

TEXTE

116/2026

Abschlussbericht

Vergleichende Bewertung verschiedener Maßnahmen der Regenwassernutzung in Haushalten und Quartieren

von:

Dr. Jutta Niederste-Hollenberg

Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen FiW e. V.

(zuvor: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe)

Dr. Jan Greiwe, Dr. Thomas Hillenbrand

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Dr. Dr. Christian Sartorius

Bruchsal

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Umwelt 
Bundesamt

TEXTE 116/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3723 21 201 0

Abschlussbericht

Vergleichende Bewertung verschiedener Maßnahmen der Regenwassernutzung in Haushalten und Quartieren

von

Dr. Jutta Niederste-Hollenberg
Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an
der RWTH Aachen, FiW e. V.
(davor Fraunhofer ISI)

Dr. Jan Greiwe
Dr. Thomas Hillenbrand
Fraunhofer-Institut für System- und
Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Dr. Dr. Christian Sartorius
Bruchsal

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

Dezember 2025

Redaktion:

Fachgebiet II 2.1 - Übergreifende Angelegenheiten Wasser & Boden
Bernd Kirschbaum

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8308>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Vergleichende Bewertung verschiedener Maßnahmen der Regenwassernutzung in Haushalten und Quartieren

Urbane Räume sind bisher geprägt von einer zentralen Trinkwasserversorgung, kombiniert mit einer möglichst schnellen und umfänglichen Ableitung von Wasser und Abwasser aus dem Gebiet. Ein für die Zukunft geforderter naturnaher Wasserhaushalt bedeutet einen Paradigmenwechsel in der Siedlungsentwässerung in Richtung einer Erhöhung der Evapotranspiration sowie einer Verminderung und Verlangsamung des Abflusses aus einem Gebiet durch Rückhalt und Versickerung. Die Nationale Wasserstrategie beschreibt in Ergänzung zur öffentlichen Wasserversorgung: „Alternative Wasserressourcen – z.B. Betriebs- und Regenwassernutzung, aufbereitetes kommunales Abwasser – werden zur Schonung knapper Süßwasserressourcen unter Berücksichtigung von Gesundheits- und Umweltschutzaspekten in regionale Wassernutzungskonzepte einbezogen.“

Ein Ziel dieses Projekts ist es, zu einer plausiblen Bewertung des Trinkwassereinsparpotenzials, der Wirtschaftlichkeit und des ökologischen Nutzens der Regenwassernutzung zu kommen. Dazu werden die Trinkwassereinsparpotenziale für unterschiedliche Szenarien, die sich hinsichtlich der Bebauungsstruktur und der klimatischen Bedingungen unterscheiden, simuliert. Auf dieser Basis werden ökonomische Analysen durchgeführt. Ergänzend werden hygienische Aspekte sowie ökosystemische Effekte diskutiert. Im Ergebnis ist die Wirtschaftlichkeit von Einzelanlagen zur Regenwassernutzung stark von den spezifischen Randbedingungen abhängig. Wichtige Einflussparameter sind bspw. die Größe der Anlagen, der Umfang der Nutzung des gewonnenen Betriebswassers oder auch die Höhe und Struktur von Wasser- und Niederschlagswassergebühr. In die Bewertung sind zusätzlich nicht direkt monetär bewertbare Faktoren im Kontext der Klimafolgenanpassung einzubeziehen, die öffentlich unterstützte Fördermaßnahmen (Sensibilisierung, rechtlicher Rahmen, organisatorische und/oder finanzielle Förderung) begründen können.

Darüber hinaus wurden im Rahmen einer Quellenrecherche, einer Online-Befragung und in einem Stakeholder-Workshop unterschiedliche Aspekte wie Bau- und Betriebsdaten, technische Gestaltung, Erfolgsfaktoren, Hemmnisse oder auch hygienische Aspekte beim Einsatz von RW-Nutzungsanlagen erarbeitet.

Abstract: Comparative assessment of various measures for rainwater use in households and neighborhoods

Urban areas have so far been characterized by a centralized drinking water supply combined with the fastest and most extensive possible drainage of water and wastewater. A near-natural water regime required for the future entails a paradigm shift in urban drainage toward increasing evapotranspiration and reducing and slowing runoff from an area through retention and infiltration. The National Water Strategy states, as a complement to public water supply: “Alternative water resources—e.g., use of non-potable (service) water, rainwater, and treated municipal wastewater—are incorporated into regional water-use concepts to conserve scarce freshwater resources, taking health and environmental protection into account.”

One goal of this project is to arrive at a plausible assessment of the potential for drinking water savings, the economic viability, and the ecological benefits of rainwater use. To this end, potable water savings potential is simulated for different scenarios that vary in development structure and climatic conditions. On this basis, economic analyses are conducted. In addition, hygienic aspects and ecosystem effects are discussed. The findings indicate that the economic viability of individual rainwater-use systems depends strongly on specific boundary conditions. Important influencing parameters include the size of the systems, the extent of utilization of the non-potable water produced, and the level and structure of water and stormwater fees. The assessment should also include factors that are not directly monetizable in the context of climate adaptation, which can justify publicly supported measures (awareness-raising, legal framework, organizational and/or financial support).

Furthermore, as part of a source/literature review, an online survey, and a stakeholder workshop, various aspects such as construction and operating data, technical design, success factors, barriers, and hygiene considerations in the use of rainwater systems were investigated.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis.....	11
Zusammenfassung.....	13
Summary	16
1 Hintergrund und Ziele	18
1.1 Methodisches Vorgehen	18
2 Befragungen	20
2.1 Ergebnisse der Befragung von Nutzerinnen und Nutzern	20
2.1.1 Allgemeine Angaben	20
2.1.2 Hygienische Aspekte	21
2.1.3 Trinkwassereinsparung	22
2.1.4 Kosten und Einsparungen	23
2.1.5 Erfahrungen mit der Anlage.....	23
2.2 Befragung von Herstellern, Installationsbetrieben, Kommunen	24
2.3 Fazit der Befragungen	26
3 Szenarien	27
3.1 Bebauungs- und Nutzungstypen (BNT).....	27
3.2 Region und Klima	28
3.3 Bemessungsverfahren.....	29
4 Potenziale der Regenwassernutzung	30
4.1 Langzeitsimulation	30
4.2 Ergebnisse der Langzeitsimulation	31
4.2.1 Einfluss des Bebauungs- und Nutzungstyps	31
4.2.2 Einfluss der Klimaänderung	32
4.2.3 Einfluss des Bemessungsverfahrens	32
4.2.4 Potenzial zur Einsparung von Trinkwasser	33
4.2.5 Potenzial zur Reduktion des Abwasseranfalls	33
4.3 Fazit zu den Potenzialen der Regenwassernutzung.....	34
5 Ökonomische Bewertung.....	35
5.1 Trinkwassereinsparung durch Regenwassernutzung	35
5.2 Adiabate Kühlung.....	40
5.3 Einsparungen bei der Abwasser- und Niederschlagsinfrastruktur	41

6	Hygiene-Aspekte	46
6.1	Literaturrecherche Übersicht.....	46
6.2	Auswertungen der Diskussionen des Fachworkshops	49
6.3	Zusammenfassende Betrachtung Hygiene	51
7	Bewertung aus Nachhaltigkeitsperspektive	54
7.1	Ökosystemische Betrachtungen	54
7.1.1	Multikriterielle Bewertung.....	56
7.2	Großskalige Effekte	60
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	62
9	Quellenverzeichnis	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Allgemeine Angaben zur Regenwassernutzung	21
Abbildung 2:	Hygienisch relevante Aspekte	22
Abbildung 3:	Trinkwassereinsparung.....	22
Abbildung 4:	Gebühren und Kosten.....	23
Abbildung 5:	Erfahrungen mit der Anlage	24
Abbildung 6:	Rücklauf nach Kategorie und Aufschlüsselung der Hersteller..	25
Abbildung 7:	Kleine Komplettanlagen für den häuslichen Bereich aus Herstellersicht	25
Abbildung 8:	Komplettanlagen für den gewerblichen Bereich aus Herstellersicht	25
Abbildung 9:	Kosten für RWNA bei Einfamilienhäusern.....	26
Abbildung 10:	Saisonales Muster des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung im Zeitraum 1993 bis 2022	28
Abbildung 11:	Klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung) im Zeitraum 1993 bis 2022.....	29
Abbildung 12:	Gegenüberstellung des jährlichen Betriebswasserbedarfs und des mittleren Niederschlagsertrags in den BNT.	30
Abbildung 13:	Modellstruktur.....	31
Abbildung 14:	Deckung des Betriebswasserbedarfs mit Regenwasser in Abhängigkeit von der Größe des Betriebswasserspeichers.	32
Abbildung 15:	Simulierte Trinkwassereinsparung	33
Abbildung 16:	Simulierte Reduktion des Abwasseranfalls	33
Abbildung 17:	Vergleich der Einsparungen bei Trinkwasser (TW) und Niederschlagswasser (NW) mit den Kosten (jeweils in EUR pro m ³) der Verwendung von Regenwasser als Betriebswasser in den Szenarien und Standorten.....	39
Abbildung 18:	Abhängigkeit des Starkniederschlagsrückhaltepotenzials von Regenwasserzisternen von deren durchschnittlichem Füllgrad	42
Abbildung 19:	Vergleich von Kosten und Einsparpotenzialen (in EUR/m ³) für die Szenarien und Standorte	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eigenschaften der untersuchten Bebauungs- und Nutzungsstrukturtypen (BNT).....	27
Tabelle 2:	Für die Berechnung der Trinkwassereinsparungen relevante Daten	37
Tabelle 3:	Regionale Unterschiede der für die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung in Gebäuden maßgeblichen Faktoren (Kosten pro Gebäude)	38
Tabelle 4:	Abhängigkeit des durchschnittlichen Zisternenfüllgrades von Szenario und Standort der Zisterne.....	41
Tabelle 5:	Durchschnittliche mittels Regenwasserzisternen zurückgehaltene Anteile (in %) aller Starkniederschlagsereignisse.	42
Tabelle 6:	Kosteneinsparungen (in EUR/a) durch den Verzicht auf nicht benötigte zentrale Regenrückhalteinfrastruktur in den Szenarien und Standorten	43
Tabelle 7:	Zielsystem, Kriterien und Indikatoren für die Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen mittels MuBeWis	56
Tabelle 8:	Bewertung	57

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BNT	Bebauungs- und Nutzungstypen
BS	Traditionelle Blockstruktur
BWNA	Betriebswassernutzungsanlage
Cd	Cadmium
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cu	Kupfer
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs
DWD	Deutscher Wetterdienst
fbr	Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser
FH	Familienhausbau
GS	Geschosswohnungsbau nach 1990
KG	Klassisches Gewerbe
KG+	Klassisches Gewerbe inkl. gewerblicher Betriebswassernutzung
LAWA	Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser
LCA	Lebenszyklusanalyse
LCCA	Lebenszykluskostenanalyse
LP	Logistikpark
N	Stickstoff
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
P	Phosphor
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
RKI	Robert-Koch-Institut
RRB	Regenüberlaufbecken
RÜB	Regenrückhaltebecken
RWNA	Regenwassernutzungsanlage
TP	Technologiepark
UBA	Umweltbundesamt
VKU	Verband kommunaler Unternehmen
WSP	Water Safety Plan
ZB	Zeilenbebauung

Abkürzung	Erläuterung
Zn	Zink
ZVSHK	Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Zusammenfassung

Seit einigen Jahren sind Dürreereignisse auch in Deutschland deutlich wahrnehmbar. Damit sind die möglichen Zielkonflikte um die Ressource Wasser auch hier stärker in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt. Eine wichtige Voraussetzung für ein stabiles, ausreichendes Wasserdargebot und für die Sicherung der ökologischen Belange ist ein möglichst naturnaher, regionaler Wasserhaushalt.

Urbane Räume sind bisher geprägt von einer zentralen Trinkwasserversorgung, kombiniert mit einer möglichst schnellen und umfänglichen Ableitung von Niederschlägen und Abwasser aus dem Gebiet. Ein naturnaher Wasserhaushalt bedeutet einen Paradigmenwechsel in der Siedlungsentwässerung in Richtung einer Erhöhung der Evapotranspiration sowie einer Verminderung und Verlangsamung des Abflusses aus einem Gebiet durch Rückhalt und Versickerung. Ein nachhaltiges Grundwassermanagement muss die Regeneration der Ressource Wasser bei steigendem Bedarf bspw. durch landwirtschaftliche Bewässerung und bei höheren Verdunstungsraten durch steigende Temperaturen gewährleisten.

Neben dem wassersensiblen Umbau von Städten kann auch eine Erhöhung der Wassernutzungseffizienz durch eine Mehrfachnutzung von Wasserressourcen oder die Nutzung von gesammeltem Regenwasser zur Ressourcenschonung beitragen.

Regenwassernutzung wird seit Jahrzehnten in unterschiedlichen Anwendungen betrieben. Ziel dieses Projektes ist, die Regenwassernutzung vor dem Hintergrund unterschiedlicher Randbedingungen und mit Blick auf ökologische, hygienische, ökonomische, soziale und technische Aspekte systematisch zu bewerten.

Methodische Ansätze

Für drei Regionen mit den jeweiligen regionalen Klimafaktoren (Regenreihen, Evapotranspirationsraten) wurden für verschiedene Bebauungs- und Nutzungstypen (BNT) Langzeitsimulationen mit regionalen Regenreihen durchgeführt. Außerdem wurden besonders extreme Jahre zu fiktiven Regenreihen zusammengefügt, um auch diese Auswirkungen auf das System simulieren zu können. Mit Hilfe dieser unterschiedlichen Szenarien wurden die Auswirkungen von Bebauungsdichte und regionalen klimatischen Bedingungen auf die Effektivität und Effizienz der Regenwassernutzung untersucht.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Fachworkshop mit Expert*innen aus Wasserwirtschaft, Gesundheitsämtern und Kommunen, DVGW als Verband der Wasserversorger und ZVSHK als Verband des Sanitärhandwerks, fbr als Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser, Forschung, Hersteller und Planungsbüros durchgeführt. Außerdem wurden Expert*innen-Interviews durchgeführt.

In einer Online-Befragung wurden außerdem Nutzer:innen sowie die Hersteller- und Installationsbranche zu verschiedenen Aspekten der Regenwassernutzung befragt.

Für eine systematische Bewertung über die wasser- und betriebswirtschaftlichen Aspekte hinaus wurde ein von Sartorius et al. (2019) entwickeltes Instrument zur Bewertung von Wasserinfrastrukturen herangezogen.

Erkenntnisse

Die **Befragungsergebnisse** deuten darauf hin, dass Regenwasser vor allem im Bereich von Einfamilienhäusern (50 bis 200 m² Auffangfläche, 1 bis 4 Nutzer*innen) für die Gartenbewässerung und nur zu einem geringeren Anteil für die Toilettenspülung und die Waschmaschine eingesetzt wird. Die Aussagekraft der Befragung ist aufgrund der geringen

Anzahl der Antworten, insbesondere im Bereich der Regenwassernutzung **im** Gebäude, begrenzt. Dennoch zeigen die Antworten, dass die Anlagen aus der Befragung nur teilweise den Vorgaben der TrinkwV entsprechen. So ist ein großer Teil der Anlagen nicht beim Gesundheitsamt angezeigt. Bei der Motivation der Nutzer*innen überwiegen ökologische gegenüber wirtschaftlichen Beweggründen. Aus Sicht der Nutzer*innen werden die Erfahrungen mit der Regenwassernutzungsanlage (RWNA) überwiegend positiv beurteilt.

Die Langzeitsimulationen zeigen, dass das **Einsparpotenzial** bei Trinkwasser und die Reduktion des Abwasseranfalls stark von der Bebauungsdichte und den klimatischen Bedingungen abhängen. Trotz der nicht vollständigen Abdeckung des substituierbaren Trinkwasseranteils durch Regenwasser wird bei den dichten Wohnbebauungstypen in absoluten Zahlen aufgrund der großen, für die Sammlung von Regenwasser zur Verfügung stehenden Dachflächen die größte Trinkwassereinsparung pro Hektar erzielt. Bei den Gewerbeflächen führen die großen Dachflächen dazu, dass es über den Wasserbedarf für die Belegschaft hinaus noch große Nutzungspotenziale für das anfallende Regenwasser gibt, etwa zur Kühlung, für die Bewässerung von Grünanlagen oder als Produktionswasser.

Darüber hinaus ist der Aspekt des Regenrückhalts, ggf. verstärkt durch sogenannte Retentionszisternen, ein positiver Effekt, der bei systematischer Nutzung auch zu einer Verringerung des notwendigen Rückhaltevolumens in Kanalnetzen beitragen kann.

Die **ökonomische Analyse** zeigt auf, dass die Einsparungen bei Trinkwasser- und Abwasserentgelt nicht immer die Investitions- und Betriebskosten der Regenwassernutzungsanlagen decken. Die Wirtschaftlichkeit variiert stark je nach Region und Nutzungsszenario. Insbesondere spielen dabei der Trinkwasserpreis und mögliche Vergünstigungen beim Niederschlagswasserentgelt eine wichtige Rolle. Die Nutzung von Regenwasser zur adiabaten Kühlung kann vor dem Hintergrund der zunehmend notwendigen Klimatisierung als potenzieller Vorteil gewertet werden, der die Rentabilität erhöhen könnte. Die Skalierung ebenso wie die örtlichen Randbedingungen spielen also eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Anlagen.

Das Thema **Hygiene** wird im Kontext Betriebs- und Regenwassernutzung kontrovers diskutiert. Es hat daher in diesem Projekt besondere Beachtung erhalten und wurde in Literaturrecherche, Workshop und Befragung behandelt und in einem Experteninterview vertieft. Bedenken hinsichtlich hygienischer Risiken für die Trinkwasserqualität betreffen mögliche unsachgemäße Installationen und damit die unbedingt zu vermeidende Verbindung mit dem Trinkwassernetz sowie eine Verlängerung von Stagnationszeiten im Trinkwassernetz aufgrund von Betriebs- und Regenwassernutzung. Die Nutzung von Regenwasser für Anwendungen wie Gartenbewässerung, Toilettenspülung und Waschmaschine wird in der Literatur weitgehend als unbedenklich angesehen. Die Installation muss, wie alle technischen Installationen in Gebäuden, den technischen Standards genügen, wofür das Fachhandwerk gerüstet und ausgebildet ist. Die Sicherstellung der Anwendung des Stands der Technik kann bspw. durch entsprechende Abnahmen im Rahmen von Förderprogrammen gewährleistet werden. Die Stagnation in Trinkwassernetzen stellt auch ohne Betriebs- und Regenwassernutzung gerade in wärmer werdenden Netzen (Klimawandel-Effekte) ein Problem dar. Schon jetzt empfehlen bspw. Rapp et al. (2020) in Anlehnung an den Water Safety Plan der WHO regelmäßige Spülungen der Trinkwasserleitungen in Gebäuden. Hier kann eine Betriebswasserzisterne, die das Spülwasser aufnimmt und für weniger hochwertige Nutzungen wieder verfügbar macht, helfen, den Erfordernissen eines sorgsamen Umgangs mit Wasser gerecht zu werden.

Regenwassernutzung kann als ein wichtiger Baustein eines integrierten Wassermanagements betrachtet werden, das zur Schonung von Süßwasserressourcen beiträgt. Sie kann einen Beitrag

zur Entlastung von Kanalisationen und der Förderung von Stadtgrün leisten und insgesamt zu einer resilienteren städtischen Infrastruktur und einem besseren Mikroklima beitragen.

Die Zielsetzung des Vorhabens war auf die Betrachtung der Regenwassernutzung in Gebäuden beschränkt. Damit eng verbunden sind jedoch weitere Bausteine eines nachhaltigen Niederschlagswasser- bzw. Siedlungswassermanagements. Erst in einer möglichst gut angepassten Kombination von Rückhalt, Speicherung, Nutzung (Gebäude und Stadtgrün), Versickerung, Verdunstung oder der Erschließung weiterer Wasserressourcen wie bspw. Grauwasser können die Möglichkeiten und Chancen eines angepassten Umgangs mit Wasser für mehr Lebensqualität und eine Steigerung der Robustheit voll ausgeschöpft werden.

Summary

In recent years, drought events have become clearly noticeable in Germany as well. As a result, potential conflicts over water resources have increasingly come into the public spotlight. An important prerequisite for a stable, sufficient water supply and for safeguarding ecological interests is a water balance that is as close to natural conditions and as regional as possible.

Urban areas have so far been characterized by centralized drinking water supply combined with the fastest and most extensive possible drainage of precipitation and wastewater. A near-natural water balance implies a paradigm shift in urban drainage toward increasing evapotranspiration and reducing and slowing runoff from an area through retention and infiltration. Sustainable groundwater management must ensure the regeneration of the water resource in the face of rising demand (e.g., due to agricultural irrigation) and higher evaporation rates driven by rising temperatures.

In addition to water-sensitive urban retrofitting, increasing water-use efficiency through multiple use of water resources or the use of collected rainwater can contribute to conserving resources.

Rainwater use has been practiced for decades in various applications. The aim of this project is to systematically evaluate rainwater use in light of different boundary conditions and with regard to ecological, hygienic, economic, social, and technical aspects.

Methodological approaches

For three regions, characterized by different climatic conditions, long-term simulations using regional rainfall series were carried out for different building and land-use types. Particularly extreme years were also combined into synthetic rainfall series in order to simulate their effects on the system. Using these different scenarios, the effects of development density and regional climatic conditions on the effectiveness and efficiency of rainwater use were examined. As part of the project, a specialist workshop was conducted with experts from the water sector, public health offices and municipalities, DVGW as the association of water utilities, ZVSHK as the association of the plumbing trade, fbr as the national association for process water and rainwater, as well as researchers, manufacturers, and planning firms. Additionally, expert interviews were conducted. In an online survey users as well as the manufacturing and installation sectors were asked about various aspects of rainwater use. For a systematic assessment beyond water and business economics aspects, an instrument developed by Sartorius et al. (2019) for evaluating water infrastructures was employed.

Findings

The survey results suggest that rainwater is used primarily in single-family homes (50 to 200 m² catchment area, 1 to 4 users) for garden irrigation, and to a lesser extent for toilet flushing and washing machines. The informative value of the survey is limited due to the small number of responses, especially regarding rainwater use inside buildings. Nevertheless, the responses indicate that the systems covered by the survey only partially comply with the requirements of the German Drinking Water Ordinance (TrinkwV). A large proportion of systems are not reported to the public health office. Among users, ecological motivations outweigh economic ones. From the users' perspective, experiences with the rainwater use system are predominantly positive.

The long-term simulations show that the potential for saving drinking water and reducing wastewater volumes depends strongly on development density and climatic conditions. Even though the substitutable share of drinking water is not fully covered by rainwater, the densest

residential development types achieve the greatest absolute drinking water savings per hectare due to the large roof areas available for rainwater collection. In commercial areas, large roof areas mean that, beyond the water needs of the workforce, there is still considerable potential for using rainwater, for example for cooling, irrigating green spaces, or as process water. In addition, the aspect of stormwater retention—potentially enhanced through so-called retention cisterns—is a positive effect that, when systematically implemented, can help reduce the storage volume required in sewer networks.

The economic analysis shows that savings on drinking water and wastewater charges do not always cover the investment and operating costs of rainwater use systems. Profitability varies significantly by region and use scenario. In particular, the price of drinking water and possible discounts on stormwater fees play an important role. The use of rainwater for adiabatic cooling can be seen as a potential advantage considering the increasing need for air conditioning and could improve profitability. Scale, as well as local boundary conditions, therefore play an important role in the economics of these systems.

Hygiene is discussed controversially in the context of process and rainwater use. It therefore received special attention in this project and was addressed through a literature review, workshop, and survey, and explored in depth in an expert interview. Concerns about hygienic risks to drinking water quality relate to possible improper installations and the resulting connections to the drinking water network—which must be strictly avoided—as well as prolonged stagnation times in the drinking water piping due to process and rainwater use. The use of rainwater for applications such as garden irrigation, toilet flushing, and washing machines is largely considered unproblematic in the literature. As with all building services installations, installations must meet technical standards, for which the professional trades are equipped and trained. Ensuring adherence to the state of the art can be achieved, for example, through appropriate inspections within funding programs. Stagnation in drinking water networks poses a problem even without rainwater use, particularly in warming networks (effects of climate change). Already now, for example, Rapp et al. (2020), following the WHO's Water Safety Plan, recommend regular flushing of building drinking water pipes. Here, a non-potable water cistern that captures the flushing water and makes it available again for lower-grade uses can help meet the requirements of careful water management.

Rainwater use can be considered an important component of integrated water management that helps conserve freshwater resources. It can contribute to relieving sewer systems and promoting urban greenery and, overall, to a more resilient urban infrastructure and a better microclimate.

The project's objective was limited to considering rainwater use in buildings. Closely connected to this, however, are further components of sustainable stormwater and urban water management. Only through an appropriately tailored combination of retention, storage, use (buildings and urban greenery), infiltration, evaporation, or tapping additional water resources such as greywater can the opportunities and benefits of an adapted approach to water be fully realized to enhance quality of life and increase robustness.

1 Hintergrund und Ziele

Der Notwendigkeit für eine klimaangepasste und zukunftsfähige Wasserwirtschaft wurde im nationalen Kontext auf höchster politischer Ebene mit der Nationalen Wasserstrategie Rechnung getragen. Die Ergänzung der öffentlichen Trinkwasserversorgung um alternative Wasserressourcen wie Betriebs- und Regenwasser oder gereinigtes Abwasser wurde hier als eine Möglichkeit für regionale Wasserkonzepte festgeschrieben. Die Länder sind je nach Handlungsdruck teilweise schon seit längerem damit befasst, Strategien zur Nachhaltigkeit im Wassermanagement zu erarbeiten (vgl. z. B. Zukunftsplan Wasser Hessen¹, Publikationen zur Klimaanpassung LAWA²). Auf kommunaler Ebene sind Konzepte zur Wasserwiederverwendung in Einzelfällen umgesetzt. Eine systematische Nutzung von Trinkwasser substituierenden Ressourcen wird bislang jedoch aus unterschiedlichen Gründen nur verhalten vorangetrieben.

Regenwassernutzung ist einer von mehreren Bausteinen eines nachhaltigen und an kleinen Kreisläufen orientierten Regenwassermanagements in Siedlungen. Sie kann auf Einzelhausebene, in Mehrfamilienhäusern, aber auch in Quartieren entwickelt und umgesetzt werden. Dabei sind neben der konkreten Bewertung von Umweltfaktoren und Wirtschaftlichkeitsfragen auch soziotechnische Fragen, wie bspw. nach der Entwicklungsstrategie von Kommunen oder Anforderungen an resiliente Systeme bedeutend.

Neben dem vordergründigen Nutzen (bspw. Wassersparen, Abfluss mindern) sowie den Kosten und Risiken der Regenwassernutzung, sind auch sekundäre Effekte wie Gewässerentlastung, Systemresilienz, Stadtklimatisierung und Stadtzukunft relevant für eine gesamtheitliche Bewertung. Skalierungseffekte spielen in unterschiedlicher Weise eine Rolle für die verschiedenen Indikatoren. So determiniert bspw. die Niederschlagsmenge in Verbindung mit der Speichergröße den Wassereinspareffekt oder die Menge an Stadtgrün die klimatisierende Wirkung in Städten.

Regenwassernutzung soll vor dem Hintergrund unterschiedlicher Randbedingungen und mit Blick auf ökologische, ökonomische, hygienische, soziale und technische Aspekte bewertet werden. Schwerpunkte sind dabei die Umweltbewertung, die hygienische und die ökonomische Bewertung. Damit soll aufgezeigt werden, unter welchen Randbedingungen Regenwassernutzung sinnvoll sein kann. Dabei wird die Regenwassernutzung als ein Baustein im Gesamtportfolio eines nachhaltigen Wassermanagements in Siedlungsgebieten verstanden.

1.1 Methodisches Vorgehen

Für unterschiedliche Regionen mit den jeweiligen regionalen Klimafaktoren, wie Regenreihen oder Evapotranspirationsraten, wurden für verschiedene Bebauungs- und Nutzungstypen (BNT) Langzeitsimulationen mit regionalen Regenreihen durchgeführt. Außerdem wurden besonders extreme Jahre zu fiktiven Regenreihen zusammengefügt, um auch diese Auswirkungen auf das System simulieren zu können. Mit Hilfe dieser unterschiedlichen Szenarien wurden die Auswirkungen von Bebauungsdichte und regionalen klimatischen Bedingungen auf die Effektivität und Effizienz der Regenwassernutzung untersucht.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Fachworkshop mit Expert*innen aus Wasserwirtschaft, Gesundheitsämtern und Kommunen, DVGW als Verband der Wasserversorger und ZVSHK als Verband des Sanitärhandwerks, fbr als Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser,

¹ https://hessen.de/sites/hessen.hessen.de/files/2022-10/zukunftsplan_wasser.pdf

² <https://www.lawa.de/Publikationen-363-Anpassung-an-den-Klimawandel.html>

Forschung, Hersteller und Planungsbüros durchgeführt. Außerdem wurden Expert*innen-Interviews durchgeführt.

In einer Online-Befragung wurden außerdem Nutzer:innen sowie die Hersteller- und Installationsbranche zu verschiedenen Aspekten der Regenwassernutzung befragt.

Für eine systematische Bewertung über die wasser- und betriebswirtschaftlichen Aspekte hinaus, wurde ein von Sartorius et al. (2019) entwickeltes Instrument zu Bewertung von Wasserinfrastrukturen herangezogen.

2 Befragungen

Die Befragungen bilden die Basis für die Beantwortung verschiedener Aspekte. Neben Bau- und Betriebsdaten, Kosten und technischer Gestaltung, sollten auch Erfolgsfaktoren, Hemmnisse und Erfahrungen zum Einsatz von RW-Nutzungsanlagen erfasst werden. Die Durchführung erfolgte über EFS Survey, ein Online-Tool für die Durchführung von wissenschaftlichen Befragungen.

Als Verteiler für die Online-Befragungen dienten die Verteiler des fbr (Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser), über den aus Datenschutzgründen auch der Versand erfolgte. Die Verteiler-Liste des fbr besteht aus etwa 700 Datensätzen von Privatleuten, die beim fbr Infos bestellt haben und dann möglicherweise eine Regenwassernutzungsanlage eingebaut haben. Außerdem hat der fbr den Verteiler für das Sanitärhandwerk und den Verteiler für Hersteller von Regenwassernutzungsanlagen angeschrieben.

2.1 Ergebnisse der Befragung von Nutzerinnen und Nutzern

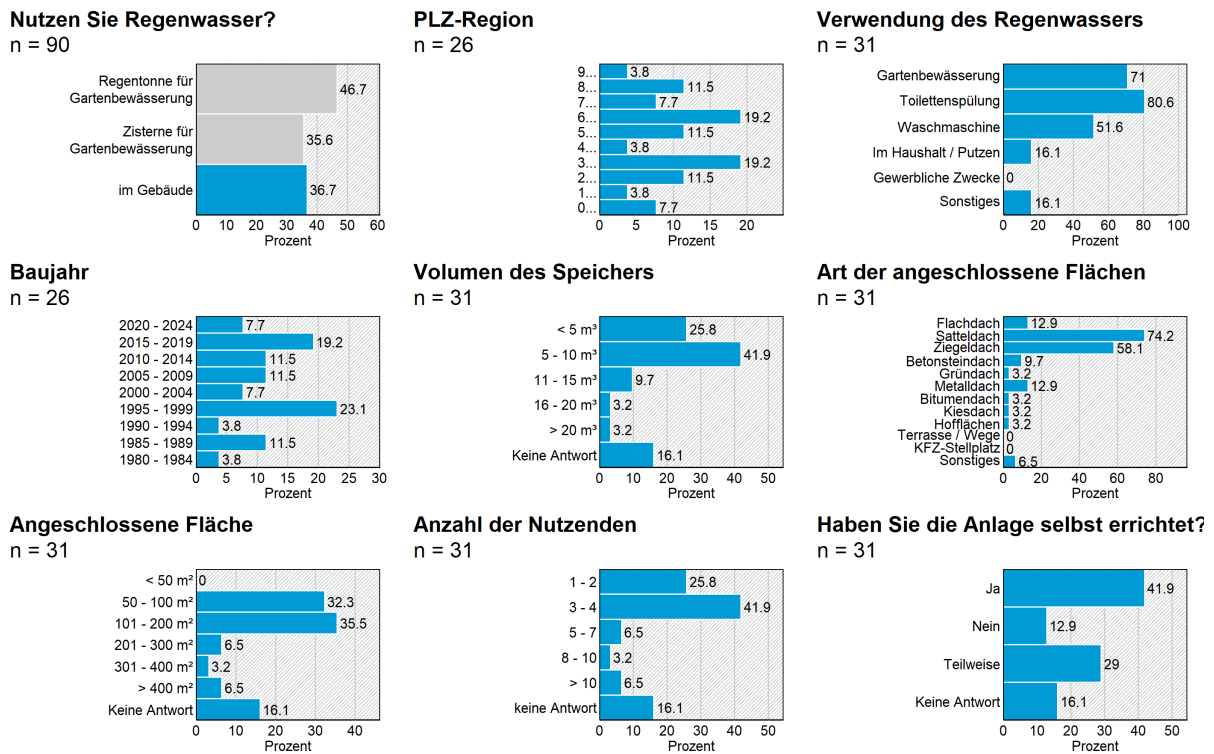
2.1.1 Allgemeine Angaben

Die Umfrage wurde insgesamt 332-mal aufgerufen. 90 Personen beantworteten die Frage, ob sie Regenwasser nutzen, positiv (Abbildung 1). Von diesen 90 Personen gaben 36,7 % an, dass sie Regenwasser zumindest teilweise im Gebäude nutzen. Aufgrund der Zielsetzung der vorliegenden Studie werden im Folgenden alle Fälle ausgeschlossen, in denen eine ausschließliche Nutzung für die Gartenbewässerung (Zisterne oder Regentonne) angegeben wurde. Dies betrifft auch solche Fälle, bei denen am Anfang der Umfrage eine Nutzung von Regenwasser im Gebäude angegeben wurde, im weiteren Verlauf der Umfrage aber geantwortet wurde, dass bestimmte Fragen nicht relevant seien, da das Wasser nur zur Gartenbewässerung genutzt werde. Die Befragung ist grundsätzlich nicht repräsentativ und in der Grundgesamtheit der Antworten auch so klein, dass eine belastbare statistische Auswertung nicht möglich ist.

Bei der räumlichen Verteilung der RWNA ist kein eindeutiges Muster zu erkennen. Eine gewisse Häufung scheint bei den Postleitzahlregionen „3...“ und „6...“ vorzuliegen; die Antworten stammen aber jeweils aus unterschiedlichen Subregionen (hier nicht dargestellt). Zu den häufigsten Verwendungen des gesammelten Regenwassers zählen die Toilettenspülung (80,6 %), die Gartenbewässerung (71 %) und die Waschmaschine (51,6 %). Unter „Sonstiges“ wurde jeweils einmal das Befüllen von Pools, Duschen, Tränken von Pferden und die Nutzung als Trinkwasser genannt. Die Anlagen wurden in den Jahren 1980 bis 2024 errichtet. Etwa die Hälfte der Anlagen ist bereits seit über 20 Jahren in Betrieb. Das Speichervolumen liegt meistens unter 10 m³. Die angeschlossenen Flächen sind fast ausschließlich Dachflächen, insbesondere Satteldächer (74,2 %) und Ziegeldächer (58,1 %). Die Antwortoptionen enthielten sowohl Angaben zur Form als auch zum Material des Dachs, sodass sich die gegebenen Antworten überschneiden. Die Fläche der angeschlossenen Dächer lag zumeist zwischen 50 und 200 m². Die Anzahl der Regenwassernutzer*innen pro Anlage liegt meist zwischen eins und vier (67,7 %). Die RWNA wurden häufig ganz (41,9 %) oder teilweise (29 %) in Eigenleistung errichtet.

Aufgrund der Größe der angeschlossenen Flächen und der Anzahl der Nutzenden kann vermutet werden, dass es sich in den meisten Fällen um Einfamilienhäuser handelt.

Abbildung 1: Allgemeine Angaben zur Regenwassernutzung

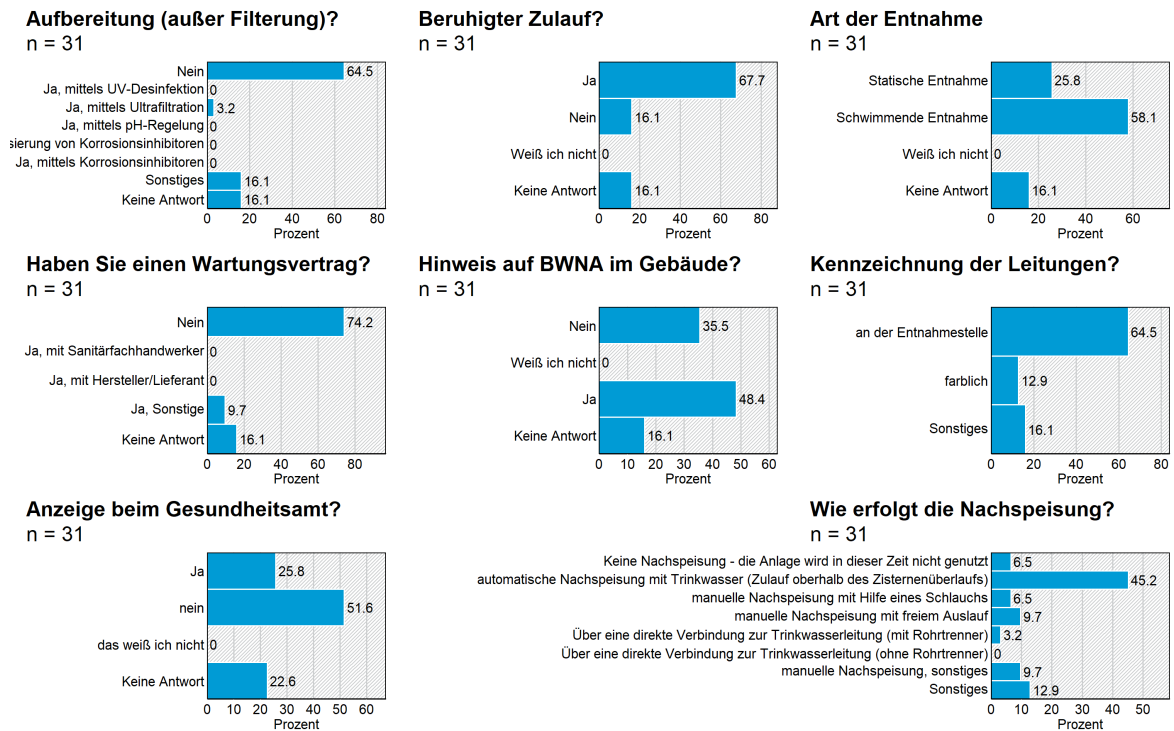


Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

2.1.2 Hygienische Aspekte

Ebenso wie bei den allgemeinen Angaben wird im Folgenden nur auf die Fälle eingegangen, bei denen Regenwasser im Gebäude genutzt wird. Hinsichtlich der Aufbereitung des Regenwassers gaben 64,5 % der Nutzer*innen an, dass über eine Entfernung von Grobstoffen durch Filterung hinaus, keine Aufbereitung erfolgt. In einem Fall wird eine Ultrafiltration durchgeführt. Unter „Sonstiges“ wurden zwei Mal Feinfilter genannt, sowie bzgl. der genannten Ultrafiltration ergänzt, dass zusätzlich eine Ozonung des Wassers durchgeführt wird. Bei der letztgenannten Anmerkung handelt sich um den Fall, bei dem das Regenwasser als Trinkwasser genutzt wird (vgl. Absatz 2.1.1). Die meisten Anlagen besitzen einen beruhigten Zulauf (67,7 %) und eine schwimmende Entnahme (58,1 %). Von den befragten Personen gab keine an einen Wartungsvertrag zu besitzen. 74,2 % beantworteten die Frage mit „nein“, weitere 9,7 % gaben unter „Sonstiges“ an, die Wartung selbst durchzuführen. In etwa der Hälfte der Fälle gibt es einen Hinweis, dass sich eine Betriebswassernutzungsanlage im Gebäude befindet. Die Entnahmestellen sind bei 64,5 % gekennzeichnet. Bei 12,9 % der Anlagen gibt es eine farbliche Kennzeichnung der Leitungen. Weitere angegebene Arten der Kennzeichnung sind Banderolen, Aufkleber und Trassenbänder entlang der Leitungen. Nur etwa ein Viertel der Befragten gab an, dass die Anlage beim Gesundheitsamt angezeigt wurde. In einem Fall wird eine nicht normgerechte Lösung mittels Rohrtrenner angegeben. Es handelt sich dabei um eine Anlage, die 1995 in Eigenleistung eingebaut wurde.

Abbildung 2: Hygienisch relevante Aspekte

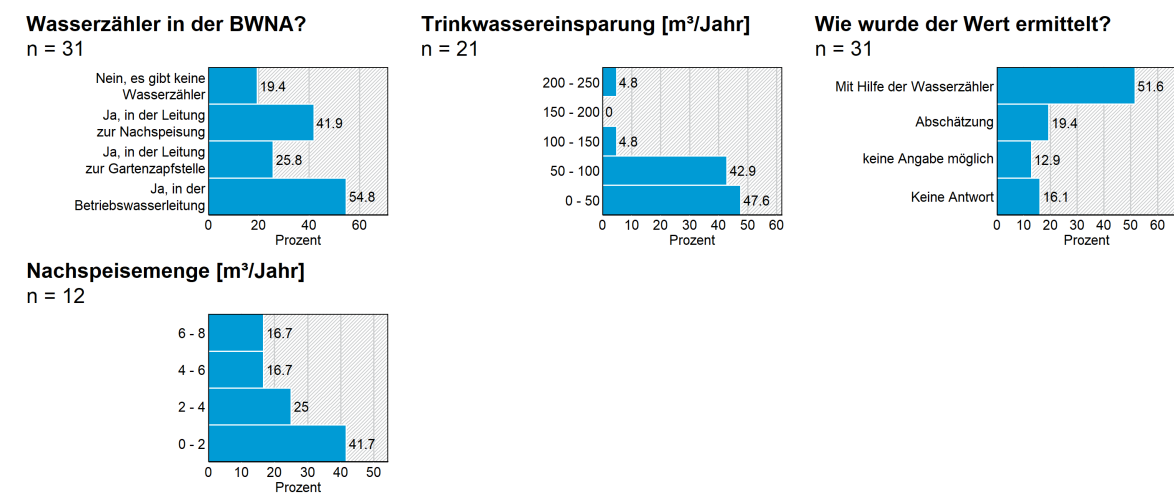


Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

2.1.3 Trinkwassereinsparung

Wie bei der gesamten Befragung, gibt es bei den Angaben zur Trinkwassereinsparung aufgrund der kleinen Stichprobe eine nicht unerhebliche Unsicherheit. Diese erhöht sich insbesondere dadurch, dass bei 19,4 % der Anlagen kein Wasserzähler installiert ist und Angaben teilweise abgeschätzt wurden. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen liegen die Angaben zur eingesparten Trinkwassermenge überwiegend unter 100 m³/Jahr. Die Trinkwassermengen, die zur Nachspeisung der Anlage benötigt werden, liegen in allen Fällen unter 8 m³/Jahr, bei 41,7 % sogar unter 2 m³/Jahr.

Abbildung 3: Trinkwassereinsparung



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

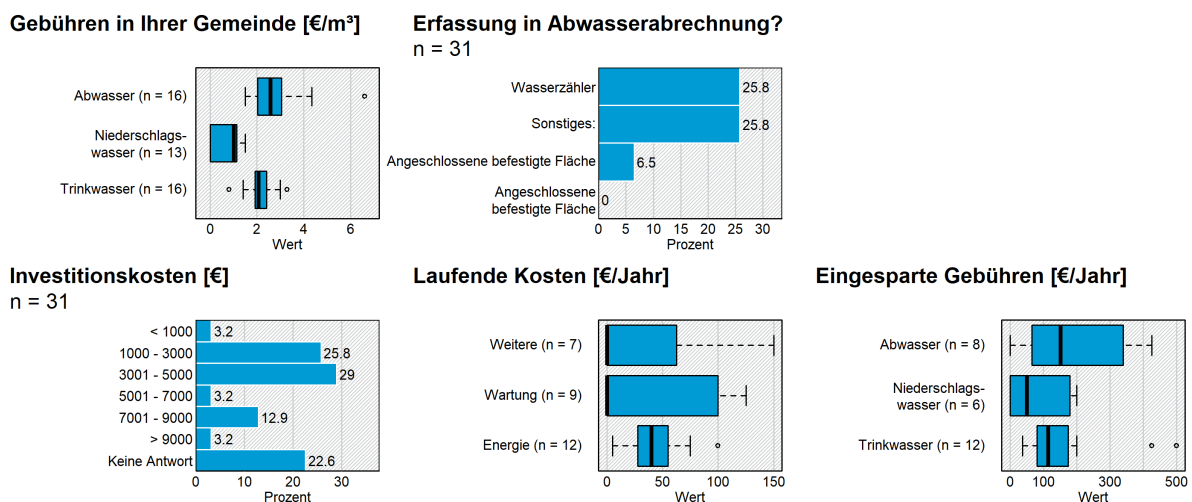
2.1.4 Kosten und Einsparungen

Bei den Angaben zu Kosten und Einsparungen waren die Antwortraten deutlich niedriger als bei den allgemeinen Fragen. Sie liegen in einigen Fällen im einstelligen Bereich (s. Angaben bei den einzelnen Kostenpunkten in Abbildung 4).

Die Abwassergebühren in der Stichprobe liegen überwiegend zwischen 2 und 4 €/m³. Die Niederschlagswassergebühr wurde in 4 Fällen mit 0 €/m³ (also als nicht existent) angegeben. Der Mittelwert der übrigen Fälle liegt bei 0,75 €/m³. Die Angaben zum Trinkwasserentgelt streuten um etwa 2 €/m³. Bezüglich der Berücksichtigung des genutzten Regenwassers bei der Berechnung der Abwassergebühren gaben 25,8 % der Befragten an, dass der Regenwasseranteil mithilfe von Wasserzählern erfasst wird, bei 6,5 % wird die angeschlossene befestigte Fläche zugrunde gelegt. Unter „Sonstiges“ wurde angegeben, dass eine Kleinkläranlage genutzt wird (2 Fälle), keine Berücksichtigung stattfindet (3 Fälle), oder eine vollständige Befreiung erteilt wurde (2 Fälle).

Die Investitionskosten lagen bei etwa der Hälfte der Fälle zwischen 1000 und 5000 €. Bei den laufenden Kosten wurden in 5 Fällen Wartungskosten von 0 €/Jahr angegeben. Der Mittelwert der übrigen Fälle lag bei 37 €/Jahr. Der Mittelwert der Energiekosten lag bei 44 €/Jahr. Die weiteren Kosten wurden in 4 Fällen mit 0 €/Jahr beziffert. Der Mittelwert der übrigen 3 Fälle lag bei 39 €/Jahr. Die Jahressumme der eingesparten Gebühren wurde mit 75 bis 500 € (Trinkwasser), 0 bis 200 € (Niederschlagswasser) und 0 bis 425 € (Abwasser) angegeben.

Abbildung 4: Gebühren und Kosten



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

2.1.5 Erfahrungen mit der Anlage

Der mit einer Regenwassernutzungsanlage verbundene Aufwand wurde von den Befragten in der Planungs- und Vorbereitungsphase überwiegend als mindestens moderat eingeschätzt, in der Betriebsphase dagegen überwiegend als niedrig oder sehr niedrig (Abbildung 5). Bei den maßgeblichen Gründen für die Entscheidung, eine Regenwassernutzungsanlage einzubauen, überwiegen die ökologischen Gründe (77,4 %) gegenüber den wirtschaftlichen (38,7 %). Von den Befragten hat niemand angegeben, durch rechtliche Vorgaben (Bausatzung etc.) zum Einbau einer RWNA verpflichtet gewesen zu sein.

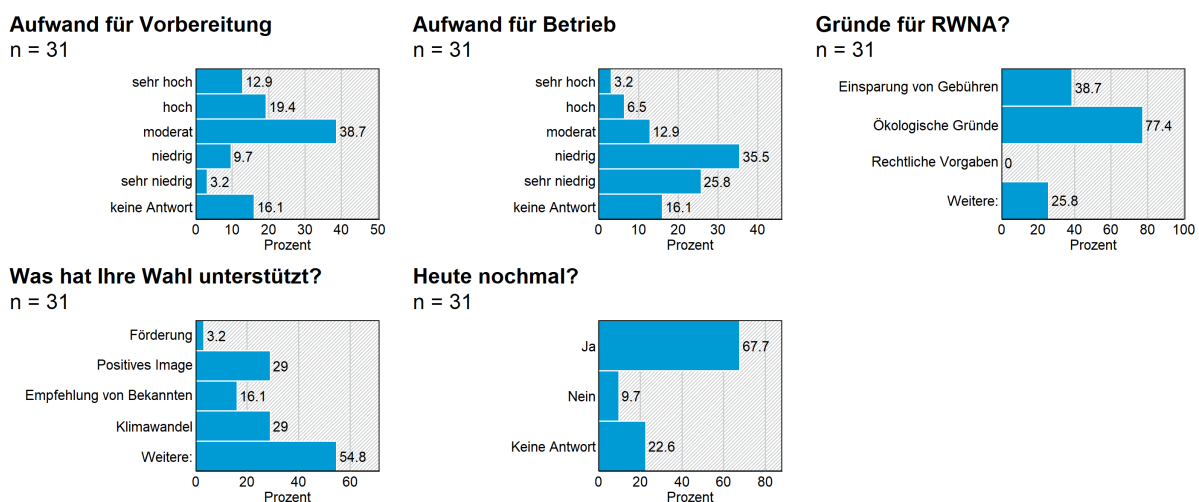
Auf die Frage, welche Schwierigkeiten im Zusammenhang mit dem Einbauprozess auftraten, nannten die Befragten neben der Kommunikation mit Behörden (zwei Nennungen) sowie das Fehlen von Knowhow bei Handwerkern und Planern (Vorbereitungsphase und Installation,

insgesamt sieben Nennungen). Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass in der Betriebsphase zunächst Erfahrungen mit dem System gesammelt werden müssen. Die übrigen Angaben bezogen sich überwiegend auf individuelle Besonderheiten.

Als Handlungsempfehlungen für die Vorbereitungs-, Installations- und Betriebsphase wurden hier mehrfach die Einbeziehung von Fachplanern (neun Nennungen), der Erfahrungsaustausch mit Betreibern von bestehenden Anlagen (drei Nennungen), regelmäßige Wartung (drei Nennungen), die Verwendung von hochwertigen Materialien (zwei Nennungen) aufgeführt.

Die hohe ökologische Motivation der Befragten geht auch aus den Antworten zur Frage, welche Faktoren die Entscheidung unterstützt haben, hervor. Hier wurden das positive Image, der Klimawandel und unter „Weiteres“ häufig der Wunsch nach der Schonung von Wasserressourcen, teilweise geprägt durch Auslandserfahrungen, angeführt. Insgesamt würden sich etwa zwei Drittel der Befragten wieder für eine RWNA entscheiden.

Abbildung 5: Erfahrungen mit der Anlage



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

2.2 Befragung von Herstellern, Installationsbetrieben, Kommunen

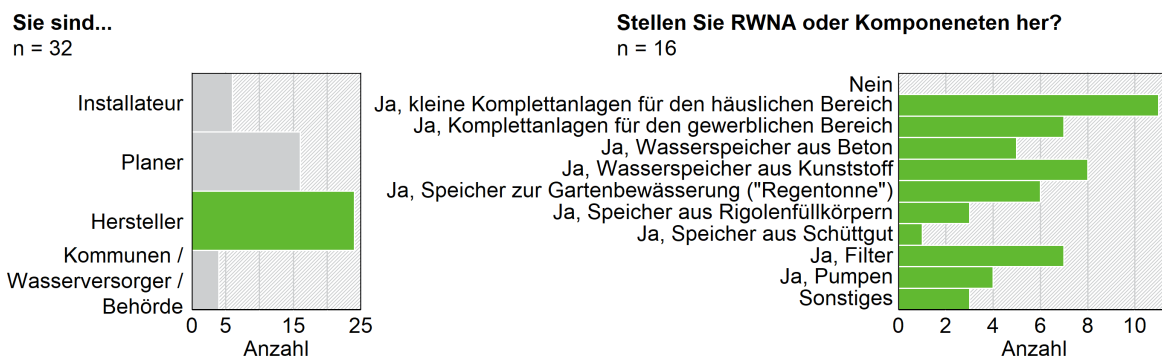
Der zweite Teil der Befragung richtete sich an Installationsbetriebe, Planer, Hersteller und Genehmigungsbehörden/Wasserversorger. Der Rücklauf in diesen Gruppen war teilweise sehr niedrig, sodass der Fokus der Auswertung auf den Herstellern (n = 16) liegt (Abbildung 6). Innerhalb dieser Gruppe wurde insbesondere nach der Marktentwicklung für kleine Komplettanlagen zur Regenwassernutzung im privaten Bereich und nach Anlagen für eine gewerbliche Nutzung gefragt.

Bei den Komplettanlagen für den häuslichen Bereich sind die meisten der befragten Hersteller in den 1990er Jahren in den Markt eingestiegen. Der überwiegende Teil der Hersteller verkauft im häuslichen Bereich bis zu 500 Anlagen pro Jahr, einer beantwortet die Frage mit über 1500 Anlagen pro Jahr. Die Aussagen zur Tendenz der Verkaufszahlen sind uneindeutig (vgl. Abbildung 7). Im gewerblichen Bereich wurden bislang weniger Anlagen verkauft (vgl. Abbildung 8).

Die Aussagen zu den Kosten und deren Aufteilung sind in Abbildung 9 zusammengefasst. Demnach schlagen bei den Investitionskosten Tiefbauarbeiten (Median: 2500 €) und die Kosten der Anlage (Median: 3000 €) mit jeweils mehreren Tausend Euro zu Buche. Der Median der

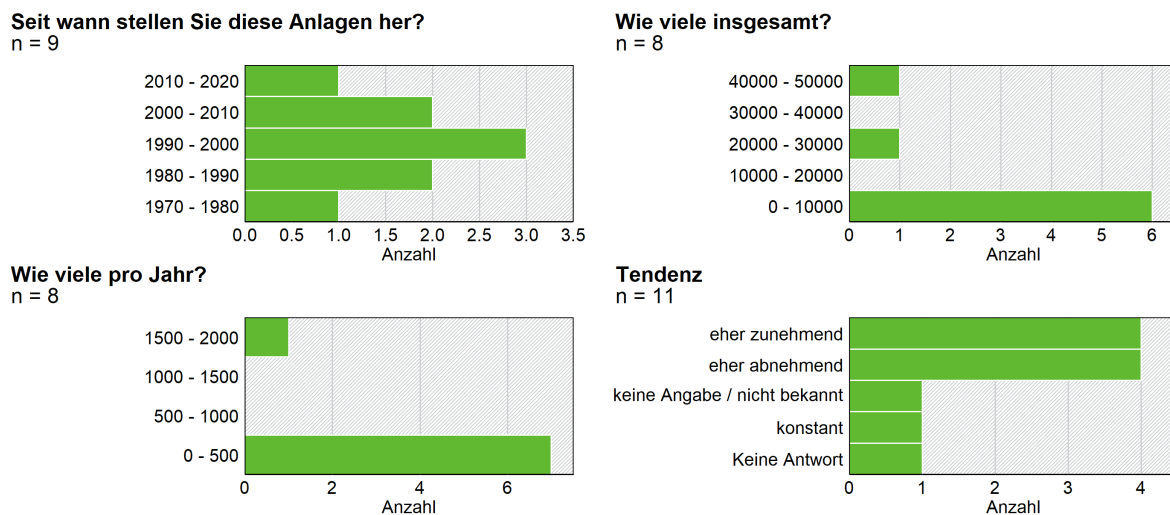
Installationskosten liegt bei 1000 €. Die laufenden Kosten für Wartung liegen bei 125 €/Jahr (Median), die Betriebskosten bei etwa 75 €/Jahr (Median).

Abbildung 6: Rücklauf nach Kategorie und Aufschlüsselung der Hersteller



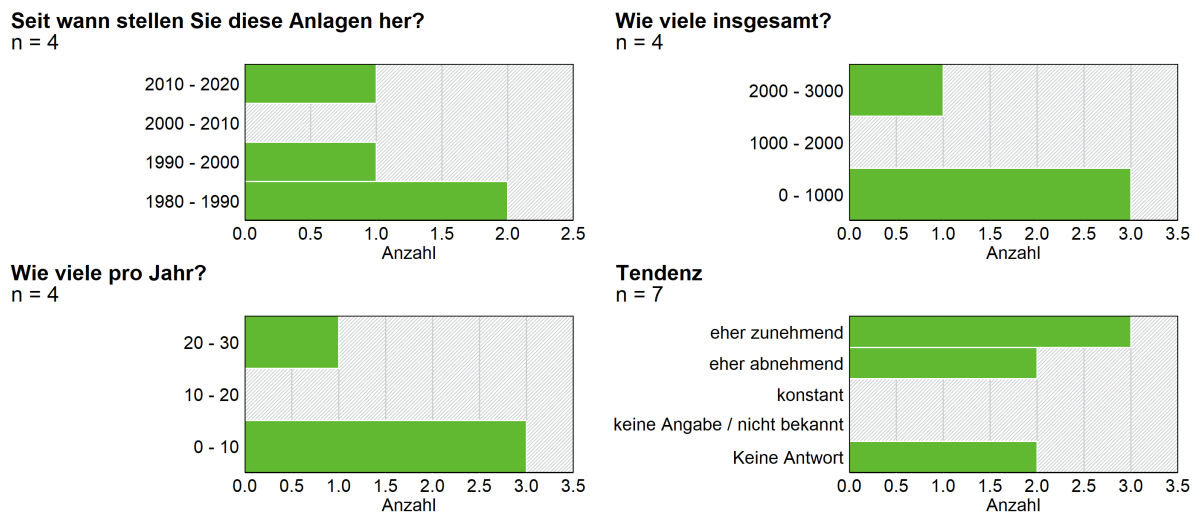
Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Abbildung 7: Kleine Komplettanlagen für den häuslichen Bereich aus Herstellersicht



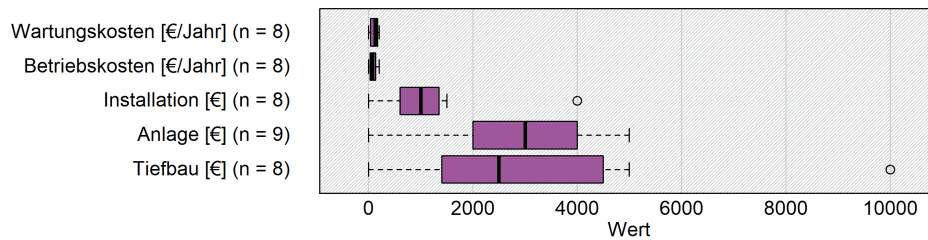
Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Abbildung 8: Komplettanlagen für den gewerblichen Bereich aus Herstellersicht



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Abbildung 9: Kosten für RWNA bei Einfamilienhäusern



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

2.3 Fazit der Befragungen

Bei der Interpretation der Befragungsergebnisse zur Regenwassernutzung im Gebäude ist die geringe Anzahl der Antworten zu beachten. Die Ergebnisse können damit Hinweise auf Art und Rahmenbedingungen der Regenwassernutzung in Deutschland geben, weisen jedoch keine Repräsentativität auf.

Die Befragungsergebnisse der Regenwassernutzer*innen deuten darauf hin, dass Regenwasser vor allem im Bereich von Einfamilienhäusern (50 bis 200 m² Auffangfläche, 1 bis 4 Nutzer*innen) für die Gartenbewässerung, die Toilettenspülung und die Waschmaschine eingesetzt wird. Die Befragung zeigt, dass ein großer Teil der Anlagen nicht den Vorgaben in der TrinkwV bzw. den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. In einem Fall wurde eine unzulässige Nachspeisung unter Verwendung eines Rohrtrenners angegeben. Zudem ist ein großer Teil der Anlagen nicht beim Gesundheitsamt angezeigt. Bei rund 35 % ist die Entnahmestelle nicht gekennzeichnet und nur etwa ein Viertel der Nutzer hat einen Wartungsvertrag. Bemerkenswert erscheint im Zusammenhang mit den genannten Defiziten der hohe Anteil an Befragten, die angegeben haben, die Anlage ganz oder teilweise selbst errichtet zu haben.

Bei der Motivation der Nutzer*innen überwiegen ökologische gegenüber wirtschaftlichen Beweggründen. Die meisten Nutzer*innen beurteilen ihre Erfahrungen mit der RWNA überwiegend positiv und würden sich erneut für eine RWNA entscheiden. Die Befragung von Hersteller von RWNA weist darauf hin, dass mehr Anlagen für private als für gewerbliche Nutzungen verkauft werden. Die Bewertung der Markttendenz ist in beiden Fällen uneindeutig.

3 Szenarien

Um sowohl den Skaleneffekten als auch den regionalen Unterschieden Rechnung zu tragen, wird ein Vergleich verschiedener Optionen der Regenwassernutzung in Fallbeispielen durchgeführt. Dabei werden acht unterschiedliche Bebauungstypen und drei Regionen mit ihren jeweiligen Klimafaktoren, der Niederschlagscharakteristik und den Evapotranspirationsraten, berücksichtigt.

3.1 Bebauungs- und Nutzungstypen (BNT)

Entscheidend für die zur Verfügung stehende Menge an Regenwasser ist das regionale Klima und die Größe der Dachfläche, die für die Sammlung des Niederschlagswassers genutzt werden kann. Der Bedarf an Regenwasser für die Nutzung als Betriebswasser dagegen ist von der Anzahl der Wassernutzer*innen abhängig. Diese Zusammenhänge werden im Folgenden für verschiedene homogene Bebauungseinheiten betrachtet. Dazu wird auf die bei Hillenbrand et al. (2016) betrachteten Bebauungs- und Nutzungstypen (BNT) zurückgegriffen. In Anlehnung an den von Siedentop et al. (2006: 42ff.) verwendeten Strukturtypenansatz werden die BNT in Hillenbrand et al. (2016) als Raumeinheiten auf Quartiersebene verstanden, die sich durch eine homogene Bebauungs- und Nutzungsstruktur auszeichnen und demzufolge ähnliche siedlungswasserwirtschaftliche Bedingungen erwarten lassen. Die BNT wurden um Angaben zur Anzahl der Nutzer*innen, zur Dachfläche (Umweltatlas Berlin, 2015) und zum Betriebswasserbedarf ergänzt. Tabelle 1 enthält eine Auswahl an unterschiedlich dichten Wohnbebauungen (von Einfamilienhäusern bis Blockstruktur) und gewerbliche Nutzungen.

Tabelle 1: Eigenschaften der untersuchten Bebauungs- und Nutzungsstrukturtypen (BNT)

Bebauungs- und Nutzungstyp	Anzahl Personen	Dachfläche	Betriebswasserbedarf	Quelle
	Pers./ha	m ² /ha	L/(Pers. d)	
Traditionelle Blockstruktur (BS)	371	5000	39	Umweltatlas Berlin (2015)
Geschosswohnungsbau nach 1990 (GS)	174	3000	39	Umweltatlas Berlin (2015)
Zeilenbebauung (ZB)	153	2000	39	Umweltatlas Berlin (2015)
Familienhausbau (FH)	39	2000	39	Umweltatlas Berlin (2015)
Logistikpark (LP)	20*	6975	12	Hillenbrand et al. (2016)
Klassisches Gewerbe (KG)	80	6975	12	Hillenbrand et al. (2016)
Technologiepark (TP)	150	6030	12	Hillenbrand et al. (2016)
Umweltbundesamt (UBA)**	575	9350	12	

* Angabe übernommen aus Santer (2021)

** Die Angaben zum UBA beziehen sich nicht auf eine Grundfläche von 1 ha, sondern auf das konkrete Gebäude.

Bei den Angaben zu Wohnnutzungen wurde angenommen, dass die gemäß Bauleitplanung bebaubare Fläche maximal ausgenutzt wird, sodass die Grundflächenzahl (GRZ) dem Anteil der

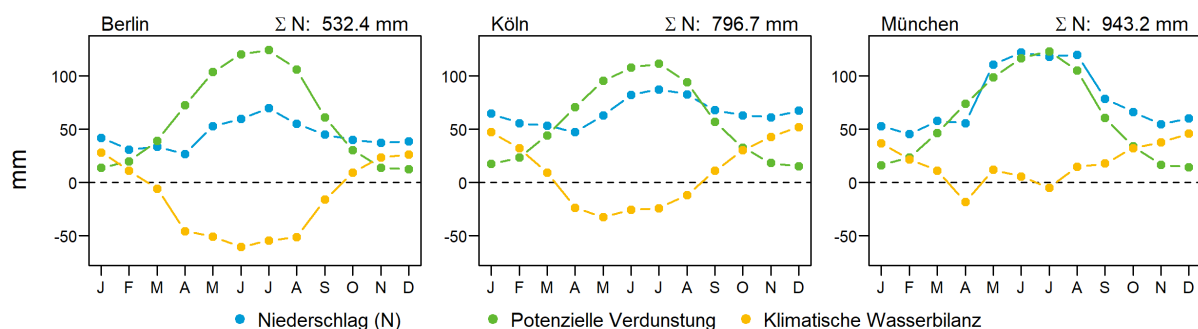
Dachfläche entspricht. Die Angaben beziehen sich normalerweise auf eine Grundfläche von einem Hektar. Die einzige Ausnahme stellt das Gebäude des Umweltbundesamtes an seinem Hauptsitz in Dessau-Roßlau dar. Die auf der Homepage des Umweltbundesamtes angegebene Anzahl der Beschäftigten wurde halbiert, um der Home-Office-Praxis Rechnung zu tragen. Darüber hinaus wurde davon ausgegangen, dass alle Dachflächen unbegrünt und zur Sammlung von Niederschlagswasser geeignet sind.

Der angegebene Betriebswasserbedarf entspricht den Empfehlungen der DIN 1989-100 und enthält bei Wohnnutzung 39 Liter pro Person und Tag für Toiletten und Waschmaschine und bei gewerblicher Büronutzung 12 Liter pro Person und Tag für Toiletten. Gewerbliche Wasserbedarfe im Zusammenhang mit der Produktion können sehr variabel sein und jeder Fall müsste separat bewertet werden. Sie wurden daher hier zunächst nicht berücksichtigt. Dennoch ist klar, dass die Wirtschaftlichkeit mit der Skalierung ansteigt, Betriebe mit gewerblicher Betriebswassernutzung finden daher in Kapitel 5.1 Berücksichtigung.

3.2 Region und Klima

Neben den zur Verfügung stehenden Auffangflächen spielt das regionale Klima eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der nutzbaren Niederschlagsmenge. Abbildung 10 zeigt für drei aufgrund ihrer geographischen Abdeckung des Bundesgebietes und der Datenverfügbarkeit exemplarisch ausgewählten Großstädte in Deutschland die Monatssummen des Niederschlags, der potenziellen Verdunstung, sowie die klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung) im Mittel der Jahre 1993-2022. Die Werte wurden aus Daten der Klimastationen Berlin/Brandenburg (Stations-ID: 00427), Köln (Stations-ID: 02667) und München (Stations-ID: 03379) des Deutschen Wetterdienstes berechnet. Aufgrund von Fehlwerten am Anfang der Zeitreihe ist der gewählte Betrachtungszeitraum im Vergleich zur üblicherweise betrachteten 30-jährigen Klimareferenzperiode von 1991-2020 um zwei Jahre verschoben.

Abbildung 10: Saisonales Muster des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung im Zeitraum 1993 bis 2022



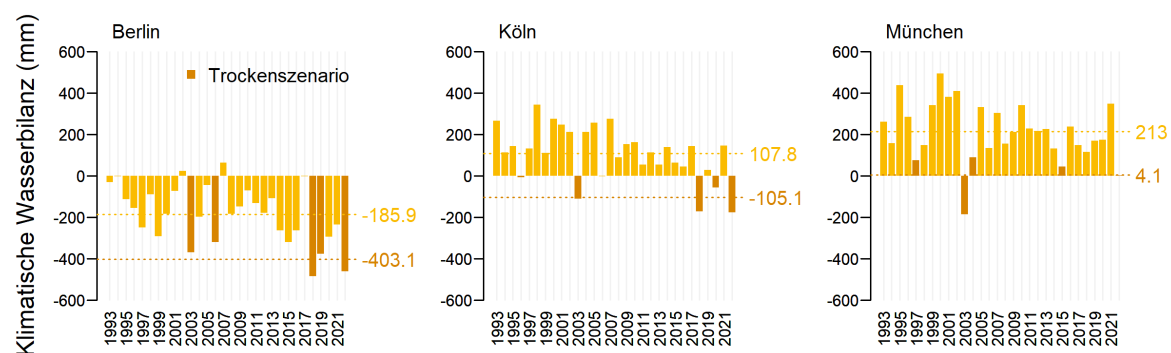
Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Die mittlere Jahressumme des Niederschlags steigt von Berlin (532,4 mm) über Köln (796,7 mm) nach München (943,2 mm) an. Bei allen Stationen werden die höchsten Monatssummen des Niederschlags zwischen Mai und August verzeichnet. Während es bei den Niederschlägen große Unterschiede zwischen den Städten gibt, ist der Verlauf und die Höhe der potenziellen Verdunstung sehr ähnlich. Daraus ergeben sich Saisonale Muster der Wasserbilanz, die vor allem durch den Niederschlag geprägt sind. In Berlin (in geringerem Maße in Köln) ist die klimatische Wasserbilanz in den Sommermonaten deutlich negativ. In München dagegen

wird die hohe potenzielle Verdunstung durch die ausgeprägten Sommerniederschläge nahezu ausgeglichen.

Ergänzend zur aktuellen klimatischen Situation wurde untersucht, wie sich die Bedingungen für eine Regenwassernutzung in Zukunft verändern könnten, wenn aufgrund des fortschreitenden Klimawandels mit häufigeren und längeren Trockenperioden zu rechnen ist. Dazu wurde aus den Stationsdaten des DWD ein Trockenheitsszenario abgeleitet, indem jeweils die fünf Jahre mit der negativsten klimatischen Wasserbilanz (Differenz aus potenzieller Verdunstung und Niederschlag) zu einer fiktiven Zeitreihe zusammengefasst wurden. Um welche Jahre es sich dabei handelte, war abhängig von der jeweiligen Klimastation (Abbildung 11). Es zeigen sich deutliche klimatische Unterschiede zwischen den Städten. Während in Berlin die klimatische Wasserbilanz ohnehin schon unverkennbar negativ ist und in Trockenjahren Werte unter -400 mm erreicht, bleibt sie in München fast ausnahmslos positiv und liegt selbst im Durchschnitt der fünf ausgewählten Trockenjahre noch bei 4,1 mm. Auch die Auswahl der Trockenjahre ist standortabhängig. 2018 und 2022 gehören bei allen Klimastationen mit Ausnahme von München zu den fünf trockensten Jahren. Das einzige Jahr, das an allen Stationen übereinstimmend in der Auswahl enthalten ist, ist 2003.

Abbildung 11: Klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung) im Zeitraum 1993 bis 2022.



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

3.3 Bemessungsverfahren

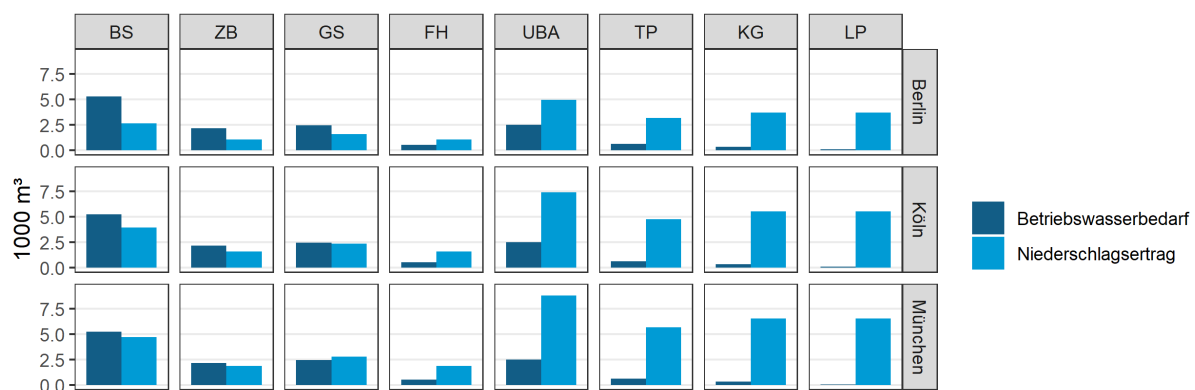
Anhand der Bemessungsszenarien *DIN* und *Max* soll ermittelt werden, ob durch eine Änderung der Bemessungspraxis für Betriebswasserspeicher neue Nutzungspotenziale erschlossen werden. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass aufgrund des Klimawandels in Zukunft mit häufigeren und längeren Trockenperioden zu rechnen ist. Eine Erhöhung der Speichergröße würde es ermöglichen, längere Trockenperioden zu überbrücken. Aktuell wird in der Anlage der DIN 1989-100 empfohlen, das Speichervolumen mit sechs Prozent des jährlichen Niederschlagsenertrags oder des jährlichen Betriebswasserbedarfs anzusetzen, je nach dem welcher Wert kleiner ist. Dieser einfache Ansatz, im weiteren Verlauf mit „DIN“ bezeichnet, wird mithilfe einer Langzeitsimulation überprüft. Dabei wird das Zisternenvolumen iterativ so lange erhöht, bis sich der Anteil des Betriebswasserbedarfs, der mit dem gesammelten Wasser gedeckt werden kann, nicht mehr (oder nur noch minimal) erhöht. Das Speichervolumen wird demnach maximiert und der Bemessungsansatz im Folgenden mit „Max“ bezeichnet (vgl. Kap 4.2.3).

4 Potenziale der Regenwassernutzung

In diesem Kapitel werden die Potenziale für die Einsparung von Trinkwasser und die Reduktion des Abwasseranfalls bestimmt. Diese Effekte kommen bei der Nutzung von Regenwasser in Gebäuden zum Tragen. Die Nutzung von Regenwasser im weiteren Sinne hat zusätzliche positive Effekte, z.B. auf das lokale Klima (Bewässerung von Stadtbäumen und Gebäudegrün), die hier nicht näher betrachtet werden.

Das Trinkwassereinsparpotenzial ist abhängig von der Niederschlagsmenge und -verteilung über das Jahr, der zur Verfügung stehenden Auffangfläche (Bebauungstyp, Dachfläche pro EW), der Nutzungsintensität und der Größe des Speichers. Mithilfe der Angaben aus Tabelle 1 und den Jahressummen des Niederschlags lässt sich berechnen, zu welchem Grad der Betriebswasserbedarf in den unterschiedlichen Fällen theoretisch, mit Regenwasser gedeckt werden kann (Abbildung 12). Dabei wird deutlich, dass bei den Bebauungstypen BS (Blockstruktur) und ZB (Zeilenbebauung) der Betriebswasserbedarf immer größer als der Niederschlagssertrag ist. Im Fall von GS sind Niederschlagssertrag und Betriebswasserbedarf nahezu ausgeglichen. Bei den übrigen Bebauungstypen kann davon ausgegangen werden, dass zumindest theoretisch ausreichend Niederschlagswasser für die Deckung des vollständigen Betriebswasserbedarfes gesammelt werden kann. Diese überschlägige Betrachtung berücksichtigt aber nicht die zeitliche Dynamik des Niederschlags und den Füllstand der Regenwasserspeicher. Daher erlaubt sie keine Aussagen darüber, ob und mit welchem Aufwand (bzgl. der benötigten Regenwasserspeicher) die Trinkwassersubstitutionspotenziale tatsächlich realisiert werden können. Um diese Fragen zu beantworten, wird eine Langzeitsimulation durchgeführt.

Abbildung 12: Gegenüberstellung des jährlichen Betriebswasserbedarfs und des mittleren Niederschlagssertrags in den BNT.



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

4.1 Langzeitsimulation

Aufschluss über die tatsächlich erreichbare Deckung des Betriebswasserbedarfs liefert eine Langzeitsimulation. Dazu werden die einzelnen Einflussfaktoren (8 BNT, 3 Niederschlagsverteilungen, 2 Klimaausprägungen und 2 Ansätze zur Bemessung des Regenwasserspeichers) in einem multifaktoriellen Ansatz (insgesamt 96 Faktorkombinationen) miteinander kombiniert. In der Simulation wurden folgende Prozesse berücksichtigt (Abbildung 13):

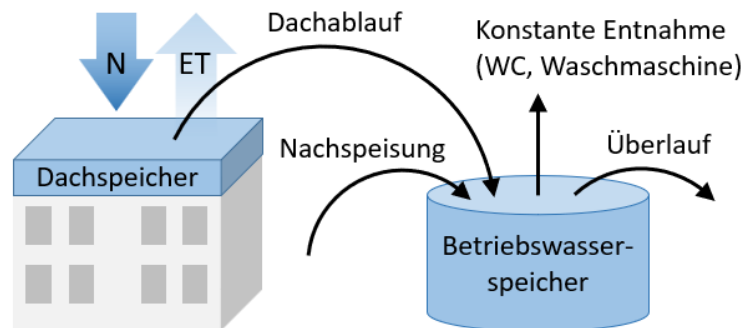
- Niederschlag (Tagessumme aus DWD-Stationsdaten, vgl. Kapitel 3.2),

- ▶ Benetzungsverluste/Verdunstung vom Dach (Tagessumme der Grasverdunstung, DWD, vgl. Kapitel 3.2),
- ▶ Dachablauf (bei Überschreitung des Dachspeichers von 0,3 mm),
- ▶ Tägliche Entnahme aus dem Betriebswasserspeicher (s. Tabelle 1),
- ▶ Überlauf des Betriebswasserspeichers,
- ▶ Nachspeisung des Betriebswasserspeichers (wenn Betriebswasserbedarf nicht aus dem Speicher gedeckt werden kann),

Das Modell ist in der Programmiersprache R (R Core Team, 2024) programmiert und lässt sich flexibel an geänderte Fragestellungen anpassen.

Bei der Bemessung des Betriebswasserspeichers nach der DIN 1989-100 wurde als Speichervolumen 6 % des Minimums aus jährlichem Betriebswasserbedarf und Niederschlagsenertrag angenommen. Im Szenario „Max“ wurde das Speichervolumen so lange in Prozentschritten erhöht, wie die Vergrößerung des Speichervolumens eine relevante Erhöhung der Bedarfsdeckung bewirkte. Sobald die zusätzliche Bedarfsdeckung pro Modelllauf unter 0,5 Prozentpunkte fiel, wurde die Simulation abgebrochen.

Abbildung 13: Modellstruktur



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

4.2 Ergebnisse der Langzeitsimulation

4.2.1 Einfluss des Bebauungs- und Nutzungstyps

Die Ergebnisse der Modellierung der Betriebswassernutzung (Abbildung 14) zeigen, dass die maximal mögliche Deckung des Betriebswasserbedarfs in den einzelnen Siedlungsstrukturtypen sehr unterschiedlich ist. Bei den Gewerbegebieten (TP, KG, LP) wird eine vollständige Deckung des Betriebswasserbedarfs bereits mit kleinen Betriebswasserspeichern (≤ 6 % des Regenwasserertrags) erreicht. Dabei wurden in der Simulation allerdings nicht die gewerblichen Wasserbedarfe berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.1). Abhängig vom Gewerbe können hier große Betriebswasserspeicher zu einer guten Bedarfsdeckung auch der möglichen gewerblichen Bedarfe beitragen, genannt werden bspw. Autowaschanlagen (Prakesch 2025).

Darüber hinaus werden hohe Bedarfsdeckungen über 90 % vor allem bei lockerer Wohnbebauung (FH) und dem Beispiel UBA-Gebäude erreicht. Die große Dachfläche des UBA-Gebäudes und die vergleichsweise niedrige Wassernutzungsintensität (Anzahl Mitarbeitende vor Ort, Wasserbedarf von Büronutzung) führen hier zu einem ähnlichen Verhältnis von Niederschlagsenertrag zu Betriebswasserbedarf wie bei lockerer Wohnbebauung. Die maximal

erreichbare Bedarfsdeckung bei dichter Wohnbebauung (BS, ZB) ist abhängig vom Niederschlagssertrag und liegt bei den aktuellen Niederschlagsbedingungen zwischen etwa 40 % in Berlin und über 70 % in München. Im Fall von GS kann aufgrund des etwas günstigeren Verhältnisses von Dachfläche zur Zahl der Bewohner*innen (Tabelle 1) eine etwas höhere Deckung (55 % bis etwa 90 %) des Betriebswasserbedarfs erreicht werden. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend mit den Erwartungen aufgrund der überschlägigen Bilanzierung von Betriebswasserbedarf und Niederschlagssertrag (Abbildung 12).

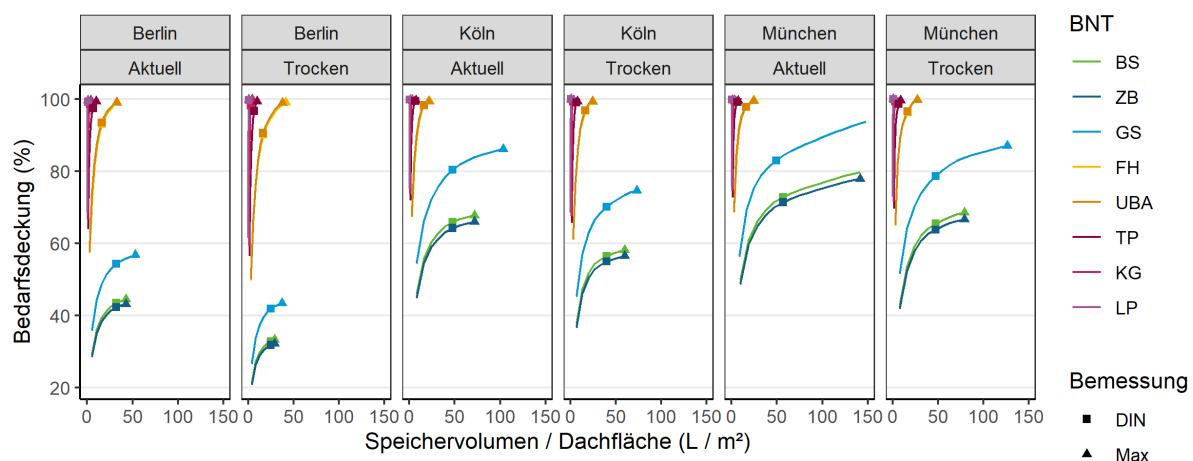
4.2.2 Einfluss der Klimaänderung

Bezüglich der Auswirkungen von Trockenperioden zeigt die Modellierung bei den dichten Wohnbebauungstypen (BS, ZB, GS), die auch unter aktuellen Klimaverhältnissen schon eine Limitierung durch den verfügbaren Niederschlag aufweisen, eine Abnahme der Bedarfsdeckung um etwa 10 bis 20 Prozentpunkte.

4.2.3 Einfluss des Bemessungsverfahrens

Der Vergleich der Bemessungsverfahren „DIN“ und „Max“ zeigt, dass die Bemessung nach DIN in den simulierten Fällen gut den Punkt trifft, ab dem der Zugewinn an Bedarfsdeckung zunehmend größere Speichervolumina erfordert (vgl. Lage der quadratischen Punkte auf der Bedarfsdeckungskurve in Abbildung 14). In den Fällen, in denen die Menge des Jahresniederschlags limitierend für die Bedarfsdeckung wirkt (BS, ZB, GS) führt eine deutliche Vergrößerung der Zisterne nur zu einer geringen zusätzlichen Bedarfsdeckung. Wenn man z.B. unter den aktuellen klimatischen Bedingungen in Köln die Größe des Regenwasserspeichers in einem Quartier mit Blockstruktur verdoppelte, würde dies nur eine zusätzliche Bedarfsdeckung von etwa 8 % bewirken (vgl. Abbildung 14). Dieser Effekt ist in der Regel kleiner als die Auswirkung der reduzierten Wasserverfügbarkeit im Klimaszenario. Die Ergebnisse der Simulation zeigen also, dass in Fällen, wo der Niederschlag aktuell schon der limitierende Faktor für die Deckung des Betriebswasserbedarfs ist, die prognostizierte reduzierte Verfügbarkeit von Niederschlagswasser durch zunehmende und intensivere Trockenphasen nur in sehr begrenztem Maße durch die Vergrößerung von Speichern ausgeglichen werden kann.

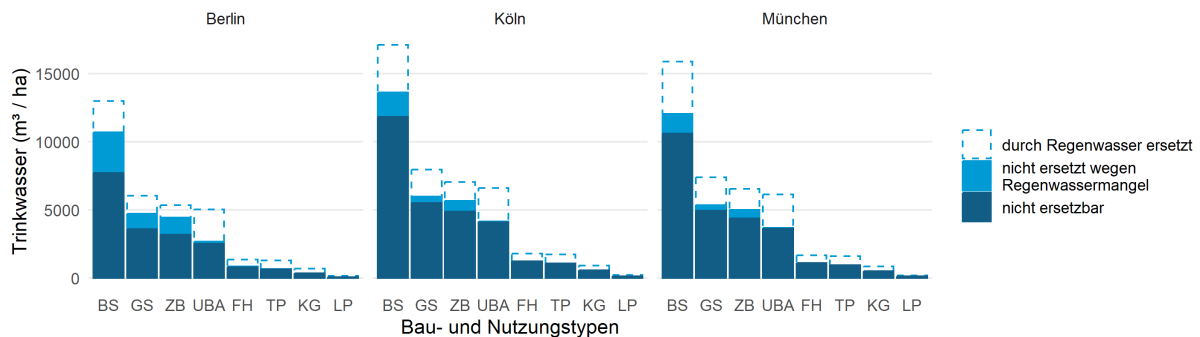
Abbildung 14: Deckung des Betriebswasserbedarfs mit Regenwasser in Abhängigkeit von der Größe des Betriebswasserspeichers.



4.2.4 Potenzial zur Einsparung von Trinkwasser

Aus den simulierten Zeitreihen lassen sich Jahresbilanzen berechnen, die Aufschluss über die Einsparungspotenziale bei Trinkwasser und Abwasser geben und welcher Anteil davon unter den simulierten Randbedingungen realisiert werden kann. Abbildung 15 zeigt die entsprechenden Berechnungsergebnisse für den Fall des aktuellen Klimas und einer Bemessung des Regenwasserspeichers nach den DIN-Empfehlungen.

Abbildung 15: Simulierte Trinkwassereinsparung



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Bei dichter Wohnbebauung (BS, GS, ZB) können die Betriebswasserbedarfe nur anteilig aus Regenwasser gedeckt werden. Die in der Simulation eingesparte Menge an Trinkwasser liegt hier zwischen 920 m³/ha (ZB, Berlin) und 3845 m³/ha (BS, München). Damit liegt der eingesparte Anteil am gesamten Trinkwasserbedarf bei 17,2 % bis 24,2 %.

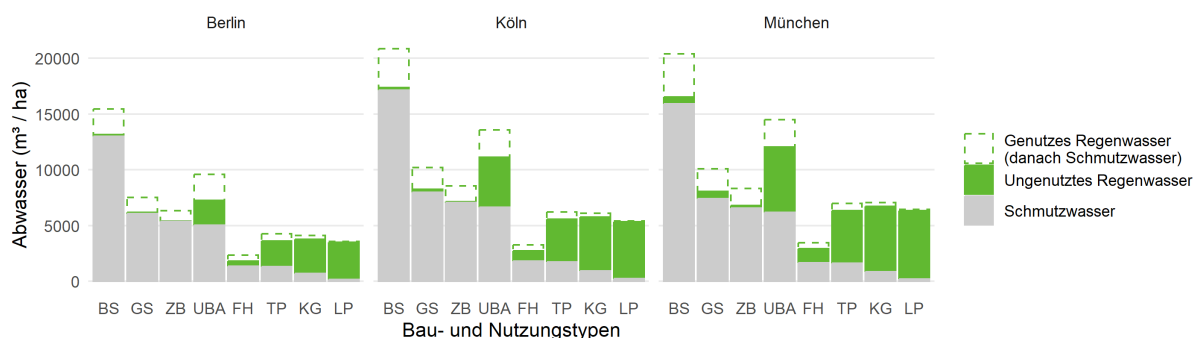
Bei lockerer Wohnbebauung (FH) und den Gewerbegebieten dagegen werden die Ersetzungspotenziale mit 517 m³/ha bis 543 m³/ha bzw. 87 m³/ha bis 653 m³/ha fast vollständig ausgeschöpft. Die ersetzten Anteile des Gesamtbedarfs an Trinkwasser liegen bei FH zwischen 32,5 % (München) und 37,8 % (Berlin) und bei den Gewerbegebieten zwischen 37,9 % (München) und 49,6 % (Berlin).

Es wird deutlich, dass trotz der geringeren prozentualen Einsparung bei der dichten Wohnbebauung, die Einsparung in absoluten Zahlen hier mitunter deutlich höher ist als bei lockerer Wohnbebauung und den Gewerbegebieten.

4.2.5 Potenzial zur Reduktion des Abwasseranfalls

Der eingesparte Trinkwasseranteil entspricht mengenmäßig dem Anteil des Abwassers, der nun nicht mehr in Form von Regenwasser abgeführt wird (Abbildung 16).

Abbildung 16: Simulierte Reduktion des Abwasseranfalls



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Dabei wurde nur das auf Dachflächen anfallende und entsprechend leicht zu sammelnde und vergleichsweise unbelastetes Niederschlagswasser berücksichtigt und nicht Abwasser von sonstigen befestigten Flächen. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das Regenwasser alternativ über das Kanalnetz abgeleitet würde. Im Falle einer Versickerung des auf den Dachflächen anfallenden Niederschlagswassers würde das Kanalnetz ohnehin nicht beaufschlagt.

Obwohl der Regenwasseranteil am Abwasser bei den dichten Wohnnutzungstypen und auch bei FH geringer ist als bei Gewerbegebieten, kann durch die Regenwassernutzung dort sowohl in absoluten Zahlen (s. oben) als auch prozentual (14,8 % bis 18,9 % bei BS vs. 4,9 % bis 8,4 % bei KG) eine größere Reduktion des Abwasseranfalls erreicht werden.

4.3 Fazit zu den Potenzialen der Regenwassernutzung

Die hier durchgeführte Untersuchung zeigt, dass unter den verschiedenen in Deutschland herrschenden Klimaverhältnissen bei Einfamilienhäusern und Gewerbegebieten nahezu der gesamte leicht ersetzbare Trinkwasseranteil (WC und Waschmaschine, ohne Berücksichtigung von Produktionswasser) durch Regenwasser ersetzt werden kann. Bei dichten Wohngebieten ist dies in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge nur teilweise der Fall. Unter trockeneren Klimaverhältnissen reduziert sich dieser Anteil weiter und kann auch durch eine Vergrößerung von Regenwasserspeichern nicht ausgeglichen werden. Trotz der nicht vollständigen Abdeckung des substituierbaren Trinkwasseranteils durch Regenwasser werden bei den dichten Wohnbebauungstypen in absoluten Zahlen aufgrund der großen für die Sammlung von Regenwasser zur Verfügung stehenden Dachflächen die größte Trinkwassereinsparung pro Hektar erzielt. Bei den Gewerbeflächen führen die großen Dachflächen dazu, dass es über den Wasserbedarf für die Belegschaft hinaus noch große Nutzungspotenziale für das anfallende Regenwasser gibt, etwa zur Kühlung, für die Bewässerung von Grünanlagen oder als Produktionswasser (vgl. Kapitel 5).

5 Ökonomische Bewertung

Der Hauptzweck der Regenwassernutzung ist die Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs und die dadurch bewirkte Schonung der Ressource Grundwasser. Vor diesem Hintergrund ist die Einsparung von Trinkwasser auch aus wirtschaftlicher Perspektive der offenkundigste Ansatzpunkt für die Analyse der Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung. Dabei wird untersucht, welcher Anteil des aktuellen Trinkwasserverbrauchs von Bewohner*innen bzw. Nutzer*innen verschiedener Siedlungsstrukturen durch Regenwasser ersetzt werden kann und mit welchen Kosten dieser Ersatz verbunden ist.

In einem zweiten Ansatz geht es ebenfalls um die Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen des Ersatzes von Trink- durch Regenwasser, allerdings in einem Bereich, der voraussichtlich noch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Hintergrund ist der Klimawandel und die mit der zunehmenden sommerlichen Erwärmung einhergehende Notwendigkeit zur Kühlung sich aufheizender Innenräume von Gebäuden. Dabei beruht eine besonders ressourcenschonende und kostensparende Technologie auf der Verdunstung von Wasser und dem damit einhergehenden Entzug von Wärmeenergie aus der Umgebungsluft. Da das verdunstete Wasser in die Atmosphäre entweicht, muss hier ständig frisches Trink- oder Regenwasser nachgespeist werden.

Eine dritte Möglichkeit zur Reduzierung der Kosten der Regenwassernutzung hat nichts mit dem Wasser selbst zu tun, sondern mit der erforderlichen Infrastruktur, genauer: mit den Regenwasserspeichern. Soweit diese Speicher zu einem Zeitpunkt nicht (vollständig) mit Regenwasser gefüllt sind, können die Leervolumina dazu dienen, Starkniederschläge vorübergehend aufzunehmen und damit die Abwasser- bzw. Niederschlagswasserinfrastruktur zu entlasten. Sind Regenwasserspeicher in ausreichendem Umfang vorhanden, können sie zu Einsparungen bei der Abwasser- und Niederschlagswasserinfrastruktur Anlass geben.

Im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Fällen sind im zuletzt genannten Fall Nutznießer*in (d.h. Infrastrukturbetreiber*in) und Kostenträger*in (d.h. Eigentümer*innen der Regenwassernutzungsanlage) nicht dieselben, woraus sich die Notwendigkeit von Koordinations- und Ausgleichsmaßnahmen ergeben kann. Außerdem unterscheiden sich die drei Fälle hinsichtlich der relevanten Rahmenbedingungen, woraus interessante Effekte hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit resultieren.

5.1 Trinkwassereinsparung durch Regenwassernutzung

Sowohl die Kosten der für die Regenwassernutzung erforderlichen häuslichen Infrastruktur als auch die Einsparmöglichkeiten durch den Ersatz des Trinkwassers sind von einer Vielzahl von Rahmenbedingungen und Prämissen abhängig, die sich in unterschiedlicher Weise auf die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung auswirken. Die wichtigste Frage: Für welche Zwecke soll Regenwasser verwendet werden und welches Trinkwassereinsparvolumen wird damit jeweils erreicht? Grundsätzlich kann Regenwasser sowohl außerhalb als auch innerhalb des Gebäudes benutzt werden. Die Bewässerung von Gärten und Grünanlagen und das Befüllen von Swimming-Pools fallen in die erste Kategorie, die Bereitstellung von Putz- und Toilettenwasser und der Betrieb von Waschmaschinen sind typische Beispiele für die zweite Kategorie. Auch wenn in der Befragung die Gartenbewässerung die häufigste Anwendung darstellt, geht es in der vorliegenden Studie um die Regenwassernutzung im Gebäude. Hier wurden die potenziellen Regen- bzw. Betriebswasserbedarfe in den Szenarien BS und FH (=

private Haushalte) mit 39 Liter pro Person und Tag angesetzt, im Szenario KG³, in dem sich Personen nur während eines Teils des Tages zur Verrichtung der Erwerbsarbeit im Gebäude aufhalten, mit 12 Liter pro Person und Tag. Die relevante Personenzahl berechnet sich aus der jeweiligen Anzahl der Gebäude und der Zahl der Bewohner*innen pro Gebäude (vgl. Tabelle 1).

Welcher Anteil des potenziellen Betriebswasserbedarfs tatsächlich mittels Regenwassers gedeckt werden kann, hängt von seiner Verfügbarkeit ab. Dabei spielt nicht nur die Niederschlagsmenge, sondern auch ihre zeitliche Verteilung eine Rolle. Beispielhaft werden hier die Verhältnisse in Berlin, Köln und München zugrunde gelegt, die, wie Abbildung 10 dargelegt, ein für Deutschland vergleichsweise niedriges, mittleres und hohes Niederschlagsdargebot repräsentieren.

Einen weiteren wichtigen Parameter stellt in diesem Zusammenhang das Volumen des Wasserspeichers dar. Hier gilt es, einen Kompromiss zwischen größerem Fassungsvermögen und höherer Regenwasserverfügbarkeit einerseits und höheren Kosten und damit verbundener schlechterer Wirtschaftlichkeit andererseits zu finden. Die DIN 1989-100 legt hier als Richtwert 6 Prozent des kleineren der beiden Werte von Niederschlagsenergie eines Gebäudes und Betriebswasserbedarf seiner Bewohner*innen fest. Die Berechnungen in Kapitel 4 (vgl. Abbildung 14) haben bestätigt, dass durch eine darüber hinaus gehende Vergrößerung des Speichervolumens über das Jahr gesehen keine nennenswerte Steigerung der Betriebswasserverfügbarkeit erzielt werden kann. Deshalb werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die normgemäßen Volumina unterstellt.

Auf Basis der genannten Parameter und langjährigen (1993 bis 2022), taggenauen, ortsspezifischen Niederschlagszeitreihen werden im Rahmen der in Kapitel 4.1 beschriebenen Modellierung für alle genannten Szenarien und Orte die theoretisch erzielbaren Trinkwassereinsparvolumina berechnet (vgl. Abbildung 15). Alle für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen relevanten Daten sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Auf der Kostenseite sind in erster Linie die Errichtung und der Betrieb der für die Regenwassernutzung erforderlichen Infrastruktur relevant. Dazu zählen die Zisterne einschließlich Einbau und Anschluss, die Regenwasserzuleitung zur Zisterne und von der Zisterne zum Gebäude, beides einschließlich Rohr und Verlegung, das Hauswasserwerk einschließlich Installation und Inbetriebnahme und die Leitungen und Armaturen für die Verteilung des Betriebswassers im Gebäude. Die Kostendaten für die Zisternen und das Hauswasserwerk stammen aus einer Internetrecherche einschlägiger Lieferanten (Stand März 2025), die Daten für alle anderen Infrastrukturelemente einschließlich Einbau und Anschluss vom Baukosteninformationszentrum (BKI 2023). Sie gelten im Rahmen eines Neubaus von Gebäuden, im Bestand ist mit deutlich höheren Kosten zu rechnen. Die Ermittlung der jährlichen Investitionskosten erfolgt statisch, d.h. durch lineare Aufteilung auf die Nutzungsdauer. Regionale Unterschiede der Baukosten werden mittels entsprechender Regionalfaktoren berücksichtigt. Als Betriebskosten werden der Stromverbrauch und die regelmäßige Wartung der Anlagen berücksichtigt.

³ Die Auswahl der Szenarien BS, FH und KG beruht auf der Ähnlichkeit verschiedener Szenarien (BS, ZB und GS; FH und UBA; TP, KG und LP) hinsichtlich des jeweiligen Verhältnisses von Niederschlagsenergie zu Betriebswasserbedarf (Vgl. Kap. 4.1, Abb. 4).

Tabelle 2: Für die Berechnung der Trinkwassereinsparungen relevante Daten

Sze- nario	Ort	Anzahl Gebäude pro ha	Nutzer *innen pro Gebäude	Betriebs- wasser- bedarf (m³/a)	Nieder- schlags- ertrag (m³/a)	RW- Speicher- volumen (m³)	Eingespartes TW-Volumen (m³/a)
BS	Berlin	24	15,7	5281	2661	6,7	2292
	Köln	24	15,7	5281	3981	10,0	3482
	München	24	15,7	5281	4713	11,8	3846
FH	Berlin	17	2,3	555	1064	2,0	518
	Köln	17	2,3	555	1592	2,0	546
	München	17	2,3	555	1885	2,0	544
KG	Berlin	1	80	350	3711	21,0	346
	Köln	1	80	350	5553	21,0	350
	München	1	80	350	6575	21,0	349

Quelle: Fraunhofer ISI, Szenarioannahmen und eigene Berechnungen

Im Rahmen des Fachworkshops wurde von Teilnehmenden darauf hingewiesen, dass weitere Kosten berücksichtigt werden müssten, die dadurch entstehen, dass es durch den verringerten Trinkwasserverbrauch in den Versorgungsleitungen vermehrt zu Stagnation kommt. Dieser müsse durch ein vermehrtes Durchspülen der Leitungen entgegengewirkt werden, wodurch nicht nur ein Teil der Trinkwassereinsparung obsolet würde, sondern auch zusätzliche Kosten entstünden. Dem kann das Argument entgegengestellt werden, dass das Trinkwassernetz generell besonders dann unter Stagnation leidet, wenn die verteilte Wassermenge starken Schwankungen unterliegt. In Zeiten geringen Wasserverbrauchs ist die Austauschrate dann gering, was die Verkeimung des Wassers begünstigen kann. Dieser Effekt wird durch die Regenwassernutzung vielleicht geringfügig verstärkt, aber nicht durch sie verursacht, weshalb ihr die damit verbundenen Kosten weder eindeutig zugeordnet noch überhaupt angelastet werden können.

Bei der Gegenüberstellung von durch die Regenwassernutzung verursachten Kosten und Einsparungen kommt es zu bedeutenden regionalen Unterschieden, die neben den bereits erwähnten Faktoren eingesparte Trinkwassermenge und Baukosten vor allem auf die lokalen Trinkwasserpreise zurückzuführen sind. Diese Unterschiede und ihre Implikationen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Offensichtlich hat der Trinkwasserpreis Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung in Gebäuden. In allen Fällen ist er allein zwar zu niedrig, um die Rentabilität sicherzustellen, aber das Defizit ist bei einem niedrigen Trinkwasserpreis größer als bei einem hohen. Dabei ist festzustellen, dass der Trinkwasserpreis (nur die mengenabhängige Komponente) in München und Berlin in etwa dem deutschen Durchschnitt (DeStatis 2023) entspricht, wogegen der Kubikmeterpreis in Köln zu den günstigsten 10 % zählt. Umgekehrt liegen das 75-Perzentil des Kubikmeterpreises bei 2,15 Euro und das 90-Perzentil bei 2,52 Euro. Es wird deutlich, dass auch solche im nationalen Vergleich hohen Preise hinsichtlich der

Wirtschaftlichkeit keinen entscheidenden Vorteil darstellen. Lediglich im Szenario KG würde ein Kubikmeterpreis von 2,52 Euro aus den Defiziten einen Überschuss machen.⁴

Tabelle 3: Regionale Unterschiede der für die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung in Gebäuden maßgeblichen Faktoren (Kosten pro Gebäude)

Sze- nario	Ort	Eingesparte TW-Menge (m ³ /a)	TW-Preis ^a (EUR/m ³)	Eingesparte TW-Kosten (EUR/a)	Bau- und Betriebskosten (EUR/a)	Überschuss /Defizit ^b (EUR/a)
BS	Berlin	95,5	1,81	173,14	369,26	-196,12
	Köln	145,1	1,23	178,54	407,33	-228,88
	München	160,3	1,86	298,39	488,59	-190,21
FH	Berlin	30,4	1,81	55,19	279,72	-224,53
	Köln	32,1	1,23	39,52	276,78	-237,26
	München	32,0	1,86	59,55	332,92	-273,37
KG	Berlin	346,0	1,81	627,30	706,80	-79,50
	Köln	349,9	1,23	430,38	686,86	-256,48
	München	349,4	1,86	650,58	826,42	-175,83

Bemerkungen: ^a nur mengenabhängige Tarifkomponente, ^b Überschüsse mit positivem, Defizite mit negativem Vorzeichen.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Von grundsätzlicher Bedeutung ist die Niederschlagsmenge, denn sie bestimmt den Niederschlagswasserertrag und damit in den meisten Fällen die einsparbare Trinkwassermenge. Dass München daraus im vorliegenden Vergleich zu Berlin keinen deutlicheren Vorteil ziehen kann, ist auf die höheren Kosten der Installation in München zurückzuführen.

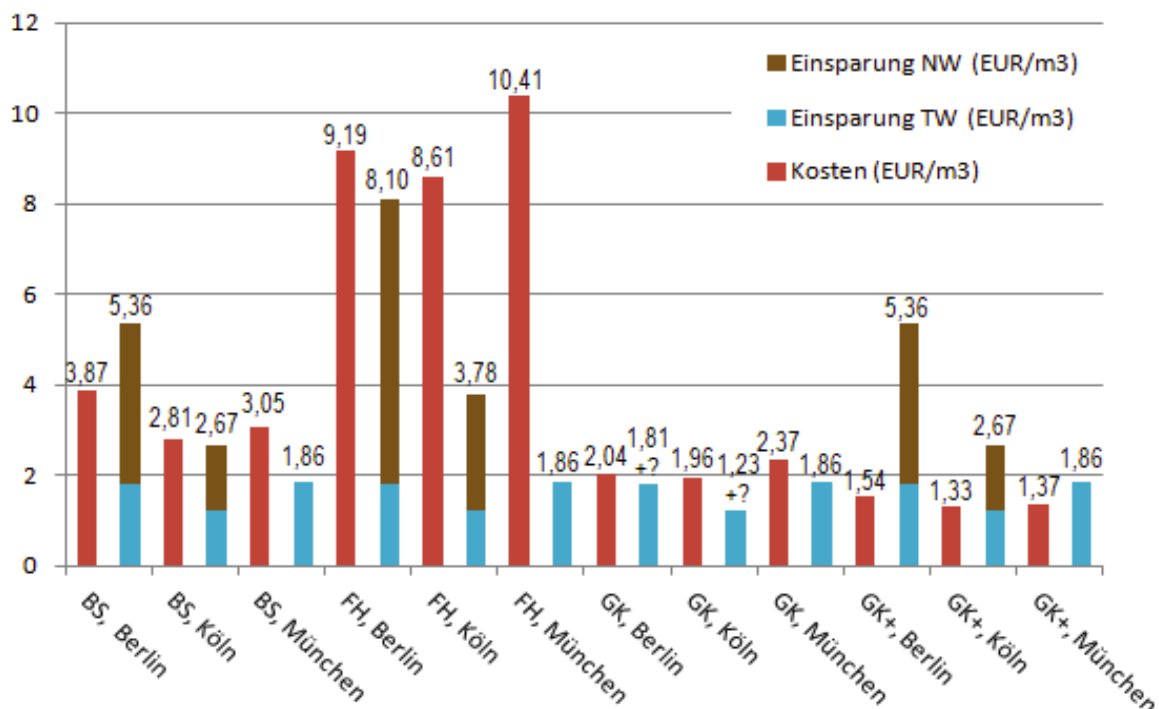
In vielen Fällen kann auch die Schmutzwassergebühr noch auf der Habenseite verbucht werden. Pro Kubikmeter wären das in Berlin 2,16 Euro, in Köln 1,63 Euro und in München 2,02 Euro. Das gilt insbesondere dann, wenn die verbrauchte Regenwassermenge nicht erfasst und deshalb darauf keine Schmutzwassergebühr erhoben wird. Darauf besteht allerdings seitens der Regenwassernutzer*innen kein Anspruch, denn Kommune oder Zweckverband haben das Recht, auf das gesamte eingeleitete Schmutzwasser eine Gebühr zu erheben. Und alle drei Städte machen von diesem Recht auch Gebrauch. Stattdessen werden zumindest in Berlin und Köln Regenwassernutzer*innen durch eine Ermäßigung der Niederschlagswassergebühr dafür belohnt, dass sie mit ihren Wasserspeichern einen Beitrag zum Schutz vor den Folgen von Starkniederschlägen leisten. Diese Ermäßigung beträgt in Berlin 90 % für die an die Regenwassernutzungsanlage angeschlossene (Dach-)Fläche, in Köln sind es 50 %. In München gibt es keine Ermäßigung. Im Szenario BS ergeben sich durch die Ermäßigungen in Berlin und Köln zusätzliche spezifische Einsparungen in Höhe von 3,55 bzw. 1,44 Euro pro Kubikmeter,

⁴ Einer vom Verband kommunaler Unternehmen (VKU) in Auftrag gegebenen Studie zum Thema Investitionsbedarf in der (Ab-)Wasserwirtschaft zufolge könnte sich der jährliche Investitionsbedarf der Trinkwasserversorger im kommenden Jahrzehnt mehr als vervierfachen (bbh 2025), was mehr als eine Verdoppelung des Trinkwasserpreises zur Folge hätte. Träfe diese Verdoppelung auch auf die mengenabhängige Komponente zu, wäre die Regenwassernutzung nicht nur im Szenario GK, sondern auch in Teilen des Szenarios BS (Berlin und München) alleine aufgrund der Einsparungen beim Trinkwasserpreis rentabel.

wodurch in Berlin ein deutlicher Überschuss erwirtschaftet werden kann. In Köln verbleibt dagegen ein geringes Defizit. Im Szenario FH sind die spezifischen Einsparungen mit 6,29 bzw. 2,55 Euro pro Kubikmeter noch höher, wodurch in Berlin die hohen spezifischen Kosten größtenteils ausgeglichen werden können, während dies in Köln nur zur Hälfte gelingt. Zum Szenario KG können in diesem Zusammenhang keine Aussagen gemacht werden, da das Ermäßigungskalkül der Wasserbetriebe in Berlin und Köln auf große Gewerbegebäude mit geringem Regenwasserverbrauch nicht übertragbar ist. Das bedeutet aber nicht, dass es keine Ermäßigung gibt.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass aufgrund der Szenarioannahmen im Szenario KG nur die Betriebs- bzw. Regenwasserinanspruchnahme seitens des Personals berücksichtigt ist. Nicht einbezogen ist dagegen die betriebsbedingte Verwendung von Regenwasser. Diese kann beispielsweise bei Autowaschanlagen so groß sein, dass das anfallende Regenwasser nahezu vollständig im Betrieb verwendet und dementsprechend weder der Berechnung zugeführt noch in die Kanalisation abgeleitet wird (Prakesch 2025). Unter diesen Bedingungen bemisst sich die Zisternengröße gemäß DIN 1989-100 am Niederschlagssertrag. Die verwendete Regenwassermenge steigt dadurch in Berlin um das 10-, in Köln um das 16- und in München um das 18-fache. Und weil gleichzeitig die Kosten nur um den Faktor 8 (Berlin) bzw. 10 (Köln und München) steigen, übersteigen die Einsparungen die Kosten in Berlin und München deutlich (18 bzw. 25 %), in Köln liegen sie knapp (8 %) darunter. Hinzu kommen dann in Berlin und Köln noch Einsparungen durch die Ermäßigungen der Niederschlagswassergebühr, die in einer ähnlichen Größenordnung wie im Szenario BS liegen dürften.

Abbildung 17: Vergleich der Einsparungen bei Trinkwasser (TW) und Niederschlagswasser (NW) mit den Kosten (jeweils in EUR pro m³) der Verwendung von Regenwasser als Betriebswasser in den Szenarien und Standorten



Bemerkung: Das „?“ weist auf nicht eindeutig bestimmbare Niederschlagswassergebührenermäßigung hin.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen und Darstellung

In Abbildung 17 sind alle Ergebnisse der bisher erfolgten Wirtschaftlichkeitsanalyse zusammengefasst. Um die Vergleichbarkeit zu erleichtern sind dabei alle Werte auf jeweils einen

Kubikmeter verwendeten Regenwassers bezogen. Die Variante der Szenarios KG mit zusätzlicher intensiver betrieblicher Regenwassernutzung ist mit KG+ bezeichnet.

5.2 Adiabate Kühlung

Schon heute benötigt die Klimatisierung von Gebäuden vor allem in wärmeren Regionen große Mengen Energie. In Zukunft wird dieser Effekt auch in Mitteleuropa mehr und mehr zum Tragen kommen (IEA 2024). Zu den Möglichkeiten der Aufheizung entgegenzuwirken, zählen neben der technischen Klimatisierung die technische Verschattung relevanter Gebäudeteile, der Einsatz von Gründächern und begrünten Fassaden sowie die Verschattung mit Hilfe von Bäumen. Der Einsatz von Pflanzen zur Klimatisierung von Gebäuden bietet neben der reinen Verhinderung der Wärmeeinstrahlung weitere Ökosystemleistungen wie eine Verbesserung des Mikroklimas durch die Verdunstung des Wassers oder Unterstützung der Artenvielfalt. Zwar können (und sollten) die Pflanzen vorzugsweise mit Regenwasser bewässert werden, für eine Analyse der Wirtschaftlichkeit reichen die verfügbaren Daten aber nicht aus. So konnte im Projekt KURAS zwar die thermische Wirkung der Bepflanzungen quantifiziert werden, es fällt aber schwer, diese thermische Entlastung monetär zu bewerten. Zudem sind die erforderlichen Regenwassermengen nicht angegeben, anhand derer sich die Kosten ermitteln ließen (Matzinger et al. 2017).

Eine Maßnahme zur Kühlung von Gebäuden, bei der Regenwasser zum Einsatz kommt und die erforderlichen Mengen und Kosten verfügbar sind, ist die adiabate Kühlung. Bei dieser technischen Maßnahme zur Klimatisierung wird die Kälte nicht energieintensiv mittels Kompressoren oder durch Absorption erzeugt, sondern durch die Verdunstung von Wasser. Das Anlagendesign ist relativ einfach, so dass im Vergleich zu anderen Kältetechnologien keine zusätzlichen Kosten entstehen. Ein gewisser Nachteil besteht in dem größeren Platzbedarf, weshalb wir uns in der vorliegenden Analyse auf das Szenario KG beschränken, in dem die räumlichen Beschränkungen im Gebäude eine geringere Rolle spielen (Schmidt 2019).

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse spielt die verwendete Kältetechnologie keine Rolle, da es vorrangig um den Vergleich der Verwendung von Trink- bzw. Regenwasser geht. Wichtig ist hier die Berechnung der für das Szenario erforderlichen Kühllast und, daraus abgeleitet, der erforderlichen Wassermenge. Ausgehend von den Vorgaben des Szenarios wurde ein Gebäude mit einem Volumen von 50.000 m³ und 600 m² Türen und Fenster unterstellt, in dem 400 Menschen arbeiten. Daraus konnte mit Hilfe eines Kühllastrechners (deutsche-thermo.de) eine erforderliche Kälteleistung von 342 kW ermittelt werden. Außerdem ist unter den aktuellen klimatischen Bedingungen mit rund 400 Volllaststunden pro Jahr zu rechnen, woraus sich eine abzuführende Wärmemenge von 136.800 kWh berechnen lässt. Da durch die Verdunstung von 1440 g Wasser der Umgebungsluft genau 1 kWh Wärme entzogen wird, sind im Szenario KG für die adiabate Gebäudekühlung pro Jahr 197 m³ Wasser erforderlich. Die zusätzlichen Kosten für die erforderliche Erweiterung der vorhandenen Regen- bzw. Betriebswasserinfrastruktur um diese 197 m³ sind vergleichbar mit den Kosten im Szenario KG+. Sie liegen, wie in Abbildung 17 ersichtlich, in Berlin und München deutlich niedriger, in Köln geringfügig höher als der jeweilige Trinkwasserpreis. In der Summe aller Einsparungen leistet die adiabate Kühlung mit Regenwasser den entscheidenden Beitrag dazu, dass die Regenwassernutzung zumindest in Berlin und München wirtschaftlich rentabel ist (vgl. Abbildung 19). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hier betrachtete Anlage vergleichsweise klein ist. Bei größeren Anlagen sind zudem Skaleneffekte zu erwarten, die sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken würden. Müsste die Regen- bzw. Betriebswasserinfrastruktur extra für die adiabate Kühlung eingerichtet werden, wären Kosten bzw. Einsparungen wie in Szenario KG zu erwarten. In diesem Fall wäre

die adiabate Kühlung mit Regenwasser an allen Standorten teurer als die Kühlung mit Trinkwasser.

Noch nicht berücksichtigt ist dabei der Vorteil des Regenwassers, dass es ohne Vorbehandlung verwendet werden kann, wogegen Trinkwasser aufgrund seines je nach Herkunft unterschiedlichen Gehaltes an Kalk und anderen Salzen ggf. eine Vorbehandlung durchlaufen muss (Schmidt 2019). Dieses Argument trifft darüber hinaus für die betriebliche Wassernutzung in einer Reihe von Branchen zu. Allein für die Entkalkung des verwendeten Trinkwassers müssen bspw. Autowaschanlagenbetreiber*innen je nach Kalkgehalt bis zu 1 Euro pro Kubikmeter aufwenden. Entsprechende Einsparungen können die Rentabilität der Regenwassernutzung in allen betroffenen Gewerben verbessern. Auch in Wohngebäuden (Szenarien BS und FH) kann der Vorteil des fehlenden Kalks im Regenwasser zum Tragen kommen, bspw. bei der Verwendung in Waschmaschinen, beim Putzen oder bei der Bewässerung.

5.3 Einsparungen bei der Abwasser- und Niederschlagsinfrastruktur

Eine zusätzliche Möglichkeit zur Steigerung der wirtschaftlichen Attraktivität der Regenwassernutzung besteht in der Nutzung der leerstehenden Zisternenvolumina zur vorübergehenden Aufnahme von Starkniederschlägen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass der durchschnittliche Füllgrad der Regenwasserspeicher umso geringer ist, je mehr der Betriebswasserbedarf den Niederschlagssertrag überwiegt und je weniger Niederschlag im Jahresmittel fällt. Wie die Übersicht in Tabelle 4 zeigt, ist daher der durchschnittliche Füllgrad mit 19 % im Szenario BS in Berlin am geringsten und mit 86 % im Szenario KG in München am höchsten. Vor allem im Szenario BS und den ähnlichen Szenarien GS und ZB sollte also tatsächlich ein signifikantes Potenzial zur vorübergehenden Aufnahme von Starkniederschlägen und damit zur Entlastung der Misch- oder Regenwasserkanalisation bestehen, die sich auch in Einsparungen bei der Erstellung dieses Teils der Infrastruktur niederschlagen kann. Zu deren Umsetzung sind auch institutionelle Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, auf die am Ende von Abschnitt 5.3 eingegangen wird.

Tabelle 4: Abhängigkeit des durchschnittlichen Zisternenfüllgrades von Szenario und Standort der Zisterne

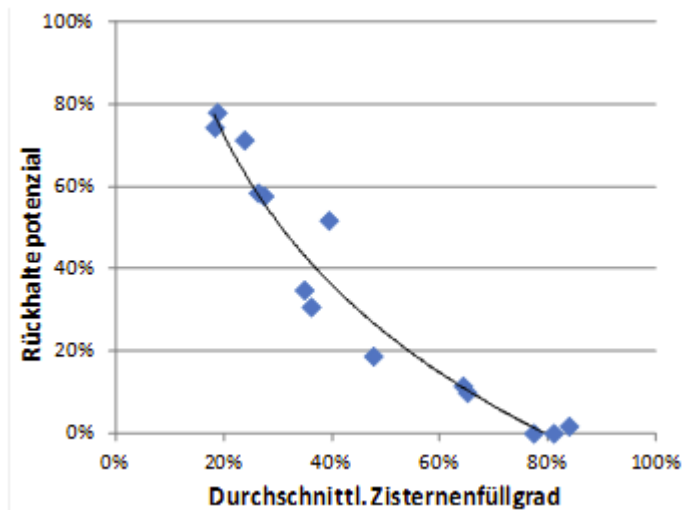
Szenario	Berlin	Köln	München
BS	19 %	27 %	36 %
FH	64 %	77 %	78 %
KG	81 %	85 %	86 %

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Um das tatsächliche Rückhaltepotenzial der Regenwasserzisternen für Starkniederschläge zu ermitteln, wurden anhand stündlicher und ortsspezifischer (Berlin, Köln und München) Niederschlagszeitreihen des DWD über den Zeitraum 1995 bis 2023 zunächst alle Starkniederschlagsereignisse (Wiederkehrperiode ≥ 3 Jahre) identifiziert und dann für alle relevanten Szenarien (BS, FH, KG) die Füllstände unmittelbar vor diesen Ereignissen bestimmt. Auf Grundlage dieser Daten war es dann möglich, für jedes dieser Ereignisse den Anteil des (Stark)Niederschlages zu ermitteln, der in der Zisterne zurückgehalten werden konnte. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass das durchschnittliche Rückhaltepotenzial umso größer ist, je niedriger der durchschnittliche Zisternenfüllgrad ist. Wie in Abbildung 18

dargestellt, geht das Rückhaltepotenzial gegen 0, wenn der durchschnittliche Füllgrad 75 % übersteigt, was im Szenario KG regelmäßig und im Szenario FH häufig der Fall ist. Am anderen Ende der Skala werden bei Zisternenfüllgraden um 20 % (in Berlin) Rückhaltepotenziale über 75 % erreicht.

Abbildung 18: Abhängigkeit des Starkniederschlagsrückhaltepotenzials von Regenwasserzisternen von deren durchschnittlichem Füllgrad



Bemerkung: Datenpunkte für Berlin: alle 8 Szenarien, Köln und München nur jeweils BS, GS und ZB

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Konkret werden für die in diesem Kapitel betrachteten Szenarien und Standorte die in Tabelle 5 aufgeführten Rückhaltepotenziale erreicht. Wird im Szenario KG nicht nur der Betriebswasserbedarf des Personals mittels Regenwassers gedeckt, sondern, wie im Szenario KG+, überdies der betriebliche Wasserbedarf, werden höhere Rückhaltepotenziale bis hin zu mit Szenario BS vergleichbaren erreicht.

Tabelle 5: Durchschnittliche mittels Regenwasserzisternen zurückgehaltene Anteile (in %) aller Starkniederschlagsereignisse.

Szenario	Berlin	Köln	München
BS	78 (91)	58 (94)	31 (88)
FH	12 (43)	2 (38)	0 (23)
KG	0 (1)	0 (1)	0 (1)

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Von besonderem Interesse im Kontext der Wirtschaftlichkeitsanalyse sind die Rückhaltepotenziale deswegen, weil sie einerseits zum Zwecke der Regenwassernutzung geschaffen und deshalb bereits vorhanden sind, andererseits, insbesondere bei der Einrichtung neuer Siedlungsflächen, erforderliche Rückhaltekapazitäten in der zentralen Abwasserinfrastruktur eingespart werden können. Wenn es gelingt, diese Einsparung durch eine allgemeine Verpflichtung der Bauträger zum Bau von Regenwasserspeichern tatsächlich umzusetzen und diese Verpflichtung gegebenenfalls durch aus den Einsparungen gespeiste finanzielle Anreize zu unterstützen, resultieren daraus wirtschaftliche Einsparungen sowohl für die betroffenen Regenwassernutzer*innen als auch die Kommunen.

Um die Höhe dieser Einsparungen zu ermitteln, ist es sinnvoll, zunächst den Wert der zu ersetzenden zentralen Infrastrukturelemente zu ermitteln. Relevant sind hier vor allem Regenüberlauf- (RÜB) und Regenrückhaltebecken (RRB). Laut Sieker (o.J.) sind pro Hektar zu entwässernder Fläche RRB bzw. RÜB mit einem Volumen von ca. 400 m³ erforderlich, deren Bau und Betrieb bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren mit rund 2200 Euro pro Jahr zu Buche schlagen. Bei Matzinger et al. (2017) sind mit durchschnittlich rund 3000 (für RÜB) und 3500 Euro pro Hektar und Jahr (für RRB) für Bau und Betrieb etwas höhere Werte angegeben, wobei die Werte im Einzelfall stark von den Mittelwerten abweichen können. In den verschiedenen Szenarien und Standorten kann davon jeweils der Anteil eingespart werden, der dem zurückgehaltenen Starkregenanteil (vgl. Tabelle 5) und dem Anteil der entwässerten Fläche (vgl. Tabelle 1) entspricht. Die resultierenden Kosteneinsparungen sind in Tabelle 6 unter Zugrundelegung eines Kostensatzes von 3000 Euro pro Hektar entwässerter Fläche und Jahr zusammengefasst.

Tabelle 6: Kosteneinsparungen (in EUR/a) durch den Verzicht auf nicht benötigte zentrale Regenrückhalteinfrastruktur in den Szenarien und Standorten

Szenario	Berlin		Köln	München
BS	1170 (1367)	870 (1410)	465 (1324)	
FH	72 (260)	12 (213)	0 (140)	
KG	0 (20)	0 (27)	0 (18)	

Bemerkung: ()-Werte bezeichnen mögliche gesteigerte Einsparungen aufgrund gezielter Entleerung nach jedem Niederschlag.

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

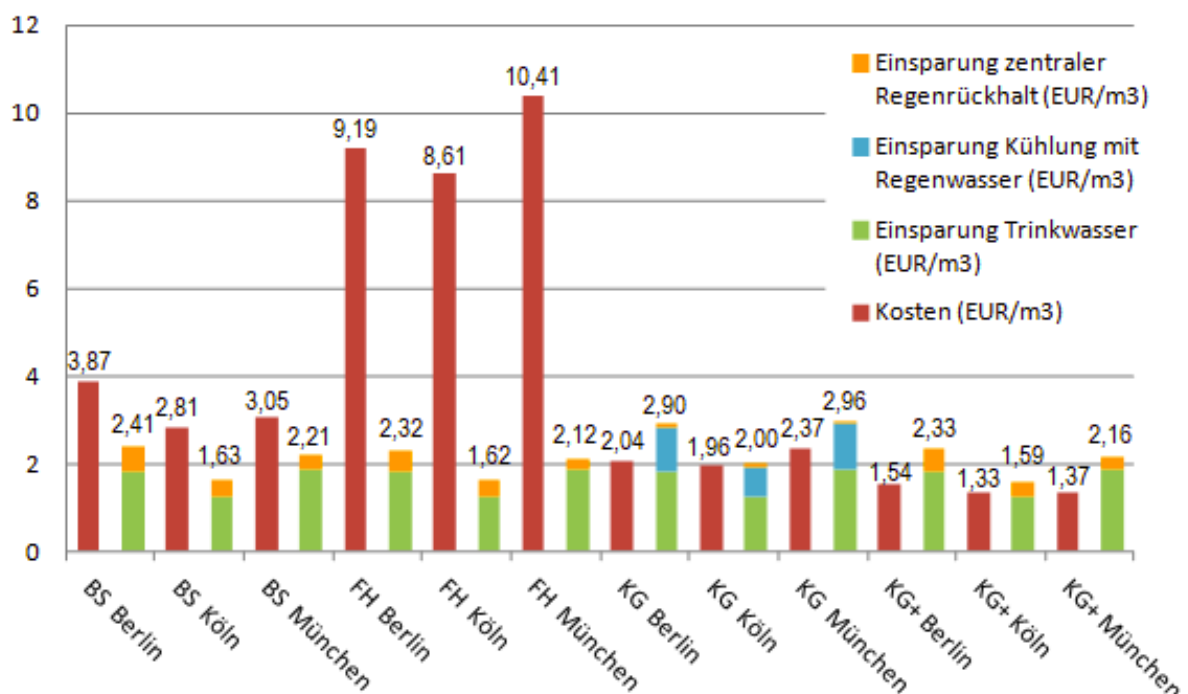
Die in den Tabellen 5 und 6 angegebenen Zahlen (ohne Zahlen in Klammern) verzeichnen Rückhaltepotenziale bzw. daraus resultierende Einsparungen, die ohne (zusätzliche) Einflussnahme auf das in den Zisternen enthaltene Wasservolumen zustande kommen. D.h. der jeweilige Wassergehalt ist allein durch den Niederschlagszufluss und den Betriebswasserverbrauch bestimmt. Im Vergleich dazu lassen sich das Rückhaltepotenzial und die daraus resultierenden Einsparungen steigern, indem den Zisternen nach jedem Niederschlag zusätzlich Wasser zum Beispiel zur Bewässerung von Grünflächen oder durch Ableitung in die Kanalisation entnommen wird. Um dabei eine Überlastung der Abwasserinfrastruktur und insbesondere der Kläranlage in jedem Fall zu vermeiden, ist diese Entnahme so bemessen, dass das Doppelte des Trockenwetterabflusses nicht überschritten wird. Die aus dieser Einflussnahme resultierenden möglichen Rückhaltepotenziale bzw. die daraus resultierenden wirtschaftlichen Einsparungen sind in den Tabellen 5 und 6 als Klammerwerte aufgeführt.

Es zeigt sich, dass das Einsparpotenzial im Szenario KG vernachlässigbar ist und auch durch gezieltes Management des Zisterneninhalts nicht nennenswert gesteigert werden kann. Dies gilt wie zuvor nur, solange sich der Betriebswasserbedarf (annahmegemäß) nur an der Anzahl der Gebäudenutzer*innen orientiert. Besteht darüber hinaus ein nennenswerter betrieblicher aus Regenwasser gespeister Betriebswasserbedarf, so steigt auch das Einsparpotenzial aufgrund nicht benötigter Regenrückhalteinfrastruktur. Im Szenario FH sind die Einsparpotenziale gering (Berlin) bis nicht existent (München), und lassen sich auch durch gezieltes Management des Zisterneninhalts nur mäßig steigern, so dass die wirtschaftlichen Defizite aus der Nutzung des Regenwassers als Betriebswasserquelle an keinem Standort auch nur annähernd ausgeglichen werden. Im Szenario BS sind die Einsparpotenziale durch die Nutzung des Rückhaltepotenzials

deutlich höher, aber weder ohne noch mit zusätzlichem Management des Füllgrads hoch genug, um Defizite aus dem reinen Betriebswasserbetrieb auszugleichen.

Das Management des Zisterneninhalts (im genannten Sinn, dass der Zisternenfüllstand möglichst niedrig gehalten wird, um im Fall eines Starkniederschlags ein möglichst hohes Rückhaltepotenzial aufzuweisen) wäre in keinem Szenario groß genug, um einen entscheidenden Beitrag zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit zu leisten. Aus institutioneller Sicht ist jedoch hervorzuheben, dass das Management, wenn es dennoch stattfände, auf Betreiben des Abwasserinfrastrukturbetreibers geschehen würde, der damit Schäden durch eine Überlastung seiner Infrastruktur abwenden will. Gleichzeitig würde das Management einen Eingriff in die Eigentumsrechte der Zisternenbetreiber*innen bedeuten, da diese die Zisterne nicht mehr so betreiben können, wie sie möchten. Ein Ausgleich für diesen Eingriff könnte in einer regelmäßigen Vergünstigung des Abwasserentsorgers (z.B. (teilweiser) Erlass der Abwasser- oder Niederschlagsgebühr) an die Zisternenbetreiber*innen bestehen, die der Abwasserentsorger aus seinen zusätzlichen Einsparungen aus der nicht benötigten Regenrückhalteinfrastruktur bestreitet. Für die Zisternenbetreiber*innen würde die Zahlung außerdem eine Entschädigung dafür darstellen, dass aufgrund des niedrigeren durchschnittlichen Füllgrades die Zeitabschnitte zunehmen, in denen kein Regenwasser als Betriebswasser zur Verfügung steht. In Abbildung 19 sind noch einmal die Kosten und aufsummierten Einsparpotenziale für alle behandelten Szenarien und Standorte zusammengefasst.

Abbildung 19: Vergleich von Kosten und Einsparpotenzialen (in EUR/m³) für die Szenarien und Standorte



Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Berechnungen

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass die Einsparungen beim Trinkwasserverbrauch nur in Einzelfällen (Gewerbebetriebe mit hohem Regenwasserbedarf) ausreichen, um die Regenwassernutzung wirtschaftlich darzustellen. In der Regel müssen andere Faktoren wie Vergünstigungen bei der Niederschlagswassergebühr oder

eine zusätzliche Nutzung von Regenwasser bei der adiabaten Gebäudekühlung hinzukommen. Mangels Quantifizierbarkeit nicht berücksichtigt sind weitere Vorteile für das Stadtklima und die Umwelt.

6 Hygiene-Aspekte

Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland stellen Trinkwasser grundsätzlich in sehr hoher Qualität zur Verfügung. Nach der Übergabe im Gebäude ist die Verantwortung für diese Infrastruktur in der Hand derjenigen, die diese Gebäude betreiben. Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) stellt daher auch an die Trinkwasserinstallationen in Gebäuden die Anforderung, dass sie die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) einhalten. Qualitätseinbußen und hygienische Risiken können dabei nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Ursachen können in unsachgemäßer Installation, ungeeigneten Materialien oder langen Stagnationszeiten liegen.

Diese Besorgnis gilt aus Sicht der Trinkwasserhygiene auch für zusätzliche Installationen wie bspw. Regenwassernutzungsanlagen, sofern sie auch innerhalb von Gebäuden zur Versorgung mit Wasser betrieben werden.

Für die Bewertung der hygienischen Aspekte der Regenwassernutzung wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Weiterhin wurden diesbezügliche Aspekte in die Befragung aufgenommen und das Thema wurde im Rahmen eines Workshops mit Expertinnen und Experten vertieft.

6.1 Literaturrecherche Übersicht

Für eine ausführliche Literaturrecherche zur Bewertung der hygienischen Aspekte wurde über Google Scholar, Scopus, sowie über Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes nach relevanter Literatur gesucht. Die gefundenen Primärtexte sowie die darin zitierten Quellen wurden analysiert. Der Großteil der Quellen aus dem deutschsprachigen Raum stammt aus den 1990er bzw. 2000er Jahren oder verweist auf Quellen aus vergangenen Jahrzehnten. Die meisten jüngeren Studien befassen sich mit der Regenwassernutzung in Ländern des globalen Südens und untersuchen häufig auch den konkreten Einsatz als Trinkwasser.

Für die mikrobiologische Bewertung der Regenwassernutzung wird in Ermangelung eigener Grenzwerte meist auf Grenzwerte für Lebensmittel oder Badegewässer verwiesen wird (König, 2017; Holländer et al., 1996). Holländer et al. (1996) betonen, dass die Betrachtung von Badegewässer-Richtlinien ein angemessener Vergleich für die Nutzung des Regenwassers zum Duschen, zur Toilettenspülung oder zum Wäschewaschen sei, da es sich um ähnliche Anwendungsfälle handelte (z.B. Ganzkörperkontakt und versehentliches Schlucken von Wasser).

Die DIN 1989-100 bildet die Grundlage für Planung und Bau einer Regenwassernutzungsanlage. Eine korrekte Verbauung der Komponenten ist unabdingbar für die betriebliche und hygienische Sicherheit. Eine fehlerhafte Verbauung wird in älteren Quellen als häufigster Grund für das Beenden der Nutzung von Regenwasseranlagen genannt (Strunck und Giernat, 2011; Domènech et al., 2012; Lye, 2009). Zur DIN-gerechten Anlage gehört u.a. die Nachspeisung im freien Auslauf, eine deutliche Trennung und Kennzeichnung von Trinkwasser- und Regenwasserleitungen (fbr (Hrsg.), 2004; Strunck und Giernat, S., 2011; Nolde, 2005) und eine regelmäßige Wartung durch Fachpersonal (Strunck und Giernat, 2011; Domènech et al., 2012; Lye, 2009). Die DIN nimmt damit auch entsprechende Anforderungen der Trinkwasserverordnung auf (s. § 13 TrinkwV Absätze 3 und 4).

Die Anwesenheit von Pathogenen im Regenwasser wurde in einigen Studien festgestellt (Vialle, 2020; Lee et al. 2017; Ottoson, 2003). fbr (2004) und Bölter (2004) betonen, dass gesundheitsrelevante Pathogene im gespeicherten Wasser aufgrund eines Mangels an Nährstoffen und aufgrund niedriger Temperaturen i.d.R. nur kurz überleben. König (2017), fbr (2004), und Späth (1999) sehen den Eintrag von Pathogenen in Waschmaschinen und

Toilettenspülungen durch Schmutzwäsche bzw. Fäkalien als deutlich höher und relevanter an als den Eintrag durch die Nutzung von Regenwasser.

Die potenzielle Kontaminierung des Regenwassers geschieht bei der Sammlung über Dachflächen z.B. durch Vogel- oder anderen Tierkot, das Abtragen von Dachmaterial, aber auch über Luftschadstoffe (Sojka et al., 2023; Melidis et al., 2007).

Es gibt Quellen, die die Anwesenheit von Pathogenen im Regenwasser als problematisch betrachten und in der Nutzung ein potenzielles gesundheitliches Risiko sehen. Taylor et al. (2020), Kusumawardhana et al. (2021) und Abbasi & Abbasi (2011) stellten die Anwesenheit von Legionella-Bakterien in mit Regenwasser gespülten Toiletten fest. Sie sehen dementsprechend ein niedriges gesundheitliches Risiko. Leuta et al. (2020) raten insbesondere bei Kindern und älteren Menschen zur Vorsicht aufgrund der von ihnen im Wasser nachgewiesenen Pathogene. Das ehemalige Bundesamt für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (bis 2002 BgVV, heute Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) und Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)) wird damit zitiert, auch für die Toilettenspülung eine Nutzung von Trinkwasser zu empfehlen und verweist auf das Risiko von Fehlinstallationen, (Quelle: Empfehlungen zum umweltgerechten Umgang mit Regenwasser Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ, ab 2004 Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz)). In derselben Veröffentlichung des NLÖ wird aber auch darauf hingewiesen, dass mikrobiologische Untersuchungen von Regenwassernutzungsanlagen gezeigt haben, dass die Werte der EU-Badegewässerrichtlinie „fast immer eingehalten werden können“. Hamilton (2018) beschreibt aufgrund der von ihm gefundenen Pathogenzahlen die Möglichkeit eines gesundheitlichen Risikos, sieht aber die Nutzung zur Autowäsche und zum Wäschewaschen als unbedenklich an. Winward et al. (2009) warnen vor der Nutzung des Regenwassers bei Aerosol-erzeugenden Anwendungen (z.B. Autowäsche, Toilettenspülung), mit der Begründung, dass die anwesenden Erreger Atemwegserkrankungen auslösen könnten.

Andere Quellen bestätigen die Unbedenklichkeit der Regenwassernutzung. Holländer (2002) fasst die bereits zum damaligen Zeitpunkt jahrelangen kontroversen Diskussionen zusammen. Er verweist auf zahlreiche Publikationen und eigene Arbeiten, in denen die mikrobielle und chemische Beschaffenheit von Zisternenwasser beschrieben werden. Danach weist Zisternenwasser erwartungsgemäß keine Trinkwasserqualität auf, hält aber alle Grenzwerte der EU-Badegewässerrichtlinie ein und stellt damit für den bestimmungsgemäßen Gebrauch als Betriebswasser inkl. Wäschewaschen kein Risiko dar.

König (2017) gibt an, dass das Wäschewaschen mit Regenwasser aus hygienischer Sicht keinen Unterschied zum Waschen mit Trinkwasser darstellt. Untersuchungen zeigten, dass die mikrobiologische Belastung von Zisternenwasser im Rahmen der Richtlinien für bestimmte Lebensmittel oder Badegewässer lag (König, 2017). Weiterhin würden etwaige Keime beim Trocknen der Wäsche weitgehend sterben und somit kein gesundheitliches Risiko darstellen. König (2017) empfiehlt allgemein, die Regenwassernutzung für die WC-Spülung, Gartenbewässerung und zum Putzen vorzuziehen, bevor eine Nutzung zum Wäschewaschen erwogen wird. Holländer et al. (1996) sehen bei der Verwendung von Regenwasser als Betriebswasser im Haushalt (Toilettenspülung, Wäschewaschen, Gartenbewässerung) kein hygienisches Risiko. Ahmed et al. (2010) finden ein sehr niedriges Infektionsrisiko über die Aerosolaufnahme (z.B. bei der Gartenbewässerung) bei den in ihrer Studie detektierten Pathogenzahlen. Schets et al. (2010) empfehlen, das gesammelte Regenwasser nicht zum Trinken zu verwenden, bewerten allerdings die Qualität als ausreichend hoch für die Toilettenspülung, Bewässerung und zum Putzen. Ähnlich wie König, finden Nolde (2005) und Fewtrell und Kay (2007) keine Unterschiede bzgl. hygienisch relevanter Bakterien und einem

damit einhergehenden Gesundheitsrisiko zwischen mit Grauwasser und mit Trinkwasser gewaschener Wäsche (Nolde, 2005) bzw. zwischen Regenwasser und Trinkwasser beim Toilettenspülen (Fewtrell und Kay, 2007). In Lücke (2001) wird ebenfalls die Unbedenklichkeit bei bestimmungsgemäßem Gebrauch bescheinigt und auf Notwendigkeit hingewiesen, dass Planung, Bau und Betrieb der Anlagen nach dem Stand der Technik erfolgen müssen und die Anlage beim zuständigen Gesundheitsamt anzuzeigen ist.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Rahmenbedingungen vor Ort eine relevante Rolle spielen (z.B. Winward, 2009; Melidis et al., 2007). Die Randbedingungen des Standorts (Temperatur etc.) und die unmittelbare Umgebung (z.B. Bäume in Dachnähe) haben einen Einfluss auf die Wasserqualität (Winward, 2009). König (2017) betont, dass die hohen hygienischen Anforderungen an die Wasserqualität bei der Regenwassernutzung unverhältnismäßig seien. So seien bis zu 1.000 E.Coli Bakterien pro Gramm Salat zulässig, hingegen keine für Regenwassernutzungsanlagen, insofern Trinkwasserstandards gelten sollen. Andere Quellen betonen, dass die Belastung mit Erregern durch den Eintrag von Fäkalien beim Toilettenspülen bzw. über die Schmutzwäsche beim Wäsche waschen deutlich größer sei als durch die Nutzung des Regenwassers selbst.

Im Zusammenhang mit einer Betriebswassernutzung wird das Risiko einer Verkeimung im Trinkwassersystem diskutiert. Durch die Nutzung von Betriebswasser wird der Trinkwasserbedarf verringert, so dass grundsätzlich die mittlere Verweilzeit des Trinkwassers im Trinkwassernetz erhöht wird. Die tatsächliche Verweilzeit des Trinkwassers ist aber stark vom Nutzungsmuster abhängig und häufig nachts deutlich größer als tagsüber. Wie in Abschnitt 6.4 näher erläutert ist davon auszugehen, dass eine Betriebswassernutzung diese Problematik in vielen Fällen nicht in einem problematischen Ausmaß verschärft.

Im Bereich der Legionellen-Vorkommen in Trinkwassersystemen und deren Bedeutung als Infektionsquelle für Legionellose wurde vom Robert-Koch-Institut (RKI) und UBA eine groß angelegte Studie zu Legionellen in Trinkwasser-Installationen durchgeführt (LeTriwa-Studie, vgl. auch RKI, 2015). Die Legionellose (Legionärskrankheit) ist eine schwere, durch Legionellen ausgelöste Lungenentzündung und gehört in Deutschland seit 2001 zu den meldepflichtigen Infektionskrankheiten. Die aktuellen Meldezahlen werden regelmäßig vom RKI veröffentlicht. Demnach waren 2.161 Menschen im Jahr 2023 und 2.217 Menschen im Jahr 2024 an der Legionellose erkrankt (RKI 2025). Unterschieden werden die Fälle grundsätzlich danach, ob sie im Krankenhaus, auf Reisen oder ambulant, d.h. in normaler privater oder beruflicher Umgebung erworben wurden.

In der LeTriwa-Studie werden die ambulant erworbenen Fälle genauer untersucht. Im Ergebnis konnten knapp 50% der untersuchten Fälle einer wahrscheinlichen Infektionsquelle zugeordnet werden: 16% konnten auf eine externe Quelle, 6% auf eine häusliche Nicht-Trinkwasser-Quelle (unzureichend desinfizierte Zahnprothesen) und 27% auf eine häusliche Trinkwasserquelle zurückgeführt werden. Die Nutzung von Regenwasser wurde in der Studie nicht als Infektionsquelle identifiziert.

Grundsätzlich zeigt die Literaturrecherche eine bereits Jahrzehnte andauernde Kontroverse und darüber hinaus, dass es so gut wie keine aktuellen Untersuchungen zu hygienischen Fragestellungen bei der Regenwassernutzung für Deutschland gibt. Gerade vor dem Hintergrund der erstmals 1997 veröffentlichten und seitdem mehrfach überarbeiteten DIN 1989, in der Planung, Ausführung und Betrieb von Regenwassernutzungsanlagen geregelt sind, wären aktuelle Untersuchungen wünschenswert. Entsprechende epidemiologische Untersuchungen,

die eine direkte Verbindung zwischen tatsächlichen Erkrankungen und verschiedenen Nutzungen von Regenwasser herstellen könnten, sind jedoch sehr aufwändig.

6.2 Auswertungen der Diskussionen des Fachworkshops

Im Rahmen des Projektes wurde ein Fachworkshop mit Expert*innen aus Wasserwirtschaft, Gesundheitsämtern und Kommunen, DVGW als Verband der Wasserversorger und ZVSHK als Verband des Sanitärhandwerks, fbr als Verband der Betriebs- und Regenwassernutzung, Forschung, Hersteller und Planungsbüros durchgeführt. Diskutiert wurden u.a. die hygienischen Fragestellungen, die im Zusammenhang mit der Regenwassernutzung immer wieder auftauchen.

Die Diskussionen im Themenblock „Hygiene“ lassen sich auch hier auf zwei wesentliche Diskussionsstränge zusammenführen:

- Technische Sicherheit von Regenwassernutzungsanlagen muss gewährleistet sein, um Risiken durch Fehlschlüsse und unzulässige Querverbindungen zu vermeiden.
- Trinkwassersysteme leiden zunehmend unter Hitze und Stagnation. Wassereffizienzmaßnahmen wie u.a. Regenwassernutzung können die Stagnationsproblematik verschärfen.

Zum ersten Punkt wurde festgestellt, dass Einzelfälle bekannt sind, in denen Fehlschlüsse festgestellt wurden, so dass hygienische Risiken nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden können. Auf der anderen Seite wurde darauf hingewiesen, dass analog zu Trinkwassersystemen ein ausreichendes Regelwerk existiert, in dem fachgerechte Installation und Betrieb der Anlagen festgeschrieben sind. Anlagen, die nach diesem Stand der Technik gebaut sind, stellen keinerlei Gefährdung für das Trinkwassersystem dar. Von Seiten des ZVSHK wurde explizit darauf hingewiesen, dass sowohl die notwendige Technologie als auch die Fachexpertise im Handwerk vorhanden sind, um sichere Anlagen zu bauen und zu betreiben.

Zum zweiten Punkt ist festzuhalten, dass Stagnation und klimawandelbedingte wärmere Temperaturen in Trinkwassersystemen unabhängig von einer Regenwassernutzung zunehmend ein Problem darstellen. Abhängig von der Art der Gebäudenutzung (z.B. Bürogebäude /Gewerbetriebe) kann es mit oder ohne Regenwassernutzung zu längeren Stagnationszeiten kommen. Diese Problematik muss grundsätzlich für Trinkwassersysteme berücksichtigt und ggf. durch Gegenmaßnahmen wie Spülungen aufgefangen werden. Bei Neubau oder der Erschließung von neuen Quartieren muss eine etwaige Betriebswassernutzung bei der Rohrleitungsplanung und Dimensionierung berücksichtigt werden.

Daneben wurden im Workshop die Punkte „Wäsche waschen“ und „Adiabate Kühlung“ zwar im Zusammenhang mit Regenwassernutzung diskutiert, es zeigte sich aber im Verlauf dieser Diskussion, dass es sich im Wesentlichen um Themen des grundsätzlichen Betriebs von wassertechnischen Anlagen in Gebäuden handelt. So ist unabhängig von der Art des genutzten Wassers eher der individuelle Umgang mit der Waschmaschine (trocknen, offen stehen lassen etc.) und ggf. eine gelegentlich verwendete höhere Waschtemperatur relevant für hygienische Parameter. Studien zur mikrobiologischen Belastung zeigen dagegen keinen Unterschied zwischen Trink- und Regenwassernutzung, u.a. da die Keimbelastung im Wesentlichen durch die Wäsche selbst induziert ist.

Adiabate Kühlung kann bei nicht sachgerechter Installation ebenfalls unabhängig von der Art des Wassers hygienische Probleme verursachen.

In dieser Diskussion zeigte sich ein wichtiger Punkt für die Sicherheit von gebäudetechnischer Infrastruktur, nämlich dass die Verantwortung für alle gebäudetechnischen Systeme von den

Betreibern wahrgenommen werden muss und eine Sensibilisierung für Hygienethemen grundsätzlich als notwendig erachtet wird. Das gilt insbesondere für sensible Bereiche, in denen sich besonders vulnerable Gruppen aufhalten, wie bspw. Krankenhäuser oder Pflegeheime.

Für die Bewässerung von städtischem Grün mit gespeichertem Regenwasser wurde in der Runde kein relevanter Grund zu einer Besorgnis gesehen.

In einem Austausch grundsätzlicher Argumente wurde darauf hingewiesen, dass es bei der gesamten Thematik um ein Abwägen der Risiken gehen müsse. Infolge des Klimawandels komme es regional unterschiedlich - wobei alle Regionen betroffen sein können - zu Veränderungen von Temperatur- und Niederschlagsregimen. Damit steht die Wasserwirtschaft weltweit vor großen Herausforderungen. Diese Herausforderungen sind auch in Deutschland inzwischen deutlich spürbar. Ausprägungen von Extremwetterereignissen können sich sowohl in längeren Dürreperioden mit teils starker Hitze als auch in extremen Regenereignissen mit Sturzfluten oder Überflutungsrisiken niederschlagen. Für beide Extreme muss die Wasserwirtschaft Lösungen bereithalten.

Experteninterview⁵

In einem separaten Experteninterview wurden Betrieb und Wartung von Regenwassernutzungsanlagen intensiver diskutiert. Eine regelmäßige Wartung wird je nach Größe und Einsatzgebiet als sinnvoll erachtet. Große gewerblich genutzte Anlagen werden demnach regelmäßig professionell gewartet. Bei kleinen Hausanlagen sei lediglich eine regelmäßige Reinigung des Grobfilters notwendig, was ohne Probleme vom Betreiber übernommen werden kann. Bei einer Anlage, die nach dem Stand der Technik gebaut ist, sei die Wartung kein bestimmender Faktor für die Hygiene.

6.3 Anwendbarkeit des Water-Safety-Plan-Konzeptes zur Risikoabschätzung

Ein wichtiges Werkzeug zur Beurteilung und Beherrschung hygienischer Risiken in Trinkwasserversorgungssystemen ist das von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entwickelte Water-Safety-Plan-Konzept (WSP-Konzept). Es zielt auf die maßgeschneiderte Analyse, Bewertung und Beherrschung von Risiken in einem Trinkwasserversorgungssystem durch die Kontrolle der Prozesse im Einzugsgebiet sowie bei Gewinnung, Aufbereitung, Speicherung und Verteilung ab (Schmoll et al. 2018). In Deutschland sind die wesentlichen Elemente des WSP-Konzeptes in Form von DIN-EN-15975-2 Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement - Teil 2: Risikomanagement“ in das Technische Regelwerk integriert.

Zu einem WSP gehören gemäß der Anleitung der WHO (WHO, 2023) folgende zehn Elemente:

1. Bildung eines WSP-Teams,
2. Beschreibung des Wasserversorgungssystems,
3. Identifizierung von Gefahren und Gefährdungsereignissen,
4. Validierung von Kontrollmechanismen und Risikoabschätzung,
5. Verbesserungsplanung,
6. Überwachung von Maßnahmen zur Risikobeherrschung,
7. Überprüfung der Wirksamkeit der Sicherheitsplanung,

⁵ Interview am 15.05.2025 mit Torsten Grüter, Präsident des fbr und Stefan Prakesch, Geschäftsführender Gesellschafter der ARIS-Systeme GmbH

8. Stärkung von Management-Verfahren,
9. Stärkung von den WSP unterstützenden Programmen,
10. Revision des WSP.

Rapp et al. (2020) haben die Übertragbarkeit des WSP auf Gebäude im deutschen Kontext überprüft und einen Umsetzungsleitfaden als Vorschlag zur Bewertung von Hygienerisiken erstellt.

Der WSP-Ansatz ist ein wichtiges und nützliches Werkzeug für die Identifizierung und Beherrschung von Gefahren in Trinkwassernetzen von Versorgern oder in Gebäuden. Auf die abstrakte Beurteilung der Regenwassernutzung als Technologie kann es dagegen nicht ohne Weiteres übertragen werden, da diese maßgeblich von den konkreten Gegebenheiten im untersuchten System abhängig ist. Insbesondere lassen sich anhand der verfügbaren Daten keine Aussagen zur Häufigkeit von hygienisch relevanten Installationsfehlern treffen. Die Ausführungen in der vorliegenden Studie können sich entsprechend nur lose am WSP-Konzept orientieren, indem die Punkte behandelt werden, die auf eine abstrakte Ebene übertragen werden können. In diesem Sinne wird insbesondere auf die mit RWNA verbundenen Risiken und mögliche Handlungsoptionen zu deren Reduktion eingegangen.

6.4 Fazit zum Thema Hygiene

Auf der Grundlage der Literaturrecherche, der Befragung und des Fachworkshops wurden die nicht-DIN-gerechte Installation von Anlagen und die Verschärfung der Stagnationsproblematik in Trinkwassernetzen als mögliche Risiken für die Trinkwasserqualität identifiziert.

Statistisch belastbare Aussagen zur Häufigkeit von Fehllanschlüssen lassen sich auf der Grundlage der vorliegenden Daten nicht treffen. In der Befragung der Nutzer*innen wurde in einem Fall von einer unzulässigen Verbindung bei einer Anlage aus dem Jahr 1995 berichtet, die durch den Besitzer der Anlage selbst vorgenommen wurde. Anlagen, die nach dem Stand der Technik gebaut sind, stellen bzgl. unzulässiger Verbindung zum Trinkwassernetz kein Risiko für Fehllanschlüsse dar. Der Umstand, dass viele Anlagen nicht beim zuständigen Gesundheitsamt angezeigt sind (vgl. Abschnitt 2.1.2), gibt allerdings Anlass zur Besorgnis. Sollte es durch unsachgemäß installierte Anlagen oder Eigenbauten zu einer Kontamination des öffentlichen Wasserversorgungsnetzes kommen, wird so die Ursachenermittlung und damit die zügige Behebung des Problems erschwert. Bei der Beurteilung der Befragungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass etwa die Hälfte der in der Befragung erfassten Anlagen bereits seit mind. 20 Jahren in Betrieb ist. Neuere Anlagen entsprechen möglicherweise besser den Vorgaben der Regelwerke.

Für die Reduktion des Risikos von Fehllanschlüssen ergeben sich aus dem WSP-Ansatz prinzipiell die Optionen, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses zu reduzieren oder das Schadensausmaß zu mildern.

Ein Ansatz zur Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit könnte die Einführung einer verpflichtenden Abnahme neu errichteter Anlagen durch das Gesundheitsamt sein. Je nach Umfang und Gründlichkeit der Abnahme würde diese zwar auch nur einen relativen Gewinn an Sicherheit gewährleisten, aber voraussichtlich zu einer Reduzierung offensichtlich unzulässiger Installationen führen. In Abwägung des mit einer Abnahme verbundenen Aufwands und eines vergleichsweise geringen potenziellen Schadensausmaßes von RWNA im Einfamilienhausbereich, könnte die Abnahmepflicht auf größere Anlagen beschränkt sein.

Eine andere, auf die Begrenzung des Schadensausmaßes abzielende Maßnahme, wäre die Übertragung der Anzeigepflicht von den Betreibern der Anlage zu den Installationsbetrieben. Die vorliegende Studie zeigt, dass die Verantwortung für die Anzeige bisher durch die Betreiber nur unzureichend umgesetzt wird. Würden die Installationsbetriebe diese Aufgabe übernehmen, könnte eine höhere Verbindlichkeit hergestellt werden.

Stagnation und wärmere Temperaturen stellen zunehmend ein Problem in Trinkwassernetzen dar. Die steigende Wassernutzungseffizienz, bspw. auch durch Nutzung von Regenwasser für einzelne Zapfstellen, kann in Gebäuden, in denen Toilettenspülung einen großen Teil des Wasserverbrauchs ausmacht, die Situation verschärfen, wenn die Trinkwasserleitungen zu groß dimensioniert sind. Sollte die Installation einer RWNA zu bedenklichen Stagnationszeiten führen, müsste als Maßnahme zur Risikobeherrschung zusätzlich Trinkwasser zur Spülung des Leitungsnetzes eingesetzt werden, sodass sich die einzusparende Trinkwassermenge reduziert würde. Die folgende Beispielrechnung für Bürogebäude zeigt jedoch, dass nicht zu erwarten ist, dass über die ohnehin notwendigen Spülungen nach Stagnationsperioden (Nacht, Wochenende) hinaus durch eine Regenwassernutzung zusätzliche Spülvorgänge notwendig werden:

Leitungsvolumen und Trinkwasserverbrauch in Verwaltungsgebäuden

Annahmen zu Trinkwasserverbrauch (in Anlehnung an Szenario *UBA*):

Trinkwasserverbrauch pro Kopf und Arbeitstag (für Küche und Toilette, ohne Betriebswassernutzung): 20-30 Liter (BMV, 2009)

Beispiel: Bürogebäude mit einem Wasserverbrauch von ca. 10 m³ pro Tag und einem Durchsatz von 1 m³ pro Stunde während der Arbeitszeit (Bsp. Gebäude Fraunhofer ISI in Karlsruhe mit rd. 400 Mitarbeitenden)

Annahme zu Leitungsvolumen: 200-300 Liter (Bäcker, 2020)

Im Verlauf des Arbeitstages (ohne RW-Nutzung): TW-Verbrauch = 40 x TW-Leistungsvolumen

➔ Hinsichtlich Stagnation unproblematisch

Im Verlauf des Arbeitstages im Falle der RW-Nutzung (für die Toiletten): TW-Verbrauch = 12 x TW-Leitungsvolumen mit Verbrauchsspitzen in den Pausen (9, 12 und 15 Uhr).

➔ Während des Arbeitstages (mit RW-Nutzung): Stagnation länger als 2,5 Stunden ausgeschlossen, länger als 1 Stunde unwahrscheinlich.

➔ Zu Beginn des Arbeitstages, mindestens nach einem Wochenende: Durchspülen der Leitung ist in jedem Fall, unabhängig von der RW-Nutzung erforderlich.

**Idee: für eine technische Lösung zur Vermeidung der „Spülwasser-Verschwendung“:
Automatische Entnahmestelle am Ende der Leitung mit direkter Rückführung der Entnahme in den Betriebswasserspeicher**

In der Haustechnik könnte also gerade die Kombination mit einem Betriebswasserspeicher die Leitungsspülung, sofern sie notwendig ist, hinsichtlich des Ressourcenschutzes unterstützen, indem bspw. mittels einer automatischen Spüleinrichtung zu einem definierten Zeitpunkt

Trinkwasser aus der Leitung entnommen und direkt in den Betriebswassertank abgeleitet wird. Armaturen dafür sind am Markt erhältlich⁶.

Im Neubau bzw. der Neu-Erschließung von Quartieren, muss die Dimensionierung des Trinkwassernetzes den Gegebenheiten, bspw. auch unter Berücksichtigung von Betriebswassernutzung, angepasst sein.

⁶ <https://www.ikz.de/sanitaertechnik/news/detail/schell-aufputz-waschtischarmatur-sichert-trinkwasserhygiene/>

7 Bewertung aus Nachhaltigkeitsperspektive

Die Nationale Wasserstrategie⁷ beschreibt auf Seite 21 im Kapitel Vision 2050: „*Alternative Wasserressourcen – zum Beispiel Betriebs- und Regenwassernutzung, aufbereitetes kommunales Abwasser – werden zur Schonung knapper Süßwasserressourcen unter Berücksichtigung von Gesundheits- und Umweltschutzaspekten in regionale Wassernutzungskonzepte einbezogen.*“

Wenige Seiten weiter (S.29) steht zu lesen: „*Zu den Optionen gehört neben einer Umsetzung des Konzepts der „Schwammstadt“ und damit einer verstärkten strukturellen Integration der Regenwassernutzung in die Wasserversorgung durch Rückhaltung, Speicherung und Nutzung von Regenwasser auch eine Nutzung von Betriebswasser bzw. Grauwasser, insbesondere im urbanen Raum. Bestehende Lösungen zur (Wieder-)Nutzung von Regenwasser und Abwasserteilströmen im Haushalt (zu anderen Zwecken als für Wasser für den menschlichen Gebrauch [Trinkwasser] im Sinne der Trinkwasserverordnung beschrieben) sowie zur Bewässerung des Stadtgrüns sollten unter Beachtung der hygienischen und ökologischen Aspekte verstärkt angewendet sowie neue Lösungen erprobt werden.*“

An weiteren Stellen wird Regenwassernutzung als ein Baustein der wassersensiblen Stadtentwicklung genannt.

Die Vorteile der Regenwassernutzung vor dem Hintergrund der notwendigen Klimaanpassung und im Kontext der nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung werden somit herausgestellt und die politische Zielrichtung skizziert. Dabei wird Regenwassernutzung immer als Teil einer auf den naturnahen Wasserhaushalt zielenden Regenwasserbewirtschaftung gesehen. Der Bilanzraum für die Bewertung des Nutzens wird damit deutlich erweitert.

7.1 Ökosystemische Betrachtungen

Inwieweit die Regenwassernutzung ökologisch sinnvoll ist, hängt grundsätzlich von den Randbedingungen und vom Bilanzrahmen ab.

Die Aufwendungen für Bau und Betrieb der für die Regenwassernutzung erforderlichen Anlagen sind zusätzlich zu denen der zentralen Trinkwasserversorgung zu leisten und sind in ökobilanziellen Betrachtungen zu berücksichtigen. Gleichwohl kann man infrastrukturell etwaige Einsparungen bei Leitungsquerschnitten oder Rückhaltevolumen im Kanal, ebenso wie Energieeinsparungen bei der Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung gegenüberstellen. Hinsichtlich positiver Effekte bei der Ableitung von Niederschlagswasser ist ggf. Retentionsvolumen einzuplanen und/oder eine wetterabhängige Steuerung der Zisternen zu ermöglichen.

Gleichzeitig kann die Regenwassernutzung vielfältige Ökosystemleistungen bereitstellen. Zu nennen sind bspw. die Reduzierung des Oberflächenabflusses, einhergehend mit einer Entlastung von Oberflächengewässern, der Beitrag zu einem naturnahen Wasserhaushalt auch im urbanen Bereich oder die Schonung ggf. sogar Anreicherung von Grundwasserressourcen. In dem Sinne und als redundante Wasserquelle trägt Regenwassernutzung zur Resilienz städtischer Infrastrukturen bei. Als Bewässerungswasser genutzt fördert sie die Gesundheit von Stadtgrün und unterstützt Biodiversität.

Eine in dieser Hinsicht vergleichende Ökobilanz, die diese Aufwendungen den Effekten in den zentralen Systemen gegenüberstellt, ist sowohl hinsichtlich des notwendigen Datenbedarfs als auch der einzusetzenden methodischen Ansätze sehr aufwendig und mindestens in umfassender

⁷ <https://www.bmu.de/download/nationale-wasserstrategie-2023>

Vollständigkeit noch nicht vorhanden. Zumal sie, wie schon die ökonomischen Betrachtungen gezeigt haben, die spezifischen Bedingungen der Wassereinzugsgebiete ebenso wie der abwasserseitigen Systeme und weiterer lokaler/regionaler Rahmenbedingungen berücksichtigen müsste.

Loubeta et al. (2014) haben in einer vergleichenden Literaturanalyse zur Anwendung von LCA in städtischen Wassersystemen herausgearbeitet, dass die Studien in Bezug auf Umfang, funktionale Einheiten und Systemgrenzen variieren und multikriterielle Ansätze für die Entscheidungsfindung vorteilhafter sind als monokriterielle Ansätze.

Martins Vaz et al. (2023) untersuchen in einer Literaturstudie die Anwendung und Anwendbarkeit der Lebenszyklusanalyse (LCA) auf die Regenwassernutzung. Sie beschreiben, dass ein einheitlicher analytischer Rahmen fehle und die meisten Studien sich auf Wohngebäude konzentrieren. Damit würden viele Vorteile der Regenwassernutzung, die sie bspw. in der Verbesserung der Wasserressourcennutzung und Reduzierung der Umweltbelastungen sehen, nicht berücksichtigt. Martins Vaz et al. fordern eine breitere Perspektive in der Forschung, um die vollständigen Vorteile der Regenwassernutzung besser zu verstehen.

Schramm et al. 2022 schätzen in einer Studie das theoretische Trinkwassersubstitutionspotenzial für die Stadt Frankfurt ab und bewerten die betrachteten Varianten. Die ökologische Bewertung erfolgt rein auf Basis des CO₂-Fußabdrucks. Die betrachteten Betriebswasservarianten können demnach zu höheren Treibhausgasemissionen führen als eine reine Trinkwasserversorgungsinfrastruktur, was auf einen erhöhten Aufwand bei Infrastruktur und Wasseraufbereitung zurückgeführt wird. Deziert wird darauf hingewiesen, dass andere Kriterien nicht berücksichtigt wurden und dass die Bewertung abhängig von Randbedingungen ist und im Einzelfall unterschiedlich ausfallen kann.

Regenwassernutzung wird in der Literatur i.d.R. umfassender und als wichtiger Teil eines dezentralen Regenwassermanagements gesehen und in dem Kontext als sinnvoll erachtet. So beschreiben bspw. Kind et al. 2019 (S. 140): „Die Festsetzung von Vorschriften in Bebauungsplänen (zum Beispiel der Bau von Regenwasserzisternen mit einem bestimmten Volumen pro Quadratmeter versiegelter Grundstücksfläche) hat sich in der Praxis als hilfreiche Maßnahme erwiesen, um die private Vorsorge zu erhöhen.“ Sieker et al. (2019) beschreiben Regenwassernutzung im Kontext aktiver Bewässerung von Gebäude- und Stadtgrün als wirksames Modul zur Klimatisierung von Städten. In der Studie „Ziele und Politikinstrumente für klimaresiliente Schwammstädte“ beschreiben Meilinger et al. (2024) den lokalen Rückhalt von Niederschlagswasser sowie technische Lösungen wie Zisternen, Mulden und Rigolen zur effektiven Bewirtschaftung desselbigen als wesentliche Bausteine einer klimaresilienten Stadtentwicklung.

Im Schlussbericht zum Projekt Cycleaupe haben Jolliet et al. (2002) erarbeitet, dass die Regenwassernutzung ökonomisch und ökologisch eher ungünstig ist, wenn der Energieverbrauch gering und die Anlage klein ist (z.B. Einfamilienhaus). Gleichzeitig wiesen die Autor*innen darauf hin, dass die Anwendung im größeren Maßstab, beispielhaft genannt werden hier Universitäten oder Gewerbeunternehmen, sowohl ökologisch als auch ökonomisch positiv sein können.

Im gleichen Projekt wurde auf den Aspekt eingegangen, dass Regenwasser als Weichwasser zu einer relevanten Einsparung von Waschpulver beitragen kann. Das kann gerade in Gegenden mit hartem Wasser „umweltmäßig interessant und wirtschaftlich konkurrenzfähig sein“ (Jolliet et al. 2002). Gewerbebetriebe, die weiches Wasser benötigen, bspw. Autowaschanlagen, können zusätzlich eine ansonsten ggf. notwendige Enthärtung des Trinkwassers einsparen.

Vargas-Parra et al. (2019) analysieren die ökonomische und ökologische Rentabilität von Regenwassernutzungssystemen für Barcelona mit Hilfe einer Lebenszyklusanalyse und einer Lebenszykluskostenanalyse für verschiedene Szenarien. Sie berücksichtigen explizit die Waschmitteleinsparung durch Weichwassernutzung. Sie zeigen auf, dass Regenwassernutzung in den hochdichten Szenarien, also Gebäudekomplexen, signifikant besser abschneidet als Einzelanlagen und dass die vermiedenen Umweltwirkungen durch die Verringerung des Waschmittelverbrauchs einen großen Umweltvorteil bietet (Vargas-Parra et al. 2019).

7.1.1 Multikriterielle Bewertung

Vor dem Hintergrund der oben skizzierten Diskussionen um die Bewertung von Wasserinfrastrukturen haben Sartorius et al. (2018 und 2019) eine Methode zur umfassenden Bewertung von Wasserinfrastrukturen (MuBeWis) entwickelt, die den Vergleich von innovativen Wasserinfrastruktursystemen untereinander und mit konventionellen Systemen ermöglicht. Eine Grundlage für die Methode ist die von Hillenbrand et al. (2018) beschriebene Vorgehensweise für die Bewertung von NASS-Systemen gem. DWA A-272. Hier erfolgt die Bewertung anhand von Kriterien und Indikatoren, die ein Zielsystem von ökologischen, ökonomischen, sicherheitsrelevanten, sozialen und technischen Aspekten berücksichtigen.

Für die Bewertung der Regenwassernutzung wird in diesem Vorhaben der von Sartorius et al. (2019) erarbeitete, mit unterschiedlichen Akteuren breit abgestimmte Kriterienkatalog zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Zielsystem, Kriterien und Indikatoren für die Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen mittels MuBeWis

Teilziel	Unterziel	Kriterien	Indikatoren
1. Ökologische Ziele	Gewässerschutz	1.1 Nährstoffbelastung	N, P
		1.2 Ökotoxische Stoff/Wasser	Cu, Zn, Diclofenac, Terbutryn
		1.3 Sauerstoffzehrende Substanzen	CSB
	Bodenschutz	1.4 Ökotoxische Stoffe/Boden	Cd, Pb, PAK
		1.5 Emission Klimagase	CO ₂ -Äquivalente
	Ressourcenschutz	1.6 Beeinflussung des Mikroklimas	
		1.7 Ressourcenverbrauch	Energie, Betriebsstoffe
		1.8 Ressourcen-rückgewinnung	P, N, Wasser, C (organisch)
		1.9 Flächenverbrauch	rF -Wert
2. Sicherheits-relevante Ziele	Gesundheitsschutz	2.1a Verkeimung / Hygiene	Gesamtkeimzahl, Coliforme KbE
		2.1b Geruch / Trübung	TON, NTU
3. Ökonomische Ziele	Wirtschaftlichkeit	3.1 (Netto-)Kosten	Investition und Betrieb

Teilziel	Unterziel	Kriterien	Indikatoren
	Flexibilität	3.2 Flexibilität, Systemwechselbereitschaft	Restbuchwert, Nutzungsdauer
4. Soziale Ziele	Akzeptanz	4.1 Bequemlichkeit (Servicequalität)	Zeitaufwand
		4.2 Wirtschaftliche Belastung	Besondere Belastungen
	Vermeidung von Externalitäten	4.3 Beeinträchtigung während Betrieb	Belästigung, Lärm, Geruch
5. Technische Ziele	Betriebssicherheit / Robustheit	5.1 Störungsanfälligkeit	Kapazitätsreserve, Schadenspotenzial, Know-how-Verfügbarkeit
		5.2 Auswirkungen des Versagenszustandes	Anteil CSB im Gewässer
		5.3 Löschwasserbereitstellung	
	Anpassungsfähigkeit	5.4 Flexibilität bzgl. Rahmenbedingungen	Zu-/Rückbaubarkeit
		5.5 Abhängigkeit	Anzahl/Intensität

Quelle: Sartorius et al. 2019

Im Folgenden werden die Kriterien und Indikatoren mit Blick auf die Regenwassernutzung diskutiert und mit Werten zwischen +2 (sehr positiver Effekt) und -2 (sehr negativer Effekt) bewertet.

Tabelle 8: Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen mittels MuBeWis

Ziel	Kriterien und Diskussion	Wert
Gewässerschutz	1.1 Nährstoffbelastung: Stickstoff (N) und Phosphor (P)	
	Die RWN hat einen indirekten Einfluss, da sie durch die Verringerung des Abflusses im Kanalsystem zu einer Reduktion von Mischwasserabschlägen in die Gewässer und damit zu einer Reduktion der Nährstoffbelastung beitragen kann.	+1
	1.2 Ökotoxische Stoffe Gewässer: Cu, Zn, Diclofenac, Terbutryn	
	Die RWN kann zu einer Reduktion der Mischwasserentlastungen und Niederschlagswasserableitungen und damit zu einer Verringerung der Gewässerbelastung führen. Gerade Dachabflüsse weisen oft Metallbelastungen auf, die im Fall der RWN als Schmutzwasser der Kläranlage zugeführt wird, was zusätzlich positiv bewertet wird.	+1
	1.3 Sauerstoffzehrende Substanzen im Gewässer: CSB	
	Hier gilt ebenfalls, dass der Beitrag zu einer Reduktion der Mischwasserentlastung zu einer Verringerung der Gewässerbelastung führt.	+1

Ziel	Kriterien und Diskussion	Wert
Boden	1.4 Ökotoxische Stoffe Boden: Cadmium (Cd), Blei (Pb), PAK	
	Die RWN hat in diesem Punkt keine Relevanz.	0
Klimaschutz	1.5 Emission Klimagase: CO₂-Äquivalente	
	Bau und Betrieb verursachen je nach Größe der Anlage und je nach Vergleichswert mit der öffentlichen Trinkwasserversorgung eine mehr oder weniger große zusätzliche CO ₂ -Emission.	-0,5 (-1 bis 0)
	1.6 Beeinflussung des Mikroklimas	
	Als Baustein blau-grüner Infrastrukturen und bei Verwendung zu Bewässerung von Grünflächen ist dieser Punkt positiv zu bewerten.	+1 (0 bis +2)
Ressourceneffizienz	1.7 Ressourcenverbrauch: Netto-Energieaufwand, Netto-Wärmebedarf, Betriebsmittel	
	Der Betrieb verursacht je nach Größe der Anlage und je nach Vergleichswert mit der öffentlichen Trinkwasserversorgung eine mehr oder weniger großen zusätzlichen Ressourcenbedarf. Wärmebedarf wird nicht beeinflusst. Bei Betriebsmitteln kann argumentiert werden, dass durch kleinere Abwassermengen in geringem Maße Betriebsmittel auf der Kläranlage (z.B. Fäll- und Flockungsmittel) eingespart werden.	-0,5 (-1 bis 0) 0 +0,25 (0 bis +0,5)
	1.8 Ressourcenrückgewinnung: N, P, Wasser, Corg-Rückgewinnung	
	Wesentlicher Punkt ist hier die Schonung der Wasserressourcen, was in dieser Bewertung Ressourceneffizienz bzw. -rückgewinnung gefasst wird. Auf die anderen Parameter hat die RWN keinen Einfluss.	+2
Fläche	1.9 Flächenverbrauch: baurechtliche Flächeninanspruchnahme	
	Je nach Größe und Einsatz kann eine Flächeninanspruchnahme bspw. in der Zuwegung nötig sein.	-0,25
Sicherheit	2.1a Verkeimung / Hygiene	
	Bei bestimmungsgemäßer Verwendung der Anlage sind keine hygienerelevanten Probleme zu erwarten. (vgl. Kap. 6)	0
	2.1b Geruch / Trübung	
	Bei bestimmungsgemäßer Verwendung der Anlage sind keine Beeinträchtigungen zu erwarten.	0
Ökonomie	3.1 Aufwendungen (Kosten)	
	je nach Größe und Vergleichswert mit der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist ein mehr oder weniger großer, zusätzlicher Kostenaufwand zu erwarten.	-1 (-2 bis 0)
	3.2 Flexibilität, Systemwechselbereitschaft: abzuschreibender Restbuchwert (alte Infrastruktur, bilanzielle Nutzungsdauer (neue Infrastruktur)	
	Die vorhandene TW-Infrastruktur wird nicht überflüssig, daher spielt Restbuchwert keine Rolle. Die RWNA hat eine kürzere Nutzungsdauer als die konventionelle Infrastruktur.	+0,25

Ziel	Kriterien und Diskussion	Wert
Soziale Ziele	4.1 Bequemlichkeit (Servicequalität)	
	Geringer Wartungsbedarf (Filter säubern).	-0,25
	4.2 Bezahlbarkeit, Finanzielle Belastung für Endnutzer	
	je nach Größe und Vergleichswert mit der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist ein mehr oder weniger großer Kostenaufwand zu erwarten.	-0,5
	4.3 Beeinträchtigung während des Betriebs	
	Nicht relevant.	0
Technische Ziele	5.1 Versorgungsqualität / Störungsanfälligkeit: Kapazitätsauslastung, Schadensanfälligkeit, Know-How-Verfügbarkeit	
	Die Schadensanfälligkeit ist nicht hoch, dennoch bedeutet eine RWNA Mehraufwand. Die Fachkompetenz ist im Sanitärhandwerk vorhanden. Das Regelwerk ist vorhanden.	-0,5 +1
	5.2 Auswirkungen des Versagenszustandes: CSB-Konzentration im Vorfluter im Versagensfall	
	Eigentlich nicht relevant, allenfalls mit Blick auf die Kläranlage: Die Aufenthaltszeiten in der KA verlängern sich durch weniger Wasserzufluss -> mehr Zeit zur Behebung des Störfalls auf der Kläranlage	0
	5.3 Löschwasserbereitstellung: Sicherstellung des Löschwassergrundschutzes	
	Löschwasserzisternen sind eine Möglichkeit, den Löschwasserschutz sicherzustellen	+0,5
	5.4 Flexibilität bzgl. Rahmenbedingungen: Potenziale für bauliche Anpassungen	
	Relativ einfach an die Bedürfnisse anpassbar, Speichervolumen kann proportional mit Hilfe von Retentionszisternen mit der Stadtentwicklung mitwachsen	+1
	5.5 Abhängigkeit	
	Anforderungen an andere Infrastruktursysteme gering, im Gegenteil: durch höheren Autarkiegrad wird die Abhängigkeit insgesamt geringer (Stromausfall aber bspw. immer noch relevant)	+0,5

Quelle: Fraunhofer ISI, eigene Darstellung

Die Kriterien und Indikatoren wurden im Projektteam diskutiert, die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Erwartungsgemäß schlagen die Mehraufwände für Energie, Kosten und Wartung negativ zu Buche. Demgegenüber stehen neben den möglichen Einsparungen an Trinkwasser und den entsprechenden Gebühren, positive Punkte aus einer Entlastung des Abwassersystems, der Steigerung der Resilienz durch eine zusätzliche Wasserquelle oder den Effekten an der Schnittstelle zu blau-grünen Infrastrukturen. Für eine zusammenfassende Bewertung wäre eine Wichtung der einzelnen Parameter notwendig, entsprechende Wichtungsfaktoren hängen jedoch in erheblichem Umfang von den jeweiligen Randbedingungen ab (s.o.). In diesem Sinn sollen die dargestellten Bewertungsergebnisse eine möglichst hohe Transparenz hinsichtlich der Vor- und Nachteile einer Regenwassernutzung gewährleisten und können damit als Grundlage für weitergehende, spezifische Betrachtungen dienen.

Regenwassernutzung, vor allem in Verbindung mit Retentionsvolumen, kann damit als Baustein einer klimaangepassten Stadt und im Sinne einer privaten Überflutungsvorsorge und Resilienzsteigerung deutlich positiv bewertet werden. Als Retentionszisternen gebaut, stellen

Regenwasserzisternen ein Element zur Entlastung der Kanalisation bei Starkregenereignissen dar. Damit und als zusätzliche Wasserquelle bei einem Ausfall der zentralen Trinkwasserversorgung kann die Regenwassernutzung zur Resilienz von Wasserinfrastruktursystemen beitragen. Die gedrosselte Ableitung in eine technische Versickerung ermöglicht eine kleinere Dimensionierung von Versickerungssystemen wie Mulden oder Rigolen. Verdunstungseffekte unterstützen die Stadtklimatisierung und den kleinräumigen Wasserkreislauf.

In der Regel haben größere Anlagen, mit denen die betriebliche Wassernutzung in Gewerbebetrieben unterstützt wird, ein gutes Potenzial für eine ökonomische und ökologische Rentabilität.

7.2 Großskalige Effekte

Für die Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser gibt es verschiedene Motivationen. Die wichtigste ist in Zeiten von Übernutzung und Verschmutzung bedrohter Wasserressourcen die Schonung ebendieser Ressourcen. Das gilt für Grundwasser ebenso wie für Oberflächenwasser, welche mit mehr oder weniger großem Aufwand gefördert und ggf. zu Trinkwasser aufbereitet werden muss. Insofern spart die Regenwassernutzung auch weitere Ressourcen, die für die Trinkwasserbereitstellung aufgewendet werden müssen. Andererseits ist auch die Regenwassernutzung selbst mit Aufwand verbunden: für die erforderliche Installation ebenso wie für deren Betrieb. Auf beiden Seiten schlägt sich der Ressourcenaufwand in monetären Kosten nieder, die sich, wie in Kapitel 5 gezeigt, auf die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung auswirken. Nur in wenigen Szenarien und in manchen Fällen auch nur unter bestimmten Bedingungen genügen allein die durch die Regen- bzw. Betriebswassernutzung eingesparten Trinkwassermengen, um diese Nutzung auch wirtschaftlich profitabel zu machen. Damit sich der Einsatz lohnt, ist es offensichtlich notwendig den Aufwand in Relation zur genutzten Regenwassermenge so gering wie möglich zu halten. Das kann einerseits durch größere Anlagen in Verbindung mit degressiven Bau- und Betriebskosten geschehen, andererseits aber auch dadurch, dass die vorhandenen Anlagen intensiver genutzt werden. So kann Regenwasser im Haus nicht nur als Betriebswasser für Toiletten, Putzen und ggf. das Waschen von Wäsche verwendet werden, sondern, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, auch zum Klimatisieren von Gebäuden. Außerhalb von Gebäuden können außerdem Grünanlagen bewässert werden, was sich nicht nur über das verbesserte Mikroklima, sondern auch über die naturnahe Umwelt positiv auf das Wohlbefinden der Menschen auswirkt.

Eine zusätzliche Nutzenkategorie für die Regenwassernutzung eröffnet sich durch die Mehrfachnutzung der Wasserspeicher. Während für die Regenwassernutzung selbst der mit Wasser gefüllte Teil von Zisternen oder Rigolen maßgeblich ist, kann, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, der nicht gefüllte Teil der Aufnahme von Starkregen dienen und damit die ggf. vorhandene zentrale Niederschlagswasserinfrastruktur ganz oder teilweise überflüssig machen. Dieser Effekt kann dadurch noch verstärkt werden, dass hinsichtlich des Füllstands der Speicher je nach Betriebswasserbedarf und Niederschlagsaufkommen ein bestimmter Zielstand angestrebt wird. Das kann im Kontext der (in dieser Studie betrachteten) Betriebswassernutzung im Gebäude dadurch geschehen, dass nicht benötigtes, gespeichertes Regenwasser gezielt so in die Kanalisation abgeleitet wird, dass es an keiner Stelle zur Überlastung kommt. Wird Regenwasser zusätzlich zur Bewässerung von Gärten und Grünanlagen verwendet, wird das System hinsichtlich seiner Aufnahmefähigkeit für Starkniederschläge noch anpassungsfähiger und die zentrale Niederschlagswasserinfrastruktur wird möglicherweise ganz überflüssig oder zumindest können ggf. notwendige Erweiterungsmaßnahmen vermieden werden.

Wie Abbildung 19 deutlich zeigt, gibt es kein Szenario, bei dem alle Vorteile zusammentreffen. Jedes Szenario hat aus wirtschaftlicher wie ökologischer Sicht seine spezifischen Vor- und Nachteile. Ungeachtet dessen wäre es auch nicht möglich, eine den Ansprüchen der Bewohner*innen genügende siedlungsräumliche Bebauungs- und Nutzungsstruktur nur aus einzelnen Szenarien zu konstituieren. Es braucht sowohl Wohn- als auch Gewerbegebiete und Geschäftslagen und in den Wohngebieten sind sowohl dichter bebaute Flächen als auch Grünflächen erforderlich. Diese Vielfalt der Siedlungsszenarien weist aber auch aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht den Vorteil auf, dass Nachteile eines Szenarios durch Vorteile eines anderen jeweils ausgeglichen werden können. So sind die Szenarien KG (Klassisches Gewerbe) und KG+ (Klassisches Gewerbe inkl. gewerblicher Betriebswassernutzung) beide durch einen hohen Dachflächenanteil und dadurch einen hohen Niederschlagsenergieertrag gekennzeichnet. Während damit jedoch im Szenario KG+ ein hoher Betriebswasserbedarf gedeckt und damit viel Trinkwasser eingespart werden kann, wird das Regenwasser im Szenario KG mit seinem geringen Nutzer*innenspezifischen Betriebswasserbedarf zusätzlich für die adiabate Kühlung des Gebäudes verwendet. Im Gegensatz zu den Szenarien KG und KG+ sind die Szenarien BS (Traditionelle Blockstruktur) und FH (Familienhausbau) durch eine kleinräumigere Siedlungs- und Infrastruktur gekennzeichnet, die höhere Kosten zur Folge hat, wodurch auch unter Berücksichtigung der Einsparungen beim zentralen Starkniederschlagsrückhalt kein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Stattdessen könnten diese Einsparungen aber im Zusammenspiel mit der nicht erforderlichen Erfassung des Betriebswasserverbrauchs für den Abwasserentsorger Anlass sein, für das verbrauchte Betriebswasser keine Abwassergebühr zu erheben. Oder es könnten, wie heute schon des Öfteren üblich, Ermäßigungen bei der Niederschlagswassergebühr eingeräumt werden. Dadurch wäre auch im Szenario BS die Regenwassernutzung wirtschaftlich möglich. Im Szenario FH wird auch mit diesem Privileg die Wirtschaftlichkeit noch deutlich verfehlt. Hier könnte ein zusätzlicher Vorteil darin bestehen, dass in erhöhtem Umfang Gärten und andere Grünflächen bereitstehen, die nicht nur zur Versickerung von Wasser verwendet werden können, sondern sich durch ihre positive mikroklimatische und Umweltwirkung vorteilhaft auf die Lebensqualität der Menschen auch in anderen Szenariobereichen auswirken können. Diese Wirkungen wurden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht beziffert und treten daher auch in Abbildung 19 nicht in Erscheinung. Insofern grundstücksübergreifende bzw. quartiersübergreifende Lösungen angegangen werden sollen, sind zusätzliche Aspekte (Leitungsführung im öffentlichen Bereich, etc.) zu berücksichtigen bzw. Hemmnisse zu überwinden.

Eine weitere bisher noch nicht beschriebene, aber durchaus gängige Anwendung sind semizentrale Speicher, die als hybride Speicher bspw. auch der Bevorratung von Löschwasser dienen und so die kommunalen Trinkwassernetze entlasten können.

Grundsätzlich kann die Versorgung mit Betriebswasser durchaus großskalig angegangen werden. So wird bspw. in Paris neben dem Trinkwassernetz ein weitverzweigtes „Nicht-Trinkwasser-Netz“ zur Versorgung städtischer Bedarfe, wie Bewässerung, betrieben⁸. Weitere Anwendungsmöglichkeiten, bspw. die Versorgung von Quartieren mit Betriebswasser, sind in Paris angedacht. In Frankfurt wird ebenfalls ein Betriebswassernetz betrieben, über das bspw. der Frankfurter Flughafen mit aufbereitetem Mainwasser versorgt wird (vgl. Schramm et al. 2022).

⁸ Water for urban uses | Paris water | <https://www.eaudeparis.fr/en/water-for-urban-use>

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Sauberes Wasser ist eine unabdingbare Ressource für die Menschheit und elementarer Bestandteil einer intakten Umwelt. Zugleich ist die Verfügbarkeit von Wasser ein wichtiger Standortfaktor, der die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen entscheidend beeinflusst. Infolge des Klimawandels kommt es regional unterschiedlich, wobei alle Regionen betroffen sein können, zu Veränderungen von Temperatur- und Niederschlagsregimen. Damit steht die Wasserwirtschaft vor großen Herausforderungen.

Die Nationale Wasserstrategie⁹ nennt die „öffentliche Wasserversorgung mit ihrem zentralen Stellenwert für die Gewährleistung der wasserwirtschaftlichen Daseinsvorsorge zur vorrangigen Sicherung der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser“ und ergänzt: „Alternative Wasserressourcen - z.B. Betriebs- und Regenwassernutzung, aufbereitetes kommunales Abwasser – werden zur Schonung knapper Süßwasserressourcen unter Berücksichtigung von Gesundheits- und Umweltschutzaspekten in regionale Wassernutzungskonzepte einbezogen.“

Die Befragung in diesem Projekt deutet darauf hin, dass bei der Motivation der Nutzer*innen ökologische gegenüber wirtschaftlichen Beweggründen überwiegen. Dennoch ist für eine Durchdringung des Marktes und eine strukturelle Integration der Regenwassernutzung, neben der ökologischen auch die ökonomische Vorteilhaftigkeit ein wichtiger Punkt. Beides ist stark von den Randbedingungen abhängig. Hier spielen bspw. Bebauungsdichte, klimatische Bedingungen, Zisternengröße, Art der Nutzung, Wassergebühren, Skalierung oder Baukosten eine Rolle. Die konkrete Bewertung kann eigentlich nur im Einzelfall erfolgen, bzw. können im Einzelfall die Bedingungen so angepasst werden, dass möglichst viele Vorteile auch zum Tragen kommen.

Das Thema Hygiene wird im Kontext Betriebs- und Regenwassernutzung kontrovers diskutiert. Gründe für Besorgnis sind mögliche unsachgemäße Installationen (unzulässige Verbindung mit dem Trinkwassernetz) sowie eine Verlängerung von Stagnationszeiten im Trinkwassernetz aufgrund des reduzierten Trinkwasserbedarfs. Ausgehend davon, dass neue Regenwassernutzungsanlagen hinsichtlich der Installation und des Betriebs den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, umso mehr, wenn sie von kommunaler Seite strategisch vorgesehen werden, ist das Risiko von Fehlschlüssen für das öffentliche Wasserversorgungsnetz gering. Die Stagnation in Trinkwassernetzen ist ein Thema, mit dem sich die Wasserversorger, zumal vor dem Hintergrund wärmer werdender Leitungen, auch ohne Wassereffizienz-Maßnahmen wie der Betriebswassernutzung auseinandersetzen müssen. Ohnehin notwendige Spülungen im Trinkwassernetz führen zu einem erhöhten Trinkwasserverbrauch. Hier können Betriebswasserspeicher systemisch zu einer Abminderung des Wasserbrauchs beitragen, indem das Spülwasser aufgefangen und für niederwertige Nutzungen verwendet wird.

► *Abnahme und Anzeige von Regenwassernutzungsanlagen in Gebäuden*

Wichtig bei allen Arten der Wasserversorgung in Gebäuden ist die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik, ein sachgemäßer Betrieb und grundsätzlich das Bewusstsein bei Betreibern, dass es sich um technische Anlagen handelt, die entsprechender Aufmerksamkeit bedürfen. Hier könnte die Anmeldung beim Gesundheitsamt durch den Installationsbetrieb sowie eine Abnahme der Anlage durch das Gesundheitsamt eine größere Verbindlichkeit schaffen.

⁹ Nationale Wasserstrategie: Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023

► *Großskalige Anlagen und weitere Wasserressourcen*

Während kleine Einzelanlagen Idealismus und eine intrinsische Motivation des Betreibers/der Betreiberin erfordern, können größerskalige Anlagen die grundsätzlichen Vorteile der Regenwassernutzung besser ausspielen. Skaleneffekte, größere Retentionsvolumina ggf. auch auf Quartiersebene, die Verbindung mit blau-grünen Infrastrukturen, Stadtklimatisierung sind einige der hier zu nennenden Punkte. Wichtige Akteure sind Kommunen mit öffentlichen Gebäuden wie bspw. Schulen, Wohnungsbaugesellschaften, Gewerbebetriebe oder -gebiete. So betreibt bspw. Alnatura in Darmstadt seit 2018 eine 1000 m³-große Regenwassernutzungsanlage. Davon sind 200 m³ als permanente Löschwasserbevorratung festgelegt. Das restliche Wasser steht für die Toilettenspülung im Gebäude, die Bewässerung eines Urban-Farming-Areals und für die Nachspeisung eines Teiches zur Verfügung. Er wird über eine automatische Steuerung bei Bedarf mit Trinkwasser nachbefüllt¹⁰. Im großen Maßstab betreibt die Stadt Paris ein Betriebswassernetz, das sie unter anderem mit Blick auf Nachhaltigkeit und Resilienz bewirbt¹¹.

Gerade bei längeren Trockenzeiten stößt eine ausreichende Speicherung von Regenwasser an ihre Grenzen. Als komplementäre Quelle käme bspw. die Aufbereitung von Grauwasser als Teil des häuslichen Abwassers in Betracht.

► *Förderung privater Investitionen vor dem Hintergrund des systemischen Mehrwerts*

Betriebs- und Regenwassernutzung kann als ein wichtiger Baustein eines integrierten Wassermanagements betrachtet werden, der zur Schonung von Süßwasserressourcen beiträgt. Sie kann einen Beitrag zur Entlastung von Kanalisationen und der Förderung von Stadtgrün leisten und insgesamt zu einer resilienteren städtischen Infrastruktur und einem besseren Mikroklima beitragen. Entsprechend sollten die ökonomischen Rahmenbedingungen bspw. im Rahmen der Ausgestaltung der Niederschlagswassergebühr so gestaltet werden, dass die Umsetzung von Maßnahmen unterstützt wird. Die beschriebenen, nicht direkt monetär bewertbaren Effekte kommen nicht nur den Investor*innen zugute. Sie können bei richtiger Ausgestaltung einen Mehrwert für das Gesamtsystem bilden. In diesem Sinne werden bspw. im Rahmen des Emscherumbaus schon seit geraumer Zeit Projekte zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung unterstützt und auch finanziell gefördert¹².

► *Regulatorischer Rahmen und Regelwerk*

Vorgaben von Kommunen können strategische Ziele vorantreiben. Zum Beispiel in kommunalen Satzungen die eine Begrenzung der Regenwasserableitungen von Grundstücken oder aus Quartieren vorsieht. Die Länder können ihre Kommunen bspw. durch Mustersatzungen unterstützen. So hat das Land Hessen aktuell eine Muster-Zisternensatzung¹³ veröffentlicht. Die Umsetzung des naturnahen Wasserhaushalts in Städten ist an verschiedenen Stellen im Regelwerk verankert.

¹⁰ Mündliche Mitteilung Stefan Brückmann, Henning Larsen GmbH 21.05.2025 | Weitere Informationen ARIS GmbH <https://aris-systeme.de/>

¹¹ <https://www.eaudeparis.fr/en/water-for-urban-use>

¹² <https://www.klima-werk.de/>

¹³ <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2023-08/muster-zisternensatzung.pdf>

► *Kommunikation und Einbindung wichtiger Akteure*

Kommunen und Länder können sich strategisch mit dem Thema auseinandersetzen und die Umsetzung vorbereiten. So hat bspw. die Stadt Reutlingen vor einiger Zeit einen Regenwasser-Leitfaden¹⁴ herausgebracht.

Häufig besteht noch ein Informationsdefizit bei relevanten Akteuren, wie bspw. Wohnungsbauunternehmen oder Gewerbebetrieben. Hier können Kommunen durch gezielte Information oder Vorgaben unterstützen. Gerade wenn Eigentümer stärker in die Pflicht genommen werden, das Regenwasser auf dem Grundstück zu halten aber auch Eigenvorsorge vor Überflutungsereignissen zu treffen, sind Information und Kommunikation wichtige Säulen. In Hamburg wurde bspw. im Rahmen des Projektes zur RegenInfraStrukturAnpassung (RISA) unter Beteiligung vieler städtischer Akteur*innen ein Konzept zum zukunftsfähigen Regenwassermanagement ausgearbeitet¹⁵. In Berlin wurde die Regenwasseragentur gegründet, um „für Regenwasser zu begeistern“¹⁶

Gerade weil die Umsetzung im Bestand mit deutlich mehr Aufwand verbunden ist, sollte mindestens bei allen Neuerschließungen das Thema Wasser konsequent in Richtung eines für das geplante Areal naturnahen Wasserhaushalts konzeptioniert werden. Das schließt Betriebs- und Regenwassernutzung genauso wie die daran angepasste Dimensionierung der Leitungssysteme ein. So können auch zu Beginn die kritischen Fragen der Schnittstellen zwischen privater und öffentlicher Zuständigkeit und die Zuordnung der Flächen auch im Sinne der Multifunktionalität der Flächen gelöst werden.

Im Bestand ist die Umsetzung eines angepassten Wassermanagements schwieriger, gleichwohl aber für die Gesamtstadt aufgrund der Fläche und der damit verbundenen hohen Relevanz der Bestandsgebiete umso notwendiger. Hier bieten Sanierungsnotwendigkeiten mögliche Gelegenheitsfenster, um die Veränderungen im Wassermanagement schrittweise anzugehen.

Die Wasserinfrastruktur ist ein komplexes und in der aktuellen Form relativ starres System. Anpassung an die sich stark ändernden Randbedingungen erfordern spezifische Lösungen. Regenwassernutzung, vielmehr noch angepasste Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung, bieten hier gute Möglichkeiten. Maßnahmen und Instrumente müssen dabei immer die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigen.

Die vorliegende Studie ist auf die Betrachtung der Regenwassernutzung beschränkt. Gleichwohl sind aus Sicht der Autor*innen die vielen anderen Bausteine eines nachhaltigen Siedlungswassermanagements genauso von Bedeutung. Erst in einer möglichst gut angepassten Kombination von Rückhalt, Speicherung, Nutzung, Gebäude- und Stadtgrün, Versickerung, Verdunstung oder der Erschließung weiterer Wasserressourcen wie bspw. Grauwasser können die Möglichkeiten und Chancen eines angepassten Umgangs mit Wasser für mehr Lebensqualität und eine Steigerung der Robustheit gehoben werden.

¹⁴ <https://www.ser-reutlingen.de/Leitfaden-Regenwasser>

¹⁵ <https://www.risa-hamburg.de/hintergruende>

¹⁶ <https://regenwasseragentur.berlin/agentur/>

9 Quellenverzeichnis

- Abbasi, T., Abbasi, S. A. (2011): Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 41(23), 2097-2167
- Ahmed, W. et al. (2010): Health Risk from the Use of Roof-Harvested Rainwater in Southeast Queensland, Australia, as Potable or Nonpotable Water, Determined Using Quantitative Microbial Risk Assessment. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(22), 7382-7391.
- Arlt, G.; Blum, A.; Gruhler, K.; Lehmann, I. (2010a): Siedlungsraum-bezogene Strukturtypen. In: Blum, A.; Gruhler, K. (Hrsg.): *Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Shaker Verlag, Aachen, S. 27-37.
- Arlt, G.; Hennerdsdorf, J.; Lehmann, I. (2010b): Städtebauliche Strukturtypen zur Bestimmung von Bodenversiegelung und Grünausstattung in den kreisfreien Städten Deutschlands und deren Stadtregionen. In: Blum, A.; Gruhler, K. (Hrsg.): *Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Shaker Verlag, Aachen, S. 41-60.
- Aziz, S. et al. (2023): Investigation of Rainwater Quality in Erbil Province and the Feasibility of Various Uses. *Environmental Protection Research*, 3(3), 1-23
- Bäcker, C. 2020: *Kemper Kompetenzbroschüre: Bemessung von Trinkwasserinstallationen nach DIN 1988-300*
- Becker, Büttner, Held (bbh) (2025): Ermittlung des Investitions- und Finanzierungsbedarfs für den zweiten Lebenszyklus der Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsnetze und -anlagen in den nächsten 10 bzw. 20 Jahren.
- BKI 2023: *BKI Baukosten 2023 Neubau, Teil 3: Statistische Kostenkennwerte für Positionen*, BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.); Stuttgart 2023
- Blum, A.; Gruhler, K. (Hrsg.) (2010): *Typologien der gebauten Umwelt - Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Shaker Verlag, Aachen. BMV, 2009: *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Verwaltungsgebäude*; https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebäude/neubau/v_2009_4/BNB_trinkwasserbedarf_und_abwasseraufkommen_1.2.3.pdf
- Bölter, C. (2004): *Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich - Eine technische und wirtschaftliche Analyse dargestellt am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrum Dresden (Diplomarbeit)*. Professur für Betriebswirtschaftslehre, Betriebliche Umweltökonomie, Dresden.
- Celik, I. et al. (2016): Management of rainwater harvesting and its impact on the health of people in the Middle East: case study from Yatta town, Palestine. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(6), 271
- Dao, D.A. et al. (2021): Assessment of rainwater harvesting and maintenance practice for better drinking water quality in rural areas. *Journal of Water Supply Research and Technology—AQUA* 70(12)
- DeStatis (2023): *Entgelt für die Trinkwasserversorgung in Tarifgebieten nach Tariftypen 2020 bis 2022*. Wiesbaden 2023
- Domènech, L. et al. (2012): Rainwater Harvesting for Human Consumption and Livelihood Improvement in Rural Nepal: Benefits and Risks, *Water and Environment Journal* 26(4)
- DVGW (2025): *Regenwassernutzungsanlagen*, DVGW-Kompaktinfo für Trinkwasser, Juli 2025, URL: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/twin-regenwassernutzungsanlagen.pdf>
- fbr (Hrsg.) (2004): *Regenwassernutzung im häuslichen Bereich - kein Gesundheitsrisiko!*
- Fewtrell, L., Kay, D. (2007): Quantitative Microbial Risk Assessment with Respect to *Campylobacter* spp. in Toilets Flushed with Harvested Rainwater. *Water and Environment Journal*, 21(4), 275-280.

- Hamilton, K. et al. (2018): A Global Review of the Microbiological Quality and Potential Health Risks Associated with Roof-Harvested Rainwater Tanks, npj Clean Water 2, 7.
- Hecht, R. (2014): Automatische Klassifizierung von Gebäudegrundrissen. Ein Beitrag zur kleinräumigen Beschreibung der Siedlungsstruktur. Berlin = IÖR-Schriften, Bd. 63.
- Hillenbrand, T.; Hiessl, H.; Niederste-Hollenberg, J.; Menger-Krug, E.; Lüninck, B.; Schulwitz, M.; Dittrich-Wesbuer, A.; Schäfer, D.; Stichmann, R.; Lange, M.; Koll-Sarfeld, C. (2016): Finanzierbare Zukunftsoptionen für die kommunale Wasserinfrastruktur in NRW; Endbericht. gefördert durch die Stiftung Zukunft NRW
- Holländer, R. et al. (1996): Mikrobiologisch-hygienische Aspekte bei der Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser für Toilettenspülung, Gartenbewässerung und Wäschewaschen. Gesundheitswesen, 58, 288-293
- Hillenbrand, T.; Bieker, S.; Dockhorn, T.; Felmeden, J.; Kaufmann-Alves, I.; Langergraber, G.; Lautenschläger, S.; Maurer, M.; Neuhausen, S.; Steinmetz, H. (201): Nachhaltigkeitsbewertung von Wasserinfrastruktursystemen; Korrespondenz Abwasser, Abfall 2018 (65) Nr. 5; www.dwa.de/KA
- International Energy Agency (IEA) (2024): World Energy Outlook, Executive Summary 2024. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024/executive-summary> (18.05.2025)
- Jolliet O. Brugger-Bronchi, V., Crettaz P. Lopes, P.-M. 2002: Ökobilanz von Trinkwasserversorgung und Regenwassernutzung, Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes (GECOS), Groupe Analyse du cycle de vie et Développement Durable; Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
- König, K.W. (2017): Auszug aus: Ökologie aktuell Regenwassernutzung von A - Z, Teil 2: Planung einer modernen Regenwassernutzungsanlage - Ein Handbuch für Planer, Handwerker und Bauherren, Hrsg.: Mall GmbH, DS-Pföhren
- Kusumawardhana, A. et al. (2021): Microbiological Health Risk Assessment of Water Conservation Strategies: A Case Study in Amsterdam. International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH), 18(5), 2595
- Lee, M. et al. (2017): Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. Journal of Environmental Management, 200, 400-406
- Leuta, Q.A. et al. (2020): Identification and Enumeration of Microbial Organisms in Grey Water in the Khayelitsha Informal Settlement, Western Cape, South Africa. Water Science and Technology Water Supply, 20(10)
- LÜCKE, F.-K. (2001): Risikobewertung der Regenwassernutzung aus Betriebswasseranlagen (Risk assessment of the use of rainwater from catchment systems). In: Regenwassernutzung und -bewirtschaftung im internationalen Kontext (Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Hrsg.), S. 269-276. Schriftenreihe fbr Nr. 8; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung, Havelstr. 7A, D-64295 Darmstadt
- Lye, D. (2009): Rooftop Runoff as a Source of Contamination: A review, Science of The Total Environment, 407(21), 5429-5434
- Matzinger, A. et al. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin 2017. http://kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente/Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf (18.05.2025)
- Melidis, P. et al. (2007): Characterization of Rain and Roof Drainage Water Quality in Xanthi, Greece. Environmental Monitoring and Assessment, 127(1-3), 15-27

- Nolde, E. (2000): Grey Water Reuse Systems for Toilet Flushing in Multi-Storey Buildings – over Ten Years Experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275-284
- Nolde, E. (2005): Greywater recycling systems in Germany - Results, experiences and guidelines. *Water Science and Technology* 51(10), 203-210
- Nolde, E. (2007): Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces, *Desalination*, 215 (1–3), 1-11
- Ottosson, J. (2003): Hygiene Aspects of Greywater and Greywater Reuse.
- Prakesch, S. (2025): Autowaschanlagen als Beispiel für Gewerbe mit hohem Regenwasserbedarf. Persönliche Mitteilung. ARIS GmbH
- R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rapp T., Rickert, B.; Schmidt I.; Schmoll, O.; Zügner, V. (2020): Das Water Safety Plan (WSP)-Konzept für Gebäude - Ein Handbuch für die Anwendung in Trinkwasser-Installationen. Hrsg. Umweltbundesamt (UBA) ISSN 2363-832X; www.umweltbundesamt.de/publikationen
- RKI (2015): Legionärskrankheit in Deutschland (2001-2013). *Epidemiologisches Bulletin*, März 2015 (13): 95-106
- RKI (2022): Infektionsquellensuche bei ambulant erworbenen Fällen von Legionärskrankheit (Teil 2). *Epidemiologisches Bulletin*, Juli 2022 (28): 3-17
- RKI (2025). *Epidemiologisches Bulletin* 2/2025
- Santer, D. (2021): Arbeit auf knappen Flächen, Bauwelt
- Sartorius, C.; Hillenbrand, J. Niederste-Hollenberg (2019): Multikriterielle Bewertung von Wasserinfrastrukturen im Kontext der SDGs. In: W. Leal Filho (eds), *Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele*, pp 271-289, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg; Print ISBN 978-3-662-58716-4; Online ISBN 978-3-662-58717-1; https://doi.org/10.1007/978-3-662-58717-1_16
- Sartorius, C., Lévai, P., Niederste-Hollenberg, J., Nyga, I., Sorge, C., Hillenbrand, T. 2018: Comparative multi-criteria performance assessment of alternative water in-frastructure systems; *Water Science & Technology: Water Supply* | 18.6 | 2018. IWA Publishing 2018
- Schets, F.M., et al. (2010): Rainwater Harvesting: Quality Assessment and Utilization in The Netherlands. *J Water Health*. 8(2):224-35.
- Schmidt, M. (2017): Kühlen mit Regenwasser. Adiabate Abluftkühlung: Energieeffizient und kostengünstig. GEB (Gebäudeenergieberater) 04-2019, S. 28-30.
- Schmoll, O.; Bethmann, D.; Sturm, S.; Schnabel, B. (2018): Das Water-Safety-Plan-Konzept: Ein Handbuch für kleine Wasserversorgungen, 3. Auflage, Hrsg. Umweltbundesamt (UBA), <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/das-water-safety-plan-konzept-fuer-kleine>
- Schramm, E.; Winker, M.; Rohrbach, M.; Zimmermann, M.; Remy, Ch. (2022): Abschätzung theoretischer Trinkwassersubstitutionspotenziale in Frankfurt am Main. Optionen der Betriebswassernutzung und deren ökonomische und ökologische Auswirkungen im Betrachtungszeitraum bis 2050. Unter Mitarbeit von Christoph Meyer. ISOE-Studientexte, 26. Frankfurt am Main: ISOE – Institut für sozial-ökonomische Forschung
- Siedentop, S.; Schiller, G.; Koziol, M. et al. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten - Bilanzierung und Strategieentwicklung. BBR-Online-Publikation 03/06, Hrsg.: BBR, Mai 2006; http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2002_2006/DL_ON032006.pdf;jsessionid=DFF1A0C1EF3E9335E875636697B8D0C0.live2052?__blob=publicationFile&v=3 (21.12.2015).

Sieker (o. J.): Rain Water Retention Basin. Technical Information.

<https://www.sieker.de/en/fachinformationen/article/regenrueckhaltebecken-6.html> (20.05.2025).

Sojka, S. et al. (2023): Evaluating Potable Rainwater Harvesting System Design and Regulations. In: Alternative Water Sources for Producing Potable Water

Sorge, C. (2015): Neue und bekannte Strategien zur Anpassung der Wasserverteilung an sich ändernde Trinkwassergebräuche. In: Zukunftsfähigkeit und Sicherheit der Wasserversorgung - Ressourcen, Tarife, Neue Technologien, 29. Trinkwasserkolloquium 26. Februar 2015 - Stuttgarter Berichte, Band 223; Herausgeber: Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e. V. Stuttgart.

Späth, L. (1999): Ökologische Aspekte der Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser im Haushalt (Diplomarbeit). Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe.

Strunck, M. und Giernat, S. (2011): Gesundheitsberichterstattung des Gesundheitsamtes im Main-Kinzig-Kreis, Band 7

Taylor, J.A. et al. (2020): Legionella species: A potential problem associated with rain water harvesting systems?. Indoor and Built Environment 30(6)

Umweltbundesamt (2024): Tipps für eine nachhaltige Regenwassernutzung.

<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/regenwassernutzung#gewusst-wie>, Zugriff: 24.04.2024

Vargas-Parra M. V., Rovira-Val m.-R., Gabarrell X., Villalba, G. 2019: Rainwater harvesting systems reduce detergent use; The International Journal of Life Cycle Assessment (2019) 24:809–823

<https://doi.org/10.1007/s11367-018-1535-8>; Springer Verlag GmbH

Vialle, C. et al. (2010): Evaluation of a household rooftop rainwater harvesting system in France : qualitative and quantitative monitoring of water used for authorised applications - First results. 7. Conférence Internationale sur les Techniques et Stratégies Durables pour la Gestion des Eaux Urbaines par Temps de Pluie - NOVATECH, Lyon, France.

WHO (2023): Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition. Geneva: World Health Organization; 2023. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Winward, G.P. (2009): Pathogens in Urban Wastewaters Suitable for Reuse. Urban Water Journal, 4, 291-301