



Masterarbeit

Ressourcen-orientierte Sanitärversorgung in Mehrparteienhäusern

Handlungsempfehlung für das Mehrgenerationenhaus WSX

Vorgelegt von : Stephan Dittrich



Prüfender 1 : Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch

Prüfender 2 : Prof. Dr.-Ing. Reinhard Hinkelmann

Betreuerin : Dr.-Ing. Ariane Krause

12. April 2023

„Immer wenn ich ein englisches Wasserklosett benutze, habe ich dasselbe schlechte Gewissen, wie wenn ich Auto fahre oder Flugzeug fliege. Die Wasser-Toiletten sind eine der vielen gefährlichen Sackgassen unserer Zivilisation: Verschwendung von Unmengen reinem Trinkwasser, um etwas Scheiße und Urin fortzutragen.“ (HUNDERTWASSER, 1975)



Dieses Werk ist lizenziert unter einer

[Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Masterarbeit selbstständig ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum, Unterschrift

Abstract

Resource Oriented Sanitation Systems (ROSS) help to reduce drinking water consumption, recycle water and nutrients, save energy and effectively eliminate pollutants. This paper examines and analyses the planning aspects of ROSS in urban areas. Based on the assumption that ROSS in multi-storey housing represent an economically and ecologically sensible addition and relief to the existing linear wastewater disposal, implementation barriers and experiences are analysed. The aim of this work is to examine the feasibility of ROSS in a concrete application, as well as the design and configuration of the individual system components. This work represents a case study with a transdisciplinary approach, which channels all stakeholders (including the building owner, planners, administration, users, politicians and executors), experiences from existing projects and the framework conditions of the property in order to develop an individually adapted ROSS.

The cooperative of self-organised projects GSP eG is planning an ecological new building in the drinking water protection area of Berlin-Friedrichshagen. For this specific application, the state of the art of ROSS was first recorded and the experiences of users of some existing ROSS were collected and evaluated. The needs of future users were discussed in a next step. With these basics and the further legal and architectural framework conditions, an adapted ROSS could be planned and developed for the concrete application example in Berlin, which was handed over to the cooperative as a basis for decision-making. This ROSS includes a greywater system to reduce drinking water consumption, a greywater heat recovery system and rainwater management including infiltration. In addition, the building owner is recommended to make all structural preparations to implement nutrient recovery from urine as of availability.

In this way, this work makes a very concrete contribution to fill the identified research gap between the necessity and reality of ROSS, and thus to push the necessary nutrient and sanitation transition.

Zusammenfassung

Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS) tragen dazu bei den Trinkwasserverbrauch zu reduzieren, Wasser und Nährstoffe zu recyceln, Energie einzusparen und Schadstoffe effektiv zu eliminieren. Die vorliegende Arbeit beleuchtet und analysiert die planerischen Aspekte von ROSS in urbanen Räumen. Basierend auf der Annahme, dass ROSS im mehrgeschossigen Hausbau eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Ergänzung und Entlastung zur bestehenden linearen Abwasserentsorgung darstellen, werden Implementierungshemmnisse und Erfahrungen analysiert. Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung der Umsetzbarkeit von ROSS in einem konkreten Anwendungsfall, sowie die Auslegung und Konfiguration der einzelnen Systemkomponenten. Dabei stellt die vorliegende Arbeit eine Fallstudie mit transdisziplinärem Ansatz dar, welche sämtliche Stakeholder (darunter Bauherrin, Planende, Verwaltung, Nutzer:innen, Politik sowie Ausführende), Erfahrungen aus Bestandsprojekten und die Rahmenbedingungen des Grundstücks kanalisiert, um so ein individuell angepasstes ROSS zu entwickeln.

Die Genossenschaft selbstverwalteter Projekte GSP eG plant als Bauherrin einen ökologischen Neubau im Trinkwasserschutzgebiet Berlin-Friedrichshagen. Für diesen konkreten Anwendungsfall wurde im Rahmen dieser Arbeit zunächst der Stand der Technik von ROSS erfasst und Erfahrungen von Nutzer:innen einiger bestehender ROSS eingeholt und ausgewertet. Die Bedürfnisse der künftigen Nutzer:innen wurden in einem nächsten Schritt erörtert. Mit diesen Grundlagen sowie den weiteren gesetzlichen und architektonischen Rahmenbedingungen konnte ein angepasstes ROSS für das konkrete Anwendungsbeispiel in Berlin geplant und entwickelt werden, welches der Bauherrin als Entscheidungsvorlage übergeben wurde. Dieses ROSS beinhaltet eine Grauwasseranlage zur Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs, eine Grauwasser-Wärmerückgewinnung und Regenwasserbewirtschaftung inkl. Versickerung. Zusätzlich wird der Bauherrin empfohlen, alle baulichen Vorbereitungen zu treffen, um eine Nährstoffrückgewinnung aus Urin ab Verfügbarkeit nachträglich zu implementieren.

Dadurch trägt diese Arbeit ganz konkret dazu bei, die identifizierte Forschungslücke zwischen Notwendigkeit und Realität Ressourcen-orientierter Sanitärsysteme zu füllen, und damit die notwendige Nährstoff- und Sanitärwende voranzubringen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS).....	5
2.1 Hintergrund zu ROSS.....	6
2.1.1 Motivation und Ziele.....	6
2.1.2 Stand der Technik und Forschung.....	12
2.2 Systemkomponenten und Konfiguration von ROSS.....	13
2.2.1 Begriffsbestimmungen.....	15
2.2.2 Sammlung: Erfassung der Stoffströme.....	16
2.2.3 Verwertung: Behandlung und Wiederverwendung der Stoffströme.....	20
2.3 Planungsgrundlagen.....	30
2.3.1 Standortbezogene und architektonische Rahmenbedingungen.....	30
2.3.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen und technische Regelwerke.....	33
3 Material und Methoden.....	36
3.1 Auswahl bestehender ROSS.....	38
3.2 Einbeziehungen der künftigen Mieter:innen.....	39
3.3 Rahmenbedingungen für Planungsbeispiel WSX.....	40

4 Ergebnisse und Diskussion.....	43
4.1 Analyse bestehender ROSS.....	43
4.1.1 LaVidaVerde, Lichtenberg, Berlin.....	43
4.1.2 Wönnichstr. 103, Lichtenberg, Berlin.....	45
4.1.3 Studierendenwohnheim Berlinovo, Pankow, Berlin.....	48
4.1.4 Landhof Schöneiche bei Berlin.....	52
4.1.5 Ökosiedlung Allermöhe, Hamburg.....	55
4.2 Befragung der künftigen Mieter:innen von WSX.....	57
4.2.1 Workshop zu ROSS.....	57
4.2.2 Befragung der Mieter:innen.....	58
4.3 Planung ROSS für Mehrgenerationenhaus WSX.....	60
4.3.1 Rückschlüsse aus Analyse bestehender ROSS und Einbeziehung der Mieter:innen.....	60
4.3.2 Stoffstromermittlung der Abwasserfrachten.....	63
4.3.3 Diskussion: Möglichkeiten für ROSS im Planungsbeispiel.....	68
4.3.4 Auswertung der Planung mittels SAMPSONS2.....	76
4.3.5 Betrachtung von Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	78
4.4 Handlungsempfehlung für das Mehrgenerationenhaus WSX.....	82
5 Fazit und Ausblick.....	85
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	85
5.2 Ausblick.....	87
5.3 Vernetzung und Strategien.....	88

Literaturverzeichnis.....	XI
Anhang.....	XXIII
A1 Architektur, Planungsbeispiel WSX, LP2.....	XXIII
A2 Fragebogen über ROSS bei den künftigen Mietenden (leer).....	XXIII
A3 Vorentwurfsplanung Außenanlagen WSX vom 23.03.2023.....	XXIII
A4 Visualisierung der Abwasserfrachten durch SAmpSONS2.....	XXIII
A5 Datenblatt Grauwasseranlage DEHOUST GWM Typ 3.....	XXIII

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Einheit	Bedeutung
AG		Arbeitsgemeinschaft
BBSR		Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEG		Bundesförderung für effiziente Gebäude
BENE		Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung
BMEL		Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV		Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWSB		Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BSB	mg/L	Biochemischer Sauerstoffbedarf
BVL		Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BWB		Berliner Wasserbetriebe
CSB	mg/L	Chemischer Sauerstoffbedarf
d		Tag
DBU		Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DGNB		Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DIN		Deutsches Institut für Normung e.V.
DLR		Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DWA		Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
E	Wh	Energie in Wattstunden

EAWAG		Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs der Schweizerischen Eidgenossenschaft
eG		eingetragene Genossenschaft
EH		Effizienzhaus
EU		Europäische Union
EW		Einwohner:in
fbr		Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V.
GOK		Geländeoberkante
GWA		Grauwasseranlage
k _f	m/s	Durchlässigkeitsbeiwert nach DWA-A 138
KFN		Klimafreundlicher Neubau
KfW		Kreditanstalt für Wiederaufbau
KKA		Kleinkläranlage
KOSTRA-DWD		Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und Starkniederschlagsauswertung des DWD
LP		Leistungsphase
N		Stickstoff
NASS		Neuartiges Sanitärsystem – Synonym für ROSS und ehemalige Bezeichnung
NHN		Normalhöhennull, Höhe über Meeresspiegel
NTU		Nephelometric Turbidity Unit (Trübung)
P		Phosphor
PKA		Pflanzenkläranlage
QNG		Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
ROSS		Ressourcen-orientiertes Sanitärsystem

RW		Regenwasser
SenUMVK		Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz
TGA		Technische Gebäudeausstattung
UV		Ultraviolettstrahlung
V	L	Volumen in Litern
WE		Wohneinheit
WRG		Wärmerückgewinnung
WSX		Werlseestraße X (die Hausnummer ist noch nicht bekannt, X ist ein Platzhalter)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an das Betriebswasser nach fbr e.V.....	21
Tabelle 2: Trinkwasserverwendung im Haushalt 2021.....	64
Tabelle 3: Ermittlung der in WSX lebenden Personen als Bemessungsgrundlage.....	64
Tabelle 4: Berechnung der anfallenden Urinmenge.....	65
Tabelle 5: Berechnung Betriebswasserbedarf.....	65
Tabelle 6: benötigte Flächen für unterschiedliche Arten der Niederschlagsversickerung.....	67
Tabelle 7: Bemessung der Muldenversickerung nach DWA-A 138.....	68
Tabelle 8: Gegenüberstellung von Treibhausgasemissionen im Projekt WSX.....	78
Tabelle 9: Investitionskosten ROSS im Projekt WSX.....	80
Tabelle 10: Kosteneinsparungen durch geringeren Trinkwasserbezug und geringerer Abwasserentsorgung im Projekt WSX in einem 30 Jahres-Zeitraum.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Zunahme von Extremwetterereignissen (Rekord-Niederschlagsanomalie und Rekord-Trockenheitsanomalie) und ihr langfristiger Trend.....	1
Abbildung 2: durchschnittliche Trinkwasserverwendung einer Person pro Tag im Jahr 2021. .	6
Abbildung 3: Einwohnerspezifische Frachten in den unterschiedlichen Teilströmen im häuslichen Abwasser [g/(EW*d)].....	7
Abbildung 4: Volumenanteil des Urins im kommunalen Abwasser und die Nährstoffkonzentration in der Urinfracht.....	8
Abbildung 5: Darstellung des Nährstoffkreislaufs.....	9
Abbildung 6: Mögliche urbane Abwasserinfrastrukturen mit Integration von ROSS. Links hybride Infrastruktur, rechts autarke/dezentrale Infrastruktur.....	10
Abbildung 7: Paradigmenwechsel in der deutschen Siedlungswasserwirtschaft, Gegenüberstellung eines zentralen Sanitärsystems zu ROSS.....	11
Abbildung 8: Beispiel eines ROSS im Gebäude - Trennung der Stoffströme an der Quelle und individuelle Behandlung für einen Nährstoff- und Wasserkreislauf.....	14
Abbildung 9: Überblick über die NASS/ROSS Systemgruppen.....	17
Abbildung 10: Links die Funktionsweise der Laufen Save! Trenn-Toilette. Der Urin wird mittels Adhäsion abgeleitet, ein-Siphon verhindert Geruchsbildung, Rechts eine Draufsicht auf die Toilette.....	18
Abbildung 11: Trocken-Trenn-Toilette, Model Liloo von Finizio.....	19
Abbildung 12: Kompost-Toilette der Firma Clivus Multrum.....	19
Abbildung 13: Übersicht über mögliche Produkte aus ROSS/NASS und deren Ausgangsteilströme.....	20
Abbildung 14: Schematische Darstellung einer MBR-Grauwasseranlage.....	22

Abbildung 15: Vertikalfilter und Ausweichfilter mit Lavasand 0 mm bis 4 mm, Prinzipdarstellung nach DWA-A 262.....	24
Abbildung 16: schematische Darstellung des Urin-Recycling mit der Anlage von Vuna.....	26
Abbildung 17: Wärmerückgewinnung für den mehrgeschossigen Wohnungsbau aus dem Grauwasserstrom. Die "kalten", gleichzeitig hoch belasteten Fäkalabwässer werden getrennt abgeleitet.....	29
Abbildung 18: Doppel-Rohr-Inliner für getrennte Erfassung der Stoffströme im Bestand.....	31
Abbildung 19: Schematische Darstellung einer Abwasserweiche.....	31
Abbildung 20: Relevante Verordnungen und Gesetze zum Recycling von Nährstoffen aus verdauten Lebensmitteln und deren Anwendungshindernisse.....	34
Abbildung 21: gemauerter Tank zum Speichern des Niederschlagswassers im Keller von LaVidaVerde.....	45
Abbildung 22: Kompost-Trenntoilette in der Wönnichstr. 103. Separate Urinabführung vorne, trockene Sammlung der Fäzes im Eimer hinten. Abluftabführung über Rohr zum Dach.....	48
Abbildung 23: Aufbau der Grauwasserrecyclinganlage mit Wärmerückgewinnung in dem Studierendenwohnheim der Berlinovo in Berlin-Pankow.....	50
Abbildung 24: schematische Darstellung der TerraNova Komposttoilettenanlage auf dem Landhof Schöneiche.....	54
Abbildung 25: Schema der Pflanzenkläranlage für das Grauwasser in der Ökosiedlung Allermöhe, Hamburg.....	56
Abbildung 26: Einsparpotential von Trinkwasser der künftigen Mieter:innen.....	58
Abbildung 27: Verwendung von Düngemitteln aus Nährstoffrecycling für die Nahrungsmittelproduktion.....	59
Abbildung 28: Bereitschaft zum Tragen höherer Investitionskosten zugunsten von Einsparungen im Wasserverbrauch.....	59
Abbildung 29: Mehrgeschossiger Hausbau mit Urinabscheidung und kompaktem Erschließungsstrang.....	71

Abbildung 30: Kombination von Photovoltaik-Anlagen mit Dachbegrünung im Vergleich zu einer PV-Anlage ohne Dachbegrünung..... 75

Abbildung 31: Darstellung der Abwasserfrachten des ROSS der Variante 2 bis zur Übergabe an das Kanalnetz..... 76

Abbildung 32: Aufbau des Ressourcen-orientierten Sanitärsystems (ROSS) im Planungsbeispiel WSX unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen.....83

Abbildung 33: Leitungsschacht eines Bades im Planungsbeispiel WSX mit Braun-, Grau-, Gelb-, Betriebs-, Trinkwasser-, Heizungs-, und Lüftungsleitungen.....87

1 Einleitung

In Deutschland erlebt die Bevölkerung im Jahr 2022 den sonnigsten Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Es ist einer der vier wärmsten Sommer seit dem Jahr 1881. Hitzerekorde, extreme Trockenheit und Niederschlagsmangel führen unter anderem zu ausgetrockneten Flussläufen und einem Absinken des Grundwasserspiegels. Uwe Kirsche, der Pressesprecher des Deutschen Wetterdienstes, formulierte es so:

„Die Extreme dieses Sommers zeigen sich auch in unserer Klimastatistik. Der Sommer 2022 war in Deutschland der sonnigste, 6.trockenste und gehört zu den vier wärmsten seit Aufzeichnungsbeginn. Wir dürften damit in Zeiten des Klimawandels einen bald typischen Sommer erlebt haben.“ (DWD, 2022)

Auch im darauf folgenden Winter 2022/2023 fällt so wenig Niederschlag in Europa, dass Klimaforscher:innen von einer Winterdürre sprechen (DLF, 2023). Die Abbildung 1 zeigt die Zunahme von Extremwetterereignissen im vergangenen Jahrhundert.

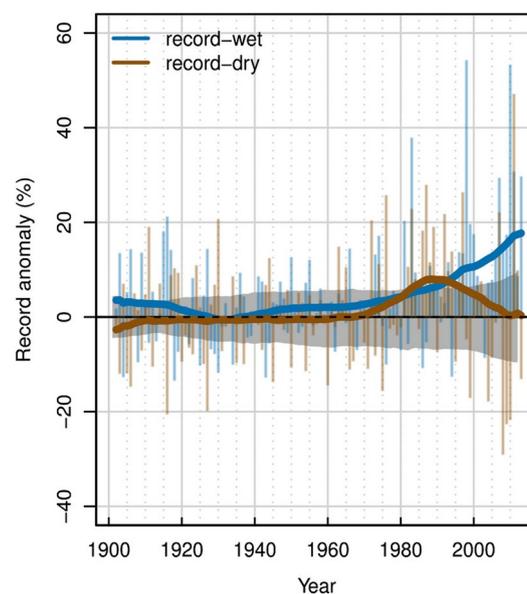


Abbildung 1: Globale Zunahme von Extremwetterereignissen (Rekord-Niederschlagsanomalie und Rekord-Trockenheitsanomalie) und ihr langfristiger Trend. (LEHMANN u. a., 2018)

Durch die über Jahre anhaltenden geringen Niederschlagsmengen, können sich die Gewässer und die Grundwasserstände nicht regenerieren (ELSNER, 2021). Die Folgen sind trockene Wälder, Waldbrände und Wassermangel, wie zum Beispiel niedrige Pegelstände im Rhein, was wiederum zu wärmeren Wassertemperaturen und auch eingeschränkter Schifffahrt führt (SPIEGEL, 2022).

Durch den Wassermangel und dem gleichzeitig konstant gebliebenen Nährstoffeinträgen aus den Abwässern und der Landwirtschaft, kommt es zu einer höheren Nährstoffkonzentration in den Oberflächengewässern (Eutrophierung). Dies führt zu starkem Algenwachstum. Die zusätzliche Einleitung von industriellen Abwässern (bspw. salzhaltig) kann zu großen Umweltkatastrophen führen, wie zum Beispiel dem Fischsterben in der Oder im Sommer 2022 (UBA, 2022).

Diese und viele weitere Beispiele zeigen die Dringlichkeit Treibhausgasemissionen zu reduzieren, um die globale Erderwärmung zu begrenzen und der darüber hinausgehenden Wasserknappheit entgegenzuwirken. Die Anpassung an die Folgen der anthropogenen Klimakrise sind darüber hinaus ebenso von zentraler Bedeutung. Ressourcen zu schonen, Wasser- und Nährstoffkreisläufe zu schließen sowie Wasser zu sparen und zu recyceln, hat eine hohe Priorität. Diese Dringlichkeit betont nicht zuletzt der Generalsekretär der Vereinten Nationen (UN) António Guterres zum Ende der Weltwasserkonferenz am 25.03.2023 (RND, 2023). Dabei muss auch die Bauwirtschaft ihren Anteil zur Einhaltung der 1,5°C Grenze (UNITED NATIONS, 2015) beitragen. Sie verfehlt aber regelmäßig die Sektorziele beim Klimaschutz (TAGESSCHAU.DE, 2022).

Darüber hinaus werden für die künstliche Düngemittelproduktion, insbesondere die Gewinnung und Herstellung von Phosphor (P) und Stickstoff (N), große Mengen an fossilen Energieträgern (vor allem Erdgas) benötigt. Phosphatgestein, aus dem Phosphor gewonnen wird, ist ein endlicher Rohstoff, der in Minen abgebaut und von der Europäischen Kommission als kritischer Rohstoff eingestuft wird (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2020). Vor dem Hintergrund der Klima- und Energiekrise kann Recyclingdünger aus Fäkalien zukünftig (wieder) synthetisch hergestellten Dünger ersetzen und so einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der fossilen Energien bei der Düngemittelproduktion beitragen. Ein Viertel des weltweit produzierten N-Düngers könnte aus menschlichem Urin hergestellt werden (AIGNER, 2022; WALD, 2022).

Während energieeffizientes, ökologisches Bauen und erneuerbare, dezentrale Energieerzeugung in Neubauten schon weit verbreitet und akzeptiert sind, sind nachhaltige Sanitärsysteme noch Nischenprodukte und bisher wenig etabliert – vor allem in Mehrparteienhäusern und in urbanen Gebieten. Dabei können sie einen großen Beitrag zur Energie- und Wassereinsparung, zum Nährstoffrecycling und zur Betriebskostenreduktion beitragen, womit sie auch einen entscheidenden Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels darstellen können.

Technisch ausgereifte und langjährig erprobte Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS) sind zahlreich vorhanden und kontinuierlich kommen neue hinzu (bspw. die Vuna-technologie zum Urinrecycling). Die Funktionsweise, Vorteile und Reinigungsleistungen sind bekannt und erforscht (UNI WEIMAR u. DWA, 2015). Aktuelle Forschungsprojekte fokussieren sich auf die rechtlichen Rahmenbedingungen und schaffen eine rechtssichere Grundlage für die weitere Planung und Wiederverwendung der Nährstoffe (siehe Kapitel 2.1.2).

Diese Masterarbeit will einen Beitrag leisten, ROSS in mehrgeschossigen Mehrparteienhäusern zu implementieren. Dabei liegt der Fokus dieser Arbeit auf den Planungsprozessen und der Auswertung der Erfahrungen aus der Praxis. Im Rahmen dieser Arbeit wird sich dabei auf den urbanen Raum fokussiert, da hier besondere Anforderungen und einschränkende Rahmenbedingungen (darunter diverse und wechselnde Mieter:innen, Verfügbarkeit von Platz, Anschluss- und Benutzungszwang) vorherrschen, die es den Bauherr:innen und Planer:innen schwerer machen sich für ROSS zu entscheiden.

Als Praxisbeispiel dient in dieser Arbeit ein Mehrgenerationenhaus in der Werlseestraße X (Projektname und Abkürzung: WSX) in Berlin-Friedrichshagen, welches die Genossenschaft selbstverwalteter Projekte (GSP eG) derzeit entwickelt. Bisher hat die Bauherrin GSP eG dem Sanitärkonzept noch keine große Bedeutung beigemessen. Dabei gibt es auch vor Ort Gründe, den Ressourcenverbrauch von konventionellen Sanitärsystemen zu hinterfragen und alternativ zu gestalten, indem ROSS implementiert werden.

Auch in Berlin sinken die Grundwasserstände teils drastisch (JACOBS, 2022b). In Friedrichshagen hatte der Müggelsee im Sommer 2022 verglichen mit den Vorjahren einen niedrigeren Wasserstand (JACOBS, 2022a). Mitunter führte die Spree so wenig Wasser, dass sie an eini-

gen Tagen rückwärts floss (KLIER, 2022). Durch die hohen Wassertemperaturen und die starke Eutrophierung kommt es vor allem in den Bademonaten zu einem großen Algen- und Wurmwachstum (MERZ, 2022). Hier liegt auch das Einzugsgebiet des Wasserwerks Friedrichshagen, welches ca. 900.000 Berliner:innen mit Trinkwasser versorgt und damit das bedeutendste Wasserwerk Berlins darstellt (ANDRITSCHKE, 2018).

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb ein ROSS zu entwickeln, welches im ökologischen Neubauprojekt WSX in Berlin-Friedrichshagen umgesetzt werden kann, damit Grundwasserstände nicht weiter strapaziert werden, indem Trinkwasser eingespart und Regenwasser ortsnah versickert wird. Darüber hinaus könnten durch eine Trennung der Stoffströme (Schwarz-, Gelb-, Grau- und Regenwasser) eine Wiederverwendung der Nährstoffe ermöglicht und somit konventionelle Düngemittel ersetzt werden. Dazu gliedert sich die Arbeit wie folgt:

Im Kapitel 2 wird der Stand der Technik Ressourcen-orientierter Sanitärsysteme vorgestellt. Hierbei werden neben den technischen Anforderungen und Möglichkeiten, auch die planerischen und rechtlichen Rahmenbedingungen vorgestellt. Im Kapitel 3 werden die verwendeten Materialien und angewandten Methoden dieser transdisziplinären Arbeit erläutert. Darunter fallen neben den Erläuterungen zur Auswahl der besuchten ROSS, auch die Vorstellung der Befragung der künftigen Mieter:innen und das Zusammentragen der Rahmenbedingungen des Projektbeispiels WSX. Im Rahmen des Kapitels 4, werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Dafür werden zunächst die Erkenntnisse aus den Besuchen bestehender ROSS-Projekte dokumentiert und analysiert (Kapitel 4.1). Im Kapitel 4.2 werden dann die Anforderungen und Anwendungsbereitschaft der künftigen Mieter:innen in Bezug auf ROSS ausgewertet. Diese fließen neben den ökologischen, planerischen und wirtschaftlichen Kriterien in die Planung mit ein. Im Rahmen des Kapitels 4.3 wird das ROSS für das Mehrgenerationenhaus WSX geplant. Die Ergebnisse werden direkt diskutiert, eingeordnet und bewertet. Darunter fällt auch die Ermittlung des Amortisationszeitraumes und die Verifizierung der Ergebnisse mittels einer Planungssoftware für ROSS. Im Kapitel 5 folgt das Fazit und der Ausblick in Bezug auf das Planungsbeispiel WSX. Hier werden auch Strategien zur Etablierung und Verbreitung von ROSS allgemein diskutiert. Somit ergibt sich in dieser Arbeit ein Dreiklang aus der Analyse bestehender ROSS, die Erfassung der Bedürfnisse der künftigen Mieter:innen und die konkrete Auslegung des ROSS für das Planungsbeispiel WSX unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse.

2 Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS)

Konventionelle, zentralisierte Abwassersysteme haben sich mit dem schnellen Städtewachstum zum Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt und etabliert. Der Fokus lag auf Hygieneverbesserungen und damit Seuchenvorbeugung, da die Abwässer aus der Stadt damals noch ungeklärt in die Gewässer eingeleitet wurden (GUJER, 2007). Um die Oberflächengewässer zu schützen und die Eutrophierung einzudämmen, wurden die zentralen Kläranlagen kontinuierlich weiterentwickelt, damit ein Großteil der im Abwasser vorhandenen Nährstoffe herausgeholt und entsorgt werden können. In der Literatur wird aus den genannten Gründen von einer „linearen Abwasserentsorgung“ gesprochen (KRAUSE u. a., 2021). Aber nicht alle Nährstoffe können im Klärwerk dem Abwasser entzogen werden und auch Medikamentenrückstände, pathogene Keime und andere Schadstoffe bleiben im geklärten Abwasser (UBA, 2018; UBA, 2020).

Während einer Führung durch das Klärwerk Ruhleben am 11.01.2023 berichten die Berliner Wasserbetriebe, dass sie bis zum Jahr 2027 eine 4. Reinigungsstufe zur Phosphorelimination installieren. Diese 4. Reinigungsstufe wird auch Medikamentenrückstände aus dem Abwasser holen und es über eine UV-Desinfektion entkeimen. Der feuchte Klärschlamm wird im Klärwerk entwässert und mittels Heizöl verbrannt. Die Abwärme wird genutzt, um die Betriebsgebäude zu heizen. Während der Führung wird davon berichtet, dass es in ferner Zukunft eine „Abwasser-Autobahn“ um Berlin geben könnte, die die Klärwerke am Stadtrand miteinander verbindet. So können Abwässer effektiver auf die einzelnen Klärwerke verteilt werden – gerade auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Starkregenereignisse und die damit verbundene größere, verdünnte Menge an Abwasser (KUCZMERA, 2023).

Die Ressourcen-orientierten Sanitärsysteme (ROSS) haben neben der hygienischen Aufbereitung der anfallenden Abwässer auch den Anspruch, Wasser zu recyceln und damit weniger Trinkwasser zu verwenden, energieeffizienter zu arbeiten und Nährstoffe zu recyceln (UNI WEIMAR u. DWA, 2015). Sie können die lineare Abwasserentsorgung entlasten und ergänzen.

2.1 Hintergrund zu ROSS

2.1.1 Motivation und Ziele

Der durchschnittliche Trinkwasserverbrauch pro Person und Tag bleibt in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten relativ stabil und lag zuletzt im Jahr 2021 bei 127 Litern, wie auf Abbildung 2 aufgeschlüsselt ist (WILKE, 2022).

Trinkwasser ist das Grundnahrungsmittel Nummer 1 (BVL, o. J.) und wird mit durchschnittlich 34,3 Litern pro Person und Tag (27% des täglichen Trinkwasserverbrauchs) (BDEW, 2022) in Deutschland dafür benutzt, um als Trägermittel die Fäkalien zum Klärwerk zu transportieren. Bedingt durch die Klimakrise herrscht gleichzeitig in vielen Regionen Wassermangel und es wird immer aufwendiger und teurer Trinkwasser zu produzieren (vgl. auch Kapitel 1). Ein Ziel von ROSS ist es daher den Trinkwasserverbrauch zu reduzieren.

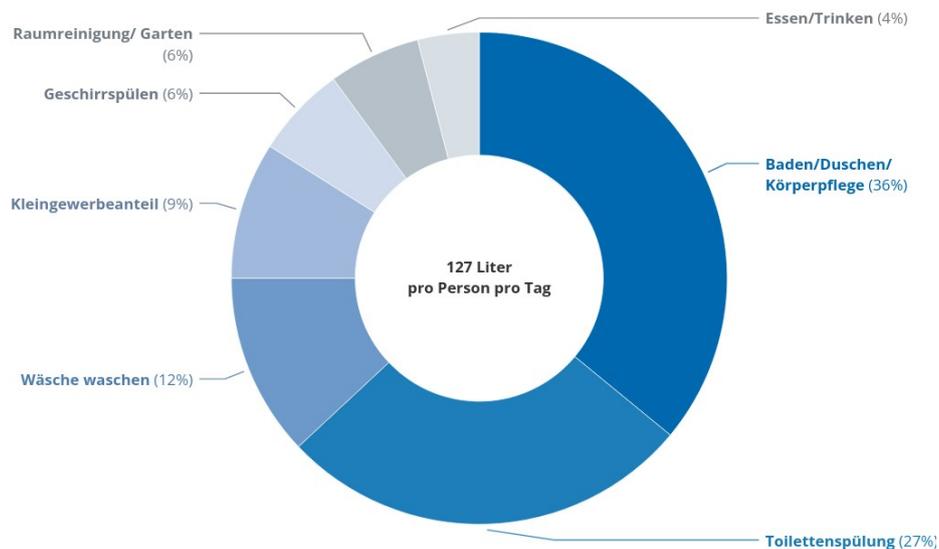


Abbildung 2: durchschnittliche Trinkwasserverwendung einer Person pro Tag im Jahr 2021, Quelle: (BDEW, 2022)

Aufgrund der Schadstoffe im Klärschlamm der kommunalen Kläranlagen, findet in der Regel eine thermische Entsorgung statt und die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe werden un-

wiederbringlich vernichtet (FINIZIO, 2023; KUCZMERA, 2023). Gleichzeitig sind die Schadstoff- und Nährstoffeinträge der verschiedenen Abwasserteilströme sehr unterschiedlich gelagert, was in Abbildung 3 zu erkennen ist. Für die Produktion der Lebensmittel werden künstliche Düngemittel wie Stickstoff und Phosphor unter hohem fossilem Energiebedarf hergestellt (KRAUSE, 2022b). Global betrachtet, verursacht die Herstellung synthetisch-mineralischer Dünger einen Energieverbrauch von 2% (BUNDESTAG, 2018). ROSS streben eine Trennung und gezielte Behandlung der Abwasserteilströme an, womit ein Nährstoffrecycling vereinfacht wird.

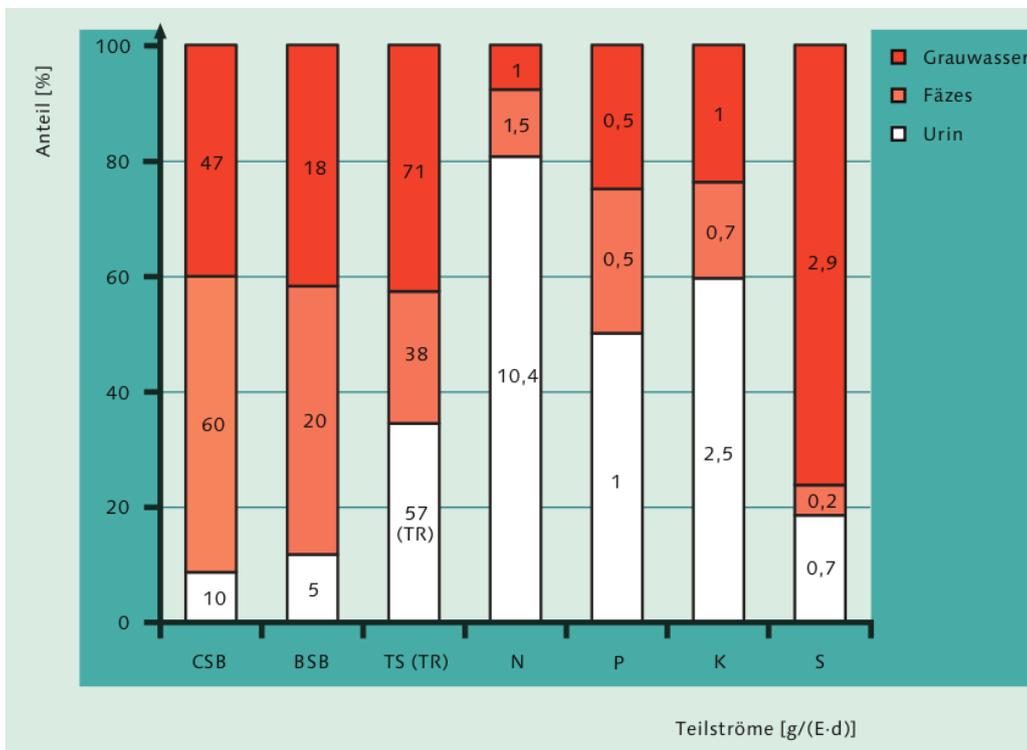


Abbildung 3: Einwohnerspezifische Frachten in den unterschiedlichen Teilströmen im häuslichen Abwasser [g/(EW*d)], Quelle: (UNI WEIMAR u. DWA, 2015)

Auf Abbildung 4 ist zu erkennen, dass ein Großteil des im kommunalen Abwasser befindlichen Stickstoffs und Phosphors aus dem Urin stammt (GUJER, 2007). Gleichzeitig macht Urin nur ca. einen Prozent des Volumens des Rohabwassers aus (KRAUSE, 2022a). Hinzu kommen die Medikamentenrückstände, die auch zum großen Teil im Urin enthalten sind.

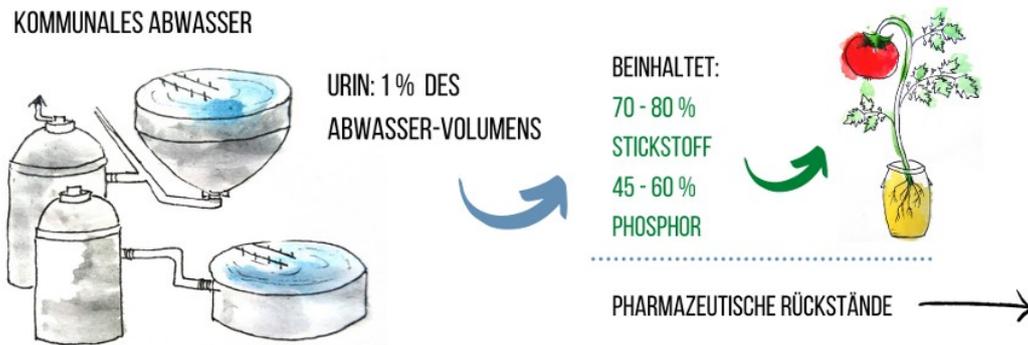


Abbildung 4: Volumenanteil des Urins im kommunalen Abwasser und die Nährstoffkonzentration in der Urinfracht, Quelle: Sophie Hamm, CC-BY SA zirkulierBAR

Für die Trinkwasserversorgung und die Abwasseraufbereitung werden in Deutschland jährlich 8.170 Gigawattstunden (GWh) an elektrischer Energie benötigt (FBR, 2022a). Aufgrund des Klimawandels wird der Wasserverbrauch und damit die Abwasseraufbereitung und der Energiebedarf weiter ansteigen (FBR, 2022a). Im Jahr 2021 verursachte die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom im deutschen Strommix durchschnittlich 420 Gramm CO₂ (STALLMANN, 2022). Damit ergeben sich jährlich insgesamt ca. 3,4 Mio. Tonnen CO₂ für die Trinkwasserversorgung und Abwasseraufbereitung. Ziel muss sein Wassereinsparungen zu realisieren und somit die Treibhausgasemissionen zu senken. Darüber hinaus sollten durch Nährstoffrecycling, synthetisch-mineralisch hergestellte Düngemittel reduziert werden, was wiederum eine Reduktion von Treibhausgasen mit sich bringt (KRAUSE, 2022b). Beide Ziele können mit ROSS realisiert werden, was zu zeigen sein wird. Neben der Eutrophierung der Gewässer, ist es auch aus dem Grund des Energiebedarfs sinnvoll, mit den Lebensmitteln aufgenommene Nährstoffe wiederzuverwenden.

„Analog zur Energiewende, bezeichnen wir den Umbau der Sanitärversorgung durch sukzessive Erweiterung der existierenden linearwirtschaftenden Infrastruktur mit kreislaforientierten Technologien als ‚Sanitärwende‘.

Wird dieser Umbau der Sanitärversorgung gekoppelt mit dem Aufbau einer regionalen Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft, sprechen wir von einer ‚Nährstoffwende‘. Das heißt: Nährstoffe, die der Umwelt durch Anbau und Verzehr von Lebensmitteln entnommen wurden, werden durch Sanitärsysteme ohne Kanalanschluss wieder

der Landwirtschaft zugeführt und der Kreislauf damit geschlossen. So kann der Druck auf natürliche Ressourcen (Boden, Wasser, Luft, Lagerstätten) minimiert werden.“ (KRAUSE u. a., 2021).

Die Sanitär- und Nährstoffwende hin zu einem Nährstoffkreislauf wird auf Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: Darstellung des Nährstoffkreislaufs, Quelle: (KRAUSE u. a., 2021)

Zusammenfassend verfolgen ROSS neben der hygienischen Unbedenklichkeit, die im Fokus der bestehenden Abwasserentsorgung stehen, die folgenden vier Ziele:

1. Wasser sparen und recyceln, geringerer Verbrauch des Lebensmittels Trinkwasser
2. Energieeinsparung durch geringere Abwassermengen und Nährstofffrachten
3. Nährstoffrecycling und Düngemittelproduktion
4. Schadstoffelimination

Die Umsetzung von ROSS im ländlichen Raum ist häufig mit weniger Einschränkungen und Hürden verbunden, als in städtischen Gebieten. In ländlichen Regionen können aufgrund von ausreichend Platz und einer eher dünnen Besiedlung mit teils nicht an der Kanalisation angeschlossenen Liegenschaften, mitunter sogar komplett autarke Sanitärsysteme implementiert werden. Im urbanen Raum hingegen ergeben sich technische Herausforderungen im Zuge der Mehrgeschossigkeit und Platzmangel, welche es notwendig machen, die Leitungen in einem kompakten Erschließungsstrang unterzubringen, um nicht zu viel Wohnfläche

zu verlieren. Nach Möglichkeit sollen vor diesem Hintergrund versetzte Stränge vermieden werden, aber dennoch Stoffströme getrennt erfasst werden.

In Mehrparteienhäusern entstehen durch Skalierung gewisse Einsparpotentiale und ein effizienterer Ressourceneinsatz der Komponenten von ROSS. Dabei ist zu beachten, dass die Anforderungen durch eine vielfältige und teils wechselnde Bewohner:innenstruktur auf eine selbstständig funktionierende Anlage mit möglichst geringem Betreuungsaufwand sowie einem möglichst gleichbleibendem Komfort (im Vergleich zum Status Quo) liegen.

Während es gerade in ländlichen Gebieten ohne zentrale Abwasserentsorgung (Kanalisation) wichtig sein kann, dezentrale, autarke und holistische Systeme aufzubauen, kann in urbanen Gebieten mit Kanalisation, Anschlusszwang und mehrgeschossigen Wohnungsbau auch eine Kombination von der linearen Abwasserentsorgung und ROSS in Betracht kommen, damit Nährstoffe wiederverwendet und Trinkwasser eingespart werden können. Denn bei der Verwendung von ROSS in urbanen Gebieten geht es darum Trinkwasser und Energie einzusparen und Nährstoffe wiederzuverwenden. Sie können die vorhandene Abwasserinfrastruktur entlasten. Eine Möglichkeit ist dafür die hybride Infrastruktur, die auf Abbildung 6 skizziert wird. Daneben ist auch die mögliche dezentrale Infrastruktur unter Verwendung eines ROSS skizziert.

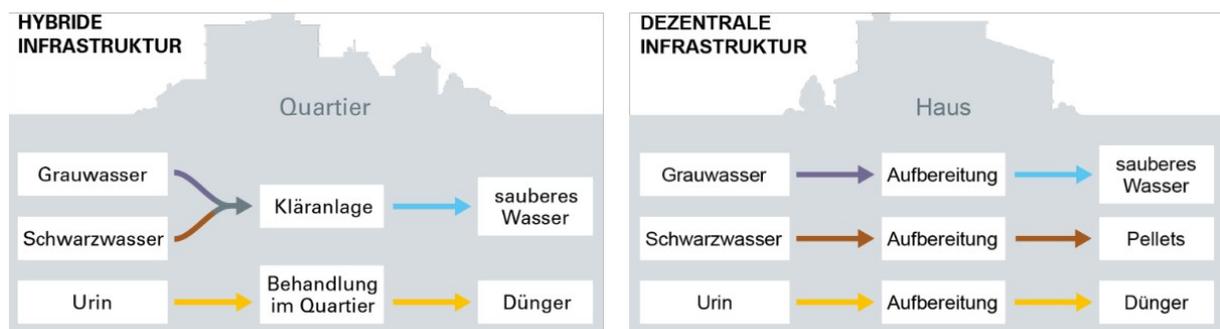


Abbildung 6: Mögliche urbane Abwasserinfrastrukturen mit Integration von ROSS. Links hybride Infrastruktur, rechts autarke/dezentrale Infrastruktur. Quelle: (EAWAG, 2023)

Zusammenfassend wird auf Abbildung 7 der Paradigmenwechsel der zentralen Abwasserentsorgung gegenüber der Neuartiger Sanitärsysteme (NASS, Synonym für ROSS) dargestellt.

2 Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS)

		Zentrales System	NASS
Stoffströme	Abwasser	Abwasser ist ein Problemstoff. Es muss beseitigt werden, um seine umweltschädigenden Eigenschaften zu minimieren.	Abwasser ist eine Ressource. Es kann behandelt und seine verschiedenen Inhaltsstoffe können wiederverwendet werden.
	Regenwasser	Regenwasser stört das System. Es muss von befestigten Siedlungsflächen fern gehalten bzw. abgeleitet werden.	Regenwasser ist Teil des Systems. Es kann gesammelt und verschiedenen Zwecken zugeführt werden.
Infrastruktur	Anlagenbemessung	Die Abwassermenge ist der ausschlaggebende Faktor für die Anlagenbemessung. Die Menge des Abwassers ist entscheidend für die Wahl des Systems.	Die Abwasserzusammensetzung ist der ausschlaggebende Faktor für die Anlagenbemessung. Die Abwasserzusammensetzung ist unterschiedlich. Das System wird an die Nutzerstruktur angepasst.
	Infrastruktur-skalierung	Größe vor Flexibilität. Das System nutzt Skaleneffekte, basiert auf Zentralisierung und Homogenität.	Flexibilität vor Größe. Das System basiert auf vielschichtigen, de- und semizentralen, angepassten Lösungen. Negative Skaleneffekte sollen vermieden werden.
	Anlagenanpassung	Anpassung durch bauliche Maßnahmen. Das System wird baulich an den Bedarf angepasst. Durch den zentralen und homogenen Charakter des Systems sind nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten der Bedarfsbeeinflussung vorhanden.	Anpassung durch Bedarfsbeeinflussung möglich. Aufgrund des vielschichtigen Systemaufbaus können mit gezielten Anreizen Bedarfsänderungen herbeigeführt werden. Bauliche Anpassungen sind eine zusätzliche Option.
	Infrastrukturbestandteil	Verfahrenstiefe statt -breite. Es werden möglichst standardisierte Verfahrensprozesse eingesetzt.	Verfahrensbreite statt -tiefe. Es gibt keinen Standard. Hoher Grad der Diversifizierung erlaubt individuelle und hochauflösende Lösungen. Große Anzahl unterschiedlicher Verfahrensprozesse.
Nachhaltigkeit	Kreislaufwirtschaft	Abwasser folgt einem Ein-Weg-System. Verschiedene Abwasserarten werden zusammengeführt, gemeinsam abgeleitet, behandelt und der Umwelt zugeführt.	Abwasser folgt einem Kreislaufsystem. Verschiedene Abwasserarten werden getrennt abgeleitet, spezifisch angepassten Behandlungen zugeführt und weitestgehend wiederverwendet.
	Systemübergreifende Betrachtungsweise	Kaum systemübergreifende Betrachtungsweise. Abwassermanagement und Wasserversorgung sind physisch und zumeist institutionell getrennte Systeme. Weiterführende Aspekte wie lokale Energie- oder Nährstoffnutzung sind nicht Bestandteile der Planungen.	Integrierte Betrachtungsweise. Synergien, infrastrukturelle Abhängigkeiten und der Kreislaufgedanke sind systembestimmend.
Nutzer	Nutzerwahrnehmung	Unsichtbare Infrastruktur. Die Nutzer sind kein aktiv eingebundener Bestandteil des Infrastruktursystems. Das Infrastruktursystem ist der Wahrnehmung des Nutzers weitgehend entzogen.	Sichtbare Infrastruktur. Die Nutzer und ihre Verhaltensweisen sind aktiv in das Infrastruktursystem eingebunden. Das Infrastruktursystem ist fester Bestandteil der wahrnehmbaren Bereiche/Räume der Nutzer.
	Nutzer-einbindung	Passive Infrastruktur. Errichtung, Anpassung und Betrieb erfolgen weitestgehend ohne Einbindung der Nutzer.	Aktive Infrastruktur. Errichtung, Anpassung und vor allem der Betrieb erfordern eine aktive Einbindung der Nutzer.

Abbildung 7: Paradigmenwechsel in der deutschen Siedlungswasserwirtschaft, Gegenüberstellung eines zentralen Sanitärsystems zu ROSS, Quelle: (MAGAZOWSKI, 2017)

2.1.2 Stand der Technik und Forschung

Mittlerweile sind zahlreiche neuartige Sanitärsystemkomponenten auf dem Markt erhältlich. Ob Grauwasserrecycling, Regenwassernutzung, Trenntoiletten, Komposttoiletten, Kleinkläranlagen (KKA), Wärmerückgewinnung im Abwasser oder Pflanzenkläranlagen – der Großteil dieser Komponenten sind auf dem Markt erhältlich und erprobt (DBU u. ALBOLD, 2016). Es gibt sowohl planende Büros, die die Anlagen auslegen, als auch Handwerksbetriebe, die mit dem Einbau und der Wartung der Anlagen vertraut sind.

Stadtplanerisch können ROSS einen positiven Einfluss auf das Stadtklima und den Nährstoffkreislauf haben. Bspw. haben Pflanzenkläranlagen (PKA), Gründächer und ortsnahe Regenwasserversickerungen u.a. durch Verdunstung einen positiven Einfluss auf das Mikroklima und entlasten die energieintensiven Klärwerke durch das Zurückhalten von Regenwasser (BMUV, 2023). Die Stadt Berlin verfolgt das Konzept der Schwammstadt und verpflichtet die Bauherr:innen bei Neubau zur ortsnahe Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers (BREWA-BE, 2021). Gleichzeitig gibt es Förderprogramme für Retentions- und Gründächer, welche Niederschlagswasser zurückhalten und erst verzögert ableiten, um somit die städtische Kanalisation zu entlasten (SENUMVK, 2023). Darüber hinaus können ROSS durch Stoffstromtrennung und die dezentrale Behandlung der belasteten Abwasserströme effizienter Verunreinigungen entfernen.

Anthropogen eingetragene Mikroverunreinigungen können von konventionellen Kläranlagen nur unzureichend eliminiert werden. Eine Nachrüstung der Kläranlagen (4. Reinigungsstufe) ist notwendig, aber auch nur bedingt zielführend. Auch dadurch kann der Nährstoffkreislauf mittels zentralen Abwasserbehandlungen nicht geschlossen werden. Die dezentrale Behandlung von Abwasserströmen ist im Hinblick auf die Entfernung von Mikroverunreinigungen und Krankheitserregern wesentlich effizienter und benötigt dabei weniger Energie (KRAUSE u. a., 2021). Die Nährstoffe in den getrennten und aufbereiteten Stoffströmen können so besser wiederverwendet werden.

Das Ergebnis verschiedener Forschung ist bislang, dass ROSS einen positiven Einfluss auf den Ressourcenverbrauch im Zuge der Abwasserbehandlung hat, die Weichen stellt für ein effektives Nährstoffrecycling im Sanitärbereich, Schadstoffe effektiv eliminieren kann und

nicht zuletzt den Wasserverbrauch mindert und damit zur ökologischen Zukunftsfähigkeit im Sanitärbereich beiträgt (MAGAZOWSKI, 2017). Das bestätigt auch das inter- und transdisziplinäre Forschungsprojekt zirkulierBAR, welches eine innovative und skalierbare Verwertungsanlage in Eberswalde betreibt, um die Inhalte aus Trocken-Trenn-Toiletten zu qualitätsgesicherten Recyclingdüngern zu veredeln (ZIRKULIERBAR, 2023b). Dieses Forschungsprojekt leistet einen Beitrag, um die Akzeptanz und die Verbreitung von ROSS zu fördern – und politischen Entscheidungsträger:innen Argumente für die Sanitärwende zu geben, damit sie die gesetzlichen Rahmenbedingungen anpassen können.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie belegt, dass bei mit Urin gedüngtem Weißkohl die gleichen Erträge erzielt werden wie mit herkömmlichen Bio-Dünger. Dafür wurde der Urin-Recyclingdünger behandelt, damit Krankheitserreger und Medikamentenrückstände entfernt wurden. Dadurch konnten in dem Weißkohl nur zwei Medikamente in geringer Konzentration nachgewiesen werden (HÄFNER u. a., 2023; N-TV, 2023).

2.2 Systemkomponenten und Konfiguration von ROSS

Durch eine getrennte Erfassung der Abwasserteilströme, ist eine gezielte dezentrale Behandlung möglich. Dies ist die Grundlage für ROSS, wodurch sich Wasser und Nährstoffe wiederverwenden lassen. Auf Abbildung 8 ist eine getrennte Erfassung im mehrgeschossigen Wohnungsbau schematisch dargestellt.

In dem folgenden Kapitel 2.2.1 werden die für ROSS notwendigen Begriffe definiert. In Kapitel 2.2.2 werden einige mögliche Komponenten zur getrennten Erfassung der Abwasserteilströme vorgestellt. Im darauf folgenden Kapitel 2.2.3 werden Möglichkeiten zur Aufbereitung und Wiederverwendung der Abwasserteilströme dargelegt. Einen vollständigen Überblick über die Komponenten und Verwertungsmöglichkeiten von ROSS liefert das Buch: *Neuartige Sanitärsysteme – Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung* von der Bauhausuniversität Weimar in Kooperation mit der DWA aus dem Jahr 2015 (UNI WEIMAR u. DWA, 2015).

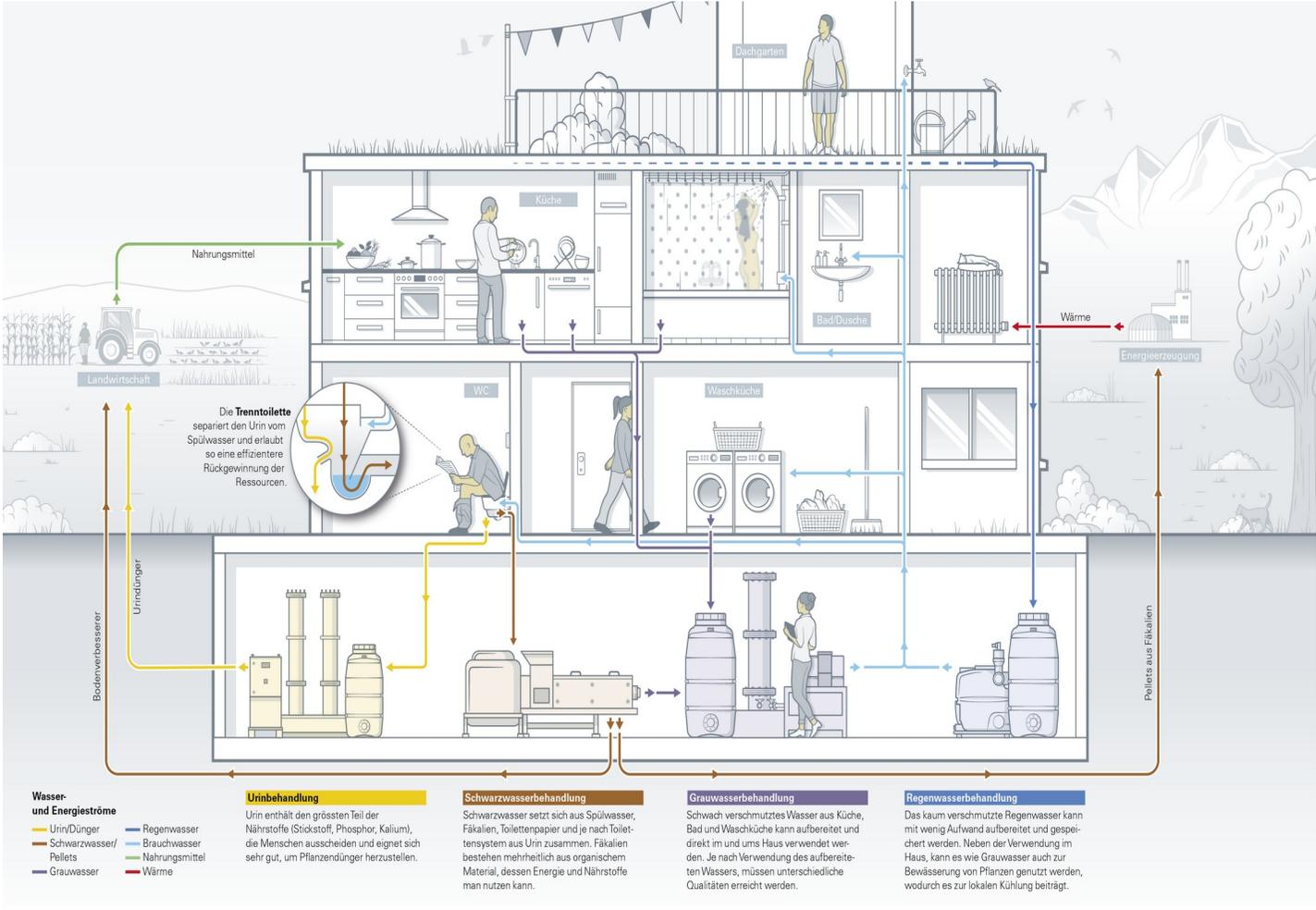


Abbildung 8: Beispiel eines ROSS im Gebäude - Trennung der Stoffströme an der Quelle und individuelle Behandlung für einen Nährstoff- und Wasserkreislauf, Quelle: (EAWAG, 2022b)

2.2.1 Begriffsbestimmungen

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit verwendeten Begriffe und Abwasserarten definiert. Grundlage dafür ist das Arbeitsblatt DWA-A 272, *Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS)* vom Juni 2014 (DWA, 2014).

Betriebswasser: Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften, sofern dafür keine Trinkwassereigenschaft verlangt wird – wird häufig dazu verwendet Trinkwasser zu substituieren, bspw. in der Toilettenspülung.

Bewässerungswasser: Wasser zur Verwendung im Außenbereich (bspw. Garten) für Zier- und Nutzpflanzen, Qualitätsanforderungen nach DIN 19650.

Bioabfall: Biologisch abbaubare feste Stoffe, z. B. Grünschnitt, Speise- und Essensreste.

Braunwasser: Fäzes mit Spülwasser.

Fäkalien: Fäzes und Urin.

Fäzes: Kot ohne Spülwasser.

Gelbwasser: Urin mit Spülwasser.

Grauwasser: Stoffstrom aus dem häuslichen Bereich ohne Fäkalien, teilweise unterschieden in stark belastetes Grauwasser (fetthaltiges Küchenbereich, Waschmaschine) und schwach belastetes Grauwasser (Badewanne, Dusche, Handwaschbecken etc.).

Häusliches Schmutzwasser: Hierunter fallen sämtliche Abwässer, die gemischt über die Kanalisation an die kommunalen Klärwerke übergeben werden. Darunter: Abwasser aus Küche, Bad, Toilette, Fäkalien (DIN EN 752:2017-07).

Neuartige Sanitärsysteme (NASS), Synonym für Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS): Sanitärsysteme mit weitgehender Schließung von Nährstoff- und Wasserkreisläufen zur Wiederverwertung von Wertstoffen, NASS ist ehemalige Bezeichnung von ROSS.

Produkte: Hier: aus dem Einsatz Neuartiger Sanitärsysteme gewonnene und nach einer Behandlung verwertbare Stoffe und Energie.

Regenwasser, auch Niederschlagswasser: Wasser aus natürlichem Niederschlag, das nicht durch Gebrauch verunreinigt wurde (DIN EN 12056-1:2001-01).

Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme (ROSS): siehe Neuartige Sanitärsysteme (NASS).

Reststoffe: Aus einer Behandlung anfallende Stoffe, die nicht direkt verwertet werden können.

Schmutzwasser: Durch Gebrauch verändertes und in ein Entwässerungssystem eingeleitetes Wasser (DIN 4045:2016-11).

Schwarzwasser: Fäkalien mit Spülwasser bzw. Mischung aus Urin, Fäzes und Spülwasser.

Urin: Urin ohne Spülwasser.

2.2.2 Sammlung: Erfassung der Stoffströme

Um die Abwasserteilströme getrennt zu erfassen und direkt an der Quelle zu trennen, werden in der Regel zusätzliche Abwasserleitungen benötigt. Neben der standardmäßig verbauten Schwarzwasserleitung, kann auch eine Grauwasser-, eine Gelbwasser- und eine Brauwasserleitung dazu zählen. Es werden in Abbildung 9 die folgenden Systemgruppen unterschieden, je nachdem welche Stoffströme getrennt erfasst werden.

Systemgruppe		Kurzbeschreibung	Teilstrome
System mit konventioneller Toilette	1-Stoffstromsystem	in der Regel entspricht dies dem konventionellen System	Abwasser Mischwasser Regenwasser
	2-Stoffstromsystem	Trennung von Toiletteninhalt und restlichem häuslichen Abwasser	Grauwasser Schwarzwasser Regenwasser
System mit Trenntoilette	2-Stoffstromsystem	Trennung von Urin und gemeinsame Ableitung von Braunwasser und Grauwasser	Urin Abwasser Regenwasser
	3-Stoffstromsystem	Trennung von Urin, Fäzes und restlichem häuslichen Abwasser	Urin/Gelbwasser Grauwasser Schwarzwasser Regenwasser
System mit Trockentoilette	2-Stoffstromsystem	Trennung von Toiletteninhalt und restlichem häuslichen Abwasser	Fäkalien Grauwasser Regenwasser
	3-Stoffstromsystem	Trennung von Urin, Fäzes und restlichem häuslichen Abwasser	Urin Fäzes Grauwasser Regenwasser

Abbildung 9: Überblick über die NASS/ROSS Systemgruppen, Quelle: (MAGAZOWSKI, 2017)

Die Abwasserteilströme können mit den folgenden Komponenten erfasst werden.

Unterdrucksystem, Vakuum-Toiletten: Vakuum- oder Unterdrucktoiletten benötigen nur ungefähr 1 Liter Wasser pro Spülgang. Die Fäkalien werden mittels Unterdruck aus der Toilette gesaugt und zu einem Schwarzwasserbehälter transportiert. Hier steht das Schwarzwasser hoch konzentriert zur Verfügung und kann für die Biogaserzeugung genutzt werden (HWC, 2017). Vakuum-Toiletten werden in der Regel in Flugzeugen und Zügen installiert, in denen aus Gründen der Gewichtseinsparung nur wenig Spülwasser zur Verfügung steht.

Spül-Trenn-Toilette: Hiermit werden die Fäkalien an der Quelle in Fäzes und Urin getrennt. Die Fäzes werden in der Regel mit Spülwasser zu Braunwasser gemischt und mittels Freigefälle zur Kanalisation geführt. Eine Kombination aus Trenn-Vakuum-Toilette ermöglicht einen noch geringeren Wasserverbrauch und eine Nutzung des Braunwassers zur thermischen Verwertung. Durch die Trennung von Urin und Fäzes, können die beiden Stoffströme gezielt behandelt werden. Im Idealfall wird eine Verdünnung des Urins mit Spülwasser vermieden, wodurch ein geringeres Volumen effektiver behandelt und die im Urin enthaltenen Nährstoffe effizient recycelt werden können. Zusätzlich kann dann durch die im Urin enthaltene Harn-

säure kein Kalk aus dem Spülwasser ausfällen (vgl. Kapitel 4.1.2). In der Abbildung 10 ist die Spül-Trenntoilette Laufen Save! dargestellt.

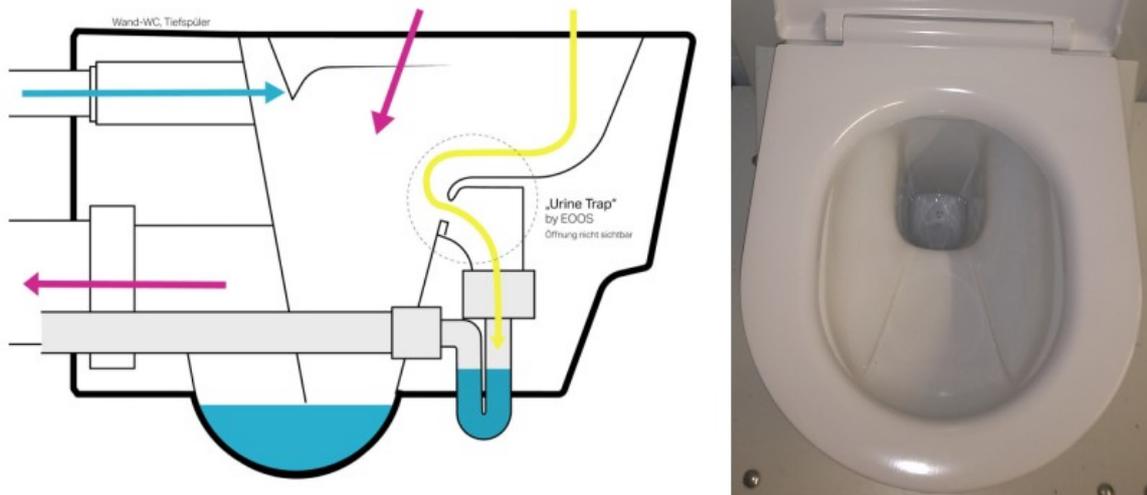


Abbildung 10: Links die Funktionsweise der Laufen Save! Trenn-Toilette. Der Urin wird mittels Adhäsion abgeleitet, ein-Siphon verhindert Geruchsbildung, Quelle: (MILLENET, 2022) Rechts eine Draufsicht auf die Toilette, eigenes Foto

Trocken-Trenn-Toilette: Eine besondere Trenn-Toilette stellt die Trocken-Trenn-Toilette dar. Sie kommt gänzlich ohne Wasser aus. Urin wird mittels einer Trennvorrichtung über eine separate Leitung abgeführt und in einem Behälter gesammelt. Die Fäzes werden in einem Eimer oder direkt in einem Kompost zusammen mit dem Toilettenpapier und trockenem Einstreu (trockener Boden, Asche, Sägespäne, etc.) gesammelt. Der Einstreu bindet die Feuchtigkeit und reduziert auf rein biologische Weise die Geruchsbildung (FINIZIO, 2023). Schon in der ersten Sammelstelle beginnen die Fäzes in einem aeroben Prozess zu kompostieren. Von hier wird sie dann zum eigentlichen Kompostierplatz gebracht, wo sie mit weiteren Materialien gemischt wird. Eine neue Entwicklung der Firma Finizio ist die Rohrposttoilette, welche Urin und Fäzes separat im mehrgeschossigem Hausbau ohne Wasser sammeln kann (FINIZIO, 2023). Diese Toilette wird im Jahr 2024 Marktreife erlangen.



Abbildung 11: Trocken-Trenn-Toilette, Model Liloo von Finizio, Quelle: (FINIZIO, 2023)



Abbildung 12: Kompost-Toilette der Firma Clivus Multrum, Quelle: (CLIVUSMULTRUM, 2023)

Kompost-Toilette: In einer Kompost-Toilette werden Fäzes und Urin ohne Wasser gesammelt und behandelt. In manchen Anlagen können auch organische Haushalts- und Gartenabfälle entsorgt werden. Biologische Abbauprozesse u.a. mittels Würmern und Mikroorganismen stellen innerhalb von 2 Jahren einen ökologischen Humusdünger her, der im Garten genutzt werden kann.

2.2.3 Verwertung: Behandlung und Wiederverwendung der Stoffströme

Die Abbildung 13 zeigt die möglichen Produkte, die aufgrund der separaten Erfassung der Abwasserteilströme entstehen können.

NASS-Output	Ausgangsteilstrom
Pflanzendünger	Gelbwasser (Urin vermischt mit Spülwasser aus der Toilette)
	Urin
	Fäkalien
	Schwarzwasser
Bodenverbesserer	Fäzes
	Braunwasser (Fäzes vermischt mit Spülwasser aus der Toilette)
Biogas	Schwarzwasser
	Fäzes
	Fäkalien
	Braunwasser
Abwärme	Grauwasser
Brauch-/Pfliegewasser	Grauwasser
	Regenwasser

Abbildung 13: Übersicht über mögliche Produkte aus ROSS/NASS und deren Ausgangsteilströme, Quelle: (MAGAZOWSKI, 2017)

Die Grauwasseraufbereitung kann mittels unterschiedlichen Technologien erfolgen. Kleinkläranlagen, die im Haus in Technikräumen verbaut werden können, sind bspw. Membranbioreaktoren (MBR) oder sequentielle biologische Reinigungsanlagen (SBR). MBR-Anlagen werden in Mehrparteienhäusern am häufigsten eingesetzt, da sie mit größeren Grauwasserfrachten arbeiten können. Das Ziel einer Grauwasseranlage ist die Behandlung des schwach belasteten Abwassers, damit es als Betriebswasser in beispielsweise Toiletten, Waschmaschinen und zur Gartenbewässerung wiederverwendet werden kann. Zur Behandlung zählen nach (UNI WEIMAR u. DWA, 2015):

- Entfernung gesundheits- und umweltschädlicher Substanzen
- Beseitigung von Schwebstoffen zur Verhinderung der Verstopfung des Betriebswassersystems
- Verhinderung von anaeroben Abbauprozessen und damit Geruchsemissionen
- hygienische Behandlung nach gegebenen Anforderungen

Nachdem grobe Störstoffe mittels Sieb aus dem Grauwasser gefiltert wurden, kommt das Grauwasser in die MBR-Anlage, welche schematisch in Abb. 14 dargestellt ist (SHKWISSEN, 2009). Eventuell kann es von Vorteil sein, diskontinuierlich anfallende Grauwasserfrachten mittels eines Tanks vor der MBR-Anlage zu sammeln. In diesem Tank könnte ggf. auch eine Wärmerückgewinnung installiert werden. Im ersten Schritt der MBR-Anlage findet die biologische Reinigung mittels Mikroorganismen unter aeroben Bedingungen (Belüftung) statt. Dieses vorbehandelte Grauwasser wird dann mittels einer Membranfiltration gefiltert. Das so gewonnene Betriebswasser wird in einem Tank gespeichert. Um eine weiterführende Desinfektion zu gewährleisten, wird in der Regel eine UV-Behandlung nachgeschaltet (UNI WEIMAR u. DWA, 2015).

Der Bundesverband für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) hat in der Tabelle 1 für das Betriebswasser Qualitätsanforderungen definiert, die zwingend einzuhalten sind:

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an das Betriebswasser nach fbr e.V.

Trübung	< 2 NTU
BSB ₅	< 5 mg/l
O ₂ Sättigung	> 50 %
pH	6,5 – 9,5
Gesamt Coliforme	< 10.000/100 ml
E.coli	< 1.000/100 ml
P.aeruginosa	< 100/100 ml

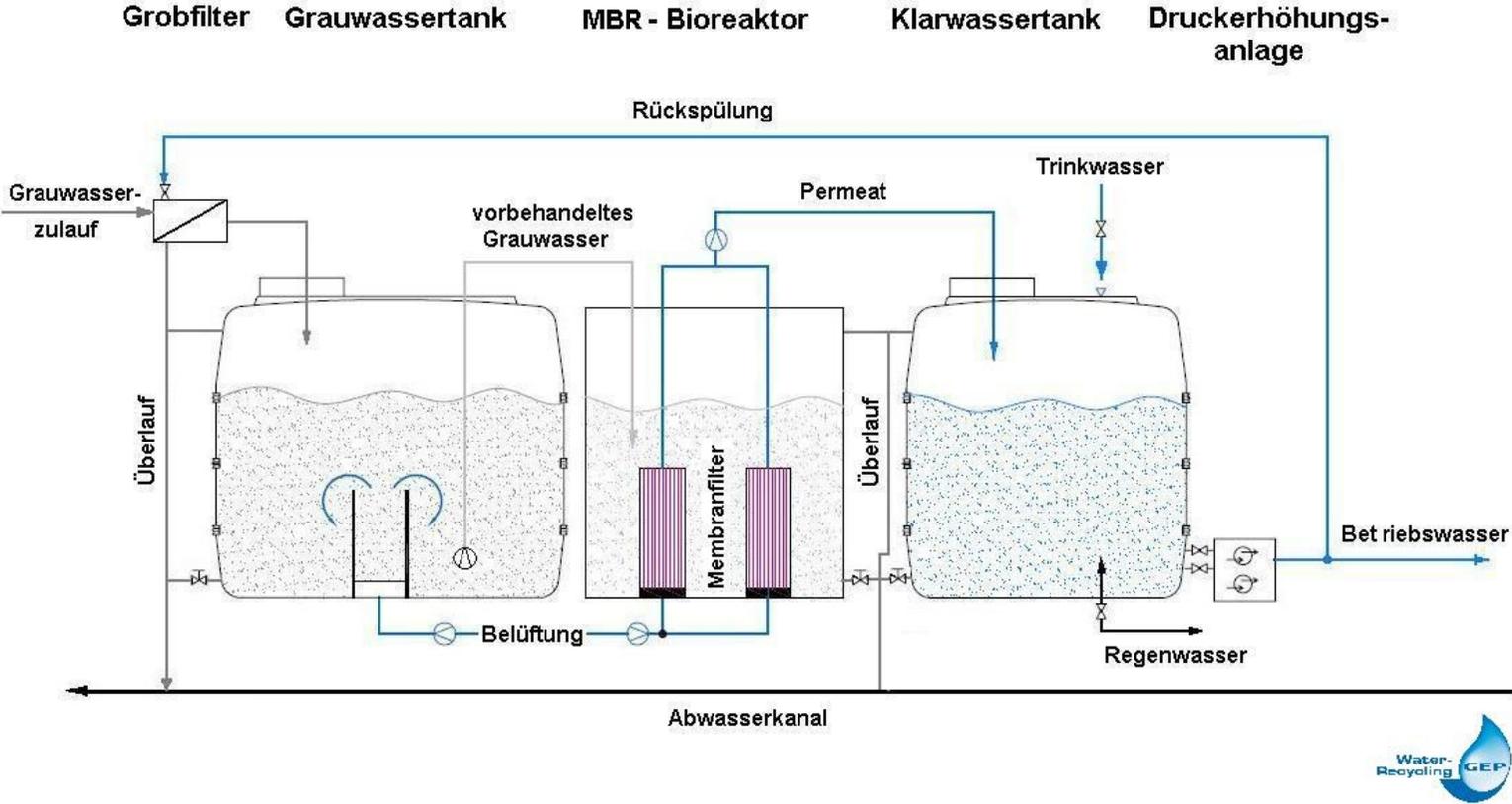


Abbildung 14: Schematische Darstellung einer MBR-Grauwasseranlage, Quelle: (SHKWISSEN, 2009)

Pflanzenkläranlagen (PKA, auch bepflanzte Bodenfilter) stellen eine ökologische Alternative zur kommunale Abwasserbehandlung und zu Kleinkläranlagen dar. Oft wird ein bewachsener Bodenfilter als biologische Stufe nach einer mechanischen Vorreinigung genutzt. Die Vorreinigung bewirkt eine Abtrennung der Feststoffe durch Sedimentation, sodass eine schnelle Kolmation des bepflanzten Bodenfilters verhindert wird. Es gibt jedoch auch die Verfahrenskombination des sogenannten Französischen Systems, welche zwei Stufen in einem vertikalen Filteraufbau verbindet, und somit ohne eine Vorstufe zum Absetzen der Festkörper auskommt (YADAV u. a., 2018).

Der Aufbau einer PKA besteht aus einer Filterschicht, die in Körnungsgröße (meist wird Sand und/oder Kies genutzt) und Aufbaudicke unterschiedlich sein kann. Darauf liegt die Bepflanzung (siehe Abbildung 15). Das Reinigungsprinzip beruht auf einem Zusammenspiel zwischen biologischen, physikalischen und chemischen Prozessen, wobei die Sauerstoffverfügbarkeit, die Eigenschaften des Filtermaterials, die hydraulische Belastung und die Zusammensetzung des Abwassers eine entscheidende Rolle spielen (GELLER u. HÖNER, 2003). Durch die Bepflanzung wird Sauerstoff in den Boden eingetragen, wodurch aerobe Abbauprozesse begünstigt werden (NATURBAUHOF, o. J.). Als Verfahrensoptionen gibt es horizontal und vertikal durchströmte, sowie kontinuierlich und diskontinuierlich beschickte Filter (GELLER u. HÖNER, 2003).

Im Bodenkörper und an den Wurzeln der Pflanzen siedeln sich Mikroorganismen an, die die organischen Stoffe im Abwasser abbauen. Das Bodenmaterial wirkt als Filter und hält Partikel zurück, die anschließend mineralisiert werden (GUJER, 2007). Das aufbereitete Abwasser kann versickern, in das Oberflächengewässer eingeleitet oder als Betriebswasser im Haus (bspw. Toilettenspülung) wiederverwendet werden (MONTEUR, 2012; NATURBAUHOF, o. J.)

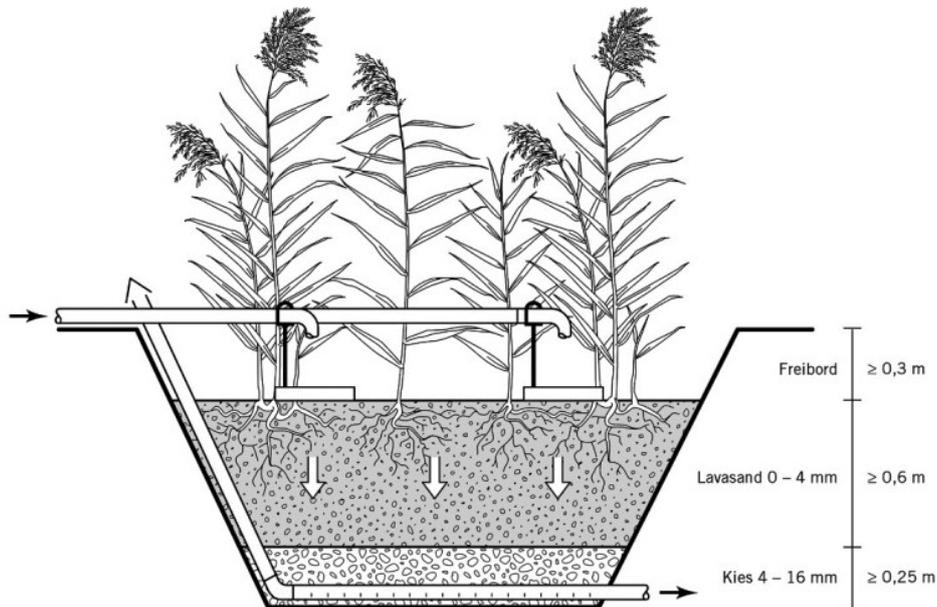


Abbildung 15: Vertikalfilter und Ausweichfilter mit Lavasand 0 mm bis 4 mm, Prinzipdarstellung nach DWA-A 262

Der Flächenbedarf liegt bei bisherigen Anlagen zwischen 4-10 m² pro Einwohner:in (EW), wobei in versuchstechnischen Anlagen Werte von 1-2 m²/EW getestet werden (YADAV u. a., 2018; NATURBAUHOF, o. J.). Deswegen stellen PKAs insbesondere in ländlichen Gebieten eine Alternative zu anderen Kleinkläranlagen dar, weil dort der Flächenbedarf leichter zu erfüllen ist. Der Bau und Betrieb von PKAs ist im Vergleich zur herkömmlichen biologischen Abwasserbehandlung relativ einfach, und auch der Fremdenergiebedarf je nach Betriebsweise deutlich geringer (GELLER u. HÖNER, 2003). Darüber hinaus besitzen PKAs über eine große interne Speicherkapazität, wodurch sie robust gegenüber Stoßbelastungen sind.

Niederschlagsentwässerung: Eine örtliche und damit dezentrale Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers auf dem jeweiligen Grundstück trägt zur Grundwasserneubildung bei und beeinflusst das Mikroklima in urbanen Räumen durch Verdunstung positiv. Zur Versickerung stehen je nach Platzangebot verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung: oberirdisch bspw. über Mulden, unterirdisch bspw. über Rigolen. Eine Kombination ist auch möglich. Die Regenwasserversickerungen müssen abhängig vom Ort und den anfallenden Niederschlägen (insb. Berücksichtigung von Starkregenereignissen) bemessen werden. Dafür steht das

Regelwerk DWA-A 138 zur Verfügung (DWA, 2005). Alternativ kann das Niederschlagswasser auch Trinkwasser im Haushalt substituieren, indem es für die Toilettenspülung oder für die Waschmaschinen genutzt wird. Niederschlagswasser eignet sich auch als Bewässerungswasser im Garten.

Urinrecycling: Eine einfache und technisch nicht aufwendige Möglichkeit Urin zu behandeln, ist diesen für 6 Monate stehen zu lassen (WHO, 2013). So sind die in dem Urin enthaltenen Nährstoffe ohne großen Aufwand schnell wieder verfügbar. Allerdings können mit diesem Verfahren keine Medikamentenrückstände und Hormone entfernt werden. Das funktioniert mit dem zugelassenen Vuna-Verfahren für den Urin-Recyclingdünger namens „Aurin“ über eine Aktivkohlefiltration:

In einem ersten Schritt wird der Urin nach dem Sammeln mittels Mikroorganismen und Sauerstoff biologisch stabilisiert (Nitrifikation). Dadurch wird Ammonium in Nitrat umgewandelt und der Urin verliert den typischen Geruch (flüchtiges Ammoniak). In einem zweiten Schritt entfernt ein Aktivkohlefilter die Medikamentenrückstände und Hormone aus dem Urin. Die Nährstoffe bleiben im behandelten Urin. Im dritten Schritt wird das Volumen des behandelten Urins mittels eines Verdampfers reduziert, der Flüssigdünger erhält dadurch eine höhere Konzentration. Gleichzeitig werden durch die lange thermische Behandlung von über 80°C die letzten im Urin verbliebenen Krankheitserreger abgetötet. Das entstandene Produkt ist ein konzentrierter, nährstoffhaltiger Pflanzendünger, der nach dem Bundesamt für Landwirtschaft für alle Pflanzenarten zugelassen ist (BLW, 2019). Auf Abbildung 16 wird das Vuna-Verfahren zur Urinaufbereitung schematisch dargestellt.

Der Urin-Recyclingdünger „Aurin“ wird mittlerweile in Österreich, Liechtenstein und der Schweiz kommerziell vertrieben (EAWAG, 2022a). Bastian Etter (Geschäftsführer der Vuna GmbH) beschreibt bei einer persönlichen Besichtigung der Urin-Recyclinganlage am 06. April 2023, dass die Nachfrage derzeit das Angebot bei weitem übersteigt. Eine Zulassung in Deutschland ist angestrebt und wird unter anderem mit der Kooperation des Forschungsprojektes zirkulierBAR in Eberswalde forciert (vgl. auch Abschnitt 2.1.2).

Mit dem Vuna-Verfahren zum effizienten und sicheren Nährstoff-Kreislauf.

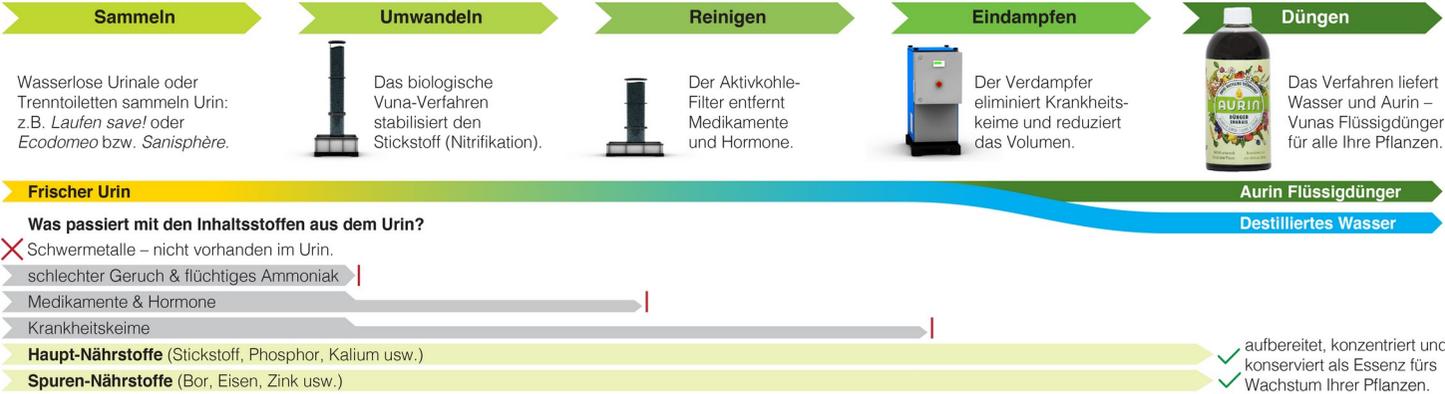


Abbildung 16: schematische Darstellung des Urin-Recycling mit der Anlage von Vuna, Quelle: (VUNA, 2023)

Neben dem Urin-Recyclingdünger „Aurin“, der schon in einigen EU-Ländern für die Düngung von Pflanzen zur Lebensmittelerzeugung zugelassen ist, wird derzeit an Urin-Recyclingdüngern sowohl in Schweden mit dem Projekt Sanitation360 (Web: <https://sanitation360.se/>), als auch beim Deutschen Institut für Luft- und Raumfahrt (DLR) gearbeitet und geforscht. Das Projekt BiG C.R.O.P.® vom DLR arbeitet neben menschlichen Urin-Nährstoffrecycling auch an Systemen zum Nährstoffrecycling aus tierischer Gülle, um so in der Landwirtschaft den Nährstoffkreislauf zu schließen (DLR, 2023). Im Unterschied zum „Aurin“-Flüssigdünger produzieren diese beiden Projekte Recycling-Feststoffdünger.

Kompostierung der Fäzes: Hierbei kann zwischen thermischer und Wurmkompostierung unterschieden werden (UNI WEIMAR u. DWA, 2015). Bei der Kompostierung von Fäzes werden organische Materialien durch Kleinlebewesen (hauptsächlich Mikroorganismen und Würmer) in einem aeroben Zersetzungsprozess zu nährstoffhaltigem Humus umgewandelt, der als Dünger in der Landwirtschaft oder im Garten verwendet werden kann (UNI WEIMAR u. DWA, 2015). Ein Großteil der pathogenen Keime in den Fäkalien befindet sich in den Fäzes (WHO, 2013). Dadurch sind besondere Behandlungsformen (wie bspw. eine thermische Behandlung zur Hygienisierung) erforderlich (UNI WEIMAR u. DWA, 2015).

Die Ernteerträge aus reinem Humusdünger sind etwas geringer, als die von Urindünger (HÄFNER u. a., 2023; N-TV, 2023). Eine Kombination der beiden Dünger kann langfristig den Kohlenstoffgehalt des Bodens erhöhen und damit zu einer klimaresistenten Nahrungsmittelproduktion beitragen (N-TV, 2023).

Bei der Kompostierung geht es einerseits um ein gutes Kohlenstoff-/Stickstoff-Verhältnis, andererseits um das Beimischen strukturstarker Materialien für eine gute Belüftung. Beides ist wichtig für einen funktionierenden aeroben Abbauprozess. Durch die Kompostierung werden schließlich die Kohlenstoffverbindungen ab- und zu Humus umgebaut, womit die Nährstoffe (N, P und weitere) im Kompost großteils erhalten bleiben. Wichtigstes Ziel der Kompostierung ist außerdem, das Abtöten der Krankheitserreger (Hygienisierung). Um eine vollständige Hygienisierung in einem solchen einfachen Kompostierprozess zu erreichen, empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine zweijährige Kompostierung (WHO, 2013). Alternativ, wie von Finizio entwickelt und in zirkulierBAR oder dem EU-Projekt P2Green erforscht und weiterentwickelt, funktioniert auch ein zweistufiges Verfahren: Im ersten Schritt

die Hygienisierung durch Warmbehandlung und im zweiten Schritt die Humifizierung durch Kompostierung. Diese Methode ermöglicht kürzere Behandlungszeiten und ist besonders interessant für Recycling-orientiertes Stoffstrommanagement auf kommunaler Ebene, wo größere Mengen (Inhalte aus Trockentoiletten) behandelt und zu hygienisch einwandfreiem Recyclingdünger veredelt werden können (ZIRKULIERBAR, 2023a).

Wärmerückgewinnung: Durch eine getrennte Erfassung der Abwasserströme können bei einem dezentralen ROSS die Potentiale des individuellen Abwasserstroms voll ausgeschöpft werden. Eine zentrale Wärmerückgewinnung im bestehenden Kanalnetz rechnet sich wirtschaftlich erst ab ca. 10.000 angeschlossenen Personen (DBU u. NOLDE, 2016). Bis zu einer zentralen Anlage zur Wärmerückgewinnung hat das Abwasser schon einen Großteil seiner Wärmemenge verloren, zumal die Temperatur dieses Rohabwassers durch die Mischung aller Abwasserfrachten ohnehin geringer ist. Bei einer zentralen Wärmerückgewinnung ist zudem zu beachten, dass biologische Abbauprozesse in einer Kläranlage effektiver ablaufen, je wärmer das Wasser ist. Die Kläranlagen sind häufig auf eine bestimmte Rohabwassertemperatur ausgelegt (GUJER, 2007).

Demgegenüber steht eine dezentrale Wärmerückgewinnungsanlage mit einem höheren Wirkungsgrad. Die Erträge können direkt im Haus für die Wärmeversorgung oder Warmwasseraufbereitung genutzt werden.

Die kleinste dezentrale Anlage ist eine integrierte Wärmerückgewinnung im Duschrohr oder der Duschrinne. Diese lässt sich auch im Bestand nachrüsten, wenn es bspw. keine getrennte Erfassung der Abwasserströme gibt.

Für eine Wärmerückgewinnung im mehrgeschossigen Wohnungsbau bietet sich der Grauwasserstrom an. Dieser Teilstrom enthält die wenigsten Störstoffe (wie bspw. Farbreste, Essensreste, reißfeste Feuchttücher, etc.) und gleichzeitig die höchste Wärmeenergie. Hier können auch diskontinuierlich anfallende Abwasserströme genutzt werden. In dem DBU Abschlussbericht zur *Dezentralen Wärmerückgewinnung aus Grauwasser* (DBU u. NOLDE, 2021) werden neben der Möglichkeit zur Installation einer Wärmerückgewinnung in Duschabflussrohren, auch die folgenden beiden Möglichkeiten vorgestellt:

- Rohrwärmetauscher im Abwasser-Graugussrohr: Hier wird die Wärme mittels einer Sole-Wärmepumpe entzogen.
- Entzug der Wärme durch Vorerwärmung des Trinkwassers: Das kalte Trinkwasser wird mittels einer separaten Leitung durch einen warmen Grauwasserspeicher geführt. Das Trinkwasser erhält so eine höhere Ausgangstemperatur zur weiteren Erwärmung.

Im Neubau sollte darauf geachtet werden, dass auch die Grauwasserrohre isoliert werden, damit möglichst wenig Wärme verloren geht (DBU u. NOLDE, 2016). Ein möglicher Aufbau einer Wärmerückgewinnung im mehrgeschossigen Wohnungsbau ist in der Abbildung 17 zu sehen.

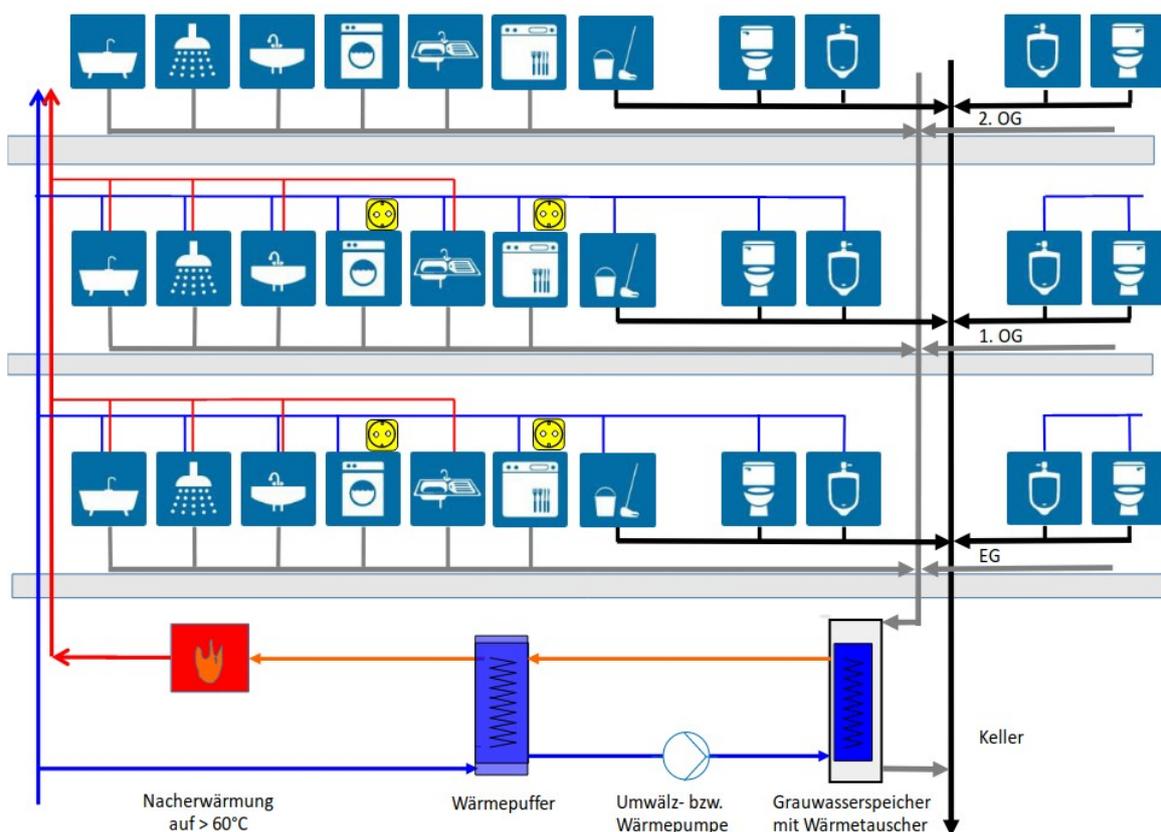


Abbildung 17: Wärmerückgewinnung für den mehrgeschossigen Wohnungsbau aus dem Grauwasserstrom. Die "kalten", gleichzeitig hoch belasteten Fäkalabwässer werden getrennt abgeleitet. Quelle: (DBU u. NOLDE, 2016)

2.3 Planungsgrundlagen

In den folgenden Abschnitten werden die allgemeinen Planungsgrundlagen (darunter standortbezogene, architektonische und gesetzliche Rahmenbedingungen) zusammengetragen.

2.3.1 Standortbezogene und architektonische Rahmenbedingungen

Ein ROSS wird immer auf Grundlage der örtlichen Parameter geplant und wird so an die individuellen Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzer:innen optimiert.

Folgende standortbezogenen Aspekte spielen bei der Planung eines ROSS eine Rolle:

- Bestandsgebäude / Neubau
- ländlicher oder urbaner Raum
- Anschluss- und Benutzungszwang an die öffentliche Abwasserentsorgung
- Standort im Wasserschutzgebiet
- Grundstückgröße, Platz im Außenbereich
- Bedarf an Nährstoffen im Garten-/ Außenbereich
- Versickerungsfähigkeit und Schadstoffbelastung des Bodens
- Nutzer:innenfreundlichkeit, Komfort
- Fördermöglichkeiten bestimmter Systeme

Grundsätzlich existieren zwei Ausgangssituationen für die Implementierung von ROSS, die einen elementaren Einfluss auf die möglichen Sanitärlösungen haben: Nachrüstung von ROSS in Bestandsgebäuden und ROSS im Neubau.

Eine nachträgliche Stoffstromtrennung bei Gebäuden im Bestand ist etwas komplizierter als die Berücksichtigung im Neubau. Der Platz in den Leitungsschächten ist begrenzt und meist schwer zugänglich. Dennoch gibt es Projekte, in denen im Rahmen von Sanierungen gelungen ist, zusätzliche Leitungssysteme zu verbauen (vgl. Kapitel 4.1.2). Sollte es nicht möglich sein in den Leitungsschächten weitere Rohre zur getrennten Erfassung der Stoffströme unterzubringen, besteht die Möglichkeit im bestehenden Abwasserrohr (Durchmesser DN 100 mm) zwei sogenannte Inliner einzubringen. Ein Inliner ist ein Textilschlauch, der in unter-

schiedlichen Durchmessern in ein Bestandsrohr eingebracht wird und dann mittels Epoxidharz und Dampfdruck aushärtet. So können in dem Bestandsrohr zwei kleinere Rohre eingebracht werden – bspw. eine Schwarz- und eine Grauwasserleitung. Für ein Unterdruck-Spülsystem können schon Querschnitte ab DN 40 verwendet werden. Für das Grauwasser bleiben dann rein rechnerisch noch DN 80 übrig (VESER u. LONDONG, 2017). Die Aufteilung des Rohres mit dem Inliner-System ist auf der Abbildung 18 zu sehen. Noch steckt dieses System in der Entwicklung und ist nicht auf dem Markt verfügbar.

Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung getrennter Abwasserströme im Bestand geht davon aus, dass Grauwasser und Schwarzwasser in der Regel zu unterschiedlichen Zeiten anfallen. Das heißt, dass die Abwasserströme getrennt erfasst werden können, aber dasselbe Abwasserrohr nutzen. Die Trennung der Abwasserströme geschieht mit einer mechanisch arbeitenden Abwasserweiche, die auf Grundlage unterschiedlicher Informationen (darunter Schallsignale zur akustischen Detektion des Herkunftsortes) entscheidet, in welchen Tank das ankommende Abwasser geleitet wird. Auf Abbildung 19 ist die Funktionsweise der Abwasserweiche schematisch dargestellt. Dieses System befindet sich noch in der Entwicklung an der Bauhaus-Universität Weimar, aktuell werden Feldversuche durchgeführt. Beide Projekte zur Trennung der Abwasserströme im Baubestand werden im fbr-Wasserspiegel 2/22 in dem Artikel „Technische Lösungen für Source Separation“ detailliert beschrieben (FBR, 2022b).

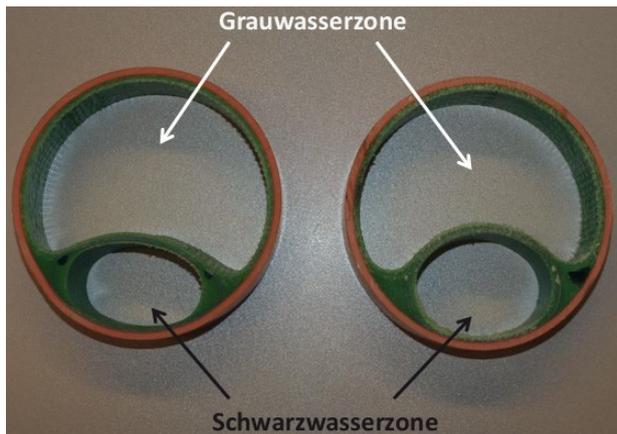


Abbildung 18: Doppel-Rohr-Inliner für getrennte Erfassung der Stoffströme im Bestand;
Quelle: (VESER u. LONDONG, 2017)

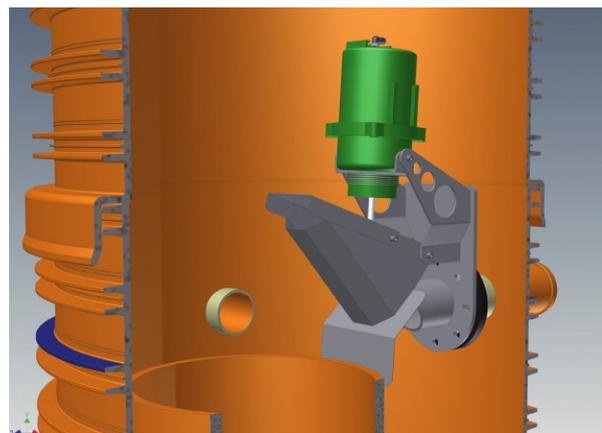


Abbildung 19: Schematische Darstellung einer Abwasserweiche, Quelle: (FBR, 2022b)

Die niederländische Firma Hydraloop vertreibt kleine dezentrale Grauwasserrecyclinganlagen in Kühlschranksgröße für einzelne Wohneinheiten, Büros oder Hotels. Diese Anlagen bereiten das Grauwasser aus Dusche und Waschmaschine direkt im Bad wieder auf und stellen es der Toilette und der Waschmaschine wieder zur Verfügung. Darüber hinaus wird dem Grauwasser durch diese Anlage auch Wärmeenergie entzogen. Somit ist dieses System auch eine mögliche ROSS Lösung für den Bestand (HYDRALOO, 2023).

ROSS in Neubauprojekten

Während ROSS in Altbauten mit verhältnismäßig großem Aufwand nachgerüstet werden können, können ROSS in Neubauprojekten direkt bei der Planung berücksichtigt werden. Die notwendige Technik kann in den Hausanschlussräumen mit ausreichend Platz übersichtlich eingeplant werden. In den Leitungssträngen können direkt mehrere Abwasserstränge berücksichtigt werden. Die Investitionskosten amortisieren sich durch geringere Betriebskosten und Nährstoffrecycling häufig schon nach wenigen Jahren. Darüber hinaus bestehen häufig vielfältige Fördermöglichkeiten, die den Mehraufwand bei der Planung attraktiver machen.

Genauso wie auf dem Feld der Erneuerbaren Energien, wird auch auf dem Gebiet der ROSS viel geforscht und neue Technologien etablieren sich am Markt. Da ein heute installiertes ROSS in wenigen Jahren schon optimiert und nachgerüstet werden könnte, ist es ratsam im Neubau ausreichend Platz in den Leitungssträngen und den Technikräumen vorzuhalten. Diesen Aspekt berücksichtigt auch die seit 01.03.2023 verfügbare Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) unter dem Programm Klimafreundlicher Neubau (KFN). Um den zinsgünstigen Kredit und den maximalen Zuschuss der KfW-Bank zu erhalten, benötigt man für das Gebäude ein Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG), für welches wiederum ein Zertifikat der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) notwendig ist. Im Kriterienkatalog Gebäude Neubau der DGNB ist unter TEC1.4 – Einsatz und Integration von Gebäudetechnik beschrieben, dass es für eine hohe Flexibilität in der Gebäudetechnik mehr Punkte in der Bewertungsmatrix gibt (DGNB, 2018). Ein weiteres Zertifikat für nachhaltige Gebäude ist das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), welches im Auftrag vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) entwickelt wurde. In den BNB Kriterien wird unter BNB 2.2.2 die Anpassungsfähigkeit eines Bauwerks bewertet (BMI, 2019; BNB,

2020). Darunter zählt auch das Vorhalten von Flächen in Leitungssträngen und Haustechnikräumen, damit im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung von Technologien und Anforderungen im Bereich der Gebäudetechnik effizient und nachhaltig reagiert werden kann.

2.3.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen und technische Regelwerke

Das Wasserrecht wird durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) auf Bundesebene und durch die Landeswassergesetze in den Bundesländern geregelt. Zusätzliche Verordnungen über die öffentliche Wasserver- und Abwasserentsorgung regeln bspw. den Anschluss- und Benutzungszwang (WASVERSABV BE, 2008).

§ 55 Absatz 1 des WHG beschreibt: „das Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Dem Wohl der Allgemeinheit kann auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen entsprechen.“ (WHG, 2009)

Mit dem am 01. Juni 2012 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschaftsgesetz, soll die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen gefördert und der Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sichergestellt werden (KRWG, 2012). Darauf basierend hat sich in der Abfallwirtschaft die getrennte Erfassung von sortenreinen Abfällen durchgesetzt. So können gezielt die Rohstoffe zurückgewonnen und damit wiederverwendet werden. Endliche Ressourcen werden geschont und Kosten für die Entsorgung reduziert (VESER u. LONDONG, 2017). Die lineare Abwasserentsorgung arbeitet jedoch immer noch mit gemischten Abwasserfraktionen und den damit bekannten Problemen (VESER u. LONDONG, 2017).

Auf der Abbildung 20 sind die Hürden und Hemmnisse durch bestehende Verordnungen und Gesetze von Nährstoffen aus verdauten Lebensmitteln aufgeführt. Dies gestaltet ein Nährstoffrecycling mit der aktuellen Rechtslage schwierig.

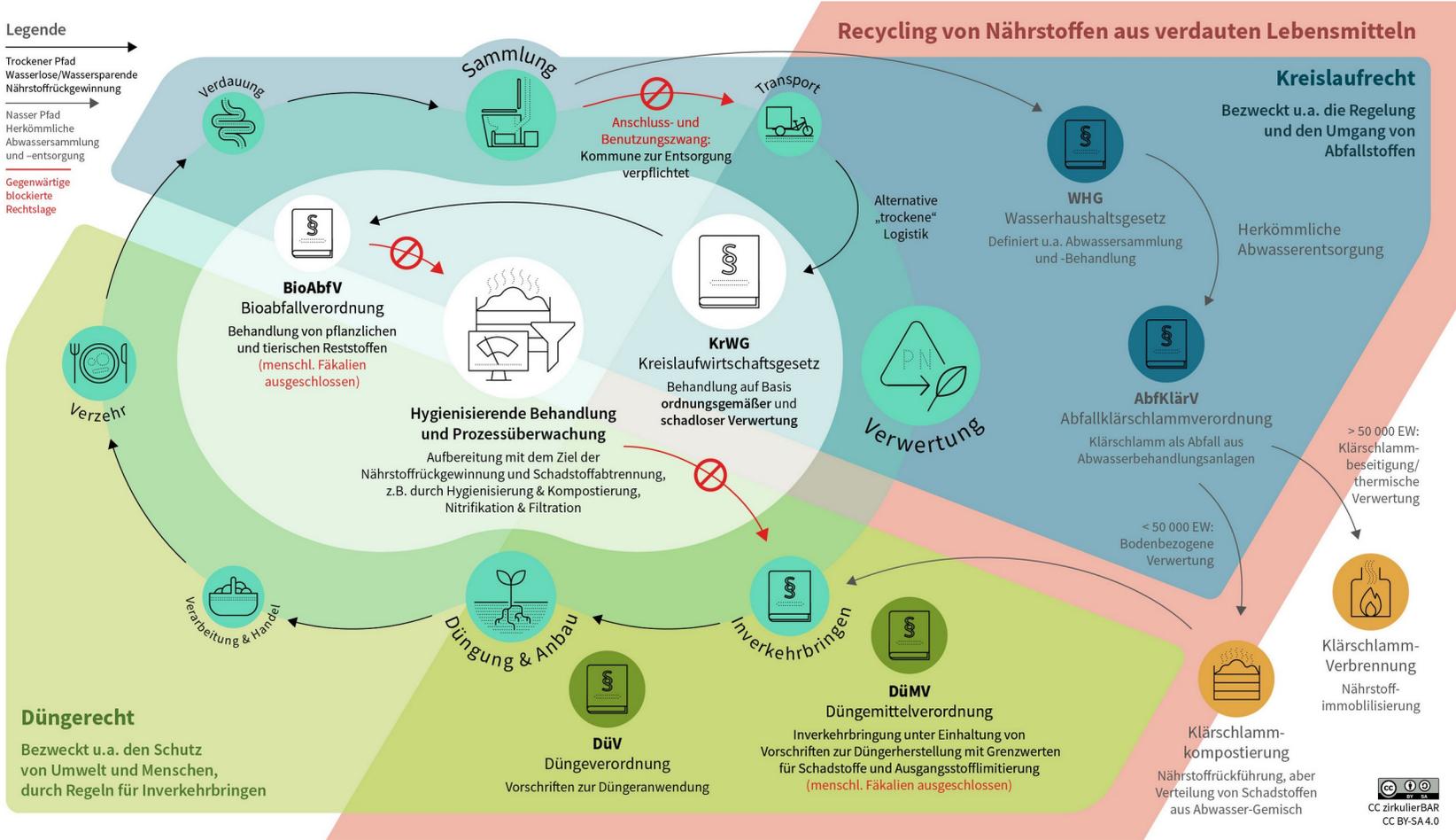


Abbildung 20: Relevante Verordnungen und Gesetze zum Recycling von Nährstoffen aus verdauten Lebensmitteln und deren Anwendungshindernisse, Quelle: zirkulierBAR, (KRAUSE, 2022a)

Dem gegenüber stehen ROSS, die die Rohstoffe aus den verschiedenen Abwasserströmen nutzen. Folgenden Normen, Regelwerke und Verordnungen können für ROSS bei der Planung rechtlich relevant sein:

- DIN 19650 : Hygienische Belange von Bewässerungswasser (DIN-19650, 1999)
- DWA-A 272 : Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS) (DWA, 2014)
- DWA-A 138 : Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser (DWA, 2005)
- DWA-A 262 : Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzen und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers(DWA-A 262, 2017)
- DWA-M 153 : Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser (DWA, 2020)
- DWA-M 277 : Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen (DWA, 2017)
- DWA-A 100 : Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (IsiE) (DWA, 2006)
- DIN SPEC 91421:2020-12 : Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau (DIN-SPEC-91421, 2020)
- Trinkwasserverordnung
- Düngemittelverordnung
- Bauordnung Berlin (BAUOB, 2006)

Grundsätzlich müssen Bauvorhaben und Grundstücke, die an kanalisierten Straßen liegen, an die öffentliche Entwässerung angeschlossen werden (Anschluss- und Benutzungszwang, § 44 Bauordnung Berlin und § 34 Baugesetzbuch). Dies schränkt die Potentiale und Möglichkeiten von ROSS stark ein. Ende 2017 schreibt das Umweltbundesamt in dem Bericht „Wasserwirtschaft in Deutschland“:

„Aufgrund der gut entwickelten Abwasserentsorgung in Deutschland werden neuartige Sanitärsysteme bisher selten berücksichtigt. Daher ist jedes neue Projekt wichtig, um Erfahrungen bei der Planung, beim Bau und im Betrieb zu sammeln. Auch die Aufbereitung und Anwendung von Produkten aus NASS, z. B. als Düngemittel, werden bislang wenig erforscht und entwickelt.“ (UBA, 2017)

3 Material und Methoden

Die vorliegende Arbeit richtet sich an dem konkreten Beispiel des Mehrgenerationenhauses WSX aus, welches sich zur Bearbeitungszeit dieser Arbeit in der Vorplanung (Leistungsphase 2) befindet und in Berlin-Friedrichshagen bis Mitte 2025 gebaut werden soll. In die Fallstudie fließen eingeholte Informationen zu gewonnenen Erfahrungen anderer bereits umgesetzter Anwendungsbeispiele direkt ein. Diese Erfahrungen werden analysiert und angewandt auf die Handlungsempfehlungen für den Anwendungsfall WSX.

Die vorliegende Masterarbeit wurde in enger Abstimmung mit der Genossenschaft GSP eG (Bauherrin) für das Projekt WSX erstellt. Hierdurch stehen Informationen und Materialien wie Grundrisse, Pläne, Absprachen mit Behörden und weitere Planungsunterlagen und Berichte vollständig zur Verfügung und liegen dieser Arbeit für den Anwendungsfall WSX zu Grunde. Darüber hinaus besteht eine enge Anbindung an die Gruppe der künftigen Mieter:innen. Es wird hier die Methode der Aktionsforschung verfolgt. Die Aktionsforschung besteht in der Interaktion mit den künftigen Mieter:innen sowie den Planenden im laufenden Planungsprozess, wobei iterativ Informationen von den Mieter:innen und Planenden in die Masterarbeit einfließen und als solche gekennzeichnet wurden. Ergebnisse und Erkenntnisse der Masterarbeit unterstützen die anstehenden Entscheidungen im Planungsprozess. Durch Informationsveranstaltungen und eine Befragung findet die Beurteilung zur Bereitschaft der Nutzung von ROSS der künftigen Mieter:innen statt.

Dieser Arbeit liegt somit ein transdisziplinärer Ansatz zu Grunde. Sämtliche technische, ökologische, soziale und rechtliche Rahmenbedingungen werden in Abschnitt 3.3 zusammengetragen. Nutzende und Planende von bestehenden ROSS Projekten, werden in Kapitel 4.1 in die Wissensgenerierung mit einbezogen. Für die Gruppe der künftigen Mieter:innen wird ein interaktiver Workshop über ROSS durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.2.1). Der Kenntnisstand, der Investitionswillen und die Bereitschaft zur Nutzung von ROSS im Anwendungsbeispiel WSX wird durch den Workshop sowie eine anschließende Befragung in die Generierung von Handlungsempfehlungen einbezogen. Der angewandte Fragebogen (siehe Anhang A2) wurde hierbei anonymisiert ausgewertet (siehe Abschnitt 4.2.2) und die Erkenntnisse werden bei der Planung des angepassten ROSS berücksichtigt. Die Machbarkeit zur Umsetzung von

ROSS im Anwendungsbeispiel wird im Planungsprozess mit den beteiligten Architekt:innen und Fachplaner:innen abgestimmt und verifiziert.

Aus den Erkenntnissen wird eine Stoffstromermittlung in Kapitel 4.3.2 mit den relevanten Abwasserteilströmen erstellt. Im darauf folgenden Kapitel 4.3.3 werden die Ergebnisse diskutiert und eingeordnet. Dafür wird auch die Planungssoftware SAMPSONS2 zur Unterstützung verwendet. Mit dieser Software lassen sich Stoffströme visualisieren und quantifizieren (IFAK, 2021). Sie ermöglicht es überschlägige Kosten und Energieverbräuche zu simulieren. Damit lassen sich die zuvor ermittelten Ergebnisse verifizieren. Diese Software ist frei verfügbar und unterstützt Planer:innen bei der Auslegung und Entscheidung bestimmter Komponenten von ROSS.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit SAMPSONS2 die folgenden drei Varianten simuliert und verglichen, sie sind alle im Anhang A4 zu finden.

- Variante 1: Planungsbeispiel WSX mit konventionellem Sanitärsystem
- Variante 2: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage und Wärmerückgewinnung
- Variante 3: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage, Wärmerückgewinnung und Urin-Recyclinganlage

Als Eingangparameter wurden wie in der Stoffstromermittlung in Kapitel 4.3.2, 50 Mieter:innen angenommen. Der Aufbau des Sanitärsystems im Haus ist in den drei Varianten unterschiedlich. Das Planungsbeispiel liegt im Einzugsbereich des Klärwerks Münchehofe. In der Simulation wurde auf der Grundlage der Angaben der Berliner Wasserbetriebe (BWB, 2023) das Klärwerk möglichst genau abgebildet, sodass die Treibhausgasemissionen möglichst genau bestimmt werden können. In allen drei Varianten ist die Simulation auf der Seite des Klärwerks für die Entsorgung des Bioabfalls und die Niederschlagsentwässerung identisch aufgebaut. Somit können die drei unterschiedlichen Sanitärsysteme miteinander verglichen werden.

3.1 Auswahl bestehender ROSS

Im Rahmen dieser Arbeit wurden fünf Anwendungsbeispiele analysiert und zum Großteil besucht. Sie sind Teil der transdisziplinären Forschung, um die Hürden und Herausforderungen bei Planung, Implementierung und Betrieb von ROSS zu erörtern. Bei dieser Analyse stand der Fokus auf die folgenden Themen: Projektbeschreibung und Beschreibung des ROSS, Planungsprozess, Erfahrungen im Betrieb und ggf. End-of-Life des ROSS.

Für die Planung und Bemessung des angepassten ROSS im Anwendungsbeispiel WSX, soll auf einen breiten Erfahrungsschatz zurückgegriffen werden. Dafür wurde auf eine möglichst hohe Diversität unter den ausgewählten Bestandsprojekten geachtet. Folgende Kriterien spielten dabei eine Rolle:

- Vergleich von Mehrparteien- und Einfamilienhäusern
- hohe Diversität im Hinblick auf die verwendeten Techniken und Innovationen
- einen möglichst persönlichen Zugang zu den Projekten und damit den Erfahrungen im Betrieb
- räumliche Nähe und geringe sprachliche Barrieren, damit die ROSS auch besucht werden können

Die nachfolgende Auswahl wurde auf Grundlage der oben genannten Kriterien getroffen:

- **LaVidaVerde, Berlin-Lichtenberg**
 - Auswahlkriterien: Neubauprojekt im Innenstadtbereich Berlin und damit erreichbar; gut organisiert und ökologisch orientiert; mehrgeschossiges Mehrparteienhaus; ambitioniertes ROSS, teilweise nicht in Betrieb
 - Informationsquellen: Besichtigung des ROSS am 23.01.2023 und Gespräch mit Verantwortlichen aus der Wasser AG, Projektunterlagen, Internet
- **Wönnichstr. 103, Berlin-Lichtenberg**
 - Auswahlkriterien: mehrgeschossiger Altbau im Innenstadtbereich Berlin und damit erreichbar; gut organisiert und ökologisch orientiert; PKA im Innenstadtbereich
 - Informationsquellen: Besichtigung des ROSS am 27.01.2023, Gespräch mit Verantwortlichen aus der Wasser AG und Planer:innen

- **Studierendenwohnheim, Berlin-Pankow**
 - Auswahlkriterien: mehrgeschossiger Neubau mit vielen Wohneinheiten; wechselnde und heterogene Mieter:innen; Wärmerückgewinnung
 - Informationsquellen: Besichtigung am 23.03.2023 und einem Gespräch mit dem Fachplaner Erwin Nolde; Internetrecherche
- **Landhof Schöneiche**
 - Auswahlkriterien: ökologische Siedlung in erreichbarer Nähe; Pionierprojekt mit Komposttoiletten und PKA; Einfamilienhäuser; ROSS Rückbau
 - Informationsquellen: Besichtigung des ROSS am 10.02.2023 und Führung durch einen Bewohner und Mitgründer; Projektunterlagen
- **Ökosiedlung Allermöhe, Hamburg**
 - Auswahlkriterien: ökologische Siedlung mit langjähriger Erfahrung; Einfamilienhäuser mit Komposttoiletten und PKA
 - Informationsquellen: Online-Vernetzungsgespräch zwischen dem Ecovillage Hannover, dem Ingenieurbüro aquaplaner und der Ökosiedlung Allermöhe in Hamburg am 26.01.2023; Veröffentlichungen; Internetrecherche

3.2 Einbeziehungen der künftigen Mieter:innen

Um die künftigen Mieter:innen des Hauses einerseits für ein ROSS zu sensibilisieren und ihre Bedürfnisse gleichzeitig bei einer Planung zu berücksichtigen wurden zuerst Informationen im Rahmen eines Workshops an die Mieter:innen weitergeben. Im Anschluss konnten sie einen Fragebogen über ROSS in ihrem Neubau ausfüllen. Dadurch können die Anforderungen, Bedürfnisse und Bedenken zur Sicherstellung eines langfristigen Funktionierens und der Akzeptanz durch die Mieter:innen bei der Planung berücksichtigt werden.

Im Rahmen eines 1,5 stündigen interaktiven Workshops wurden den jetzt schon fest stehenden zukünftigen Mieter:innen des Wohnhauses in der Werlseestraße die Probleme der konventionellen Sanitärsysteme erläutert. Im Anschluss wurde ihnen ROSS vorgestellt und es

konnten Fragen im Rahmen einer Diskussion gestellt werden. Der interaktive Workshop war wie folgt aufgebaut:

1. Vorstellung, Erwartungsabfrage und Abgleich von Vorwissen
2. Beschreibung des konventionellen Sanitärsystems und dessen Probleme
3. Möglichkeiten und Potentiale von ROSS
4. Klärung der einschränkenden Rahmenbedingungen für ROSS am konkreten Fallbeispiel WSX
5. Beschreibung und Vorstellung der möglichen Komponenten von ROSS
6. Rückfragen und Diskussion
7. Vorstellung des Fragebogens
8. Abschluss und Ausblick

Dieser vorbereitende Workshop diente der Grundsteinlegung für die anschließende Befragung der Mieter:innen. Hierbei standen die Bedürfnisse und Bedenken im Mittelpunkt, um weitere Anforderungen an das ROSS zu definieren. Die Befragung fand mittels eines anonymisiert ausgewerteten Fragebogen statt. Daran haben 8 der schon jetzt fest stehenden 12 Bewohner:innen teilgenommen. Der Fragebogen ist im Anhang A2 als leere Vorlage zu finden. Die Ergebnisse aus dem Fragebogen werden in dem Kapitel 4.2 beschrieben und eingeordnet.

3.3 Rahmenbedingungen für Planungsbeispiel WSX

Das Projekt WSX der GSP eG (GSP, 2022) entsteht derzeit auf einem Garagengrundstück des Landes Berlin in Friedrichshagen, in der Werlseestraße Ecke Breestpromenade – im Trinkwassereinzugsgebiet des Wasserwerks am Müggelsee. In einem Erbpachtvertrag plant und errichtet die GSP eG hier in den kommenden Jahren ein 5-geschossiges Mehrgenerationenhaus mit 17 Wohneinheiten für ungefähr 35-40 Menschen. Es entsteht ein energieeffizientes Holzhaus mit ökologischer Dämmung im Effizienzhaus (EH) 40 Plus Standard für eine diverse Hausgemeinschaft. Das Gebäude erzeugt im Jahresmittel mehr Energie als es verbraucht und kommt dabei vollkommen ohne fossile Energieträger bei der Heizungsanlage

aus. Ein Anteil von 30 % der Wohnfläche werden als Sozialwohnungen frei gehalten und im Erdgeschoss entsteht ein Kiezcafé für Veranstaltungen, welches auch von Nachbar:innen genutzt werden kann. Ein nachhaltiges Mobilitätskonzept sorgt dafür, dass Lastenräder und E-Autos gemeinsam genutzt werden und genügend Stellflächen für Fahrräder bereitgestellt werden. In der Anlage A1 sind aktuelle Pläne und Grundrisse des Planungsbeispiels WSX zu finden.

Die GSP eG ist eine junge Wohnungsbaugenossenschaft, die ökologisch-soziale Neubaugenossenschaft entwickelt, sowie Bestandsgebäude ökologisch, energieeffizient und sozialverträglich saniert. Dabei betrachtet die GSP gesellschaftliche, ökologische und klimapolitische Herausforderungen ganzheitlich und verfolgt unter anderem die folgenden Ziele:

- Bezahlbarer, ökologischer, energieeffizienter Wohnraum und Sozialwohnungen
- Barrierefreies Wohnen, Mehrgenerationenhaus
- Nachhaltiges Mobilitätskonzept
- Regenerative, ökologische, fossil-freie Energieversorgung
- Demokratische Teilhabe der Bewohner:innen
- Kiez-Konzept für ein solidarisches Miteinander, zur Vernetzung und Bildung von Multiplikator:innen

Das Berliner Wassergesetz (BWG) vom 17.05.2005 (BWG, 2005) enthält in §36 Absatz (1) ein Versickerungsgebot. Demnach soll auf dem Grundstück anfallendes Niederschlagswasser durch die belebte Bodenschicht vor Ort versickern, sofern keine Verunreinigungen oder andere Beeinträchtigungen des Grundwassers zu befürchten sind.

Der ökologische Neubau wird in der Wasserschutzgebietszone IIIA errichtet. Die Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz (SenUMVK) legt fest, dass die Wasserbehörde eine Genehmigung zur Niederschlagsversickerung in diesem Trinkwasserschutzgebiet erteilen muss (Hinweisblatt 2 zur Antragstellung: Versickerung von Niederschlagswasser) (SENUMVK, 2022). Die Versickerung muss demnach in diesem Trinkwasserschutzgebiet oberirdisch über die belebte Bodenzone gewährleistet werden, damit eventuelle Schmutzstoffe im Niederschlagswasser durch Adsorption und biologische Abbauprozesse reduziert werden können, bevor sie das Grundwasser erreichen (DWA, 2020). Das bedeutet,

dass Systeme, die das anfallende Niederschlagswasser ausschließlich unterirdisch versickern lassen (wie bspw. Rigolensysteme oder Versickerungsschächte) nicht zulässig sind.

Das Grundstück ist ein kleines, schmales Grundstück mit einer Grundstücksfläche von knapp 900 m². Die Bauherrin hat in Abstimmung mit dem Stadtplanungsamt eine möglichst hohe Überbaubarkeit des Grundstücks besprochen. Demnach ergeben sich ca. 330 m² Grundfläche. Mit den aus der Bauordnung Berlin und anderen Vorschriften zwingend notwendigen baulichen Anlagen im Außenbereich (Niederschlagsentwässerung, Spielplatz, Fahrrad- und Müllstellplätze) (BAUOB, 2006; BREWA-BE, 2021), sowie die zusätzlichen Anforderungen der Bauherrin (PKW-Stellflächen, Terrasse für Veranstaltungsraum, Stellflächen für Lastenräder) (siehe Anlage A3), ergeben sich nur sehr kleine Flächen für Garten und Gemüse. Dementsprechend ist der Nährstoff- und Düngemittelbedarf auch sehr begrenzt. Darüber hinaus ist es durch die Wasserschutzgebietsverordnung Friedrichshagen verboten in der Schutzgebietszone IIIA Abwässer in den Untergrund einzuleiten und Entsorgungsanlagen zu betreiben (WVO-WW-F'HAGEN, 1999). Die Kompostierung von Fäkalien (insb. Fäzes) zur Herstellung von hochwertigem Humusdünger ist im Außenbereich nicht möglich.

Das Wohnhaus wird ein Mehrgenerationen-Mietshaus mit wechselnden Mieter:innen. Einige der Bewohner:innen sind Senior:innen, andere mobilitätseingeschränkte Personen und wieder andere Familien. 30 % der Wohnfläche wird als sozialer Wohnraum genutzt. Die Mieter:innen benötigen eine hygienisch unbedenkliche Sanitärversorgung mit möglichst wenig Komforteinbußen. Ein ROSS muss aus diesen Anforderungen genügen und darf darüber hinaus nicht sonderlich wartungsintensiv sein.

Die Bauherrin plant den ökologischen Neubau mit der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB) zertifizieren zu lassen. Mit diesem Zertifikat wird das Gebäude über den gesamten Lebenszyklus (Planung, Bau, Betrieb, Rückbau) anhand ökologischer, sozialer und ökonomischer Kriterien mittels Punktesystem bewertet. Dieses Zertifikat ist notwendig, um ein Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) zu erhalten. Damit bekommt die Bauherrin Zugang zu staatlichen Förderprogrammen und zinsgünstigen Krediten über KfW-Bank (Programm Klimafreundlicher Neubau) (KfW, 2023). Die Zertifizierung bewertet sämtliche Bereiche des Gebäudes und vergibt Punkte für die einzelnen Kategorien – so auch für Wasserkreislaufsysteme (DGNB, 2020).

4 Ergebnisse und Diskussion

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Analyse von den bestehenden ROSS und der Befragung der Mieter:innen wiedergeben und die Erkenntnisse diskutiert. Anschließend folgen die Planungsergebnisse für das Fallbeispiel WSX, sowie die Diskussion und Überprüfung ebendieser.

4.1 Analyse bestehender ROSS

4.1.1 LaVidaVerde, Lichtenberg, Berlin

LavidaVerde ist ein Plusenergie-Hausprojekt für ca. 35 Menschen in Berlin-Lichtenberg. Es wurde 2014 fertig gestellt und besteht aus 18 Wohneinheiten. Durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft und dem Abwasser sowie der Nutzung der Solarenergie und guter Dämmung, erzeugt das Haus im Jahresmittel mehr Energie als es selbst benötigt. Die Bewohner:innen realisieren über dieses Hausprojekt zukunftsorientiertes Wohnen und ein solidarisches Miteinander in Selbstverwaltung (LAVIDAVERDE, 2016).

Sanitärkonzept

Das ROSS wurde als Versuchs- und Pilotanlage konzipiert und von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Ziel war es, durch Regenwassernutzung und Grauwasser-aufbereitung mittels einer Pflanzenkläranlage auch Trinkwasser herzustellen und zu zeigen, dass ein um 90% reduzierter Trinkwasserbezug im urbanen Raum möglich ist.

Das Regenwasser wird über die Dachfläche gesammelt und mittels Sieb gefiltert. Danach wird es über Fallrohre in Regenwassertanks im Keller geleitet und gespeichert. Sämtliches Grauwasser (sowohl schwach, als auch stark belastetes Grauwasser) wird in einem anderen Tank im Keller mit einer Temperatur von 25 – 30 °C gesammelt. Hier wird mittels Wärmetauscher Energie aus dem Grauwasser gezogen und in die Wärmerückgewinnungsanlage der Abluft eingespeist. Es sind drei gemauerte Grauwassertanks hintereinander geschaltet, in denen durch Belüftung aerobe Abbauprozesse stattfinden. Hinter dem letzten Tank wird das

Grauwasser zusammen mit dem Regenwasser in Intervallen zur Pflanzenkläranlage (Vertikalfilter) gepumpt, die draußen im Garten aufgebaut ist. Das so hergestellte Betriebswasser wird über eine Freigefälleleitung in den Keller geführt und gespeichert. Über eine Druckerhöhungsanlage wird ein Teil des Betriebswasser in die Toiletten geschickt, ein anderer Teil durch eine Ultrafiltrationsanlage und einen UV-Desinfektion in die Dusche, die Handwaschbecken und Waschmaschine. Allein der Wasserhahn in der Küche bezieht Trinkwasser von den Berliner Wasserbetrieben. Das Schwarzwasser aus der Toilette verlässt das Haus zur Kanalisation. So kann das ganze Jahr über das Wasser im Kreislauf geführt werden. Zusammen mit der Regenwassernutzung kann der Stadtwasserbezug um bis zu 90% gesenkt werden.

Erkenntnisse

Das Sanitärkonzept ist eine innovative Idee, die Hightech und Lowtech Lösungen energieeffizient und kostengünstig sinnvoll miteinander kombiniert. Die Anlage bietet eine große Sicherheit in Bezug auf die Wasserqualität und die Selbstversorgung. Sie kann ein Vorbild auch für trockene Regionen sein, da das Wasser im Kreislauf geführt werden kann.

Die Anlage wurde geplant und zu schätzungsweise 90% realisiert – es fehlt die Ultrafiltration und UV-Desinfektion. Zum Ende der Bauphase nahmen Baustellenstress und Finanzierungsengpässe zu, sodass die Projektgruppe sich nicht um eine wasserbehördliche Genehmigung und Zertifizierung dieses Sanitärsystems kümmerte. Die Prioritäten lagen auf Wohnen und Gebäudefertigstellung.

Aktuell wird das gesamte Abwasser über die Kanalisation entsorgt und nicht recycelt. Das Regenwasser wird über die Pflanzenkläranlage aufbereitet und im Keller gespeichert, um es dann als Bewässerungswasser im Garten zu nutzen. Es ist geplant, das Grauwasser zu Betriebswasser für Toilettenspülung und Waschmaschine aufzubereiten, damit die Anlage zumindest teilweise in Betrieb gehen kann, weil ein Großteil der Komponenten und die Leitungssysteme schon installiert sind. Die Zertifizierung der Anlage zu einer Trinkwasseraufbereitungsanlage kann in einem nächsten Schritt auch angegangen werden, ist aber aus Kapazitätsgründen derzeit nicht geplant.

Interessant sind auch die mit Kalk-Sandsteinen gemauerten Tanks im Keller (zu sehen auf Abb. 21). Dadurch kann der Kellerraum effektiver ausgenutzt werden, da vorgefertigte Tanks meist rund sind und nicht individuell an jeden Grundriss angepasst werden können.



Abbildung 21: gemauerter Tank zum Speichern des Niederschlagswassers im Keller von LaVidaVerde, Quelle: eigenes Foto

Die Anlage besitzt eine automatische Stadtwassernachspeisung, wodurch Störungen nicht unmittelbar erkannt werden können. Das ist auch durch die Regelungstechnik bedingt, da diese eher auf Lowtech basiert und nicht über das Internet überwacht wird. Dadurch können die Hausbewohner:innen allerdings die Anlage selber verstehen und warten.

4.1.2 Wönnichstr. 103, Lichtenberg, Berlin

In dem sozial und ökologisch orientierten Hausprojekt in der Wönnichstraße 103 in Berlin-Lichtenberg leben ungefähr 20 Menschen. Die Bewohner:innen haben den Altbau im Jahr 2000 gekauft, saniert und verwalten das Haus seitdem selber. Sie organisieren sich in Etagen, die jeweils eine Wohneinheit bilden. Besonderheiten des Projektes sind: PV- und solarthermische Anlagen, der Veranstaltungsraum „Piekfeiner Laden“, die Gemeinschaftsküche, die Bibliothek, der gemeinsame Gartenbereich und das ROSS. Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Hausprojekt in der Wönnichstr. 104 („Lichte Weiten“).

Sanitärkonzept

Das Sanitärsystem wurde im Rahmen einer Sanierung zum Kauf des Hauses komplett erneuert. Seitdem gibt es einen separaten Grauwasserstrang und Betriebswasserleitungen. In jeder Etage gibt es eine Kompost-Trenntoilette und mindestens ein WC, welches mit Betriebswasser betrieben werden. Ebenso gibt es auf jeder Etage eine Dusche, die mit Betriebswasser versorgt wird. Eine weitere Dusche wird mit Trinkwasser von der Stadt versorgt. Es besteht demnach auf jeder Etage die Wahlmöglichkeit zwischen einer Trinkwasser- und einer Betriebswasserdusche. In der Gemeinschaftsküche gibt es zwei Waschbecken, eins für fetthaltiges, stark belastetes Grauwasser und eins für schwach belastetes Grauwasser. Alle Armaturen und sanitären Einrichtungen sind eindeutig beschriftet, zum Teil wird die Funktionsweise, Reinigung und Wartung auf Anleitungen beschrieben.

Das Grauwasser aus Küche und Bad wird im Keller in Absetzbecken gesammelt und anschließend zum vertikalen Fließbettfilter (Pflanzenkläranlage) geschickt, in der die biologischen Abbauprozesse stattfinden. Das gereinigte Grauwasser wird im Anschluss durch eine Mikrofiltration in Vorratsbehältern im Keller gespeichert und als Betriebswasser in Dusche und Toilette wieder verwendet. Der Mikrofilter muss jährlich mittels einer starken Lauge und Salzsäure gereinigt werden.

Die Fäzes aus der Trocken-Trenntoilette werden in Eimern gesammelt und händisch auf einen Kompost in den Garten gebracht. Hier wird er in unterschiedlichen Kompost-Mieten zwei Jahre gelagert und anschließend im hauseigenen Garten als Humusdünger für Zierpflanzen, Sträucher und Beeren verwendet. Der Urin aus dieser Kompost-Trenntoilette wird über die Grauwasserleitung abgeführt.

Das Regenwasser wird in unterirdischen Zisternen im Garten gespeichert und zum Teil für die Gartenbewässerung verwendet. Ein anderer Teil wird über eine Pflanzenkläranlage in den Betriebswasserkreislauf eingespeist, sodass das Regenwasser auch zur Substituierung von Trinkwasser verwendet wird.

Das Sanitärsystem ist in diesem Zustand wasserbehördlich genehmigt, es werden regelmäßig Laboranalysen von Wasserproben abgegeben.

Erkenntnisse

Alle Bewohner:innen haben Kenntnis über dieses Sanitärsystem und dessen Besonderheiten. Allen Nutzer:innen ist klar, dass wenn sie Medikamente zu sich nehmen oder sie krank sind (insb. Magen-Darm-Erkrankungen), sie dann nicht die Komposttoilette nutzen.

Die Bewohner:innen warten und reinigen ihr ROSS turnusgemäß selber und haben umfassende Kenntnis über die verbauten Anlagen. Das komplette Sanitärsystem ist gut dokumentiert und es existiert ein übersichtlicher Reinigungs- und Wartungsplan, der jährlich aktualisiert wird. Dafür braucht es motivierte Menschen, die die anfallenden Aufgaben übernehmen oder sich fachliche Unterstützung organisieren. Mit den Erfahrungen aus über 20 Jahren Betrieb des ROSS und dem zunehmenden Alter der Bewohner:innen, werden sich auch Gedanken über den Aufwand und die körperlichen Anforderungen an Wartung und Reinigung gemacht. Derzeit werden die Eimer mit den Fäzes teilweise aus dem 4. Stock zum Kompost in den Garten getragen. Wie lange kann diese Aufgabe noch erledigt werden? Wie kann das System optimiert werden, damit es auch im hohen Alter genutzt werden kann?

Der Urin aus den vier Kompost-Trenntoiletten wird ebenfalls über die Grauwasserleitung in die Absetzbecken in den Keller geleitet. Die Urinableitung aus dem Trenneinsatz in der Komposttoilette funktioniert ohne Probleme. Allerdings bildet sich Urinstein kurz hinter der Einleitung des Urins in den Grauwasserstrang im Y-Anschlussstück. Hier trifft die Harnsäure des Urins auf das kalkhaltige Grauwasser und Urinstein setzt das Abwasserrohr langsam zu. Alle ca. 4-5 Jahre ist es notwendig, das Grauwasserrohr durch eine Fachfirma frei fräsen zu lassen – Kostenpunkt ca. 500 Euro.

Grundlage, Inspiration und Vision für die Planung der Haustechnik war das Buch „Faktor 4: Doppelter Wohlstand – halbierter Naturverbrauch“ aus dem Jahr 1995, auf das sich die Bewohner:innen heute noch beziehen.



Abbildung 22: Kompost-Trenntoilette in der Wönnichstr. 103. Separate Urinabführung vorne, trockene Sammlung der Fäzes im Eimer hinten. Abluftabführung über Rohr zum Dach. Quelle: eigenes Foto

4.1.3 Studierendenwohnheim Berlinovo, Pankow, Berlin

Die Berlinovo Immobilien GmbH, eine landeseigene Wohnungsbaugesellschaft, eröffnete im Jahr 2021 in Berlin-Pankow ein 7-geschossiges Studierendenwohnheim mit 399 kleinen Apartments für 442 Student:innen (KÖNIG, 2022). Die Nutzungsart und die Bewohnendendichte ist mit der von Hotels vergleichbar und der Wasserverbrauch vergleichsweise hoch. Gleichzeitig gibt es erfahrungsgemäß in Studierendenwohnheimen eine hohe Fluktuation und es kann gleichzeitig nicht von einem umweltbewussten Lebensstil und einer Bereitschaft zur Wartung der Gebäudetechnik seitens der Bewohnenden ausgegangen werden. Ein ROSS sollte ohne Komfortverlust für die Bewohner:innen installiert werden (NOLDE, 2023a).

Sanitärkonzept

Berlins größte Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung wurde in diesem Neubau realisiert (NOLDE, 2023c). Das schwach belastete Grauwasser aus dem Bad der knapp 400 Bäder wird gesammelt und mit Hilfe eines Siebes von Störstoffen befreit. Im nachfolgenden 3-stufigen Grauwasserpuffer wird dem Abwasser zum ersten Mal Wärme über eine Trinkwasser-Vorerwärmung entzogen, bevor es zur 4-stufigen biologischen Aufbereitung gepumpt wird. Hier findet die biologische Reinigung unter Zugabe von Luft aerob statt. Die Abluft wird über ein Rohr zum Dach geführt. Im letzten Reaktor hat das geklärte Grauwasser einen Rest-BSB-Wert von unter 5 mg pro Liter und gelangt im Anschluss an den Sandfilter, welcher das Grauwasser auf eine Trübung von unter 0,5 NTU bringt (zum Vergleich: Trinkwasser hat einen Grenzwert von 1,0 NTU). Anschließend wird das Betriebswasser (ehemals Grauwasser) über eine UV-Desinfektion und einen 2. Wärmetauscher in Vorratsbehältern gespeichert, wo es für die Toilettenspülung mittels einer Druckerhöhungsanlage zur Verfügung steht (KÖNIG, 2022). In der Abbildung 23 wird der Aufbau dieser Anlage schematisch dargestellt. Die Siebe und Filter werden automatisiert rückgespült. Dafür wird auch Betriebswasser verwendet, welches dann über die Schmutzwasserkanalisation entsorgt wird.

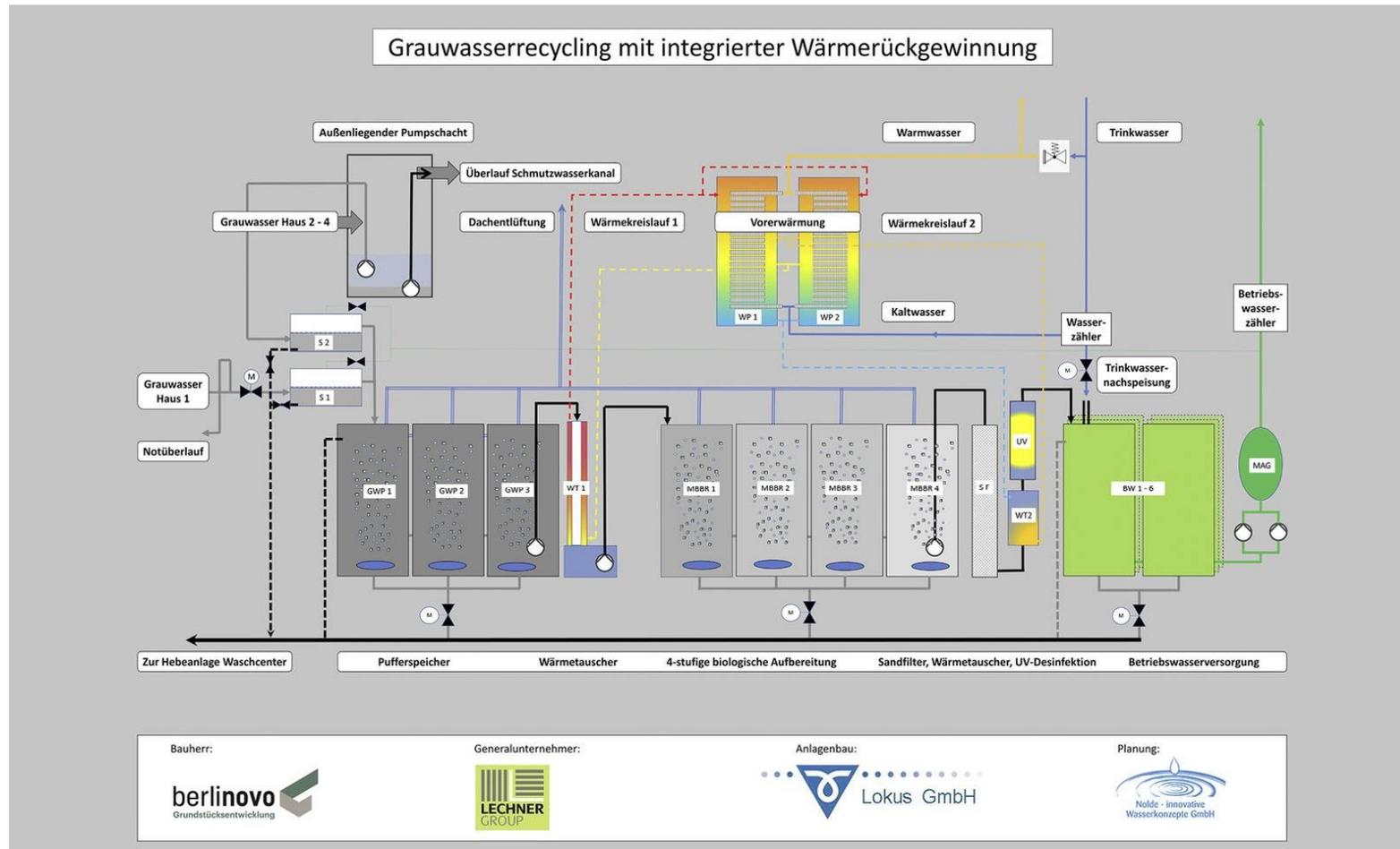


Abbildung 23: Aufbau der Grauwasserrecyclinganlage mit Wärmerückgewinnung in dem Studierendenwohnheim der Berlinovo in Berlin-Pankow, Quelle: (KÖNIG, 2022)

Erkenntnisse

Die Studierenden nutzen die Wohnungen nur für einen kurzen Zeitraum. Aus diesem Grund vermietet die Berlinovo die Apartments über eine Brutto-Warmmiete, die eine Wasser- und Abwasserpauschale enthält. Die Studierenden haben so keinen Überblick über ihren Wasserverbrauch und sind daher wenig motiviert Wasser und damit Kosten zu sparen. Allerdings ermöglicht diese Art der Vermietung, dass die Investitionskosten der Bauherrin sich durch die Einsparungen im Trinkwasserbezug, der Abwasserentsorgung und der Wärmerückgewinnung auch bei den Vermieter:innen rentieren.

Eine weitere Erkenntnis aus diesem Vermietungsmodell ist, dass die Studierenden überdurchschnittlich viel duschen und dadurch mehr Betriebswasser anfällt, als für die Toilettenspülung benötigt wird (NOLDE, 2023a). Daher reichen zwar relativ kleine Vorratsspeicher aus (KÖNIG, 2022), aber das nicht verwendete Betriebswasser wird ungenutzt zusammen mit dem Schwarzwasser an die Kanalisation übergeben. Dadurch, dass die Wäsche aller knapp 450 Bewohner:innen zentral in einem Wäschekeller gewaschen wird, wird ein Anschluss der Waschmaschinen an das Betriebswassernetz derzeit geprüft (NOLDE, 2023a).

Grauwasseraufbereitung im Wirbelbettverfahren benötigt wenig Energie und erfordert auch wenig Wartung (KÖNIG, 2022). Die eingesetzte Wärmerückgewinnung entnimmt dem Abwasser fünfmal so viel Energie, wie für die Grauwasseraufbereitung notwendig ist (KÖNIG, 2022).

Bei einer Besichtigung am 23.03.2023 beschreibt Erwin Nolde die Robustheit der Anlage. Die Nutzer:innen merken nichts davon, dass eine Grauwasseranlage im Kellergeschoss Betriebswasser erzeugt und für die Toilettenspülung bereit stellt. Dadurch kam es vor, dass ein Mieter das Katzenstreu über die Dusche entsorgte, was zu einer Zusetzung des Siebes im Zulauf zur Grauwasseranlage führte. Ein anderer Mieter entsorgte einen Verdünner für eine Wandfarbe über die Dusche, was zu einer Dezimierung von Mikroorganismen im Wirbelbettreaktor führte. Nach Erwin Nolde sind solche Fehlnutzungen zwar ärgerlich, ein ROSS in Mehrfamilien-Mietshäusern muss mit solchen Problemen aber klarkommen. Sensoren detektieren Störungen im System und melden sie automatisiert über das Internet an die Wartungsfirma, welche dann zielgerichtet und zeitnah die Störung beheben kann (NOLDE, 2023a).

4.1.4 Landhof Schöneiche bei Berlin

Der Landhof Schöneiche ist eine ökologische Siedlung an der südöstlichen Berliner Stadtgrenze. Im Jahr 1992 haben sich hier 13 Familien zusammen geschlossen, um gemeinsam ökologische Einfamilienhäuser zu planen und zu errichten. Dieses Modellprojekt verfolgt die Leitvorstellung „gemeinschaftliches, ökologisches und wirtschaftliches Bauen“. Planung und Bau wurden im Jahr 1996 abgeschlossen und die 2-stöckigen Wohnzeilen bezogen.

Sanitärkonzept

Zu dieser Zeit war das Grundstück und der angrenzende Weg nicht durch eine zentrale Abwasserentsorgung erschlossen, weshalb der Wasserverband Strausberg-Erkner der Bauherrengemeinschaft ein autarkes System mittels horizontaler Pflanzenkläranlage für das Grauwasserrecycling und Komposttoiletten des Typs TerraNova der Firma Berger Biotechnik GmbH genehmigte. Voraussetzung dafür war eine jährliche Abwasserprobe des geklärten Grauwassers. Geplant wurde das ROSS durch die Firma Berger Biotechnik GmbH aus Hamburg. Einen 50% Baukostenzuschuss gab es von der Lokalpolitik, die ein Interesse daran hatten, dass die jungen Familien sich dort niederließen.

Die Toiletten der 2-stöckigen Einfamilienhäuser sind durch ein Fallrohr an eine Kompostanlage im Kellergeschoss angeschlossen. Jede Familie hat einen eigenen Kompost. Pro Jahr werden 5-6 Eimer Kompost ausgebracht, welcher im Garten verwendet wird. Es wird darauf geachtet, dass nicht zu viel Wasser in die Anlage eingebracht wird, was bei Veranstaltungen mit viel Besuch und einer dementsprechend höheren Urinfracht ein Problem darstellt. Auf der Abbildung 24 ist die Komposttoilette schematisch dargestellt.

Im Jahr 2016 wurde das Gebiet rund um den Landhof Schöneiche erschlossen und weitere Baugrundstücke verkauft. Der Wasserverband Strausberg-Erkner entzog dem Landhof Schöneiche die Genehmigung der dezentralen, autarken ökologischen Abwasseraufbereitung mit der Begründung, dass sich die Investition in eine Kanalisation nur rentiert, wenn sich der Landhof Schöneiche auch anschließt. Über den Anschluss- und Benutzungszwang wurde diese Siedlung auch angeschlossen und die Pflanzenkläranlage still gelegt. Ungefähr die Hälfte aller Bewohner:innen tauschte in diesem Zuge auch die Komposttoiletten gegen WCs aus.

Erkenntnisse

Die im Frühjahr jährlich stattfindenden Wartungs- und Reinigungsarbeiten waren für die Bewohner:innen ein guter Anlass sich über die Funktion und Fruchtfliegenpopulation auszutauschen und Erfahrungen zu teilen. Die Pflanzenkläranlage wurde in diesem Zuge gewartet und die soziale Komponente dieser autarken, ökologischen Sanitärversorgung ist neben den finanziellen und energetischen Einsparungen nicht zu unterschätzen.

Dieses ROSS erfordert ein hohes Maß an Identifikation und ökologische Überzeugung. Dadurch, dass jede Familie ihre eigene Kompostanlage nutzt und betreibt, ist die Verantwortlichkeit klar geregelt und hygienischen Belange können kontrolliert und umgesetzt werden.

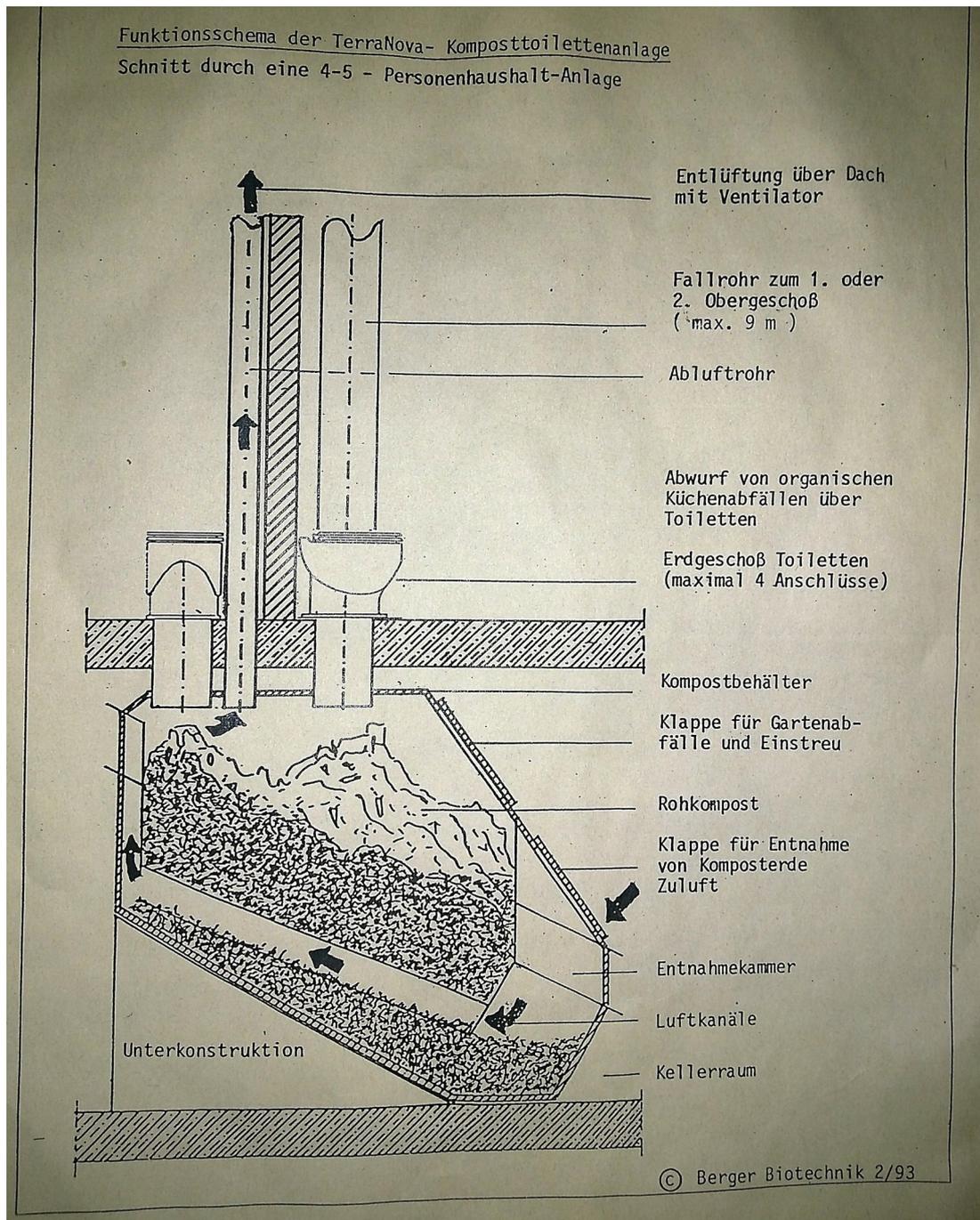


Abbildung 24: schematische Darstellung der TerraNova Komposttoilettenanlage auf dem Landhof Schöneiche, Quelle: eigenes Foto der schematischen Darstellung von Berger Biotechnik

4.1.5 Ökosiedlung Allermöhe, Hamburg

Die Ökosiedlung Allermöhe in Hamburg wurde auf Initiative der Stadt Ende der 1970er geplant und ist sehr ähnlich zu dem Landhof Schöneiche aufgebaut. In der Ökosiedlung Allermöhe stehen insgesamt 36 zweistöckige Einfamilienhäuser, die im Eigentum der jeweiligen Bewohner:innen sind (SUSANA u. a., 2009). Insgesamt leben aktuell unter 100 Einwohner:innen in der Ökosiedlung (RAUSCHNING u. a., 2023).

Sanitärkonzept

Die Fäkalien (Urin und Fäzes) werden durch ein Fallrohr in der wasserlosen Komposttoilette (Typ Clivus Multrum und Berger Terra Nova) in einem Behälter im Keller kompostiert. Hier wird darauf geachtet, dass nicht zu viel Wasser eingebracht wird und durch Einstreu der Kompost einigermaßen trocken ist. Organische Küchenabfälle werden in dem Kompost auch eingebracht. Über eine Belüftung des Kompostbehälters und damit ein Unterdruck in der Toilette, entstehen keine unangenehmen Gerüche im Bad.

Das komplette Grauwasser aus Küche, Bad und Waschmaschine wird gesammelt und in einem Emscherbrunnen vorgeklärt. Der abgesetzte Schlamm wird einmal jährlich zur kommunalen Kläranlage abgefahren. Danach wird das Grauwasser auf die vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage gepumpt und dadurch aufbereitet. Anschließend gelangt das geklärte Abwasser über einen Schönungsteich in den Annenfleet (siehe Abbildung 25) (SUSANA u. a., 2009).

Die Ökosiedlung Allermöhe ist mit der Wasserrechtlichen Erlaubnis der örtlichen Wasserbehörde vom 22.10.1992 von dem Anschlusszwang an die Kanalisation befreit, sofern die Qualität des behandelten Abwassers die erforderlichen Parameter (darunter $BSB_5 < 20\text{mg O}_2/\text{L}$ und $CSB < 80\text{mg O}_2/\text{L}$) einhält. Diese Werte werden in einer halbjährlichen Kontrolle mit einer Abbaurate von 90% weit unterschritten und das geklärte Abwasser wird in das nahegelegene Oberflächengewässer Annenfleet eingeleitet (RAUSCHNING u. a., 2023). Es existiert ein Not-Überlauf zum Abwasserkanal der Gemeinde, im Falle einer Störung der PKA (SUSANA u. a., 2009).

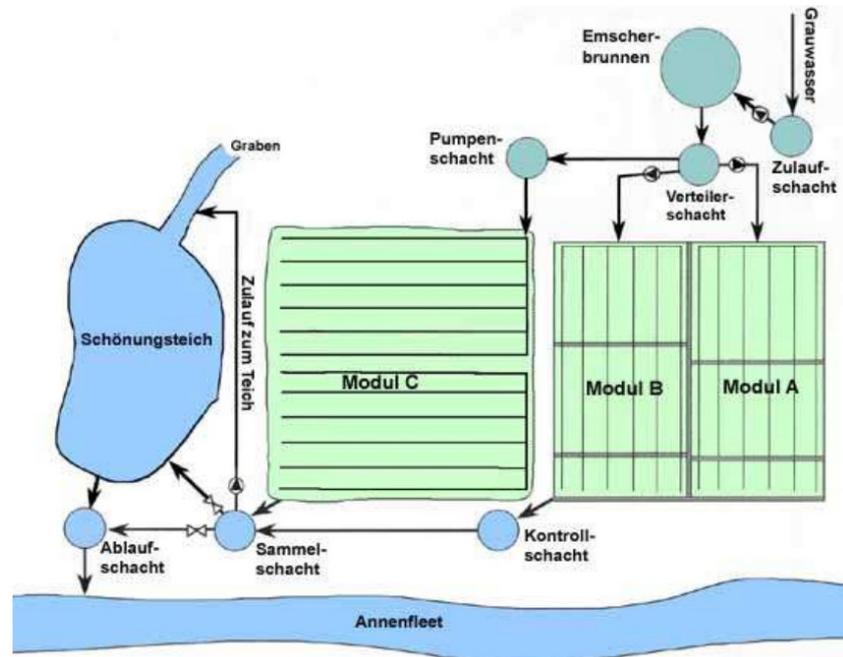


Abbildung 25: Schema der Pflanzenkläranlage für das Grauwasser in der Ökosiedlung Allermöhe, Hamburg, Quelle: (SUSANA u. a., 2009)

Die PKA wurde Modulweise mit dem Wachstum der Ökosiedlung erweitert und fasst heute eine Fläche von ca. 240 m² (SUSANA u. a., 2009). So ergibt sich ein Flächenverbrauch von unter 2,5-3 m² pro Person. Das Niederschlagswasser wird gesammelt und für das Waschen der Wäsche und die Gartenbewässerung genutzt.

Erkenntnisse

An jeden Komposter ist nur eine Nutzungseinheit angeschlossen. Das hat die Vorteile, dass Störgeräusche (wie bspw. Gespräche im Bad) nur die eigene Wohnpartei betreffen und sie zuständig für die Qualität des eigenen Komposts ist. Der regelmäßige Erfahrungsaustausch über den Kompost mit den anderen Nutzer:innen führt zu einer Optimierung und einer Effizienzsteigerung. Der fertige Kompost wird jährlich händisch im Garten ausgebracht. Dabei wird aus Sorge vor Medikamentenrückständen darauf geachtet, dass der Kompost nicht für die Nutzpflanzen genutzt wird. Die Bewohner:innen berichten darüber, dass sie zu viel Kompost für den Eigenbedarf produzieren. Einige neu-eingezogene Familien lassen den Inhalt der

Kompostbehälter aus Mangel an Bedarf, Interesse und Zeit regelmäßig zur kommunalen Kläranlage per LKW abtransportieren.

Die Wartungsarbeiten und die regelmäßigen Reinigungsgänge sind für die Bewohner:innen gemeinschaftsstiftend und sie erachten es aufgrund der ökologischen Vorteile und Energieeinsparungen als sinnvolle Notwendigkeit. Die Bewohner:innen geben ihre Erfahrungen im Rahmen von Workshops und Führungen gerne an Interessierte, auch an internationale Gäste, weiter. So konnten schon viele neue Projekte initiiert und mit den wertvollen Erkenntnissen optimiert werden.

4.2 Befragung der künftigen Mieter:innen von WSX

In den folgenden zwei Abschnitten werden die Bedürfnisse, Anforderungen und Bedenken gegenüber ROSS seitens der Mieter:innen erörtert. Ziel ist es die Akzeptanz und Bereitschaft bei der Nutzung eines angepassten ROSS zu erhöhen, um ggf. auch Wartungen oder Führungen für Interessierte zu übernehmen.

4.2.1 Workshop zu ROSS

Der interaktive Workshop diente zur Vorbereitung auf den Fragebogen und wurde anerkennend von den künftigen Mieter:innen angenommen. Die Teilnehmenden wussten um die Folgen des Klimawandels, die sinkenden Grundwasserstände, den hohen individuellen Trinkwasserverbrauch und die Eutrophierung der Oberflächengewässer, aber sie hatten wenig bis keine Kenntnis über Alternativen zur linearen Sanitärversorgung – vor allem im Hinblick auf den mehrgeschossigen Mehrparteienhausbau. Es bestand ein hohes Maß an Offenheit und Interesse gegenüber neuen Technologien, auch wenn einige Bedenken (siehe auch Auswertung der Befragung in Kapitel 4.2.2) geäußert wurden. Diese konnten in der abschließenden Diskussion teilweise entkräftet werden. Die künftigen Mieter:innen wünschen sich weitere solcher Informationsveranstaltungen und auch Exkursionen zu bestehenden ROSS. Diese Art einer anschaulichen Sensibilisierung könnte die Akzeptanz und Bereitschaft noch weiter erhöhen.

4.2.2 Befragung der Mieter:innen

Die Rahmenbedingungen für die Planung des ROSS aus Kapitel 3.3 werden durch die Bedürfnisse und Anforderungen der künftigen Mieter:innen ergänzt, welche durch einen Fragebogen (siehe Kapitel 3.2 sowie Anhang A2) ermittelt wurden. Die Ergebnisse werden im Folgenden ausgewertet und eingeordnet.

Grundsätzlich sind die künftigen Mieter:innen ROSS positiv gegenüber eingestellt. Überwiegend begründen sie die Nutzung von ROSS durch:

- Ressourcenschonung und Klimaschutz
- Energie- und Wassereinsparungen
- Nährstoffrecycling

Alle künftigen Mieter:innen sehen Einsparpotential beim Trinkwasserverbrauch (Abb. 26).

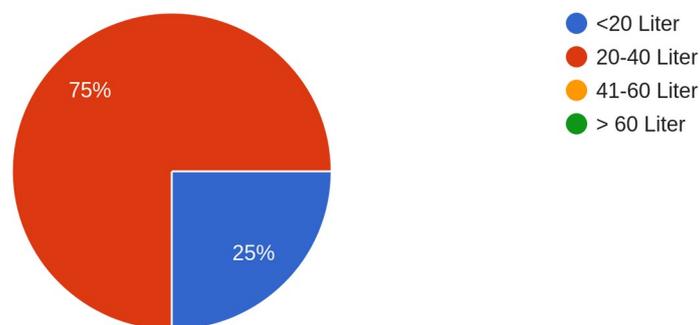


Abbildung 26: Einsparpotential von Trinkwasser der künftigen Mieter:innen, Quelle: eigene Darstellung

Die Verwendung von Betriebswasser (aufbereitetes Grauwasser), können sich die meisten für die Gartenbewässerung und die Toilettenspülung vorstellen. Bei der Nutzung von Betriebswasser für die Waschmaschine haben sie eher noch Bedenken bzw. Informationsbedarf. Betriebswasser zum Händewaschen, Duschen und Geschirrspülen können sich die wenigsten vorstellen.

Fast alle Mieter:innen können sich die Verwendung von ökologischen Düngemitteln aus bspw. Urinrecycling bei der Nahrungsmittelproduktion vorstellen (Abb. 27).

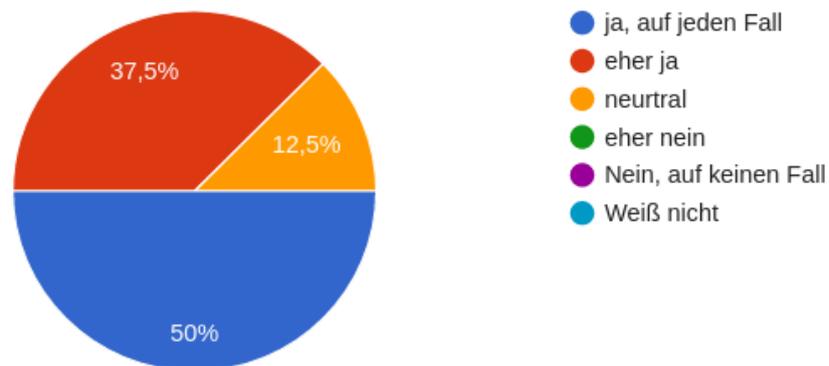


Abbildung 27: Verwendung von Düngemitteln aus Nährstoffrecycling für die Nahrungsmittelproduktion, Quelle: eigene Darstellung

Die Mieter:innen sind sogar bereit, höhere Investitionskosten für Einsparungen im Wasserverbrauch in Kauf zu nehmen (Abb. 28).

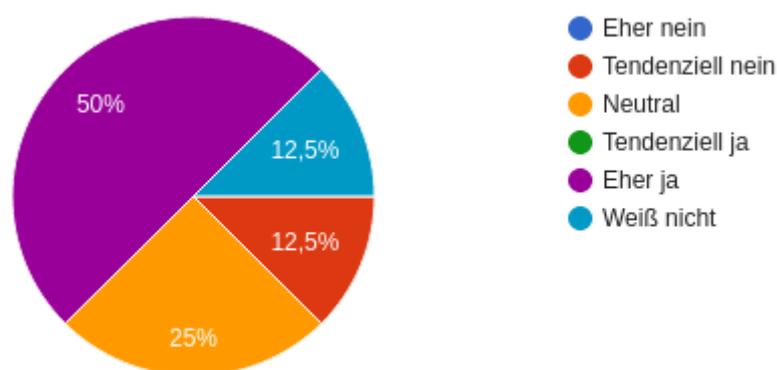


Abbildung 28: Bereitschaft zum Tragen höherer Investitionskosten zugunsten von Einsparungen im Wasserverbrauch, Quelle: eigene Darstellung

Zum Großteil wären die Mieter:innen auch bereit, das eigene ROSS als Pilotprojekt zu unterstützen und ggf. Führungen für Interessierte durchzuführen. Einige würden sogar Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben übernehmen.

Die Bedenken der Mieter:innen sind zu hohe Investitionskosten, sowie zu hoher Wartungs- und Betreuungsaufwand. Hygiene- und Komforteinbußen befürchten die Mieter:innen hingegen nicht.

Die in dem Fragebogen geäußerten Bedenken decken sich mit den Akzeptanzrisiken in der Literatur, wobei dies keine repräsentative Befragung zum Thema ROSS darstellt. Allerdings wurde deutlich, dass eine grundsätzliche Offenheit gegenüber ROSS besteht. Vor allem beim Grauwasserrecycling und der Wiederverwendung als Betriebswassers gibt es ein hohes Akzeptanzpotential. Wichtig ist den Nutzer:innen – und auch das wird in der Befragung deutlich – dass die Technik verlässlich funktioniert und es keine Komforteinbußen gibt (KERBER u. a., 2016).

4.3 Planung ROSS für Mehrgenerationenhaus WSX

In den nachfolgenden Abschnitten wird ein angepasstes ROSS für das Mehrgenerationenhaus WSX in Berlin-Friedrichshagen geplant. Dabei werden die Rahmenbedingungen aus Kapitel 3.3 und die Erkenntnisse aus den Kapiteln 4.1 und 4.2 berücksichtigt.

4.3.1 Rückschlüsse aus Analyse bestehender ROSS und Einbeziehung der Mieter:innen

Durch Besichtigungen von Bestandsprojekten und Gesprächen über ROSS mit Nutzer:innen solcher Projekte, können Bauherr:innen und Fachplaner:innen relevante Erkenntnisse für die Planung und Umsetzung von ROSS gewinnen. Überwiegend werden ROSS in Baugruppen realisiert, die auch auf andere ökologische und soziale Kriterien beim Wohnen achten. In der Regel sind sie zukunftsorientiert und offen über ihre Erfahrungen im Rahmen von Besichti-

gungen zu sprechen. So wollen sie einen Beitrag dafür leisten, dass weitere ROSS entstehen und eine Optimierung möglich ist. Dafür nehmen sie teilweise auch Komforteinbußen und Zeitaufwand in Wartung und Betrieb in Kauf.

Baugruppen als Bauherr:innen treffen Entscheidungen meist gemeinsam und brauchen dafür häufig ein wenig mehr Zeit, was in Planungsprozessen und Projektablaufplänen berücksichtigt werden sollte, bspw. durch Feedbackschleifen nach der Übergabe einer Leistungsphase. Insgesamt muss die Entscheidung für ein ROSS schon frühzeitig im Planungsprozess berücksichtigt werden, da zusätzliche Leitungen für die separate Stoffstromerfassung und größere Flächen in Haustechnikräumen vorgehalten werden müssen.

In den meisten Fällen wurden ROSS in Neubauten berücksichtigt, einige Male auch bei Sanierungsarbeiten in Bestandsgebäuden. Hier sind die Herausforderungen komplexer, da Stränge und Platz für die Haustechnik begrenzt verfügbar ist.

Die Fallrohre von Komposttoiletten verbinden die einzelnen Stockwerke miteinander. Sofern die Stockwerke einer Nutzungseinheit zugeordnet werden, müssen brandschutz- und schallschutzrechtliche Belange nur bedingt berücksichtigt werden. In mehrgeschossigen Mehrparteienhäusern liegen unterschiedliche Nutzungseinheiten häufig übereinander. Brandschutz- und schallschutzrechtliche Vorgaben müssen hier vor allem bei den großen Durchmessern der Fallrohre berücksichtigt werden. Für Kunststoffabwasserrohre der gängigen Durchmesser existieren Brandschutzmanschetten, die ein Übergreifen der Flammen im Brandfall auf andere Nutzungseinheiten verhindern. Für größere Durchmesser wie bspw. Fallrohre bei Komposttoiletten müssen sich evtl. architektonische Lösungen überlegt werden.

Für Mobilitätseingeschränkte Personen und Menschen im hohen Alter eignen sich die Komposttoiletten der Projekte Landhof Schöneiche und Ökosiedlung Allermöhe nur bedingt, da sie eine relativ hohe Wartungs- und Reinigungsintensität bedürfen.

Häufig sind Bauprojekte schon ohne ROSS so komplex, dass Wasser- und Nährstoffkreisläufe die Planenden und Bauherr:innen überfordert. Dann liegt der Fokus beim Bau auf Wohnen und Fertigstellung. Insgesamt ist es daher sinnvoll sich frühzeitig mit ROSS im geplanten Projekt auseinanderzusetzen, um etwaige Hinderungsgründe und Bedenken mittels Informa-

tionen, belastbare Kostenkalkulationen und genaue Anforderungsdefinitionen zu begegnen. Eine gute Dokumentation der Planung und des ROSS ist für eine langlebige und funktionierende Anlage essentiell.

Die Analyse der bestehenden ROSS sowie die Befragung der Mieter:innen führen zu folgenden wichtigen Erkenntnissen und Hinweisen für eine erfolgreiche Planung und Implementierung von ROSS:

- frühzeitige Berücksichtigung ROSS in der Objektplanung (möglichst in LP1, Grundlagenermittlung)
- Erfahrungen aus anderen ROSS in der Planung berücksichtigen, Exkursionen zu Beispielprojekten einplanen
- Zeit für Entscheidungsprozesse im Planungsverlauf einplanen
- frühzeitige Einbeziehung der relevanten Behörden (insb. Wasserbehörde) und Klären der rechtlichen Rahmenbedingungen
- frühzeitige Recherche geeigneter Förderprogramme, um höhere Investitionskosten zu kompensieren, Berücksichtigung der Einsparungen im laufendem Betrieb
- Akzeptanz für das ROSS und für die Besonderheiten der Nutzung werden über Einbeziehung der Nutzer:innen und Wissenstransfer erhöht
- je geringer die Identifikation mit dem ROSS, desto größer sollte die Robustheit und das selbständige Funktionieren sein → kein Komfortverlust
- Wartungs- und Reinigungsarbeiten in der Planung berücksichtigen
- gute Dokumentation der Anlage; auch notwendig, falls die Nutzer:innen über die Betriebsphase wechseln
- Änderungen in den Nutzungsanforderungen (bspw. Barrierefreiheit, Nutzung von ROSS im hohen Alter) in der Planung berücksichtigen
- bautechnische Anforderungen (Schallschutz, Brandschutz) im mehrgeschossigen Mehrparteienwohnhäusern bei der Planung berücksichtigen

4.3.2 Stoffstromermittlung der Abwasserfrachten

Aufgrund der einschränkenden Rahmenbedingungen beim Planungsbeispiel in Kapitel 3.3 und der Ergebnisse aus den Befragungen der Mieter:innen in Kapitel 4.2.2, wird sich bei der Ermittlung der Stoffstrommengen auf die nutzbaren Stoffströme beschränkt: Urin und Grauwasser.

Grauwasseranfall:

Die DWA-M 277 unterscheidet beim Grauwasser in zwei Arten: dem schwach belasteten Grauwasser (Typ A) und dem stark belasteten Grauwasser (Typ B) (DWA, 2017). Dem Grauwasser des Typs A können die Abwässer aus Dusche, Badewanne und Waschbecken zugeordnet werden. Das Grauwasser aus der Waschmaschine hat eine mittelmäßige organische Belastung und wird eher dem Typ B1 zugeordnet. Einige Grauwasseranlagen können auch das Grauwasser aus der Waschmaschine aufbereiten (DBU u. NOLDE, 2021), biologisch-abbaubare Waschmittel und der Verzicht auf Weichspüler helfen dabei. Da es sich beim Grauwasser aus der Waschmaschine mit 15,2 L/P/d (BDEW, 2022) auch um eine relevante Abwassermenge handelt, die gegenüber den anderen Abwässern auch ein hohes Wärmege-winnungspotential hat, wird dieser Abwasserstrom des Typs B1 (DWA, 2017) auch bei der Auslegung der Grauwasseranlage berücksichtigt. Das Grauwasser aus der Küche (Spülbecken, Geschirrspülmaschine), zählt aufgrund der Fette, der Nährstoffe, den pathogenen Keimen und der Reinigungsmittel zu den stark belasteten Grauwasser des Typs B2 (DWA, 2017).

Die Abbildung 2 in Kapitel 2.1.1 in Kombination mit der Tabelle 2 zeigt die Aufschlüsselung des Trinkwasserverbrauchs im Haushalt. Demnach fallen in der Körperpflege (Dusche, Badewanne, Handwaschbecken) und dem Wäsche waschen insgesamt 48% des Abwassers und damit 61 Liter pro Person und Tag an.

Aus der durchschnittlich anfallenden Menge an Grauwasser mit 61 Litern pro Person und Tag entsprechend Tabelle 2 multipliziert mit den 50 durchschnittlich anwesenden Personen entsprechend Tabelle 3 ergibt sich für WSX eine gesamte durchschnittlich anfallende **Menge an Grauwasser in Höhe von 3.048 Litern**, bzw. 3,048 m³ pro Tag.

Tabelle 2: Trinkwasserverwendung im Haushalt 2021, Quelle: (BDEW, 2022)

Tätigkeit	Menge in %	Volumen in Liter
Körperpflege (Baden, Duschen)	36 %	45,7
Toilettenspülung	27 %	34,3
Wäschewaschen	12 %	15,2
Geschirrspülen	6 %	7,6
Raumreinigung, Autopflege, Garten	6 %	7,6
Essen, Trinken	4 %	5,1
Anteil Kleingewerbe	9 %	11,4
Summe	100 %	127
Summe in WSX nutzbare Grauwassermenge pro Person → Körperpflege + Wäsche	48 %	61,0

Tabelle 3: Ermittlung der in WSX lebenden Personen als Bemessungsgrundlage

Wohneinheiten (WE)	Anzahl der WE	Durchschnittliche Anzahl Personen pro WE	Anzahl Personen Gesamt
4-Zimmer-Whg.	7	3,5	24,5
3-Zimmer-Whg.	2	2	4
2-Zimmer-Whg.	1	2	2
1,5-Zimmer-Whg.	7	1,5	10,5
Besucher:innen			9
Summe	17		50

Menge an Urin

Da in dem Beispielprojekt WSX auch ein Kiez-Café (Veranstaltungsraum) und ein Gemeinschaftsbüro ist, in dem auch Nachbar:innen die Toilette nutzen, produzieren mehr Menschen Urin, als dort eigentlich wohnen. Bei den Bewohner:innen wird davon ausgegangen, dass sie 75% zu Hause die Toilette nutzen (Heimfaktor 0,75). Das Gemeinschaftsbüro hat 10 Arbeitsplätze. Hier wird davon ausgegangen, dass die Nutzer:innen zu 25% im Büro auf Toilette gehen. Im Veranstaltungsraum findet jeden 2. Tag eine Veranstaltung mit 20 Personen statt, die 25% ihres täglichen Urins in den Toiletten des Veranstaltungsraumes entleeren. In der DWA-A 272 wird eine tägliche Urinmenge von 1,5 Litern pro Person angegeben (DWA, 2014). Dadurch ergibt sich insgesamt eine **tägliche Urinmenge von 63,75 Litern**, vgl. Tabelle 4.

Tabelle 4: Berechnung der anfallenden Urinmenge

	Anzahl Personen	Heimfaktor	Menge pro Person [l/P/d]	Menge Urin [l/d]
Mieter:innen und Gäste	50	0,75	1,5	56,25
Nutzer:innen Co-Working	10	0,25	1,5	3,75
Besucher:innen Kiez-Café	20	0,125	1,5	3,75
Gesamt-Urinmenge				63,75

Tabelle 5: Berechnung Betriebswasserbedarf

	Anzahl Personen	Menge [l/P/d]	Heimfaktor	Gesamt [l/d]
Toiletten Mieter:innen	50	34,3	0,75	1.286
Waschmaschinen	50	15,2	1	762
Garten	50	7,6	1	381
Toilette Co-Working	10	34,3	0,25	86
Toilette Kiez-Café	20	34,3	0,125	86
Gesamtmenge				2.600

Betriebswasserbedarf

Um den täglichen Bedarf an Betriebswasser zu ermitteln, werden unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Trinkwasserverwendung im Haushalt (Abbildung 2) folgende Annahmen getroffen:

- Die Mieter:innen nutzen zu 75% die Toilette zu Hause (Heimfaktor 0,75).
- Die Wäsche wird komplett mit Betriebswasser gespeist und alle Mieter:innen waschen ihre Wäsche komplett zu Hause (Heimfaktor 1).
- Die Gartenbewässerung wird mittels Betriebswasser sichergestellt und sie wird mit 7,6 L/EW/d angenommen.
- Jeden Tag arbeiten 10 Menschen im Gemeinschaftsbüro. Die Nutzer:innen nutzen für 25% ihrer täglichen Toilettengänge die Toilette im Büro (Faktor 0,25).
- Alle 2 Tage findet eine Veranstaltung mit 20 Personen im Kiez-Café statt. Die Besucher:innen trinken viel und nutzen die Toilette für 25% ihrer täglichen Toilettengänge (Faktor 0,125)

Daraus errechnet sich gemäß Tabelle 5 ein täglicher **Betriebswasserbedarf von 2.600 Litern**. Durch das Grauwasserrecycling entsteht eine **Betriebswassermenge von 3.048 Litern pro Tag**. Somit kann der Betriebswasserbedarf vollständig durch die Grauwasseraufbereitung gedeckt werden.

Niederschlagsentwässerung

Die Versickerung muss aufgrund der Wasserschutzzone IIIA durch die Wasserbehörde genehmigt werden. Eine Versickerung durch die belebte Bodenzone ist zwingend erforderlich (siehe Kapitel 3.3). Im Rahmen einer Baugrunduntersuchung auf dem zu bebauendem Grundstück wurden im Mai 2022 mittels Bohrungen Bodenprofile erstellt und ein geotechnischer Bericht angefertigt (RÜTZ, 2022). Dieser gibt u.a. Aufschluss über die verschiedenen Grundwasserstände und die Versickerungsfähigkeit des Bodens. Es wurde ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 4,0 \times 10^{-05} \text{ m/s}$ ermittelt.

Für eine erste Dimensionierung der Regenwasserversickerung, wird nur die überbaute Fläche des Grundstücks (= Dachfläche) herangezogen. Somit ergibt sich eine undurchlässige Fläche von $A_u = 327,5 \text{ m}^2$.

Mit KOSTRA-DWD-2020 und einem 5-jährigen Regen hat das beauftragte Planungsbüro nach dem Regelwerk DWA-A 138 folgende Möglichkeiten der Versickerung ermittelt (PECHER&PARTNER, 2023):

Tabelle 6: benötigte Flächen für unterschiedliche Arten der Niederschlagsversickerung (PECHER&PARTNER, 2023)

	Fläche
Flächenversickerung:	5.567,5 m ²
Muldenversickerung:	28 m ²
Mulden-Rigolen-Versickerung:	10 m ²

In Tabelle 7 wird durch das beauftragte Ingenieurbüro ein erforderliches Muldenvolumen von 8,3 m³ ermittelt. Mit einer Einstauhöhe von 30 cm kann damit die Fläche von 28 m² für eine reine Muldenversickerung berechnet werden.

Tabelle 7: Bemessung der Muldenversickerung nach DWA-A 138 durch zuständiges Planungsbüro, Quelle: (PECHER&PARTNER, 2023)

Einzugsgebiet $A_{E,k}$ =	327,50	m ²			
undurchlässige Fläche $A_{u,A138}$ =	327,50	m ²	hydraulische Belastung =	1 : 12	-
angenommene Muldenfläche =	28	m ²			
Durchlässigkeitsbeiwert Untergrund k_f =	4,0E-05	m/s	maximale Entleerungszeit t_E =	4,1	h
Versickerungsrate q_s =	17,1	l/(s ha)			
Versickerungsleistung Q_s =	0,6	l/s			
Zuschlagfaktor f_z =	1,20	-			
Überschreitungshäufigkeit n =	0,20	1/a			

Dauerstufe		Nieder-schlagshöhe	Regenspende	Einstauhöhe Mulde	spezifisches Speichervolumen	erforderliches Mulden-volumen	Bemerkung
D		h_N	$r_{D,n}$	Z_M	$V_{s,(Au+As)}$	V_M	
[min]	[h]	[mm]	[l/(s· ha)]	[cm]	[m ³ /ha]	[m ³]	[-]
5	-	11,1	370,0	16	128	4,5	
10	-	14,8	246,7	21	166	5,9	
15	-	17,0	188,9	24	187	6,7	
20	-	18,6	155,0	25	201	7,1	
30	-	21,0	116,7	28	218	7,8	
45	-	23,3	86,3	29	229	8,1	
60	1,0	25,1	69,7	30	233	8,3	Vmax
90	1,5	27,7	51,3	29	230	8,2	
120	2,0	29,7	41,3	28	220	7,8	
180	3,0	32,6	30,2	24	187	6,7	
240	4,0	34,8	24,2	18	145	5,2	
360	6,0	38,1	17,6	6	49	1,7	
480	8,0	41,6	14,4	0	0	0,0	
720	12,0	44,4	10,3	0	0	0,0	
1080	18,0	48,5	7,5	0	0	0,0	
1440	24,0	51,7	6,0	0	0	0,0	

4.3.3 Diskussion: Möglichkeiten für ROSS im Planungsbeispiel

Die Auswertung von sowohl der Literatur, als auch von den besuchten Beispielprojekten in Kapitel 4.1 zeigt, dass die Zufriedenheit und die Akzeptanz der Nutzer:innen eine zentrale Rolle für den funktionierenden Betrieb und die Verbreitung von ROSS spielen. Daher wurden die Bedürfnisse und Bedenken der künftigen Nutzer:innen bei der Planung berücksichtigt. Nachfolgend werden Komponenten und Möglichkeiten des ROSS im Planungsbeispiel vorgestellt und diskutiert.

Grauwasserrecycling

Da in dem Beispielprojekt WSX auch ein Kiez-Café (Veranstaltungsraum) und ein Gemeinschaftsbüro ist, in dem auch Besucher:innen die Toilette nutzen, wird hier zusätzliches Betriebswasser benötigt. In diesen sanitären Einrichtungen fallen keine Nennenswerten Grauwasserströme an, sodass in diesen Räumen auch keine separate Grauwasserleitung gelegt werden muss. Im Abschnitt 4.3.2 wurden die anfallenden Grauwasserfrachten und notwendigen Betriebswassermengen ermittelt.

Empfehlenswert ist die Verwendung einer MBR-Grauwasseranlage beschrieben in Abschnitt 2.2.3. Die Grauwasseranlage GWM Typ 3 der Firma DEHOUST (Datenblatt im Anhang A5) ist eine kompakte Anlage, die für das Projektbeispiel alle Anforderungen erfüllt. Nach Rücksprache mit unterschiedlichen Planer:innen von Grauwasseranlagen, können die Anlagen von DEHOUST empfohlen werden. Sie gelten als robust, nutzer:innenfreundlich und wartungsarm, da sie sich u.a. automatisiert rückspülen. Die Firma DEHOUST existiert schon seit über 60 Jahren und hat mehrere Niederlassungen, sodass eine langfristige Verfügbarkeit von Ersatzteilen gegeben ist. Für diese Anlage muss ein Platzbedarf von mind. 12 m² eingeplant werden. Alternativ können auch fertige Anlagen der Firma GreenLife GmbH verwendet werden. Die Firma Nolde – innovative Wasserkonzepte GmbH aus Berlin plant seit über 20 Jahren individuelle Grauwasseranlagen, führt Wartungen und Systemüberwachungen durch. Durch diese drei Firmen könnte sich ein Kostenvoranschlag eingeholt werden.

Es wird empfohlen, den Trübungswert des Betriebswassers (auch in Abschnitt 2.2.3 definiert) entgegen den Anforderungen nach fbr in Tabelle 1, auf unter 1 NTU (Grenzwert für Trinkwasser) zu begrenzen. Dafür kann es erforderlich werden, einen zusätzlichen nachgeschalteten Filter zu installieren. Somit werden Ablagerungen und Verkeimungen im Betriebswassernetz zusätzlich vorgebeugt. Durch eine nachgeschaltete UV-Desinfektion wird das Betriebswasser zusätzlich behandelt und kann so bedenkenlos ohne Komfortverlust und hygienisches Risiko für Zwecke eingesetzt werden, für die gesetzlich keine Trinkwasserqualität vorgeschrieben ist (bspw. Toilettenspülung, Wäschewaschen und Bewässerung).

Urinrecycling

Da Urin das höchste Nährstoff-Recycling-Potential darstellt (siehe Abschnitt 2.2.3), ist es empfehlenswert mit einer Urin-Recyclinganlage zu beginnen, um den Nährstoffkreislauf zu schließen. Dafür muss neben dem zusätzlichen Grauwasser-Abflussrohr auch ein Urin-Abflussrohr bei der Planung berücksichtigt werden. Zur Aufbereitung des gesammelten Urins zu Recyclingdünger gibt es verschiedene Verfahren (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Nach Rücksprache mit Bastian Vetter (Geschäftsführer Vuna GmbH) und Besuch der Urin-Recyclinganlage bei der EAWAG in Zürich am 06.04.2023, funktionieren die Anlagen erst ab einer Urinmenge von 500 Litern/Tag, da in Europa keine kleineren Verdampfer erhältlich sind (siehe Kapitel 2.2.3). Aktuell arbeitet Vuna aber an Anlagen, die auch in Mehrfamilienhäusern installiert und mit einer geringeren Urinfracht auskommen. Damit diese Anlage in Zukunft nachgerüstet werden kann, muss nach Rücksprache mit Vuna eine Fläche von ca. 15-20 m² vorgehalten werden. Die Menge des in dem Beispielprojekts WSX anfallenden Urin-Düngers, übersteigt den Eigenbedarf bei weitem. Aus diesem Grund sollte ein Vertrieb des Düngers antizipiert werden, der dann auch die Kosten der Urin-Recyclinganlage refinanzieren könnte. Dafür muss zum einen eine geeignete Logistik aufgebaut werden und zum anderen muss noch eine Zulassung des Urin-Recyclingdüngers nach Schweizer Vorbild vorliegen. An der Zulassung des Düngers arbeitet das Forschungsprojekt zirkulierBAR (siehe Kapitel 5.3).

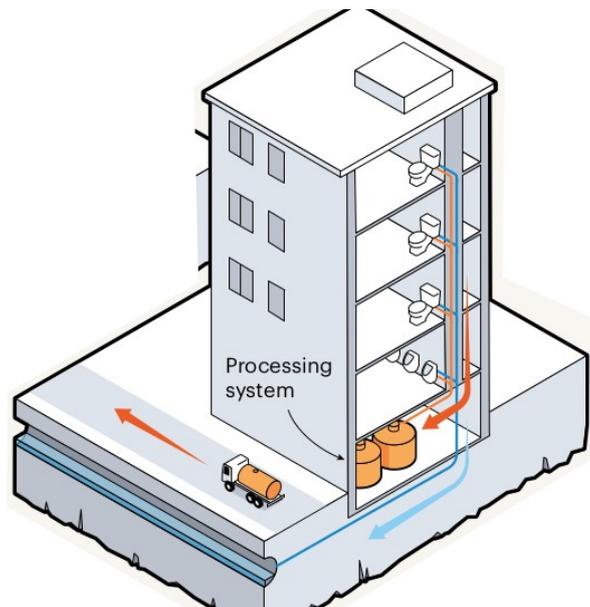


Abbildung 29: Mehrgeschossiger Hausbau mit Urinabscheidung und kompaktem Erschließungsstrang, Quelle: (WALD, 2022)

Eine Alternative zur hauseigenen Urin-Recyclingdüngerproduktion ist der Transport des Urins in eine zentrale Urin-Recyclinganlage (bspw. zirkulierBAR in Eberswalde). Auf Abbildung 29 ist die zentrale Sammlung des Urins im mehrgeschossigen Hausbau durch eine separate Urin-Abscheidung in einem zentralen Strang dargestellt. Dies hätte die folgenden Vorteile:

- Zeitnahe Umsetzung der Produktion von Urin-Recyclingdünger, da die Forschungsanlage heute schon in Betrieb ist.
- Ressourcenschonung: Weniger Technikbedarf durch geringere Anzahl von Urin-Recyclinganlagen.
- Logistik: In der Regel benötigen die Mehrfamilienhäuser der Stadt nicht so viel Recyclingdünger. So könnte sich der Vertrieb des Düngers effektiver und gezielter organisieren lassen.
- Finanzierung: Dadurch, dass keine eigene Urin-Recyclinganlage implementiert werden muss, sind niedrigere Investitionskosten zu erwarten.

Perspektivisch könnten in solchen „Nährstoffhubs“¹ (wie bspw. zirkulierBAR) mehrere Häuser ihren Urin zu einer lokalen Urin-Recyclinganlage bringen und dort zu Dünger aufbereiten lassen. Solche „Nährstoffhubs“ könnten am Stadtrand etabliert werden, wo sie den Urin-Recyclingdünger lokal an die Landwirt:innen im Umland abgeben können. Diese wiederum produzieren die Nahrungsmittel für die Menschen in der Stadt und so schließt sich der Nährstoffkreis, welcher auch in Abbildung 5 dargestellt ist.

Sofern eine Lieferung des Urins an einen „Nährstoffhub“ oder das Forschungsprojekt zirkulierBAR eingeplant werden sollte, ist eine Nitrifikation und Stabilisierung des Urins im Haus-technikraum des Fallbeispiels WSX ratsam. Eine Belüftungsanlage steht für die Grauwasseranlage ohnehin zur Verfügung und dadurch kann eine unangenehme Geruchsentwicklung durch Ammoniakgase entgegengewirkt werden. Neben einem zusätzlichen Tank ist sonst keine weitere Technik notwendig.

In einem Telefonat mit Carsten Beneker, technischer Mitarbeiter im Forschungsprojekt zirkulierBAR, der bei den Kreiswerken Barnim für Planung und Betrieb einer Urinaufbereitungsanlage zuständig ist, hat er den zeitlichen Horizont des Projekts skizziert: Derzeit wird eine Forschungsanlage in Kooperation mit Vuna in Eberswalde zum Urin-Recycling für 500 Liter Urin am Tag aufgebaut (Stand März 2023). Das Forschungsprojekt hat eine Projektlaufzeit bis Ende 2024. Eine Verlängerung wird angestrebt, sofern die Anlage bis dahin nicht in den Regelbetrieb der Kreiswerke Barnim überführt worden ist. Geplante Baufertigstellung des Beispielprojektes WSX ist August 2025. Eine Alternative zum Urin-Recycling im Fallbeispiel, ist die Sammlung des Urins im Technikraum in Tanks. Mittels LKW Absaugwagen oder durch Transport der Tanks, könnte der Urin in die Anlage nach Eberswalde, entweder zur Forschung oder in den Regelbetrieb, gebracht werden. Pro Monat fallen knapp 2 m³ Urin an, die transportiert werden müssten. Die Größe der Vorrattanks müsste an den transportierenden LKW angepasst werden. Eine verlässliche Zusage, dass Urin ab August 2025 nach Eberswalde transportiert werden kann, gibt es aufgrund der genannten Unwägbarkeiten seitens der Kreiswerke Barnim noch nicht.

1 Die Vision eines „Nährstoffhubs“ am Stadtrand mit einer Nitrifikation des Urins zur Vorbehandlung und anschließendem Transport, wurde mit der Betreuerin Dr. Ariane Krause im Gespräch entwickelt.

Da sowohl das Urin-Recycling im Fallbeispiel selber, als auch der Abtransport des Urins noch nicht eingeplant werden kann, ist es empfehlenswert den anfallenden Urin über das Schwarzwasser zu entsorgen und das Leitungssystem derart vorzubereiten, dass eine nachträgliche Implementierung ohne großen Aufwand möglich ist. Dafür muss eine Fläche von 15-20 m² in den Technikräumen vorgehalten werden. Der Urin kann über eine Spültoilette direkt an der Quelle in die Schwarzwasserleitung eingeleitet werden. Für eine nachträgliche Trennung der Stoffströme muss dann auch das WC ausgetauscht werden. Das hätte den Vorteil, dass günstigere WCs eingebaut werden können und das Urin-Abwasserrohr vorerst komplett leer bleibt, wodurch eine Abnutzung vermieden wird. Der Nachteil wäre, dass zusätzliche Kosten durch den Einbau neuer Trenn-WCs entstünden.

Wärmerückgewinnung

Der leicht verschmutzte Grauwasserstrom hat eine Durchschnittstemperatur von ungefähr 31°C und damit die höchste Temperatur aller Abwasserströme (DBU u. NOLDE, 2016). Erwin Nolde ermittelt in seinem DBU Abschlussbericht ein Wärmepotential von 1.754 Wh/EW/d bei einem Grauwasseranfall von 108 L/P/d (DBU u. NOLDE, 2016). Durch lineare Interpolation können bei einer nutzbaren Grauwassermenge von 61 Litern pro Person am Tag in diesem Fallbeispiel 990,7 Wh/P/d an Wärmeenergie genutzt werden. Dadurch, dass 50 Personen in dem Haus wohnen, kann jährlich eine Wärmeenergie von 18.080 kWh aus dem Grauwasser rückgewonnen werden, die dann nicht anderweitig erzeugt werden muss. Eine andere Energiequelle wie bspw. eine Sole-Wärmepumpe könnte entsprechend kleiner dimensioniert werden.

Der DBU-Generalsekretär Alexander Bonde bestätigt auch, dass die Wärmelecks in der Gebäudetechnik geschlossen werden müssen, denn über das häusliche Abwasser entweicht in der Regel mehr Energie, als über die Außenhülle eines gut gedämmten Mehrfamilienhauses (JONGEBLOED, 2022).

Niederschlagsentwässerung

Das Baugrundstück hat eine unbebaute Außenfläche von ca. 570 m². Im ersten Planungsschritt wird davon ausgegangen, dass es im Außenbereich des geplanten Gebäudes keine versiegelten Flächen gibt. Allerdings können durchlässig befestigte Oberflächen wie bspw. Rasengittersteine oder sog. Öko-Pflaster oder auch eine wassergebundene Wegedecke nicht als Anlagen zur Flächenversickerung hinzugezogen werden. Solche durchlässigen Flächenbefestigungen unterliegen einem Alterungsprozess und die Poren und Fugen setzen sich nach einer gewissen Zeit mit mineralischen und organischen Feinanteilen zu (DWA, 2005). Die Abflussbeiwerte sind deutlich geringer als bei versiegelten Flächen, dennoch müssen diese Flächen für die Dimensionierung einer Regenwasserversickerung berücksichtigt werden. Diese befestigten Außenflächen werden nach erfolgter Freiflächenplanung auch an die Mulden angeschlossen, weshalb diese größer ausfallen werden.

Empfehlenswert und für die Dimensionierung der Mulden relevant ist ein Retentions- und Gründach. Dadurch werden Spitzenlasten in Starkregenereignissen zurückgehalten und der Abflussbeiwert gemäß DWA-A 138 ist deutlich geringer. Die Mulden können dementsprechend kleiner ausgelegt werden, bzw. gleicht sich die Flächenreduzierung mit dem Anschluss der befestigten Außenanlagen wieder aus. Weitere Vorteile von Retentions- und Gründächern sind:

- höhere Artenvielfalt und Biodiversität durch das Schaffen von Rückzugsflächen und Lebensraum für Pflanzen und Tiere
- Kühlungseffekte durch Verdunstung für das Quartier und die dem Dach installierte Solaranlage, wodurch höhere Wirkungsgrade erzielt werden (vgl. Abb. 30)
- gute Schadstofffiltration gem. FLL Dachbegrünungsrichtlinie 2018 (OPTIGRÜN, 2022)
- Finanzielle Förderung, bspw. mit Programm GründachPLUS (SENUMVK, 2023)

Unter Berücksichtigung der Größe der Außenfläche und der Bemessung der Regenwasserversickerung unter Kapitel 4.3.2 wird dem Projektbeispiel eine reine Muldenversickerung mit einer Fläche von ca. 28 m² empfohlen. Ein kombiniertes Mulden-Rigolen-System hat zwar einen geringeren Platzbedarf, aber der notwendige Platz in den Außenanlagen ist verfügbar

und so müssen nicht zusätzliche Kunststoff-Rigolen im Erdreich verbaut werden, welche weitere Erdbaumaßnahmen und die zusätzliche Entsorgung von Boden mit sich bringt. Die Kosten können so reduziert werden.

In der Anlage A3 ist eine Beispielanordnung der Mulden durch das für die Freianlagenplanung beauftragte Ingenieurbüro im Rahmen der Vorentwurfsplanung vorgeschlagen.

Dadurch, dass ein Teil des geplanten Gebäudes nach Auswertung der Datensätze der Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verkehr und Klimaschutz unterhalb des Bemessungswasserstandes bei 34,5 m über NHN liegt (ca. 2,28 m unter GOK) (RÜTZ, 2022), wird das Kellergeschoss von außen mit einer wasserdruckhaltenden Abdichtung versehen. Insofern ist der Abstand zwischen Gebäude und Versickerungsmulde nach DWA-A 138 unkritisch (DWA, 2005).

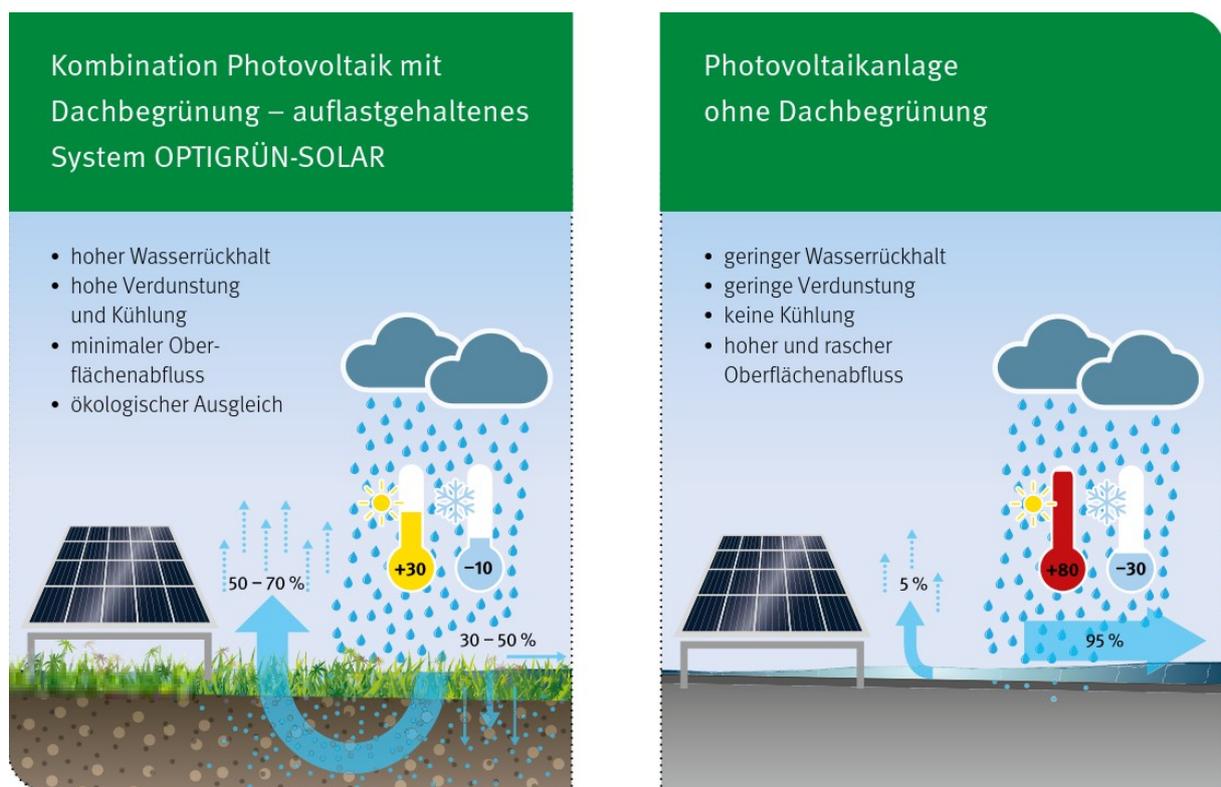


Abbildung 30: Kombination von Photovoltaik-Anlagen mit Dachbegrünung im Vergleich zu einer PV-Anlage ohne Dachbegrünung, Quelle: (OPTIGRÜN, 2022)

4.3.4 Auswertung der Planung mittels SAmPSONS2

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit SAmPSONS2 die folgenden drei Varianten simuliert und verglichen, um die eigenen Ergebnisse zu validieren und weitere Informationen zu generieren. Sie sind alle im Anhang A4 zu finden.

- Variante 1: Planungsbeispiel WSX mit konventionellem Sanitärsystem
- Variante 2: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage und Wärmerückgewinnung
- Variante 3: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage, Wärmerückgewinnung und Urin-Recyclinganlage

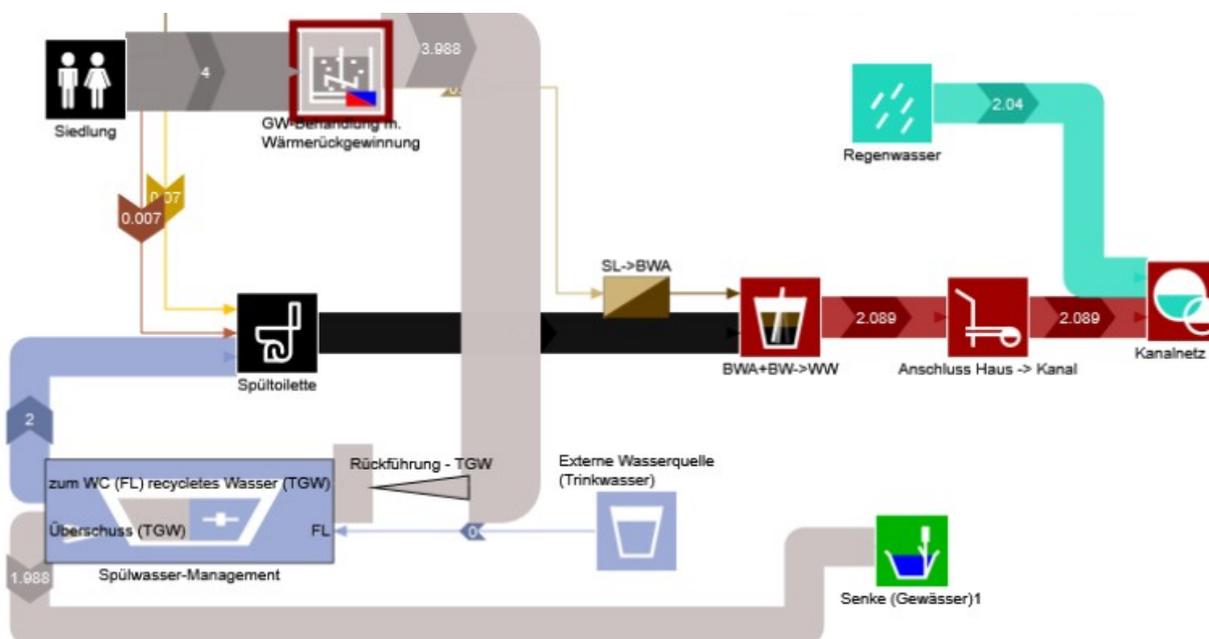


Abbildung 31: Darstellung der Abwasserfrachten des ROSS der Variante 2 bis zur Übergabe an das Kanalnetz, eigene Darstellung mittels SAmPSONS2

In SAmPSONS2 können die verschiedenen Grauwasserbelastungen (Typ A1/A2/B1/B2) nicht berücksichtigt werden. In der Simulation wird davon ausgegangen, dass alles, was nicht in der Toilette landet, als Grauwasser recycelt werden kann. Dies wird in der Regel nicht empfohlen, weil es erstens aufwendiger ist stark belastetes Grauwasser aus der Küche zu klären und zweitens häufig nicht so viel Betriebswasser im Haus benötigt wird.

Das nicht benötigte Betriebswasser könnte im Garten genutzt werden oder in eine Versickerung eingeleitet werden. Allerdings ist eine behördliche Genehmigung für dieses Vorgehen schwierig (siehe Kapitel 4.4).

Eine ortsnahe Regenwasserversickerung über ein Muldensystem, wie in dem Planungsbeispiel angedacht, kann mittels SAmPSONS2 nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird mit der Simulation der Abwasserfrachten die Entsorgung des Niederschlagswassers über die Trennkanalisation berücksichtigt.

Die Urin-Recyclinganlage von Vuna funktioniert erst ab einer Fracht von 500 Litern pro Tag (vgl. Kapitel 2.2.3). Aus diesem Grund kann der Einfluss auf Abwasserfrachten und die CO₂-Einsparungen durch eine Urin-Recyclinganlage mittels SAmPSONS2 nicht berücksichtigt werden. Die Variante 3 wird daher nur schematisch im Anhang A4 dargestellt, da die Abwasserfrachten nicht ermittelt werden können.

Der Eintrag in das Sanitärsystem des Planungsbeispiels und der notwendige Betriebswasserbedarf können durch den Veranstaltungsraum und das Gemeinschaftsbüro in SAmPSONS2 nicht optimal dargestellt werden. Dadurch, dass diese Eingangswerte in allen Variantenvergleichen gleich falsch sind, kann dennoch eine qualitative Bewertung der unterschiedlichen Sanitärsysteme im Planungsbeispiel erfolgen.

Durch eine Grauwasseranlage werden täglich 2-4 m³ weniger Schmutzwasser zur Kläranlage geleitet – je nachdem, ob das für die Toilettenspülung nicht notwendige Betriebswasser auf dem Grundstück versickert werden darf oder nicht. Dadurch müssen täglich ein bis zwei Drittel weniger Schmutzwasser aus WSX in der Kläranlage aufbereitet werden und die Verdünnung des Abwassers ist geringer.

Mittels SAmPSONS2 ergeben sich folgende Treibhausgasemissionen durch den Betrieb der zwei Varianten (konventionell gegenüber Grauwasseranlage). Die durch den Bau der Infrastruktur emittierten Treibhausgase sind bei beiden Varianten identisch, daher wird sich an dieser Stelle auf den Betrieb fokussiert.

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Treibhausgasemissionen im Projekt WSX

	Variante 1, konventionell	Variante 2, mit GW-Anlage
Abwassererfassung	335,3 kg CO ₂ -eq/a	36,8 kg CO ₂ -eq/a
Abwasserbehandlung	1.577,9 kg CO ₂ -eq/a	-7,4 kg CO ₂ -eq/a
Schlammbehandlung	1.449,8 kg CO ₂ -eq/a	995,7 kg CO ₂ -eq/a
Transport	376,3 kg CO ₂ -eq/a	376,3 kg CO ₂ -eq/a
Senken	2.674,3 kg CO ₂ -eq/a	2.674,3 kg CO ₂ -eq/a
Summe	6.413,6 kg CO₂-eq/a	4.075,7 kg CO₂-eq/a

Durch die geringere Abwassermenge der Variante 2 mit Grauwasseranlage und Wärmerückgewinnung, können bei der Abwasserbehandlung durch Wärmerückgewinnung und thermischer Verwertung des Klärschlammes in der Kläranlage (Faulung, Biogas) sogar positive Klimateffekte erzielt werden.

Insgesamt können durch die Verwendung einer Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung bei diesem Planungsbeispiel knapp 2,5 t CO₂ pro Jahr gegenüber des konventionellen Sanitärsystems eingespart werden. In der Realität wird es vermutlich noch etwas mehr sein, da die dezentrale Niederschlagsversickerung und das Urin-Recycling noch nicht berücksichtigt sind.

4.3.5 Betrachtung von Kosten und Wirtschaftlichkeit

Für ein zweites Leitungsnetz, welches Schwarz- und Grauwasser über die nächsten 50 Jahre getrennt erfasst, können mit Mehrkosten von ca. 500,00 € pro Wohneinheit gerechnet werden (DBU u. NOLDE, 2016). Wenn in diesem Fallbeispiel mit drei Abwasserleitungen (Schwarz-, Gelb- und Grauwasser) geplant wird, kommen dadurch Mehrkosten von ca. 1.000 Euro pro Wohneinheit auf die Bauherrin hinzu. Bei 17 Wohneinheiten also 17.000 Euro.

Für eine Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung können Erfahrungswerte von 450 Euro pro angeschlossener Person angerechnet werden (DBU u. NOLDE, 2021). Da diese Kosten in dem DBU-Beispielprojekt von Erwin Nolde allerdings mit 123 angeschlossenen Bewohner:innen ermittelt wurden und dadurch positive Skalierungseffekte eintreten, wird in dem Planungsbeispiel WSX mit 50 angeschlossenen Personen, mit 500 € pro angeschlossener Person gerechnet. Dadurch ergeben sich Kosten für die Grauwasserrecyclinganlage mit Wärmerückgewinnung in Höhe von 25.000 Euro. Das Planungstool SAMPSONS2 verifiziert in seinen Datenblättern annähernd diese Werte und gibt für eine Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung eine Investitionssumme von 18.000 Euro an (SAMPSONS2, 2020). Die Instandhaltungskosten werden bei der Grauwasseranlage mit 2% jährlich der Investitionskosten angegeben – 500 Euro pro Jahr bei der Anlagengröße in diesem Planungsbeispiel. Die Lebensdauer einer Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung wird mit 30 Jahren angegeben (SAMPSONS2, 2020). Ob der Anschluss und der Aufbau der Grauwasseraufbereitungsanlage mit Wärmerückgewinnung in den Haustechnikräumen schon in der Investitionssumme enthalten ist, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund werden in den Investitionskosten zwei Techniker:innen für drei Tage zusätzlich berücksichtigt, die auch ein wenig Kleinmaterial benötigen, also ca. 5.000 Euro. Eine Grauwasseranlage mit einer Reinigungsleistung von 3 m³/d hat einen Platzbedarf von 9m² (SAMPSONS2, 2020). Der dadurch zusätzlich notwendige Kellerraum wird mit Herstellungskosten von 3.000 €/m² konservativ angenommen. Ausfallende Vermietungskosten werden für diese Fläche nicht berücksichtigt, da Kellerflächen ohnehin selten vermietet werden.

Die Modellierung der Mulden für die Regenwasserversickerung im Garten, sowie die Leitungsführung dorthin, werden nach Rücksprache mit dem für die Freiflächen zuständigen Planungsbüro mit 2.500 € berücksichtigt. Die Wartung der Mulden (jährlicher Grünschnitt) übernehmen die Mieter:innen und wird nicht eingepreist.

Eine Spültrenntoilette, bspw. das Modell Laufen Save! kostet ca. 250 € und ist damit ungefähr 150 € teurer als eine herkömmliche Toilette. Da der Urin zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht optimal aufbereitet und wiederverwendet werden kann (siehe auch Kapitel 4.3.3), wird empfohlen die teureren Trenntoiletten auch erst später einzubauen. Aus diesem Grund werden sie in den Investitionskosten noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 9: Investitionskosten ROSS im Projekt WSX

2. und 3. Leitungsnetz (Grauwasser und Urin)	17.000 €
Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung	25.000 €
Installationskosten	5.000 €
Regenwasserversickerung	2.500 €
Platzbedarf, Herstellungskosten Keller	27.000 €
Wartungsarbeiten GWA innerhalb von 30 Jahren	15.000 €
Gesamtinvestitionskosten	91.500 €

Dem gegenüber stehen die jährlichen Einsparungen beim Trinkwasserbezug, bei der Abwasser- und Niederschlagswasserentsorgung (Gebühren sind auf der Website der Berliner Wasserbetriebe zu finden: (BWB, 2022)), sowie bei dem reduzierten Bezug von Wärmeenergie zur Warmwasseraufbereitung durch die Wärmerückgewinnung. In Kapitel 4.3.2 wurden die täglich notwendige Betriebswassermenge mit 2,6 m³ und die versiegelte Fläche mit 478 m² ermittelt.

Tabelle 10: Kosteneinsparungen durch geringeren Trinkwasserbezug und geringerer Abwasserentsorgung im Projekt WSX in einem 30 Jahres-Zeitraum

	Gebühr	Jährliche Einsparung
Trinkwasser	1,694 €/m ³	1.607,81 €
Schmutzwasser	2,155 €/m ³	2.045,35 €
Niederschlagswasser	1,809 €/m ²	864,70 €
Gesamteinsparungen über 30 Jahre		135.535,79 €

Diese Investition und damit die Wirtschaftlichkeit dieses Ressourcen-orientierten Sanitärsystems rentiert sich nach 20 Jahren – konservativ gerechnet. Erwin Nolde spricht auf der Veranstaltung „Die Praxis des Grauwasserrecyclings – Betreiber*innenerfahrungen“ am 23.03.2023 von einer Amortisationszeit von 10 Jahren (NOLDE, 2023b).

Die Investitionen für das Leitungssystem Urin fallen in der Bauphase schon an, werden aber noch nicht genutzt. Erst mit der Errichtung einer zusätzlichen Urin-Recycling-Anlage kann der Urin zu Dünger umgewandelt und vermarktet werden.

Der Strombedarf wird auf der Investitionsseite nicht berücksichtigt, da das geplante Haus ein Plus-Energiehaus ist und den eigenen Strombedarf selber deckt. Die Kostenentwicklung durch steigende Energiepreise und Inflation könnten auf der Kosteneinsparungsseite auch berücksichtigt werden, welche eine schnellere Amortisation ermöglichen würden.

Bei der Wärmerückgewinnung wird eine Wärmeenergie von 990,7 Wh/EW/d zurück gewonnen. Jährlich bedeutet das, dass 18.080 kWh weniger Wärme erzeugt werden müssen. Wenn diese Wärmeenergie durch Erdgas mit einem Wirkungsgrad der Gastherme von 70% erzeugt werden würde, dann würden dadurch jährlich Kosten in Höhe von knapp 3.000 Euro eingespart werden, bei einem Erdgaspreis von 11,37 ct/kWh (GASAG, 2023). Dadurch, dass das geplante Haus fossilfrei betrieben werden soll, kann der Einkauf von Erdgas nicht als Einsparung berücksichtigt werden. Eine Anlage zur Erzeugung erneuerbarer Energien könnte aber kleiner dimensioniert werden.

Es ist beabsichtigt aus diesem Projekt ein Pilotprojekt zu machen und Interessierten Führungen anzubieten. Dafür sollen auch Förderungen beantragt werden. Diese können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beziffert werden und sind daher in der Berechnung nicht berücksichtigt. Theoretisch müssten auch ideelle Werte, ökologische und klimabedingte Folgekosten durch die Reduzierung des anfallenden Abwassers berücksichtigt werden, können aber nicht beziffert werden. Auch das kontinuierliche Absinken des Grundwasserspiegels infolge des Klimawandels wird die Trinkwassergewinnung aufwendiger machen und die Gebühren steigen lassen. Die UN prognostizieren zum Auftakt der Weltwasserkonferenz im März 2023 eine Zunahme des Trinkwasserverbrauchs und gleichzeitig einen Rückgang der Verfügbar-

keit (UN, 2023). Auch diese potentiell eingesparten Kosten können zahlenmäßig nicht berücksichtigt werden.

Durch planerische Maßnahmen muss bei Neubauten die Regenwasserbewirtschaftung auf dem Grundstück sichergestellt werden (BREWA-BE, 2021). Dadurch fallen die geringen Investitionskosten durch eine reine Muldenversickerung ohnehin an.

In der Regel tragen die Investitionen von ROSS (vor allem Grauwasseranlagen) die Bauherr:innen, welche nicht beliebig (insbesondere beim Sozialen Wohnungsbau) auf die Mieter:innen umgelegt werden können. Die Mieter:innen haben dann aber durch einen geringeren Wasserverbrauch die Einsparungen. Diese Diskrepanz führt häufig dazu, dass die Investitionen nicht getätigt werden und ROSS nicht implementiert werden. Eine Möglichkeit wäre, die Menge des Betriebswassers mittels Wasserzähler zu ermitteln und an die Mieter:innen zu verkaufen. Das Ingenieurbüro Nolde & Partner arbeitet derzeit an einem sogenannten „Contracting Modell“, in dem das Ingenieurbüro die Planungs- und Investitionskosten tätigt und die Anlage betreibt. Das aufbereitete Betriebswasser wird dann an die Mieter:innen oder die Vermieter:innen verkauft (KÖNIG, 2022; NOLDE, 2023b).

In dem Planungsbeispiel ist die Wohnungsbaugenossenschaft GSP eG die Bauherrin. Die Mieter:innen sind Mitglied in der Genossenschaft und tragen die kompletten Investitionskosten u.a. mit ihren Genossenschaftsanteilen, aber auch mit Fremdkapital von Banken. Dadurch ist in diesem Planungsbeispiel diese Diskrepanz aufgehoben: die Mieter:innen tragen die Investitionen und finanzieren diese über die Einsparungen.

4.4 Handlungsempfehlung für das Mehrgenerationenhaus WSX

Auf Grundlage der vorherigen Planung des Sanitärsystems und der anschließenden Diskussion, wird der Bauherrin die separate Sammlung des Grauwassers und die Aufbereitung zum Betriebswasser empfohlen. Die Nährstoffrückgewinnung aus Urin wird in absehbarer Zukunft technisch und rechtlich möglich werden. Aus diesem Grund wird die Installation einer zusätzlichen dritten Abwasserleitung empfohlen. Dadurch kann das Urinrecycling zum frühest mög-

lichen Zeitpunkt umgesetzt werden. Der Bauherrin wird ferner empfohlen, eine notwendige Fläche im Haustechnikraum freizuhalten, entweder für Urintanks zum Abtransport zur Urinrecyclinganlage oder zu Installation einer dezentralen Urinrecyclinganlage im eigenen Haus. Diese Maßnahmen sind ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Das empfohlene Ressourcenorientierte Sanitärsystem wird in Abbildung 32 schematisch dargestellt.

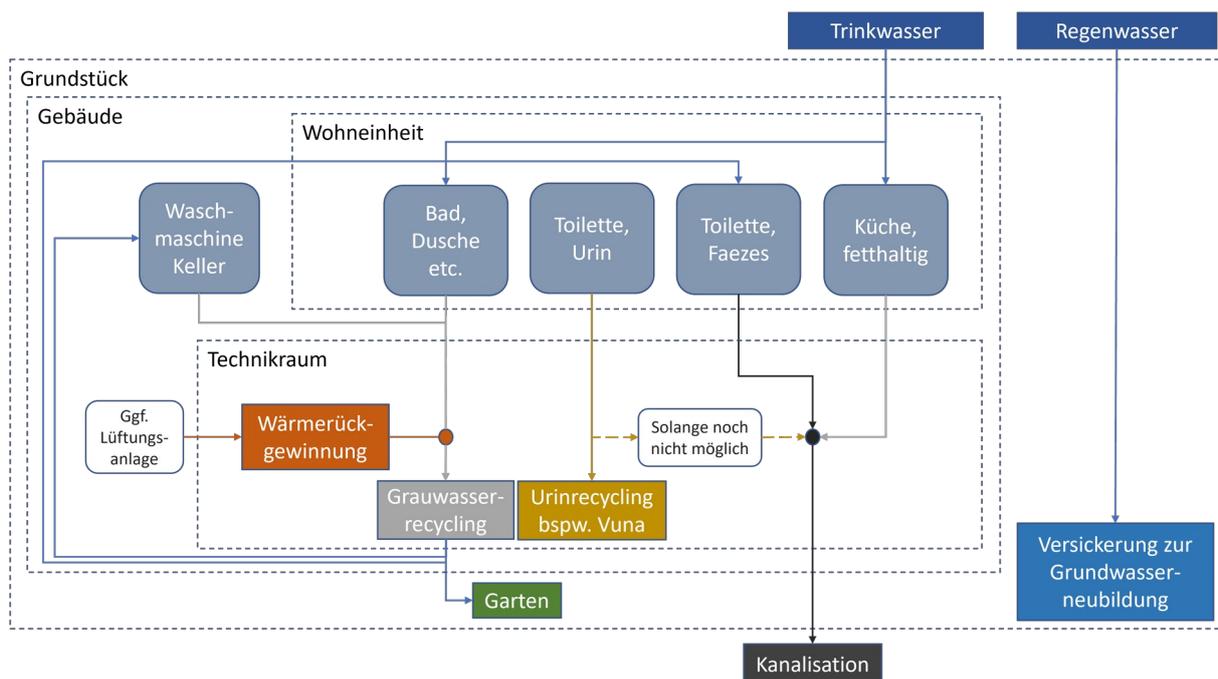


Abbildung 32: Aufbau des Ressourcenorientierten Sanitärsystems (ROSS) im Planungsbeispiel WSX unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen (eigene Darstellung)

Dadurch, dass in dem Planungsbeispiel Mietwohnungen entstehen, müssen die Mieter:innen eine Wahl zwischen Trink- und Betriebswasser zum Wäschewaschen haben (DWA, 2017). Dies wird dadurch gewährleistet, dass die gemeinschaftlich genutzten Waschmaschinen im Wäschekeller installiert sind. Diese werden mit Betriebswasser betrieben. Sollte eine Mieter:in Wäsche mit Trinkwasser waschen wollen, dann besteht die Möglichkeit eine Waschmaschine in der jeweiligen Wohnung zu installieren.

Nach DWA-M 277 werden in Verbindung mit der DIN 19650 Qualitätsanforderungen an das Bewässerungswasser definiert (DIN-19650, 1999; DWA, 2017). Die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an das Bewässerungswasser sind höher, als für das Toilettenspülwas-

ser. Die reine Versickerung von Betriebswasser (behandeltem Grauwasser), ist nach DWA-M 277 mit den zuständigen Genehmigungsbehörden abzustimmen. Eventuell gelten dafür geringere Anforderungen als an die Verwendung als Bewässerungswasser. In jedem Fall müssen im nächsten Planungsschritt mit den Genehmigungsbehörden (untere Wasserbehörde) die Qualitätsanforderungen für die Gartenbewässerung und Versickerung geklärt werden – dies geschieht insbesondere unter der Berücksichtigung, dass sich das Baugrundstück in der Trinkwasserschutzzone IIIA befindet.

Sofern sich durch die höheren Qualitätsanforderungen für die Nutzung des behandelten Grauwassers im Garten auch zusätzliche Reinigungsstufen bei der Grauwasserrecyclinganlage ergeben, könnte es ökonomisch sinnvoll sein auf die Bewässerung im Garten zu verzichten. Dann würde sich ein geringerer Betriebswasserbedarf ergeben und evtl. könnte dann auch auf den etwas stärker belasteten Grauwasserstrom aus der Waschmaschine (Typ B1) verzichtet werden. So ließen sich durch die Nutzung von sehr gering belasteten Grauwasser (Typ A2) und eine geringere anfallende Grauwassermenge weitere Kosten einsparen (kleinere Anlage möglich). Das aufbereitete Wasser würde dennoch für Toilettenspülung und Waschmaschine ausreichen.

Neben der Niederschlagsversickerung über Mulden im Außenbereich, können durch die Nutzung von Regenwasser zur Bewässerung im Garten zusätzlich Punkte bei der DGNB Zertifizierung erlangt werden. Dies kann schon durch das Aufstellen von Tanks und einer Lowtech-Lösung relativ einfach umgesetzt werden. Wenn die Tanks voll sind, dann wird das Regenwasser in die Mulde geleitet.

5 Fazit und Ausblick

Die Folgen und Auswirkungen der Klimakrise und die Ressourcenverschwendung sind breit erforscht und bekannt. Jedes Jahr verbraucht die Menschheit weit mehr ihrer zur Verfügung stehenden natürlichen Ressourcen als die Erde innerhalb eines Jahres zur Verfügung stellen kann. Der sogenannte Earth Overshoot Day fiel im letzten Jahr auf den 28. Juli 2022 (WWF, 2022) – ab dem Tag lebte die globale Bevölkerung über ihre Verhältnisse. Zum Abschluss der Weltwasserkonferenz erklärte der Generalsekretär der Vereinten Nationen Antonio Guterres am 24.03.2023, dass der Druck auf das Wassersystem reduziert werden muss:

„It means reducing the pressures on our hydrological system, and ensuring good decision-making and smart policies.“ (GUTERRES, 2023)

Neben diesem Wissen über die Ressourcenknappheit, dem Klimawandel und dem damit einhergehenden Verlust an Biodiversität, stehen gleichzeitig eine Vielzahl an Problemlösungen und Technologien zur Verfügung, um die Klimakrise einzudämmen und sich an die Folgen anzupassen. Die Menschheit hat das Wissen und die technischen Lösungen, um nicht mehr über ihre Verhältnisse zu leben. Jetzt gilt es diese umzusetzen.

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieser Paradigmenwechsel mittels einer sozial-ökologischen Transformation, ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die sämtliche Bereiche des Lebens umfasst. Zirkuläres Denken und Handeln ist somit auch für eine Sanitär- und Nährstoffwende notwendig, um sowohl Trinkwasser und Energie einzusparen, als auch Nährstoffe wiederzuverwenden. Die vorliegende Arbeit hat die Hürden in Bezug auf die Umsetzung Ressourcen-orientierter Sanitärsysteme untersucht und bestehende Anwendungsbeispiele analysiert. Dabei ist aufgefallen, dass die Entscheidung für ROSS in einem Neubau schon in sehr frühen Planungsphasen (Grundlagenermittlung, Vorplanung) getroffen werden muss, da unter Umständen ausreichend Platz in den Leitungsschächten und den Haustechnikräumen eingeplant werden muss. Die betrachteten Anwendungsbeispiele haben unterschiedliche Komponenten Res-

sourcen-orientierter Sanitärsysteme implementiert, setzen sich aus diversen Gruppen zusammen und organisieren sich in unterschiedlichen Eigentumsverhältnissen und Wohnformen – und dennoch verbindet sie zukunftsorientierter Idealismus und der Mut hin zu einer ökologischen Sanitärwende. Aus diesen Erfahrungen können Planende zukünftiger Bauvorhaben lernen, um die Akzeptanz und die Häufigkeit der realisierten ROSS-Projekte zu steigern.

Gleichzeitig gibt es eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen, die die Implementierung von ROSS erschweren und verunmöglichen. Um die große Diskrepanz zwischen Anspruch und Realität bei der Umsetzung von ROSS zu schließen, benötigt es weitere Pilotprojekte und Reallabore, die veranschaulichen, dass Alternativen zur Verfügung stehen. Eine gesetzliche Umsetzungspflicht für ROSS oder eine dahin gehende Beratung durch eine entsprechende Behörde, würde die Grundlage für eine standardisierte Implementierung von ROSS ermöglichen.

Erwin Nolde, Forscher und planender Ingenieur ROSS formuliert es so:

„Politik, Verwaltung, Investoren, Planer und ausführende Betriebe sind nun gleichermaßen gefragt, ob sie es weiterhin verantworten wollen, dass Wasser und Energie weiterhin verschwendet werden.“ (DBU u. NOLDE, 2021)

„Wer heute ohne NASS baut begeht eine Bausünde.“ (NOLDE, 2023b)

Im Rahmen dieser Arbeit wurden umfangreiche Planungsgrundlagen und Erfahrungen mit bestehenden ROSS zusammengetragen und analysiert. Dies galt zusammen mit der Befragung der künftigen Mieter:innen² als Grundlage für eine konkrete Planung des ROSS in dem ökologischen Mehrgenerationenhaus WSX im urbanen Raum, welche der Bauherrin als Entscheidungsgrundlage vorgelegt wird. Dieses empfohlene ROSS beinhaltet eine Grauwasseranlage zur Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs, eine Grauwasser-Wärmerückgewinnung und Regenwasserbewirtschaftung inkl. Versickerung. Zusätzlich wird der Bauherrin empfohlen, alle baulichen Vorbereitungen zu treffen, um eine Nährstoffrückgewinnung aus Urin ab Verfügbarkeit nachträglich zu implementieren.

² Fragebogen ist als leere Vorlage im Anhang A2 zu finden und kann ggf. für weitere ROSS Projekte genutzt und angepasst werden.

5.2 Ausblick

Die in dieser transdisziplinären Arbeit und dem iterativen Planungsprozess erarbeiteten Ergebnisse konnten zum Teil schon mit Fachplaner:innen (insbesondere TGA-Fachplanung, Firma Ergo Sun) zum Ende der Arbeit im April 2023 besprochen werden. Daraus folgte ein erster Vorschlag der TGA-Fachplanung zur Berücksichtigung der Betriebswasser- und Abwasserleitungen. Auf Abbildung 33 ist ein exemplarischer Leitungsschacht aus dem Planungsbeispiel WSX, der neben Braun-, Grau-, Gelb-, Betriebs- und Trinkwasserleitungen auch Heizungs-, und Lüftungsleitungen berücksichtigt. Der von den Architekt:innen eingeplante Leitungsschacht muss dadurch etwas vergrößert werden.

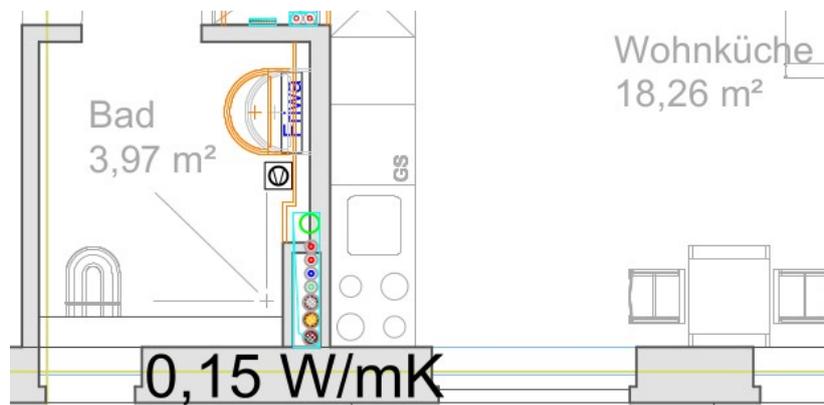


Abbildung 33: Leitungsschacht eines Bades im Planungsbeispiel WSX mit Braun-, Grau-, Gelb-, Betriebs-, Trinkwasser-, Heizungs-, und Lüftungsleitungen, Quelle: TGA-Fachplanung, Ergo Sun

Das Kapitel 4.4 liefert eine Handlungsempfehlung für die Bauherrin, die damit eine Entscheidung treffen kann. Die Grobplanung ist darüber hinaus eine belastbare Grundlage für die Detailplanung durch das beauftragte TGA-Planungsbüro. Im Anschluss an diese Arbeit werden die Lösungsmöglichkeiten mit den zuständigen Fachplaner:innen und Architekt:innen besprochen. Zusammen mit den Genehmigungsbehörden wird das bestmögliche ROSS für diesen Standort entwickelt und umgesetzt.

Darüber hinaus versucht die GSP eG ein Pilotprojekt (evtl. ein Reallabor) zu etablieren, damit künftige Bauherr:innen, Planer:innen und Politiker:innen sich von der Praxistauglichkeit von ROSS überzeugen können und so weitere Projekte implementiert werden. Im August 2025 soll dieses Bauvorhaben fertiggestellt werden. Spätestens ab diesem Zeitpunkt ist es möglich eine Besichtigung des ROSS für die interessierte Öffentlichkeit durchzuführen.

Neben dem konkreten Planungsbeispiel, möchte diese Masterarbeit einen positiven Beitrag leisten, was die Akzeptanz und Realisierungsmöglichkeiten von ROSS auf einem breiteren Umsetzungsgebiet der Mehrparteienhäuser im urbanen Raum angeht. Die Arbeit wird die Umsetzung in die Praxis für Planer:innen, Bauherr:innen und Baugruppen vereinfachen. Sie gibt einen Überblick über die möglichen Systeme und beschreibt die Potentiale dieser Lösungen. Dafür ist es angedacht, diese Arbeit anderen Fachplaner:innen, Bauherr:innen und Baugruppen frei zur Verfügung zu stellen, damit eine Entscheidung für ROSS leichter fallen und konkret mit der jeweiligen Planung begonnen werden kann.

5.3 Vernetzung und Strategien

Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme finden nach wie vor noch keine flächendeckende Verbreitung, auch nicht in Neubauten, in denen es verhältnismäßig einfach und wirtschaftlich ist, diese umzusetzen. Die vorgestellten Pilot- und Pionierprojekte sind wichtig, um Erfahrungen zu sammeln und Beispiele zu geben, wie es funktionieren kann. Um ROSS aus der Nische zu holen, sind Vernetzungsarbeit, weitere Forschung und politischer Wille unabdingbar.

Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) fordert in der am 15.03.2023 verabschiedeten Nationalen Wasserstrategie:

Die gesetzlichen Regelungen werden geprüft, wenn nötig angepasst und so genutzt, dass sie eine optimale Voraussetzung für die Entwicklung und beschleunigte breite Umsetzung von effizienten und nachhaltigen Wasserinfrastrukturen schaffen [...]. Existierende Regelungslücken, wie z. B. im Regenwassermanagement [...], werden geschlossen. Es sind Forschungsstrukturen (sog. Reallabore) zu entwickeln, die es ermöglichen, neuartige Umsetzungskonzepte zur wassersensiblen Stadt [...] und zur Nutzung neuartiger Sanitärsysteme – in der Praxis und großflächig anzuwenden und eine breite gesellschaftliche und wirtschaftliche Akzeptanz dafür zu schaffen (BMUV, 2023).

Solche Reallabore in Kombination mit Forschungsprojekten wie zirkulierBAR (ZIRKULIERBAR, 2023b) und Vereinen wie bspw. dem Netzwerk für nachhaltige Sanitärsysteme e.V. (NETSAN, 2023) beeinflussen maßgeblich die gesellschaftliche Akzeptanz von ROSS, was eine wesentliche Grundlage dafür ist, die politischen Rahmenbedingungen zu gestalten.

Eine weitere konkrete Vernetzung mit dem Ecovillage Hannover³ wird im Anschluss an diese Arbeit angegangen, da dieses Projekt auch ein zukunftsweisendes und ökologisches ROSS aufbaut und sich in einer ähnlichen Planungsphase wie das Fallbeispiel WSX befindet. In diesem Projekt entstehen in den kommenden Jahren ca. 500 ökologische Wohneinheiten mit ROSS inkl. Urin-Recycling.

Rechtliche und Politische Strategien: In Berlin gibt es mit dem Solargesetz eine Solarpflicht seit dem 01.01.2023 bei Neubauten, um die Energiewende zu beschleunigen (Solargesetz Berlin, 2022). Die Sanitär- und Nährstoffwende und damit die Etablierung von ROSS, kann nicht ausschließlich durch individuelles Handeln (bspw. durch die Pilotprojekte) gelingen. Relevante Entscheidungen hinsichtlich der Nutzung von ROSS müssen schon in den ersten beiden Leistungsphasen (Grundlagenermittlung, Vorplanung) getroffen werden. Planende und Bauherr:innen wissen selten um die Problematik von und die Alternativen zu dem bestehenden linearen Sanitärsystem. Um ROSS aus der Nische zu holen, ist neben attraktiven

³ Ecovillage Hannover eG <https://www.ecovillage-hannover.de/>

Förderangeboten auch eine Verpflichtung für ROSS bei Neubauprojekten notwendig, ähnlich wie bei dem Berliner Solargesetz. Für den Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e.V. (fbr) ist klar:

„Regenwassernutzung und das Wasserrecycling müssen zu einer Verpflichtung in künftigen Neubauten werden.“ (FBR, 2022a)

Hier bieten sich die Bauordnungen der Länder an. Das fordert auch Frank Becker, Wissenschaftler an der TU Berlin, am 02.02.2023 im öffentlich-rechtlichen Rundfunk (RBB, 2023). Unterstützung bekommt er dafür von Prof. Matthias Barjenbruch, der auf dem InfraSPREE Kongress 2022 in Potsdam sinngemäß das Gleiche forderte: Die Politik muss eine Pflicht zur Installation von Ressourcen-orientierten Sanitärsystemen im Neubau beschließen und gesetzlich umsetzen (BARJENBRUCH u. a., 2022). Wiebke Ahues, Vorstandsmitglied der Architektenkammer Berlin, fordert auf der Grauwasserveranstaltung am 23.03.2023 an der TU Berlin, dass nicht viele neue Gesetze und Vorschriften verabschiedet werden (siehe Solargesetz in Berlin), sondern alle sinnvollen und ökologisch-notwendigen Gesetze in einem zentralen Dokument wie bspw. den Bauordnung zusammenzustellen (AHUES, 2023).

Berlin ist das einzige Bundesland mit einer städtischen Regenwasseragentur, die die Stakeholder von Bauprojekten bzgl. einer nachhaltigen Nutzung von Regenwasser berät und so Projekte zur dezentralen Niederschlagsentwässerung fördert. Diese Regenwasseragentur könnte bspw. auf weitere Aspekte von ROSS (wie bspw. Grauwassernutzung) erweitert werden, um Bauherr:innen und Planer:innen schon früh über die Potentiale solcher Sanitärsysteme aufmerksam zu machen.

Über solche Transformationsrisiken und Hemmnisse bei der Umsetzung von ROSS berichten auch viele Akteur:innen der Siedlungswasserwirtschaft. Im Rahmen einer Studie erklären sie, dass politische Entscheidungsträger:innen über Regelungen wie Umweltschutzmaßnahmen, Agendasetting und finanzielle Förderungen wichtige Impulse für ROSS liefern können (KERBER u. a., 2016). Ein wesentlicher Aspekt, der in diesem Zusammenhang auch immer wieder erwähnt wird (vgl. auch das Projektbeispiel in Kapitel 4.1.4), ist der Anschluss und Benutzungszwang. Dieser setzt wenig Anreize neuartige Wasserinfrastruktursysteme umzusetzen (KERBER u. a., 2016).

In einem transdisziplinären DBU Projekt mit dem Titel „Qualifizierung und Vernetzung von Fachleuten im Bereich zukunftsfähiger Siedlungswasserwirtschaft“ vernetzten sich zwischen 2013 und 2016 zahlreiche Akteur:innen auf dem Gebiet der ROSS, darunter auch Handwerker:innen, Planer:innen, Politiker:innen und Forschende. In diesem Rahmen entstanden bspw. auch Weiterbildungskonzepte für Planer:innen und Handwerker:innen, die in dem umfangreichen Abschlussbericht gut dokumentiert sind.

Die Politik und verschiedene nicht-staatliche Institutionen haben die Vorteile von ROSS und den Einfluss auf das Klima und den Wasserhaushalt auch erkannt. Förderprogramme sollen zur Implementierung motivieren und höhere Investitionskosten teilweise abfedern. Mögliche Fördermittelgeber:innen und Programme können unter den folgenden Schlagwörtern recherchiert werden:

- Klimaschutz, Anpassungen an den Klimawandel
- Neuartige und nachhaltige Sanitärsysteme
- Ressourcen-orientierte Sanitärsysteme
- Kreislaufwirtschaft
- Bioökonomie
- Gewässerschutz, Grundwasserneubildung, Regenwasserversickerung
- Ressourcenschutz
- Wärmeversorgung, Wärmerückgewinnung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Implementierung Ressourcen-orientierter Sanitärsysteme in mehrgeschossigen Mehrparteienhäusern eine notwendige und machbare Option zur sozial-ökologischen Transformation und Erweiterung der linearen Abwasserentsorgung darstellt. Durch ROSS lassen sich Trinkwasserverbräuche reduzieren, Grundwasserhaushalte regenerieren, Treibhausgase einsparen und Nährstoffe recyceln. Allerdings müssen noch die politischen Rahmenbedingungen angepasst werden, damit ROSS eine Möglichkeit haben sich in der Breite durchzusetzen und damit einen nachhaltigen Beitrag zur Sanitär- und Nährstoffwende leisten können.

Literaturverzeichnis

- AHUES, W. (2023):** Grußwort der Architektenkammer - Die Praxis des Grauwasserrecyclings; Vortrag auf Konferenz: Die Praxis des Grauwasserrecyclings - Betriebserfahrungen im Wohnungsbau und Potentiale für die Gebäudesanierung; TU Berlin; 23.03.2023.
- AIGNER, S. (2022):** Urin – ein wertvoller Rohstoff, wenn Düngemittel knapp sind; 17.10.2022; Online: verfügbar unter <https://www.heise.de/tp/features/Urin-ein-wertvoller-Rohstoff-wenn-Duengemittel-knapp-sind-7309853.html>, letzter Zugriff: 27. Oktober 2022.
- ANDRITSCHKE, N. (2018):** Berliner Wasserbetriebe: Wasserwerk mit langer Tradition. Online: verfügbar unter <https://www.umweltwirtschaft.com/news/wasser-und-abwasserbehandlung/Berliner-Wasserbetriebe-Wasserwerk-mit-langer-Tradition-11345>, letzter Zugriff: 29. Oktober 2022.
- BARJENBRUCH, M., A. KRAUSE, S. KELLER U. T. GUGGENBERGER. (2022):** Urbane Wasserkreisläufe; Vortrag auf der InfraSPREE Konferenz am 09.11.2022.
- BAUOB. (2006):** Bauordnung für Berlin (BauO Bln) vom 29. September 2005; Online: verfügbar unter <https://gesetze.berlin.de/bsbe/document/jlr-BauOBE2005V8IVZ>, letzter Zugriff: 17. März 2023.
- BDEW. (2022):** Trinkwasserverwendung im Haushalt 2021; Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.; 30.03.2022; Online: verfügbar unter <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/>, letzter Zugriff: 17. März 2023.
- BLW. (2019):** Bundesamt für Landwirtschaft, Schweiz - Produktzulassung Aurin; 13.08.2019; Online: verfügbar unter https://www.gate.bag.admin.ch/rpc/ui/products/636998-04/summary?searchTerm=aurin&sortBy=cpid&sortDirection=asc&lch=1621496269150&searchArea=CPID,PRIMARYNAME,CLASSIFICATION_NUMBER, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- BMI. (2019):** Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2019; Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat; Januar 2019; Online: verfügbar unter https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_D_190125.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- BMUV. (2023):** Nationale Wasserstrategie 2023; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz; 15.03.2023; Online: verfügbar

unterhttps://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nationale_wasserstrategie_2023_bf.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

BNB. (2020): 2.2.2 Anpassungsfähigkeit. 2020. Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat; Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), BNB_LN 2.2.2; Online: verfügbar unter https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/runder_tisch/neubau/v_2020/BNB_LN2020_222.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

BREWA-BE. (2021): Hinweisblatt: Begrenzung von Regenwassereinleitungen bei Bauvorhaben in Berlin (BreWa-BE); Stand: Juli 2021; Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Abteilung Integrativer Umweltschutz; Online: verfügbar unter https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/wasser-und-geologie/publikationen-und-merkblaetter/hinweisblatt-brewa-be.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

BUNDESTAG. (2018): Energieverbrauch bei der Produktion von mineralischem Stickstoffdünger. Wissenschaftliche Dienste des Bundestages; WD 8 - 3000 – 088/18; 24.08.2018; Online: verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/567976/bb4895f14291074b0a342d4c7%2014b47f8/wd-8-088-18-pdf-data.pdf>, letzter Zugriff: 7. April 2023.

BVL. Trinkwasser – Das Grundnahrungsmittel Nummer eins. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit; Online: verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/03_Verbraucher/15_Wasser_Mineralwasser/01_Trinkwasser/Trinkwasser_basepage.html, letzter Zugriff: 22. März 2023.

BWB. (2022): Gebühren; Berliner Wasserbetriebe. Online: verfügbar unter <https://www.bwb.de/de/gebuehren.php>, letzter Zugriff: 21. März 2023.

–. (2023): Klärwerk Münchehofe; Berliner Wasserbetriebe. Online: verfügbar unter <https://www.bwb.de/de/klaerwerk-muenchehofe.php>, letzter Zugriff: 29. März 2023.

BWG. (2005): BWG Berliner Wassergesetz (BWG) in der Fassung vom 17. Juni 2005. Online: verfügbar unter <https://gesetze.berlin.de/perma?d=jlr-WasGBERahmen>, letzter Zugriff: 29. März 2023.

CLIVUSMULTRUM. (2023): Clivus Multrum - Komposttoilette. Online: verfügbar unter <https://www.clivusmultrum.de/index.php>, letzter Zugriff: 1. April 2023.

DBU u. A. ALBOLD. (2016): Abschlussbericht zum DBU – Projekt: Qualifizierung und Vernetzung von Fachleuten im Bereich zukunftsfähiger Siedlungswasserwirtschaft.

- AZ 28833-44. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Online: verfügbar unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28833.pdf>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- DBU u. E. NOLDE. (2021):** Dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser - Erprobung, Optimierung und Monitoring verschiedener Technologien an unterschiedlichen Standorten. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Online: verfügbar unter https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-34056_01-Hauptbericht.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- . **(2016):** Steigerung der Energieerträge bei der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Online: verfügbar unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-32156.pdf>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- DGNB. (2018):** DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Version 2018; TEC1.4 - Einsatz und Integration von Gebäudetechnik; Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen.
- . **(2020):** DGNB System – Kriterienkatalog Quartiere, ENV2.2 Wasserkreislaufsysteme. Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen. Online: verfügbar unter https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/quartiere/kriterien/DGNB-Kriterium-Quartiere_ENV2.2_Wasserkreislaufsysteme.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- DIN-19650. (1999):** Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Datum des Inkrafttretens: 02.1999.
- DIN-SPEC-91421. (2020):** DIN SPEC 91421:2020-12, Qualitätssicherung von Recyclingprodukten aus Trockentoiletten zur Anwendung im Gartenbau. Beuth Verlag GmbH. doi:10.31030/3213808
- DLF. (2023):** Winterdürre - Klimaforscher Latif warnt vor extremer Trockenheit im Sommer. Deutschlandfunk online, 07.03.2023; Online: verfügbar unter <https://www.deutschlandfunk.de/klimaforscher-latif-warnt-vor-extremer-trockenheit-im-sommer-106.html>, letzter Zugriff: 12. März 2023.
- DLR. (2023):** DLR - Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin - CROP. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Gravitationsbiologie Köln; Online: verfügbar unter <https://www.dlr.de/me/desktopdefault.aspx/tabid-15889/>, letzter Zugriff: 10. April 2023.

- DWA. (2006):** Arbeitsblatt DWA-A 100 - Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (IsiE); Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); Dezember 2006; Hennef.
- . **(2005):** Arbeitsblatt DWA-A 138 - Niederschlagsversickerung; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); April 2005; Hennef.
- . **(2014):** DWA-A 272 - Neuartige Sanitärsysteme (6/2014) ; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); Juni 2014; Hennef.
- . **(2017):** DWA-M 277 - Grauwasser (10/2017); Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); Oktober 2017; Hennef.
- . **(2020):** Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); Dezember 2020; Hennef.
- DWA-A 262. (2017):** DWA-A 262 - Kläranlage (Pflanzen)-Filter; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA); November 2017; Hennef.
- DWD. (2022):** Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Presse - Deutschlandwetter im Sommer 2022. Deutscher Wetterdienst. Online: verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20220830_deutschlandwetter_sommer2022_news.html, letzter Zugriff: 27. Oktober 2022.
- EAWAG. (2023):** Abwasserbehandlung – zentral, dezentral, hybrid - Eawag. Eawag – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs; Schweizer Eidgenossenschaft; Online: verfügbar unter <https://www.eawag.ch/de/forschung/menschen/abwasser/dezentrale-ressourcengewinnung-aus-abwasser/systeme/>, letzter Zugriff: 4. April 2023.
- . **(2022a):** Aurin - Dünger aus Urin - Eawag. Eawag – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs; Schweizer Eidgenossenschaft; Online: verfügbar unter <https://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/aurin-duenger-aus-urin/>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- . **(2022b):** Spezial: Dezentral Ressourcen aus Abwasser gewinnen. Eawag – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs; Schweizer Eidgenossenschaft; Online: verfügbar unter <https://newsletter.eawag.ch/e/8bbab41cc9ae86ac/nl/9a5f452940c5ccf8d92f1aae/webversion-version/0e27f0bd7bd27a3a498c6964/de.html>, letzter Zugriff: 29. Oktober 2022.

ELSNER, C. (2021): Grundwasser, Böden, Flüsse: Wasservorräte auf dem Prüfstand. ZDF Online; 19.06.2021; Online: verfügbar unter <https://www.zdf.de/uri/3a865fc5-1182-4fac-9154-bd1351d72e26>, letzter Zugriff: 27. Oktober 2022.

EUROPÄISCHE KOMMISSION. (2020): Critical raw materials. Online: verfügbar unter https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en, letzter Zugriff: 12. März 2023.

FBR. (2022a): Die Wasserversorgung ist ein energieintensives Geschäft! Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e.V.; Februar 2022; Online: verfügbar unter https://www.fbr.de/fileadmin/Download/fbr-Positionspapier_Energie_Wasser.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

–. **(2022b):** fbr-wasserspiegel 2/22. Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e.V.; April 2022; Online: verfügbar unter <https://indd.adobe.com/view/e3fafdc3-8ba8-4df9-9104-13f338ede310>, letzter Zugriff: 2. April 2023.

FINIZIO. (2023): finizio - Future Sanitation. Online: verfügbar unter <https://finizio.de/>, letzter Zugriff: 1. April 2023.

GASAG. (2023): ERDGAS Komfort: Ihre Grundversorgung; GASAG; Online: verfügbar unter <https://www.gasag.de/erdgas/komfort-tarif>, letzter Zugriff: 22. März 2023.

GELLER, G. u. G. HÖNER. (2003): Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-18502-1

GSP. (2022): GSP eG. Genossenschaft Selbstverwalteter Projekte eG; Online: verfügbar unter <https://gsp.coop/wsx/>, letzter Zugriff: 31. März 2023.

GUJER, W. (2007): Siedlungswasserwirtschaft. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-34330-1

GUTERRES, A. (2023): Secretary-General's closing remarks at the United Nations Water Conference | United Nations Secretary-General. Online: verfügbar unter <https://www.un.org/sg/en/content/sg/speeches/2023-03-24/secretary-generals-closing-remarks-the-united-nations-water-conference>, letzter Zugriff: 3. April 2023.

HÄFNER, F., O.R. MONZON DIAZ, S. TIETJEN, C. SCHRÖDER u. A. KRAUSE. (2023): Recycling fertilizers from human excreta exhibit high nitrogen fertilizer value and result in low uptake of pharmaceutical compounds. In: *Frontiers in Environmental Science* 10. Online: verfügbar unter <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.1038175>, letzter Zugriff: 7. April 2023.

- HUNDERTWASSER, F. (1975):** Die Humustoilette. 1975; Online: verfügbar unter https://www.hundertwasser.com/texte/the_humus_toilet, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- HWC. (2017):** Hamburg Water Cycle - Kreislauforientierte Abwasserwirtschaft. Online: verfügbar unter https://www.hamburgwatercycle.de/fileadmin/watercycle/downloads/FAQ_zum_HWC.pdf, letzter Zugriff: 1. April 2023.
- HYDRALOOB. (2023):** Home | HydralooB | EN | Greywater Recycling | Use Water Twice. Online: verfügbar unter <https://www.hydralooB.com/de>, letzter Zugriff: 2. April 2023.
- IFAK. (2021):** SAmPSONS 2.0 – Handbuch. Institut für Automation und Kommunikation e. V. (ifak).
- JACOBS, S. (2022a):** Berlin geht der Wassernachschub aus: Jetzt lässt die Dürre auch in der Hauptstadt die Pegel sinken. In: Der Tagesspiegel Online. 08.08.2022; Online: verfügbar unter <https://www.tagesspiegel.de/berlin/berlin-geht-der-wassernachschub-aus-jetzt-lasst-die-durre-auch-in-der-hauptstadt-die-pegel-sinken-8530207.html>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- . **(2022b):** Die feuchten Jahre sind vorbei - Grundwasser Berlin. In: Der Tagesspiegel Online; 26.10.2022; Online: verfügbar unter <https://www.tagesspiegel.de/berlin/die-feuchten-jahre-sind-vorbei-berlins-grundwasserstande-sinken-8788255.html>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- JONGEBLOED, K. (2022):** Wärmelecks in der Gebäudetechnik schließen. Idw – Informationsdienst Wissenschaft; Online: verfügbar unter <https://idw-online.de/de/news789510>, letzter Zugriff: 30. März 2023.
- KERBER, H., E. SCHRAMM U. M. WINKER. (2016):** Transformationsrisiken bearbeiten: Umsetzung differenzierter Wasserinfrastruktursysteme durch Kooperation. netWORKS papers 28. doi:10.13140/RG.2.1.2936.6641
- KfW. (2023):** Klimafreundlicher Neubau – Wohngebäude (297, 298) | KfW. Online: verfügbar unter [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Foerderprodukte/Klimafreundlicher-Neubau-Wohngebäude-\(297-298\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Foerderprodukte/Klimafreundlicher-Neubau-Wohngebäude-(297-298)/), letzter Zugriff: 4. April 2023.
- KLIER, S. (2022):** Dürre: Flüsse in Berlin und Brandenburg verdursten. In: BZ Online; 07.08.2022; Online: verfügbar unter <https://www.bz-berlin.de/berlin/fluesse-in-berlin-und-brandenburg-verdursten>, letzter Zugriff: 29. Oktober 2022.
- KÖNIG, D.K.W. (2022):** Grauwasser-Recycling mit Wärmerückgewinnung: Sparen ohne Komfortverzicht | Haustec. Online: verfügbar unter

<https://www.haustec.de/sanitaer/grauwasser-recycling-mit-waermerueckgewinnung-sparen-ohne-komfortverzicht>, letzter Zugriff: 29. März 2023.

KRAUSE, A. (2022a): Kreislauforientierte Behandlung von Inhalten aus Trockentoiletten. Vortrag auf dem InfraSPREE Kongress; 09.11.2022.

–. **(2022b):** Scheiß auf Kunstdünger! - Ressourcenschonende Dünger-Alternativen auf Basis menschlicher Fäkalien sind erforscht und erprobt – aber vom geltenden Recht nicht vorgesehen. In: maldekstra (#16): 24; RosaLuxemburg Stiftung; Online: verfügbar unter https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/maldekstra/Maldekstra__16_low.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

KRAUSE, A., C. VON HIRSCHHAUSEN, E. SCHRÖDER, F. AUGUSTIN, F. HÄFNER, G. BORNEMANN, G. SUNDERMANN, J. KORDUAN, K. UDERT, L. DEUTSCH, M.L. REINHARDT, R. GÖTZENBERGER, S. HOFFMANN u. S. BECKER-SONNENSCHNEIN. (2021): Ressourcen aus der Schüssel sind der Schlüssel – Wertstoffe zirkulieren, Wasser sparen und Schadstoffe eliminieren. Diskussionspapier zur Sanitär- und Nährstoffwende. Online: verfügbar unter <http://www.naehrstoffwende.org/>, letzter Zugriff: 7. April 2023.

KRWG. (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV); Datum der Erstveröffentlichung: 29. Februar 2012; Online: verfügbar unter <https://www.bmu.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz>, letzter Zugriff: 7. April 2023.

KUCZMERA, A. (2023): Führung durch das Klärwerk Ruhleben am 11.01.2023. Berliner Wasserbetriebe, Berlin-Ruhleben.

LAVIDAVERDE. (2016): Wir sind | LaVidaVerde. Online: verfügbar unter <https://lavidaverde.de/wordpress/wir-sind/>, letzter Zugriff: 30. März 2023.

LEHMANN, J., F. MEMPEL u. D. COUMOU. (2018): Increased Occurrence of Record-Wet and Record-Dry Months Reflect Changes in Mean Rainfall. In: Geophysical Research Letters 45 (24): 13,468-13,476.

MAGAZOWSKI, C. (2017): NEUARTIGE TARIFSYSTEME (NATS) FÜR NEUARTIGE SANITÄRSYSTEME (NASS). doctoralThesis. HafenCity Universität Hamburg. Online: verfügbar unter <https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/468>, letzter Zugriff: 7. April 2023.

MERZ, K. (2022): Badeseen in Berlin: So ist die Gewässerqualität zum Ferienbeginn. Berliner Zeitung Online; 06.07.2022; Online: verfügbar unter <https://www.berliner-zeitung.de/news/badeseen-in-berlin-so-ist-die->

gewaesserqualitaet-zum-sommerferien-beginn-zerkarien-blualgen-li.244075, letzter Zugriff: 12. März 2023.

MILLENET, M. (2022): So funktioniert das Urin-Trenn-WC Save von Laufen | Haustec. Online: verfügbar unter <https://www.haustec.de/sanitaer/bad-design/so-funktioniert-das-urin-trenn-wc-save-von-laufen>, letzter Zugriff: 1. April 2023.

MONTEUR. (2012): Grauwasser einfach wieder nutzen; SBZ Monteur. Online: verfügbar unter <https://www.sbz-monteur.de/gut-zu-wissen/grauwasser-einfach-wieder-nutzen>, letzter Zugriff: 17. März 2023.

NATURBAUHOFF. Funktionsweise von Pflanzenkläranlagen. Naturbauhof; Online: verfügbar unter <https://www.naturbauhof.de/funktionsweise-von-pflanzenklaeranlagen>, letzter Zugriff: 17. März 2023.

NETSAN. (2023): Netzwerk für nachhaltige Sanitärsysteme e.V. Online: verfügbar unter <https://www.netsan.org/>, letzter Zugriff: 31. März 2023.

NOLDE, E. (2023a): Besichtigung einer neu errichteten Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung in einem Studierendenwohnheim. Führung am 23.03.2023, Berlin-Pankow.

–. **(2023b):** Betreiber*innenerfahrungen, techn.-ökolog., ökonom. Ergebnisse, Langzeiterfahrungen. Veranstaltung: Die Praxis des Grauwasserrecyclings - Betriebserfahrungen im Wohnungsbau und Potentiale für die Gebäudesanierung; TU Berlin; 23.03.2023.

–. **(2023c):** Nolde - innovative Wasserkonzepte GmbH; Beitrag in der rbb Abendschau vom 05.03.23. Online: verfügbar unter <https://innovative-wasserkonzepte.de/2023/03/13/beitrag-in-der-rbb-abendschau-vom-05-03-23/>, letzter Zugriff: 30. März 2023.

N-TV. (2023): Menschlicher Urin ist ein gutes Düngemittel. N-TV Online; 17.01.2023; Online: verfügbar unter <https://www.n-tv.de/wissen/Menschlicher-Urin-ist-ein-gutes-Duengemittel-article23850152.html>, letzter Zugriff: 30. Januar 2023.

OPTIGRÜN. (2022): Durchdachte Gründachlösungen Vom Experten: Planungsunterlage. Optigrün International AG; Online: verfügbar unter https://www.optigruen.de/fileadmin/05-prospekte/pu/de/P22.005_Planungsunterlage_DE_L.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

PECHER&PARTNER. (2023): Bemessung der Versickerungsanlagen für das Bauvorhaben Mehrgenerationenhaus Werlseestraße. 06.03.2023, Pecher und Partner, Berlin.

- RAUSCHNING, G., J. FISCHER u. U. KLAUS. (2023):** Interview und Erfahrungsaustausch ROSS in Allermöhe. Digitale Vernetzungveranstaltung am 26.01.2023, Allermöhe Hamburg e.V.
- RBB. (2023):** Lebensmittel gehören nicht in die Klospülung. RBB Online; 05.02.2023; Online: verfügbar unter <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2023/02/grauwasserrecycling-in-wohnbauten-wassersparen-berlin-umweltschutz-klimawandel-wasserknappheit.html>, letzter Zugriff: 11. März 2023.
- RND, R. (2023):** UN-Weltwasserkonferenz 2023: António Guterres mahnt zu nachhaltigem Wassermanagement. RedaktionsNetzwerk Deutschland; 25.03.2023; Online: verfügbar unter <https://www.rnd.de/wissen/un-weltwasserkonferenz-2023-antonio-guterres-mahnt-zu-nachhaltigem-wassermanagement-XTNF6PK3XNB2THAYBG5MGW3ZPU.html>, letzter Zugriff: 29. März 2023.
- RÜTZ, T. (2022):** Geotechnischer Bericht für das Mehrgenerationenhaus in der Werlseeestr. IBR/214/22. 20.05.2022, Ingenieurbüro Rütz GmbH, Borkheide.
- SAMPSONS2. (2020):** Daten-Steckbriefe in SAMPSONS2.
- SENUMVK. (2023):** GründachPLUS – Berlin klimarobust machen mit grünen Dächern und Fassaden. Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz; 01.03.2023; Online: verfügbar unter <https://www.berlin.de/sen/uvk/natur-und-gruen/stadtgruen/gebaeudegruen/gruendachplus/>, letzter Zugriff: 27. März 2023.
- . (2022):** Hinweisblatt 2 zur Antragstellung: Versickerung von Niederschlagswasser. Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz; Dezember 2022; Online: verfügbar unter https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/wasser-und-geologie/publikationen-und-merkblaetter/hinweisblatt2-versick.pdf letzter Zugriff: 7. April 2023.
- SHKWISSEN. (2009):** Grauwasseranlage auf Basis eines Membranbioreaktors - SHKwissen. Online: verfügbar unter <https://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/959/Grauwasseranlage-auf-Basis-eines-Membranbioreaktors>, letzter Zugriff: 1. April 2023.
- Solargesetz Berlin. (2022):** Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe; Inkrafttreten am 01.01.2023; Online: verfügbar unter <https://www.berlin.de/sen/energie/erneuerbare-energien/solargesetz-berlin/artikel.1053243.php>, letzter Zugriff: 11. März 2023.

- SPIEGEL. (2022):** Rhein: Niedrigwasser und Hitze im Sommer ohne großflächiges Fischsterben. In: Der Spiegel Online; 21.10.2022; Online: verfügbar unter <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/rhein-niedrigwasser-und-hitze-im-sommer-ohne-grossflaechiges-fischsterben-a-f1514d3f-5e0f-404b-8bac-171d6d238580>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- STALLMANN, M. (2022):** CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde Strom steigen 2021 wieder an. Online: verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen>, letzter Zugriff: 22. März 2023.
- SUSANA, G. RAUSCHNING, W. BERGER, B. EBELING u. A. SCHÖPE. (2009):** Fallstudie für nachhaltige Sanitärversorgungsprojekte - Ökologische Siedlung mit Komposttoiletten in Allermöhe, Hamburg, Deutschland. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- TAGESSCHAU.DE. (2022):** Klimaziele bei Verkehr und Bau verfehlt. Tagesschau Online; Online: verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/klimaziele-verfehlt-101.html>, letzter Zugriff: 27. Oktober 2022.
- UBA. (2018):** Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in der Umwelt. Umweltbundesamt. 06.11.2018; Online: verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/antibiotika-antibiotikaresistenzen-in-der-umwelt>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- . **(2020):** Einträge von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer. Umweltbundesamt; Online: verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/eintraege-von-naehr-schadstoffen-in-die>, letzter Zugriff: 8. April 2023.
- . **(2022):** Fischsterben in der Oder, August 2022 – Statusbericht. Umweltbundesamt; 30.09.2023; Online: verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/Bericht_-_Fischsterben_in_der_Oder_20220929_bf.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- . **(2017):** Wasserwirtschaft in Deutschland – Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Umweltbundesamt; Oktober 2017; Online: verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- UN. (2023):** UN 2023 Water Conference - Thematic Areas Explainers. United Nations; 03.2023; Online: verfügbar unter https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2023/02/Conference_Themes_Explainer.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

- UNI WEIMAR u. DWA. (2015):** Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung. Bauhaus-Universitätsverlag.
- UNITED NATIONS. (2015):** Klimaabkommen von Paris. United Nations; 12.12.2015; Online: verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- VESER, S. u. J. LONDONG. (2017):** Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand - Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen; Fraunhofer IRB Verlag.
- VUNA. (2023):** Urin Recycling Technologie – Aurin. Vuna GmbH; Online: verfügbar unter <https://vuna.ch/urin-recycling-technologie/>, letzter Zugriff: 11. April 2023.
- WALD, C. (2022):** The urine revolution: how recycling pee could help to save the world. In: Nature 602 (7896): 202–206, 09.02.2022; Online: verfügbar unter <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00338-6>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- WASVERSABV BE. (2008):** Verordnung über den Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung Berlins und deren Benutzung. Online: verfügbar unter <https://gesetze.berlin.de/bsbe/document/jlr-WasVersABVBErahmen>, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- WHG. (2009):** Wasserhaushaltsgesetz. 31.07.2009; Online: verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html, letzter Zugriff: 7. April 2023.
- WHO. (2013):** Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater Volume 4 Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organisation; Online: verfügbar unter <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9241546859>, letzter Zugriff: 1. April 2023.
- WILKE, S. (2022):** Wassernutzung privater Haushalte. Umweltbundesamt; Online: verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wassernutzung-privater-haushalte>, letzter Zugriff: 17. März 2023.
- WVO-WW-F'HAGEN. (1999):** Wasserschutzgebietsverordnung Friedrichshagen. Senatsverwaltung Berlin; 31.08.1999; Online: verfügbar unter https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umweltschutz/service/rechtsvorschriften/wasser-und-geologie/wvo-ww_friedrichshagen.pdf, letzter Zugriff: 7. April 2023.

WWF. (2022): Earth Overshoot Day. Online: verfügbar unter <https://www.wwf.de/earth-overshoot-day>, letzter Zugriff: 3. April 2023.

YADAV, A., F. CHAZARENC u. S. MUTNURI. (2018): Development of the “French system” vertical flow constructed wetland to treat raw domestic wastewater in India. In: Ecological Engineering 113: 88–93.

ZIRKULIERBAR. (2023): Digitale Pressemappe des Forschungsprojektes zirkulierBAR.

ZIRKULIERBAR. (2023): zirkulierBAR – REGION.innovativ. Online: verfügbar unter <https://zirkulierbar.de/>, letzter Zugriff: 31. März 2023.

Anhang

- A1** **Architektur, Planungsbeispiel WSX, LP2**

- A2** **Fragebogen über ROSS bei den künftigen Mietenden (leer)**

- A3** **Vorentwurfsplanung Außenanlagen WSX vom 23.03.2023**

- A4** **Visualisierung der Abwasserfrachten durch SAmpSONS2**
 - Variante 1: Planungsbeispiel WSX mit konventionellem Sanitärsystem
 - Variante 2: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage und Wärmerückgewinnung
 - Variante 3: Planungsbeispiel WSX mit Grauwasseranlage, Wärmerückgewinnung und Urin-Recyclinganlage

- A5** **Datenblatt Grauwasseranlage DEHOUST GWM Typ 3**