, Neue Wege zum Umgang mit Abwasser. Weimar
- Kerber, Heide/Engelbert Schramm/Martina Winker (Hg.) (2016): Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation. netWORKS-Papers 28. Berlin
- Keuter, Volkmar/Görge Deerberg (2009): Challenge Water Reuse: Akzeptanz, Betriebssicherheit und Medikamentenrückstände. In: Schmitt, Theo G. (Hg.): KOMPLETT: Ein innovatives System zur Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern 28, 163–187
- Kisser, Johannes/Maria Wirth/Bart De Gusseme/Miriam Van Eckert/Grietje Zeeman et al. (2020): A review of nature-based solutions for resource recovery in cities. Blue-Green Systems 2 (1), 138–172
- Kluge, Thomas/Jens Libbe (Hg.) (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Berlin

- Kluge, Thomas/Engelbert Schramm (2016): Wasser 2050. Mehr Nachhaltigkeit durch Systemlösungen. München
- Kluge, Thomas/Christoph Treskatis (2022): Warten und Zusehen trotz beunruhigender Signale? Ein Weckruf für eine Neubetrachtung der Grundwasserbewirtschaftung im Zeichen des Klimawandels. GWF Wasser Abwasser 163 (06), 59–66
- Köhler, Jonathan/Norman Laws/Ina Renz/Ulrike Hacke/Julius Wesche/Nele Friedrichsen/Anja Peters/Jutta Niederste-Hollenberg (2017): Anwendung der Mehr-Ebenen-Perspektive auf Transitionen: Initiativen in den kommunal geprägten Handlungsfeldern Energie, Wasser, Bauen & Wohnen. ISI-Working Paper Sustainability and Innovation S01. Karlsruhe
- Kost, Christoph/Charlotte Senkpiel/Judith Heilig/Jessica Berneiser/Robin Krekeler/Markus Blesl/Alexander Burkhardt (2021): Ariadne-Report. Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045: Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam
- Kruse, Elke (Hg.) (2015): Integriertes Regenwassermanagement für den wassersensiblen Umbau von Städten: Großräumige Gestaltungsstrategien, Planungsinstrumente und Arbeitsschritte für die Qualifizierung innerstädtischer Bestandsquartiere. Stuttgart
- Larsen, Tove A./Sabine Hoffmann/Christoph Lüthi/Bernhard Truffer/Max Maurer (2016): Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. Science 352 (6288), 928–933
- Londong, Jörg (2022): HOSS: Ein Hygiene-orientiertes Siedlungsentwässerungssystem. KA Abwasser Abfall 69 (1), 28–35
- Londong, Jörg/Thomas Hillenbrand/Jutta Niederste-Hollenberg (2011): Demografischer Wandel: Anlass und Chance für Innovationen in der Wasserwirtschaft. KA Abwasser Abfall 58 (2), 152
- Magistrat der Stadt Frankfurt a.M. (Hg.) (2021): Wasserkonzept der Stadt Frankfurt am Main. Frankfurt am Main.  
[https://www.stvv.frankfurt.de/parlisobj/B\\_63\\_2022\\_AN1.pdf](https://www.stvv.frankfurt.de/parlisobj/B_63_2022_AN1.pdf)
- Maier, Kirsten (Hg.) (o. J.): Satzungsänderungen als Voraussetzung für NASS. Eine Formulierungshilfe für Installationen auf privaten Grundstücken im Zusammenhang mit Neuartigen Sanitärsystemen (NASS). [https://kommunen-innovativ.de/sites/default/files/3c\\_nola\\_satzungen.pdf](https://kommunen-innovativ.de/sites/default/files/3c_nola_satzungen.pdf)
- Marttunen, Mika/Judit Lienert/Valerie Belton (2017): Structuring problems for multi-criteria decision analysis in practice: a literature review of method combinations. European Journal of Operational Research 263 (1), 1–17
- Matar, Gerald/et al. (2022): Modelling the benefits of urine source separation scenarios on wastewater treatment plants within an urban water basin. Water Science and Technology
- Meinecke, Christine/Aicha Vack (1997): Handlungsfolgenabschätzung „Abwasser-satzung“. Materialien Soziale Ökologie 11. Frankfurt am Main
- Michel, Bernhard/Jörg Felmeden/Thomas Kluge (2010): Bilanzierung und Bewertung bestehender und neuartiger Wasserinfrastrukturen. In: Kluge, Thomas/Jens Libbe (Hg.): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser. Berlin, 39–78

- Niederste-Hollenberg, Jutta/Eve Menger-Krug/Ulrike Feldmann/E. Joel/Thomas Hillenbrand (2016): Transition von Wasserinfrastruktursystemen in Bestands- und Neuerschließungsgebieten. wwt Modernisierungsreport, 3–9
- Oldenburg, Martin/Thomas Giese/Jörg Londong (2016): KREIS-Ergebnisse für die Übertragbarkeit in die Praxis. KA Abwasser Abfall 63 (11), 968–974
- Pallasch, Matthias (2021): Implementation von dezentraler Regenwasserbewirtschaftung in kommunale Planungsprozesse als Beitrag zu einer wassersensiblen Stadtentwicklung. Dissertation. TU Berlin
- Panesar, Arne et al. (2016): Smart Cities – nicht nur in Indien. Seminar-Reader: Berufsfeld Internationale Zusammenarbeit: Schwerpunkt EZ. Freiburg [https://www.panesar-consult.de/assets/files/Seminar\\_Reader\\_Smart%20Cities\\_Berufsfeld%20IZ%20EZ\\_2016.pdf](https://www.panesar-consult.de/assets/files/Seminar_Reader_Smart%20Cities_Berufsfeld%20IZ%20EZ_2016.pdf)
- Rohrbach, Michaela/Engelbert Schramm/Martina Winker (2023): Ämterübergreifende Zusammenarbeit ermöglicht blau-grüne Infrastrukturen: Akteure der Anpassung an den Klimawandel in Stuttgart und Frankfurt am Main. Korrespondenz Wasserwirtschaft (im Druck)
- Schebek, Liselotte/Hans Joachim Linke (2021): Der Gebäudebestand als Rohstofflager: der Beitrag der Digitalisierung für ein zukünftiges regionales Stoffstrommanagement im Baubereich. In: Stork, Werner (Hg.): Smart Region die digitale Transformation einer Region nachhaltig gestalten. Wiesbaden, 187–214
- Scholten, Lisa/Christoph Egger/Jun Zheng/Judit Lienert (2014): Multikriterielle Entscheidungsanalyse. Neue Ansätze für langfristige Infrastrukturplanung in der Wasserver- und -entsorgung. Aqua & Gas 94 (5), 62–69
- Scholzen, Georg (Hg.) (2008): Leitungswasserschäden. Vermeidung – Sanierung – Haftung. 3. Aufl. Renningen
- Schramm, Engelbert/Jan Hendrik Trapp/Christian Stein/Markus Rauchecker (2023): Aufbau und Erhalt blau-grün-grauer Infrastrukturen für die kommunale Klimaanpassung: Fallbeispiele, Konstellationen und Kooperationsmanagement. netWORKS-Papers 39. Berlin
- Schramm, Engelbert/Jan Hendrik Trapp/Martina Winker (2022): Wassersensitive Klimaanpassung im Siedlungsbestand: Blau-grüne Infrastruktur als Herausforderung. RaumPlanung 218 (5), 21–24
- Schramm, Engelbert/Martina Winker/Michaela Rohrbach/Martin Zimmermann/Christian Remy (2022): Abschätzung theoretischer Trinkwassersubstitutionspotenziale in Frankfurt am Main. Optionen der Betriebswassernutzung und deren ökonomische und ökologische Auswirkungen im Betrachtungshorizont bis 2050. Unter Mitarbeit von Christoph Meyer. ISOE-Studientexte 26. Frankfurt am Main
- Schramm, Engelbert/Martina Winker/Martin Zimmermann (2020): Gutes Management hilft, Fehlanschlüsse zu vermeiden. bbr Leitungsbau Brunnenbau Geometrie 71 (12), 22–27
- Schramm, Engelbert/Björn Ebert/Bingxiang Wang/Martina Winker/Martin Zimmermann (2019a): Keeping Flows Separate: Good Management Practices in Novel Urban Water Systems Derived from Error Analyses. Water 11 (12), 2597

- Schramm, Engelbert/Marcus Klein/Kaja Warczok/Martina Winker (2019b): Regenwassernutzung im Frankfurter Norden. Erfahrungen aus Quartieren mit Zisternenpflicht. *fbr-wasserspiegel* 25 (1/20), 15–19
- Schramm, Engelbert/Heide Kerber/Jan Hendrik Trapp/Martin Zimmermann/Martina Winker (2018): Novel urban water system in germany: governance structures to encourage transformation. *Urban Water Journal* 15 (6), 534–543
- Schramm, Engelbert/Thomas Giese/Thomas Kluge/Wolfgang Kuck/Carolin Völker (2016): Verändertes Kooperationsmanagement für neuartige Sanitärsysteme in Umsetzung und Betrieb. Folgerungen aus dem Beispiel Jenfelder Au in Hamburg. *GWf Wasser Abwasser* 157 (2), 148–155
- Staben, Nadine (2008): Technische Möglichkeiten der alternativen Gestaltung städtischer Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Eine Technikrecherche im Rahmen des Projekts „Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“. *netWORKS-Papers* 24. Berlin
- Trapp, Jan/Martina Winker (2022): Grün- und Wasserinfrastrukturen in kommunalen Planungsprozessen wirkungsvoll verankern. In: Deutscher Städte- und Gemeindebund DStGB, Deutsches Institut für Urbanistik (Hg.): Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Berlin, 28–30
- Trapp, Jan Hendrik/Martina Winker (2020): Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen. Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen. Deutsches Institut für Urbanistik Difu, 18–20
- Trapp, Jan Hendrik/Jens Libbe (2016): Neuartige Wasserinfrastrukturen. Optionen für Unternehmensstrategien und Innovation. *netWORKS-Papers* 29. Berlin
- Veolia (Hg.) (2022): Betrieb von Industrieparks. <https://www.veolia.de/industriepark> [Stand: 04.08.2022]
- Verbücheln, Maic/Josfine Pichl/Arno Bunzel/Anna Kristin Jolk/Matthias Buchert/Peter Dolega (2021): Steuerbare urbane Stoffströme – Möglichkeiten und Grenzen der nachhaltigen Steuerung städtischer und stadtreionaler Stoffströme mittels Instrumenten der Stadtplanung. *UBA-Texte* 90. Dessau-Roßlau
- Verbücheln, Maic/Anna-Kristin Jolk/Josfine Pichl (2017): Plan4Change – Klimaangepasste Planung im Quartier am Beispiel des Ostparks in Bochum. Sonderveröffentlichung Difu, Berlin
- Veser, Susanne/Jörg Londong (2017): EVaSENS. Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand: Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen. Stuttgart
- Veser, Susanne/Michael Berndt (2014): EVaSENS. Neue Wege der Abwassertrennung im Siedlungsbestand. *Wasser & Abfall* 3, 32–36
- Vogt, Gunter/Aicha Vack/Engelbert Schramm (1998): Wasserwirtschaftliche Ersteinschätzung eines Stadtgebietes für dezentrale Regenwasserversickerung. In: *Korrespondenz Abwasser KA* 45 (8), 1465–1470
- Winker, Martina/Simon Gehrman/Engelbert Schramm/Martin Zimmermann/Annette Rudolph-Cleff (2019a): Greening and Cooling the City Using Novel Urban Water Systems: A European Perspective. In: Sharma, Ashok K./Don Begbie/Ted Gardner (Hg.): *Approaches to Water Sensitive Urban Design. Potential, design, ecological*

- health, urban greening, economics, policies, and community perceptions. Duxford, 431–454
- Winker, Martina/Herbert Brüning/Christoph Meyer/Engelbert Schramm/Immanuel Stieß (2019b): Die Akzeptanz ist da. Repräsentative Studie zur Grauwassernutzung in Norderstedt. *fbr-wasserspiegel* 2, 12–17
- Winker, Martina/Jörg Felmeden/Bernhard Michel/Daniela Milosevic/Thomas Werner/Thomas Giese (2017): Identifikation von Transformationsräumen am Beispiel von Frankfurt am Main und Hamburg. In: Winker, Martina/Trapp, Jan Hendrik (Hg.): *Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potentiale, institutionelle Spielräume*. Edition Difu – Stadt Forschung Praxis, 16. Berlin, 71–79
- Winker, Martina/Jan Hendrik Trapp (Hg.) (2017): *Wasserinfrastruktur: Den Wandel gestalten. Technische Varianten, räumliche Potentiale, institutionelle Spielräume*. Edition Difu – Stadt Forschung Praxis, 16. Berlin
- Wolf, Mario/Jörg Londong (2020): Transformation der Siedlungswasserwirtschaft – Steuerungsmechanismen im Diskurs ressourcenorientierter Systemansätze am Beispiel von Thüringen. *Raumforschung und Raumordnung* 78 (4), 397–411
- Wriege-Bechtold, Alexander/Moritz Abbate (2017): Strukturwandel in einer Plattenbausiedlung. *wwt* 1/2, 14–15
- Ziedorn, V./F. Meininger/I. Peters (2008/2011): Städtische Siedlungsstrukturen und dezentrale Abwassersysteme. Wiederabdruck in: *Alternative Kommunalpolitik* 3/2011. *RaumPlanung* 136, 16–20

## **ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung**

Das ISOE gehört zu den führenden unabhängigen Instituten der Nachhaltigkeitsforschung. Seit mehr als 30 Jahren entwickelt das Institut wissenschaftliche Grundlagen und zukunftsweisende Konzepte für sozial-ökologische Transformationen – regional, national und international. Zu den Forschungsthemen gehören Wasser, Energie, Klimaschutz, Mobilität, urbane Räume, Biodiversität und sozial-ökologische Systeme.

[www.isoe.de](http://www.isoe.de)

**Folgen Sie uns:** [twitter.com/isoewikom](https://twitter.com/isoewikom) | [facebook.com/ISOE.Forschungsinstitut](https://facebook.com/ISOE.Forschungsinstitut) | [instagram.com/isoe\\_institut](https://instagram.com/isoe_institut)  
**ISOE-Newsletter:** Anmelden oder lesen unter [www.isoe.de/newsletter](http://www.isoe.de/newsletter) **ISOE-Blog:** <https://isoe.blog>