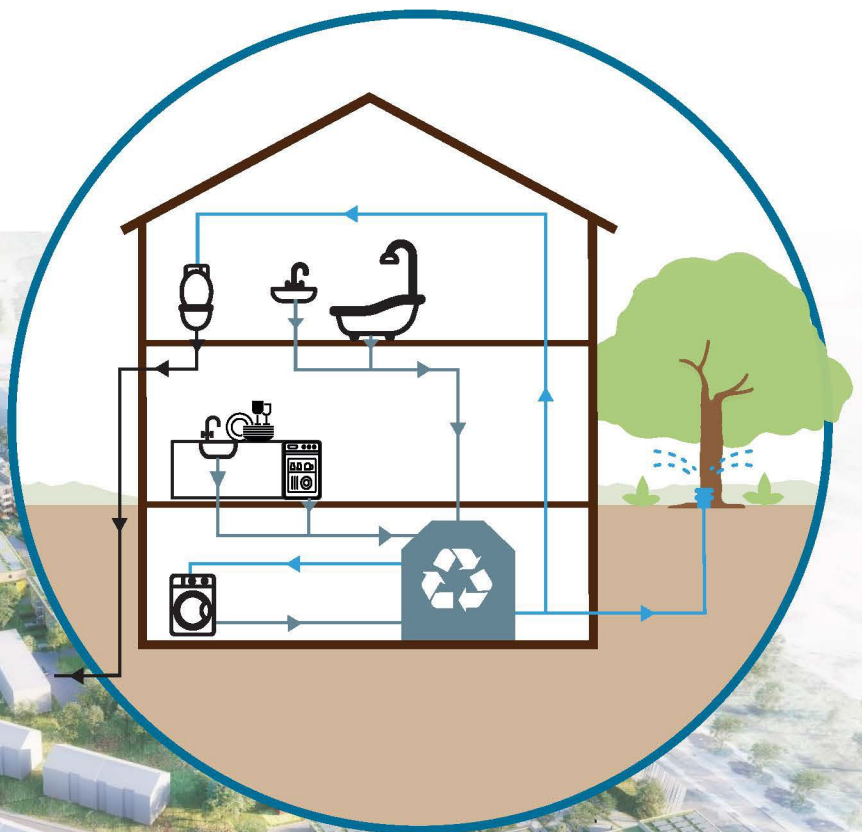


WASSERWENDE IM WOHNUNGSBAU

Praktischer Leitfaden zur
Grauwassernutzung



IMPRESSUM

Herausgeber

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b. is)
Professur Siedlungswasserwirtschaft und Technologien urbaner Stoffstromnutzungen
Wielandstraße 2, 99423 Weimar

Projektpartner



Autoren

Gloria Kohlhepp¹, Stephanie Schneider-Werres¹, Gerald Müller², Kai Spurling², Felix Kaller³, Yousuf Al-Hakim⁴, Kersten Roselt⁵, Johannes Schubert⁵, Kay Smarsly⁴, Claudia Klümper³, Silvio Beier¹

- 1 Bauhaus-Universität Weimar
Wielandstraße 2, 99423 Weimar
- 2 HVG Grünflächenmanagement GmbH – Ein Unternehmen von VIVAWEST,
Bergmannsglückstrasse 35, 45896 Gelsenkirchen
- 3 Hochschule Hamm-Lippstadt
Marker Allee 76-78, 59063 Hamm
- 4 TU Hamburg, Institute für Digitales und Autonomes Bauen
Blohmstraße 15, 21079 Hamburg
- 5 JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH
Saalbahnhofstraße 25 c, 07743 Jena

Förderhinweis und Danksagung

Die Erstellung des Leitfadens zur Grauwassernutzung erfolgte im Rahmen des Projektes „Innovative und wissensbasierte Quartiersentwicklung für ein energie- und ressourceneffizientes Wohnen – Innowater“. Das Vorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Besonderer Dank gilt dem Mittelgeber und den assoziierten Projektpartnern VIVAWEST und EGLV.

Bildnachweis

Titelgestaltung und Titelbild Grauwasser-Recycling: Anna Pfannstiel¹
Titel- und Schlussbild Untersuchungsgebiet in Dortmund Huckarde: Gregor Polaczek, Planung VIVAWEST, HVG²

Genderhinweis

Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers verzichtet.

VORWORT

Liebe Bauherren und Planer,

angesichts der sich verschärfenden klimatischen Herausforderungen wird eine nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen zunehmend bedeutsamer. In urbanen Wohngebieten bietet die Wiederverwendung von Grauwasser erhebliche Chancen, Wasser effizienter zu nutzen und den ökologischen Fußabdruck zu minimieren. Das Grauwasser aus Aktivitäten wie Duschen, der Nutzung von Waschmaschinen und Waschbecken kann nach Aufbereitung für verschiedene Zwecke wiederverwendet werden.

Dieser Leitfaden richtet sich an Sie, die Bauherren und Planer, die sich für die Thematik der Grauwasserwiederverwendung interessieren. Er bietet Ihnen umfassende Einblicke in die Möglichkeiten und Vorteile der Grauwassernutzung. Er eröffnet eine praktische Anleitung zur Umsetzung in Ihren Projekten. Die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser für die Bewässerung von städtischen Grünflächen ist ein exemplarisches Beispiel für eine nachhaltige Anwendung, die zur Schonung der Wasserressourcen beiträgt und die Lebensqualität in urbanen Gebieten verbessert.

Neben der Bewässerung kann Grauwasser auch zur Toilettenspülung genutzt werden, was den Verbrauch von Frischwasser erheblich senkt – ein wichtiger Schritt, da Toilettenspülungen einen bedeutenden Anteil des häuslichen Wasserverbrauchs ausmachen. Diese Maßnahmen bieten nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch wirtschaftliche Anreize, da sie zur Senkung der Verbrauchskosten für die Bewohner beitragen können und eine nachhaltige Entwicklung der städtischen Infrastruktur unterstützen.

Trotz der vielen Vorteile und des großen Potenzials, das die Grauwassernutzung bietet, sind praktische Umsetzungsbeispiele noch rar. Das Forschungsprojekt INNOWATER, gefördert mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, hat sich intensiv mit der Entwicklung von Konzepten zur Grauwassernutzung in Wohngebieten befasst. Auf Basis umfangreicher Analysen und Erfahrungen bietet Ihnen dieser Leitfaden wertvolle Erkenntnisse und praxisnahe Empfehlungen.

Zu Beginn des Leitfadens erhalten Sie eine detaillierte Übersicht über die Menge und Qualität von Grauwasser in Deutschland, die als Grundlage für Ihre Planung dient. Im weiteren Verlauf werden die rechtlichen Rahmenbedingungen beleuchtet, die für die Implementierung von Grauwassernutzungssystemen wichtig sind. Sie erhalten einen Überblick über relevante Gesetze und Vorschriften, die eine Hilfestellung geben, wenn Sie sicherstellen, dass Ihr Projekt den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Zusätzlich wird das Monitoring der Grauwasserqualität beleuchtet. Praktische Hinweise zur effektiven Bewässerung mit Grauwasser sind ebenfalls enthalten. Moderne Technologien wie sensorbasierter KI-Systeme zeigen auf, wie diese Technologien die Effizienz und Steuerung einer Grauwassernutzungsanlagen verbessern können.

Eine Bewertungsmatrix hilft, die Potenziale der Grauwassernutzung für Ihr Bauprojekt nachvollziehbar zu evaluieren, indem sie ökonomische, ökologische und technische Aspekte berücksichtigt. Abschließend finden Sie Informationen zu Förderdatenbanken, die Ihnen bei der Suche nach finanzieller Unterstützung für Ihre Projekte behilflich sein können.

An dieser Stelle darf ich meinen herzlichen Dank an alle Projektpartner aussprechen, deren Engagement und Expertise maßgeblich zur Erstellung dieses Leitfadens beigetragen haben. Wir hoffen, dass dieser Leitfaden wertvolle Unterstützung bei der Planung und Umsetzung Ihrer Bauprojekte bietet und dazu beiträgt, die Ressource Wasser nachhaltig zu nutzen.

Prof. Dr.-Ing. Silvio Beier

Professur Siedlungswasserwirtschaft und Technologien urbaner Stoffstromnutzungen der Bauhaus-Universität Weimar

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM.....	1
VORWORT.....	2
1. GRAUWASSERZUSAMMENSETZUNG UND MENGEN	1
1.1 Definition und Zusammensetzung Grauwasser.....	1
1.2 Charakterisierung von Grauwasser	1
1.3 Grauwasseranfall.....	5
2. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	8
2.1 Nutzungsmöglichkeiten	8
2.2 Übersicht der rechtlichen Lage.....	8
2.3 Gesetze und Verordnungen.....	10
2.4 Empfehlungen durch Normen, sowie Merk- und Hinweisblätter	12
2.5 Zusammenfassung der Aufbereitungsanforderungen	18
2.6 Anmeldung / Genehmigung einer Grauwassernutzung.....	20
3. PLANUNG UND DESIGN	21
3.1 Vorgehensweise und Implementierung einer Grauwassernutzung.....	21
3.2 Sammlung des Grauwassers.....	21
3.3 Aufbereitungsmöglichkeiten	22
3.4 Speicherung und Verteilung	26
4. MONITORING.....	28
4.1 Normative Verweise	28
4.2 Wichtige Aspekte in der Planungsphase	29
4.3 Parameter und Beprobungshäufigkeit für das Monitoring behandeltem Grauwasser für Bewässerungszwecke	30
4.4 Grundsätzliche Aspekte für die Durchführung der Probenahme.....	31
4.5 Spezifische Anforderungen an ein Monitoring nach Schutzgut	32
5. BEWÄSSERUNGSREGIME.....	34
5.1 Bewässerungssysteme.....	34
5.2 Effektive Nutzung von Grau- und Niederschlagswasser im Quartiersbereich	35
5.3 Sensorbasiertes KI-System	37

6.	BEWERTUNG DES POTENZIALS ZUR GRAUWASSERNUTZUNG IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG MIT ABLEITUNG EINER BEWERTUNGSMATRIX.....	41
6.1	Erstellen des Kriterienkatalogs auf Basis festgelegter Kriterien.....	41
6.2	Beiblätter zum Kriterienkatalog	48
6.3	Bewertungsmatrix für Bauherren.....	53
7.	FÖRDERDATENBANKEN	55
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
	TABELLENVERZEICHNIS	6
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
	LITERATURVERZEICHNIS.....	8
	ANHANG	1
A)	Probenahmefrequenzen.....	1
B)	Kriterienkatalog zur Potenzialabschätzung einer Grauwasserwiederverwendung	3
C)	Beiblätter zum Kriterienkatalog	9

1. GRAUWASSERZUSAMMENSETZUNG UND MENGEN

1.1 Definition und Zusammensetzung Grauwasser

Der Stoffstrom Grauwasser ist als häusliches Abwasser ohne die Teilströme der Toiletten und Urinale, also als fäkalienfreies häusliches Abwasser, definiert (vgl. DWA-A 272, 2014 und DWA-M 277, 2017).

Der Grauwasserteilstrom kann zudem in schwach oder stark belastetes Grauwasser unterteilt werden. Zu den Quellen von schwach belasteten Grauwasser gehören Duschen, Badewannen und Handwaschbecken. Die stark belasteten Grauwasserströme resultieren aus der Küchenspüle, sowie den Wasch- und Spülmaschinen (vgl. DIN EN 16941-2, 2021).



Abbildung 1: Unterteilung in schwach und stark belastetes Grauwasser (Kohlhepp, 2023 nach Sievers 2018)

Die Menge und Zusammensetzung von Grauwasser variieren je nach Wassernutzung, den Gewohnheiten der Verbraucher und der Qualität des Trinkwassers (Sievers, 2018). Überschlägig betrachtet macht das Grauwasser 50 bis 80 % des gesamten häuslichen Abwassers aus (Bautista Quispe et al., 2022). Im Vergleich zu den anderen häuslichen Abwasserteilströmen weist Grauwasser zudem eine geringe Schadstoffkonzentration auf (Shi et al., 2018). Da es kein Wasser aus Toiletten und Urinalen umfasst, sind weniger organische Stoffe und Krankheitserreger zu finden (Bautista Quispe et al., 2022). Zudem enthält Grauwasser weniger Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff (vgl. DWA-M 277, 2017; Itzhari und Ronen, 2023; und Ziemba et al., 2018).

Aufgrund der hohen Wassermenge und der geringen Belastung mit Schadstoffen ist Grauwasser also für eine Wasserwiederverwendung prädestiniert.

1.2 Charakterisierung von Grauwasser

Eine Vielzahl von Parameter sind für die Charakterisierung von Grauwasser im Hinblick auf eine Wiederverwendung von großer Bedeutung, da sie Informationen über die Qualität und potenzielle Risiken liefern. Die Betrachtung dieser Parameter ermöglicht eine fundierte Entscheidung darüber, wie Grauwasser wiederverwendet werden kann.

1.2.1 Physikalische Parameter

Menge/Durchfluss: Die Menge des anfallenden Grauwassers ist für die Planung einer Grauwasserwiederverwendung ein wichtiger Bestandteil. Hierzu zählt z. B. die Planung von

Speichervorrichtungen (Fassungsvermögen). Darüber hinaus ist es ein Entscheidungskriterium bei der Wahl eines geeigneten Aufbereitungsverfahrens.

Temperatur: Die Temperatur des Grauwassers spielt eine entscheidende Rolle bei der möglichen Wärmerückgewinnung aus Grauwasser (Nolde, 2021). Zudem ist sie von Bedeutung für die biologische Abwassereinigung. Sie beeinflusst die Aktivität von Organismen und mikrobielle Stoffwechselprozesse, die für biologische Abbauprozesse erforderlich sind (b.is, 2017). Eine ideale Wassertemperatur von 20°C wird für die meisten biologischen Reaktionen empfohlen (Ghaly et al., 2021).

Trübung: Der Parameter der Trübung wird in Nephelometric Turbidity Unit (NTU) angegeben. Gemessen wird hierbei die Streuung des Lichts, welche sowohl durch organische als auch anorganische suspendierte Partikel verursacht werden (Roeske, 2019). Der Messwert gibt eine erste Einschätzung über den Grad der Verschmutzung. Eine hohe Trübung wirkt sich beispielsweise negativ auf die Ästhetik des Wassers bei der Wiederverwendung aus (Ghaly et al., 2021). Zudem beeinflusst Sie die Aufbereitung maßgeblich, wenn zur Hygienisierung UV-Strahlung eingesetzt wird (Roeske, 2019).

Feststoffe: Feststoffe im Grauwasser können verschiedene Quellen haben, wie z. B. Lebensmittel-, Öl- und Schmutzpartikel aus Küchenspülen, Haare aus dem Bad und Kleidungsfasern aus der Wäsche. Ein hoher Feststoffgehalt im Grauwasser beeinträchtigt die Klarheit des Wassers und kann dazu führen, dass sich das Wasser schneller erwärmt, was negative Auswirkungen auf die Umgebung entfalten kann, wenn das Wasser zur Bewässerung verwendet wird. Zudem verringert ein hoher Feststoffgehalt die Reinigungsleistung von Aufbereitungsanlagen. Höhere Konzentrationen von Schwebestoffen können als Träger von toxischen Substanzen dienen, die sich leicht an Schwebeteilchen anlagern, und Bewässerungsanlagen verstopfen (Ghaly et al., 2021).

Elektr. Leitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit (EC) ist ein Maß für die Menge an gelösten Ionen im Grauwasser. Grauwasser enthält aufgrund der häufig verwendeten Wasch- und Reinigungsmittel sowie Küchenreste eine Vielzahl von Ionen. Bei der Bewässerung von Pflanzen können diese Ionen/Salze negative Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften und die Vitalität der Pflanzen haben (Ghaly et al., 2021).

1.2.2 Chemische Parameter

Chemische Parameter beziehen sich auf die Konzentration und somit das Vorhandensein bestimmter chemischer Substanzen im Grauwasser, wie z. B. Schwermetalle oder organische Schadstoffe.

pH-Wert: Der pH-Wert ist ein Maß für den sauren oder alkalischen/basischen Charakter des Wassers. Er hat einen maßgeblichen Einfluss auf viele biologische Wasseraufbereitungsprozesse. Ein Beispiel hierfür ist die Nitrifikation, bei der ein pH-Wert von 7,5 bis 8,5 notwendig ist. Abweichungen von diesem Bereich können zu Hemmungen oder zum Absterben der Mikroorganismen führen. Auch physikalisch-chemische Reinigungsprozesse, wie die Fällung und Flockung mit Hilfe von Chemikalien, sind stark vom pH-Wert abhängig. Es ist ebenfalls herauszustellen, dass saures oder basisches Grauwasser die notwendige Infrastruktur wie Leitungen und Pumpen schädigen kann (b.is, 2017). Eine geringfügige Veränderung des pH-Werts im Wasser kann die Löslichkeit von Nährstoffen erhöhen, was das Wachstum von Pflanzen begünstigt. Gleichzeitig führt dies zu einem erhöhten Bedarf an gelöstem Sauerstoff und kann zu Eutrophierung führen (Ghaly et al., 2021).

Sauerstoffsättigung: Ein hoher Gehalt an freiem gelöstem Sauerstoff im aufbereiteten Wasser deutet auf eine gute Wasserqualität hin, da oxidierbare Stoffe wie zum Beispiel Stickstoffverbindungen oder organische Verunreinigungen bereits oxidiert sind (Mutschmann und Stimmelmayer, 2019).

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB): Der CSB gibt Auskunft über die Menge an Sauerstoff, die zur Oxidation organischer Substanzen im Wasser erforderlich ist. Er wird auf Grundlage einer chemischen Analyse, bei der organische Substanzen im Wasser üblicherweise mit Kaliumdichromat als

Oxidationsmittel reagieren, errechnet. Ein hoher CSB-Wert deutet auf eine hohe Konzentration von organischen Verbindungen im Wasser hin (b.is, 2017; Grohmann et al., 2011; Ghaly et al., 2021).

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB): Der BSB ist ein Maß für die Menge an Sauerstoff, die von Mikroorganismen zur biologischen Zersetzung organischer Substanzen im Wasser bei 20°C benötigt wird. Er gibt Auskunft über die biochemisch-abbaubare organische Belastung des Wassers. In Deutschland wird meistens der biochemische Sauerstoffbedarf im Zeitraum von fünf Tagen ermittelt (BSB₅). Der BSB ist somit vor allem bei der biologischen Wasseraufbereitung von Bedeutung (b.is, 2017; Grohmann et al., 2011; Ghaly et al., 2021).

BSB/CSB – Verhältnis: Das Verhältnis von BSB zu CSB gibt den Anteil biologisch abbaubarer organischer Stoffe im Abwasser an. Ein hohes BSB zu CSB-Verhältnis zeigt an, dass die organischen Verbindungen leicht oxidiert werden können (b.is, 2017; Ghaly et al., 2021; Monsalves et al., 2023). Dies ist besonders für die Wahl einer geeigneten Wasseraufbereitung von Bedeutung. So kann interpretiert werden, dass bei einem geringem BSB zu CSB Verhältnis, eine alleinige biologische Aufbereitungsanlage das Grauwasser nur bedingt reinigen kann.

Nährstoffe: Die Nährstoffe sind bei der Wiederverwendung von Grauwasser von großer Bedeutung, da sie eine wichtige Rolle für das Pflanzenwachstum und die Bodenfruchtbarkeit spielen (Gross et al., 2005; Xu et al., 2023). Grauwasser enthält in der Regel noch eine gewisse Menge an Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor und Kalium (Bautista Quispe et al., 2022; van de Walle et al., 2023; Oteng-Peprah et al., 2018), die für das Pflanzenwachstum essentiell sind. Durch die Wiederverwendung von Grauwasser können diese Nährstoffe wieder in den Boden gelangen und den Pflanzen als natürlichen Dünger dienen. Wenn hingegen zu viele Nährstoffe in den Boden gelangen und nicht von den Pflanzen aufgenommen werden, können sie in das Grundwasser oder Oberflächengewässer gelangen. Dies kann zu einer Überdüngung führen und das Wachstum von Algen und anderen Wasserpflanzen fördern. Der Sauerstoffgehalt im Wasser wird gezehrt und es kommt zur Eutrophierung (UBA, 2021; Ghaly et al., 2021). Außerdem kann ein Überschuss von Nährstoffen zu einer Erhöhung des Salzgehalts im Boden führen, was die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt und das Pflanzenwachstum hemmt (Rodda et al., 2011; Xu et al., 2023).

C:N:P-Verhältnis: Das Verhältnis von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor spielt eine wichtige Rolle beim biologischen Abbau von Schmutzstoffen durch Mikroorganismen (Atanasova et al., 2017; Ziamba et al., 2018; Weingärtner, 2013). Nur wenn die Mikroorganismen ausreichend mit diesen Elementen versorgt werden, ist eine gute Reinigungsleistung zu erzielen. Ein Mangel an Stickstoff und Phosphor hemmt dagegen die Aktivität der Mikroorganismen und wirkt sich negativ auf die biologische Abbauleistung aus (Atanasova et al., 2017; Ziamba et al., 2018; Weingärtner, 2013). Ein optimales C:N:P-Verhältnis liegt zwischen 100:20:1 und 100:10:1 (Weingärtner, 2013).

Schwermetalle: Einige Schwermetalle sind in geringen Mengen für den Stoffwechsel unerlässlich, andere hingegen sind schädlich für Menschen und Umwelt. Zink, Kupfer und Nickel zählen zu den lebensnotwendigen Schwermetallen (UBA, 2019). Quecksilber, Blei oder Cadmium hingegen, schädigen den menschlichen Organismus. Blei wirkt beispielsweise neurotoxisch und ist vor allem bei Kindern und in der Schwangerschaft schädlich und gilt als krebserregend (UBA, 2019). Auch auf Pflanzen haben Schwermetalle ab einer gewissen Konzentration negative Auswirkungen, was sich durch gestörtes Wachstum widerspiegelt und bis hin zum Absterben der Pflanzen führen kann (Ghaly et al., 2021; UBA, 2019).

Xenobiotische Organische Verbindungen (XOC): XOC sind künstlich hergestellte organische Verbindungen, die aus Haushaltsprodukten wie Konservierungs- und Reinigungsmitteln, Bleichmitteln, Tensiden, Weichmachern, Lösungsmitteln oder Arzneimitteln stammen (van de Walle et al., 2023; Oteng-Peprah et al., 2018; Ghaly et al., 2021). Eine erhöhte Konzentration von XOC stellt somit bei einer Wiederverwendung von Wasser für Bewässerungszwecke von Lebensmitteln eine gesundheitliche Gefahr dar (van de Walle et al., 2023). Außerdem haben diese Verbindungen einen

negativen Einfluss auf die biologische Abbaubarkeit von Abwasser (Oteng-Peprah et al.; 2018; Monsalves et al., 2023).

Tenside: Tenside können entweder kationisch oder anionisch sein. Kationische Tenside stellen eine Quelle für Ammonium im Grauwasser dar (Oteng-Peprah et al., 2018). Tenside verringern die bakterielle Atmungsrate und den biologischen Abbau (van de Walle et al., 2023). Insbesondere unter anaeroben Bedingungen sind Tenside langsam oder gar nicht biologisch abbaubar (Khalaphallah, 2012). Wenn Tenside nicht ausreichend aus dem Grauwasser entfernt werden und dieses zur Bewässerung verwendet wird, kann es zu einer Anreicherung im Boden kommen. Dies kann zu einer zunehmenden Hydrophobizität und einer Verringerung des Kapillaranstiegs der Böden führen (Travis et al., 2010; Ghaly et al., 2021). Monsalves et al. haben zudem einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Tensiden und antibiotikaresistenten Bakterien festgestellt (Monsalves et al., 2023).

Antibiotika: Antibiotika zählen zur Gruppe der Arzneimittel. Da sie aber zur Entwicklung von Resistenzen beitragen können, bedürfen sie einer besonderen Aufmerksamkeit. Im Grauwasser wurden bereits Antibiotika nachgewiesen, was zu einer Verbreitung von Antibiotikaresistenzen und resistenter Bakterienstämme führen kann (Oteng-Peprah et al., 2018). Antibiotika können über Produkte zur Hautbehandlung in das Grauwasser aus Duschen und Handwaschbecken gelangen oder auch über Personen, die Träger von Antibiotikaresistenten Bakterien sind. In der Küche stammen die Antibiotika möglicherweise aus Fleisch (Noman et al., 2022). Auch die Aufbereitung von Grauwasser kann einen Beitrag dazu leisten, die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt und die daraus resultierenden Gefahren für Mensch und Umwelt zu reduzieren.

1.2.3 Mikrobiologische/Hygienische Parameter

Mikrobiologische Parameter erfassen die Belastung des Grauwassers mit Bakterien, Viren, Pilzen oder anderen Mikroorganismen. Mikrobiologische Verunreinigungen gelangen über das Händewaschen, beim Duschen sowie durch Wäschewaschen und die Zubereitung von Lebensmitteln ins Grauwasser (DWA-M 277, 2017; Oteng-Peprah et al., 2018). Insbesondere beim Waschen von Unterwäsche und Windeln gelangen fäkale Verunreinigungen in das Grauwasser (Ghaly et al., 2021; Oteng-Peprah et al., 2018). Zum Nachweis fäkaler Kontaminationen werden insbesondere die Fäkalindikatoren *E. coli* und intestinale Enterokokken herangezogen. Oteng-Peprah et al. zeigten jedoch eine breite Anzahl von verschiedenen fäkalienbezogenen Krankheitserregern in Grauwasser (Oteng-Peprah et al., 2018). Darüber hinaus kommen weitere mikrobiologische Parameter zur Beurteilung der Wasserqualität zum Einsatz.

Gesamtkeimzahl: Die Gesamtkeimzahl gibt die Anzahl aller Keime in einer Wasserprobe an und umfasst sowohl pathogene als auch nicht-pathogene Mikroorganismen (Fritsche, 2016). Es ist somit ein allgemeiner Indikator für die mikrobielle Belastung des Wassers.

Gesamtcoliforme Bakterien: Zu den Gesamtcoliformen zählen sowohl Fäkalcoliforme als auch andere coliforme Bakterien, welche natürlich in der Umwelt vorkommen können. Der Parameter der Gesamtcoliformen weist auf generelle Unzulänglichkeiten in der Wasseraufbereitung oder dem Leitungsnetz hin. Wo erhöhte Gesamtcoliforme erfasst werden, kann es zur gesteigerten Bildung von Biofilmen kommen, wodurch sich wiederum günstige Bedingungen für Krankheitserreger ergeben (Grohmann et al., 2011).

Escherichia coli (E. coli): *E. coli* zählt zu den Indikatorparametern für fäkale Verunreinigungen und gehört zu der Gruppe der coliformen Bakterien. *E. coli* kommt bei warmblütigen Tieren und Menschen in der natürlichen Darmflora vor (Grohmann et al., 2011; Roeske, 2019).

Intestinale Enterokokken: Intestinale Enterokokken sind ebenfalls ein Fäkalindikator. Im Gegensatz zu *E. coli* weisen die intestinalen Enterokokken eine höhere Resistenz gegenüber der Desinfektion und

Umweltstress auf. Somit lassen sich über den Parameter Enterokokken (anders als bei *E. coli*) auch länger zurückliegende fäkale Einträge nachweisen (Grohmann et al., 2011).

Pseudomonas aeruginosa (P. aerugin.): Bei *P. aerugin.* handelt es sich um ein Bakterium, welches in der aquatischen Umwelt weit verbreitet ist und vielfach in Biofilmorganismen, die in technischen Anlagen schwer zu entfernen sind, vorkommen. Bei geschwächten Menschen kann *P. aerugin.* Infektionen hervorrufen. Da es bereits antibiotikaresistente Stämme gibt, kann eine Behandlung der Infektionen erschwert werden. *P. aerugin.* wurde bereits in Desinfektionsmittel nachgewiesen. (Grohmann et al., 2011). Die optimale Temperatur zur Vermehrung liegt zwischen 15 und 30°C (Roeske, 2019).

Salmonellen: Salmonellen kommen natürlicherweise in Wasser, Pflanzen, Boden und in der Darmflora von Tieren vor. Viele der mehr als 2.500 Salmonellenarten sind für Menschen und Tiere pathogen. Die Verbreitung der Salmonellen kann insbesondere über tierische Nahrungsmittel erfolgen und schwere Allgemeinerkrankungen verursachen (Roeske, 2019).

Legionellen: Im Süßwasser und in Böden kommen Legionellen natürlich vor. Unter bestimmten Umgebungsbedingungen mit einer Temperatur zwischen 25 und 45°C können sich diese Bakterien gut vermehren. Weitere vermehrungsförderliche Bedingungen finden sich in Biofilmen und in Amöben. Warme Wässer sind eine Grundvoraussetzung für die Vermehrung dieser Bakterien. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels könnten Legionellen auch zunehmend an Relevanz in Grauwassersystemen gewinnen. Durch das Einatmen von Aerosolen, welche Legionellen enthalten, können diese auf den Menschen übertragen werden und hier zu zwei Erkrankungsbildern führen: Zum einen eine schwere Lungenentzündung (Legionärskrankheit) oder zum anderen ein leichter Verlauf des Pontiac-Fiebers mit grippeähnlichen Symptomen (Grohmann et al., 2011). Mit Legionellen kontaminierte Wassersysteme lassen sich nur mit sehr großem Aufwand dekontaminieren und vielfach ist der mehrfache Einsatz von Desinfektionsmitteln erforderlich. Es ist daher von großer Bedeutung eine Besiedelung von Grauwassersystemen mit Legionellen zu vermeiden. (Roeske, 2019).

1.3 Grauwasseranfall

Die Quantität des Grauwassers ist von Bedeutung, da durch sie eingeschätzt werden kann, wie viel Trinkwasser durch Betriebswasser substituiert werden kann. Zudem ist die Menge des anfallenden Grauwassers für die Dimensionierung und die Wahl des Aufbereitungssystems, sowie die Bemessung der Größe des Speichers von größter Bedeutung.

1.3.1 Durchschnittlicher Grauwasseranfall in Deutschland

In der Norm DIN EN 16941-2: Vor-Ort-Anlagen für Nicht- Trinkwasser-Teil 2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser oder dem DWA Arbeitsblatt 272: Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS) werden lediglich überschlägige Kennwerte für den Grauwasseranfall angegeben. Demnach beträgt in Deutschland die Menge an anfallenden Grauwasser pro Person und Tag in etwa 60 bis 80 Liter (vgl. DIN EN 16941-2, 2021; DWA-A 272, 2014; und DWA-M 277, 2017).

In einigen Publikationen werden Grauwassermengen innerhalb einer Spanne von 50 bis 80 Prozent des gesamten häuslichen Abwassers genannt (vgl. van de Walle et al., 2023; Boano et al., 2020; Bautista Quispe et al., 2022; weil-Shafran et al., 2006; Hernández Leal et al., 2007; Laaffat et al., 2019 und Oteng-Peprah et al., 2018). Bei einem täglichen Wasserverbrauch von 125 Litern pro Person und Tag entspricht dies einem Grauwasseranfall von rund 60 bis 100 l/(E·d).

Auf Grundlage von 90 Datensätzen aus verschiedenen europäischen Ländern, welche überwiegend aus Deutschland stammen, und einer Gewichtung der Datensätze nach deren Qualität, gelangt Sievers in

seiner Dissertation Charakterisierung von Grauwasser zu dem Schluss, dass der Median des einwohnerspezifischen Volumenstroms bei 72 l/(E*d) liegt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Angaben zu den Grauwassermengen der verschiedenen Literaturquellen große Schwankungsbereiche aufweisen. Eine Unterteilung der einzelnen Grauwasserteilströme wird des Öfteren nicht vorgenommen. Wie bereits im Kapitel 1.1 Definition von Grauwasser (Seite 1) kurz dargestellt, unterscheiden sich die Grauwasserteilströme in ihrer Schadstoffbelastung, weshalb sich eine gesonderte Mengenermittlung der Grauwasserteilströme für eine Planung der Grauwasseraufbereitung und -nutzung als sinnvoll erweist.

1.3.2 Quantitäten der Grauwasserteilströme

Eine vergleichsweise genaue Aufgliederung des Grauwasseranfalls bietet das fbr-Hinweisblatt 201 aus dem Jahr 2005. Unterschieden werden hier die Wassernutzung im Bad (40 l/(E*d)), die Küche (12 l/(E*d)) und die Waschmaschine (13 l/(E*d)).

Das DWA Merkblatt 277: Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen, welches auf Basis des fbr Hinweisblattes entstanden ist, differenziert zusätzlich die Herkunftsbereiche des Grauwassers in Dusche, Badewanne, Waschbecken, Textilwaschmaschine, Spülbecken der Küche, sowie die Geschirrspülmaschine. Der größte Anteil an Grauwasser entfällt demnach mit 10 bis 50 l/(E*d) auf das Duschen, gefolgt vom Badewasser mit bis zu 30 l/(E*d). Den Waschbecken aus Bädern können 10 bis 15 l/E*d zugeschrieben werden. Auf Basis dieser Datengrundlage entfallen etwa 67 Prozent auf den Bereich der Körperhygiene.

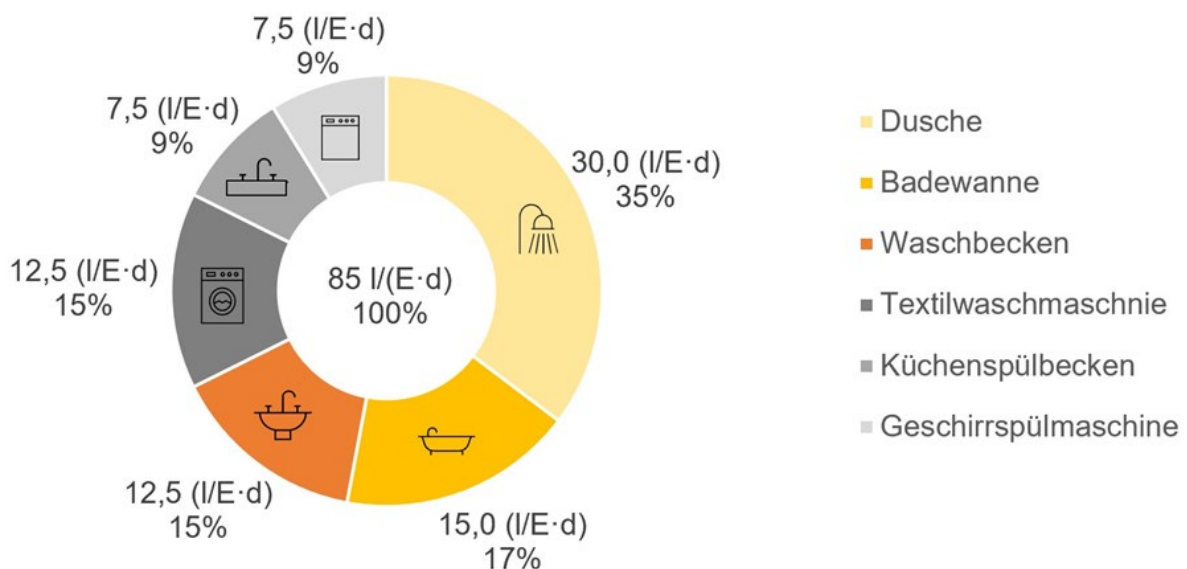


Abbildung 2: Anteile der verschiedenen Grauwasserteilströme (Kohlhepp, 2023 nach DWA-M 277, 2017)

Die geringeren Grauwasserteilströme bilden somit die Textilwaschmaschine mit 10 bis 15 l/(E*d) und die Küchenspülbecken und Geschirrspülmaschine mit jeweils 5 bis 10 l/(E*d). Die gemittelten Werte der einzelnen Grauwasserteilströme und deren prozentualen Anteile können der Abbildung 2 entnommen werden.

1.3.3 Schwankungen des Grauwasseranfalls

Bisher wurden lediglich die gemittelten einwohnerspezifischen Grauwasservolumenströme je Tag betrachtet. In der Praxis fällt das Grauwasser jedoch nicht konstant an, sondern variiert im Tagesverlauf (Sievers, 2018; Noutsopoulos et al., 2018). Diese Tatsache ist bei der Planung einer potenziellen Grauwassersammlung, Aufbereitung und Speicherung von Bedeutung. In der Literatur werden die Schwankungen des Grauwasseranfalls über den Tag oder die Woche jedoch selten näher betrachtet.

Der Tagesgang in Abbildung 3 beschreibt einen Grauwasseranfall, welcher in der ökologischen Siedlung Flintenbreite in Lübeck aufgezeichnet wurde. Im Zeitraum der Datenerfassung waren 45 Personen an die Grauwassersammlung angeschlossen (Sievers, 2018).

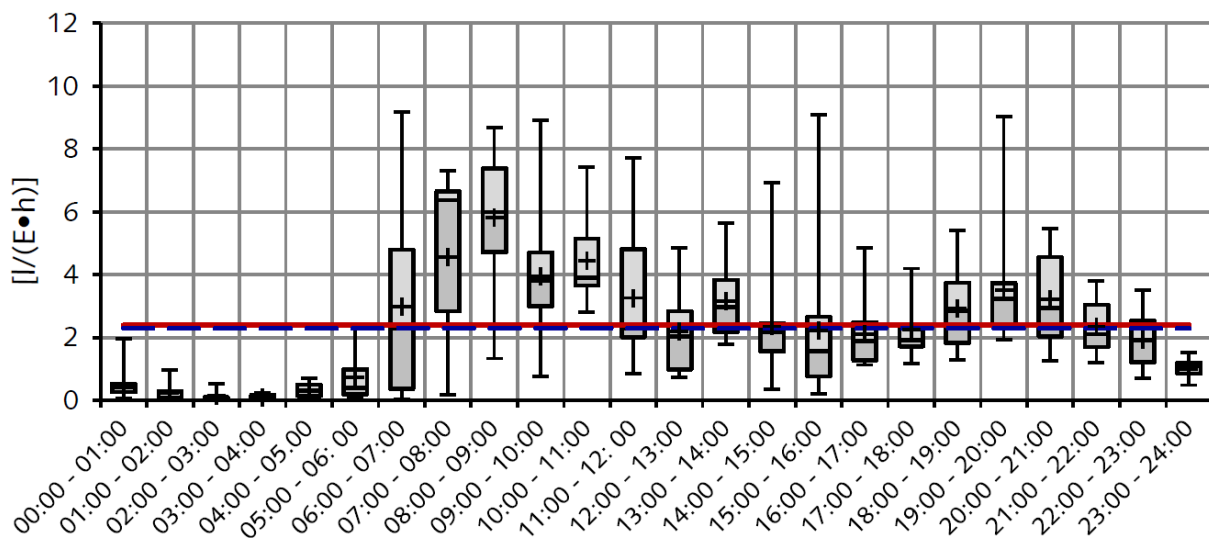


Abbildung 3: Tagesgang eines einwohnerspezifischen Volumenstroms in einer ökologischen Siedlung in Lübeck mit 45 Bewohnern (Sievers, 2018)

Betrachtet man den Tagesgang sind erhebliche Schwankungen der Stundenmittelwerte zu erkennen. Die geringsten Durchflüsse sind in den Nachtstunden zwischen 1:00 und 5:00 Uhr festzustellen. Anschließend erfolgt ein starker Anstieg des Grauwasseranfalls. Zwischen 7:00 und 9:00 Uhr werden die höchsten Tagesmittelwerte erreicht. Danach fällt der Grauwasseranfall bis 15:00 bis 17:00 Uhr ab. In den Abendstunden steigt er zu einem leichten zweiten Peak an. In den letzten Tagesstunden erfolgt ein gleichmäßiges Abfallen des Grauwasseranfalls.

In der Dissertation von Sievers aus dem Jahr 2018, wurden neben dem eben beschriebenen Standort Lübeck drei weitere Grauwasseranlagen in Deutschland mit unterschiedlichen Einwohnerzahlen hinsichtlich des Wasseranfalls untersucht. Aus den Daten kann geschlossen werden, dass bei mehr angeschlossenen Einwohnern an einer Grauwassersammlung, geringere Schwankungen des Grauwasseranfalls zu erwarten sind.

2. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Um eine Wiederverwendung von Grauwasser zu realisieren ist die Betrachtung des rechtlichen Rahmens notwendig. Die zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen sind abhängig von der Art der geplanten Nutzung

2.1 Nutzungsmöglichkeiten

Im Allgemeinen zählt aufbereitetes Grauwasser zu Betriebswasser. Sowohl im privaten, kommunalen als auch im gewerblichen Bereich gibt es verschiedene Anwendungen für Betriebswasser, welche in Tabelle 1 aufgelistet sind. Dazu zählen vor allem die Verwendung für die Toilettenspülung und die Waschmaschinen. Darüber hinaus wird Betriebswasser auch für die Bewässerung von Gärten, Friedhöfen, Sportanlagen, Gärtnereien oder Landwirtschaftsbetrieben eingesetzt. Zusätzlich kann Betriebswasser für die Reinigung von Fahrzeugen, als Feuerlöschwasser, Kühlwasser oder zur Kanalreinigung verwendet werden (VDI, 2013). Neben der herkömmlichen Bewässerung von Grünflächen eröffnet die Verwendung von Betriebswasser auch die Möglichkeit, Gründächer oder Fassadenbegrünungen zu bewässern (vgl. Ringelstein, 2023)

Tabelle 1 Nutzungsmöglichkeiten für Betriebswasser (Kohlhepp, 2023 nach VDI, 2013)

Privater Bereich	Kommunaler Bereich	Gewerblicher Bereich
Toilettenspülwasser	Toilettenspülwasser	Toilettenspülwasser
Waschmaschinen	Waschmaschinen	Wäschereien
Putzen, Reinigung	Fahrzeugreinigung	Fahrzeugreinigung
Gartenbewässerung	Friedhofsbewässerung	Gärtnereien
Feuchtbiotope	Sportanlagenbewässerung	Landwirtschaftsbetriebe
	Feuerlöschwasser	Feuerlöschwasser
	Kanalreinigung	Kühlwasser

Es gibt bereits einige Beispiele aus der Praxis, bei denen eine Grauwasserwiederverwendung erfolgreich umgesetzt wurde. Besonders oft kommt das Grauwasserrecycling in Bürogebäuden, Wohnheimen für Studierende oder Senioren, Hotels, Mehrfamilienhäuser oder Wohnsiedlungen, sowie für Campingplätze oder der Stadtreinigung zum Einsatz (vgl. fbr, 2009; INTEWA, 2021; König, 2013).

2.2 Übersicht der rechtlichen Lage

In Deutschland gibt es im Grunde genommen keinen übergeordneten rechtlichen Rahmen für die Nutzung von Grauwasser. Stattdessen müssen viele verschiedene rechtlich bindende Regelwerke und Empfehlungen aus dem Umwelt- und Verbraucherschutz beachtet werden. Gesetze und Verordnungen haben dabei einen rechtlich bindenden Charakter, während Normen, Hinweis- oder Arbeitsblätter als allgemein anerkannte Regeln der Technik gelten und rechtlich gesehen nicht zwingend anzuwenden sind. Dennoch finden sich in vielen Gesetzen und Verordnungen Bezüge oder Verweise zu den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Sofern Gesetze oder Verordnungen auf Normen verweisen erlangen diese Rechtsverbindlichkeit.

Vor allem bei der Anwendung von gereinigtem Grauwasser als Bewässerungswasser ergeben sich, wie bei der Verwendung von behandeltem Abwasser, viele potenzielle Einflüsse auf das Wasser und den

Boden, sowie den Verbraucher. Daraus ergibt sich wiederum ein breiter rechtlicher Rahmen, der beachtet werden muss. In Abbildung 4 sind die Regelwerke, welche für eine Grauwasserwiederverwendung und insbesondere für eine Nutzung als Bewässerungswasser gelten, aufgelistet.

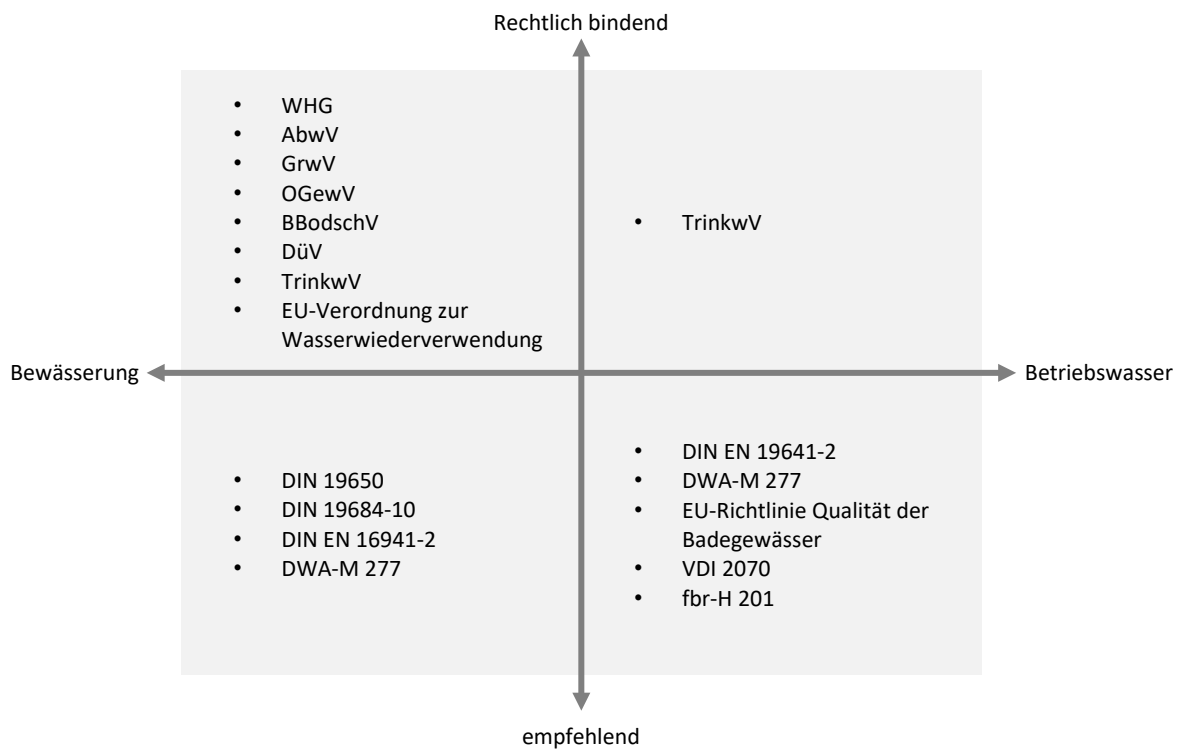


Abbildung 4: Übersicht der Vorschriften die in Zusammenhang mit der Nutzung von behandeltem Grauwasser potenziell zu berücksichtigen sind (Kohlhepp, 2023 Daten nach UBA, 2016)

Die Gesetze und Verordnungen haben bei der Nutzung von aufbereitetem Grauwasser einen übergeordneten Stellenwert. Daher wird im Folgenden kurz auf einige Regelwerke eingegangen. Da sie jedoch nur bedingt, je nach Nutzungsart des Grauwassers in Kraft treten, die Aufbereitungsziele in den Empfehlungen oftmals konkreter formuliert sind und diese die allgemein anerkannten Regeln der Technik darstellen, werden nur einzelne Verordnungen näher betrachtet.

2.3 Gesetze und Verordnungen

Wasserhaushaltsgesetz

Rechtliche Grundlagen für das Ausbringen von behandeltem Abwasser werden im WHG erläutert. Gem. § 47 WHG werden neben den Bewirtschaftungszielen ein Verschlechterungsverbot definiert. Zusätzlich steht in diesem Paragraphen ein Trendumkehrgebot bei ansteigenden Schadstofftrends bzw. ein Zielerreichungsgebot hinsichtlich eines guten mengenmäßigen und chemischen Zustands des Grundwassers. Das Einleiten bzw. Einbringen von Stoffen in das Grundwasser ist gem. § 48 WHG nur dann zulässig, wenn keine nachteilige Veränderung der Wassereigenschaft zu befürchten ist (UBA, 2016).

Grundwasserverordnung

Gemäß der Anlage 2 der Grundwasserverordnung (GrwV) werden Schwellenwerte definiert ab denen der chemische Zustand des Grundwassers als schlecht zu bewerten ist. Tolerable geringe Mengen und Konzentrationen gem. § 13 Absatz 1 Satz 3 werden in der GrwV allerdings nicht näher quantifiziert. In der Praxis wird sich daher den Geringfügigkeitsschwellenwerten der LAWA bedient, da de facto kein anderes Bewertungssystem vorhanden ist. Die Ausbringung von behandeltem Abwasser kann jedoch als punktueller Eintrag aufgefasst werden, sodass die Verwendung dieser Schwellenwerte als angemessen betrachtet wird (UBA, 2016).

Oberflächengewässerverordnung

Die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) ist zwar nicht direkt relevant bezüglich der Wiederverwendung von Grauwasser zur Bewässerung, jedoch werden hier einige Stoffe aufgelistet, welche zu begrenzen sind. Der Eintrag durch die Bewässerung sollte daher abgeschätzt werden bzw. sollten die gelisteten Stoffe im Rahmen der Aufbereitung begrenzt werden (UBA, 2016).

Abwasserverordnung

Hinsichtlich des Einleitens von Abwässern in Gewässer werden in der Abwasserverordnung (AbwV) Mindestanforderung je nach Ausbaustufe der Kläranlage zu den Parametern CSB, des BSB₅, Ammonium-Stickstoff, Gesamtstickstoff sowie Gesamtphosphor definiert (UBA, 2016).

Düngemittelverordnung

Bezüglich der wesentlichen Nährstoffmengen werden in der Düngeverordnung (DüV) 50 kg Nges/(ha·a) sowie 30 kg P₂O₅/(ha·a) festgelegt. Als Höchstgrenzen sind hier im Mittel über 3 Jahre 60 kg/(ha·a) an Stickstoff und im Mittel über 6 Jahre 20 kg/(ha·a) an Phosphat festgelegt. Ziel dieser Werte ist die Einhaltung des Wertes von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser gemäß der GrwV. Die Nährstoffmengen aus dem genutzten Grauwasser sind bei Ermittlung des Düngebedarfs entsprechend zu berücksichtigen (UBA, 2016).

Bodenschutzgesetz und Bodenschutzverordnung

Das Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) finden vor allem bezüglich einer Veränderung des Bodens hinsichtlich der Einleitung von Stoffen in den Boden Anwendung. Dabei sind die Erhaltung der Bodenstruktur, die Verhinderung von Bodenabträgen und der Humusgehalt des Bodens vordergründig (UBA, 2016).

EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung

Im Jahr 2020 wurde die EU-Verordnung 2020/741 über *Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung* veröffentlicht. Diese Verordnung wurde auf die Wiederverwendung von aufbereitetem kommunalem Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung ausgelegt.

Bei der Definition von kommunalen Abwasser wird auf die EU-Richtlinie 91/271/EWG verwiesen bei der kommunales Abwasser als „häusliches Abwasser oder Gemisch aus häuslichem und industriellem Abwasser und/oder Niederschlagswasser“ definiert wird. Häusliches Abwasser wird wiederum als „Abwasser aus Wohngebieten und den dazugehörigen Einrichtungen, vorwiegend menschlichen Ursprungs und der Tätigkeiten in Haushaltungen“ (EU-Richtlinie 91/271/EWG, 1991) erläutert.

Da das Grauwasser einen Teilstrom des häuslichen Abwassers darstellt, muss die EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung bei einer Grauwasserwiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung Anwendung finden.

In der EU Verordnung sind, wie in Tabelle 2 zu sehen, die Anforderungen an das Bewässerungswasser in vier Güteklassen von A bis D gegliedert, wobei die Güteklasse A die höchsten Anforderungen aufweist.

Tabelle 2: Güteklassen von aufbereitetem Wasser (Kohlhepp, 2023 nach EU-Verordnung 2020/741, 2020)

Mindest-güteklasse	Kategorie der Kulturpflanzen	Bewässerungsmethode
A	Alle roh verzehrten Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt und roh verzehrte Hackfrüchte	Alle Bewässerungsmethoden
B	Roh verzehrte Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil über dem Boden erzeugt wird und nicht unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, verarbeitete Nahrungsmittelpflanzen und Non-Food-Kulturen, einschließlich Futterkulturen für milch- oder fleischerzeugende Tiere	Alle Bewässerungsmethoden
C	Roh verzehrte Nahrungsmittelpflanzen, deren essbarer Teil über dem Boden erzeugt wird und nicht unmittelbar mit dem aufbereiteten Wasser in Kontakt kommt, verarbeitete Nahrungsmittelpflanzen und Non-Food-Kulturen, einschließlich Futterkulturen für milch- oder fleischerzeugende Tiere	Tropfbewässerung oder eine andere Bewässerungsmethode, bei der ein unmittelbarer Kontakt mit dem essbaren Teil der Pflanze vermieden wird
D	Industrie- und Energiepflanzen sowie aus Saatgut gewonnene Pflanzen	Alle Bewässerungsmethoden

In der EU-Verordnung werden verschiedene Parameter für Qualitätsanforderungen an das aufbereitete Abwasser angegeben. (siehe Tabelle 3).

In den Güteklassen B, C und D wird für BSB₅ und TSS auf die EU-Richtlinie 91/271/EWG *Behandlung von kommunalen Abwasser* verwiesen. Dort ist der BSB₅ auf 25 mg/l festgelegt und der TSS je nach Anlagengröße auf 35 mg/l (> 10.000 EW) oder 60 mg/l (2.000 bis 10.000 EW).

Tabelle 3: Anforderungen an die Qualität von aufbereitetem Wasser für die Landwirtschaftliche Bewässerung (Kohlhepp, 2023 nach EU-Verordnung 2020/741)

	Zielvorgabe für die Technik	Qualitätsanforderungen				Sonstige
		E.-Coli (Anzahl/100 ml)	BSB ₅ (mg/l)	TSS (mg/l)	Trübung (NTU)	
A	Zweitbehandlung, Filtration und Desinfektion	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella spp.</i> : < 1 000 KBE/l, wenn das Risiko der Aerosolbildung besteht Intestinale Nematoden (Eier von Helminthen): ≤ 1 Ei/Liter für die Bewässerung von Weideflächen oder Bewässerung von Futterpflanzen
B	Zweitbehandlung und Desinfektion	≤ 100	Gemäß Richtlinie 91/271/EWG (Anhang I Tabelle 1)	Gemäß Richtlinie 91/271/EWG (Anhang I Tabelle 1)	-	
C	Zweitbehandlung und Desinfektion	≤ 1.000			-	
D	Zweitbehandlung und Desinfektion	≤ 10.000	-			

In der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung wird zudem die Häufigkeit der Beprobung festgelegt. Diese ist abhängig von der Güteklasse und dem zu beprobenden Parameter. Die Trübung muss beispielsweise kontinuierlich gemessen werden, die anderen Parameter einmal die Woche.

EU-Badegewässerrichtlinie

Die EU-Badegewässerrichtlinie wird oft in Verbindung mit der Qualität von Betriebswasser gebracht (vgl. Nolde, 2021; Weingärtner, 2013; fbr, 2005; DWA-M 277, 2017), auch wenn es keinen direkten Zusammenhang zwischen den Nutzungsarten gibt. Es wird davon ausgegangen, dass ein Mensch, den das Baden in einem Gewässer nicht schadet, auch die Verwendung von Betriebswasser nicht schadet (fbr, 2005). In der Richtlinie werden zwei mikrobiologische Indikatorparameter festgelegt, welche selbst bei der ausgezeichneten Qualität in Bezug auf eine Grauwasserwiederverwendung sehr geringe Anforderungen aufweisen. Sonst werden keinerlei chemischen oder physikalischen Parameter aufgeführt.

Tabelle 4: Grenzwerte für Binnengewässer der Badegewässerrichtlinie (Kohlhepp, 2023 nach EU-Richtlinie 2006/7/EG)

Parameter	Einheit	Gute Qualität	Ausreichende Qualität
Intestinale Enterokokken	KbE/100 ml	400*	330**
<i>Escherichia coli</i>	KbE/100 ml	1000*	900**

* Auf der Grundlage einer 95-Perzentil-Bewertung

** Auf der Grundlage einer 90-Perzentil-Bewertung

2.4 Empfehlungen durch Normen, sowie Merk- und Hinweisblätter

DIN EN 16941-2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser

Seit 2021 gibt es die DIN EN 16941-2 *Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser*. Diese gibt Empfehlungen zur Aufbereitungsqualität von Grauwasser in Bezug auf verschiedene Nutzungsmöglichkeiten.

Die Norm thematisiert die Planung, Bemessung und den Einbau bis hin zur Kennzeichnung, Inbetriebnahme und zuletzt die Qualität des Grauwassers. Die Anforderungen an die Wasserqualität, welche als Empfehlungen dargestellt werden, sind im Anhang D der Norm zu finden. Diese Richtwerte entstammen der Normenreihe der British Standards Institution (bsi) BS 8252.

Anforderungen an das gereinigte Grauwasser werden sowohl bezüglich mikrobiologischen (siehe Tabelle 5) als auch an chemisch-physikalischen Parameter (siehe Tabelle 6) gestellt. Mikrobiologische Parameter stellen *E. coli*, Intestinale Enterokokken, Legionellen und Gesamtcoliforme dar. Ansonsten gibt es Richtwerte für die Trübung, den pH-Wert, Rest-Chlor und Brom.

Tabelle 5: Beispiele für die Richtwerte zur bakteriologischen Überwachung nach der Normreihe BS 8525 (Kohlhepp, 2023 gekürzt nach DIN EN 16941-2, 2021)

Parameter KBE/100 ml	Sprühanwendung	Anwendung ohne Versprühen			System-Typ
	Hochdruckreinigung, Gartensprenger, Autowäsche	WC-Spülung	Garten- bewässerung	Reinigung, d. h. Waschmaschine	
<i>Escherichia coli</i>	Nicht nachweisbar	250	250	Nicht nachweisbar	Einzelstandorte und kommunale Wohnbereiche
Intestinale Enterokokken	Nicht nachweisbar	100	100	Nicht nachweisbar	Einzelstandorte und kommunale Wohnbereiche
<i>Legionella pneumophila</i>	10				Falls Analyse auf Grund von Gefährdungsabschätzung erforderlich ist
Gesamtcoliforme	10	1000	1000	10	Einzelstandorte und kommunale Wohnbereiche

Wie ebenfalls in den Tabellen zu sehen, werden die Anforderungen an das Grauwasser in unterschiedliche Nutzungsgruppen eingeteilt. Die Gruppe mit den höchsten Qualitätsanforderungen stellt die Sprühanwendung dar, da sich hier Aerosole bilden. Aufgrund der Übertragungsweise von Legionellen ist nur bei dieser Kategorie ein Grenzwert angegeben.

Bis auf die Anforderung bezüglich der Legionellen und Brom soll das Betriebswasser für das Wäschewaschen gleich hohe Anforderungen haben, wie für Sprühanwendungen.

Mikrobiologisch gesehen sind die Qualitätsanforderungen an WC-Spülung und die Gartenbewässerung gleich. Kleine Unterschiede gibt es bei den anderen Parametern. Die Trübung sollte bei dem Einsatz von aufbereitetem Grauwasser für die Toilettenspülung einen Mindeststandard einhalten. Für die Gartenbewässerung sollte Brom nicht vorhanden sein, da dies einen schädigenden Einfluss auf die Umwelt hat.

Tabelle 6: Beispiele für Werte zur allgemeinen Systemkontrolle nach der Normreihe BS 8525 (Kohlhepp, 2023 gekürzt nach DIN EN 16941-2, 2021)

Parameter	Sprühanwendung	Anwendung ohne Versprühen			System-Typ
	Hochdruckreinigung, Gartensprenger, Autowäsche	WC-Spülung	Garten- bewässerung	Reinigung, d. h. Waschmaschine	
Trübung (NTU)	< 10	< 10		< 10	alle Systeme
pH	5 bis 9,5	5 bis 9,5	5 bis 9,5	5 bis 9,5	alle Systeme
Rest-Chlor (mg/l)	< 2,0	< 2,0	< 0,5	< 2,0	alle Systeme, wenn verwendet
Rest-Brom (mg/l)	0	< 5,0	0	< 5,0	alle Systeme, wenn verwendet

DIN 19650: Hygienische Belange von Bewässerungswasser

Ähnlich wie bei der EU-Verordnung für Wasserwiederverwendung sind in der DIN 19650 vier verschiedene Eignungsklassen für die Anwendung als Bewässerungswasser definiert. Anders als bei der EU-Verordnung entspricht die Klasse mit den höchsten Anforderungen, Klasse 1, den Grenzwerten von Trinkwasser. Wann welche Eignungsklasse anzuwenden ist, ist detailliert beschreiben und kann Tabelle 7 entnommen werden.

Als Einflussgröße werden die mikrobiologische Parameter Fäkalstreptokokken, E.-Coli und Salmonellen aufgeführt. Zudem sollen potenziell infektiöse Stadien von Mensch und Hausparasiten untersucht werden. Andere Einflussgrößen werden in dieser Norm nicht betrachtet.

Tabelle 7: Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendung von Bewässerungswasser (Kohlhepp, 2023, gekürzt nach DIN 19650, 1999)

Eignungs- klasse	Anwendung	Fäkalstreptokokken 1)	<i>E. coli</i> ¹⁾	Salmonellen
	Einheit	Koloniezahl/ 100 ml	Koloniezahl/ 100 ml	Anzahl/ 100 ml
1 (Trinkwasser)	- alle Gewächshaus- und Freilandkulturen ohne Einschränkung	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
2 ³⁾	- Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr - Schulsportplätze, öffentliche Parkanlagen	< 100	< 200	nicht nachweisbar
3 ³⁾	- nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen - Freilandkulturen für den Rohverzehr bis Fruchtansatz bzw. Gemüse bis 2 Wochen vor der Ernte - Obst und Gemüse zur Konservierung - Grünland bzw. Grünfütterpflanzen bis 2 Wochen vor dem Schnitt oder der Beweidung - alle anderen Freilandkulturen ohne Einschränkung - sonstige Sportplätze ⁵⁾	< 400	< 2000	nicht nachweisbar
4 ^{3), 5)}	- Wein- und Obstkulturen zum Frostschutz - Forstkulturen, Polterplätze und Feuchtbiotope - Zuckerrüben, Stärkekartoffeln, Ölfrüchte und Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut bis 2 Wochen vor der Ernte - Getreide bis zur Milchreife (nicht zum Rohverzehr) - Futter zur Konservierung bis 2 Wochen vor der Ernte	Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe durchlaufen hat		

¹⁾ Mikrobiologische Untersuchungen nach den für Badegewässer üblichen Verfahren

³⁾ Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.

⁴⁾ Richtwert, der analog der TrinkwV § 2 Abs. 3 so weit unterschritten werden sollte, „wie dies nach dem Stand der Technik mit

⁵⁾ Bei der Berechnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden

DIN 19684-10: Bodenbeschaffenheit – Chemische Laboruntersuchungen: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen

Die DIN 19684 Teil 10 legt für die Beurteilung eines Wassers für Bewässerungszwecke drei Eignungsstufen je Parameter fest. Betrachtet werden dabei lediglich physikalisch-chemische Parameter. Im Gegensatz zu den anderen Richtlinien, die sich auf Bewässerungswasser beziehen liegt bei dieser Norm der Schwerpunkt auf die Auswirkung des Wassers auf die Pflanzen bzw. auf den Boden. Einen Bezug zu Grauwasser gibt es in dieser Norm nicht.

Beurteilt wird das Wasser anhand der Salz-, Natrium-, Chlor- und Borverträglichkeit der Pflanzen. Die Grenzwerte der Einzelnen Parameter können Tabelle 8 entnommen werden. Zudem werden Maximalwerte für Spurenelemente wie Arsen, Blei oder Eisen festgelegt, unter deren Einhaltung keine phytotoxischen Eigenschaften zu erwarten sind (siehe Tabelle 9). Bakteriologisch muss das Bewässerungswasser so beschaffen sein, „dass bei seiner Ausbringung keine Bedenken hinsichtlich der Gesundheit von Mensch und Tier besteht“ (DIN 19684-10, 2009). Genauere Angaben zu mikrobiologischen Parametern gibt es jedoch nicht.

Tabelle 8: Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers gegenüber verschiedenen Inhaltsstoffen (Kohlhepp, 2023 zusammengefasst und gekürzt nach DIN 19684-10, 2009)

Eignung für	Bewertung		geeignet	mäßig geeignet	nicht geeignet
Bewässerungszwecke	Schwebstoffe	mg/l	< 50	50 bis 100	> 100
	gelöste Stoffe	mg/l	< 500	500 bis 2.000	> 2.000

Verträglichkeit der Kulturpflanze gegenüber	Bewertung		gering	mittel	hoch
	Pflanzenbeispiele		Bohne, Zwiebel, Salat	Tomate, Spinat, Mais	Rübe, Gerste, Spargel
Salz	EC bei 25 °C	mS/cm	< 0,3	0,3 bis 0,8	0,8 bis < 1,6
	Salz-Massenkonzentration	g/l	< 0,2	0,2 bis 0,5	0,5 bis < 1
Natrium	SP	mmol/l	< 60	60 bis 75	> 75
	SAR	mmol/l	< 6	6 bis 10	> 10

Schadwirkung bei Kulturpflanzen durch	Schadwirkung		gering	mittel	hoch
	Bewertung des Wassers		geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
Natriumverträglichkeit	RSC	mmol/l	< 1,25	1,25 bis 2,5	> 2,5
Chloridverträglichkeit	Chloridkonzentration	mmol/l	< 2	2 bis 8	> 8
	Chloridkonzentration	mg/l	< 70	70 bis 280	> 280
Borverträglichkeit	Borkonzentration	mg/l	0,3 bis < 1	1 bis < 2	2 bis 4

Damit das Bewässerungswasser mittels einer Tröpfchenbewässerung den Pflanzen zugegeben werden kann und sich keine Ablagerungen auf Blättern oder Früchten bilden, sind die Parameter Schwebstoffe und gelöste Stoffe in der Norm mitinbegriffen.

Besondere Bedeutung kommt der Natriumverträglichkeit zu. Denn eine Anreicherung von Natrium auf dem Oberboden hat eine Verschlechterung der Bodenstruktur zufolge, durch die es zur Verschlammung kommen kann. Schlussendlich bildet sich beim Trocknen des Bodens eine krustenartige Deckschicht, wodurch die Wurzelbildung behindert wird. Die Eignung des Wassers bezüglich der Natriumverträglichkeit der Pflanzen wird durch den Natrium-Anteil an der Gesamt-Salzkonzentration (sodium percentage, SP), dem Natriumadsorptionswert (Sodium Adsorption Ratio, SAR) und dem Natriumkarbonatrest (Residual Sodium Carbonate, RSC) bewertet.

Je nach Chloridverträglichkeit der Pflanze ist eine Chloridakkumulation in den Blättern, im Holz oder im Astwerk der Pflanze möglich, wodurch der Ertrag sinken kann.

Da Bor, wie auch andere Spurenelemente, in höheren Konzentrationen phytotoxisch wirkt, sind Richtwerte in der DIN 19684-10 angegeben.

Tabelle 9: Richtwerte für die Massenkonzentration an Spurenelementen im Bewässerungswasser, bei deren Überschreitung phytotoxische Effekte auftreten können (Kohlhepp, 2023 gekürzt nach DIN 19684-10, 2009)

Element	Massenkonzentration in mg/l
Aluminium	0,5
Arsen	0,1
Blei	0,1
Bor	1
Cadmium	0,01
Chrom	0,05
Eisen	10
Kupfer	1
Mangan	1
Nickel	0,5
Quecksilber	0,002
Zink	2

DWA-M 277

Bei den Hinweisen zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen handelt es sich um ein Merkblatt der DWA. Anzumerken ist, dass die DWA sowohl Arbeitsblätter als auch Merkblätter veröffentlicht. Arbeitsblätter entsprechen den allgemein anerkannten Regeln der Technik, während Merkblätter in der Praxis noch nicht so erprobt sind wie die Arbeitsblätter.

Bei dem DWA-M 277 wird zwischen zwei verschiedene Qualitätsanforderungen bezüglich einer Grauwasserwiederverwendung unterschieden. Die Klasse C1 mit geringeren Anforderungen ist nur für private Toilettenspülungen gedacht, während die qualitativ hochwertigere Klasse sowohl für öffentliche als auch private Zwecke wiederverwendet werden kann. Die physikalisch-chemischen Parameter umfassen Trübung, BSB₅, Sauerstoffsättigung und pH-Wert. Die mikrobiologischen Parameter umfassen Gesamtcoliforme, E.-Coli und P. aeruginosa. Der Wert für E.-Coli entspricht dabei der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung Klasse C.

Tabelle 10: Qualitätsanforderungen für aufbereitetes Grauwasser (Kohlhepp, 2023 gekürzt nach DWA-M 277, 2017)

Kriterien	Qualitätsanforderungen an das aufbereitete Grauwasser	
	C1 - Toilettenspülung privat	C2 - Toilettenspülung privat/öffentlich - Bewässerung Rasen/Zierpflanzen privat - Bewässerung Nutzpflanzen - Textilwäsche privat
Behandlungsmethode	Aufbereitung/Stabilisierung	Behandlung mit Hygienisierung
Grauwasser	schwach belastet	schwach und stark belastet
Trübung	-	< 2 NTU
BSB ₅	-	< 5 mg/l
O ₂ Sättigung	> 50 %	> 50 %
pH	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5
Gesamt Coliforme	keine Anforderung	< 10.000 / 100 ml
E. coli		< 1.000 / 100 ml
P. aeruginosa		< 100 / 100 ml

VDI 2070: Betriebswassermanagement für Gebäude und Liegenschaften

Für Betriebswasser, das für Toiletten und Waschmaschinen verwendet wird, bezieht sich die VDI 2070 auf die EU-Richtlinie zur Badegewässerqualität, die einer ausreichenden Qualität des Badewassers entspricht.

fbr-Hinweisblatt 201

Für die Bewässerung von Pflanzen gibt das Hinweisblatt einen Verweis auf die DIN 19650, die, wie bereits dargestellt, bestimmte Anforderungen und Empfehlungen für die Qualität des Bewässerungswassers festlegt.

Das Hinweisblatt der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V. stellt vier Parameter auf, um die Qualität für Betriebswasser für die Toilettenspülung und für die Waschmaschine sicherzustellen. Diese Werte entsprechen weitgehend den Anforderungen des DWA-Merkblatts 277. Jedoch ist der Grenzwert für den biochemischen Sauerstoffbedarf im fbr Hinweisblatt 201 nach sieben Tagen zu ermitteln und bei dem DWA-M 277 nach fünf Tagen.

Tabelle 11: Qualitätsanforderungen für Toilettenspülwasser und Wäschewaschen (Kohlhepp, 2023 nach fbr, 2005)

Parameter	Grenzwert
BSB ₇	< 5 mg/l
Sauerstoffsättigung	> 50 %
Gesamtcolliforme Bakterien	< 100/ml
Fäkalcolliforme Bakterien	< 10/ml
<i>P. aeruginosa</i>	< 1/ml

Hinweise Risikomanagementplan

Hinweise zur Erstellung eines ausführlichen Risikomanagementplans finden sich in der Verordnung (EU) 2020/741, über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung, den Leitlinien zur Anwendung der Verordnung 2020/741, über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (2022/C 298/01) und in der Technical Guidance – Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe. (Maffettone R. and Gawlik, B., 2022).

2.5 Zusammenfassung der Aufbereitungsanforderungen

Zur Nutzung von Grauwasser als Bewässerungswasser gibt es mehr empfehlende Regelwerke im Vergleich zu den anderen Verwendungszwecken. Die Mehrheit der Regelwerke bezieht sich auf die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers, was in Tabelle 12 zu sehen ist.

Tabelle 12: Übersicht über die Regelwerke zur Grauwasserwiederverwendung nach Verwendungszweck (Kohlhepp, 2023)

Anwendung bei Nutzung als	Regelwerk	mikrobiologische Parameter	physikalisch-chemische Parameter
Bewässerungswasser	EU-Verordnung 2020/741 Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung	x	x
	DIN 19650 Hygienische Belange von Bewässerungswasser	x	
	DIN 19684-10 Bodenbeschaffenheit – Chemische Laboruntersuchungen – Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen		x
Bewässerungswasser und Betriebswasser	DIN EN 16941-2 Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser – Teil 2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser	x	x
	DWA-M 277 Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen	x	x
swasser	EU-Richtlinie 2006/7/EG Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG	x	

Aktuell bezieht sich lediglich die Norm DIN EN 16941-2 explizit auf die Nutzung von Grauwasser für die Bewässerung und als Betriebswasser. Diese Norm gilt sowohl für die Bewässerung als auch für das Betriebswasser. Sie definiert sowohl mikrobiologische als auch physikalisch-chemische Parameter. Bei der Nutzung als Betriebswasser wird zusätzlich zwischen Anwendungen mit Sprühanwendung und Anwendungen ohne Vernebelung unterschieden. Für die Sprühanwendung gelten höhere Anforderungen aufgrund der möglichen Aerosolbildung, daher werden auch Parameter für Legionellen festgelegt. Zudem wird bei der Nutzung als Betriebswasser nochmals zwischen Wäschewaschen und WC-Spülung unterschieden.

Der direkte Vergleich der verschiedenen Regelwerke zur Nutzung von Grauwasser ist oft schwierig, da unterschiedliche Parameter betrachtet werden.

Um eine sichere Nutzung von Grauwasser für Mensch und Umwelt zu gewährleisten, sollten basierend auf den Ergebnissen einer Risikobewertung für das jeweilige Anwendungs- und Nutzungsszenarien entsprechende Schutzmaßnahmen abgeleitet werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zu bereits festgelegten Qualitätsanforderungen für verschiedene Nutzungsszenarien, die aus verschiedenen Normen und der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung zusammengetragen wurden. Sollten sich die Anforderungen in verschiedenen Quellen unterscheiden, wurde die jeweils höchste Anforderung aufgenommen.

Tabelle 13: Zusammenstellung der höchsten Qualitätsanforderungen verschiedener Regelwerke nach Nutzungsart (Kohlhepp, 2023 zusammengefasst nach EU-Verordnung 2020/741, 2020; DIN 19650, 1999; DIN 19684-10, 2009; DIN EN 16941-2, 2021; DWA-M 277, 2017; EU-Richtlinie 2006/7/EG)

Gruppe	Parameter	Einheit	Bewässerung ohne Versprühen	WC-Spülung	Wäsche waschen
mikrobiologische Parameter	Gesamtcoliforme	KBE/100 ml	< 1.000	< 1.000	10
	<i>E. coli</i>	KBE /100 ml	< 10	< 250	n. n.
	Intestinale Enterokokken	KBE/100 ml	< 100	< 100	n. n.
	<i>P. aeruginosa</i>	KBE/100 ml	< 100	< 100	< 100
	Fäkalstreptokokken	KBE/ 100 ml	< 100		
	Salmonellen	Anzahl /1000 ml	n.n		
	Legionellen	KBE/100 ml	< 10		
chemisch-physikalische Parameter	O ₂ -Sättigung	%	> 50	> 50	> 50
	pH	-	6,5 bis 9,5	6,5 bis 9,5	6,5 bis 9,5
	Trübung	NTU	< 2	< 2	< 2
	BSB ₅	mg/l	< 5	< 5	< 5
	Chlor	mg/l	<0,5	< 2	< 2
	Brom	mg/l	0	< 5	< 5
	TSS	mg/l	< 10		
	TDS	mg/l	< 500		
	EC	mS/cm	< 0,3		
	Salz	g/l	< 0,2		
	SP	mmol/l	< 60		
	SAR	mmol/l	< 6		
	RSC	mmol/l	< 1,25		
	Chlorid	mmol/l	< 2		
	Chlorid	mg/l	< 70		
Bor	mg/l	0,3 bis < 1			
Spurenelemente	Aluminium	mg/l	0,5		
	Arsen	mg/l	0,1		
	Blei	mg/l	0,1		
	Bor	mg/l	1		
	Cadmium	mg/l	0,01		
	Chrom	mg/l	0,05		
	Eisen	mg/l	10		
	Kupfer	mg/l	1		
	Mangan	mg/l	1		
	Molybdän	mg/l	0,01		
	Nickel	mg/l	0,5		
	Quecksilber	mg/l	0,002		
	Zink	mg/l	2		

Für Schadstoffe wie Tenside, Antibiotikarückstände und andere Arzneimittel finden sich bislang keine Grenz- oder Leitwerte in den genannten Quellen.

Auch für die Häufigkeit der Beprobung finden sich zumeist keine expliziten Vorgaben oder feste Intervalle. Lediglich die EU-Verordnung 2020/741 schreibt eine Mindesthäufigkeit der Beprobung vor.

2.6 Anmeldung / Genehmigung einer Grauwassernutzung

Bevor eine Grauwasseraufbereitungsanlage (nach §2 TrinkwV eine „Nichttrinkwasseranlage“) aufgestellt und in Betrieb genommen werden kann, muss diese laut der Trinkwasserverordnung (2023) dem Gesundheitsamt vier Wochen vor der Errichtung angemeldet werden (§12 TrinkwV). Wird die Anlage außer Betrieb genommen, muss eine Meldung innerhalb von drei Tagen an das Gesundheitsamt erfolgen.

Eine Grauwasseraufbereitungsanlage zählt zu den haustechnischen Anlagen, weshalb in den meisten Bundesländern keine baurechtliche Genehmigung erforderlich ist. In der Regel genügt es eine Anlage mit einem Speichervolumen bis zu 50m³ nach Baurecht anzuzeigen (DWA-M 277, 2017).

Ob ein Anschluss- und Benutzungszwang an den öffentlichen Kanal besteht, ist in der Abwassersatzung der Gemeinde geregelt (DWA-M 277, 2017).

3. PLANUNG UND DESIGN

3.1 Vorgehensweise und Implementierung einer Grauwassernutzung



Abbildung 5: Ablaufplan vom Wunsch nach nachhaltigem Wassermanagement zum Betrieb einer Grauwasseraufbereitung

3.2 Sammlung des Grauwassers

Bevor das Grauwasser gereinigt werden kann, muss dieses in einer separaten Leitung gesammelt werden. Bei Neubauten stellt dies in der Regel keine Probleme dar, da die doppelte Leitungsführung bereits bei der Planung mit bedacht wird. Möchte man bei Bestandsgebäuden eine Trennung der Teilströme Grauwasser und Schwarzwasser vornehmen ist der Einbau einer zweiten Abwasserleitung aufwändig und mit Kosten verbunden.

Mögliche Ideen, um das Grauwasser einfacher und günstiger im Bestand abzutrennen, wurden im Rahmen zweier Forschungsprojekte der Bauhaus-Universität Weimar entwickelt: Zum einen das Projekt AWAS die Abwasserweiche und zum anderen das Projekt EVaSENS Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand - Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen. Bei EVaSENS werden zwei Liner in unterschiedlichen Größen in das vorhandene Abwasserrohr eingebracht. Anschließend können Grau- und Schwarzwasser mittels Unterdruck getrennt abgeleitet werden (vgl. Vesper, 2015). Bei der Abwasserweiche handelt es sich um eine minimalinvasive Grauwasserabtrennung, da nicht direkt in das vorhandene Leitungssystem eingegriffen werden muss. Durch akustische Signale in der Abwasserleitung wird das Abwasser dem Grau- oder Schwarzwasserstrom zugeordnet und in die entsprechende Sammelstelle weitergeleitet (Londong und Hörnlein, 2018). Anschließend kann das Grauwasser gesammelt und aufbereitet werden. Anzumerken ist, dass beide Trennverfahren aktuell noch nicht die Marktreife erlangten und daher nur perspektivisch zum Einsatz kommen könnten.

3.3 Aufbereitungsmöglichkeiten

Ein Problem bei der Grauwasseraufbereitung stellen die unterschiedlichen Eigenschaften des Grauwassers in Abhängigkeit der Herkunftsquelle dar. Nicht alle Verfahren sind für ein schwach bzw. stark belastetes Grauwasser geeignet. Eine gute biologische Abbaubarkeit, welche durch das BSB/CSB-Verhältnis ausgedrückt wird, sowie ein ausgeglichener Nährstoffhaushalt ist dabei für biologische Prozesse besonders wichtig. Bei physikalischen und chemischen Verfahren sind diese Parameter dagegen von geringer Bedeutung. Somit ist das Ziel dieses Abschnittes des Leitfadens für jede Grauwasserzusammensetzung eine geeignete Aufbereitungsstrategie zu finden, um ein farbloses, geruchloses und ein für die Umwelt und Gesundheit unbedenkliches Klarwasser zu erzielen. Allgemein erlangen mehrstufige Systeme dabei üblicherweise höhere Reinigungsleistungen als einstufige Systeme (van de Walle et al., 2023). Wie in folgender Abbildung dargestellt, können die Aufbereitungsstufen in eine Vorbehandlung, die Hauptbehandlung und die Nachbehandlung, sowie die Desinfektion, unterteilt werden.

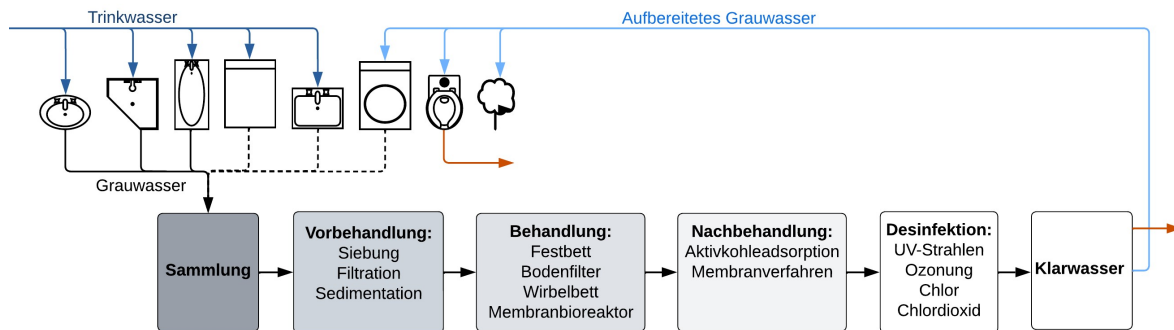


Abbildung 6: Übersicht der Aufbereitungsschritte und möglicher Verfahren für eine Grauwasserreinigung (Kohlhepp, 2023)

Neben der Reinigungsleistung stellen auch der Platzbedarf im Wohnquartier, der Energiebedarf und der Wartungsaufwand wichtige Punkte bei der Auswahl eines geeigneten Aufbereitungssystems dar.

Bei der Behandlung von Grauwasser sind die Verfahren zur Vor- und Nachbehandlung, welche in der Praxis von Anlagenherstellern eingesetzt werden, zumeist auf ein paar wenige beschränkt. Die Bandbreite der Verfahren für die Hauptbehandlung ist dagegen umfangreicher. Im folgenden Kapitel werden die Verfahren anhand von Vor- und Nachteilen, sowie der potenziellen Reinigungsleistung bewertet.

3.3.1 Vorbehandlung

Die Verfahren der Vorbehandlung zählen zu der mechanischen Wasseraufbereitung, da keine biologischen oder chemischen Prozesse stattfinden. Dadurch findet auch keine Entfernung von CSB, Keimen, Fetten, Tensiden oder Mikroverunreinigungen statt. Die Verfahren für die Vorbehandlungen dienen lediglich der Feststoffabtrennung. Ziel ist es hierbei Stoffe, welche die weiteren Behandlungsschritte stören, aus dem Grauwasser zu entfernen. Dies sind zum Beispiel Haare, welche in der Anlage zu Verzopfungen führen könnten, mineralische Bestandteile wie Sand oder bei stark belasteten Grauwasser Reste von Küchenabfällen. Je nach Verfahren ist die Feststoffabtrennung stärker oder geringer ausgeprägt.

Bei schwach belastetem Grauwasser sind aufgrund der geringen und feinen Feststoffanteile Siebe einem Absetzbecken zu bevorzugen. Bei stark belasteten Grauwasser, welches Küchen-, Spülmaschinen- und Waschmaschinenabwasser beinhaltet, ist aufgrund der erhöhten Feststoffkonzentration wiederum ein Absetzbecken geeignet. Bei unterschiedlichen Absetzeigenschaften kann eine Kombination aus Absetzbecken und Sieb sinnvoll sein.

Filtrationen als Vorbehandlung sind für viele darauffolgende biologischen Behandlungsverfahren nicht geeignet. Daher sollten diese nur eingesetzt werden, wenn eine geringe biologische Abbaubarkeit des Rohgrauwassers gegeben ist oder ein dichtes Membranverfahren im Anschluss zum Einsatz kommen soll.

Tabelle 14: Bewertung der Verfahren zur Vorbehandlung von Grauwasser (Kohlhepp, 2023 ergänzt nach b.is, 2016)

Verfahren	Feststoff-abtrennung	Kontrolle der Feststoffentfernung	Komplexität des Verfahrens	Praxiserfahrungen	Reinigungsaufwand/Wartung	Einsatzmöglichkeiten
Absetzbecken	+	+	+	+++	+	+++
Sieb	++	+++	++	+++	++	+++
Filtration	+++	+++	+++	+++	+++	+

3.3.2 Hauptbehandlung

Der Großteil der Entfernung von Verunreinigungen aus dem Grauwasser erfolgt während der Hauptbehandlung. Damit Grauwasserinhaltsstoffe abgebaut bzw. entfernt werden, stehen verschiedenste Anlagensysteme zur Verfügung. Man kann zwischen biologischen, mechanischen und chemischen Verfahren unterscheiden.

Bei der Bewertung von Verfahren ist zu bedenken, dass nicht immer das Verfahren an sich für eine geringe Reinigungsleistung verantwortlich sein muss. So besteht die Möglichkeit, dass Anlagen zu gering bemessen wurden und dadurch z. B. ein biologischer Abbau nicht vollständig erfolgen kann. Eine weitere Möglichkeit für schlechte Reinigungsleistungen stellt die Wahl des Aufbereitungsverfahrens in Bezug auf die Grauwasserzusammensetzung dar.

Bei Grauwasser mit geringen Nährstoffanteilen und schlechter biologischer Abbaubarkeit sollte tendenziell auf mechanische oder kombinierte Verfahren wie den MBR zurückgegriffen werden. Ist eine gute biologische Abbaubarkeit gegeben, sind auch das Wirbelbettverfahren oder der Scheibentauchkörper geeignete Aufbereitungsmöglichkeiten. Um ein geeignetes System für das jeweilige Wohnquartier auszuwählen ist eine vorherige Beprobung des Grauwassers zu empfehlen. Eine Zusammenfassende qualitative Bewertung der Aufbereitungsverfahren in Bezug auf die Grauwasserwiederverwendung in Wohnquartieren kann Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 15: Bewertung der Verfahren zur Hauptbehandlung von Grauwasser (Kohlhepp, 2023 verändert und ergänzt nach b.is, 2016)

Kriterien	Reinigungsleistung							zus. Behandlungsbedarf		weitere Kriterien			
	CSB Elimination	Feststoffabtrennung	Keimreduzierung	Entfernung von Mikroverunreinigungen	Fette	Tenside	Desinfektion	Vorbehandlung	Nachbehandlung	Platzbedarf	Betriebskosten	Wartungsaufwand	Erfahrungen
Belebtschlammverfahren	+++	++	+	++	+++	++	++	+	+++	+++	++	+	+++
SBR	+++	++	+	++	+++	++	++	++	+++	++	++	+	+++
MBBR	+++	++	+	+	+++	++	++	++	+++	++	++	++	+++
RBC	+++	++	+	++	++	++	++	+++	+++	++	++	++	+++
Anaerobe Systeme	geringere Reinigungsleistung							k. A.	k. A.	++	+	++	+
Microalgen	+++	++	++	++	k. A.	k. A.	++	k. A.	k. A.	++	++	+	+
dichte Membranverfahren	++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+	+	+++	++	+
MBR	+++	+++	++	++	+++	++	++	+++	+	+	++	++	+++
Chemische Verfahren	+++	+++	k. A.	++	k. A.	k. A.	++	+	++	+	+++	++	+
Bepflanzte Bodenfilter	++	+	+	o	++	+	++	++	+++	+++	+	+	+++
Dachbegrünung	+	+	+	o	++	+	++	++	+++	+++	+	+	+
Fassadensystem	+	+	+	o	++	+	++	++	+++	+++	+	+	+

3.3.3 Nachbehandlung und Desinfektion

Das Hauptziel der Nachbehandlung besteht darin, die Qualität des gereinigten Wassers weiter zu verbessern, um sicherzustellen, dass es den vorgeschriebenen Standards und Vorschriften entspricht, bevor es in die Umwelt abgegeben wird.

Aktivkohleadsorption

Unter Adsorption versteht man die Anreicherung verschiedener Stoffe (Adsorptive) an einer benachbarten Oberfläche (Adsorbens). Als Adsorbens wird in der Abwasserreinigung oft Aktivkohle genutzt. Sie verfügt über eine sehr große innere Oberfläche und entfernt organische Verbindungen, Schwermetalle oder gelöste Gase (b.is, 2013). Neben dem mechanisch-chemischen Trennprozess kann zusätzlich noch ein biologischer Abbau der Grauwasserinhaltsstoffe stattfinden. Wenn die Adsorptionskapazität aufgebraucht ist, sammeln sich Bakterien im Filterbett an und ein biologischer Abbau im Aktivkohlefilter startet (Hess und Morgenroth, 2021). Dieses Verfahren wird auch biological activated carbon (BAC) genannt. Hess und Morgenroth (2021) fanden in Ihrer Studie heraus, dass der biologische Prozess vor allem im oberen Teil des Filters stattfindet, und die eigentliche Adsorption im unteren Bereich des Filters, wo die Oberfläche der Aktivkohle noch nicht beladen ist.

Die Vorteile eines Aktivkohlefilters beziehungsweise eines BACs liegen in der einfachen und kostengünstigen Möglichkeit die biologische Stabilität des gereinigten Grauwassers zu verbessern (vgl. Khajvand et al., 2022).

Membranverfahren

Eine Nachbehandlung von Grauwasser kann auch mittels Membranverfahren erfolgen. Es sollte hierfür mindestens eine Ultrafiltration eingesetzt werden, da bei der Porenweite von 0,1 µm bis 0,01 µm Bakterien und Viren zurückgehalten werden.

Besonders geeignet ist jedoch die Nanofiltration, da sie neben Bakterien und Viren auch organische Verbindungen und zweiwertige Ionen zurückhält. Nachteilig wirkt sich der hohe Energiebedarf auf das Verfahren aus.

3.3.4 Desinfektion

Die Desinfektion bezieht sich auf den spezifischen Prozess der Abtötung oder Inaktivierung von Krankheitserregern im Abwasser, insbesondere von pathogenen Mikroorganismen wie Bakterien, Viren und Parasiten. Das Hauptziel der Hygienisierung besteht darin, das Abwasser sicher für die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu machen. Dies ist besonders wichtig, wenn eine Wasserwiederverwendung angestrebt wird. Normalerweise wird eine Desinfektion durch Verfahren wie Chlorierung, UV-Bestrahlung oder Ozonbehandlung erreicht.

Aufgrund der großen Wirkung, dem geringen Betriebsaufwand sowie Platzbedarf, ist der Einsatz von UV-Strahlung als Desinfektion zu empfehlen. Zudem entstehen bei der UV-Desinfektion keine Nebenprodukte, die im Nachgang wieder entfernt werden müssen und gegebenenfalls die Gesundheit durch eine Wiederverwendung des Wassers beeinträchtigen. Andere Verfahren wie die Ozonung, der Einsatz von Chlorgas oder Chlordioxid haben zwar ebenfalls eine hohe Desinfektionswirkung, haben aber auch wie in Tabelle 16 sehen einige Nachteile.

Tabelle 16: Bewertung der Verfahren zur Desinfektion von Grauwasser (Kohlhepp, 2023 verändert und ergänzt nach Roeske, 2019)

Verfahren	Bakterien	Viren	Parasiten	Depotwirkung	Entstehung von Desinfektionsnebenprodukten	Aufwand	Platzbedarf
UV-Strahlung	++	++	++	o	o	+	+
Ozonung	++	++	+	o	++	++	++
Chlorgas	++	+	o	+	++	++	++
Chlordioxid	++	++	o	++	++	++	++

3.3.5 Systemlösungen

Neben der individuellen Zusammenstellung der Aufbereitungsmöglichkeiten gibt es bereits seit einigen Jahren Systemlösungen auf den Markt. Diese sind speziell auf die Aufbereitung von Grauwasser ausgelegt. Zur sicheren und effizienten Aufbereitung werden auch hier kombinierte Verfahren aus einer Vorbehandlung, Hauptbehandlung und einer Nachbehandlung und/oder Desinfektion verwendet. Anhand der Systemlösung kann eine Tendenz abgelesen werden, welche Aufbereitungsverfahren für Grauwasser in der Praxis gut umsetzbar sind. So hat es sich etabliert, dass Analgenhersteller, welche aktuell Komplettsysteme anbieten, zur Vorreinigung in der Regel ein Sieb verwenden. Anschließend wird der Tank sowohl für die biologische Abwasserreinigung als auch als Absetzen verwendet. Für die Hauptreinigung wird vermehrt das Wirbelbettverfahren oder ein Membranbioreaktor eingesetzt. Manche Hersteller bieten zusätzlich eine nachgeschaltete UV-Desinfektion an. Da es bisher keine einheitliche Regelung bezüglich der Qualitätsanforderungen gibt, beziehen sich die Hersteller auf unterschiedliche Richtlinien oder auf Regelungen aus dem Ausland wie die NSF/ANSI 350.

Geworben wird dabei für Anlagen für das Einfamilienhaus bis hin zu Großanlagen im Quartiersmaßstab. Zusätzlich werden oftmals individuell geplante Anlagen angeboten.

3.4 Speicherung und Verteilung

Damit das gereinigte Grauwasser für den Anwender jederzeit verfügbar gemacht werden kann, muss es in einem Klarwassertrank zwischengespeichert werden. Anschließend kann das Klarwasser weiterverteilt werden.

Speicherung

Im Gegensatz zu Retentionsspeichern, die Niederschläge und Starkregenereignisse abpuffern sollen und daher nach dem Regenereignis wieder schnell entleert werden müssen, liegt das übergeordnete Ziel der Grauwasserspeicherung in der Wasserwiederverwendung und nicht in der Retentionswirkung.

Es ist wichtig, das gespeicherte Grauwasser nicht zu lange aufzubewahren, da es anfällig für Wiederverkeimung sein kann. Studien haben gezeigt, dass selbst bei einer vorherigen Chlorung bereits nach 24 Stunden erste Wiederverkeimungen auftreten können (Petousi et al., 2023). Trotzdem ist es ratsam, das Grauwasser vor der Speicherung mit Chlor zu behandeln, da Chlor im Gegensatz zu den anderen Desinfektionsverfahren, eine Depotwirkung hat und das Wasser länger keimfrei halten kann. Zusätzlich kann während der Speicherung zyklisch und vor der eigentlichen Wasserwiederverwendung eine weitere Desinfektion mit UV-Licht durchgeführt werden, um mögliche Keime zu eliminieren (vgl. PURION, 2023)

Besonders komplex wird die Speicherung von Grauwasser, wenn es ausschließlich für Bewässerungszwecke verwendet werden soll, da hier der Klarwasserbedarf je nach Jahreszeit und Witterung sehr stark schwankt. Der Anfall des Grauwassers kann im Vergleich dazu als konstant betrachtet werden. Der Wasserbedarf für eine Bewässerung der Grünflächen wurde beispielhaft für ein Modellquartier berechnet. In Abbildung 7 ist die Schwankung des Bedarfs sehen.

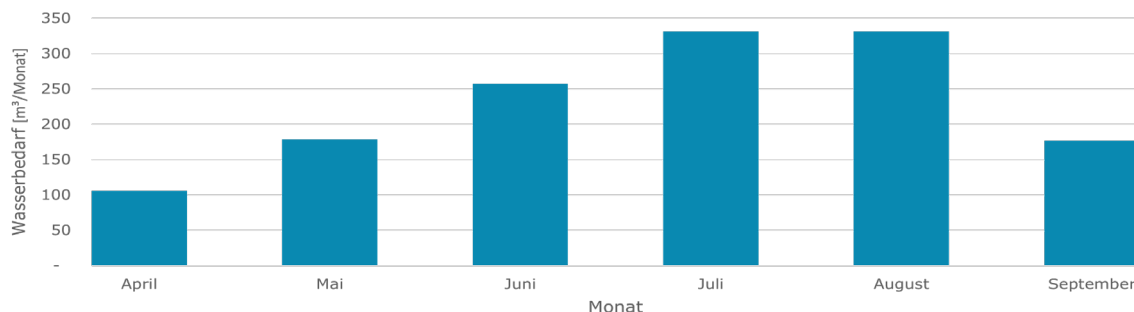


Abbildung 7: Schwankung des Bedarfs an Bewässerungswasser über den Bewässerungszeitraum im 2. Bauabschnitt des Modellquartiers Bergmannsgrün in Dortmund-Huckarde (Beyer et al., 2023)

Bei einer Anlage, die nur zu Bewässerungszwecken betrieben wird, ist daher zu evaluieren, ob eine größere Anlage nur im Sommer betrieben werden soll, oder eine kleinere Anlage ganzjährig betrieben wird, dafür aber ein sehr großer Wasserspeicher zum Einsatz kommen soll. Zu bedenken ist, je größer der Klarwasserspeicher ist, desto schwieriger wird es, eine hygienisch ausreichende Qualität des Grauwassers sicherzustellen.

Insgesamt ist die Speicherung von Grauwasser eine wichtige Maßnahme, um eine effiziente Wasserwiederverwendung zu gewährleisten. Systeme mit Wasserspeichermöglichkeiten erfordern jedoch eine sorgfältige Planung und einen sachgerechten Betrieb um eine sichere und hygienisch unbedenkliche Nutzung zu gewährleisten

Verteilung

Wenn eine Wiederverwendung des gereinigten Grauwassers als Betriebswasser gewünscht wird, muss zudem eine zweite Wasserleitung installiert werden. Denn nach DIN EN 1717 (2011) darf durch „Ursachen in Wohnanlagen oder gefährdendes Wasser oder andere nicht gewünschte Stoffe“ keine Verunreinigungen des Trinkwassers erfolgen. Nach DIN 1988-100 (2011) ist eine Verbindung zwischen Trinkwasser- und Nicht-Trinkwasseranlagen nicht zulässig. Das Trinkwassersystem muss vor Verunreinigung durch Rückfließen geschützt werden. Vorgaben und Maßnahmen zur fachgerechten Trennung beider Systeme und zum Einsatz von Sicherungssystemen und Schutzmaßnahmen finden sich ebenfalls in der DIN EN 1717.

Außerdem muss die Betriebswasserleitung durch eine andere Farbe oder Beschriftung eindeutig von der Trinkwasserleitung unterschieden werden können. Auch die Entnahmestellen müssen entweder Textlich mit „Kein Trinkwasser“ oder Bildlich, wie in Abbildung 8 dargestellt, gekennzeichnet werden (DIN EN 16941-2, 2021).



Abbildung 8: Bildliche Kennzeichnung „Kein Trinkwasser“ (DIN EN ISO 7010, 2020)

4. MONITORING

Die Qualität des für die Bewässerung verwendeten Wassers ist entscheidend für den Erhalt und den Schutz der bewässerten Umgebung und der Menschen im Umfeld. Demnach ist die Entwicklung und Umsetzung einer geeigneten Überwachungsstrategie unentbehrlich für den Gesundheits- und Umweltschutz in Wasserwiederverwendungsprojekten und zentrale Voraussetzung für eine Akzeptanz in der Bevölkerung.

In diesem Abschnitt des Leitfadens werden daher Hinweise und Empfehlungen zur Überwachung der Qualität (Monitoring) von behandeltem und gespeichertem Grauwasser zu Bewässerungszwecken von Grünanlagen, Jungbäumen und Hecken gegeben. Schon bei der Planung von Wasserwiederverwendungsprojekten sollten Aspekte eines zukünftigen Monitorings der Wasserqualität Berücksichtigung finden. Daher werden in diesem Leitfaden Hinweise und Empfehlungen zur Probenahme und den Analysen gegeben. Hierbei finden die Schutzgüter Mensch, Umwelt (Gewässer, Pflanzen, Boden) und Tier Berücksichtigung.

Weiterhin werden Literaturstellen für weitergehende Informationen gelistet, die bei spezifischen Fragestellungen zu Grauwasserprojekten herangezogen werden können.

4.1 Normative Verweise

Auf die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen.

- Verordnung (EU) 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (EU-Verordnung 2020/741, 2020)
- Europäische Kommission, Bekanntmachung der Kommission, Leitlinien zur Anwendung der Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (2022/C 298/01), 2022, online verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805(01)), abgerufen am 07.08.2024
- International Organization for Standardization (ISO) 16075/1-5, Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects, 2020
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., DWA-M 277, Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen (DWA-M 277, 2017)
- World Health Organization (WHO), Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (volume I – IV), 2006, online verfügbar unter: <https://www.who.int/publications/i/item/9241546824>, abgerufen am 07.08.2024
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Guidelines for water reuse, 2012, online verfügbar unter: <https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>, abgerufen am 07.08.2024
- Endbericht der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) – Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA – Vollversammlung, 2022, online verfügbar unter: https://www.lawa.de/documents/endbericht-lawa-ag-water-reuse-barrierefrei_1689856679.pdf, abgerufen am 07.08.2024

4.2 Wichtige Aspekte in der Planungsphase

Ein Monitoringprogramm muss Informationen zum Parameterumfang, zur Lage der Probenahmestellen, zur Art der Probenahme, zur Häufigkeit der Probennahmen und ggf. zum Zeitpunkt der Probennahme enthalten. Für die Entwicklung eines geeigneten Monitoringprogramms sind Vorabinformationen über die Zusammensetzung des Grauwassers (Herkunft, angeschlossene Einheiten etc.), die Behandlungsanlage sowie das Verteilungsnetz inkl. Speichervorrichtungen sowie den geplanten Bewässerungszweck von besonderer Relevanz. Diese Informationen sollten vom Bauherrn oder entsprechend Beauftragten im Vorfeld zusammengetragen werden.

Der analytische Prozess beginnt bei der Probenahme. Daher sollte schon bei der Planung und Errichtung von Anlagen für die Behandlung und Speicherung von Grauwässern die Einrichtung geeigneter und gut zugänglicher Probeentnahmestellen Berücksichtigung finden. Die Nachrüstung von Entnahmestellen nach Errichtung einer Anlage ist in der Regel mit deutlich höheren Kosten verbunden. Unter Umständen ist zudem keine optimale Positionierung der Entnahmestellen mehr möglich.

Die Planung der Entnahmestellen sollte optimalerweise unter Hinzuziehung von Personen mit analytischem Knowhow und in Abstimmung mit der zuständigen Behörde erfolgen.

Grundsätzlich sollten mindestens an folgenden Punkten Probeentnahmestellen eingeplant werden:

- vor und nach der Grauwasseraufbereitungsanlage
- vor und nach Grauwasserspeichervorrichtungen

Je nach Größe des Grauwassersystems sind ggf. Probeentnahmemöglichkeiten für einzelne Teilströme und an einer Übergabestelle (Verwendung durch Dritte) einzuplanen. Bei der Beprobung von Speicheranlagen ist zu berücksichtigen, dass auch die Möglichkeit gegeben ist, nicht ständig durchströmte Bereiche zu beproben, da hier aufgrund hoher Verweilzeiten ggf. die Qualität negativ beeinflusst werden kann.

Die Probeentnahmestellen sollten darüber hinaus folgende Eigenschaften aufweisen:

- gute Zugänglichkeit; auch für die Option zur Installation von automatischen Probenentnahmegeschäften und zur Befüllung größerer Probenahmegefäße (ca. 10 Liter)
- eindeutige Beschriftung der Probeentnahmestelle
- für die mikrobiologische Probenahme sollten die Entnahmevorrichtungen desinfizierbar sein (z. B. einfache Kugelhähne mit abflammbarem Entnahmerohr)
- Möglichkeiten zum Ablassen stagnierender Wassermengen

Die Planung und Durchführung des Monitorings sollte in Zusammenarbeit mit erfahrenen analytischen Untersuchungsstellen bzw. in Fragen der Wasserqualität ausgewiesenen Fachleuten erfolgen. Hierbei sollte insbesondere auf die Expertise bei der Untersuchung von Abwasserproben geachtet werden. Je nach behördlichen Auflagen sind nach DIN EN ISO 17025 akkreditierte Untersuchungsstellen mit den Analysen zu beauftragen. Bei der Auswahl geeigneter Untersuchungsstellen ist auch das Untersuchungsspektrum von Relevanz, daher wird im Folgenden eine zusammenfassende Übersicht über wichtige analytische Parameter für die Grauwasserüberwachung gegeben.

4.3 Parameter und Beprobungshäufigkeit für das Monitoring behandeltem Grauwasser für Bewässerungszwecke

Für die Bewertung der Qualität des Bewässerungswassers sollten sowohl chemische als auch mikrobiologische Parameter herangezogen werden. In Tabelle 17 sind empfohlene Parameter und mögliche Indikator- bzw. Summenparameter aufgelistet.

Tabelle 17: Mögliche Parameter und zugehörige Indikatoren zur Qualitätsüberwachung von behandeltem Grauwasser zu Bewässerungszwecken mit möglichen Nachweismethoden

Indikatorparameter oder Summenparameter		Normen zur Nachweismethodik	
mikrobiologisch	Humanpathogene Bakterien:		
	<i>E. coli</i> und coliforme Bakterien	z.B. nach DIN EN ISO 9308	
	Salmonellen/ <i>Campylobacter</i>	z.B. nach DIN EN ISO 19250	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	z.B. nach DIN EN ISO 16266	
	<i>Legionella spp.</i>	z.B. nach DIN EN ISO 11731	
	<i>Clostridium perfringens</i>	z.B. nach DIN EN ISO 14189	
	Intestinale Enterokokken	z.B. nach DIN EN ISO 7899	
	Helminthen/ Nematoden	z.B. angepasst nach DIN EN ISO 23611-4	
	Humanpathogene Viren	Bakteriophagen / F-RNA Coliphagen/ somatische Coliphagen	z.B. nach DIN EN ISO 10705
	Protozoen	<i>Giardia/ Cryptosporidium</i>	z.B. nach ISO 15553
chemisch-physikalisch	Arzneimittelrückstände	CSB/ BSB; Salzgehalt/ Leitfähigkeit; Sauerstoffsättigung; pH; TOC; Stickstoff; Phosphor; Kalium; Schwefel	s. Normverfahren in DIN EN ISO 19684-10
	Rückstände Personal Care Products		
	Schwermetalle		
	Restchlorgehalt		
	Tenside/ Pestizide		
	Lösungsmittel/Weichmacher		
	Nährstoffe		
	Öle/ Fette		
	TDS/ TSS	Temperatur; Farbe; Geruch; Schwebstoffe; Trübung	s. Normverfahren in DIN EN ISO 19684-10
	Verstopfen der Systeme		

Die oben genannten Parameter zur Qualitätsüberwachung von Wässern finden aktuell bereits in der Praxis im Rahmen verschiedener Richtlinien, Gesetzen, technischen Regeln oder Empfehlungen Anwendung (vgl. Kapitel RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN). Die Grenzwerte variieren je nach geforderter Qualitätsstufe. Die jeweiligen Anforderungen sind abhängig von den Rahmenbedingungen

und dem spezifischen Bewässerungszweck in Zusammenarbeit mit der zuständigen Behörde festzulegen.

Im Anhang A finden sich literaturbasierte Empfehlungen zu Untersuchungshäufigkeiten für mikrobiologische und chemisch-physikalische Parameter bei behandeltem und unbehandeltem Grauwasser. Hierbei ist grundsätzlich zwischen den folgenden beiden Szenarien zu unterscheiden (1) Inbetriebnahme eines Grauwassersystems und sonstigen besonderen Ereignissen und (2) der routinemäßigen Überwachung.

Die Festlegung des konkreten Untersuchungsspektrums sowie der Beprobungshäufigkeit sollte in Abstimmung mit der zuständigen Behörde bzw. ggf. auf Grundlage einer behördlichen Mitteilung oder Genehmigung und unter Hinzuziehung der zu beauftragenden Untersuchungsstelle erfolgen.

4.4 Grundsätzliche Aspekte für die Durchführung der Probenahme

Die Probenahme ist detailliert mit der zu beauftragenden Untersuchungsstelle abzustimmen. Unterschiedliche Parameter erfordern unterschiedliche Probenahmen. Sofern die Probenahme nicht von der zu beauftragenden Untersuchungsstelle durchgeführt wird, sollte diese von geschultem und qualifiziertem Personal erfolgen. Fehler die im Probenahmeprozess gemacht werden führen dazu, dass die Ergebnisse unter Umständen wertlos für den Auftraggeber sind. Folgende Punkte bedürfen der Abstimmung mit der zu beauftragenden Untersuchungsstelle:

- Wie wird sichergestellt, dass das Personal entsprechend geschult ist? (Hinweis: Für die mikrobiologischen Probenahme ist zudem auf eine sterile Probenahme zu achten.)
- Wie muss die Probenahme erfolgen? Handelt es sich um eine Stichprobe oder um eine Mischprobe?
- Welche Probengefäße (Material und Art) werden benötigt (sollten vorzugsweise von der Untersuchungsstelle bereitgestellt werden)
- Welche Probenvolumina müssen abgefüllt werden?
- Sofern die Proben nicht selbst von der Untersuchungsstelle entnommen werden: Werden die maximalen Transport- und Lagerungszeiten sowie Lagerungsbedingungen eingehalten (ggf. Kühlung, dunkle Lagerung bis Abholung)? Wie erfolgt die Beschriftung der Probengefäße (Minimum: Datum, Ort, Zeit, Probennehmer, Auffälligkeiten während Probenahme)?

Weitergehende Informationen und Hinweise zur Probenahme finden sich zudem in den folgenden Normen:

- ISO 5667 – Water quality – Sampling:
 - DIN EN ISO 5667-1:2023-04, Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken (ISO 5667-1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 5667-1:2022
 - DIN EN ISO 5667-3:2019-07, Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben (ISO 5667-3:2018); Deutsche Fassung EN ISO 5667-3:2018
 - ISO 5667-10:2020-11, Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 10: Anleitung zur Probenahme von Abwasser
- DIN EN ISO 19458:2006-12, Wasserbeschaffenheit – Probenahme für mikrobiologische Untersuchungen (ISO 19458:2006); Deutsche Fassung EN ISO 19458:2006

- DIN 38402-11:2009-02, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A) – Teil 11: Probenahme von Abwasser (A11)
- DIN 38402-30:1998-07, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A) – Teil 30: Vorbehandlung, Homogenisierung und Teilung heterogener Wasserproben (A30)

4.5 Spezifische Anforderungen an ein Monitoring nach Schutzgut

4.5.1 Monitoring der Empfängerböden

Durch die Bewässerung mit aufbereitetem Grauwasser kann es zur Salzanreicherung im Boden kommen. Um Pflanzenschäden zu vermeiden sollte der Empfängerboden auf den Salzgehalt überwacht werden. (ISO, 16075-4)

Die erste Probennahme sollte idealerweise vor Inbetriebnahme des Grauwassersystems und der Bewässerung erfolgen, um den Einfluss der Bewässerung mit Grauwasser bewerten zu können. Danach sollte der Boden in der Wurzelzone in einer Häufigkeit beprobt werden, die von der Wasserqualität, den Bodeneigenschaften, dem Bewässerungsregime und der Salztoleranz der Pflanzen abhängt. Im Allgemeinen sollte die Probennahme häufiger erfolgen, wenn die Salzkonzentration im aufbereiteten Wasser erhöht ist, der Boden einen hohen Tongehalt aufweist, große Mengen Bewässerungswasser ausgebracht werden oder die Pflanzen eine geringe Salztoleranz aufweisen. Empfohlene Probennahmehäufigkeiten für den Boden liegen üblicherweise im halbjährlichen bis jährlichen Bereich (vgl. Anhang A).

Die Probennahme des Bodens für die Analyse von Spurenelementen wie Schwermetalle, bedenkliche Schadstoffe und persistente organische Chemikalien sollte basierend auf einer Risikoabschätzung im Vorfeld erfolgen. Hierbei sind Informationen zur Qualität des unbehandelten Grauwassers und der auszubringenden Menge von wesentlicher Bedeutung. Ein häufig empfohlenes Intervall für die Probennahme bei der Bodenüberwachung auf Spurenelemente sind 10 Jahre. (ISO, 16075-4) Bei der Feststellung eines erhöhten Risikos sollte das Intervall angepasst werden.

Entsprechend den Vorgaben in Kapitel 4.2 und Kapitel 4.4 ist auch bei der Untersuchung der Empfängerböden darauf zu achten, dass eine Untersuchungsstelle mit entsprechender Expertise beauftragt wird und die Probennahme in Abstimmung mit der Untersuchungsstelle nur von geschultem Personal durchgeführt wird.

Beim Monitoring des Bodens sollten im Vorfeld auch unbedingt Informationen zu möglichen anderen Einflussfaktoren als dem behandelten Grauwasser eingeholt werden (z. B. Hintergrund-Schadstoffkontaminationen aufgrund von Kontaminationsquellen in der Umgebung, geochemische Einträge aus der Bodenmatrix, ...). Informationen hierzu sollten in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden idealerweise im Vorfeld der Umsetzung eines Grauwasserprojektes zusammengetragen werden.

4.5.2 Monitoring der bewässerten Pflanzen

Nach aktueller Studienlage zu Grauwasserprojekten für Bewässerungszwecke ist nicht davon auszugehen, dass die Bewässerung mit aufbereitetem Grauwasser (bei regelmäßiger Überwachung des verwendeten Wassers und der Empfängerböden sowie der Einhaltung der Mindestqualitätsanforderungen) schädlichen Einfluss auf die Pflanzen nimmt. (Agra et al., 2018; Al-Isawi, Almuktar, & Scholz, 2016; Melo et al., 2020).

Allerdings kann im Einzelfall auch ein Monitoring der Pflanzen sinnvoll sein, um ggf. Schäden durch Versalzung, pflanzentoxische Grauwasserbestandteile oder Nährstoffmangel zu verhindern. Im Falle eines akuten Mangels oder Überschusses kann eine visuelle Beobachtung ausreichen, um die entsprechenden Symptome in Form von Verfärbungen der Blätter oder dem Auftreten von Nekrosen oder Verformungen bei bestimmten Pflanzenteilen zu identifizieren. (Sinaj et al., 2017) Mit einer Blatt- oder Blattstielprobe kann darüber hinaus die Konzentration toxischer Ionen (Chlorid, Bor, Natrium) sowie die Konzentration an Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Mikronährstoffe) bestimmt werden. (ISO, 16075-4) Dafür könnten die Pflanzen das erste Mal bei Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlage beprobt werden und dann jährlich oder wenn sichtbare Veränderungen an den bewässerten Pflanzen auftreten.

Entsprechend den Vorgaben in 4.5.1 und 4.5.3 ist auch bei der Untersuchung der Pflanzen darauf zu achten, dass eine Untersuchungsstelle mit entsprechender Expertise beauftragt wird und die Probenahme in Abstimmung mit der Untersuchungsstelle nur von geschultem Personal durchgeführt wird.

4.5.3 Monitoring der Wasservorkommen in der Umgebung

Die Überwachung der umgebenden Wasservorkommen sollte durchgeführt werden, wenn in Abstimmung mit der zuständigen Wasserbehörde eine Gefährdung hinsichtlich möglicher Verschmutzung von z. B. Oberflächen- oder Grundwasserkörpern zu besorgen ist.

Entsprechend den Vorgaben in 4.5.1 und 4.5.2 ist auch bei der Untersuchung der natürlichen Wasservorkommen in der Umgebung darauf zu achten, dass eine Untersuchungsstelle mit entsprechender Expertise beauftragt wird und die Probenahme in Abstimmung mit der Untersuchungsstelle nur von geschultem Personal durchgeführt wird. Übliche empfohlene Untersuchungsintervalle liegen im halbjährlichen Bereich (siehe ANHANG A).

Wie in Kapitel 4.5.1 für das Schutzgut Boden erwähnt, sollten auch für Wasservorkommen in der Umgebung, die beeinflusst werden könnten, im Vorfeld relevante weitere andere Einflussfaktoren zusammengetragen werden.

5. BEWÄSSERUNGSREGIME

5.1 Bewässerungssysteme

Bewässerungssysteme im urbanen Raum spielen eine entscheidende Rolle bei der Pflege von Grünflächen, Gärten und städtischen Landwirtschaftsprojekten. In Kombination mit einer Grauwasserwiederverwendung können wertvolle Wasserressourcen genutzt werden.

Ein gängiges System im urbanen Raum ist die Tröpfchenbewässerung. Dieses System liefert Wasser direkt an die Wurzeln der Pflanzen, wodurch Verdunstungsverluste minimiert und der Wasserverbrauch optimiert wird. Automatisierte Bewässerungssysteme, die mit Sensoren und Timern ausgestattet sind, sorgen dafür, dass Pflanzen genau die Menge an Wasser erhalten, die sie benötigen, ohne dass menschliches Eingreifen erforderlich ist.

Ein weiteres nützliches Hilfsmittel sind Wassersäcke, auch bekannt als Bewässerungssäcke oder Baumbeutel. Diese Säcke werden um den Stamm von Bäumen gelegt und langsam mit Wasser gefüllt, das dann über einen längeren Zeitraum gleichmäßig an die Wurzeln abgegeben wird. Diese Methode ist besonders effektiv für junge Bäume und in Gebieten, wo regelmäßige Bewässerung schwierig zu gewährleisten ist.

In städtischen Gemeinschaftsgärten und auf Dachgärten wird oft Unterirdische Bewässerung eingesetzt, bei der Wasser durch ein Netzwerk von Rohren direkt an die Wurzeln der Pflanzen gelangt. Dieses System reduziert die Verdunstung und sorgt dafür, dass Wasser effizient genutzt wird.

Sprinklerbewässerungen bieten eine mäßige Wassereffizienz aber dafür ebenfalls mäßigem Installations- und Wartungsaufwand. Es hat ein mittleres Automatisierungspotenzial. Bei der Nutzung von Grauwasser bestehen jedoch erhöhte Gefahren für Mensch und Umwelt, da das Wasser breitflächig verteilt wird und leicht in Kontakt mit Menschen und Tieren kommen kann.

Tabelle 18: Bewertung der Bewässerungsverfahren

Bewässerungssystem	Wassereffizienz	Installationsaufwand und Kosten	Wartungsaufwand	Eignung für kleine Flächen	Automatisierungspotential	Gefahren für Mensch und Umwelt
Tröpfchenbewässerung	+++	++	++	+++	++	++
Automatisierte Systeme	+++	++	++	++	+++	++
Wassersäcke	++	+	+	+++	+	++
Unterirdische Bewässerung	+++	+++	+++	++	++	++
Manuelle Bewässerung	+	+	+	++	+	++
Sprinklerbewässerung	+	++	++	++	++	+++

5.2 Effektive Nutzung von Grau- und Niederschlagswasser im Quartiersbereich

Die Notwendigkeit der Bewässerung von urbanen Grünflächen ist mit dem Austrocknen des feuchtigkeitsunterversorgten Grünlandes begründet. Durch das Austrocknen der Grünflächen entsteht eine annähernd wasserundurchdringliche hydrophobe Oberfläche, auf welcher bei Starkregen/Gewitter das Niederschlagswasser zurückgehalten und das Versickern verhindert wird. Starkregenereignisse führen in diesem Zusammenhang zu einem lokalen Überschwemmungsrisiko.

Aus Sicht der natürlichen Kreisläufe und der ‚Schwammstadt‘ soll erreicht werden, dass mit einer geeigneten Anordnung zur Nutzung von Regen- und Grauwasser das Potenzial der Grundwasserneubildung nicht verschenkt wird.

Im dargestellten Lösungsansatz werden die Nutzungen der zwei Stoffströme Grau- und Niederschlagswasser umgesetzt. Die Stoffströme werden getrennt voneinander erfasst und unter anderem für die Bewässerung von Grünflächen verwendet.

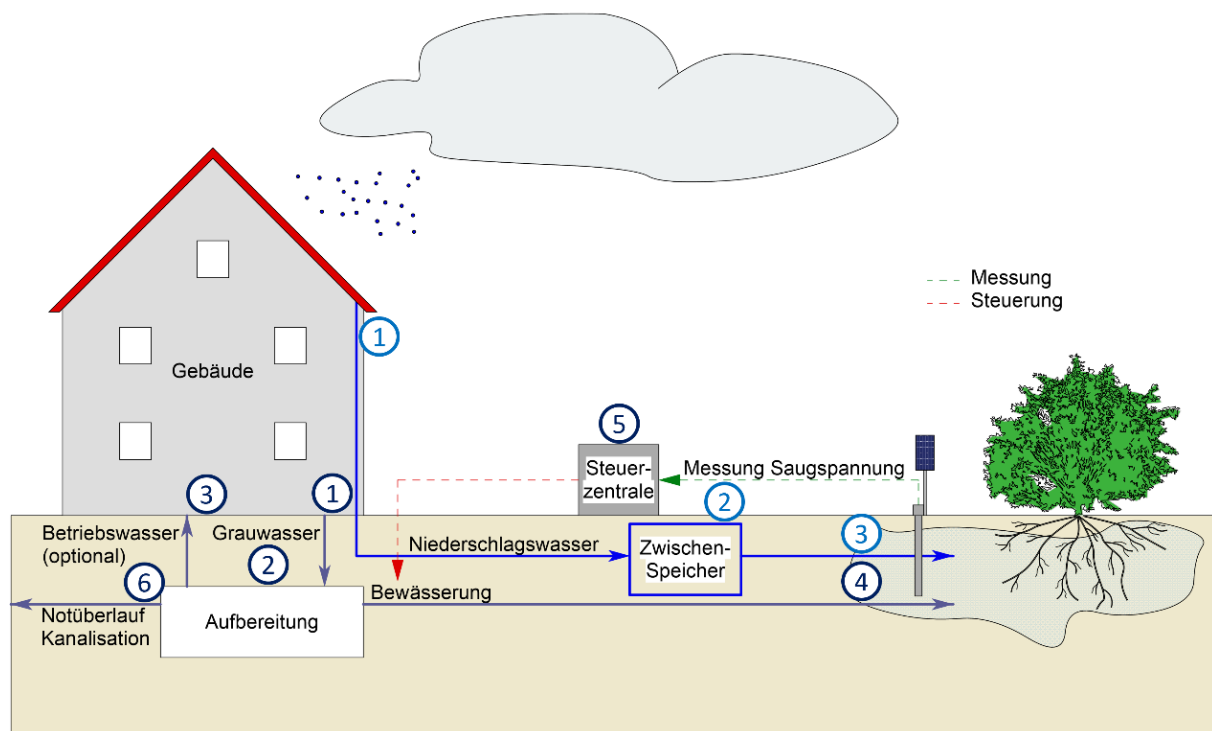


Abbildung 9: Prinzipische Skizze Nutzung Grau- und Niederschlagswasser

Das gereinigte Grauwasser steht in erster Linie den Bewohnern bzw. Nutzern für die Nutzung als Betriebswasser zur Verfügung. Darüber hinaus wird ein Teil des Stoffstromes Grauwasser für die Bewässerung der Grünflächen verwendet. Der Anteil des gereinigten Grauwassers, welcher für die Bewässerung benötigt wird, wird mithilfe einer Steuerzentrale geregelt.

Nachfolgend wird die Funktionsweise des Systems nach den beiden Stoffströmen Grau- und Niederschlagswasser aufgezeigt.

5.2.1 Grauwasser

- ① Das Grauwasser wird in den Gebäuden über ein Freigefälle getrennt erfasst. Dabei wird das Grauwasser aus den Badabwässern und Abwässern von Waschmaschinen gesammelt. Wichtig ist, dass das Grauwasser einen geringen Verschmutzungsgrad aufweist.
- ② Das Grauwasser wird einer Aufbereitung zugeführt. Je nach Abwasseraufkommen und Verschmutzungsgrad ist ein entsprechendes Reinigungsverfahren zu wählen. Ein geeignetes Verfahren stellt beispielsweise das Verfahren mit einem Membran-Bioreaktor (MBR) dar. Der Aufbau der Aufbereitungsanlage ist so zu wählen, dass bei schwankendem Zulauf Puffermöglichkeiten vorhanden sind. Nach der Reinigung ist eine weitere Speicherkapazität für das aufbereitete Grauwasser zu schaffen. Die nachgeschaltete Speicherkapazität muss eine Trinkwassernachspeisung enthalten, um bei Betriebsstörungen oder bei einem erhöhten Bewässerungsbedarf sowohl die Funktionsweise der Betriebswassernutzung als auch der Bewässerung der Grünflächen gewährleisten zu können. Bedeutende Vorteile der Grauwasseraufbereitung mit einem MBR ist der geringe Platzbedarf sowie die hohen Qualitätsparameter der Aufbereitung, welche ebenfalls bei schwankenden Zulaufeigenschaften erreicht werden. Der Aufbau der Anlage ist durch drei 2.000-Liter-Behälter gekennzeichnet, welche sowohl im Gebäude als auch unterflur installiert werden können. Der erste Behälter dient als Speicher für das ungereinigte Grauwasser, welches über Sammelleitungen erfasst wird. Unter der Zugabe von Sauerstoff beginnt die aerobe biologische Reinigung. Dabei wird Ammoniak über Nitrat zu Stickstoff umgewandelt. Im nachgeschalteten Behälter ist die mechanische Reinigung in Form einer Membranfiltertechnik installiert. Die Membranen sind in Kassettenmodule, welche im Wasser getaucht sind, aufgebaut. Bei der Reinigung handelt es sich um eine Ultrafiltration, bei welcher Schmutzpartikel, Bakterien und Viren zurückgehalten werden können. Eine Belüftung sorgt für die Reinigung der Membran und löst dabei Feststoffe von dem Filter. Der dritte Behälter fungiert als Reinwasser- oder Vorratsbehälter. Je nach Bedarf kann aus diesem Behälter über eine Pumpe aufbereitetes Grauwasser für die Bewässerung sowie optional als Betriebswasser genutzt werden (vgl. König (2013, S. 33f.)).

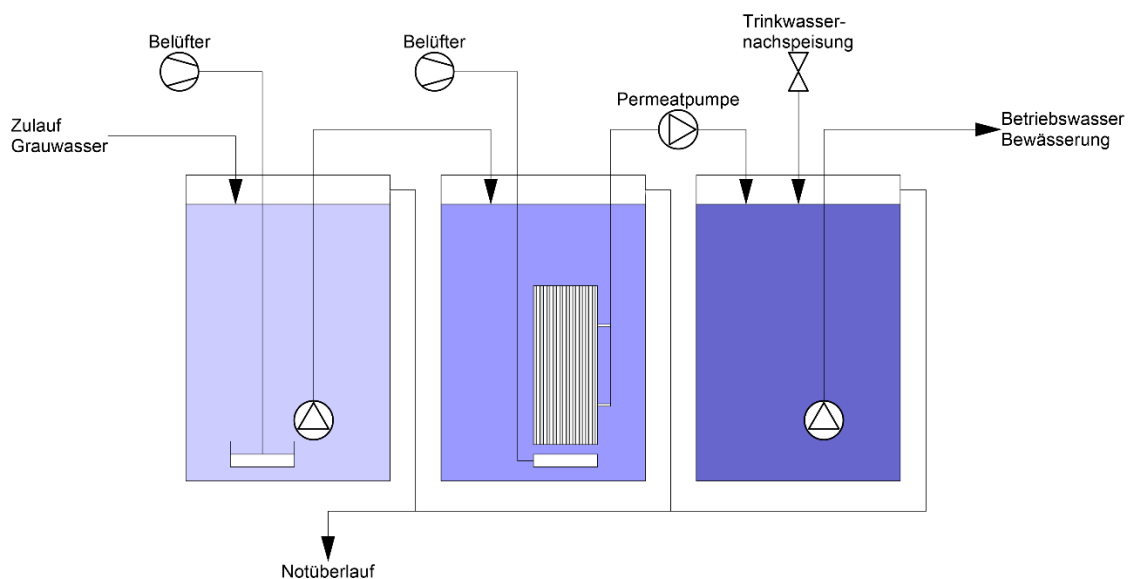


Abbildung 10: Schematischer Aufbau MBR-Verfahren (Eigene Darstellung auf Grundlage von König, 2013)

- ③ Optional kann das aufbereitete Grauwassers dem Gebäude zurückgeführt werden und den Haushalten als Betriebswasser für die Toilettenspülung zur Verfügung stehen. Somit kann ein erheblicher Anteil von Trinkwasser eingespart werden.
- ④ Vorrangig steht das aufbereitete Grauwasser für die Nutzung im Gebäude zur Verfügung. Für den Transport des Grauwassers sind Druckleitungen und Pumpen nötig.
- ⑤ Die benötigte Menge für die Bewässerung der Grünflächen wird mithilfe einer Steuerzentrale geregelt. In der Steuerzentrale wird über das Monitoring der Saugspannung die benötigte Menge des Grauwassers ermittelt.

Die Saugspannung beschreibt den negativen Druck, mit dem der Boden das Wasser in den Poren festhält. Sie gibt somit den Sättigungsgrad wieder, weshalb sie einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Messung der Bodenfeuchte als volumetrischen Wassergehalt [%] hat. Die Messung erfolgt über Sonden, welche im Hauptwurzelbereich angeordnet werden. In der Steuerzentrale wird die Messung der Saugspannung verarbeitet. Für die Steuerung der benötigten Bewässerungsmenge ist die Saugspannung [pascal] im Boden am Wurzelbereich ausreichend. Die Messung erfolgt über Sonden mit Time Domain Reflectometry (TDR) oder Frequency Domain Reflectometry (FDR) (z. B. angeboten vom Marktführer Ecotech).

Neben der eigentlichen Sonde für die Messung der Saugspannung benötigt die Anlage eine Stromversorgung (lokale Batterie oder PV-Modul) sowie eine Sendeeinheit für die Kommunikation mit der Steuerzentrale.

- ⑥ Einen Anschluss an die Kanalisation ist aufgrund von technischen Wartungsarbeiten, Störungen oder als Überlauf bei übermäßigem Anfall von Grauwasser notwendig.

5.2.2 Niederschlagswasser

- ① Das Niederschlagswasser wird über die Dachflächen der Gebäude erfasst und über einem Freigefälle einem Zwischenspeicher zugeführt.
- ② Der Zwischenspeicher dient als Puffermöglichkeit. Ausgehend von dem Zwischenspeicher erfolgt die Bewässerung der Grünflächen. Sollte der Zwischenspeicher als ein Kieswasserspeicher ausgeführt werden, könnte zusätzlich geprüft werden, wie dieser für eine saisonale Wärmespeicherung genutzt werden könnte.
- ③ Die Bewässerung aus dem Zwischenspeicher erfolgt über Druckleitungen und Pumpen. Eine Steuerung der Bewässerung, wie im Fall des Grauwassers, ist nicht vorgesehen. Die Bewässerung der Grünanlagen aus dem Niederschlagswasser soll kontinuierlich stattfinden.

5.3 Sensorbasiertes KI-System

Um eine intelligente Bewässerung der urbanen Grünflächen im Bergmannsgrün zu gewährleisten, wurde im Projekt INNOWATER ein sensorbasiertes KI-System zur Optimierung des Bewässerungsprozesses untersucht. Zu den wichtigsten Bewässerungsparametern zählen Bewässerungsbedarf, Bewässerungsmenge, Bewässerungszeitpunkt und Bewässerungszyklus. Des Weiteren ermöglicht das KI-System das Management weiterer relevanter Parameter für die Bewässerung, wie die zur Verfügung stehenden Ressourcen oder für die Bewässerung relevante Ereignisse und Veranstaltungen.

Mit einer ausreichenden Datenmenge ist ein KI-System in der Lage, Vorhersagen über die anstehende Bewässerungssituation zu treffen, was einen langfristigen Einsatz des KI-Systems rechtfertigt.

5.3.1 Vorhandene Daten

Dem KI-System stehen bereits eine Vielzahl von Daten zur Verfügung, die für eine intelligente Bewässerung der urbanen Grünflächen eingesetzt werden.

1. Regenwasserdaten:

Daten über die anstehenden Regenwassermengen werden vom KI-System in Echtzeit verarbeitet. Die anfallenden Regenwassermengen dienen dem intelligenten Bewässerungssystem auf zwei Wegen: Erstens, Regenwasser erreicht die urbanen Grünflächen auf direktem Wege und bewässert die Grünflächen, ohne dass Hand angelegt werden muss. Zweitens, Regenwasser wird an unterschiedlichen Orten im Quartier gesammelt und den Grünflächen gezielt zugeführt. Da anfallende Regenwassermengen stark schwanken, wird mit der regelmäßigen Abfrage von Regenwasserdaten abgeschätzt, ob das Regenwasser für die Bewässerung ausreicht, oder ob andere Wasserquellen für die Bewässerung in Erwägung gezogen werden müssen.

2. Grauwasseraufkommen:

Das Grauwasseraufkommen wird durch die bereitgestellten Daten über den Wohnraum präzise bestimmt. Über die Wohnungsanzahl, die Wohnungsgrößen und die Einwohnerzahlen liegen dem KI-System aktuelle und zukünftige Grauwasserdaten vor, mit dem das KI-System die Bewässerung der urbanen Grünflächen ressourcenschonend einplant. Je nach definiertem Szenario ist das KI-System selbstständig in der Lage, Grauwasser in unterschiedliche Grünflächen zu befördern und zwischen der Bewässerung mit Grauwasser oder Regenwasser zu entscheiden.

3. Wasserbedarf der Vegetationsmodule:

Neben den vorhandenen Wasserquellen benötigt das KI-System für die intelligente Bewässerung urbaner Grünflächen den Wasserbedarf der verpflanzten Vegetationsmodule. Da verschiedene Vegetationsmodule bewässert werden können, unterscheiden sich die Bewässerungsanforderungen stark. Dem KI-System werden Daten über den Wasserbedarf einzelner Vegetationsmodule eingespielt, damit jedes Vegetationsmodul ausreichend bewässert wird, ohne dass über- oder unterwässert wird. Die Verpflanzung unterschiedlicher Vegetationsmodule stellt eine besondere Herausforderung für das KI-System dar, da das KI-System unterschiedliche Bewässerungsmuster erlernen muss.

5.3.2 Zu erhebende Daten

Um das KI-System für die intelligente Bewässerung der urbanen Grünflächen in den urbanen Wohngebieten zu optimieren, sollten weitere Echtzeitdaten erhoben werden. Wenn die Daten über das Wasseraufkommen, sowie über den Wasserbedarf durch weitere Daten ergänzt werden, erhöht sich die Leistung und die Präzision der Datenanalyse des KI-Systems.

1. Sensordaten:

Um den Wasserbedarf der verschiedenen Vegetationsmodule mit ausreichender Präzision zu ermitteln, sollten Sensoren den Datenerhebungsprozess unterstützen. Sensoren ermitteln Echtzeitwerte für gezielte Parameter mit sehr hoher Genauigkeit. Beispielsweise unterstützen Feuchtigkeitssensoren, die in die Vegetationsmodule eingesetzt werden, die Ermittlung des Wasserbedarfs. Dadurch werden Wasserbedarfswerte präzise bestimmt, ohne dass sich das KI-System vollumfänglich auf theoretische Werte oder geschätzte Werte verlassen muss. Je präziser die Werte sind, die dem KI-System übermittelt werden, desto präziser erfolgt die Datenanalyse und die damit einhergehende Vorhersage.

2. Soziale Aspekte

Auch soziale Aspekte liefern eine wertvolle Datenlage für das KI-System. Mit Daten über bevorstehende Ereignisse wird dem KI-System ermöglicht, besondere Bedingungen einzukalkulieren um auf eine außerordentliche Situation vorbereitet zu sein. Beispielsweise helfen Daten über Veranstaltungen dem KI-System, einen großen Grauwasseranfall an einem bestimmten Ort zu bewältigen. Außerdem ist das KI-System während der Schulferien auf eine geringere Anzahl anwesender Bewohner und damit einem kleineren Grauwasseranfall vorbereitet.

Mit einer ausreichenden Menge und der Diversifizierung von Daten ist es möglich, den Bewässerungsprozess zu optimieren. Auf diese Art werden urbane Grünflächen im Quartier nachhaltig kultiviert und der Wohnkomfort wird erhöht. Ein weiterer Vorteil ist die dauerhafte Überwachung von unterschiedlichen Parametern, die für die Bewässerung von Bedeutung sind. Dadurch sind Bauherren und Projektpartner stets über den Zustand der Grünflächen und des Bewässerungssystems informiert.

5.3.3 Optimierung der Bewässerungszwecke durch den Einsatz eines sensorbasierten KI-Systems

Das sensorbasierte KI-System optimiert den Bewässerungsprozess, indem es eine spezifische Bewässerung für jedes Vegetationsmodul ermöglicht. Außerdem verhilft das KI-System dabei, ressourcenschonend zu bewässern und einen Überblick über wichtige Parameter zu bewahren. In Abbildung 11 sind die Inputs und Outputs des KI-Systems dargestellt.

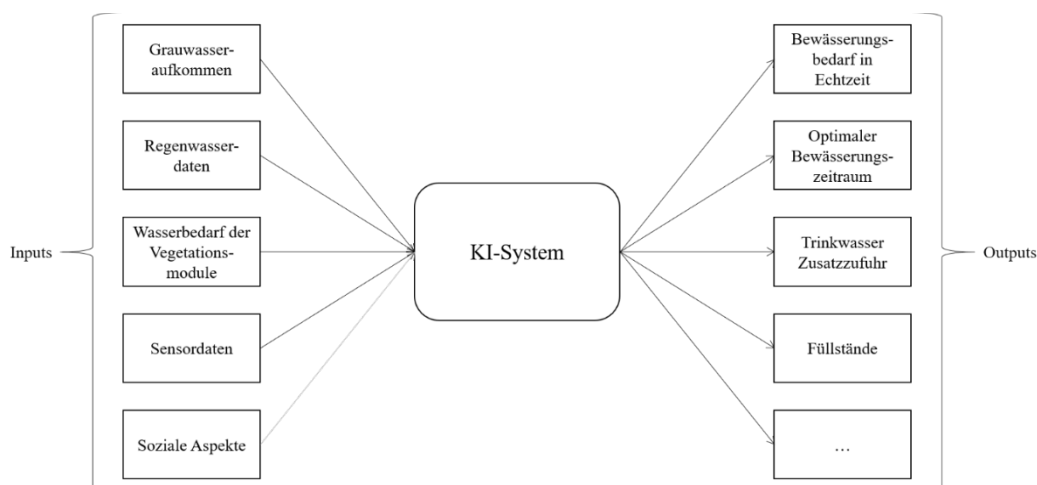


Abbildung 11: Inputs und Outputs des KI-Systems

Die in den vorangegangenen Kapiteln besprochenen Daten sind in Abbildung 11 als Inputs auf der linken Seite aufgeführt. Mit einer ausreichenden Menge an Daten ist das KI-System in der Lage, wertvolle Outputs zu erzeugen, die den Bewässerungsprozess optimieren. Durch die erhobenen Sensordaten ist das KI-System in der Lage, den Bewässerungsbedarf in Echtzeit zu bestimmen. Echtzeitdaten erzielen eine optimierte Bewässerung, da das KI-System den Bewässerungsbedarf nicht anhand theoretischer Werte ermittelt, sondern mit erhobenen Daten. Eine große Menge erhobener Daten ermöglicht es für diesen Anwendungsfall, den Bewässerungsbedarf vorherzusagen. Durch die frühe Kenntnis über die optimale Menge an Wasserzufuhr, können Ressourcen nachhaltig eingesetzt werden, ohne einzelne Ressourcen zu überlasten. Der Bewässerungsbedarf, sowie die Regenwasserdaten und die Grauwasserdaten ermöglichen dem KI-System, langfristige Aussagen über die Füllstände der Sammelbehältnisse für Regenwasser und Grauwasser zu treffen.

Ein weiterer Output, den das KI-System durch die Zufuhr großer Datenmengen ermöglicht, ist die benötigte Menge an Trinkwasser die dem Bewässerungsprozess zugeführt werden muss, um die Grünflächen ausreichend zu bewässern. Im optimalen Fall ermöglicht das sensorbasierte KI-System für die Bewässerung der urbanen Grünflächen den Verzicht auf zusätzliche Trinkwasserzufuhr. Da jedoch Regenwasser- und Grauwasseranfall schwanken können, ist das KI-System in der Lage Trinkwasser bei Bedarf nachzuliefern. Mit Hilfe der großen Datenmengen ist das KI-System in der Lage Erfahrungswerte zu erlernen, die den Bewässerungsprozess optimieren. Dazu zählen auch optimale Bewässerungszeiträume einzelner Vegetationsmodule. Das KI-System reagiert dabei auf besonders ertragreiche Perioden und lernt optimale Bewässerungszeiträume iterativ.

5.3.4 Hardware

Für die Umsetzung des intelligenten, sensorbasierten KI-Systems für die Bewässerung urbaner Grünflächen sind in erster Linie die Sensoren von großer Bedeutung. Wesentlich für den Bewässerungsprozess sind gängige Feuchtigkeitssensoren, die in die Vegetationsmodule eingesetzt werden können. Je nach Wunsch des Bauherren kann das KI-System mit zusätzlichen Sensoren ausgestattet werden. Beispielsweise können Temperatursensoren und pH-Sensoren eingesetzt werden, um weitere qualitative Daten im Bewässerungsprozess zu erheben. Je größer die Datenmenge ist und je diverser die erhobenen Daten sind, desto präziser die Analyse- und Vorhersageergebnisse des KI-Systems.

6. BEWERTUNG DES POTENZIALS ZUR GRAUWASSERNUTZUNG IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG MIT ABLEITUNG EINER BEWERTUNGSMATRIX

Die Auswahl des geeigneten Standorts für die Implementierung eines Grauwassernutzungssystems ist von entscheidender Bedeutung. Eine gründliche Standortanalyse berücksichtigt lokale klimatische Bedingungen, die Verfügbarkeit von Grauwasserquellen sowie gesetzliche und baurechtliche Anforderungen. Zudem ist die Beschaffenheit der Liegenschaft ein wesentlicher Faktor. Die Art der Bebauung, die Anzahl der Bewohner und die infrastrukturelle Integration spielen eine Rolle bei der Feststellung der technischen Machbarkeit.

Des Weiteren ist eine detaillierte Analyse der bestehenden Wasserinfrastruktur notwendig, um die Anpassungen und Ergänzungen für die Integration von Grauwassernutzungssystemen zu planen. Die Identifikation potenzieller Risiken, wie beispielsweise Bodenbeschaffenheit oder mögliche Umweltauswirkungen, ist ebenfalls von großer Bedeutung und ermöglicht eine frühzeitige Entwicklung von Lösungsstrategien.

Zusätzlich sollte die soziale Akzeptanz in der Gemeinschaft berücksichtigt werden. Informationsveranstaltungen und Beteiligungsprozesse können dazu beitragen, die Bewohner über die Vorteile der Grauwassernutzung aufzuklären und ihre Bedenken oder Anregungen zu berücksichtigen.

Insgesamt sind die Zielfestlegung sowie Standort- und Liegenschaftsanalysen essenzielle Schritte im Planungsprozess für die Grauwassernutzung in Wohngebieten. Durch eine sorgfältige Planung können nicht nur ökologische Vorteile realisiert, sondern auch eine langfristige, nachhaltige Integration dieser innovativen Wassernutzungstechnologie gewährleistet werden.

Um potenziellen Bauherren eine Einschätzung darüber zu ermöglichen, ob und wie gut ihr Quartier für eine Grauwassernutzung geeignet ist, soll die im folgenden erstellte Kriterienmatrix verwendet werden. Diese kann entweder von den Bauherren selbst oder von einem Planer ausgefüllt werden. Um eine schnelle erste Einschätzung des Potenzials zu ermöglichen, sollte die Handhabung des Katalogs einfach sein. Umgesetzt wurde dies durch ein Ankreuzsystem. Dabei spiegelt die Bewertung 1 kein Potenzial und die Bewertung 5 ein sehr großes Potenzial für eine Grauwasserwiederverwendung wider.

6.1 Erstellen des Kriterienkatalogs auf Basis festgelegter Kriterien

Um den Kriterienkatalog und somit die Bewertungsmatrix nicht unnötig kompliziert zu gestalten werden neben dem Recht lediglich 7 Überkriterien gebildet. Gegliedert werden die Kategorien in die übergeordneten Kriterien Recht, Gebäude und Infrastruktur, Grauwasser- und Nutzungsverfügbarkeit, Nutzungswunsch des Bauherrn, Grauwasserqualität, Ökologie und Ökonomie und soziale Aspekte. Wie in Abb. 8 verdeutlicht, steht das Kriterium Recht dabei über allen anderen Kriterien, da dies unter Umständen direkt zu einem Ausschluss einer Grauwasserwiederverwendung führen kann.



Abbildung 12: Übersicht der Kriterien zur Potenzialabschätzung für die Nutzung von Grauwasser in ökologisch ausgerichteten Wohnsiedlungen (Kohlhepp, 2023)

Jedes übergeordnete Kriterium beinhaltet mehrere untergeordnete Kriterien, welche später in der Bewertungsmatrix in Form von Aussagen oder durch das Füllen von Lücken an den Bauherrn adressiert werden. Insgesamt muss der Bauherr ohne die Bewertung der rechtlichen Aspekte 26 untergeordnete Kriterien mit Hilfe des Kriterienkatalogs bewerten.

Damit die Bewertungsmatrix selbst übersichtlich bleibt, werden im separaten Kriterienkatalog die Bewertungsmöglichkeiten von 1 bis 5 definiert. Anhand der einheitlichen Nummerierung ist jedes Kriterium eindeutig in jedem der drei Dokumente zuordenbar. Zum besseren Verständnis des Kriteriums wird in einer zusätzlichen Spalte das Kriterium kurz ausgeführt, auf welcher Datengrundlage die Bewertung erfolgen muss. Ein Auszug zur Verdeutlichung des Aufbaus des Kriterienkatalogs ist in Tabelle 19 zu sehen. Der komplette Kriterienkatalog kann dem Anhang C entnommen werden.

Tabelle 19: Auszug aus dem Kriterienkatalog zur Bewertung des Potenzials einer Grauwassernutzung (Kohlhepp, 2023)

6 Ökologie			
Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
6.1 Die Niederschlagsmenge im Sommer ist im Durchschnitt der letzten 5 Jahre im Vergleich zum Referenzzeitraum um ... gesunken	1 = > -5 % 2 = -5 bis -15 % 3 = -15 bis -25 % 4 = -25 bis -40 % 5 = < -40 %	Den Karten des DWD (Beispiel auf dem Beiblatt 2 Ökologie Abschnitt 2.1) können prozentuale Bereiche der Abweichungen zum Referenzzeitraum entnommen werden. Der Mittelwert des betreffenden Bereiches kann für jedes Jahr in die Bewertungskategorien des vorliegenden Kriterienkatalogs eingeteilt werden. Anschließend wird der Durchschnitt der Bewertung der letzten 5 Jahre gebildet. Alternativ können die online-Karten des DWD genutzt werden, welche unter dem nebenstehenden Link abgerufen werden können. Um die korrekten Karten zu erhalten, müssen folgende Einstellungen eingestellt werden: Element/Größe: Niederschlag Typ: Abweichung Jahr: die letzten 5 Jahre Monat/Jahreszeit: Sommer	https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html

Somit sind der Kriterienkatalog und die Bewertungsmatrix parallel zueinander vom Bauherrn anzuwenden. Wenn eine Datenerhebung mehrere Zwischenschritte erfordert, liegt zudem ein Beiblatt zu dem jeweiligen Kriterium vor, anhand dessen die in der Bewertungsmatrix einzutragende Zahl ermittelt werden kann. Für die Datenerhebung sind oftmals externe Quellen notwendig, daher sind in der letzten Spalte Quellenverweise angegeben.

6.1.1 Kriterium Recht

Die Kategorie Recht steht wie bereits erwähnt über den anderen Kategorien, da eine Grauwasserwiederverwendung direkt davon abhängt ob sie umgesetzt werden darf. Die Rechtslage bei einer Grauwasserwiederverwendung ist sehr umfangreich und kompliziert, da viele Verordnungen und gegebenenfalls Normen und Hinweisblätter beachtet werden müssen. Daher ist eine rechtliche Prüfung durch eine rechtskundige Person zu empfehlen.

Da jedoch - unterschiedlich der Grauwassernutzungsart - verschiedene Regelwerke gelten, sollten vor der Prüfung zunächst die anderen Kriterien bewertet werden. Somit wird beim ersten Ausfüllen der Bewertungsmatrix angenommen, dass alle rechtlichen Aspekte erfüllt sind. Dennoch soll das Kriterium Recht symbolisch als erstes Kriterium im Katalog und der Matrix aufgeführt werden. In der Spalte der Quellenverweise sind die jeweiligen Gesetze bzw. Verordnungen verlinkt, sodass bei Interesse des Bauherrn direkter Zugang zu den Rechtstexten besteht, ohne dass der Anwender des Kriterienkatalogs selbst recherchieren muss. Die Bewertungsmöglichkeit beschränkt sich bei dem Kriterium Recht lediglich auf nein und ja, da eine Grauwasserwiederverwendung entweder erlaubt ist, oder nicht.

6.1.2 Kriterium Gebäude Infrastruktur

Kriterium 2.1: Zustand der Gebäude

Ob eine Grauwassernutzung für den Bauherrn in Frage kommt, ist maßgeblich von dem vorhandenen Gebäude und dessen Leitungssystem abhängig, denn im Bestand ist das Verlegen einer zusätzlichen Abwasserleitung für den Bauherren sehr aufwändig und kostenintensiv. Eine Erneuerung des kompletten Leitungssystems kann sinnvoll sein, wenn das Gebäude mit größerem Aufwand saniert oder gänzlich entkernt wird.

Andernfalls gibt es Möglichkeiten auf den Stand der Wissenschaft und Forschung, wie die bereits vorgestellte Abwasserweiche oder die nachträgliche Trennung des vorhandenen Leitungssystems durch da Einziehen einer 2. Leitung, zurückzugreifen.

Die Bewertungsmöglichkeiten beinhalten sowohl die Option, dass es sich bei dem geplanten Gebäude oder Quartier um einen Neubau handelt, als auch, dass das gewünschte Umsetzungsgebiet aus Bestandsgebäuden besteht. Wenn es sich um Bestandsgebäude handelt, hat zudem der Sanierungsbedarf einen hohen Stellenwert bei der Bewertung der Gebäude. Dies wird durch die Bewertungskategorien 2 (Es handelt sich um ein Gebäude mit leichten Sanierungsbedarf) bis 4 (Das Leitungssystem des Gebäudes muss grundsätzlich erneuert werden), ausgedrückt. Eine Mischform aus Neubau und Bestand kann anhand dieses Kriterienkatalogs nicht bewertet werden.

Kriterium 2.2: Infrastruktur für Betriebswasser

Soll das aufbereitete Grauwasser als Betriebswasser verwendet werden, ist neben der Trinkwasserleitung ein zusätzliches Leitungssystem zur Versorgung notwendig. Es besteht dabei die Möglichkeit, dass bei Bestandsgebäuden ein Betriebswassernetz durch eine Nutzung von Regenwasser bereits vorhanden ist. Dies wird bei der Bewertung mitberücksichtigt. Gegebenenfalls soll das Regenwasser in Zukunft versickert werden, anstatt als Betriebswasser im Gebäude verwendet zu werden oder das Regenwasser soll mit aufbereitetem Grauwasser ergänzt werden.

So kann das bestehende Betriebswassernetz umgebaut und bei Bedarf saniert werden, was für den Bauherrn eine enorme Verringerung des Aufwandes und der Investitionskosten bedeuten würde. Zudem ist es wichtig abzuschätzen, ob ein weiteres Leitungssystem aus Platzgründen, technischen oder statischen Aspekten überhaupt installiert werden kann. Diese Tatsachen werden durch die Bewertungskategorien widerspiegelt.

Kriterium 2.3: Verfügbare Fläche für die Aufbereitung

Je nach gewünschtem Aufbereitungsverfahren sind unterschiedlich große Flächen für eine Anlage notwendig. Bei nicht naturbasierten Lösungen und wenn es sich um ein einzelnes Gebäude handelt, steht optimaler Weise ein Kellerraum zur Verfügung, da dieser vor Außeneinwirkungen besser geschützt ist. Ansonsten müsste außerhalb des Gebäudes ein Anlagenhaus, beziehungsweise ein Container errichtet werden.

Naturbasierte Systeme benötigen ausreichend Fläche im Außenbereich, welcher vor Außeneinwirkungen, zum Beispiel durch einen Zaun, geschützt sein muss.

In den Bewertungskategorien wird aufgrund der Vorteile ein vorhandener Kellerraum in ausreichender Größe, einer ausreichend großen Stellfläche im Außenraum vorgezogen. Die Abstufung erfolgt anschließend nach den Platzverhältnissen. Eine erste Einschätzung des Platzbedarfs erfolgt über die Angabe von 2 m² pro m³ Aufbereitungsvolumen, welche von der Firma ARIS (2023) für einen Wirbelbettreaktor angegeben werden. Dies ist lediglich ein grober Richtwert, da es je nach Aufbereitungssystem zu einem unterschiedlichen Bedarf an Platz kommt.

Alle Kriterien des 2. Abschnitts müssen durch die eigene Einschätzung des Bauherrn bewertet werden.

6.1.3 Kriterium Grauwasserverfügbarkeit

Die Grauwasserverfügbarkeit ist abhängig von der Nutzungsart der Gebäude oder des Quartiers und die Anzahl der Nutzer. Die Anzahl der Nutzer wird im Kriterienkatalog über Einwohner (EW) dargestellt. Diese sind vom Bauherrn abzuschätzen oder auf Grundlage von bereits erfolgten Planungen in die Bewertungsmöglichkeiten zu übertragen. Die Bewertungsmöglichkeiten sind so eingeteilt, dass mit steigender Bewohnerzahl das Potenzial einer Grauwasserwiederverwendung steigt. Bei über 50 EW pro Grauwasseraufbereitung wird die höchste Stufe 5 erreicht.

Unterteilt ist die Grauwasserverfügbarkeit in untergeordnete Kategorien, die sich in die unterschiedlichen Herkunftsorte des Grauwassers gliedern. Dies ist notwendig, da der Grauwasseranfall je nach Teilstrom variiert. Außerdem wird die Unterteilung der einzelnen Grauwasserteilströme für das Kriterium 5 Grauwasserqualität relevant.

6.1.4 Kriterium Nutzungswunsch

Aus dem Nutzungswunsch ergibt sich die Menge an Grauwasser, welches aufbereitet werden muss. Aufgrund des unterschiedlichen Wasserbedarfs je nach Nutzungswunsch werden die einzelnen Betriebswasserarten in Unterkategorien aufgeteilt.

Ähnlich wie bei der Grauwasserverfügbarkeit wird die benötigte Menge für das Betriebswasser über die Anzahl der Einwohner bewertet. Für die Bewässerung der Grünen Infrastruktur wird unterschieden zwischen der Anzahl der Bäume und Quadratmeter der Grünflächen, die bewässert werden soll. Die Einteilung der Bewertungsmöglichkeiten entspricht denen des Grauwasseranfalls und steigt mit zunehmender Nutzerzahl.

Grundsätzlich sollte nur so viel Grauwasser aufbereitet werden, wie in etwa benötigt wird.

6.1.5 Kriterium Grauwasserqualität

Die Grauwasserqualität ist abhängig von dem gewählten Grauwasserteilstrom. Auf Basis der Schadstoffbelastung wird unter anderem in einer späteren Planungsphase das Verfahren der Grauwasseraufbereitung ausgewählt. Welche Teilströme genutzt werden müssen ist abhängig von dem Grauwasseranfall gegenüber der Grauwassernutzung.

Optimalerweise reicht es aus, das schwach belastete Grauwasser aus dem Sanitärbereich zu sammeln und aufzubereiten. Wird mehr aufbereitetes Grauwasser benötigt, müssen noch weitere Teilströme erfasst werden, wodurch die Belastung des Grauwassers mit Schadstoffen jedoch zunimmt.

Mit Hilfe des Beiblatts 1 Wasserbilanz kann ermittelt werden, ob zum einen der Grauwasseranfall für die gewünschte Nutzung ausreichend ist, und zum anderen, ob eine Aufbereitung lediglich von schwach belastetsten Grauwasser genügt. Die genaue Funktionsweise des Beiblatt 1 wird im Folgenden unter den Punkt 6.2.1 auf Seite 48 erläutert.

Anschließend kann der Bauherr bewerten wie stark belastet das voraussichtlich verwendete Grauwasser sein wird. Unterteilt wird bei der Bewertung in sehr hoch, hoch, mittel, gering und sehr gering belastetes Grauwasser unterteilt.

6.1.6 Kriterium Ökologie

Kriterium 6.1: Abweichung der Niederschlagsmenge im Sommer

In den letzten Jahren war vermehrt eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Herbst/Winter zu verzeichnen (vgl. DWD, 2022a). Die Karten des DWD zeigen die prozentuale Abweichung der Niederschläge im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Anhand dieser Karten kann die Änderung des Niederschlags im betrachteten Gebiet ermittelt werden.

Da diese jedes Jahr sehr unterschiedlich sind, sollten die letzten 5 Jahre betrachtet werden. Um die einzelnen Jahre zu bewerten und anschließend einen Durchschnitt zu bilden, kann das Beiblatt 2 verwendet werden. Dort sind zudem die Karten des DWD von 2018 bis 2022 eingefügt. Bei Bedarf an neueren Karten ist zusätzlich der Link des DWDs eingepflegt und die erforderlichen Einstellungen, die auf der Internetseite zu tätigen sind, angegeben.

Die Abstufung der Bewertung wurden von der Skalierung der DWD-Karte aus dem Jahr 2020 übernommen, bei der eine gemischte Abweichung des Niederschlags vorhanden war.

Kriterium 6.2: Prozentualer Anteil an gesunkenen Grundwasserspiegeln im Gebiet

Auch der Anteil der gesunkenen Grundwasserspiegel stellt ein Indikator für die Umweltsituation im betrachteten Gebiet dar.

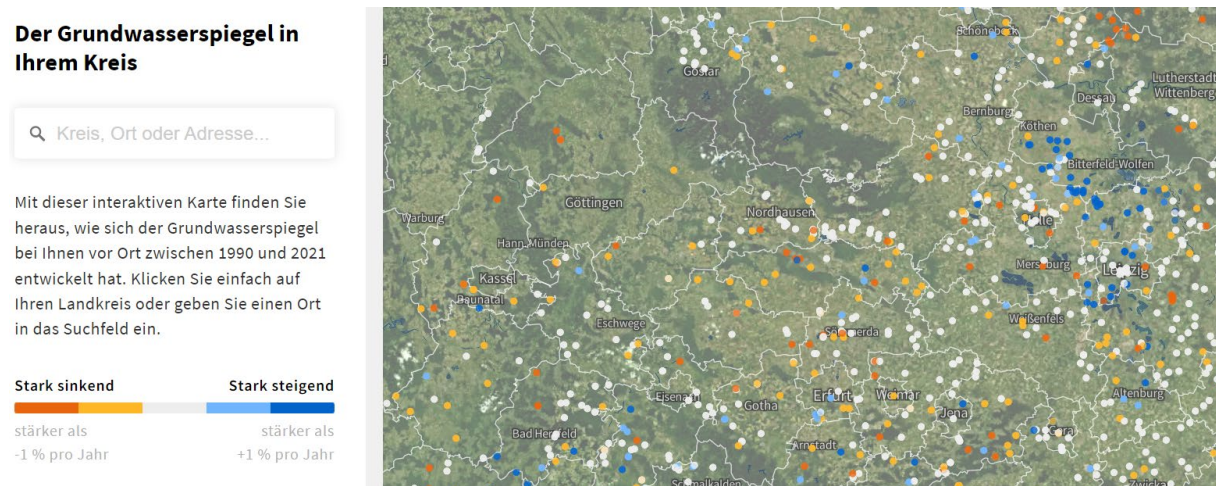


Abbildung 13: Übersicht über die Grundwassermessspiegel mit Angabe zum sinkenden oder steigenden Trend (CORRECTIV, 2023)

Mit Hilfe der Übersicht auf der Internetseite von CORRECTIV (2023) (siehe Abbildung 13) und dem Beiblatt 2 kann der prozentuale Anteil an gesunkenen Grundwasserspiegeln von den Bauherren ermittelt werden.

Kriterium 6.3: Bodenfeuchte in den letzten 5 Jahren (Beurteilung der Dürre)

In den letzten Jahren kam es in ganz Deutschland vermehrt zu Dürren (vgl. UFZ, 2023b). Anhand des Dürremonitors des UFZ kann die Dürre der letzten 5 Jahre für das jeweilige Gebiet abgeschätzt werden. Für jeden Monat eines Jahres liegt eine eigene Karte mit der Verbreitung der Dürre vor. Somit muss pro Jahr zusätzlich der Monat vom Bauherrn ausgewählt werden, in der im betrachteten Gebiet die größte Dürre auftrat.

Dies ist ein aufwändiger Prozess für den Bauherrn, weshalb im Beiblatt 2 eine Tabelle zum Notieren der Zwischenwerte aufgeführt ist. Die Skalierung der Werte entspricht denen des UFZ.

6.1.7 Kriterium Ökonomie

Kriterium 7.1: Differenz Trinkwasserentgelt

Bei diesem Kriterium wird abgefragt, wie groß die Abweichung des Trinkwasserentgeltes im Vergleich zum Bundesdurchschnitt ist. Anhand dessen wird bewertet, ob eine Grauwasserwiederverwendung ein hohes Potenzial hat oder nicht. Der Bundesdurchschnitt für Trinkwasserentgelt lag im Jahr 2022 bei 1,83 €/m³ (DESTATIS, 2023b).

Optimalerweise bewertet der Bauherr das Kriterium anhand seines Vertrages mit dem Trinkwasserversorger. Falls dem Bauherrn keine konkreten Werte vorliegen, kann mit Hilfe des Beiblatts 3 Ökonomie eine grobe Einschätzung, gegliedert nach Bundesländern, erfolgen. Die Daten wurden vom Statistischen Bundesamt übernommen (DESTATIS, 2023b). Für aktuellere Daten gelangt man über den bereitgestellten Link zu den Daten der DESTATIS.

Die Basis der Abstufung der Bewertungsmöglichkeiten bilden die im Beiblatt 3 errechneten Differenzen. Bei einer gleichmäßigen Verteilung der 16 Bundesländer auf die 5 Bewertungsmöglichkeiten müssten je Bewertungsstufe 3,2 Bundesländer in jede Stufe fallen. Bei einer Differenz von mehr als 0,30 €/m³ fallen drei Bundesländer in die oberste Kategorie. Anschließend erfolgt die Abstufung der unteren Kategorien gleichmäßig bis zu einer positiven Differenz von weniger als 0 €/m³.

Kriterium 7.2: Prozentualer Anstieg der Trinkwasserkosten in den letzten Jahren

Im Vergleich zu Kriterium 7.1 wird bei Kriterium 7.2 die Erhöhung des Trinkwasserentgeltes in den letzten neun Jahren bewertet. Auch hier sollen, wenn möglich, eigene Daten verwendet werden. Andernfalls können die Erhöhungen der Trinkwasserkosten nach Bundesländern ebenfalls dem Beiblatt 3 entnommen werden. Die Unterteilung der Kategorien erfolgt nach demselben Schema wie bei Kriterium 7.1.

Kriterium 7.3: Höhe der Abwasserabgabe

Die Höhe der Abwasserabgabe variiert je nach Abwasserzweckverband erheblich. Aufgrund der vielen Verbände stehen keine Kennwerte zur Verfügung. Dadurch kann keine Abweichung zum Bundesdurchschnitt gebildet werden. Somit wird das absolut zu entrichtende Abwasserentgelt in der Matrix bewertet.

Die Staffelung der Bewertung entspricht einer linearen Interpolation der umgerechneten €/m³ Preise des Abwassergebührenranking 2023, welcher von iW Consult herausgegeben wurde. In diesem Ranking werden die Abwasserentgelte für ein Jahr für einen 4-Personen-Haushalt errechnet und der Höhe nach sortiert. Die geringste Abwassergebühr muss in Worms mit 245,17 €/a entrichtet werden. Umgerechnet auf einen Kubikmeter entspricht dies 1,34 €/m³. In Mönchengladbach beträgt die Abwassergebühr für vier Personen 985,15 €/a. Dies entspricht einer Gebühr von 5,40 €/m³ (iW Consult GmbH, 2023). Die Zwischenstufen für die Bewertung in der Matrix wurden zwischen den beiden Werten linear interpoliert und gerundet.

Kriterium 7.4: Prozentualer Anstieg der Abwasserabgabe in den letzten Jahren

Der prozentuale Anstieg der Abwasserabgabe ist ebenfalls über die tatsächliche Gebührenabrechnung des örtlichen Abwasserzweckverbands zu ermitteln. Die Staffelung der Bewertungsmöglichkeiten wurden aufgrund einer fehlenden Datenbasis von dem Trinkwasserkriterium übernommen.

Kriterium 7.5 und 7.6: Bereitschaft für Investitionen und Betriebskosten

In den beiden Kategorien wird der Bauherr gefragt, inwieweit er bereit dazu ist in eine Technologie zu investieren, die einerseits höhere Amortisationszeiten aufweist und andererseits durchgängig Betriebskosten verursacht.

Diese Kriterien sind sehr allgemein gehalten, da eine Abschätzung der tatsächlichen Investitions- und Betriebskosten sehr komplex ist. Sie sind von vielen Faktoren, wie die Anlagengröße, Grauwasserqualität, Nutzungswunsch, örtliche Gegebenheiten sowie den daraus resultierenden Aufbereitungsverfahren abhängig. Eine Ermittlung von Kenndaten diesbezüglich war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Daher sind die Bewertungsmöglichkeiten qualitativ und nicht quantitativ vom Bauherrn zu bewerten.

6.1.8 Kriterium Sozial

Kriterium 8.1: Akzeptanz der Bewohner gegenüber einer Grauwasserwiederverwendung

Die Akzeptanz der Bewohner ist ein wichtiges Kriterium, da diese am Ende das aufbereitete Grauwasser nutzen und direkt in Kontakt mit ihm stehen. Die Bewertung des Kriteriums erfolgt auf der Einschätzung des Bauherrn oder durch eine Umfrage des betroffenen Personenkreises.

Kriterium 8.2: Bereitschaft sich mit der Technologie auseinanderzusetzen

Die Mieter sollten sich bestenfalls mit der Technologie der Grauwasseraufbereitung und den direkten Zusammenhang mit ihren Lebensgewohnheiten auseinandersetzen. Ob eine Bereitschaft der Nutzer hierfür vorhanden ist, bewertet der Bauherr auf Basis seiner persönlichen Einschätzung oder ebenfalls durch Umfragen.

Kriterium 8.3: Höhe der Nebenkosten der Mieter

Ein positiver sozialer Aspekt der Grauwasserwiederverwendung stellt die Verringerung von Nebenkosten dar. In diesem Kriterium gibt der Bauherr an, ob Nebenkosten bisher aufgrund der Trink- und Abwassergebühren geringfügig oder in hohem Maße an die Mieter weitergegeben wurden.

Kriterium 8.4: Wohlbefinden der Mieter aufgrund von vertrockneten Grünflächen

Das Wohlbefinden der Mieter kann durch ausreichende Grünflächen in der Umgebung erhöhen. Wenn diese Flächen im Sommer vertrocknen, könnte das Wohlbefinden gemindert werden. Daher soll im Rahmen dieses Kriteriums bewertet werden, in welchem Maße die grüne Infrastruktur ohne künstliche Bewässerung vertrocknet.

Da insgesamt für das Kriterium 8 keine Kenndaten ermittelt werden konnten, erfolgt die Abstufung der Bewertung nicht auf Grundlage von Zahlenwerten sondern textlich.

6.2 Beiblätter zum Kriterienkatalog

Die Beiblätter wurden erstellt, um die Handhabung der Bewertungsmatrix weiter zu vereinfachen. Im Folgenden werden die drei Beiblätter zur Wasserbilanz, zum Kriterium Ökologie und Ökonomie näher erklärt.

6.2.1 Beiblatt 1 Wasserbilanz

Das erste Beiblatt automatisiert die Wasserbilanz, die der Bauherr aufstellen muss, um die erforderlichen Grauwasserteilströme zu ermitteln.

Eingegeben werden müssen vom Bauherren lediglich die Einwohnerzahlen (EW) je Grauwasserteilstrom und Nutzungswunsch. Der Grauwasseranfall pro Tag und die benötigte Menge an aufbereitetem Grauwasser für das Betriebswasser werden automatisch anhand der Kennwerte für die Kategorien aus der DWA-M 277 (2017) ermittelt. Die Daten für die Bewässerung der Grünflächen und Bäume wurden beispielhaft für einen Teil eines Modellquartiers ermittelt (Beyer et al., 2023).

Zusätzlich wird am Ende des Dokumentes geprüft, ob der Grauwasseranfall den Grauwasserbedarf übersteigt. Die gleiche Prüfung wird für das leicht belastete Grauwasser durchgeführt. Das Beiblatt 1 ist im Anhang C aufgeführt.

Tabelle 20: Automatische Errechnung und Prüfung der Wasserbilanz (Kohlhepp, 2023)

3 Grauwasserverfügbarkeit			
Grauwasserteilstrom	Kennwert nach DWA-M 277	EW	l/d
3.1 Duschen/Badewannen	45,0 l/(EW*d)	53	2.385
3.2 Handwaschbecken	12,5 l/(EW*d)	53	663
Zwischensumme leicht belastetes GW			3.048
3.3 Küchenspülen	7,5 l/(EW*d)	53	398
3.4 Spülmaschinen	7,5 l/(EW*d)	0	0
3.5 Waschmaschinen	12,5 l/(EW*d)	53	663
Zwischensumme stark belastetes GW			1.060
Grauwasserverfügbarkeit Gesamt			4.108

4 Nutzungswunsch			
Nutzungsart	Kennwert nach DWA-M 277	EW	l/d
4.1 als Betriebswasser für die WC-Spülung	33,0 l/(EW*d)	53	1.749
4.2 als Betriebswasser für die Waschmaschine	15,0 l/(EW*d)	0	0
4.3 als Betriebswasser für die Reinigung im Haushalt	7,0 l/(EW*d)	0	0
Zwischensumme Betriebswasser			1.749
4.4 als Bewässerungswasser für Bäume	20 l/(Baum*d)	17	340
als Bewässerungswasser für Grünflächen	0,7 l/(m ² Grünfläche*d)	1560	1.092
Zwischensumme Bewässerungswasser			1.432
Nutzungswunsch Gesamt			3.181

Prüfung: Grauwasserverfügbarkeit > Nutzungswunsch:

Grauwasserverfügbarkeit ausreichend

Prüfung: leicht belastetes Grauwasser > Nutzungswunsch:

stark belastetes Grauwasser notwendig

6.2.2 Beiblatt 2 Ökologie

Das zweite Beiblatt kann für alle drei ökologischen Kriterien 6.1 bis 6.3 angewendet werden.

Kriterium 6.1: Abweichung der Niederschlagsmenge im Sommer

Für die Abweichung der Niederschlagsmenge in den letzten 5 Jahren muss anhand der Karten des DWDs die Prozentuale Abweichung abgelesen werden. Das Beiblatt kann verwendet werden, um die Zwischenergebnisse der einzelnen Jahre zu notieren (siehe Tabelle 21). Zudem errechnet sich der Durchschnitt der Bewertung, welche in den Kriterienkatalog übertragen werden muss von selbst und wird in der passenden Bewertungsfarbe angezeigt.

Tabelle 21: *Tabelle zum Notieren der Zwischenergebnisse mit automatischer Berechnung des Durchschnitts (Kohlhepp, 2023)*

	Jahr	1	2	3	4	5	Übertrag
		>-5%	-5 bis -15 %	-15 bis -25 %	-25 bis -40 %	< -40 %	
6.1 Die Niederschlagsmenge im Sommer ist im Durchschnitt der letzten 5 Jahre im Vergleich zum Referenzzeitraum um ... gesunken Karten des DWD unter: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html	1					x	5
	2	x					1
	3			x			3
	4					x	5
	5					x	5
	Durchschnitt						

Auf dem Beiblatt 2 sind bereits die Karten des DWD für die Jahre 2018 bis 2022 eingepflegt. Um die Übersichtlichkeit des Beiblattes zu behalten sind die Karten als kleine Abbildungen (siehe Tabelle 22) dargestellt.

Tabelle 22: *Abbildungen der Karten des DWD zur Ermittlung der Abweichung der Niederschlagsmenge zum Referenzzeitraum (Kohlhepp, 2023 unter Verwendung der Karten des DWD, 2022b)*

2022	2021	2020	2019	2018
hier Klicken	hier Klicken	hier Klicken	hier Klicken	hier Klicken

Wird in der Excel-Tabelle mit dem Mauszeiger unter die jeweilige Karte geklickt, vergrößert sich diese und die prozentuale Abweichung kann bequem für den jeweiligen Standort abgelesen werden. Zudem können die Karten über den beigefügten Link aufgerufen werden.

Kriterium 6.2: Prozentualer Anteil an gesunkenen Grundwasserspiegeln im Gebiet

Für die Ermittlung des Kriteriums 6.2 kann ebenfalls das Beiblatt 2 zur Hilfe genommen werden. Anhand der Übersichtskarte von Correctiv können die Grundwassermesspunkte im betroffenen Bereich angezeigt werden. Klickt man mit dem Mauszeiger auf das entsprechende Gebiet, werden genauere Daten, wie in Abbildung 14 zu sehen, zu den Grundwassermessstellen angezeigt.

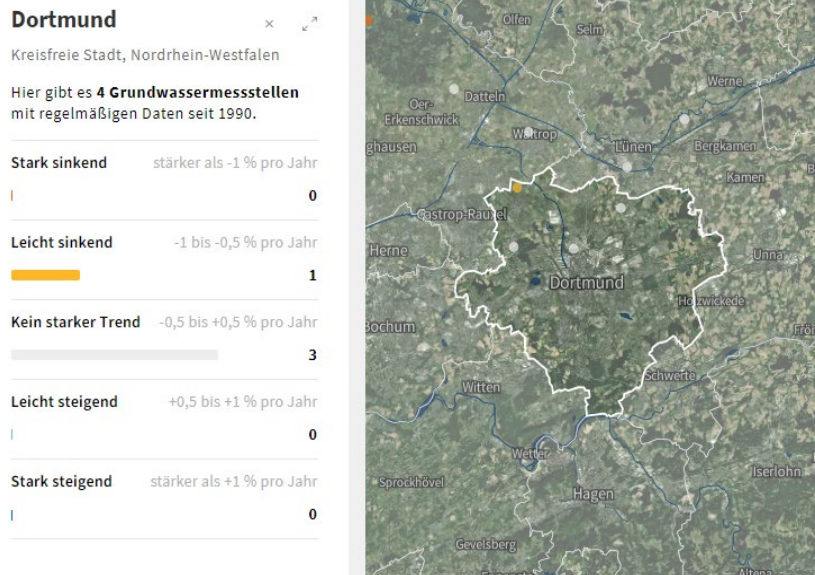


Abbildung 14: Trend der Pegelstände an den Grundwassermessstellen in Dortmund (CORRECTIV, 2023)

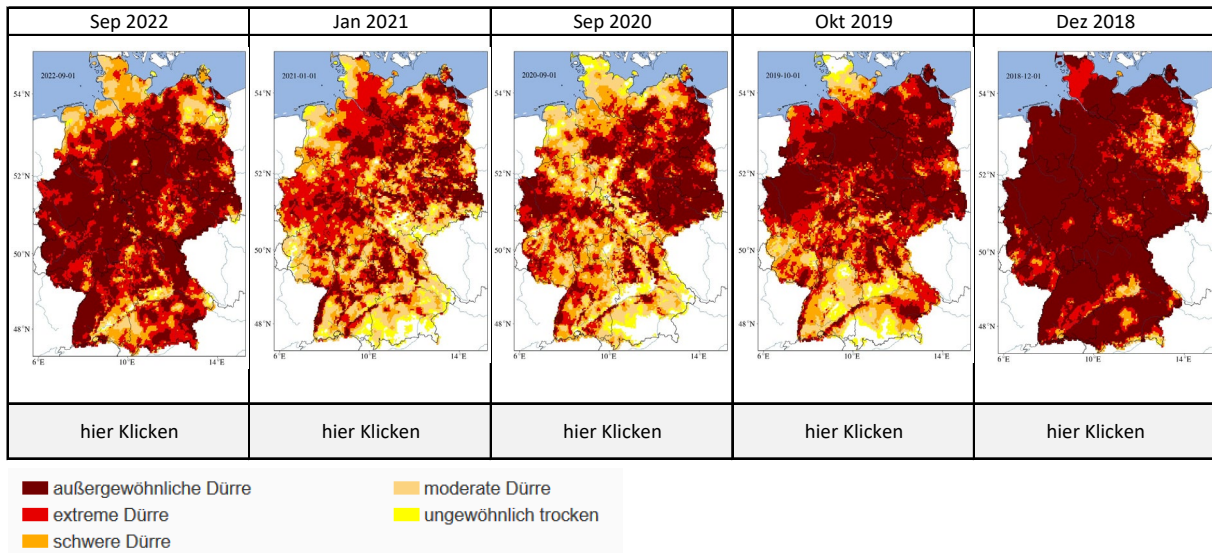
Die Anzahl der Grundwassermessstellen in den jeweiligen Kategorien stark sinkend, leicht sinkend, kein starker Trend, leicht steigend und stark steigend können in das Beiblatt 2 übertragen werden. Der prozentuale Anteil an gesunkenen Grundwassermessstellen wird automatisch berechnet und die passende Bewertungsfarbe im Hintergrund angezeigt. Wie auch zuvor ist der Link zum Online-Tool direkt auf dem Beiblatt 2 verfügbar (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Automatische Berechnung der Anteile an leicht und stark sinkenden Grundwasserpegeln (Kohlhepp, 2023)

6.2 Die Grundwasserspiegel sind um ... gesunken In der rechten Spalte können hilfsweise die Anzahl der Grundwassermessstellen eingegeben werden. Der prozentuale Anteil errechnet sich selber. Online-Tool von Correctiv unter: https://correctiv.org/aktuelles/kampf-um-wasser/2022/10/25/klimawandel-grundwasser-in-deutschland-sinkt/?bbox=-2.932937931785631%2C45.200800967704936%2C24.23293793178532%2C55.79241409032102&zoom=4.716940586303015#tool	stark sinkend	0
	leicht sinkend	1
	kein starker Trend	3
	leicht steigend	0
	stark steigend	0
	Gesamt	4
	Anteil gesunkener Grundwasserspiegel	25%

Kriterium 6.3: Bodenfeuchte in den letzten 5 Jahren (Beurteilung der Dürre)

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Bodenfeuchte erfolgt analog der Vorgehensweise zu Kriterium 6.1. Werden die Karten anhand des Links abgerufen, müssen zudem je Jahr aus den 12 Karten eines Jahres der Monat herausgesucht werden, der im betrachteten Gebiet am trockensten war. Auf der Abbildung 15 wurde dies exemplarisch für die Jahre 2018 bis 2022 gemacht.



UFZ - Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (Hg.) (2023b): Dürremonitor Deutschland - Dürren seit 2014 (monatlich)

Abbildung 15: Zusammenstellung der Karten des Dürremonitors über die trockensten Monate in den Jahren 2018 bis 2022 (Kohlhepp, 2023 unter Verwendung der Karten des UFZ, 2023b)

Die Schwere der Dürre eines jeden Jahres kann anschließend in die Übersichtstabelle notiert werden. Wie bei den anderen Kriterien auch errechnet sich der Durchschnittswert automatisch.

Tabelle 24: Tabelle zum Notieren der Zwischenwerte aus dem Dürremonitor des UFZ (Kohlhepp, 2023)

	Jahr	1	2	3	4	5	Übertrag
		unge-wöhnlich	moderate	schwere	extreme	außerge-wöhnliche	
6.3 Die Bodenfeuchte im potenziellen Anwendungsgebiet war in den letzten 5 Jahren so gering, dass der Dürremonitor für den Gesamtboden im Monat mit der höchsten Dürre eine ... Dürre angegeben hat Karten des UFZ unter: https://www.ufz.de/index.php?de=40990	1					x	5
	2				x		4
	3					x	5
	4					x	5
	5					x	5
	Durchschnitt						

6.2.3 Beiblatt 3 Ökonomie

Auf dem Beiblatt 3 muss der Bauherr keine Informationen hinzufügen, da dieses Blatt lediglich als zusätzliche Information fungiert. Es sind die durchschnittlichen Trinkwasserpreise je Bundesland aus den Jahren 2014 und 2022 angegeben, sowie die Abweichung des Trinkwasserentgelts vom Bundesdurchschnitt und die prozentuale Preissteigerung bzw. Minderung des Trinkwasserentgelts im Zeitraum von den letzten neun Jahren. Diese Werte können hilfsweise zur Bewertung der Kriterien 7.1 und 7.2 angewendet werden. Favorisiert werden sollten jedoch tatsächliche Werte von den örtlichen Wasserversorgern.

Tabelle 25: Zusammenstellung der Trinkwasserentgelte und die preisliche Entwicklung (Kohlhepp, 2023 unter Verwendung der Daten von DESTATIS, 2023b)

Bundesland	Jahr		Kriterium 7.1		Kriterium 7.2	
	2022	2014	Abweichung des Trinkwasserentgelts vom Bundesdurchschnitt nach Bundesländern im Jahr 2022	Bewertungsnummer	Prozentuale Preissteigerung/-minderung des Trinkwasserentgelt von 2014 bis 2022	Bewertungsnummer
Deutschland	1,83	1,69	0,00	---	8,3	---
Baden-Württemberg	2,33	2,04	0,50	5	14,2	4
Bayern	1,78	1,48	-0,05	1	20,3	5
Berlin	1,81	1,81	-0,02	1	0,0	1
Brandenburg	1,57	1,53	-0,26	1	2,6	2
Bremen	2,44	1,98	0,61	5	23,2	5
Hamburg	1,93	1,77	0,10	2	9,0	3
Hessen	2,16	1,97	0,33	5	9,6	3
Mecklenburg-Vorpommern	1,60	1,61	-0,23	1	-0,6	1
Niedersachsen	1,43	1,22	-0,40	1	17,2	5
Nordrhein-Westfalen	1,64	1,65	-0,19	1	-0,6	1
Rheinland-Pfalz	1,82	1,70	-0,01	1	7,1	3
Saarland	2,00	1,88	0,17	3	6,4	3
Sachsen	2,01	1,94	0,18	3	3,6	2
Sachsen-Anhalt	1,75	1,73	-0,08	1	1,2	2
Schleswig-Holstein	1,57	1,44	-0,26	1	9,0	3
Thüringen	2,08	2,00	0,25	4	4,0	2

6.3 Bewertungsmatrix für Bauherren

Auf Grundlage des Kriterienkatalogs wurde anschließend die Bewertungsmatrix erstellt, welche letztendlich von den Bauherren ausgefüllt werden muss. Eine bereits ausgefüllte Bewertungsmatrix ist im Anhang E dargestellt.

Nach Auswahl der passenden Stufe von 1 bis 5 anhand des Kriterienkatalogs wird das Kreuz bei der jeweiligen Nummer gesetzt. Wenn alle Kriterien innerhalb eines übergeordneten Kriteriums bewertet wurden, errechnet sich die Bewertung des Potenzials für die jeweilige Kategorie und wird rechts in der unteren Zeile, wie im nachfolgenden Beispiel zu sehen, angezeigt.

Tabelle 26: Beispielhafter Auszug aus einer ausgefüllten Bewertungsmatrix (Kohlhepp, 2023)

3 Grauwasserverfügbarkeit		Wichtung:					keine Eingabe
	Wichtung	1	2	3	4	5	Ergebnis
3.1 Duschen/Badewannen	52%					x	2,60
3.2 Handwaschbecken	15%					x	0,75
3.3 Küchenspülen	9%					x	0,45
3.4 Spülmaschinen	9%	x					0,09
3.5 Waschmaschinen	15%					x	0,75
Summe	100%						4,64

In der zweiten Spalte der Tabelle 26 ist die Wichtung der untergeordneten Kriterien zu sehen. Bei der Grauwasserverfügbarkeit basiert diese Gewichtung auf Grundlage des Grauwasseranfalls nach Herkunftsort nach der DWA-M 277. Da unterschiedlich viel Grauwasser je nach Herkunftsort anfällt, dürfen die einzelnen Teilströme nicht mit der gleichen Gewichtung in die Gesamtbewertung einfließen. Die Kategorie Nutzungswunsch ist analog zu der Kategorie Grauwasserverfügbarkeit gewichtet worden. Bei den anderen Kriterien sind alle untergeordneten Kriterien gleich gewichtet. Diese Wichtung kann von den Bauherren nicht verändert werden.

Trotzdem hat der Bauherr die Chance, das Endergebnis an seine Interessen anzupassen. Hierfür besteht die Möglichkeit, die übergeordneten Kriterien mittels Prozentsätze zu wichten. Der kleinste Prozentsatz sollte dabei 5 % nicht unterschreiten. Zur Kontrolle wird die Summe der %-Sätze angezeigt. Bei einer Abweichung der 100% färbt sich die Zelle rot.

Tabelle 27: Beispiel für eine Gewichtung der übergeordneten Kriterien in der Bewertungsmatrix (Kohlhepp, 2023)

Nr.	Kriterium	Ergebnis:	Wichtung:
2	Gebäude und Infrastruktur		20,0%
3	Grauwasserverfügbarkeit		20,0%
4	Nutzungswunsch		10,0%
5	Grauwasserqualität		12,5%
6	Ökologie		12,5%
7	Ökonomie		20,0%
8	Sozial		5,0%
Σ			100,0%
Das Potenzial für eine Grauwassernutzung ist hoch			3,9

Tabelle 28: Mögliche Endergebnisse der Bewertungsmatrix (Kohlhepp, 2023)

von	bis	Potentialabschätzung
1,0	< 1,5	Das Potential für eine Grauwassernutzung ist nicht vorhanden
1,5	< 2,5	Das Potential für eine Grauwassernutzung ist gering
2,5	< 3,5	Das Potential für eine Grauwassernutzung ist mittelmäßig
3,5	< 4,5	Das Potential für eine Grauwassernutzung ist hoch
4,5	5,0	Das Potential für eine Grauwassernutzung ist sehr hoch

7. FÖRDERDATENBANKEN

Förderdatenbanken sind eine wichtige Quelle, um Projekte in wichtigen Schlüsselbereichen zu unterstützen. Zwei maßgebliche Aspekte stehen hier im Fokus: Nachhaltiges Bauen, das sich auf umweltfreundliche und nachhaltige Baupraktiken konzentriert, und Fördermöglichkeiten zur Klimaanpassung, die die Anpassung an die sich ändernden Umweltbedingungen erleichtern. Diese Förderdatenbanken bieten einen Einblick in die vielfältigen Programme, Zuschüsse und Kredite, die auf europäischer Ebene und von Bund und Ländern vergeben werden.

Förderdatenbank für Nachhaltiges Bauen:

Nachhaltiges Bauen hat sich als Schlüsselfaktor im Kampf gegen den Klimawandel erwiesen. Die Förderdatenbank für nachhaltiges Bauen bietet eine Vielzahl von Informationen über Zuschüsse, Darlehen und Programme, die darauf abzielen, Bauprojekte zu unterstützen, die umweltfreundliche Materialien, Energieeffizienz und ökologische Verträglichkeit fördern. Diese Datenbank ist eine unentbehrliche Ressource für Bauherren, Architekten und Entwickler, die nach Finanzierungsquellen und Unterstützung für ihre nachhaltigen Bauprojekte suchen:

<https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/foerderprogramme/>

Fördermöglichkeiten zur Klimaanpassung:

Mit den zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels wird die Anpassung an veränderte Umweltbedingungen immer wichtiger. Diese Förderdatenbank konzentriert sich auf Programme und Finanzierungsmöglichkeiten, um Organisationen, Gemeinden und Regierungen dabei zu unterstützen, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel umzusetzen. Von Hochwasserschutz bis hin zu urbaner Planung und landwirtschaftlichen Anpassungsstrategien bietet diese Datenbank eine Fülle von Informationen über Fördermittel und Ressourcen, die dazu beitragen, die Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu stärken:

<https://ad.zentrum-klimaanpassung.de/foerdermoeglichkeiten/startseite>

Diese Förderdatenbanken sind wertvolle Werkzeuge, um finanzielle Unterstützung und Informationen für Projekte zu erhalten, die eine nachhaltige Zukunft und eine effektive Anpassung an die Klimaveränderungen fördern.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Unterteilung in schwach und stark belastetes Grauwasser.....	1
Abbildung 2: Anteile der verschiedenen Grauwasserteilströme	6
Abbildung 3: Tagesgang eines einwohnerspezifischen Volumenstroms in einer ökologischen Siedlung in Lübeck mit 45 Bewohnern	7
Abbildung 4: Übersicht der Vorschriften die in Zusammenhang mit der Nutzung von behandeltem Grauwasser potenziell zu berücksichtigen sind.....	9
Abbildung 5: Ablaufplan vom Wunsch nach nachhaltigem Wassermanagement zum Betrieb einer Grauwasseraufbereitung	21
Abbildung 6: Übersicht der Aufbereitungsschritte und möglicher Verfahren für eine Grauwasserreinigung.....	22
Abbildung 7: Schwankung des Bedarfs an Bewässerungswasser über den Bewässerungszeitraum im 2. Bauabschnitt des Modellquartiers Bergmannsgrün in Dortmund-Huckarde	26
Abbildung 8: Bildliche Kennzeichnung „Kein Trinkwasser“	27
Abbildung 9: Prinzipskizze Nutzung Grau- und Niederschlagswasser.....	35
Abbildung 10: Schematischer Aufbau MBR-Verfahren.....	36
Abbildung 11: Inputs und Outputs des KI-Systems.....	39
Abbildung 12: Übersicht der Kriterien zur Potenzialabschätzung für die Nutzung von Grauwasser in ökologisch ausgerichteten Wohnsiedlungen.....	41
Abbildung 13: Übersicht über die Grundwassermessspiegel mit Angabe zum sinkenden oder steigenden Trend.....	45
Abbildung 14: Trend der Pegelstände an den Grundwassermessstellen in Dortmund	50
Abbildung 15: Zusammenstellung der Karten des Dürremonitors über die trockensten Monate in den Jahren 2018 bis 2022.....	51

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Nutzungsmöglichkeiten für Betriebswasser	8
Tabelle 2:	Güteklassen von aufbereitetem Wasser	11
Tabelle 3:	Anforderungen an die Qualität von aufbereitetem Wasser für die Landwirtschaftliche Bewässerung	11
Tabelle 4:	Grenzwerte für Binnengewässer der Badegewässerrichtlinie.....	12
Tabelle 5:	Beispiele für die Richtwerte zur bakteriologischen Überwachung nach der Normreihe BS 8525	13
Tabelle 6:	Beispiele für Werte zur allgemeinen Systemkontrolle nach der Normenreihe BS 8525	13
Tabelle 7:	Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendung von Bewässerungswasser	14
Tabelle 8:	Bewertung der Beschaffenheit des Bewässerungswassers gegenüber verschiedenen Inhaltsstoffen	15
Tabelle 9:	Richtwerte für die Massenkonzentration an Spurenelementen im Bewässerungswasser, bei deren Überschreitung phytotoxische Effekte auftreten können	16
Tabelle 10:	Qualitätsanforderungen für aufbereitetes Grauwasser	16
Tabelle 11:	Qualitätsanforderungen für Toilettenspülwasser und Wäschewaschen.....	17
Tabelle 12:	Übersicht über die Regelwerke zur Grauwasserwiederverwendung nach Verwendungszweck.....	18
Tabelle 13:	Zusammenstellung der höchsten Qualitätsanforderungen verschiedener Regelwerke nach Nutzungsart	19
Tabelle 14:	Bewertung der Verfahren zur Vorbehandlung von Grauwasser	23
Tabelle 15:	Bewertung der Verfahren zur Hauptbehandlung von Grauwasser	24
Tabelle 16:	Bewertung der Verfahren zur Desinfektion von Grauwasser	25
Tabelle 17:	Mögliche Parameter und zugehörige Indikatoren zur Qualitätsüberwachung von behandeltem Grauwasser zu Bewässerungszwecken mit möglichen Nachweismethoden.....	30
Tabelle 18:	Bewertung der Bewässerungsverfahren	34
Tabelle 19:	Auszug aus dem Kriterienkatalog zur Bewertung des Potenzials einer Grauwassernutzung.....	42
Tabelle 20:	Automatische Errechnung und Prüfung der Wasserbilanz.....	48
Tabelle 21:	Tabelle zum Notieren der Zwischenergebnisse mit automatischer Berechnung des Durchschnitts.....	49
Tabelle 22:	Abbildungen der Karten des DWD zur Ermittlung der Abweichung der Niederschlagsmenge zum Referenzzeitraum	49
Tabelle 23:	Automatische Berechnung der Anteile an leicht und stark sinkenden Grundwasserpegeln.....	50
Tabelle 24:	Tabelle zum Notieren der Zwischenwerte aus dem Dürremonitor des UFZ	51
Tabelle 25:	Zusammenstellung der Trinkwasserentgelte und die preisliche Entwicklung	52
Tabelle 26:	Beispielhafter Auszug aus einer ausgefüllten Bewertungsmatrix	53
Tabelle 27:	Beispiel für eine Gewichtung der übergeordneten Kriterien in der Bewertungsmatrix.....	53
Tabelle 28:	Mögliche Endergebnisse der Bewertungsmatrix.....	54
Tabelle 29:	Probenahmefrequenz für die Qualitätsüberwachung hinsichtlich mikrobiologischer und chemisch- physikalischer Parameter von behandeltem Grauwasser, den Empfängerböden und ggf. Grundwasser basierend auf Literaturempfehlungen.....	1

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AbwV	Abwasserverordnung
ANSI	American National Standards Institute
BAC	biological activated carbon
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
bsi	British Standards Institution
BUW	Bauhaus-Universität Weimar
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DüV	Düngeverordnung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
E.-Coli	Escherichia Coli
EC	elektrische Leitfähigkeit
EW	Einwohnerwerte
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
fbr	Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V.
GrwV	Grundwasserverordnung
KbE	Koloniebildende Einheit
MBBR	Moving Bed Biological Reactor
MBR	Membranbioreaktoren
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NSF	National Sanitation Foundation
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
P. aerugin.	Pseudomonas aeruginosa
RSC	Residual Sodium Carbonate
SAR	Sodium Adsorption Ratio
SP	sodium percentage
THM	Trihalogenmethane
TOC	Total Organic Carbon
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TS	Total Solids
TSS	Total Suspended Solids, Total Suspended Solids
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
UV	ultraviolett
VSS	Volatile Suspended Solids
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
XOC	Xenobiotische Organische Verbindungen

LITERATURVERZEICHNIS

- Agra, H. e., Solodar, A., Bawab, O., Levy, S., Kadas, G. J., Blaustein, L., & Greenbaum, N. (2018).** Comparing grey water versus tap water and coal ash versus perlite on growth of two plant species on green roofs. *The Science of the total environment*, 633, 1272–1279.
- Al-Isawi, R. H. K., Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2016).** Monitoring and assessment of treated river, rain, gully pot and grey waters for irrigation of *Capsicum annum*. *Environmental monitoring and assessment*, 188(5), 287.
- Atanasova, N.; Dalmau, M.; Comas, J.; Poch, M.; Rodriguez-Roda, I.; Buttiglieri, G. (2017):** Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. In: *Journal of Environmental Management* 2017.
- b.is - Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (2016):** New Alternative Sanitation Systems - NASS. Weimar: Bauhaus-Universitätsverlag Weimar.
- b.is - Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (2017):** Abwasserbehandlung, 4. überarbeitete Auflage. Kromsdorf/Weimar: Bauhaus-Universitätsverlag Weimar (Weiterbildendes Studium »Wasser und Umwelt«).
- b.is - Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (2013):** Industriebabwasserbehandlung. Weimar: Bauhaus-Universitätsverlag Weimar.
- Bautista Quispe, J. I.; Campos, L. C.; Mašek, O.; Bogush, A. (2022):** Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review. In: *Journal of Water Process Engineering* (48). DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.102908.
- Beyer, A.-K.; Kohlhepp, G.; Metz, S.; Ziegler, T. G. (2023):** Grauwassernutzung für eine nachhaltige Bewässerung von urbanen Grünanlagen. Abschlusspräsentation des Studienprojekts im Wintersemester 2022/2023. Bauhaus Universität Weimar (BUW), 07.02.2023. Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Siedlungswasserwirtschaft, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Silvio Beier
- Boano, F.; Caruso, A.; Costamagna, E.; Ridolfi, L.; Fiore, S.; Demichelis, F. (2020):** A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. In: *The Science of the total environment* 711. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134731.
- DIN 19650:1999-02,** Hygienische Belange von Bewässerungswasser.
- DIN 19684-10:2009-01,** Bodenbeschaffenheit - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen.
- DIN EN 16941-2:2021-11,** Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser - Teil 2: Anlagen für die Verwendung von behandeltem Grauwasser; Deutsche Fassung.
- DIN EN 1717:2011-08,** Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen.
- DIN EN ISO 10705-1:2002-01,** Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 1: Zählung von F-spezifischen RNA-Bakteriophagen (ISO 10705-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10705-1:2001
- DIN EN ISO 10705-2:2002-01,** Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 2: Zählung von somatischen Coliphagen (ISO 10705-2:2000); Deutsche Fassung EN ISO 10705-2:2001
- DIN EN ISO 10705-3:2024-06,** Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von Bakteriophagen - Teil 3: Validierung von Verfahren für die Konzentration von Bakteriophagen in Wasser (ISO 10705-3:2003); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10705-3:2024
- DIN EN ISO 11731:2019-03,** Wasserbeschaffenheit - Zählung von Legionellen (ISO 11731:2017); Deutsche Fassung EN ISO 11731:2017
- DIN EN ISO 14189:2016-11,** Wasserbeschaffenheit - Zählung von *Clostridium perfringens* - Verfahren mittels Membranfiltration (ISO 14189:2013); Deutsche Fassung EN ISO 14189:2016
- DIN EN ISO 16266:2008-05,** Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von *Pseudomonas aeruginosa* - Membranfiltrationsverfahren (ISO 16266:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16266:2008
- DIN EN ISO 16266-2:2023-01,** Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von *Pseudomonas aeruginosa* - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Keimzahl (ISO 16266-2:2018); Deutsche Fassung EN ISO 16266-2:2021
- DIN EN ISO 19250:2013-06,** Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von *Salmonella spp.* (ISO 19250:2010); Deutsche Fassung EN ISO 19250:2013
- DIN EN ISO 19684-10:2009-01,** Bodenbeschaffenheit - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen
- DIN EN ISO 23611-4:2023-12,** Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 4: Probenahme, Extraktion und Bestimmung von Boden bewohnenden Nematoden (ISO 23611-4:2022); Deutsche Fassung EN ISO 23611-4:2022
- DIN EN ISO 7010:2020-07:** Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Registrierte Sicherheitszeichen

- DIN EN ISO 7899-1:1999-07**, Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken in Oberflächenwasser und Abwasser - Teil 1: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 7899-1:1998); Deutsche Fassung EN ISO 7899-1:1998
- DIN EN ISO 7899-2:2000-11**, Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken - Teil 2: Verfahren durch Membranfiltration (ISO 7899-2:2000); Deutsche Fassung EN ISO 7899-2:2000
- DIN EN ISO 7899-3:2024-06**, Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von intestinalen Enterokokken - Teil 3: Verfahren zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Keimzahl (ISO/DIS 7899-3:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 7899-3:2024
- DIN EN ISO 9308-1:2017-09**, Wasserbeschaffenheit - Zählung von *Escherichia coli* und coliformen Bakterien - Teil 1: Membranfiltrationsverfahren für Wässer mit niedriger Begleitflora (ISO 9308-1:2014 + Amd 1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 9308-1:2014 + A1:2017
- DIN EN ISO 9308-2:2014-06**, Wasserbeschaffenheit - Zählung von *Escherichia coli* und coliformen Bakterien - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Keimzahl (ISO 9308-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9308-2:2014
- DIN EN ISO 9308-3:1999-07**, Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von *Escherichia coli* und coliformen Bakterien in Oberflächenwasser und Abwasser - Teil 3: Miniaturisiertes Verfahren durch Animpfen in Flüssigmedium (MPN-Verfahren) (ISO 9308-3:1998); Deutsche Fassung EN ISO 9308-3:1998
- DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03**, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC_17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN_ISO/IEC_17025:2017.
- DWA-A 272 (2014)**: Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS)
- DWA-M 277 (2017)**: Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen.
- DWD - Deutscher Wetterdienst ((Hg.) (2022)**: Deutscher Klimaatlas. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
- EU Richtlinie, 2006/7/EG (2006)**. Badegewässerrichtlinie. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:064:0037:0051:DE:PDF>
- EU-Richtlinie 91/271/EWG (1991)**: Behandlung von kommunalen Abwasser.
- EU-Verordnung 2020/741 (2020)**: Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung. EU, 2020. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legislation/content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741>
- fbr - Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e. V. (2009)**: Grauwasser-Recycling und Regenwassernutzung. Wasser zweimal nutzen. Darmstadt: fbr (Schriftenreihe fbr, 12).
- fbr - Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (2005)**. Grauwasser-Recycling: Planungsgrundlagen und Betriebshinweise fbr-Hinweisblatt H-201.
- Fritsche, O. (2016)**: Mikrobiologie. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Kompaktwissen Biologie).
- Ghaly, A. E.; Mahmoud, N. S.; Ibrahim, M. M.; Mostafa, E. A.; Kassem, M. A.; Hatem, M. H. (2021)**: Greywater Sources, Characteristics, Utilization and Management Guidelines: a review (4). Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/353615495_Greywater_Sources_Characteristics_Utilization_and_Management_Guidelines_a_review
- Grohmann, A. N.; Jekel, M.; Grohmann, A.; Szewzyk, R.; Szewzyk, U. (2011)**: Wasser. Berlin: De Gruyter.
- Gross, A.; Azulai, N.; Oron, G.; Ronen, Z.; Arnold, M.; Nejidat, A. (2005)**: Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study. In: Water Science and Technology 52 (8). DOI: 10.2166/wst.2005.0251.
- Hernández Leal, L.; Zeeman, G.; Temmink, H.; Buisman, C. (2007)**: Characterisation and biological treatment of greywater. In: Water Science and Technology (5). DOI: 10.2166/wst.2007.572.
- Hess, A.; Morgenroth, E. (2021)**: Biological activated carbon filter for greywater post-treatment: Long-term TOC removal with adsorption and biodegradation. In: Water Research X (13), S. 100113. DOI: 10.1016/j.wroa.2021.100113.
- INTEWA (2021)**: Nachhaltiges Grauwasser-Recycling auf dem Campingplatz Gerhardshof. In: fbr – wasserspiegel, 2021 (2/21).
- ISO 15553:2006-11**, Wasserbeschaffenheit - Isolierung und Zählung von *Cryptosporidium* - Oocysten und *Giardia* - Cysten aus Wasser
- ISO, 16075-4 (2021)**. Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – Part 4: Monitoring.
- Itzhari, D.; Ronen, Z. (2023)**: The Emergence of Antibiotics Resistance Genes, Bacteria and Micropollutants in Grey Wastewater. In: Applied Sciences 13 (4). DOI: 10.3390/app13042322.
- Khajvand, M.; Mostafazadeh, A. K.; Drogui, P.; Tyagi, R. D.; Brien, E. (2022)**: Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. In: Environ Sci Pollut Res (8), DOI: 10.1007/s11356-021-16480-z.
- Khalaphallah, R. (2012)**: Greywater treatment for reuse by slow sand filtration : study of pathogenic microorganisms and phage survival.
- Kohlhepp, G. (2023)**: Potentialabschätzung zur Nutzung von Grauwasser im Kontext einer nachhaltigen Siedlungsökologie; Masterarbeit UIB/2023/9;

Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Siedlungswasserwirtschaft, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Silvio Beier

- König, K. W. (2013):** Grauwassernutzung. Ökologisch notwendig – Ökonomisch sinnvoll; Troisdorf: iWater Wassertechnik GmbH & Co. KG.
- Laaffat, J.; Aziz, F.; Ouazzani, N.; Mandi, L. (2019):** Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities. In: Saudi Journal of Biological Sciences (26). DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.01.006.
- Londong, J.; Hörnlein, S. (2018):** AWAS - Entwicklung einer Abwasserweiche und getrennten Abwassersammlung als Vorstufe einer effizienten Wasserwiederverwendung und Energiegewinnung. Londong, Jörg; Hörnlein, Stefanie. Hg. v. Bauhaus-Universität Weimar (BUW).
- Maffettone, R. and Gawlik, B.,** Technical guidance - water reuse risk management for agricultural irrigation schemes in Europe, EUR 31316 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-59112-2 , doi:10.2760/590804, JRC129596.
- Melo, M. R. d. S., Dias, N. d. S., Medeiros, I. J. N. de, Travassos, K. D., Miranda, N. d. O., Gurgel, M. T., et al. (2020).** Strategies for applying gray water effluent on ornamental sunflower crops. Environmental science and pollution research international, 27(31), 38537–38544.
- Monsalves, N.; Leiva, A. M.; Gómez, G.; Vidal, G. (2023):** Organic Compounds and Antibiotic-Resistant Bacteria Behavior in Greywater Treated by a Constructed Wetland. In: International journal of environmental research and public health 20 (3). DOI: 10.3390/ijerph20032305.
- Mutschmann; Stimmelmayer (2019):** Taschenbuch der Wasserversorgung. Unter Mitarbeit von Peter Fritsch, Winfried Hoch, Gerhard Merkl, Joachim Rautenberg, Matthias Weiß und Burkhard Wricke. 17th ed. Wiesbaden: Vieweg. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5646064>,
- Nolde, E. (2021):** Grauwasser - Eine Ressource mit sehr viel Potential. Nolde, Erwin. In: fbr – wasserspiegel, 2021 (4/21), S. 6–17.
- Noman, E. A.; Radin M.; Radin M. S.; Al-Gheethi, A. A.; Al-shaibani, M. M.; Al-Wrafy, F. A.; Al-Maqtari, Q. A.; Vo, D.-V. N. (2022):** Antibiotics and antibiotic-resistant bacteria in greywater: Challenges of the current treatment situation and predictions of future scenario. In: Environmental Research 212. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113380.
- Noutsopoulos, C.; Andreadakis, A.; Kouris, N.; Charchousi, D.; Mendrinou, P.; Galani, A. et al. (2018):** Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. In: Journal of Environmental Management (216). DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.094.
- Oteng-Pepurah, M.; Acheampong, M. A.; deVries, N. K. (2018):** Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception-a Review. In: Water, air, and soil pollution 229 (8). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30237637/>
- Petousi, I.; Thomaidi, V.; Kalogerakis, N.; Fountoulakis, M. S. (2023):** Removal of pathogens from greywater using green roofs combined with chlorination. In: Environmental science and pollution research international 30 (9), DOI: 10.1007/s11356-022-23755-6.
- PURION (Hg.) (2023):** Mobile Concept by PURION
- Ringelstein, O. (2023):** MoVe Green - Mobile Vertikale Fassensbegrünung. In: fbr - wasserspiegel (3/23),
- Rodda, N.; Salukazana, L.; Jackson, S.A.F.; Smith, M. T. (2011):** Use of domestic greywater for small-scale irrigation of food crops: Effects on plants and soil. In: Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 36 (14-15). DOI: 10.1016/j.pce.2011.08.002.
- Roeske, W. (2019):** Trinkwasserdesinfektion. 4. Aufl. Essen: Vulkan Verlag.
- Shi, K.-W.; Wang, C.-W.; Jiang, S. C. (2018):** Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse. In: The Science of the total environment 635. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.197.
- Sievers, J. C. (2018):** Charakterisierung von Grauwasser. Berlin: RHOMBOS-VERLAG (Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für Zukunftsweisende Infrastruktursysteme, 37).
- Sinaj, S., Blanchet, G., Cadot, S., Kuster, T., Charles, R., & Jeangros, B. (2017).** Pflanzenanalysen. Agroscope.
- Travis, M. J.; Wiel-Shafran, A.; Weisbrod, N.; Adar, E.; Gross, A. (2010):** Greywater reuse for irrigation: effect on soil properties. In: The Science of the total environment 408 (12). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.005.
- TrinkwV - Trinkwasserverordnung (2023):** Zweite Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung. Hg. v. Bundesgesetzblatt. Bonn (159).
- UBA - Umweltbundesamt (2019):** Critical Loads für Schwermetalle. UBA. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-oekosysteme/critical-loads-fuer-schwermetalle#was-sind-critical-loads>
- UBA - Umweltbundesamt (2021):** Nährstoffe. UBA. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/zustand/naehrstoffe#langjahrige-datenreihen-oder>
- UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2016):** Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung (TEXTE, 34/2016)
- UFZ - Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (Hg.) (2023):** Dürremonitor Deutschland - Dürren seit 2014 (monatlich). Online verfügbar unter <https://www.ufz.de/index.php?de=40990>

van de Walle, A.; Kim, M.; Md Kawser A.; Xiaofei W.; Di W.; Smruti R. D. et al. (2023): Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. In: Environmental Science and Ecotechnology (16), Artikel 100277. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100277.

VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2013): VDI 2070 Betriebswassermanagement für Gebäude und Liegenschaften

Veser, S. (2015): Doppel-Inliner-Verfahren zur getrennten Erfassung von Schwarz- und Grauwasser im Gebäudebestand. 1. Aufl. Berlin: epubli GmbH.

Weingärtner, D. E. (2013): Greywater - Characteristics, Biodegradability and Reuse of some Greywaters. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Diss., 2013. Karlsruhe: KIT-Bibliothek (Schriftenreihe SWW Karlsruhe, 144).

Wiel-Shafran, A.; Ronen, Z.; Weisbrod, N.; Adar, E.; Gross, A. (2006): Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. In: Ecological Engineering 26 (4). DOI: 10.1016/j.ecoleng.2005.12.008.

Xu, P.; Gao, Y.; Cui, Z.; Wu, B.; Yan, B.; Wang, Y. et al. (2023): Research Progress on Effects of Biochar on Soil Environment and Crop Nutrient Absorption and Utilization. In: Sustainability. DOI: 10.3390/su15064861.

Ziemba, C.; Larivé, O.; Reynaert, E.; Morgenroth, E. (2018): Chemical composition, nutrient-balancing and biological treatment of hand washing greywater. In: Water Research (144). DOI: 10.1016/j.watres.2018.07.005.

ANHANG

A) Probenahmefrequenzen

Table 29: Probenahmefrequenz für die Qualitätsüberwachung hinsichtlich mikrobiologischer und chemisch-physikalischer Parameter von behandeltem Grauwasser, den Empfängerböden und ggf. Grundwasser basierend auf Literaturempfehlungen (Verordnung (EU), 2020/741; ISO 16075-4; Lazarova & Bahri, 2005)

Parameter	(aufbereitetes) Grauwasser	Empfängerböden	Grundwasser
<i>E. coli</i>	Wöchentlich – monatlich	-	Halbjährlich
Gesamtcoliforme	Wöchentlich – monatlich	-	Halbjährlich
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	bei Inbetriebnahme der Anlage, dann vierteljährlich	-	-
<i>Clostridium perfringens</i> (Sporen)	bei Inbetriebnahme zur Validierung der Eliminationsleistung für Protozoen	-	-
<i>Salmonella spp.*</i> / <i>Campylobacter</i>	Falls zutreffend, 2x monatlich	-	-
<i>Legionella spp.**</i>	Bei Inbetriebnahme und 2x pro Monat, falls zutreffend	-	-
Helminthen/ Nematoden***	Bei Inbetriebnahme und 2x pro Monat, falls zutreffend	-	-
Somatische Coliphagen	Bei Inbetriebnahme zur Validierung der Eliminationsleistung für Viren	-	-

* bei Verdachtsfall

** bei Anwendung von Sprühbewässerungssystemen o.ä. mit möglicher Aerosolbildung

*** bei Bewässerung von Weideflächen oder Futterpflanzen

Parameter	Grauwasser und aufbereitetes Grauwasser	Empfänger-böden	Grundwasser
Trübung	On-line	-	-
Restchlor	On-line	-	-
Wasserpegel	-	-	halbjährlich
pH	On-line oder monatlich	Jährlich	Halbjährlich
Schwebstoffe	Monatlich	-	-
Gesamte gelöste Stoffe	Monatlich	-	Halbjährlich
Leitfähigkeit	Monatlich	Halbjährlich	Halbjährlich
BSB	Monatlich	-	-
Ammonia	Monatlich	-	Halbjährlich
Gesamt-stickstoff	Monatlich	Halbjährlich	Halbjährlich
Nitrite	Monatlich	-	Halbjährlich
Nitrate	Monatlich	Jährlich (austausch-bare NO ₃)	halbjährlich
Gesamt-phosphor	Monatlich	Halbjährlich (extrahierbarer Phosphor)	Halbjährlich
Lösliche Phosphate	Monatlich	Halbjährlich	Halbjährlich
Wichtige gelöste Stoffe (Na, Ca, Mg, K, Cl, SO ₄ , HCO ₃ , CO ₃)	Vierteljährlich	-	Halbjährlich
Austauschbare Kationen (Na, Ca, Mg, K, Al)	-	Jährlich	-
(Verordnung (EU), 2020/741; ISO, 16075-4.; Lazarova & Bahri, 2005)			

B) Kriterienkatalog zur Grauwasserwiederverwendung

Potenzialabschätzung

einer

1	Recht	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
	Erlaubt nach:			
1.1	Wasserhaushaltsgesetz	nein/ja	Wenn eine Grauwasserwiederverwendung aufgrund der rechtlichen Situation nicht möglich ist, gilt dies als oberstes Ausschlusskriterium. Daher muss eine rechtliche Prüfung durch eine rechtskundige Person erfolgen.	https://www.gesetze-im-internet.de/w/hg_2009/index.html
1.2	Abwasserverordnung	nein/ja		https://www.gesetze-im-internet.de/abww/anhang_1.html
1.3	Grundwasserverordnung	nein/ja	Eine Prüfung der rechtlichen Situation kann jedoch nur erfolgen, wenn der Nutzungswunsch bekannt ist.	https://www.gesetze-im-internet.de/grww_2010/index.html
1.4	Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser der LAWA	nein/ja	Deshalb sollten zunächst die weiteren Kriterien bewertet werden.	https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeit_bericht_seite_001_028_1552302_213.pdf
1.5	Oberflächengewässerverordnung	nein/ja		https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/index.html
1.6	Verordnung zur Wasserwiederverwendung	nein/ja		https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TX/TF/PDF/?url=CELEX:32020R0741
1.7	Bundesbodenschutzverordnung	nein/ja		https://www.gesetze-im-internet.de/bodtschv_2023/BodtschV.pdf
1.8	Düngerverordnung	nein/ja		https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/
1.9	Der Anschluss und Benutzungszwang für Abwasser ... entfallen	nein/ja		
1.10	Der Anschluss und Benutzungszwang für Trinkwasser ... entfallen	nein/ja		

2 Gebäude und Infrastruktur			
Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
2.1 Bei dem betrachteten Gebäude/Quartier handelt es sich um...	<p>1 = einen bereits sanierten Bestandsbau oder bereits fertiggestellten Neubau</p> <p>2 = ein Gebäude mit leichtem Sanierungsbedarf</p> <p>3 = ein Gebäude mit erhöhtem Sanierungsbedarf</p> <p>4 = ein Gebäude in dem Erneuerungen des Leitungssystemes sowieso notwendig sind</p> <p>5 = einen Neubau in Planug</p>	Einschätzung des Bauherren in Bezug auf die betreffenden Gebäude im Quartier.	---
2.2 Vorhande Infrastruktur für Betriebswasser....	<p>1 = ist nicht vorhanden und kann nicht ergänzt werden</p> <p>2 = ist nicht vorhanden und kann nur unter schwierigen Umständen ergänzt werden</p> <p>3 = ist nicht vorhanden, kann aber problemlos ergänzt werden</p> <p>4 = ist vorhanden und im mäßigen Zustand</p> <p>5 = ist vorhanden und im guten Zustand/ es handelt sich um einen Neubau in Planung, daher kann das Betriebswassernetz problemlos integriert werden</p>	Einschätzung des Bauherren in Bezug auf die betreffenden Gebäude im Quartier.	---
2.3 Stehen Flächen zur Verfügung, auf die eine Grauwasseraufbereitung gestellt werden könnte? Grober Richtwert: 2m ² /m ³ Aufbereitungskapazität (ARIS)	<p>1 = Es gibt weder im Keller noch im Außenbereich eine Möglichkeit, eine Anlage aufzustellen</p> <p>2 = Die Stellfläche im Keller oder Außenbereich ist eng aber möglich</p> <p>3 = Die Stellfläche im Kellerraum oder im Außenbereich ist mittelmäßig groß</p> <p>4 = Es ist eine ausreichend große Stellfläche im Außenbereich vorhanden</p> <p>5 = Es ist eine ausreichend große Stellfläche im Kellerraum vorhanden</p>	Ausfüllen nach der Bewertung der Grauwasserverfügbarkeit bzw. des Nutzungswunsches.	---

3 Grauwasser verfügbarkeit			
Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
3.1 Duschen/Badewannen	1 = 1-5 EW 2 = 6-15 EW 3 = 16-30 EW 4 = 31-50 EW 5 = > 50 EW	Der Bauherr bewertet die Grauwasser verfügbarkeit , indem er angibt, von wie vielen Einwohnern (EW) der Grauwasser teilstrom gesammelt werden kann. Es handelt sich dabei um eine Einschätzung des Bauherren in Bezug auf die betreffenden Gebäude im Quartier und der durchschnittlichen Belegung einer Wohneinheit.	Durchschnittliche Mengen des Grauwassers nach Herkunftsort (nach DWA-M 277)
3.2 Handwaschbecken			
3.3 Küchenspülen			
3.4 Spülmaschinen		Da der Grauwasser anfall je Teilstrom sehr unterschiedlich ist, werden die Unterkategorien nach Anteil des Grauwasser teilstroms am Gesamt grauwasseranfall gewichtet. Diese Wichtung kann nicht verändert werden.	
3.5 Waschmaschinen			

4 Nutzungswunsch			
Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
4.1 als Betriebswasser für die WC-Spülung	1 = 1-5 EW/Bäume/m ² 2 = 6-15 EW/Bäume/m ² 3 = 16-30 EW/Bäume/m ² 4 = 31-50 EW/Bäume/m ² 5 = > 50 EW/Bäume/m ²	Der Bauherr bewertet den Nutzungswunsch, indem er angibt, für wie viele Einwohner (EW), Bäume oder m ² Grünfläche er das aufbereitete Grauwasser verwenden möchte.	Durchschnittlicher Bedarf an Betriebswasser (nach DWA-M 277)
4.2 als Betriebswasser für die Waschmaschine			Durchschnittlicher Bewässerungsbedarf der Bäume und Grünflächen auf Grundlage von Literatur und Erfahrungswerten.
4.3 als Betriebswasser für die Reinigung im Haushalt		Es handelt sich dabei um eine Einschätzung des Bauherren in Bezug auf die betreffenden Gebäude im Quartier und der durchschnittlichen Belegung einer Wohneinheit sowie die Anzahl der betreffenden Bäume und Fläche der Grünanlage.	
4.4 als Bewässerungswasser für umliegende Grünflächen und Bäume			

5 Grauwasser qualität			
Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
5.1 Schadstoffbelastung	1 = sehr hoch belastet (z. B. ausschließlich GW aus Waschmaschine und Küche) 2 = hoch belastet (z. B. überwiegend GW aus Waschmaschine und Küche) 3 = mittel belastet (z. B. gemischtes Grauwasser aus allen Teilströmen) 4 = gering belastet (z. B. Sanitärbereich und Waschmaschine oder Küche) 5 = sehr gering belastet (z. B. aus dem Sanitärbereich)	Aus Kriterium 3 und 4 muss eine Wasserbilanz erstellt werden (Nutzung des <i>Beilages 1 Wasserbilanz</i> empfohlen) Optimalerweise ist die Grauwasser verfügbarkeit auf Grund der schwach belasteten Teilströme größer als die benötigte Menge für den Nutzungswunsch, sodass auf eine Sammlung der hoch belasteten Teilströme verzichtet werden kann. Wenn sehr viel aufbereitetes Grauwasser benötigt wird, können auch stark belastete Grauwasser teilströme angesetzt werden. <i>Priorität</i> sollten die sehr gering bis mittel belasteten Teilströme haben.	Die genauere Grauwasser zusammensetzung ist in Kapitel 4.3 der vorliegenden Arbeit näher beschrieben

6 Ökologie	Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
6.1	Die Niederschlagsmenge im Sommer ist im Durchschnitt der letzten 5 Jahre im Vergleich zum Referenzzeitraum um ... gesunken	1 = > -5 % 2 = -5 bis -15 % 3 = -15 bis -25 % 4 = -25 bis -40 % 5 = < -40 %	Den Karten des DWD (Beispiel auf dem Beiblatt 2 Ökologie Abschnitt 2.1) können prozentuale Bereiche der Abweichungen zum Referenzzeitraum entnommen werden. Der Mittelwert des betreffenden Bereiches kann für jedes Jahr in die Bewertungskategorien des vorliegenden Kriterienkatalogs eingeteilt werden. Anschließend wird der Durchschnitt der Bewertung der letzten 5 Jahre gebildet. Alternativ können die online-Karten des DWD genutzt werden, welche unter dem nebenstehenden Link abgerufen werden können. Um die korrekten Karten zu erhalten, müssen folgende Einstellungen eingestellt werden: Element/Größe: Niederschlag Typ: Abweichung Jahr: die letzten 5 Jahre Monat/Jahreszeit: Sommer	https://www.dwd.de/DE/klima/umwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html
6.2	Der prozentuale Anteil an gesunkenen Grundwasserspiegeln im Gebiet beträgt ...	1 = < 5 % 2 = 5-10 % 3 = 10-20 % 4 = 20-30 % 5 = > 30 %	Der nebenstehende Link führt zur Internetseite von Corretiv. Dort ist eine Übersicht zu Grundwasserpegelmessungen in Deutschland in Kartenform aufgeführt. Es ist das betreffende Gebiet auszuwählen und der Prozentsatz an leicht und stark sinkenden Grundwasserspiegeln im Gebiet im Verhältnis zu den Gesamtgrundwassermessstellen auszurechnen. Hierfür kann ebenfalls das Beiblatt 2 Ökologie Abschnitt 2.2 genutzt werden. Dieser Prozentsatz kann mit den Bewertungskategorien abgeglichen werden und dementsprechend die Bewertung in der Matrix ausgefüllt werden.	https://correctiv.org/aktuelles/kampf-um-wasser/2022/10/25/klimawandel-grundwasser-in-deutschland-sinkt/?bbox=2.932937931785631%2C45.200800967704936%2C24.2329379317853%2C55.79241409032102&zoom=4.716940586303015#tool
6.3	Die Bodenfeuchte im potenziellen Anwendungsgebiet war in den letzten 5 Jahren so gering, dass der Dürremonitor im Monat mit der höchsten Dürre eine ... angegeben hat	1 = ungewöhnliche Trockenheit 2 = moderate Dürre 3 = schwere Dürre 4 = extreme Dürre 5 = aussergewöhnliche Dürre	Die Karten des UFZ (Kartenbeispiele im Beiblatt 2 Ökologie Abschnitt 2.3) zeigen für jeden einzelnen Monat, ob und wie ausgeprägt eine Dürre in den vergangenen Jahren war. Anhand der Karten kann abgeschätzt werden, in welche Kategorie das potenzielle Anwendungsgebiet fällt.	https://www.ufz.de/index.php?de=40990

7	Ökonomie	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
7.1	<p>Kriterium</p> <p>Die Differenz der Kosten für das Trinkwasserentgelt beträgt aktuell im Vergleich zum Bundesdurchschnitt ...</p>	<p>1 = <= 0,00</p> <p>2 = 0,01-0,10</p> <p>3 = 0,11-0,20</p> <p>4 = 0,21-0,30</p> <p>5 = > 0,30</p>	<p>Bewertet wird die Differenz des tatsächlichen Trinkwasserentgeltes zu dem Bundesdurchschnitt. Der durchschnittliche Trinkwasserpreis betrug im Jahr 2022 1,83 €/m³.</p> <p>Optimalerweise werden die eigenen Kostenaufstellungen zur Trinkwasserversorgung verwendet. Alternativ kann der Durchschnittswert des betreffenden Gebiets gewählt werden, welcher auf DESTATIS einsehbar ist. Die Einteilung der Gebiete erfolgt nach Bundesländern. Es ist der €/m³-Preis inkl. Grundentgelt zu wählen. Die Trinkwasserentgelte können für das Jahr 2022 dem <i>Beiblatt 3 Ökonomie Abschnitt 3.1</i> entnommen werden, alternativ führt der dargestellte Link zu den aktuellen Daten.</p> <p>Als Referenz zum Bundesdurchschnitt kann ebenfalls als Datengrundlage die aktuelle Tabelle für Trinkwasserentgelte der DESTATIS herangezogen werden.</p>	<p>https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft</p> <p>aft-</p> <p>Umwelt/Umwelt/Wasserversorgung/Tabellen/tw-08-entgelt-trinkwasser-versorgung-tarifgeb-nach-tariffypen-2020-2022-land-bund.html</p>
7.2	<p>Die Trinkwasserkosten sind in den Jahren von 2014 bis 2022 (bzw. in den letzten 9 Jahren) um ... gestiegen</p>	<p>1 = < 0%</p> <p>2 = 0-5 %</p> <p>3 = 5-10%</p> <p>4 = 10-15%</p> <p>5 = > 15%</p>	<p>Bewertet wird die tatsächliche Preissteigerung von 2014 bis 2022 bzw. die Preissteigerung in den letzten 9 Jahren des Trinkwasserentgeltes im betrachteten Gebiet. Optimalerweise werden die eigenen Kostenaufstellungen zu Trinkwasserversorgung verwendet. Alternativ kann die Prozentuale Preissteigerung im betrachteten Gebiet aus dem Durchschnittswert des betreffenden Gebiets gewählt werden, welcher auf DESTATIS einsehbar ist. Es ist der €/m³-Preis inkl. Grundentgelt zu betrachten. Die Prozentuale Preissteigerung kann für die Jahre 2014 bis 2022 dem <i>Beiblatt 3 Ökonomie Abschnitt 3.1</i> entnommen werden, alternativ führt der nebenstehende Link zu den aktuellen Daten.</p>	<p>https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft</p> <p>aft-</p> <p>Umwelt/Umwelt/Wasserversorgung/Tabellen/tw-08-entgelt-trinkwasser-versorgung-tarifgeb-nach-tariffypen-2020-2022-land-bund.html</p>
7.3	<p>Die Abwasserabgabe beträgt ... €/m³</p>	<p>1 = < 1,30</p> <p>2 = 1,30-2,30</p> <p>3 = 2,30-3,30</p> <p>4 = 3,30-4,30</p> <p>5 = > 4,30</p>	<p>Die Abwassergebühren sind je nach Aufgabenträger sehr unterschiedlich und hängen mit den örtlichen Gegebenheiten zusammen. Die Gebühr inklusive Grundentgelt kann daher nicht Gebietsweise über Tabellenwerte angenommen werden. Die Gebühr muss auf Grundlage von eigenen Kostenaufstellungen ermittelt werden oder beim örtlichen Aufgabenträger (z. B. Abwasser-zweckverband) abgefragt werden. Die Einordnung der Höhe der Abwassergebühren erfolgt über €/m³. Die Einteilung der Stufen 1-5 erfolgt auf Grundlage des Abwassergebührenrankings 2023 (siehe Quellenverweis) herausgegeben von IW Consult.</p>	<p>https://www.hausundgrund.de/sites/default/files/2023-06/Abwassergeb%C3%BChrenranking%202023%20Haus%20%26%20Grund%20Deutschland.pdf</p>
7.4	<p>Die Abwasserkosten sind in den letzten 9 Jahren um ... gestiegen</p>	<p>1 = < 0%</p> <p>2 = 0-5 %</p> <p>3 = 5-10%</p> <p>4 = 10-15%</p> <p>5 = > 15%</p>	<p>Da die Abwassergebühren je nach Aufgabenträger sehr unterschiedlich sind, können keine Tabellenwerte angenommen werden. Die Preissteigerung der Gebühr muss auf Grundlage einer eigenen Kostenaufstellung errechnet werden oder beim Aufgabenträger angefragt werden.</p>	<p>Zuständiger Abwasserzweckverband</p>
7.5	<p>Ich bin ... in neue Technologien mit längerem Amortisationszeitraum zu investieren</p>	<p>1 = nicht bereit</p> <p>2 = eher nicht bereit</p> <p>3 = am Abwägen</p> <p>4 = eher bereit</p> <p>5 = bereit</p>	<p>Die Höhe der Investitionskosten ist stark abhängig von der Aufbereitungskapazität und den baulichen Strukturen der vorhandenen Infrastruktur sowie dem gewünschten Aufbereitungssystem. Daten müssen bei Interesse an einer Grauwasserwiederverwendung bei Herstellern angefragt werden.</p>	<p>Aufbereitungssysteme und deren Vor- und Nachteile sowie Systemlösungen werden im Leitfadens Kapitel 3.3 aufgeführt</p>
7.6	<p>Ich bin ... in eine Technologie zu investieren, bei der monatliche Betriebskosten anfallen</p>	<p>1 = nicht bereit</p> <p>2 = eher nicht bereit</p> <p>3 = am Abwägen</p> <p>4 = eher bereit</p> <p>5 = bereit</p>	<p>Die Höhe der Betriebskosten ist stark abhängig von dem gewünschten Aufbereitungssystem. Daten müssen bei Interesse an einer Grauwasserwiederverwendung bei Herstellern angefragt werden.</p>	<p>Aufbereitungssysteme und deren Vor- und Nachteile sowie Systemlösungen werden in Kapitel 3.3 aufgeführt</p>

8 Sozial	Kriterium	Bewertungsmöglichkeiten	Erklärung/Datengrundlage	Quellenverweis
8.1	Die Akzeptanz der Bewohner für eine Grauwasserwiederverwendung ist ...	1 = nicht gegeben 2 = eher nicht gegeben 3 = neutral 4 = vorhanden 5 = voll und ganz vorhanden	Einschätzung des Bauherren oder Umfrage bei den Bewohnern.	---
8.2	Die Bereitschaft der Bewohner sich mit der Technologie auseinanderzusetzen ist ...	1 = nicht gegeben 2 = eher nicht gegeben 3 = neutral 4 = vorhanden 5 = voll und ganz vorhanden	Einschätzung des Bauherren oder Umfrage bei den Bewohnern.	---
8.3	Die Nebenkosten, die die Bewohner tragen müssen, waren in den letzten Jahren auf Basis der Trink- und Abwassergebühren ...	1 = geringfügig 2 = eher gering 3 = durchschnittlich 4 = leicht erhöht 5 = hoch	Einschätzung des Bauherren in Bezug auf die betreffenden Gebäude im Quartier.	---
8.4	Einschätzung der Pflanzen und Grünflächen hinsichtlich eines Wassermangels ohne zusätzliche Bewässerung, wodurch das Wohlbefinden der Mieter sinkt	1 = Die Grünflächen bleiben durch den natürlichen Wasserhaushalt vital 2 = es treten vereinzelt vertrocknete Stellen auf 3 = es treten vermehrt vertrocknete Stellen auf 4 = die mehrheitliche Fläche ist vertrocknet 5 = nahezu alle Grünflächen und Hecken sind vertrocknet	Einschätzung des Bauherren.	---

C) Beiblätter zum Kriterienkatalog

Beiblatt 1: Wasserbilanz über die Grauwasserverfügbarkeit und den Nutzungswunsch

In diesem Beiblatt müssen lediglich die Einwohnerzahlen bzw. die Anzahl der Bäume und die Quadratmeter der Grünflächen eingegeben werden. Anschließend erfolgt eine Prüfung, ob insgesamt genügend Grauwasser zur Verfügung steht. Zudem wird geprüft, ob die Sammlung von leicht belasteten Grauwasser genügt.

3 Grauwasserverfügbarkeit			
Grauwasserteilstrom	Kennwert nach DWA-M 277	EW	l/d
3.1 Duschen/Badewannen	45,0 l/(EW*d)	53	2.385
3.2 Handwaschbecken	12,5 l/(EW*d)	53	663
Zwischensumme leicht belastetes GW			3.048
3.3 Küchenspülen	7,5 l/(EW*d)	53	398
3.4 Spülmaschinen	7,5 l/(EW*d)	0	0
3.5 Waschmaschinen	12,5 l/(EW*d)	53	663
Zwischensumme stark belastetes GW			1.060
Grauwasserverfügbarkeit Gesamt			4.108

4 Nutzungswunsch			
Nutzungsart	Kennwert nach DWA-M 277	EW	l/d
4.1 als Betriebswasser für die WC-Spülung	33,0 l/(EW*d)	53	1.749
4.2 als Betriebswasser für die Waschmaschine	15,0 l/(EW*d)	0	0
4.3 als Betriebswasser für die Reinigung im Haushalt	7,0 l/(EW*d)	0	0
Zwischensumme Betriebswasser			1.749
4.4 als Bewässerungswasser für Bäume	20 l/(Baum*d)	17	340
als Bewässerungswasser für Grünflächen	0,7 l/(m ² Grünfläche*d)	1560	1.092
Zwischensumme Bewässerungswasser			1.432
Nutzungswunsch Gesamt			3.181

Prüfung: Grauwasserverfügbarkeit > Nutzungswunsch:

Grauwasserverfügbarkeit ausreichend

Prüfung: leicht belastetes Grauwasser > Nutzungswunsch:

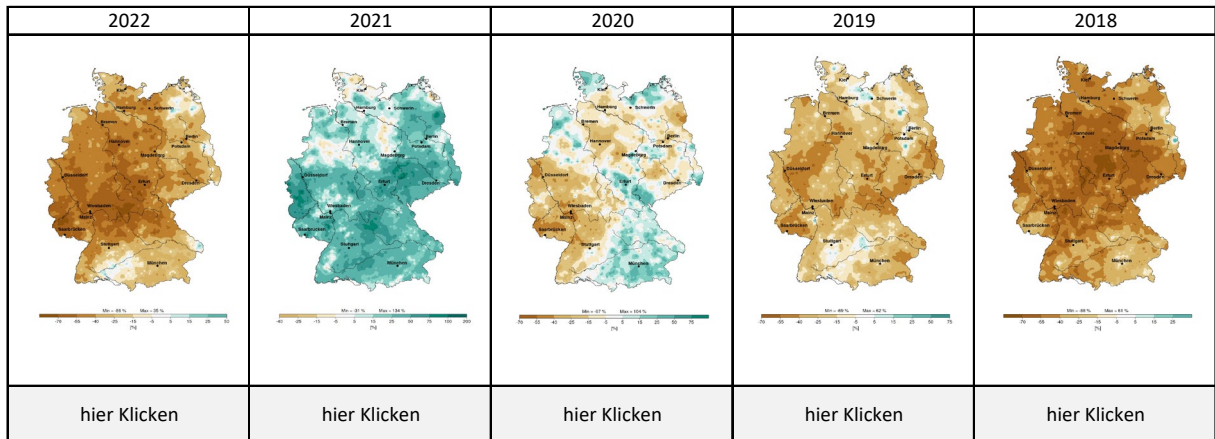
stark belastetes Grauwasser notwendig

Beiblatt 2: *Ökologie, Zwischenschritt 2.1 zur Ermittlung des Kriteriums 6.1: Abweichung der Niederschlagsmengen in den letzten 5 Jahren*

In diesem Beiblatt können die Zwischenergebnisse zur Ermittlung der Ökologischen Parameter notiert werden. Zudem errechnen sich die im Kriterienkatalog geforderten Durchschnitte und der prozentuale Anteil automatisch.

2.1 Zwischenschritt: Abweichung der Niederschlagsmenge in den letzten 5 Jahren

	Jahr	1	2	3	4	5	Übertrag
		>-5%	-5 bis -15 %	-15 bis -25 %	-25 bis -40 %	< -40 %	
6.1 Die Niederschlagsmenge im Sommer ist im Durchschnitt der letzten 5 Jahre im Vergleich zum Referenzzeitraum um ... gesunken Karten des DWD unter: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html	1					x	5
	2	x					1
	3			x			3
	4					x	5
	5					x	5
	Durchschnitt						



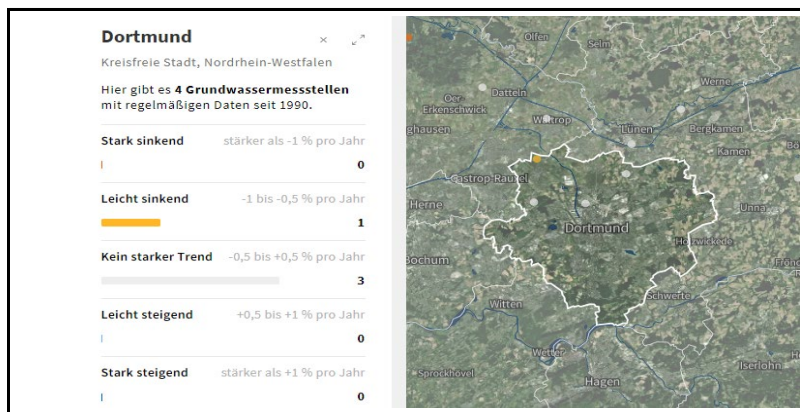
DWD - Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2022b): Deutscher KlimaAtlas

2.2 Zwischenschritt: Ermittlung des Anteils an gesunkenen Grundwasserspiegeln in der Region

<p>6.2 Die Grundwasserspiegel sind um ... gesunken In der rechten Spalte können hilfsweise die Anzahl der Grundwassermessstellen eingegeben werden. Der prozentuale Anteil errechnet sich selber. Online-Tool von Correctiv unter: https://correctiv.org/aktuelles/kampf-um-wasser/2022/10/25/klimawandel-grundwasser-in-deutschland-sinkt/?bbox=-2.932937931785631%2C45.200800967704936%2C24.2329379317853%2C55.79241409032102&zoom=4.716940586303015#tool</p>	stark sinkend	0
	leicht sinkend	1
	kein starker Trend	3
	leicht steigend	0
	stark steigend	0
	Gesamt	4
	Anteil gesunkener Grundwasserspiegel	25%

2.2 Zwischenschritt: Ermittlung des Anteils an gesunkenen Grundwasserspiegeln in der Region

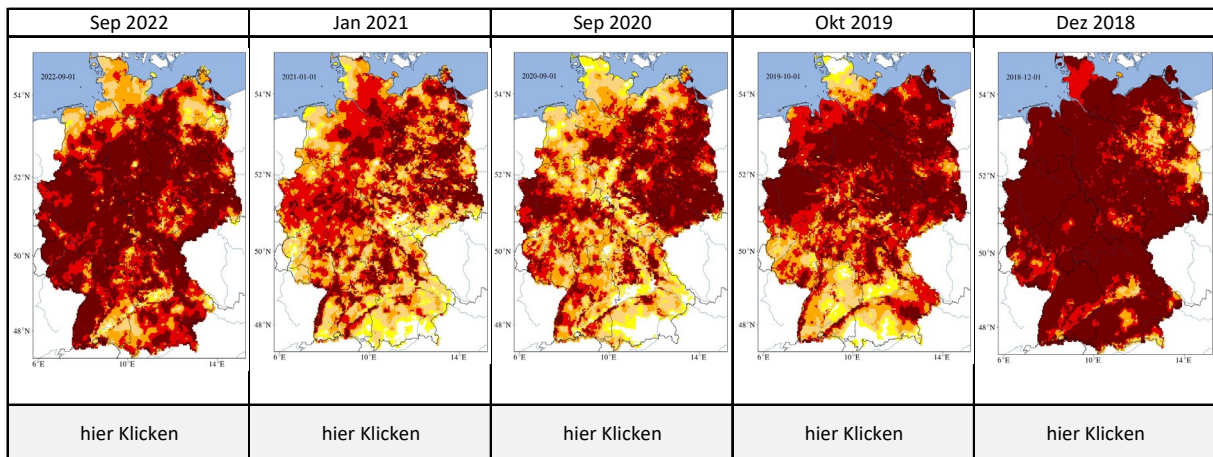
<p>6.2 Die Grundwasserspiegel sind um ... gesunken In der rechten Spalte können hilfsweise die Anzahl der Grundwassermessstellen eingegeben werden. Der prozentuale Anteil errechnet sich selber. Online-Tool von Correctiv unter: https://correctiv.org/aktuelles/kampf-um-wasser/2022/10/25/klimawandel-grundwasser-in-deutschland-sinkt/?bbox=-2.932937931785631%2C45.200800967704936%2C24.2329379317853%2C55.79241409032102&zoom=4.716940586303015#tool</p>	Stark sinkend	0
	leicht sinkend	1
	kein starker Trend	3
	leicht steigend	0
	stark sinkend	0
	Gesamt	4
	Anteil gesunkener	25%



Beiblatt 2: Ökologie, Zwischenschritt 2.3 zur Ermittlung des Kriteriums 6.3: Ermittlung der durchschnittlichen Dürre in den letzten 5 Jahren

2.3 Zwischenschritt: Ermittlung der durchschnittlichen Dürre in den letzten 5 Jahren

	Jahr	1	2	3	4	5	Übertrag
		unge-wöhnlich	moderate	schwere	extreme	außerge-wöhnliche	
6.3 Die Bodenfeuchte im potenziellen Anwendungsgebiet war in den letzten 5 Jahren so gering, dass der Dürremonitor für den Gesamtboden im Monat mit der höchsten Dürre eine ... Dürre angegeben hat Karten des UFZ unter: https://www.ufz.de/index.php?de=40990	1					x	5
	2				x		4
	3					x	5
	4					x	5
	5					x	5
	Durchschnitt						



UFZ - Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (Hg.) (2023b): Dürremonitor Deutschland - Dürren seit 2014 (monatlich)

Dem Beiblatt 3 können die durchschnittlichen Trinkwasserpreise aus den Jahren 2014 und 2022 nach Bundesländern entnommen werden (DESTATIS). Zudem ist die Abweichung vom Bundesdurchschnitt und die Prozentuale Preissteigerung bereits berechnet. Die Bewertungsnummer kann direkt in den Kriterienkatalog übertragen werden.

3.1 Übersicht der Trinkwasserentgelte aus dem Jahr 2014 und 2022 nach Bundesländern und daraus resultierende Abweichungen und Preissteigerungen

Bundesland	Jahr		Kriterium 7.1		Kriterium 7.2	
	2022	2014	Abweichung des Trinkwasserentgelts vom Bundesdurchschnitt nach Bundesländern im Jahr 2022	Bewertungsnummer	Prozentuale Preissteigerung/-minderung des Trinkwasserentgelt von 2014 bis 2022	Bewertungsnummer
Deutschland	1,83	1,69	0,00	---	8,3	---
Baden-Württemberg	2,33	2,04	0,50	5	14,2	4
Bayern	1,78	1,48	-0,05	1	20,3	5
Berlin	1,81	1,81	-0,02	1	0,0	1
Brandenburg	1,57	1,53	-0,26	1	2,6	2
Bremen	2,44	1,98	0,61	5	23,2	5
Hamburg	1,93	1,77	0,10	2	9,0	3
Hessen	2,16	1,97	0,33	5	9,6	3
Mecklenburg-Vorpommern	1,60	1,61	-0,23	1	-0,6	1
Niedersachsen	1,43	1,22	-0,40	1	17,2	5
Nordrhein-Westfalen	1,64	1,65	-0,19	1	-0,6	1
Rheinland-Pfalz	1,82	1,70	-0,01	1	7,1	3
Saarland	2,00	1,88	0,17	3	6,4	3
Sachsen	2,01	1,94	0,18	3	3,6	2
Sachsen-Anhalt	1,75	1,73	-0,08	1	1,2	2
Schleswig-Holstein	1,57	1,44	-0,26	1	9,0	3
Thüringen	2,08	2,00	0,25	4	4,0	2

WASSERWENDE IM WOHNUNGSBAU

Praktischer Leitfaden zur
Grauwassernutzung

