



Hochschule RheinMain • RheinMain University of Applied Sciences
Wiesbaden - Rüsselsheim - Geisenheim

UmweltManagement und Infrastrukturplanung im Ballungsraum (UMIB)

34190 Interdisziplinäres Projekt:
Projekt Strukturplanung und Kooperation

Brauchwasser (Grauwasser) - Recycling mit ingenieurökologischen und technischen Verfahren in Europa und Entwicklungsländern

Betreuer: Prof. Dr. Heinz Eckhardt HSRM; Dr. Gramel KfW; Dipl.-Ing. Paul Guckelsberger HSRM
von: Kathrin Ackermann, Matr.-Nr. 161382 (B. Eng. Landschaftsarchitektur HSRM).

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1.Wasserverfügbarkeit	1
1.2.Klimawandel und Wasserversorgung	3
1.3.Demographischer Wandel und Wasserversorgung	5
1.4.Problematik für die Wasserwirtschaft	8
1.5.Aufgabenstellung	10
2. Grundlagen	11
2.1.Wasserver- und Entsorgung in Deutschland	11
2.2.Wasserver- und Entsorgungsgebühren	16
2.3.Status quo der Abwasserentsorgung in Deutschland	20
2.3.1. Misch- und Trennsystem	21
2.3.2. Zentrale und dezentrale Abwasserbehandlung	22
2.4.Definition der häuslichen Abwasserteilströme	23
2.5.Belastung des häuslichen Abwassers	24
3. Grauwasser	27
3.1.Definition Stoffstrom Grauwasser	27
3.2.Grauwassermenge in privaten Haushalten	27
3.3.Grauwasserbeschaffenheit	29
4. Anforderungen an das Grauwasserrecycling	35
4.1.Rechtliche Anforderungen an die Wasserqualität zur Abwasserwiederverwendung	35
4.1.1. Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Toilettenspülung	35
4.1.2. Allgemein rechtliche Anforderungen für die Bewässerung	39
4.1.3. Allgemein rechtliche Anforderungen für eine Teilnutzung als Wasch- und Spülmaschinenwasser	43
4.1.4. Allgemein rechtliche Anforderungen an die Einleitung und Versickerung von Grauwasser	45
4.2.Technische Voraussetzungen für Grauwasserrecycling	47
4.2.1. Installationstechnische Aspekte	47

4.2.2. Stoffstromsysteme	51
4.2.2.1. Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem	55
4.2.2.2. Urintrennung 3-Stoffstromsystem	57
4.2.2.3. Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten)	59
4.2.2.4. Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoilette)	61
5. Behandlungsverfahren zur Aufbereitung von Grauwasser	65
5.1. Mechanische Reinigung/Vorbehandlung	71
5.1.1. Sedimentation	71
5.1.2. Siebung/Filtration	72
5.1.3. Physikalische Reinigung - Entspannungsflotation	73
5.2. Biologische Reinigung	75
5.2.1. Naturnahe Verfahren	76
5.2.1.1. Bepflanzte Bodenfilter/Pflanzenkläranlage	76
5.2.1.2. Teichanlagen	79
5.2.2. Technische Verfahren	83
5.2.2.1. Ökowanne	83
5.2.2.2. Konventionelle Belebungsanlage (kontinuierlich)/Belebungsverfahren	84
5.2.2.3. Sequencing-Batch-Reactor-Verfahren/Belebungsverfahren	87
5.2.2.4. Tropfkörperanlage/Biofilmverfahren	91
5.2.2.5. Rotationstauchkörperanlage/Biofilmverfahren	95
5.2.2.6. Getauchte Festbettanlage/Biofilmverfahren	98
5.2.2.7. Membranverfahren	100
5.3. Übersichtstabellen zur Behandlung von Grauwasser	105
5.4. Nachbehandlung	117
5.4.1. UV-Entkeimung	118
5.4.2. Behandlung mit Ozon	120
6. Referenzprojekte von Grauwasseraufbereitungsanlagen	122
6.1. Grauwassernutzung Kassel-Hasenhecke	122

6.1.1. Aufbau und Funktion der installierten Grauwasseraufbereitungsanlage	124
6.1.2. Probenahme- und Messstellen	127
6.1.3. Abwassertechnische Untersuchungen	130
6.1.4. Reinigungsleistung der Anlage	133
6.1.5. Mikrobiologische Untersuchungen	134
6.1.6. Mengenbilanz	138
6.1.7. Stromverbrauch	140
6.1.8. Wartung der Grauwasseraufbereitungsanlage	141
6.1.9. Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	143
6.1.10.Zusammenfassung	145
6.2.Grauwassernutzung in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika)	146
6.2.1. Projekthintergrund	147
6.2.2. Beschreibung der Wohnanlage	147
6.2.3. Wasserbedarfsermittlung	148
6.2.4. Vorhandene Wasserquellen (Ersatzquellen für Trinkwasser)	149
6.2.5. Projektbeschreibung und Projektrealisierung	150
6.2.6. Grau- und Regenwasserableitung	151
6.2.7. Wasseraufbereitung mit bewachsenem horizontalen Bodenfilter	152
6.2.8. Hochbehälter und Stromversorgung	153
6.2.9. Nutzwasserverteilungssystem	154
6.2.10.Wartungs- und Kontrollarbeiten	154
6.2.11.Kostenaufstellung	155
6.3.Gegenüberstellung der Projekte	155
7. Vergleich und Bewertung der Grauwasseraufbereitung	160
7.1.Gegenüberstellung der verschiedenen Aufbereitungsverfahren	160
7.2.Vor- und Nachteile der verschiedenen Aufbereitungsverfahren in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung	163
7.3.Kostenbetrachtung und Wirtschaftlichkeit	168
7.4.Abschließender Vergleich der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung	170

8. Ausblick	172
9. Quellen	174
9.1.Literaturquellen	174
9.2.Online-Quellen	176
10.Abbildungsverzeichnis	178
11.Tabellenverzeichnis	180

1. Einleitung

Der bewusste Umgang mit Wasser, Energie und Ressourcen dominiert derzeit die Umweltpolitik. Weltweit wird kostbares Trinkwasser für die Bewässerung, Reinigung oder Toilettenspülung verwendet und die **ungleiche Wasserverteilung** stellt uns jetzt wie auch in Zukunft vor eine große Herausforderung.

Der Klimawandel hat ebenfalls schwerwiegende Folgen für die Wasserwirtschaft sind. Die **Hauptaufgaben** der Zukunft werden dadurch im **Ressourcenschutz**, in der **Wasseraufbereitung** und im **Wassermanagement** liegen, und das auch in Deutschland, dass im internationalen Vergleich immer noch als „wasserreiches“ Land bezeichnet wird.

Zudem spielt auch der **demographische Wandel** in der Wasserwirtschaft eine große Rolle. Während die weltübergreifenden Prognosen einen Anstieg der Bevölkerung prognostizieren stellt sich die Situation in Deutschland anders dar. Hier ist ein Rückgang der Bevölkerung zu verzeichnen. Die Probleme und Konflikte, die sich aus beiden Situationen für die Wasserver- und Entsorgung ergeben, sind sehr unterschiedlich, und deutlich spürbar.

Die durch Klimawandel und demographischen Wandel ausgelösten **Wasserkrisen** werden uns also vor die Aufgabe stellen alternative Lösungen finden zu müssen.

1.1. Wasserverfügbarkeit

Wasser ist zwar die am häufigsten vorkommende Substanz, jedoch sind davon nur **2,54% Süßwasser**, die restlichen **97,47% sind Salzwasser**. Zwei Drittel der Süßwasservorräte sind in Gletschern und Schneedecken gebunden. Für uns zugänglich sind Süßwasservorkommen in Seen, Flüssen und Grundwasserleitern. Sie machen jedoch nur 0,3% der Vorräte aus. Dazu kommen vom Menschen angelegte Speicherkapazitäten in Talsperren (8.000 Kubikkilometer). Weltweit existieren ungefähr 45.000 Großstaudämme, die für unsere Wasserversorgung unverzichtbar, aber durchaus bedenklich sind.¹

Die **Wasserverfügbarkeit** ist in den verschiedenen Teilen der Welt sehr unterschiedlich und unterliegt sehr großen Schwankungen. Theoretisch stand den knapp 6,7 Milliarden Menschen im Jahr 2008 auf der Erde genug Süßwasser zur Verfügung, um die Bedürfnisse Aller zu decken. Ein Mensch benötigt maximal **980 m³ Wasser** im Jahr für seine **Nahrungsmittelproduktion**, als **Trinkwasser** und zur **Hygiene**. Weltweit betrachtet stehen 213.000 Kubikkilometer Wasser für den Menschen zur Verfügung. Es ist jedoch räumlich und zeitlich derart ungleich verteilt, dass dies regional zu **Wasserknappheit** führt. Eine Ursache dafür ist die ungleiche Verteilung der

¹ UNESCO, 2003: „Water for people, Water for life - UN World Water Development Report.“, Bonn 2003.

Niederschläge. Geographisch gesehen sind der Nahe Osten, Nordafrika und weite Teile Asiens der größten Wasserknappheit ausgesetzt.²

Der Mensch entnimmt derzeit rund 8% des gesamten jährlich erneuerbaren Süßwassers, 26% der jährlichen Evapotranspiration und 54% des verfügbaren Abflusses aus Flüssen. Der **Weltwasserverbrauch** hat sich zwischen 1930 und 2002 **versechsfacht**. Das heißt, dass sich der Pro-Kopf-Verbrauch im Durchschnitt verdoppelt und, dass sich die Weltbevölkerung verdreifacht hat.

Die Folge ist, dass Wasser wird für alle Nutzungsformen knapp. Ein weiteres Problem sind die **zunehmenden Verschmutzungen**, welche die Süßwasservorkommen kontaminieren und die nutzbare Menge damit verringern. Es wird geschätzt, dass täglich circa zwei Millionen Tonnen Abfälle in Vorflutern abgelagert werden. Einige Schätzungen gehen derzeit von einer globalen Abwasserproduktion von 1.500 Kubikkilometern aus. Wenn man nun davon ausgeht, dass ein Liter Abwasser acht Liter Süßwasser verunreinigen, so würde sich die **Abwasserbelastung** auf 12.000 Kubikkilometer weltweit erhöhen.

Die UNESCO schreibt in ihrem „World Water Report“ von 2003: „Mitte dieses Jahrhunderts werden im schlimmsten Fall 7 Milliarden Menschen in 60 Ländern und im besten Fall 2 Milliarden Menschen in 45 Ländern von Wasserknappheit betroffen sein.“³

Globale Übersicht des Anteils am verfügbaren Süßwasser im Vergleich zum Anteil an der Bevölkerung

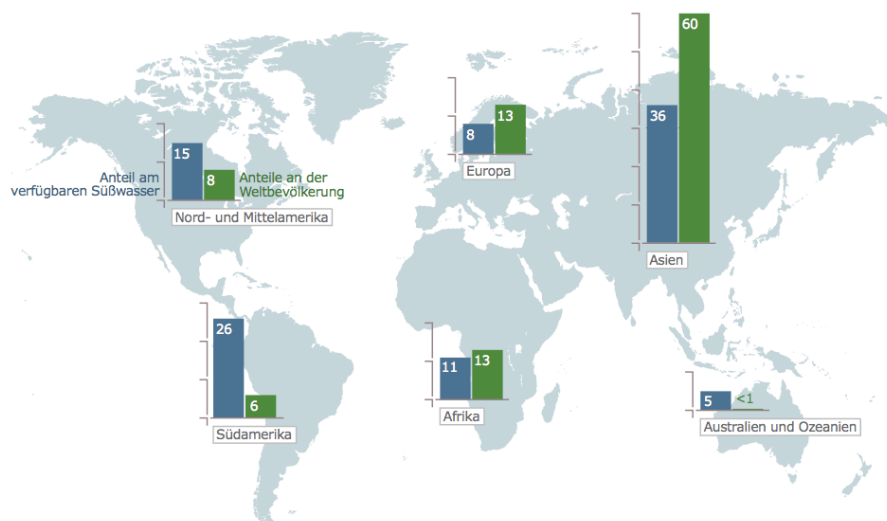


Abb1.: Globale Übersicht des Anteils am verfügbaren Süßwasser im Vergleich zum Anteil an der Bevölkerung.
Quelle: BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG, <http://www.bpb.de/wissen/VGPF7A,0,0,Wasserverf%FCgbarkeit.html>, Stand 21.05.2010.

² BERLIN INSTITUT FÜR BEVÖLKERUNG UND ENTWICKLUNG: „Weltbevölkerung, Wasserdargebot und Wassernachfrage.“ von Udo Simonis, <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/umwelt/wasser.html>, Stand 25.05.2010.

³ UNESCO, 2003: „Water for people, Water for life - UN World Water Development Report.“, Bonn 2003.

Deutschland wird mit einem **verfügbaren Wasserdargebot von 188 Milliarden m³** als wasserreiches Land bezeichnet. Die an die **öffentliche Wasserversorgung** angeschlossenen Wirtschaftsbereiche und private Haushalte verbrauchen derzeit circa 19% des zur Verfügung stehenden Wassers (2004). Das bedeutet, dass 81% des jährlichen Wasserdargebots nicht genutzt werden. In den letzten 15 Jahren wurde außerdem ein **Rückgang der entnommenen Wassermengen** verzeichnet. Im Jahr 2004 betrug die gesamte entnommene Wassermenge 35,6 Milliarden m³. Der größte Anteil fiel dabei auf Wärmekraftwerke, mit rund 12% Verbrauch (~ 22,5 Mrd. m³) für die öffentliche Energieversorgung verbrauchen. **Private Haushalte und Kleingewerbe** verbrauchten nur rund 3% (~ 5,4 Mrd. m³) des vorhandenen Wasserdargebots.

Ein erster Indikator dafür, ob die verfügbare Wassermenge für die Wasserversorgung ausreicht, ist das Pro-Kopf-Dargebot. Im Jahr 2004 standen für 82,5 Millionen Einwohner pro Kopf circa 2.278 m³ nutzbares Wasser zur Verfügung, was einer **potenziellen Wassermenge** von 6.241 l pro Kopf und Tag entspricht. Bis zum Jahr 2007 ist ein weiterer Rückgang der Wassergewinnung in Deutschland verzeichnet worden. So betrug die gewonnene Wassermenge 2007 rund 32,3 Mrd. m³. Davon wurden 10% (~ 19,7 Mrd. m³) für die öffentliche Wasserversorgung in Wärmekraftwerken verbraucht und 2,7% für die öffentliche Wasserversorgung. Damit lag das **Pro-Kopf-Dargebot 2007 für 82,2 Millionen Einwohner bei 2.287 m³**.⁴

1.2. Klimawandel und Wasserversorgung

Als zentrales Thema der Nachhaltigkeitsstrategie werden der **Klimawandel** und seine Folgen von vielen Gremien diskutiert. Die Auswirkungen, die der Klimawandel auf die **Wasserversorgung** haben kann wurden in verschiedenen Fallstudien und Klimamodellen prognostiziert. Doch schon heute sind diese durchaus spürbar. Zu ihnen zählen der Anstieg der Lufttemperatur, das Absinken des Grundwasserspiegels und die Häufung hydrologischer Extremereignisse.

In Bezug auf die Wasserversorgung sind vor allem **Auswirkungen auf die Rohwasserqualität** und das **Wasserdargebot** ein zentrales Thema, das weltweit Einzug halten wird.

Das **Wasserdargebot** wird vor allem bei länger anhaltenden Dürrephasen durch sinkende Grundwasserspiegel, verminderte Quellschüttung und Niedrigwassersituationen in Flüssen zeitweise verringert. Hierdurch entstehen vor allem Konflikte mit anderen Wassernutzern, wie der Land- und Forstwirtschaft sowie mit dem Naturschutz. So wird angenommen, dass insbesondere der Osten Deutschlands durch seine kontinentale Lage in Engpasssituationen geraten wird.

⁴ STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009: „Statistisches Jahrbuch 2009“, Wiesbaden 2009, S.301-303.

Die **Wasserqualität** wird durch Mineralisationsschübe im Oberboden, verursacht durch länger anhaltende Wärme- und Trockenphasen im Sommer, und die damit verbundene erhöhte Nitratbelastung des Grundwassers bei einsetzenden Niederschlägen beeinträchtigt.⁵

Folgende **Auswirkungen** zeichnen sich durch eine Veränderung des Wasserdargebots ab und haben ebenfalls Einfluss auf die Wasserqualität:

- Dauerhaft sinkende, saisonal **verringerte** oder **ausbleibende Grundwasserneubildung**.
→ Folge ist, dass sich das Wasserdargebot in Regionen mit verringerter Neubildung und geringen Grundwasservorkommen deutlich verschlechtert.
- In Regionen, in denen die Grundwasserneubildung ausschließlich im Winterhalbjahr erfolgt und diese immer feuchter werden, ist mit einem **Anstieg des mittleren Grundwasserspiegels** zu rechnen.
→ Folgen sind Vernässung und Schäden an Bauwerken.
- In Regionen mit zunehmender Grundwasserneubildung und großen Grundwasservorkommen ist mit einer Verbesserung des Dargebots zu rechnen.
- **Sinkende Grundwasserspiegel** verursachen die Verringerung des Vordrucks.
→ Folgen sind Probleme mit Brunnenpumpen, oder im Extremfall das Trockenfallen des Brunnens.
- Beeinträchtigung der Rohwasserqualität durch **Starkregenereignisse**.
→ Folge ist der erhöhte Eintrag von sediment- und partikelgebundenen Stoffen und Mikroorganismen durch erosive Oberflächenabflüsse.
- Episodisch und saisonal sinkende See- und Talsperrenspeiegel führen zu einer **Verringerung der Rohwasserverfügbarkeit**.
→ Folge ist die Abnahme des für die Wasserentnahme geeigneten Speichervolumens.
- **Steigende Hochwassergefahr** durch Starkregenereignisse.
→ Folgen sind Überschwemmungen, die die Rohwasserqualität beeinträchtigen.
- **Niedrigwasserführung der Flüsse**.
→ Folgen sind die Einschränkung der Wasserentnahmen, steigende Stoffkonzentrationen und Beeinträchtigung der Rohwasserqualität.
- Anstieg der Lufttemperatur.
→ Folge ist, dass in Seen und Talsperren keine Vollzirkulation des Wassers stattfindet. Diese ist für die Sauerstoffzufuhr entscheidend. Eine Verschlechterung der Trinkwasserqualität tritt ein.

⁵ DVGW, 2007: „Klimawandel und Wasserversorgung“, DVGW-Forum, 18. Oktober 2007, Bonn, <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/ressourcen/klimawandel.pdf> (Stand 20.05.2010).

→ Weitere Folge ist eine schnellere Verkeimung, die sich auch im Trinkwasserverteilernetz auswirken kann.⁶

Dies sind nur einige wesentliche Folgen. Die Liste der durch den Klimawandel ausgelösten Probleme in Bezug auf die Wasserversorgung ist weitaus länger. Die **Anpassungsstrategien** umfassen den Ressourcenschutz, die Gewinnung und Aufbereitung von Wasser, Organisation und Management sowie politische Handlungsoptionen.

Ein Ziel für die Gewährleistung der Wasserversorgung in ausreichender Menge und Qualität ist die **Verbesserung der Wasseraufbereitung** und die **effizientere Nutzung von Wasser**. Alternativen sind derzeit schon vorhanden werden aber leider viel zu wenig genutzt. Die Nutzung von Grauwasser ist dabei eine alternative und ressourcenschonende Möglichkeit innerhalb der dezentralen Wasserver- und Entsorgung und kann somit zur Senkung des Wasserverbrauchs beitragen.⁷

1.3. Demographischer Wandel und Wasserversorgung

In der Wasserwirtschaft spielten bisher Themen wie Wasseranalytik und Wasseraufbereitungstechniken eine große Rolle. In Zukunft wird jedoch eine Verlagerung der Schwerpunkte stattfinden. Gerade auch die Frage nach **demographischen Bewegungen** stellt die Wasserversorgung vor neue Herausforderungen.

Derzeit leben über sechs Milliarden Menschen auf der Erde. Die **Weltbevölkerung** hat sich seit 1900 nahezu **vervierfacht**. Das verfügbare Wasser ist in vielen Teilen der Welt sehr knapp oder teilweise stark verschmutzt.⁸

Man geht derzeit davon aus, dass rund 1,1 Milliarden Menschen **keinen Zugang zu sauberem Wasser** haben und rund 2,6 Milliarden Menschen ohne angemessene Sanitäranlagen auskommen müssen. Die **Sterblichkeitsrate**, die durch wasserbedingte Krankheiten verursacht wird liegt bei 1,8 Milliarden Menschen jährlich.⁹

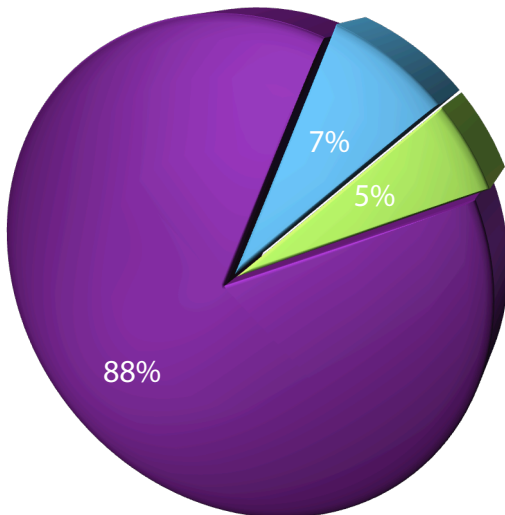
⁶ DVGW, 2010: "Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien - eine Information des DVGW Lenkungs Komitees Wasserwirtschaft, Wassergüte, Wasserwerke und Wasserversorgungssysteme.", Zeitschrift Energie/Wasser-Praxis 03/2010, S.20-23.

⁷ PIEPLOW, H., 2009: „Ökologische Industriepolitik zur Förderung von Innovationen, Mittelstand und Beschäftigung“, fbr Schriftenreihe 12 Grauwasser-Recycling - Wasser zweimal nutzen, Darmstadt 2009, S.7-11.

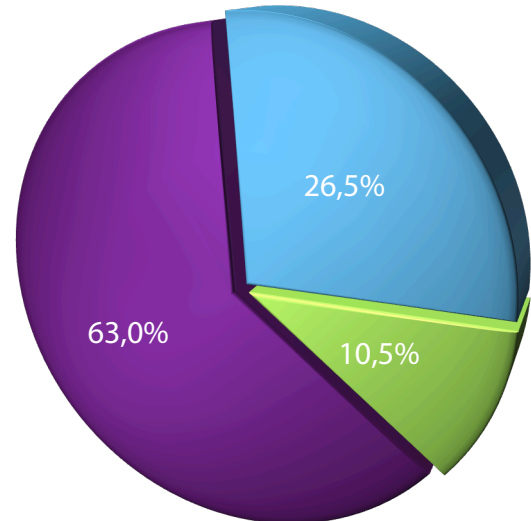
⁸ DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG: „Weltbevölkerung und Wasser - Wasser wird immer knapper“, DSW-Info, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.dpf, Stand 25.05.2020.

⁹ BERLIN INSTITUT FÜR BEVÖLKERUNG UND ENTWICKLUNG: „Weltbevölkerung, Wasserdargebot und Wassernachfrage.“ von Udo Simonis, <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/umwelt/wasser.html>, Stand 25.05.2010.

Weltbevölkerung 2005



Weltbevölkerung 2025



● ausreichende Verfügbarkeit ● Wasserknappheit ● Wassermangel

Abb.2: Weltbevölkerung und Wasserknappheit. Eigene Bearbeitung nach: DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG: „Weltbevölkerung und Wasserknappheit.“, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.pdf, Stand 25.05.2010.

In Abbildung 2 ist die Zahl der Weltbevölkerung im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von Wasser dargestellt. Im Jahr 2005 lebten rund 6,5 Milliarden Menschen auf der Erde. Davon lebten weltweit etwa 745 Millionen Menschen in Ländern, in denen **Wassermangel oder Wasserknappheit** herrschte. Für das Jahr 2025 prognostiziert man eine **Vervierfachung** dieser Zahl. Man rechnet mit einer Weltbevölkerung von rund 7,9 Milliarden Menschen (mittlere Projektion) und mit 2,8 bis 3,3 Milliarden Menschen, die unter chronischem oder wiederkehrendem Süßwassermangel leiden.

Wasserknappheit ist definiert als verfügbares erneuerbares Süßwasserangebot **pro Kopf und Jahr zwischen 1.001 m³ und 1.666 m³**. **Wassermangel** ist definiert als Süßwasserangebot **pro Kopf und Jahr von 1.000 m³ oder weniger**.

Generell nimmt die Wasserknappheit mit wachsender Bevölkerung, zunehmender Verstädterung und wirtschaftlichem Wachstum zu.¹⁰

Derzeit sind vor allem der **Nahe und Mittlere Osten** sowie **Nordafrika** am stärksten von der Wasserknappheit betroffen. In den nächsten 50 Jahren wird sich diese Problematik weiter ausbreiten. Vor allem in Afrika, südlich der Sahara wird ein Mangel an ausreichend Süßwasserreserven herrschen. Der Grund dafür ist, dass sich die Bevölkerung dort voraussichtlich verdoppeln oder sogar verdreifachen wird.

¹⁰ DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG: „Weltbevölkerung und Wasserknappheit.“, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.pdf, Stand 25.05.2010.

An den Orten, an denen die Wasserressourcen knapp sind ist zudem in Zukunft mit einem erhöhten **Konfliktpotential** zu rechnen. Schon heute konkurrieren mehrere Länder um das Wasserdargebot von Flüssen und Seen. Es leben derzeit allein 60% der Weltbevölkerung in grenzüberschreitenden Flusseinzugsgebieten. Es herrschen heute schon Konflikte zwischen der Türkei, Syrien und dem Irak um die Flüsse Euphrat und Tigres. Bedingt durch den wirtschaftlichen Aufschwung der drei Staaten steigt deren Süßwasserbedarf stark an. Die Problematik wird sich auch auf Grund der wachsenden Bevölkerungszahlen in diesen Staaten noch verschärfen.¹¹

In **Deutschland** stellt sich die Situation des demographischen Wandels ein wenig anders dar. Viele Städte und Regionen - vor allem, aber nicht nur der Osten Deutschlands - sind von einem massiven **demographischen und sozialen Wandel** betroffen. Dieser Trend lässt sich für die Zukunft auch für andere Regionen aufzeigen. Die wichtigsten Trends sind:

- Absolute Abnahme der Bevölkerung (= **Schrumpfung**) in Deutschland:
Seit 2003 ist eine Abnahme der Bevölkerung in Deutschland zu erkennen. Die Bevölkerungszahl wird laut Prognosen auch weiterhin rückläufig sein. Dafür verantwortlich ist die niedrige Geburtenrate, die seit mehr als drei Jahrzehnten unter dem für eine Stabilisierung der Bevölkerung notwendigem Maß liegt.
- Veränderung der Altersstruktur der Bevölkerung (= **Alterung**):
Bis 2050 prognostizierte das Statistische Bundesamt eine Erhöhung des Durchschnittsalters um acht Jahre. Dieser Prozess ist ein gesamtdeutsches Problem, das einerseits auf die niedrige Geburtenrate und andererseits auf die höhere durchschnittliche Lebenserwartung zurückzuführen ist.
- Veränderung der sozialen und kulturellen Zusammensetzung der Bevölkerung (= **sozialer Wandel**):
Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Zuwanderung aus dem Ausland. Ebenfalls zu beachten sind allerdings auch die unterschiedlichen Lebensstile und Bildungsniveaus, die unabhängig von Migrationshintergründen vorherrschen.¹²

¹¹ DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEOVÖLKERUNG: „ Weltbevölkerung und Wasser - Wasser wird immer knapper.“, DSW-Info, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.dpf, Stand 25.05.2020.

¹² DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEOVÖLKERUNG: „ Weltbevölkerung und Wasser - Wasser wird immer knapper.“, DSW-Info, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.dpf, Stand 25.05.2020.

Wachstums- und Schrumpfungsgebiete in Deutschland (1993 bis 2002)

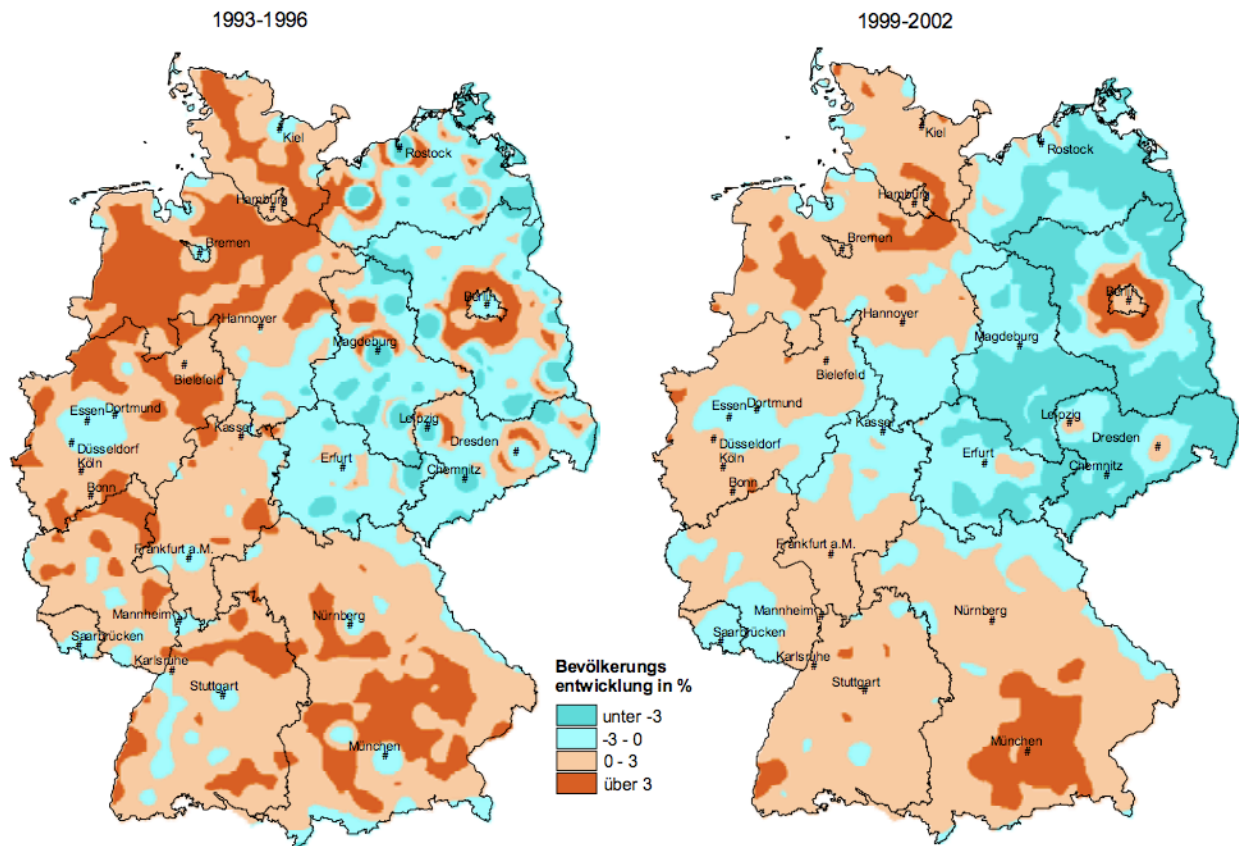


Abb.3: Wachstums- und Schrumpfungsgebiete in Deutschland (1993-2002).

Quelle: UMWELTBUNDESAMT; „Soziodemographischer Wandel in Städten und Regionen - Entwicklungsstrategien aus Umweltsicht.“, UBA-Texte 18/07, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.v., Dresden, S.29.

1.4. Problematik für die Wasserwirtschaft

Vor diesem Hintergrund sind die daraus entstehenden Probleme für die Wasserwirtschaft zu beleuchten. Während in anderen Ländern Wasserknappheit eine enorme Rolle spielt, sind es hierzulande eher Probleme der Wasserver- und Entsorgung. Konflikte entstehen vor allem zwischen der **Einhaltung der Qualitäts- und Umweltkriterien** sowie der **Finanzierungsprobleme**, die sich aus Rückbau-, Erneuerungs- und Wartungsmaßnahmen ergeben.

Abgesehen von der soziodemographischen Entwicklung in Deutschland ist grundsätzlich ein **Rückgang des Trinkwasserverbrauchs** zu beobachten. Die Entnahmen der öffentlichen Wasserversorgung sanken zwischen 1991 und 1998 bei steigender Gesamtbevölkerungszahl um ungefähr 15%. Hierfür sind vor allem technische Verbesserungen (z.B. bei Toilettenspülungen und Haushaltsgeräten) verantwortlich. Auch im gewerblichen Bereich ist dieser Trend zu verzeichnen. Der Rückgang des Verbrauchs war in den ostdeutschen Bundesländern erheblich höher als im Westen Deutschlands. Im Allgemeinen ist der **bundesweite Wasserverbrauch** von Haushalten und Kleingewerbe **je Einwohner und Tag auf 125 Liter** (im Jahr 2007) zurückgegangen.

Daraus ergeben sich für die Leitungssysteme kumulierende Effekte. Der Rückgang der Bevölkerung und der **rückläufige Pro-Kopf-Verbrauch** der Bevölkerung führen zu einer **Überkapazität**. Dadurch entstehen niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten und eine bis zu **4- bis 5-fache Verweildauer des Trinkwassers** in den Leitungssystemen. Verweilt das Trinkwasser länger als fünf Tage im Netz so kann es zu farblichen und geruchlichen Beeinträchtigungen kommen. Ferner besteht das Risiko, dass sich die **Keimbelastung des Wassers** erhöht. Dies gilt vor allem für ältere Leitungssysteme, die noch mit Bleirohren ausgestattet sind. In ihnen kann dadurch vor allem die Schwermetallbelastung steigen.

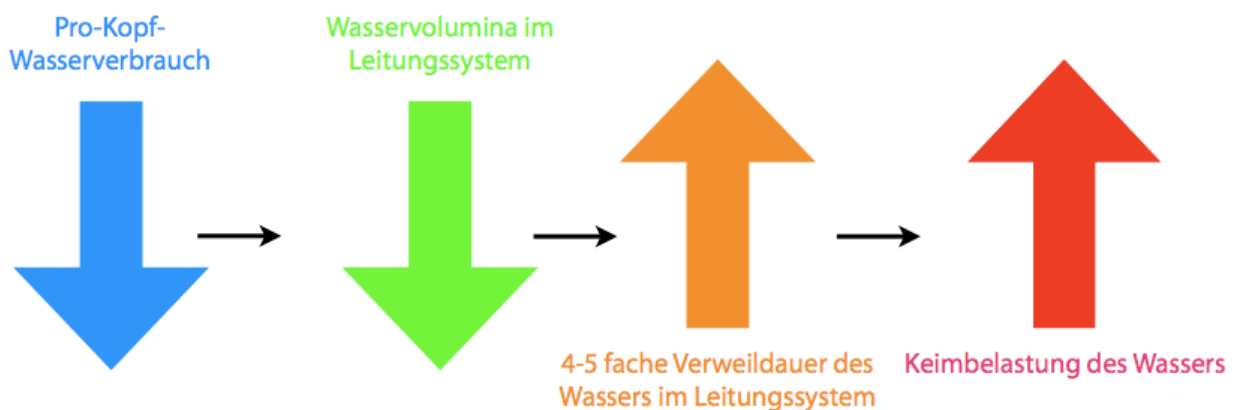


Abb.4: Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen eines verringerten Wasserverbrauchs auf die Trinkwasserversorgung/Trinkwasserleitungen.

In Bezug auf die **Abwasserbehandlung** stellt sich die Situation ähnlich kritisch dar. **Zurückgehende Abwasservolumina** führen ebenfalls zum Absinken der Fließgeschwindigkeit. Wenn das Abwasser länger in den Abwassernetzen verweilt, können **Fäulnisgase und Säuren** entstehen, welche die Leitungssysteme angreifen. In Regionen, in denen das heute schon der Fall ist, werden die Abwasserleitungen zusätzlich gespült. Durch die **Verdünnung der Abwässer** wird deren Reinigung noch erschwert.

Die Folgen wirken sich nicht nur negativ auf die Ver- und Entsorgungsleitungen aus. Die mangelnde Auslastung von Pump- und Klärwerken macht einen Betrieb dieser oft unrentabel. Das heißt, dass bei sinkender Gesamtbevölkerung und Siedlungsdichte zentrale Wasserver- und Entsorgungssysteme nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben sind. Gerade in Schrumpfungsbereichen sind demnach alsbald Anpassungen erforderlich, die diese Probleme lösen können.¹³

¹³ UMWELTBUNDESAMT: „Soziodemographischer Wandel in Städten und Regionen - Entwicklungsstrategien aus Umweltsicht.“, UBA-Texte 18/07, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.v., Dresden, S.62-67.

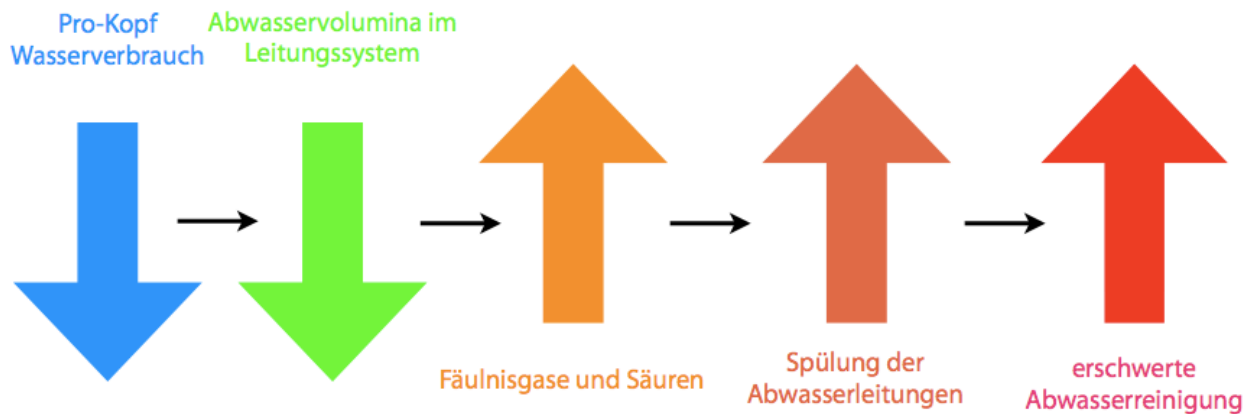


Abb.5: Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen des verringerten Trinkwasserverbrauchs auf die Abwasserleitungen/Abwasserbehandlung.

1.5. Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der vielseitigen Probleme, mit denen wir uns heute und auch in Zukunft in der Wasserwirtschaft auseinandersetzen müssen, wird klar, dass es nicht ausschließlich darum gehen kann Trinkwasser zu sparen. Ein weiteres Ziel sollte die Förderung der Kreislaufführung der Stoffströme im privaten sowie im öffentlichen Bereich sein.

Hierbei stellt die Aufbereitung und Wiederverwendung von aufbereitetem Grauwasser eine Möglichkeit dar, die weltweit einsetzbar ist und dabei unterschiedliche Zwecke erfüllen kann.

Nach eingehender Darstellung der Grundlagen zur Wasserver- und Entsorgung in Deutschland wird in dieser Arbeit der aktuelle Stand der Grauwasseraufbereitung dargestellt. Dazu gehören die Erläuterungen bezüglich der rechtlichen und technischen Anforderungen sowie die Darstellung der einzelnen Systemvarianten. Bei den Systemvarianten wird zwischen naturnahen und technischen Verfahren unterschieden.

Anschließend erfolgt die Vorstellung von zwei Projekten, bei denen unterschiedliche Verfahren der Grauwasseraufbereitung zum Einsatz gekommen sind. Bei dem ersten Projekt handelt es sich um die im Jahr 1996 gebaute Pilotanlage zur Grauwasseraufbereitung in Kassel „Hasenhecke“. Dieses Projekt wurde mit einem technischen Verfahren realisiert. Das zweite Projekt befindet sich in Tansania und wurde 2007 umgesetzt. Hier handelt es sich um ein naturnahes Verfahren zur Grauwasseraufbereitung. Nach eingehender Beschreibung sollen die Projekte gegeneinander gestellt werden.

Daraufhin erfolgt die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Verfahren bezüglich ihrer Vor- und Nachteile und der Wirtschaftlichkeit. Abschließend erfolgt ein Vergleich der Systemvarianten nach festgelegten Kriterien.

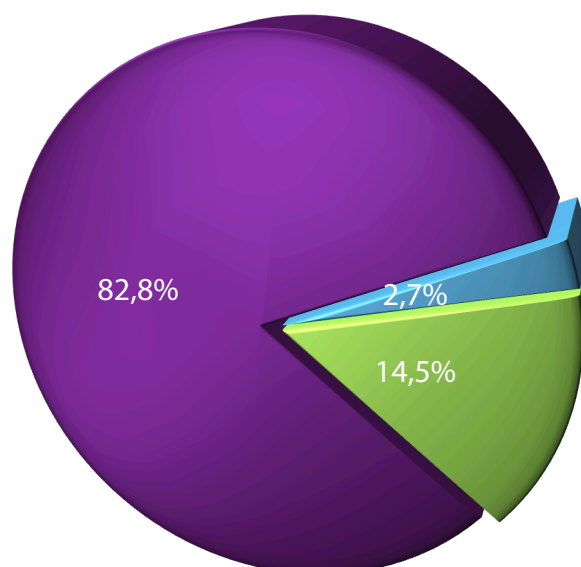
2. Grundlagen

2.1. Wasserver- und Entsorgung in Deutschland

Wie in 1.1 beschrieben ist **Deutschland** mit einem Wasserdargebot (langjähriges Mittel) von 188 Milliarden Kubikmeter ein „**wasserreiches Land**“. Die Wasserentnahme aller Wassernutzer beträgt 32,3 Milliarden Kubikmeter. Wie in Abbildung 4 dargestellt, werden insgesamt rund 17% des jährlichen Wasserdargebots dem Wasserkreislauf entnommen und diesem nach Gebrauch wieder zugeführt. Etwa 83% bleiben ungenutzt.

Die öffentliche Wasserversorgung nutzt rund 2,7% des jährlichen Wasserdargebots. Man geht davon aus, dass die Wasserressourcensituation in Deutschland auch in Zukunft gute Voraussetzungen für die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser bietet.

Wassernutzung in Deutschland 2007



● ungenutzt ● öffentliche Wasserversorgung ● nicht öffentliche Wasserversorgung

Abb.6: Wassernutzung in Deutschland 2007. Eigene Bearbeitung nach: STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009: Statistisches Jahrbuch 2009“, Wiesbaden 2009, S-301-303.

Die **öffentliche Wasserversorgung** wird in Deutschland zum überwiegenden Anteil (~ 66,8%) durch das Grundwasser gesichert. Den Rahmen für die Wasserentnahmen der Wasserversorgungsunternehmen bildet dabei die **natürliche Grundwasserneubildung**. Weitere wichtige Entnahmen zur Trinkwasserversorgung kommen aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat (beides zusammen entspricht ungefähr 25,3%). Das Quellwasser trägt mit 7,9% zur Bedarfsdeckung bei. Das bedeutet, dass je nach Verfügbarkeit geeigneter Wasservorkommen Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser zur öffentlichen Wasserversorgung genutzt wird.

Zwischen 1990 und 2007 hat die jährliche Wasserförderung in Deutschland um 25% abgenommen. Dies entspricht einer **Reduzierung der Wasserförderung** um 1,6 Milliarden m³ (dargestellt in Abbildung 7).

Entwicklung der Wasserförderung in Deutschland 1990 bis 2007

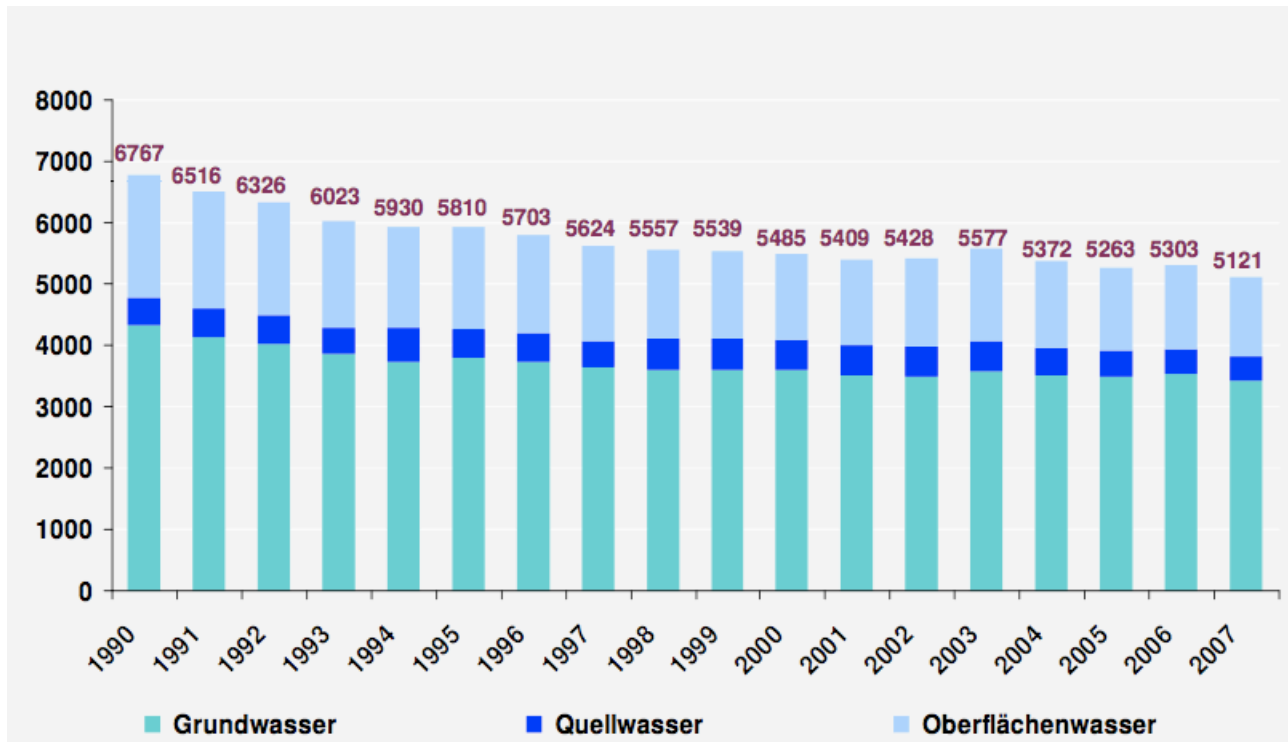


Abb.7: Entwicklung der Wasserförderung 1990-2007 in Millionen Kubikmeter.

Quelle: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2010: „Wasserfakten im Überblick - Stand Januar 2010.“, Seite 2.

Ebenso wie die Wassergewinnung ist auch die Wasserabgabe der öffentlichen Versorger rückläufig. Hier ist zu vermerken, dass zwar der **Wasserverbrauch der privaten Haushalte** inklusive Kleingewerbe seit 1990 gesunken ist, diese Kundengruppe für die Wasserversorgungsunternehmen jedoch an Bedeutung zunimmt (siehe Abbildung 6).

Wasserversorgung nach Kundengruppen 1990 und 2007

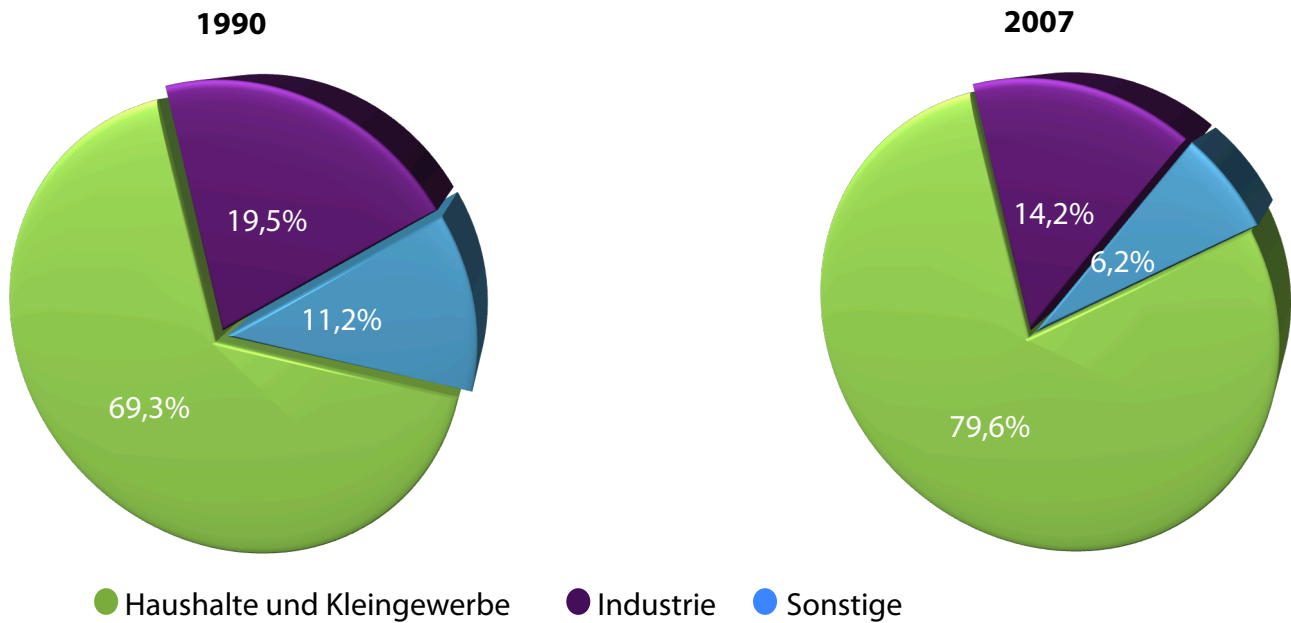


Abb.8: Öffentliche Wasserversorgung in Deutschland - Wasserabgabe nach Kundengruppen 1990 und 2007. Eigene Bearbeitung nach: STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009: „Statistisches Jahrbuch 2009“, Wiesbaden 2009, S.301-303.

Während man in den siebziger Jahren noch von einer Steigerung des täglichen Wasserbedarfs ausging (Wasserversorgungsbericht der Bundesregierung von 1980), ist heute festzustellen, dass diese Prognosen nicht eintreten. Der Wasserversorgungsbericht aus dieser Zeit (bezieht sich nur auf die alten Bundesländer) prognostizierte einen täglichen Wasserverbrauch von 219 Liter pro Einwohner. Der tatsächliche Verbrauch von Haushalten und Kleingewerbe betrug im Jahr 2000 136 Liter/Einwohner und Tag (alte Bundesländer). In den neuen Bundesländern hat sich der spezifische Wasserverbrauch von 142 Liter/Einwohner und Tag (1990) auf 93 Liter/Einwohner und Tag (2000) vermindert. Der bundesweite **Durchschnitt des Wasserverbrauchs der Haushalte** lag 2007 bei **125 Liter/Einwohner und Tag**.¹⁴

¹⁴ BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V., 2010: „Wasserfakten im Überblick - Stand Januar 2010.“

Prognose und tatsächliche Entwicklung des Haushaltswasserverbrauchs - in Litern pro Einwohner und Tag -

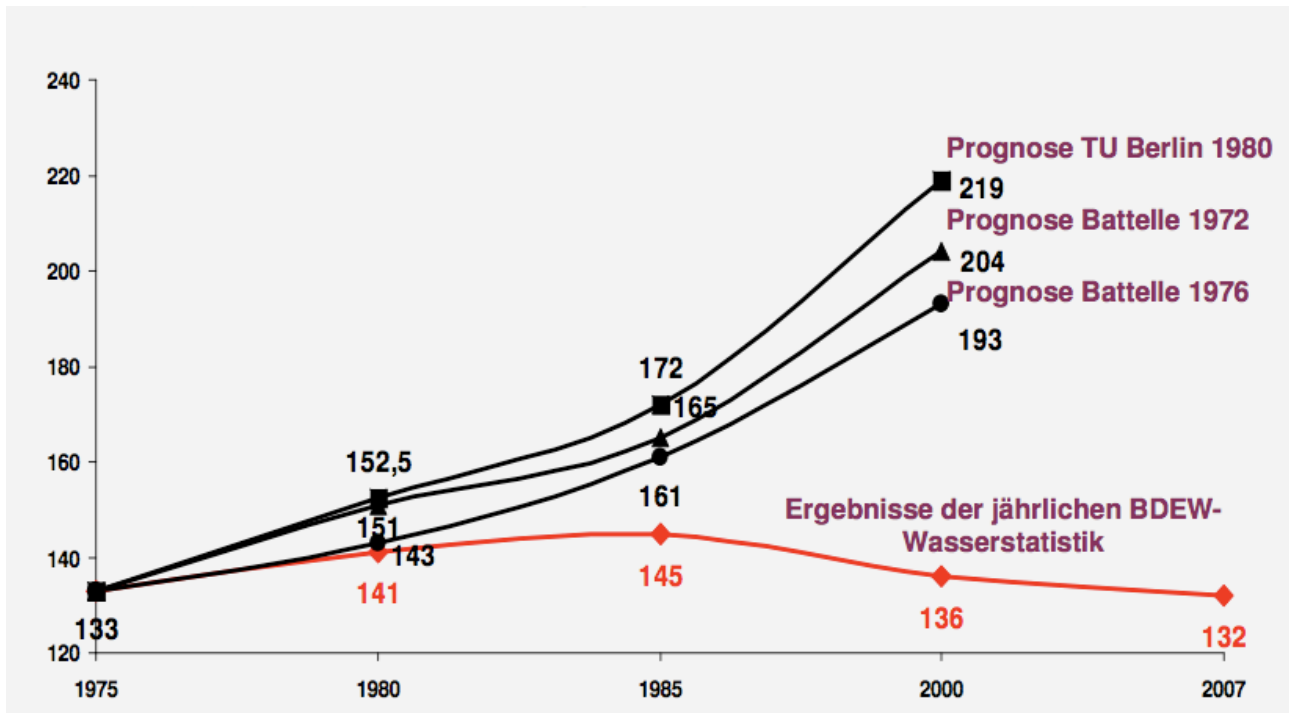


Abb.9: Prognose und tatsächliche Entwicklung des Haushaltswasserverbrauchs in Litern pro Einwohner und Tag.
Quelle: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2010: „Wasserfakten im Überblick - Stand Januar 2010.“, Seite 4.

Europaweit gesehen schwankt der Pro-Kopf-Tagesgebrauch zwischen 97 und 294 Liter. Deutschland ist mit 125 Liter/Einwohner und Tag im unteren Drittel anzusiedeln. Im Vergleich mit anderen Industrienationen wie USA (360 l bis 589 l) oder Kanada (310 l) wird deutlich, dass in Deutschland ein recht sorgsamer und bewusster Umgang mit der Ressource Trinkwasser vorherrscht. Im Ländervergleich ist jedoch darauf zu achten, dass der Pro-Kopf-Verbrauch auch vom Entwicklungsstand eines Landes abhängig ist.¹⁵

¹⁵ ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008.

Pro-Kopf-Wasserverbrauch im europäischen Vergleich

Angaben in Litern pro Einwohner und Tag

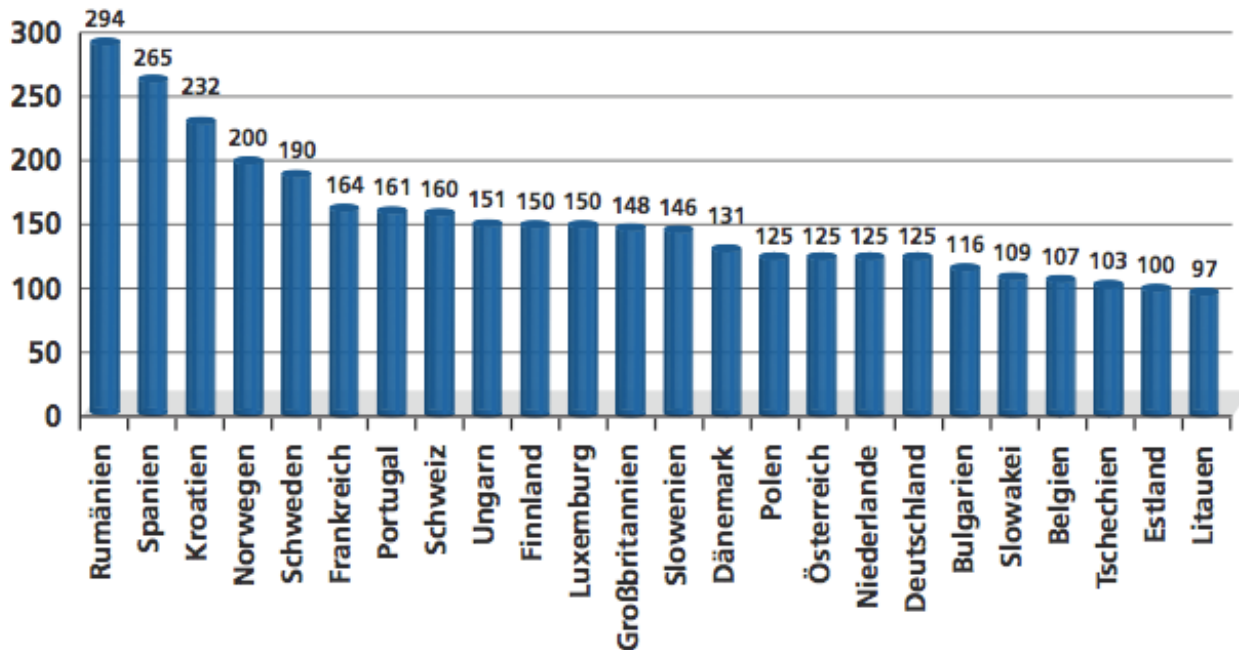


Abb.10: Pro-Kopf-Wasserverbrauch im europäischen Vergleich.

Quelle: ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008, S.21.

Die Anzahl der in Deutschland lebenden Bewohner mit **Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung** liegt seit 1998 konstant bei 99%. Die Anzahl der Gemeinden mit Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung lag im Jahr 2007 bei 12.237, bei einer Gesamtanzahl an Gemeinden in Deutschland von 12.263.

Von 82.261.000 Einwohnern in ganz Deutschland sind rund 79.052.000 an die öffentliche Kanalisation angeschlossen (Stand 2007). Das sind 96% der Bevölkerung. Seit 1989 ist die Zahl der Bevölkerung mit **Anschluss an die öffentliche Kanalisation** demnach von 93% auf 96% angestiegen. Von den 96% mit Anschluss an die öffentliche Kanalisation sind 95% an eine Abwasserbehandlungsanlage angeschlossen (öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen ~ 77.643.000 Einwohner, industrielle Abwasserbehandlungsanlagen ~ 515.000 Einwohner), 1% (~ 849.000 Einwohner) sind ohne Abwasserbehandlung. Das bedeutet, dass rund 3.209.000 Einwohner nicht an die öffentliche Kanalisation angeschlossen sind. Davon wiederum sind rund 2.435.000 an Kleinkläranlagen angeschlossen. Rund 731.000 Einwohner entwässern in abflusslose Gruben.

In **Deutschland** gibt es derzeit rund **9.933 Abwasserbehandlungsanlagen**, die eine Jahresabwassermenge (= Schmutz-, Fremd- und Niederschlagswasser) von insgesamt 10.070.000 m³ bewältigen müssen. Dabei beträgt die Schmutzwassermenge 5.213.000 m³, die Fremdwassermenge beträgt 2.101.000 m³ und die Niederschlagswassermenge beträgt 2.756.000 m³. Die **Jahresschmutzwassermenge** beträgt 5.275.000 m³, davon gelangen besagte 5.213.000 m³ in öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen. Eine Menge von rund 32.000 m³ wird in industriellen und ausländischen Abwasserbehandlungsanlagen behandelt und rund 30.000 m³ werden ohne vorherige Behandlung eingeleitet.

Unter den rund 9.933 Abwasserbehandlungsanlagen sind in Deutschland 9.740 biologische Abwasserbehandlungsanlagen, von denen wiederum 5.929 Anlagen zusätzliche Verfahrensstufen beinhalten, und rund 3.811 Anlagen ohne zusätzliche Verfahrensstufen.¹⁶

2.2. Wasserver- und Entsorgungsgebühren

In Deutschland sind die **Wasserversorgung** und die **Abwasserbeseitigung** Kernaufgaben der **öffentlichen Daseinsvorsorge** und unterliegen der Zuständigkeit der Gemeinden. Als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft sind sie ein Teil des Selbstverwaltungsrechts der Gemeinden (Art. 28 Absatz 2 GG). Diese Leistungen werden von wirtschaftlich arbeitenden, vorwiegend kommunalen Unternehmen erbracht. Sie unterliegen, da sie dem Interesse der Allgemeinheit dienen und mit besonderen Gemeinwohlverpflichtungen verbunden sind, dem Nachhaltigkeitsgedanken und dem Schutz der Umwelt. Die gesamte Branche beschäftigt circa 100.000 Arbeitnehmer in ganz Deutschland.

In der **Wasserversorgung** existieren neben **öffentlich-rechtlichen** auch **privatrechtliche Organisationsformen**. Es besteht jedoch eine Tendenz hin zu privatrechtlichen Rechts- und Organisationsformen. Die Abwasserbeseitigung hingegen erfolgt überwiegend durch öffentlich-rechtliche Unternehmen, da diese als hoheitliche Pflichtaufgabe der Kommunen gilt. Den größten Anteil haben hierbei Eigenbetriebe sowie Zweck- und Wasserverbände.

In der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung ist die Besteuerung in Deutschland nicht einheitlich geregelt. Die **Wasserversorgung** unterliegt grundsätzlich und einheitlich dem ermäßigten **Umsatzsteuersatz von 7%**. Die Besteuerung der Abwasserbeseitigung ist weitaus differenzierter. Während **öffentlich-rechtliche Abwasserbeseitigungsunternehmen** von der Körper- und Umsatzsteuer befreit sind, unterliegen **privat geführte Unternehmen** dem vollen Umsatzsteuersatz von 19% (inclusive der Möglichkeit zum Vorsteuerabzug).

¹⁶ STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009: „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“, Fachserie 19 Reihe 2.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009.

Grundsätzlich unterliegen öffentlich-rechtliche Unternehmen den Kommunalabgabengesetzen (KAG) der Länder. Hier wird dem Unternehmen die Einhaltung des Kostendeckungsprinzips unter Einbindung der Kosten für Substanzerhaltung und Refinanzierung der Anlagen verbindlich vorgeschrieben (weitere Grundsätze der Preis- und Gebührenkalkulation sind den KGA's zu entnehmen). Die **Preis- und Gebührenbildung** unterliegt strengen gesetzlichen Regelungen und einer bis zu dreifachen Kontrolle. Die Entgelte werden bei kommunalen Unternehmen auf kommunalpolitischer Ebene durch den Stadt- oder Gemeinderat, in den Verbänden durch die Verbandsgremien sowie die Kommunalaufsicht kontrolliert. Private und öffentliche Versorgungsunternehmen (insofern sie ihre Leistungen direkt mit dem Verbraucher über Preise abrechnen) unterliegen zudem der Aufsicht der Kartellämter.

Für eine flächendeckende Trinkwasserversorgung in hoher Qualität ist eine gute Infrastruktur (inclusive Erschließungskosten) und ein regionales Versorgungssystem ausschlaggebend. Technische Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung und -verteilung sowie Anlagen zur Abwassersammlung und -reinigung sind notwendig. Beides, **Wasserversorgung** und **Abwasserbeseitigung**, zeichnet sich daher durch eine **hohe Anlagenintensität** aus. Dadurch bedingt ist der Anteil der Investitionskosten (Neubau, Erweiterung, Erneuerung) an den Gesamtkosten sehr hoch. Die Fixkosten betragen circa 70% bis 80%. Dazu zählen unter anderem auch Fixkosten für Betrieb und Unterhaltung der Anlagen. Mengenabhängige Kosten sind nur in geringem Umfang vorhanden. Dazu zählen Pumpstromkosten, Betriebsmittelkosten für die Aufbereitung von Wasser, Wasserentnahmeentgelte, etc.. Des Weiteren muss die Konzessionsabgabe über die Wasserpreise mit erwirtschaftet werden. Diese ist vom Wasserversorger an die betroffene Kommune zu entrichten.

Kostenstruktur in der Wasserversorgung 2004

Anteile in Prozent

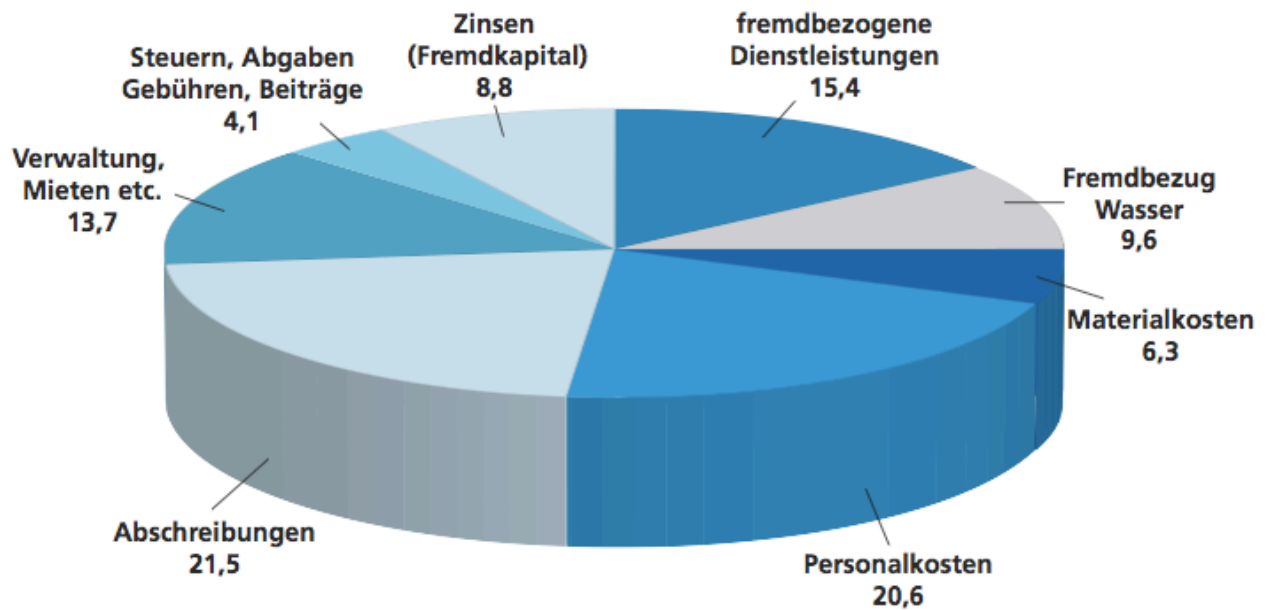


Abb.11: Kostenstruktur in der Wasserversorgung 2004.

Quelle: ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008, S.18.

Kostenstruktur in der Abwasserentsorgung 2005

Anteile in Prozent

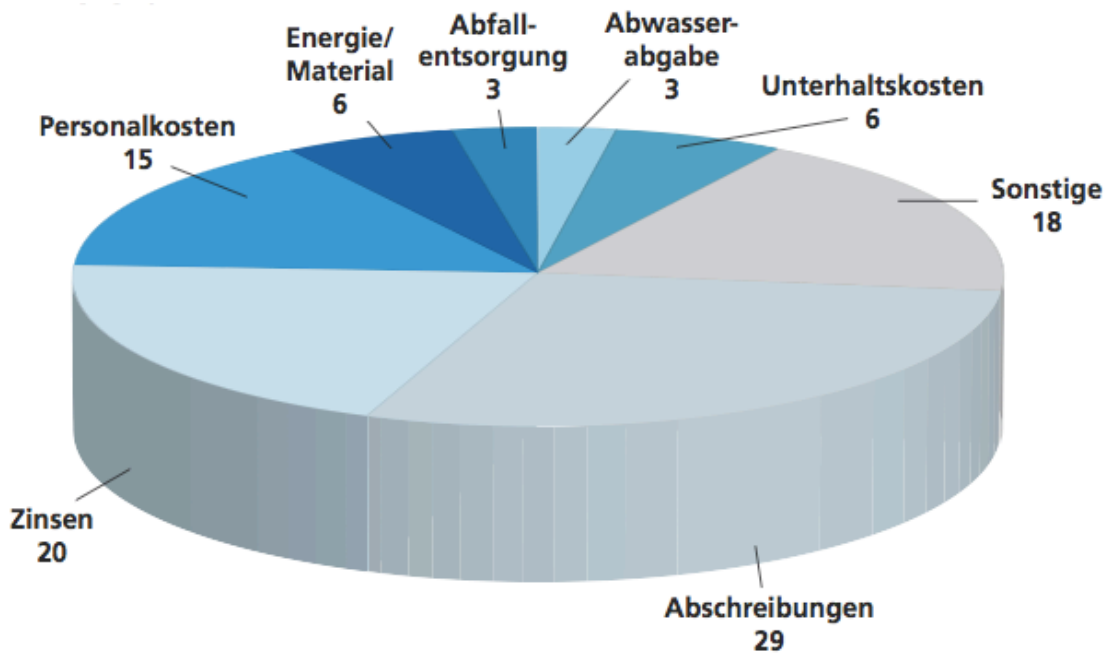


Abb.12: Kostenstruktur in der Abwasserentsorgung 2005.

Quelle: ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008, S.19.

Die **tatsächlichen Trinkwasserkosten** belaufen sich im Durchschnitt auf **1,85 €** (inklusive Mehrwertsteuer und Grundpreis, Stand 2007) **pro 1.000 Liter**. Das heißt, dass ein Bürger im Durchschnitt 0,2 Cent pro Liter Trinkwasser bezahlt. Bei einem Tagesverbrauch von 125 Litern zahlt man ca. 25 Cent für sein Trinkwasser (ohne Hausanschlusskosten und Abwasser). Im Monat belaufen sich die Kosten im Durchschnitt auf 7 € und auf ein Jahr umgerechnet handelt es sich um 84 €. 2007 waren die Trinkwasserpreise nahezu stabil, sie sind im Durchschnitt um 0,5 % gestiegen und liegen damit unter der allgemeinen Preissteigerungsrate von 1,7%. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland mit 84 € Trinkwasserkosten pro Kopf und Jahr günstiger als England/Wales (95 €) und Frankreich (85 €). Es muss allerdings erwähnt werden, dass bei diesem Vergleich die unterschiedlichen Standards hinsichtlich der Einhaltung der Trinkwasserqualität, des Zustandes der Netze, der Unterbrechung der Versorgung, Wasserverluste, etc. nicht berücksichtigt wurden.

Die **Abwassergebühr** liegt bei durchschnittlich **2,28 € pro 1.000 Liter** (Stand 2005). Pro Monat handelt es sich im Schnitt um einen Betrag von 10,75 € und auf das Jahr gerechnet sind es 129 €. Es ist demnach ein Anstieg der Abwassergebühren um 1,4% im Jahr 2005 gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen.

Grundsätzlich unterscheidet man die **Abwassergebühren nach Erhebungsart**. Folgende Arten der Erhebung sind möglich:

- **Schmutzwassergebühr:** Sie orientiert sich am verbrauchten Frischwasser und einer zusätzlichen Niederschlagswassergebühr (basiert auf der entwässerten Grundstücksfläche - gesplitteter Gebührenmaßstab). Im Fall des gesplitteten Gebührenmaßstabs liegt die Schmutzwassergebühr im Mittel bei 2,05 €/m³ und die Niederschlagswassergebühr bei 0,88 €/m² versiegelte Fläche.
- **einheitliche Gebühr:** Hier wird die gebrauchte Frischwassermenge als Bemessungsgrundlage herangezogen. Die Kosten für die Sammlung und Behandlung des Niederschlagswassers sind in der Gebühr anteilig enthalten. Ableitung und Behandlung kosten pro 1.000 Liter Abwasser durchschnittlich 2,28 €.

Meist wird zusätzlich eine Grundgebühr erhoben, mit der die hohen Fixkosten gleichmäßig auf alle an die Abwasserbeseitigung angeschlossenen Einwohner umgelegt werden können. Üblicherweise wird sie als fester Jahresbetrag erhoben.¹⁷

¹⁷ ATT, BDEW, DBWW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008.

Anwendung der Gebührenmaßstäbe im Jahr 2005

nach Siedlungsgröße (E=Einwohner)

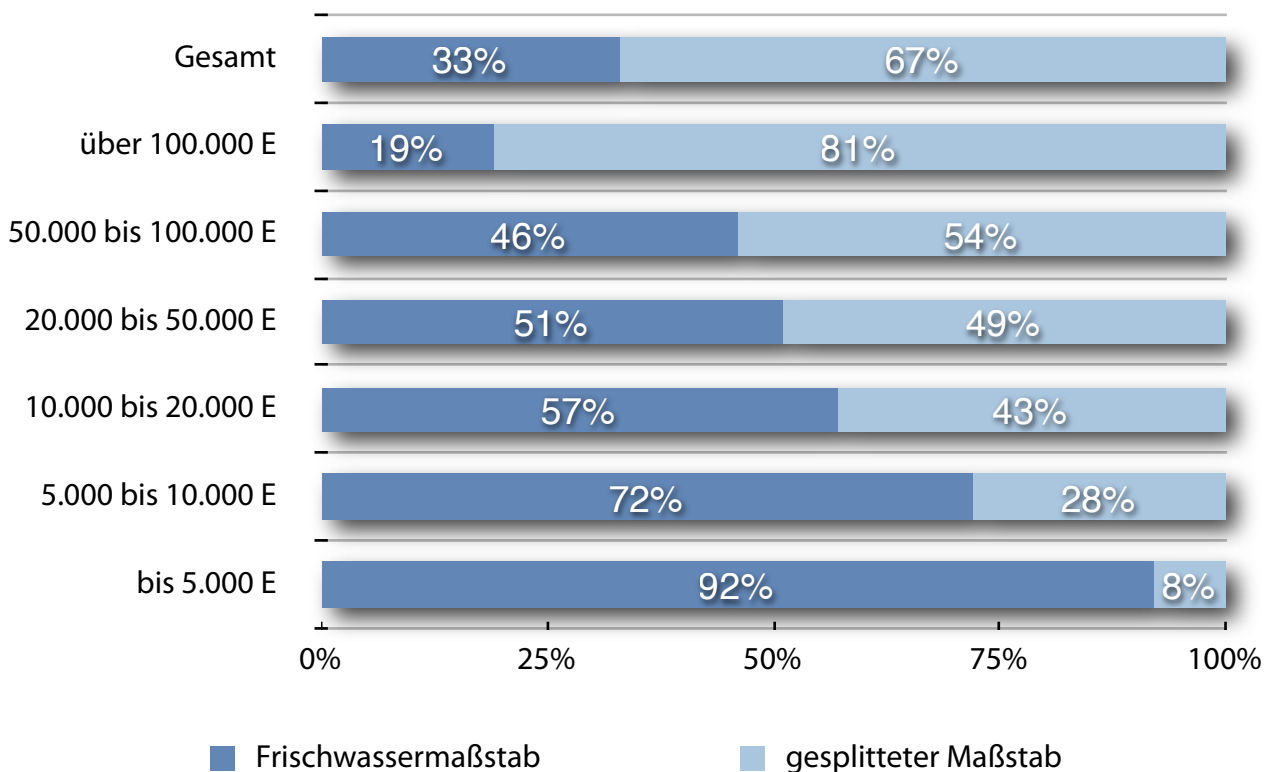


Abb.13: Anwendung der Gebührenmaßstäbe im Jahr 2005. Eigene Bearbeitung nach: ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008: „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008, S.55.

Im **europäischen Vergleich** lag die jährliche **Pro-Kopf-Belastung für die Abwasserbeseitigung** in Frankreich bei 90 € (Stand 2003), in England/Wales bei 93 € (Stand 2003) und in Deutschland bei 111 € (Stand 2003). Auch hier muss erwähnt werden, dass einige Faktoren nicht berücksichtigt wurden. Dazu zählen unter anderem staatliche Zuschüsse, Subventionen und das unterschiedliche Leistungsniveau.

Das heißt, dass ein reiner Vergleich der Kubikmeterpreise als Indikator für die Effizienz und Leistungsfähigkeit der Ver- und Entsorgungsunternehmen allein keine Aussagekraft hat.

2.3. Status quo der Abwasserentsorgung in Deutschland

Grundsätzlich unterscheidet man die **öffentlichen Kanalisationsanlagen** einer Gemeinde nach dem **Mischsystem** oder nach dem **Trennsystem**. Bei der Abwasserbehandlung spricht man entweder von einer **zentralen** oder **dezentralen Abwasserbehandlung**.

2.3.1. Misch- und Trennsystem

Im **Mischsystem** wird sämtliches Abwasser, das heisst häusliches Abwasser und gegebenenfalls vorbehandeltes gewerbliches/industrielles Abwasser, zusammen mit dem an der Oberfläche anfallenden Regenwasser (von Dächern, Plätzen und Straßen) vermischt und in einem Kanal der zentralen Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Im Verlauf des Kanalnetzes sind Überlaufbauwerke (Hochwasserentlastungs- und Regenrückhaltebecken) eingebaut, die bei Starkregenereignissen Abwasser aus dem Kanalnetz in das Gewässer einleiten. So wird einer Überlastung der Mischwasserkanäle entgegengewirkt.

Im **Trennsystem** werden das verschmutzte und das nicht verschmutzte Abwasser in zwei getrennt voneinander liegenden Kanalnetzen abgeleitet. Das häusliche Abwasser sowie das gewerbliche/industrielle Abwasser werden im Schmutzwasserkanal der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Das Regenwasser, sofern es nicht als verschmutztes Abwasser klassifiziert ist (z.B.: Regenwasserableitungen von besonders belasteten Oberflächen wie Autobahnen, Flugplätzen oder Industrieanlagen), wird in einem Regenwasserkanal direkt (ohne vorangegangene Behandlung) einem Gewässer zugeführt.

Die **Probleme** des Trennsystems liegen vor allem in der Nutzung der Flächen, die diesem System angeschlossen sind. Wird auf einem Vorplatz, der an das Trennsystem angeschlossen ist, beispielsweise Autos gewaschen, so gelangt das mit Schadstoffen belastete Abwasser ohne vorherige Behandlung in das Gewässer und mit ihm die wassergefährdenden Stoffe.

Im Mischsystem wird bei Starkregenereignissen durch das Überlaufwasser aus dem Kanalnetz zusätzlich belastetes Wasser in das Gewässer eingeleitet.¹⁸

Zudem kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur ein Teil der Regenwassermengen durch Kanalnetze abgeleitet und durch die biologischen Stufen der Kläranlage behandelt werden.

Systemvarianten der konventionellen Entwässerungssysteme sind möglich. Es wird angestrebt, nicht verschmutztes Abwasser vor allem von Dächern (sofern es nicht als verschmutztes Abwasser klassifiziert ist, s.o.) direkt vor Ort zu versickern, um es von den Abwasserbehandlungsanlagen fern zu halten.

Zwischen den Jahren 1957-2004 ist ein deutlicher Trend hin zum Trennsystem zu erkennen. Der Anteil der Mischwasserkanäle ist in der Gesamtlänge von 75% (1957) auf 46% (2004) gesunken..

¹⁸ http://www.abwasser.zh.ch/internet/bd/awel/ga/aw/de/wissenswertes/misch_trennsystem.html, Stand 10.06.2010

2.3.2. Zentrale und dezentrale Abwasserbehandlung

Abwässer eines größeren Siedlungsgebietes werden in Kanälen gefasst, abgeleitet und gemeinsam in einer entsprechend ausgebauten Kläranlage behandelt. Vorteile dieser **zentralen Abwasserbehandlung** sind die höhere Wirtschaftlichkeit, die höhere Betriebsstabilität sowie eine vergleichsweise bessere Reinigungsleistung. Für solch große Anlagen bestehen strenge Anforderungen. In Bezug auf die zentrale Abwasserbehandlung sind die meisten deutschen Kläranlagen mit Verfahrensstufen zur Nährstoffelimination (Phosphat und Nitrat) ausgerüstet. Damit erfüllen sie die Anforderungen der Eu-Richtlinie 91/271/EWG von 1991. Durch die Kombination der biologischen Grundreinigung zur Stickstoff- und Phosphorelimination (mechanisch-biologische Stufe mit Nachklärung) mit zusätzlichen Filtrationsverfahren werden weitergehende Anforderungen an die Ablaufqualität von Kläranlagen erfüllt.

Im Jahr 2004 wurde das Abwasser von ca. 124 Millionen Einwohnerwerten (entspricht rund 77,5 Millionen Einwohnern und rund 46,5 Millionen Einwohnergleichwerten) in ungefähr 9.994 Kläranlagen behandelt. Damit sind mehr als zwei Drittel der erfassten Einwohnerwerte und damit ca. 60% der Bevölkerung an Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von > 50.000 E angeschlossen. Das entspricht nur rund 6% der Kläranlagen in Deutschland.

Die Vorteile einer zentralen Abwasserbehandlung enden dort, wo große Entfernungen zu überwinden sind und nur noch wenige Anwohner angeschlossen werden können.

In ländlichen Gebieten und in den Rand-/Außenbereichen von Städten spricht man von einer **dezentralen Abwasserbehandlung**, da die Reinigung beziehungsweise Entsorgung des häuslichen Schmutzwassers über abflusslose Gruben (zur Speicherung des häuslichen Schmutzwassers) oder über Kleinkläranlagen (Anschluss von maximal 50 Einwohnern bzw. 8 m³/d Abwasserdurchsatz pro Tag) erfolgt. Diese Art der Abwasserbehandlung ist seit Jahren rückläufig. Im Jahr 2004 waren ca. 4% (das entspricht ungefähr 3,75 Millionen Einwohnern) an dezentrale Kleinkläranlagen oder abflusslose Gruben angeschlossen. Davon haben 2,77 Millionen Einwohner ihre Abwasserbehandlung durch mechanisch oder mechanisch-biologische Kleinkläranlagen und rund 0,95 Millionen Einwohner durch abflusslose Gruben sichergestellt. Seit 2005 dürfen in Deutschland ausschließlich biologische Kleinkläranlagen betrieben werden.¹⁹

¹⁹ HERBST, H.-B. IN GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 213, 2008: „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.40-44.

2.4. Definition der häuslichen Abwasserteilströme

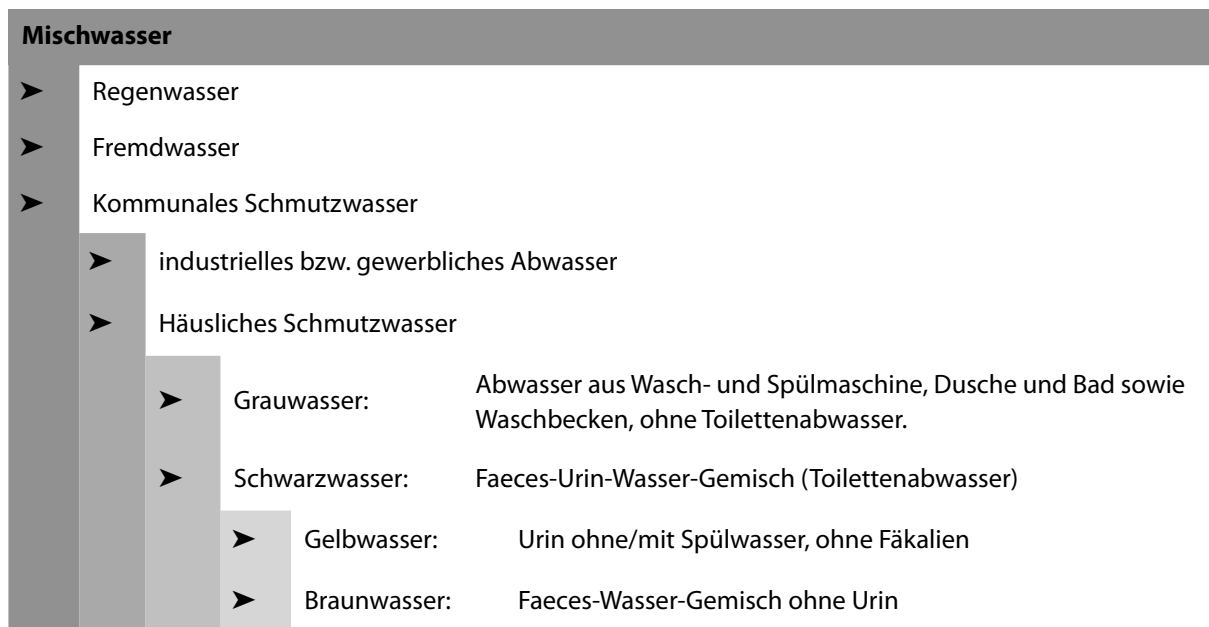
Nach geltendem Recht wird **Abwasser** wie folgt definiert: *„Abwasser [...] sind das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser). Als Schmutzwasser gelten auch die aus Anlagen zum Behandeln, Lagern und Ablagern von Abfällen austretenden und gesammelten Flüssigkeiten.“*²⁰
Die DIN 4045 unterscheidet Abwasser in Schmutzwasser, Regenwasser, Fremdwasser (z.B. durch undichte Rohre eindringendes Grundwasser), Mischwasser und Kühlwasser.“

Kommunales Abwasser oder Schmutzwasser wird unterschieden in häusliches Abwasser, gewerbliche-industrielles Abwasser, Regenwasser und Fremdwasser.²¹

Häusliches Abwasser wird nach EN 12056-1 wie folgt definiert: *„Abwasser aus Küchen, Waschküchen, Badezimmern, Toiletten und ähnlichen Räumen.“*²²

Grundsätzlich ist das häusliche Abwasser in **Schwarzwasser** (Gelb- und Braunwasser) und **Grauwasser** zu unterteilen.

Tabelle 1: Teilströme des häuslichen Schmutzwassers. Eigene Bearbeitung nach: HERBST, H.-B. IN GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 213, 2008: „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf.-Techn. Hochschule Aachen, Aachen 2008, S.42.



²⁰ GESETZ ÜBER ABGABEN FÜR DAS EINLEITEN VON ABWASSER IN GEWÄSSER (Abwasserabgabengesetz - AbwAG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I S. 115), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I, Nr. 51, S. 2585) in Kraft getreten am 1. März 2010: §2 Abs. 1-2.

²¹ LANGE, J.; OTTERPOHL, R., 2000: „Abwasser - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft.“, BETON GmbH Donaueschingen-Pföhren: Mall-Beton-Verlag 2000, S.41.

²² EUROPÄISCHE NORM EN 12056-1, 2000: „Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen.“, Juni 2000.

Die Volumenanteile der Teilströme im Abwasser unterscheiden sich sehr stark voneinander. Urin und Faeces zum Beispiel haben nur einen geringen Volumenanteil am gesamten Abwasser und werden im Wesentlichen durch die Menge an erforderlichem Spülwasser für den Transport bestimmt.

2.5. Belastung des häuslichen Abwassers

Die **Belastung des rein häuslichen Schmutzwassers** und der einzelnen Teilströme wurde vielfach untersucht. Die Ergebnisse über die einwohnerspezifischen Belastungen werden in Tabelle 2 dargestellt. Es wird deutlich, dass eine hohe Belastung des Urins mit Stickstoff und Phosphor vorliegt. Die CSB-Werte sind jedoch eher gering. Dem gegenüber stehen die hohen CSB - Werte des Brauwassers, das jedoch geringere Stickstoff- und Phosphoranteile aufweist. Das Grauwasser weist die geringsten Belastungen auf, stellt aber mengenmäßig die größte Fraktion dar.

Tabelle 2: Frachten unterschiedlicher Stoffe in den Einzelstoffströmen des häuslichen Schmutzwassers. Eigene Bearbeitung nach: HERBST, H.-B. IN GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 213, 2008: „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf.-Techn. Hochschule Aachen, Aachen 2008, S.43.

Parameter	Einheit	Stoffstrom					
		Urin (ohne Spülwasser)	Faeces (ohne Spülwasser)	Schwarz- wasser	Grauwasser	häusliches Schmutz- wasser	ATV A 131
Menge	L/(E*d)	1-1,8	0,1-0,4	35	70-80	105-115	150
Menge	m ³ /(E*d)	0,3-0,7	0,03-0,14	12,8	25,5-29,2	38-42	-
TR	g/(E*d)	50-70	30-60	80-130	-	80-130	70
oTR	g/(E*d)	33-60	26-58	59-118	-	59-118	
CSB	g/(E*d)	5,4-24	38-64	44-64	33,7	78-89	120
CSB _{mittel}	g/(E*d)	9,35	43,3	-	-	-	-
BSB ₅	g/(E*d)	1,8-9,8	19	21-29	16,7	38-46	60
C	g/(E*d)	7,5	73	80,5	15,1	95,6	
N	g/(E*d)	7,5-15	1,5-7,1	9-19	0,8	9,8-20	-
N _{mittel}	g/(E*d)	10,5	2,8	10,4	-	-	11
P	g/(E*d)	0,5-1,9	0,4-2,8	0,9-3,3	0,2	1,1-3,5	-
P _{mittel}	g/(E*d)	0,93	1,0	1,4	-	-	1,8
K	g/(E*d)	1,4-3,5	0,3-1,5	0,9-4,1	3	4,7-7,1	-

Parameter	Einheit	Stoffstrom					
		Urin (ohne Spülwasser)	Faeces (ohne Spülwasser)	Schwarz- wasser	Grauwasser	häusliches Schmutz- wasser	ATV A 131
K _{mittel}	g/(E*d)	2,6	0,9	2,1	-	-	-
B	g/(E*d)	1	-	-	-	-	-
S	g/(E*d)	1,3	-	-	-	-	-
Ca	g/(E*d)	0,15-0,22	0,66-0,73	-	-	-	-
Mg	g/(E*d)	0,06-0,12	0,12-0,18	-	-	-	-
Fe	g/(E*d)	0,03-0,14	0,56-0,67	-	-	-	-
Cu	mg/(E*d)	-	0,82	1,2	-	-	-
Zn	mg/(E*d)	-	8	10,7-47	-	-	-
Cr	mg/(E*d)	-	0,015	-	-	-	-
Ni	mg/(E*d)	-	0,55	-	-	-	-
Pb	mg/(E*d)	-	0,015	0,02-0,05	-	-	-
Cd	mg/(E*d)	-	0,08	-	-	-	-

In Tabelle 3 werden die **bakteriellen Belastungen** der einzelnen Stoffströme dargestellt. Auch hier sind Unterschiede zu erkennen. Betrachtet wurden vor allem Coliforme Bakterien und darunter besonders die Fäkal-Coliformen Keime (*Escherichia coli*). Des weiteren wurde der langlebige pathogene Sporenbilder *Clostridium perfringens* untersucht, da er als Indikator für fäkale Verunreinigungen dient. Zu erkennen ist, dass die Belastung bei den Faeces am höchsten liegt. Urin enthält meist sehr wenig bis keine Krankheitserreger. Die Keimbelastung spielt vor allem bei der Entwicklung neuer Sanitärsysteme und bei der Aufbereitung und anschließenden Nutzung von Stoffströmen eine wichtige Rolle.

Tabelle 3: Bakteriologische Belastung der Stoffströme häusliches Schmutzwasser. Eigene Bearbeitung nach: HERBST, H.-B. IN GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 213, 2008: „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf.-Techn. Hochschule Aachen, Aachen 2008, S.44.

Bakterien	Einheit	Stoffstrom				
		häusliches Schmutzwasser	Schwarzwasser	Faeces	Urin	Grauwasser
Gesamte Coliforme	1/mL	10^4-10^7	-	-	-	10^1-10^6
Clostridium perfringens	1/mL	-	-	$4 \cdot 10^2-5,8 \cdot 10^6$	$10^1-2,3 \cdot 10^3$	10^1-10^2
Fäkalcoliforme (E. coli)	1/mL	10^4-10^7	-	$8,5 \cdot 10^4-5,8 \cdot 10^8$	10^1-10^5	10^1-10^6

3. Grauwasser

3.1. Definition Stoffstrom Grauwasser

Nach DIN 4045 (2003) ist **Grauwasser** als häusliches Schmutzwasser ohne fäkale Feststoffe und Urin definiert. Demnach zählt das Abwasser von Bade- und Duschwannen, Handwaschbecken, Küchenspülen sowie das Abwasser von Spül- und Waschmaschinen zum Grauwasser.

Zum häuslichen Schmutzwasser zählen zusätzlich Abwässer, die aus Hotelanlagen, Gaststätten und ähnlichen Unterkünften stammen.

Grauwasser kann des Weiteren in mehrere **Subkategorien** unterteilt werden. Diese Kategorien sind:

I. **stark belastetes Grauwasser:**

- Grauwasser aus der Küche oder aus der Geschirrspülmaschine mit bedeutenden Mengen an Öl, Fett, Essensresten und pathogenen Bakterien.
- Grauwasser aus Waschmaschinen mit nicht bzw. schwer biologisch abbaubaren Stoffen oder eventuell hoher Belastung mit Fäkalbakterien, wenn zum Beispiel Windeln mitgewaschen werden.

II. **schwach belastetes Grauwasser:**

- Grauwasser aus Handwaschbecken, Bad bzw. Dusche mit geringen Belastungen an Fäkalbakterien und pathogenen Bakterien von der Haut.

Diese weiterführende Betrachtung des Stoffstroms Grauwasser erleichtert später eine weitere Einteilung in „**verwendungswürdiges**“ (schwach belastetes) und „**nicht verwendungswürdiges**“ (stark belastetes) Grauwasser.²³

3.2. Grauwassermenge in privaten Haushalten

Der **Grauwasseranfall** und dessen Belastung wird maßgeblich durch die Lebensgewohnheiten der Verbraucher bestimmt und variiert sehr stark. Durch die tägliche Körperhygiene steht es jedoch **kontinuierlich zur Verfügung**. Die Belastung ist abhängig von der vorangegangenen Verwendung und resultiert aus Körperpflegemitteln, Waschmitteln, Körperschmutz und verschmutzter Wäsche.

Der derzeitige Trinkwasserverbrauch liegt in Deutschland bei rund 125 l/E*d. Grundsätzlich hängt der Wasserverbrauch und die anfallende Grauwassermenge in privaten Haushalten auch immer vom Sanitärstandard und den jeweiligen Nutzungsgewohnheiten ab und kann erheblich

²³ GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2. Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29. Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/1.

variieren. Die anfallende **Grauwassermenge** liegt zwischen **57 bis 111 l/E*d**. Bei Neubauten oder sanitärtechnisch sanierten Gebäuden geht man von einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von 100l/E*d und einem Grauwasseranfall von rund 70 l/E*d aus. Dem gegenüber steht ein **Betriebswasserbedarf** von etwa **40 l/E*d**.

Als **Betriebswasser** wird gewerblich, industriell, landwirtschaftlich oder ähnlichen Zwecken dienendes Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften definiert (laut DIN 4046). Im Zusammenhang mit Grauwasserrecycling ist damit auch Wasser gemeint, das im Haushalt oder Gewerbe für Zwecke genutzt wird, die nicht zwingend ein Wasser mit Trinkwasserqualität benötigen. Dazu zählen im Allgemeinen Wasser für die Toilettenspülung, zur Bewässerung, für Reinigungszwecke oder auch zum Wäschewaschen.

Der **Betriebswasserbedarf** in Wohnungen liegt meist deutlich unter der insgesamt verfügbaren Grauwassermenge.²⁴

In der nachfolgenden Tabelle sind die anfallenden Grauwassermengen im häuslichen Bereich nach Quellen und Ländervergleich aufgelistet.

Tabelle 4: Anfallende Grauwassermengen im häuslichen Bereich nach Quellen und Ländervergleich. Eigene Bearbeitung nach: GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/2.

Land	Anfall nach Verwendungsart [l/(E*d)]					Gesamtanfall [l/(E*d)]	Literatur
	Küche, Geschirrspülmaschine	Waschmaschine	Körperpflege	Baden/Duschen	Raumreinigung		
UK	13	17	13	28	-	-	Butler (1991,1993)
Malta	15	16	9	25	-	-	Gatt (1993)
USA	-	-	19	13	-	-	Hall et al. (1988)
USA	14	41	- 2)	38	-	-	Siegrist et al. (1976)
USA	14	28	8	32	-	-	Laak (1974)
USA	13	38	- 2)	47	-	-	Ligman et al. (1974)
NL	9	23	-2	40	3	74	NIPO (1992)
DK	25	10	-2	50	-	-	Henze (1997)

²⁴ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005.

Land	Anfall nach Verwendungsart [l/(E*d)]					Gesamtanfall [l/(E*d)]	Literatur
	Küche, Geschirrspülmaschine	Waschmaschine	Körperpflege	Baden/Duschen	Raumreinigung		
D	8	16	8	40	3	75	Möhle (1983)
D	4-6	20-40	10-15	20-40	3-10	57-111	DVGW-Merkblatt W 410 (1995)
D	4	19	10	20	3	56	Pöpel (1994)
D	8	12	- 2)	40	5	65	UBA (2005)
D	12	13	-	40	5	70	Mehlhart und Bullermann (2001)
D Ø 1)	6	13	10	30	5	75	
1) Berechnung des Durchschnitts nur mit den in Deutschland ermittelten Werten 2) Menge enthalten in Kategorie Baden/Duschen							

3.3. Grauwasserbeschaffenheit

Wie in 3.2. beschrieben hängt die Menge und Beschaffenheit des Grauwassers aus privaten Haushalten stark von den Lebensgewohnheiten der Verbraucher ab. Im Folgenden sollen die **Belastungen des Grauwassers aus privaten Haushalten** dargestellt werden.

Um eine Aussage über die Belastungen des Grauwassers zu erhalten, ist es sinnvoll es nach seinem Entstehungsort beziehungsweise seiner vorherigen Verwendung zu unterscheiden. Daraus ergeben sich folgende vier Kategorien:

- nicht separiertes Grauwasser,
- Grauwasser aus der Küche und aus der Geschirrspülmaschine,
- Grauwasser aus der Waschmaschine sowie Bade- und Duschwasser,
- Grauwasser aus dem Handwaschbecken.

Dargestellt werden **physikalische, chemische** und **hydrochemische Parameter** sowie die Summenparameter biochemischer Sauerstoffbedarf (**BSB₅**) und chemischer Sauerstoffbedarf (**CSB**).

Das Verhältnis von **CSB zu BSB₅** kann für Grauwasser Werte von **4:1** erreichen. Im Vergleich zu kommunalen Abwässern (CSB:BSB₅ -Verhältnis 2:1) ist dieser Wert sehr hoch. Dies deutet auf eine höhere Belastung des Grauwassers mit schwer biologisch abbaubaren Verbindungen hin. Auf Grund der Verwendung von Körperpflegemitteln gilt dies vor allem für den Abfluss aus Bad und Dusche. Die höchsten BSB₅-Werte weist das Grauwasser aus der Küche auf.

Der **pH-Wert** von Grauwasser aus Waschmaschinen ist in der Regel basisch und liegt zwischen 9,3 und 10. Aus dem Herkunftsbereich Küche, Bad und Dusche liegt er zwischen 5 und 8,6. Häusliches Abwasser hat dazu im Vergleich einen pH-Wert-Bereich von 7-8.

In Bezug auf die **Temperatur** des Grauwassers sind Schwankungen zwischen 18°C und 38°C zu verzeichnen. Diese Angaben beziehen sich vor allem auf den Bereich Bad/Dusche, Handwaschbecken und Waschmaschine, da hier vor allem warmes Wasser zum Einsatz kommt. Probleme verursachen höhere Temperaturen vor allem hinsichtlich eines verstärkten Wachstums von Mikroorganismen.

Trübungs- und Schwebstoffmessungen geben Auskunft über den Inhalt an Partikeln und Kolloiden, die durchaus zu Problemen bei der Grauwasseraufbereitung führen können. Ursache für Schwebstoffe können Essensreste, Sand, Haare und Fasern sein.

In nachfolgender Tabelle sind die chemischen und physikalischen Parameter von Grauwasser nach Herkunftsbereich aufgelistet.

Tabelle 5: Chemisch-physikalische Beschaffenheit von Grauwasser nach Herkunftsbereich.
Eigene Bearbeitung nach: GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/3.

Parameter	Einheit	Waschmaschine	Bad/Dusche, Handwaschbecken	Küche/ Spülmaschine	nicht separiertes Grauwasser
pH-Wert	[-]	9,3-10	5-8,6	6,3-7,4	6,1-8,4
Temperatur	[°C]	28-32	18-38	-	-
Färbung	[Pt/C]	50-70	60-100	-	-
Trübung	[NTU]	14-296	20-370	-	-
Schwebstoffe	[mg/l]	79-280	7-120	134-1.300	-
TDS	[mg/l]	-	126-599	-	-
Leitfähigkeit	[S/m]	190-1.400	82-22.000	-	360-520
Alkalinität (als CaCO ₃)	[mg/l]	83-200	24-136	20-340	-
Härte (als CaCO ₃)	[mg/l]		18-52	-	-
BSB ₅	[mg/l]	48-682	19-200	669-756	41-194
CSB	[mg/l]	375	64-8.000	26-1.600	495-623
TOC	[mg/l]	100-280	15-225	-	-

Parameter	Einheit	Waschmaschine	Bad/Dusche, Handwaschbecken	Küche/ Spülmaschine	nicht separiertes Grauwasser
gelöster Sauerstoff	[mg/l]	-	0,4-4,6	-	-
Sulfate	[mg/l]	-	12-40	-	39,8-88,5
Chlorid (als Cl ⁻)	[mg/l]	9-88	3,1-88	-	16,3-33,4
Öl und Fett	[mg/l]	8,0-35	37-97	-	-

Die im Grauwasser enthaltenen **Nährstoffe** und deren Konzentrationen werden in Tabelle 6 aufgezeigt.

Stickstoff liegt im Grauwasser als organisch gebundener Stickstoff, zum Beispiel in Eiweißverbindungen, aber auch als freies oder gebundenes Ammonium (in Verbindung mit Sauerstoff in Form von Nitrat und Nitrit) vor.

Der **Phosphatgehalt** hingegen ist sehr stark von den jeweiligen Lebensgewohnheiten der Verbraucher und deren Verwendung von Detergentien im Haushalt abhängig. Die Spülmittel für Geschirrspülmaschinen besitzen zum Beispiel einen sehr hohen Anteil an Phosphat (30%-60%). Damit ist der Gesamtwert der Phosphatkonzentration aus den Herkunftsbereichen Waschmaschine und Küche am höchsten.

Tabelle 6: Konzentrationen ausgewählter Nährstoffe im Grauwasser nach Herkunftsbereich. Eigene Bearbeitung nach: GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/4.

Nährstoff [mg/l]	Waschmaschine	Bad/Dusche, Handwaschbecken	Küche/ Spülmaschine	nicht separiertes Grauwasser
Ammoniak (NH ₃ -N)	< 0,1-3,47	< 0,1-25	0,2-23	-
Nitrat und Nitrit (als N)	0,1-0,31	< 0,05-0,2	-	-
Nitrat (NO ₃ -N)	0,4-0,6	0-4,9	-	-
Phosphor (als PO ₄ -P)	4-32	0,34-35	0,4-14	0,6-7,4
N _{gesamt}	6-21	0,6-46,4	13-60	8-11
P _{gesamt}	0,06-57 ¹⁾	0,11-2,2	3,1-10	3,3-11

¹⁾ Die hier dargestellte höchste Konzentration an Gesamtphosphor aus dem Bereich der Waschmaschine ist in Deutschland so nicht mehr zu erwarten, da die gesetzlichen Regelungen (Phosphathöchstmengeverordnung) eine Begrenzung des Phosphatanteils in Wasch- und Reinigungsmitteln zur Textilpflege vorsieht. Es ist mit einer Gesamtphosphorkonzentration von < 5 mg/l auszugehen.

Bezüglich der **mikrobiellen Belastungen** existieren derzeit nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen. Generell entstehen diese zum Beispiel durch das Händewaschen nach der Toilettenbenutzung, durch Urinieren beim Duschen (vor allem bei Kindern) und durch verunreinigte Lebensmittel. Laut durchgeführter Untersuchungen weist das Dusch- und Badewasser geringfügig höhere Konzentrationen an Keimen auf als das Waschmaschinenwasser. Bei dem **Indikationsparameter E.coli** liegt die Abweichung zwischen den oben genannten Kategorien im Bereich einer Zehnerpotenz und für die **fäkalen Coliforme** bei zwei Zehnerpotenzen. Der Herkunftsbereich Küchenabwasser kann auf Grund auftretender Verunreinigungen durch Lebensmittel und Lebensmittelreste stark belastet sein.

Tabelle 7: Mikrobielle Belastung von Grauwasser nach Herkunftsbereich.
Eigene Bearbeitung nach: GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/5.

Mikrobiologische Parameter [n/100ml]		Waschmaschine	Bad/Dusche, Handwaschbecken	Küche/Spülmaschine	nicht separiertes Grauwasser	
Bakterien	Indikationsparameter	Fäkalcoliforme	10 ¹ -10 ⁴	10 ¹ -10 ⁶	-	10 ² -10 ⁶
		Gesamtcoliforme	10 ¹ -10 ⁸	10 ¹ -10 ⁹	-	10 ⁵ -10 ⁸
		E.coli	10 ¹ -10 ⁶	10 ¹ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁸	10 ¹ -10 ²
		Fäkale Streptokokken	10 ¹ -10 ⁷	10 ¹ -10 ⁶	10 ³ -10 ⁸	10 ²
		Gesamtkoloniezahl	-	10 ² -10 ⁸	-	-
	sonstige	Pseudomonas aeruginosa	-	n.n-10 ³	-	10 ² -10 ⁵
		Salmonella spp.	n.n	n.n	-	-
Protozoen		Cryptosporidium	n.n	n.n	-	n.n
		Giardia	n.n	n.n	-	-

Die Konzentrationen von **Schwermetallen** sind im Grauwasser nur geringfügig. Nur einige Elemente wie Magnesium oder Calcium sind teilweise in höheren Konzentrationen nachzuweisen. In der Regel liegen die Konzentrationen fast aller Schwermetalle jedoch unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung.

Tabelle 8: Schwermetallbelastungen des Teilstroms Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.20.

	Einheit	Median	Anzahl der Werte
Pb	mg/(E*d)	3,00	9
Cd	mg/(E*d)	0,08	9
Cu	mg/(E*d)	6,50	8
Cr	mg/(E*d)	2,01	8
Hg	mg/(E*d)	0,02	9
Ni	mg/(E*d)	1,60	8
Zn	mg/(E*d)	23,26	8

Die Tabellen 5 bis 7 zeigen, dass die dort dargestellten Werte und Konzentrationen sehr hohen Schwankungen unterliegen. Im Wesentlichen ist dies auf die unterschiedlichen Lebensgewohnheiten der Verbraucher zurückzuführen. Generell kann man jedoch davon ausgehen, dass das Grauwasser aus Duschen, Badewannen und Handwaschbecken am geringsten belastet ist. Das Grauwasser aus Küche und Spülmaschine ist am stärksten belastet.

Auf Grund dieser Erkenntnisse lässt sich, wie schon in 3.1 beschrieben das Grauwasser in „verwendungswürdig“ (schwach belastetes Grauwasser) und „nicht verwendungswürdig“ (stark belastetes Grauwasser) differenzieren. Als **„verwendungswürdig“** kann demnach der Grauwasserteilstrom aus dem Bereich Bad/Dusche und Handwaschbecken eingestuft werden. Das Grauwasser aus dem Bereich Küche und Spülmaschine hingegen ist wegen seiner hohen BSB⁵- und Schwebstoffkonzentrationen als **„nicht verwendungswürdig“** einzustufen.²⁵

²⁵ GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008: „2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008, S.20/1.

Die **Einwohnerspezifischen Frachten** für Grauwasser stellen sich wie folgt dar.

Tabelle 9: Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser (schwach belastet, d.h. ohne Küche und Waschmaschine. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.19.

Parameter		Einheit	Median	Bereich (min-max)	Anzahl der Ausgangswerte
TS		g/(E*d)	5	2-8	2
org. Stoffe	oTS	g/(E*d)	k.A.	-	-
	BSB ₅	g/(E*d)	5	4-5	2
	CSB	g/(E*d)	30	10-65	5
Nährstoffe	N	g/(E*d)	0,7	0,3-1,1	4
	P	g/(E*d)	0,1	0,1-0,3	5
	K	g/(E*d)	0,4	k.A.	1
	S	g/(E*d)	k.A.	-	-

Tabelle 10: Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser aus der Küche (stark belastet). Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.19.

Parameter		Einheit	Median	Bereich (min-max)	Anzahl der Ausgangswerte
TS		g/(E*d)	3,3	-	1
org. Stoffe	oTS	g/(E*d)	k.A.	-	-
	BSB ₅	g/(E*d)	19	8-30	2
	CSB	g/(E*d)	30	13-44	4
Nährstoffe	N	g/(E*d)	0,3	0,2-0,8	4
	P	g/(E*d)	0,4	0,2-0,6	4
	K	g/(E*d)	0,4	-	1
	S	g/(E*d)	k.A.	-	-

4. Anforderungen an das Grauwasserrecycling

Im Folgenden werden die Anforderungen für das Grauwasserrecycling aufgeführt. Hierbei findet eine Unterscheidung zwischen rechtlichen und technischen Anforderungen statt.

4.1. Rechtliche Anforderungen an die Wasserqualität zur Abwasserwiederverwendung

Prinzipiell muss **Betriebswasser**, das zu verschiedenen Zwecken wiederverwendet werden soll, bestimmte **Anforderungen in hygienischer und sonstiger Hinsicht** erfüllen. In der Regel versteht man darunter vorgegebene Werte bezüglich der mikrobiellen und physikalisch-chemischen Beschaffenheit.

Für Grauwasserrecyclinganlagen beziehungsweise für die Überwachung und Gewährleistung der hygienischen unbedenklichen Qualität von gereinigtem Grauwasser gibt es derzeit keine gesetzlichen Regelungen. Die Berliner Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen hat 1995 ein **Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“** herausgegeben, in dem Qualitätsziele definiert wurden. Dieses Merkblatt stellt jedoch nur einen Vorschlag dar und ist nicht rechtlich bindend.

Die Aufbereitung des Grauwassers ist abhängig vom Verwendungszweck und den dazugehörigen Qualitätsanforderungen. Die Qualitätsanforderungen an die Betriebswasserqualität müssen an den konkreten Verwendungszweck gebunden sein.

Im weiteren Verlauf werden die Qualitätsanforderungen an aufbereitetes Grauwasser nach Verwendungszweck dargestellt.²⁶

4.1.1. Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Toilettenspülung

In Bezug auf die **Nutzung von aufbereitetem Grauwasser als Substitut für Trinkwasser** für die Toilettenspülung wird in Deutschland das Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“ der Berliner Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen aus dem Jahr 1995 herangezogen. Wie oben erwähnt ist dieses Merkblatt nicht rechtlich bindend. Es gibt **hygienische Qualitätsziele** für die Indikatorbakterien Fäkalcoliforme und Gesamtcoliforme Bakterien an. Die strengsten Anforderungen gelten für den Krankheitserreger *Pseudomonas aeruginosa*.

²⁶ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

Tabelle 11: Qualitätsanforderungen an die Betriebswassernutzung in Gebäuden.
Eigene Bearbeitung nach: SENATSWERALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2007: „Innovative Wasserkonzepte - Betriebswassernutzung in Gebäuden.“ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Fachbereich Ökologischer Städtebau, Berlin 2007, S.23.

Qualitätsziele	Beurteilungskriterium	Werte
Hygienisch, mikrobiologisch einwandfrei ¹⁾	Gesamtcoliforme Bakterien	0/0,001 ml (< 100/ml)
	<i>Escherichia coli</i>	0/0,1 ml (< 10/ml)
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/1,0 ml (< 1/ml)
niedriger BSB ²⁾	BSB ₇	< 5 mg/l
nahezu schwebstofffrei, nahezu geruchlos, farblos und klar	UV-Desinfektion mit mindestens 250-400 J/m ²	> 60% (damit Armaturen einwandfrei funktionieren und kein Komfortverlust für die Nutzer eintritt)
möglichst sauerstoffreich	Sättigung	> 50% (damit Betriebswasser lagerfähig ist)

¹⁾ Bei der Grauwasseraufbereitung - insbesondere wenn mehr als eine Wohneinheit angeschlossen ist - und bei der Nutzung von Ablaufwasser von befestigten Verkehrswegen sollte eine UV-Desinfektion mit einer Mindestdosis von 250-400 J/m² erfolgen.

²⁾ Der BSB₇ (biochemischer Sauerstoffbedarf gemessen über einen Zeitraum von 7 Tagen) ist ein geeigneter Wirkungsparameter, der Auskunft über die Menge der vorhandenen biologische abbaubaren Verschmutzung des Wassers gibt. Aus messtechnischen Gründen kann gegebenenfalls auch der gesamte organisch gebundene Kohlenstoff (TOC) oder chemische Sauerstoffbedarf (CSB) als geeigneter Parameter herangezogen werden.

Des Weiteren steht eine **EU-Richtlinie über die Qualität von Badegewässer, Richtlinie 2006/7/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG zur Verfügung.

Die dort aufgeführten Grenzwerte gelten für verschiedene Parameter. Bei deren Festlegung ging der Gesetzgeber davon aus, dass der Badende Ganzkörperkontakt zum Wasser hat und zudem gelegentlich Wasser verschluckt. Hierbei müssen für Badegewässer hygienische Anforderungen für Gesamtcoliforme und Fäkalcoliforme Bakterien eingehalten werden, damit kein hygienisch relevantes Gesundheitsrisiko entsteht.

Die Anwendung der EU-Richtlinie für Badegewässer hinsichtlich der Nutzung von aufbereitetem Grauwasser für die Toilettenspülung wurde im **fbr-Hinweisblatt H 201 „Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebsweise“** vom April 2005 festgelegt.

Tabelle 12: EU-Richtlinie über die Qualität von Badegewässern. Eigene Bearbeitung nach: HAMBURGER BERICHTE ZUR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 47, 2004: „Grauwasserbehandlung und -wiederverwendung - Untersuchung zur höherwertigen Wiederverwendung von Grauwasser in Verbindung mit teilstromorientierten ökologischen Sanitärkonzepten.“ Zifu Li, Gesellschaft zur Förderung der Forschung und Entwicklung der Umwelttechnologie an der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2004, S.24.

Parameter	Grenzwert
Gesamtcoliforme	10.000/100 ml
Fäkalcoliforme	2.000/100 ml
Salmonellen	0/1 l
pH-Wert	6-9
Färbung	keine anomale Änderung der Färbung
Mineralöle	kein sichtbarer Film auf der Wasseroberfläche
Geruch	keiner
Tenside, die auf Methylenblau reagieren	keine anhaltende Schaumbildung
Phenol (Phenol-Zahl)	kein spezifischer Geruch; <0,05 mg C ₆ H ₅ OH/l
Transparenz (Sichttiefe)	1 m
Darmviren	0 (Untersuchung nur bei Verdacht)
Fäkalstreptokokken	kein Grenzwert, dient als Hinweis für weitere Untersuchungen

Weltweit betrachtet ist der Standard für Qualitätsvorgaben bezüglich der Nutzung von aufbereitetem Grauwasser sehr unterschiedlich. Während in Japan und Großbritannien gesonderte Vorgaben existieren, ist dies in Ländern wie den USA, Kanada und Australien nicht der Fall. Hier fällt die Nutzung von gereinigtem Grauwasser unter die Kategorie „*unrestricted urban reuse*“. Darunter versteht man im Allgemeinen eine zentrale Nutzung von aufbereitetem kommunalem Abwasser zum Zweck der Bewässerung von öffentlichen Grünanlagen und zur Reinigung von Verkehrsflächen. Des Weiteren ist damit eine Nutzung des gereinigten kommunalen Abwassers als Toilettenspülwasser für Wohnsiedlungen gemeint. Dieser Ansatz existiert auch in Japan. In den europäischen Länder Deutschland und Großbritannien ist dies nicht der Fall.

Vergleicht man die nationalen Anforderungen miteinander, so sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Dies gilt vor allem für den BSB-Wert, der in Deutschland den höchsten Anforderungen unterliegt. Die mikrobiologischen Anforderungen liegen in Deutschland im Vergleich zu Japan um eine Zehnerpotenz niedriger (Gesamtcoliforme Bakterien). Da gerade die angelsächsischen Länder (ohne Großbritannien) bei ihren Qualitätsanforderungen auch die Bewässerung mit

berücksichtigen, sind ihre mikrobiologischen Anforderungen viel höher als in Deutschland oder Japan. Dieser Bereich ist in Deutschland und Japan separat geregelt.²⁷

Tabelle 13: Qualitätsanforderungen für die Toilettenspülung im Ländervergleich.
Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.134

	Deutschland: Berliner Senats- verwaltung für Bau- / Wohnungswesen, 1995	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australia: Government of South Australia, Department of Health	GB: Building Services Research and Information Association, 2001	China: GBT/T 18980-2002
C _{BSB}	< 5 mg/l	-	≤ 10 mg/l	≤ 10 mg/l	≤ 20 mg/l	-	≤ 10 mg/l
X _{TS}	nahezu schwebstoff- frei			≤ 5 mg/l	≤ 30 mg/l	-	
Sauerstoff- sättigung	> 50%	-	-	-	-	-	≥ 1 mg/l
Gesamt- coliforme Bakterien	< 100/ml	≤ 10/ml	-	-	-	-	≤ 3/l
Fäkal- coliforme Bakterien	< 10/ml						
E.coli	-	-	-	-	10/100ml	-	-
Pseudo- monas aeruginosa	< 1/ml	-	-	-	-	-	-
UV-Trans- mission bei 254 nm	> 60%	-	-	-	-	-	-
Chlor	-	-	> 1 mg/l	-	0,5-2,0 mg/l	-	nach einer Kontaktzeit 30 min. ≥ 1 mg/l am Ende des Rohrnetzes ≥ 0,2 mg/l

²⁷ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

	Deutschland: Berliner Senats- verwaltung für Bau- / Wohnungswesen, 1995	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australia: Government of South Australia, Department of Health	GB: Building Services Research and Information Association, 2001	China: GBT/T 18980-2002
Trübung	-	-	≤ 2 NTU	≤ 2 NTU	≤ 2 NTU	-	≤ 5 NTU
Geruch	Normal	Normal	Normal	-	Normal	-	keine unange- nehmen Gerüche
pH-Wert	-	5,8-8,6	6-9	6-9	-	-	6-9
S _{NH4-N}							≤ 10 mg/l
Anionische Tenside							≤ 1 mg/l
Färbung							30 Grad
Fe							≤ 0,3 mg/l
Mn							≤ 0,1 mg/l
Salzgehalt							≤ 1,0 mg/l

4.1.2. Allgemein rechtliche Anforderungen für die Bewässerung

In Deutschland werden die **Qualitätsanforderungen für Bewässerungswasser** in der **DIN 19650 „Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser“** geregelt. Die hier festgehaltenen Anforderungen beziehen sich auf hygienische/mikrobiologische Belange von Bewässerungswasser in Landwirtschaft, Gartenbau, Landschaftsbau sowie Park- und Sportanlagen.

In dieser Norm findet eine Unterscheidung der **hygienischen Unbedenklichkeit nach Verwendungszweck in 4 Klassen** statt. Die Eignungsklassen stellen sich wie folgt dar:

- Eignungsklasse 1 (Trinkwasser):
 - alle Gewächshaus- und Freilandkulturen ohne Einschränkungen.
- Eignungsklasse 2*:
 - Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr,
 - Schulsportplätze,
 - öffentliche Parkanlagen.
- Eignungsklasse 3*:
 - nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen,

- Freilandkulturen für den Rohverzehr bis Fruchtansatz bzw. Gemüse bis 2 Wochen vor der Ernte,
- Obst und Gemüse zur Konservierung,
- Grünland bzw. Grünfütterpflanzen bis 2 Wochen vor dem Schnitt oder der Beweidung,
- alle anderen Freilandkulturen ohne Einschränkung, sonstige Sportplätze**.
- Eignungsklasse 4*, **:
 - Wein- und Obstkulturen zum Frostschutz,
 - Forstkulturen,
 - Polterplätze und Feuchtbiotope,
 - Zuckerrüben, Stärkekartoffeln, Ölfrüchte und Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut bis 2 Wochen vor der Ernte,
 - Getreide bis zur Milchreife (nicht zum Rohverzehr),
 - Futter zur Konservierung bis 2 Wochen vor der Ernte.

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

* *Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.

Wie aus den **Anforderungen der DIN 19650** deutlich erkennbar ist, sind die Qualitätsanforderungen für Wasser, das für Bewässerungszwecke verwendet wird, **wesentlich strenger als die Anforderungen für Toilettenspülwasser**. Daher ist eine gute Aufbereitung des Grauwassers unbedingt erforderlich. Die Norm hält es jedoch für unzulässig, dies durch Desinfektion mittels Zugabe von Chemikalien oder radioaktiver Bestrahlung zu erreichen.

Betrachtet man die schon in 4.1.1 ausgewählten Länder, so kann man feststellen, dass für diese Art der Nutzung eindeutige Qualitätsanforderungen bestehen. Die einzige Ausnahme stellt Großbritannien dar, die hinsichtlich der Nutzung zu Bewässerungszwecken keine Qualitätsanforderungen formuliert haben. In den jeweiligen nationalen Anforderungen wird ebenfalls zwischen uneingeschränkter und eingeschränkter Verwendung unterschieden.

Tabelle 14 stellt die **Anforderungen im Ländervergleich für eine uneingeschränkte Verwendung** als Bewässerungswasser dar, das heißt die dort dargestellten Werte der DIN 19650 beziehen sich auf die Eignungsklasse 1. Das Wasser darf demnach uneingeschränkt für jede Art der Bewässerung verwendet werden.

Tabelle 14: Qualitätsanforderungen für eine uneingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser.
Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.135.

	Deutschland: DIN 19650 ¹⁾ , 1999	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australien: Government of South Australia, Department of Health	WHO: Guidelines for using treated wastewater in agriculture ²⁾	China: GBT/T 18980-2002, Bewässerung von Grünflächen	China: GB 5084-2005, landwirtschaftliche Bewässerung ³⁾
C _{BSB}	≤ 10 mg/l	≤ 10 mg/l	≤ 10 mg/l	≤ 10 mg/l	≤ 20 mg/l	-	20 mg/l	15-100 mg/l
C _{CSB}	≤ 60 mg/l	-	-	-	-	-		16-200 mg/l
X _{T5}	nahezu schwebstofffrei	-		≤ 5 mg/l	≤ 30 mg/l	-		15-100 mg/l
S _{NH4-N}							20 mg/l	
Gesamtcoliforme Bakterien	-	n.n.	-	-	-	-	3/l	
Fäkalstreptokokken	n.n.	-	-	-	-	-		
E.coli	n.n.	-	-	-	10/100ml	< 1.000/100 ml		
Salmonellen	n.n.	-	-	-	-	-		
Chlor	-	≤ 0,4 mg/l	> 1 mg/l	-	0,5-2,0 mg/l	-	nach einer Kontaktzeit 30 min. ≥ 1 mg/l am Ende des Rohrnetzes ≥ 0,2 mg/l	
Trübung	-	10 NTU	≤ 2 NTU	≤ 2 NTU	≤ 2 NTU	-	≤ 10 NTU	
Geruch	Normal	Normal	Normal	-	Normal	-	Normal	Normal
pH-Wert	-	5,8-8,6	6-9	6-9	-	-	6-9	5,5-8,5
Spulwurm								1-2 n/l

	Deutschland: DIN 19650 ¹⁾ , 1999	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australi a: Government of South Australia, Department of Health	WHO: Guidelines for using treated wastewater in agriculture ²⁾	China: GBT/T 18980-2002, Bewässerung von Grünflächen	China: GB 5084-2005, landwirtschaftliche Bewässerung ³⁾
Anionische Tenside							1 mg/l	5-8 mg/l
Salzgehalt							1.000 mg/l	1.000-2.000 mg/l
¹⁾ Werte entsprechen der Eignungsklasse 1 der DIN 19650 ²⁾ Grenzwerte für die Bewässerung von Nahrungspflanzen ³⁾ Grenzwert abhängig von der Getreidesorte.								

Tabelle 15 zeigt die **Werte für eine eingeschränkte Verwendung**. Sie entsprechen der Eignungsklasse 4 der DIN 19650. Das Wasser darf nicht zur Bewässerung von Freiland- und Gewächshauskulturen, die für den Rohverzehr bestimmt sind, verwendet werden. Für welche Bewässerungszwecke es verwendet werden darf, ist der oben aufgeführten Liste der Eignungsklassen zu entnehmen. Alle weiteren nationalen Werte beziehen sich auf die ausschließliche Nutzung des Wassers für den Landschaftsbau beziehungsweise die Forstwirtschaft.

Tabelle 15: Qualitätsanforderungen für eine eingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.136.

	Deutschland: DIN 19650 ¹⁾ , 1999	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australia: Government of South Australia, Department of Health	WHO: Guidelines for using treated wastewater in agriculture ²⁾
C _{BSB}	≤ 10 mg/l	≤ 10 mg/l	≤ 30 mg/l	≤ 45 mg/l	≤ 20 mg/l	-
C _{CSB}	≤ 60 mg/l	-	-	-	-	-
X _{TS}	nahezu schwebstofffrei	-	≤ 30 mg/l	≤ 45 mg/l	≤ 30 mg/l	-
Gesamtcoliforme Bakterien	-	n.n.	-	-	-	-

	Deutschland: DIN 19650 ¹⁾ , 1999	Japan: Japan Sewage Works Association, 1993	USA: EPA, 2004	Kanada BC: Waste Management Act - Municipal Sewage Regulation, 1999	Australia: Government of South Australia, Department of Health	WHO: Guidelines for using treated wastewater in agriculture ²⁾
Fäkalstrepto- kokken	< 400/100 ml	-	-			-
E.coli	< 2.000/100 ml	-	-	-	10/100ml	< 10 ⁶ /100 ml
Salmo- nellen	n.n.	-	-		-	-
Chlor	-	-	> 1 mg/l	-	0,5-2,0 mg/l	-
Trübung	-	-	-	-	≤ 2 NTU	-
Geruch	Normal	Normal	Normal	-	Normal	-
pH-Wert	-	5,8-8,6	6-9	6-9	-	-
¹⁾ Werte entsprechen der Eignungsklasse 4 der DIN 19650 ²⁾ Grenzwerte für die Bewässerung von Nahrungspflanzen.						

4.1.3. Allgemein rechtliche Anforderungen für eine Teilnutzung als Wasch- und Spülmaschinenwasser

Bezüglich dieses Nutzungsbereichs gibt es **derzeit keine rechtlich festgesetzten Qualitätsanforderungen**.

Aus diesem Grund muss auf andere gesetzliche Vorgaben fachähnlicher Gebiete zurückgegriffen werden. Dazu zählen die **nationale Trinkwasserverordnung** (Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21.Mai 2001 - Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001), die zwischenstaatlichen **Anforderungen der WHO**, die **EU-Trinkwasserrichtlinie** (Richtlinie 98/83/EG vom 3.November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch) und die EU-Badegewässerrichtlinie (Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung).

Das Heranziehen der **EU-Badegewässerrichtlinie** ist insofern gerechtfertigt, da bei der Einhaltung der dort geforderten Grenzwerte keine Erkrankung auftritt, selbst wenn man Ganzkörperkontakt über einen längeren Zeitraum mit dem Wasser hat oder es in geringen Mengen oral aufnimmt.

In Versuchen, bei denen sowohl mit Trink- als auch recyceltem Grauwasser Wäsche gewaschen wurde hat man festgestellt, dass unter hygienischen Gesichtspunkten keinerlei Unterschiede

sowohl in der Wasch- als auch in der Wäschequalität aufgetreten sind. Die wesentliche Hygienisierung fand während der Trocknungsphase statt.

Die Novellierung der EU-Badegewässerrichtlinie umfasst einige Änderungen. Im Wesentlichen werden nur noch hygienisch relevante Parameter betrachtet. Zudem wurden die mikrobiologischen Parametersätze geändert. Das bedeutet, dass Gesamtcoliforme Bakterien demnach weitestgehend entfallen. Des Weiteren werden intestinale Enterokokken (entsprechen meist *Streptococcus faec.*) durch Routineüberwachungen mittels Grenzwerteinführung übernommen. Fäkalcoliforme Bakterien werden durch E.coli ersetzt.

Auf Grund dieser Änderungen ist ein Vergleich mit der Trinkwasserverordnung möglich. Bis 2014 bleibt die „alte“ Richtlinie jedoch in Kraft.

Ziel der Trinkwasserverordnung ist es, *„die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben, das für den menschlichen Gebrauch bestimmt ist, durch Gewährleistung seiner Genusstauglichkeit und Reinheit nach Maßgabe der folgenden Vorschriften zu schützen (TrinkwV, 2001).“*

Demnach muss Wasser für den menschlichen Gebrauch frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Dazu müssen bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Zudem muss die Qualität des Wassers den Anforderungen der §§ 5-7 der Trinkwasserverordnung entsprechen (TrinkwV, 2001).

Bei der **privaten Anwendung von Betriebswasser** müssen die **Anforderungen der Trinkwasserrichtlinie nicht eingehalten werden**. Das hygienische Risiko trägt der Anwender. Im öffentlichen Bereich stellt sich die Situation anders dar. Hier muss die Trinkwasserverordnung zwingend eingehalten werden.

In nachfolgenden Tabellen 16-1 und 16-2 werden die verschiedenen Qualitätsanforderungen der aufgeführten Richtlinien miteinander verglichen. Für den internationalen Vergleich werden die Richtwerte der WHO herangezogen.²⁸

²⁸ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

Tabelle 16-1: Gegenüberstellung verschiedener Qualitätsanforderungen für Trinkwasser und Badegewässer. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.138.

Mikrobiologische Parameter	RL 2006/7/EG, 2006			TrinkwV	WHO
	ausgezeichnet	gut	ausreichend		
Gesamtcoliforme Bakterien	-	-	-	0/100 ml	0/100 ml
Intestinale Enterokokken	200/100 ml	400/100 ml	330/100 ml	0/100 ml	-
<i>Escherichia coli</i>	500/100 ml	1.000/100 ml	900/100 ml	0/100 ml	0/100 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	0/250 ml	-
Koloniezahl bei 22°C	-	-	-	100/ml	-
Koloniezahl bei 36°C	-	-	-	20/ml	-

Tabelle 16-2: Gegenüberstellung verschiedener Qualitätsanforderungen für Trinkwasser und Badegewässer. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.138.

Physikalische und chemische Parameter	RL 2006/7/EG, 2006			TrinkwV	WHO
	ausgezeichnet	gut	ausreichend		
pH-Wert	-	-	-	6,5-9,5	-
Trübung	-	-	-	1 NTU	5 NTU
Färbung	-	-	-	-	15 TCU

4.1.4. Allgemein rechtliche Anforderungen an die Einleitung und Versickerung von Grauwasser

Betrachtet man die **Einleitung** von behandeltem Grauwasser in ein Gewässer, so ist vor allem das **Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts** (kurz Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31.07.2009, geltend ab dem 01.03.2010, zu beachten.

Hier ist festgelegt, dass das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer als dessen Benutzung gilt. Dafür wiederum ist nach WHG eine Genehmigung erforderlich.

Die Mindestanforderungen, die an die Einleitung von Direkteinleitern gestellt werden, sind ebenfalls im Wasserhaushaltsgesetz zu finden.

Eine weitere wichtige gesetzliche Regelung in Bezug auf das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer ist die **Abwasserverordnung** (Verordnung über die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, 2004 - AbwV). Hier werden in Abhängigkeit der Größe der Behandlungsanlage Mindestanforderungen (emissionsbedingte Anforderungen) gestellt. Für die Genehmigung werden in der Regel die regionalen Bestimmungen zum Einleiten von Abwasser einzuhalten sein. Diese können von der Abwasserverordnung abweichen.

Mikrobiologische Grenzwerte für die Gewässereinleitung gibt es in Deutschland derzeit nicht. Ein Anhaltspunkt ist hier die **Europäische Wasserrahmentrichtlinie** (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik - WRRL). Hier wird unter anderem auf die besondere Schutzwürdigkeit von Gewässern zur Nutzung als Badegewässer und Gewässern zur Entnahme von Trinkwasser verwiesen. Diese Anforderungen können zum Tragen kommen, wenn eine Einleitung in ein Oberflächengewässer stattfindet, dass entweder als Badegewässer genutzt wird oder der Trinkwassergewinnung dient.

Des Weiteren stellt die **Richtlinie „Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedstaaten“** (RL 75/440/EG) Leitwerte in Abhängigkeit des jeweiligen Trinkwasseraufbereitungsverfahrens auf.

Generell sind mikrobiologische Parameter für die Einleitung von Grauwasser jedoch nicht relevant, da derzeit keine mikrobiologischen Grenzwerte für die Einleitung von Abwasser aus Kleinkläranlagen einzuhalten sind.²⁹

Wenn es um die **Versickerung** von gereinigtem Abwasser in einer technischen Versickerungsanlage (zum Beispiel in einer Sickermulde oder einer Sickerrigole) geht, ist in der Regel eine Genehmigung der zuständigen Wasserbehörde einzuholen. Die **Genehmigung erfolgt nach § 34 WHG** und darf nur erteilt werden, wenn bei der Versickerung *„eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers nicht zu besorgen“* ist. Von Bedeutung ist zudem, dass die Nährstoffe im Grauwasser nur einen Anteil von 2%-5% der Nährstoffe im häuslichen Abwasser haben. Wenn

²⁹ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

biologisch behandeltes Abwasser in den Untergrund verbracht wird, ist die **DIN 426-1, 2002 (Kleinkläranlagen - Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung)** zu beachten.

Die **Versickerung** von gereinigtem Abwasser wird **durch länderspezifische Richtlinien** geregelt. Hier sind die länderspezifischen Anforderungen hinsichtlich der Passage der Bodenschicht und hinsichtlich des Flurabstands der Versickerungsanlage zum Grundwasser zu berücksichtigen.

Tabelle 17: Anforderungen an gereinigtes häusliches und kommunales Abwasser aus Kläranlagen zur Versickerung.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005, S.15.

		Überwachungswert	Quelle
Absetzbare Stoffe	bei Anschlusswerten bis zu 15 E	0,1 ml/l	HMUEJFG, 1996
BSB ₅		20 mg/l	HMUEJFG, 1996
CSB		100 mg/l	HMUEJFG, 1996
Absetzbare Stoffe	bei Anschlusswerten von mehr als 15 E	0,1 ml/l	HMUEJFG, 1996
BSB ₅		15 mg/l	HMUEJFG, 1996
CSB		80 mg/l	HMUEJFG, 1996
N _{anorg., gesamt}		24 mg/l	MLUR, 2001
AOX		0,025 mg/l	MLUR, 2001

4.2. Technische Voraussetzungen für Grauwasserrecycling

Betrachtet man die technischen Voraussetzungen, um Grauwasser zu behandeln, so kann man **installationstechnische Aspekte** von **Stoffstromsystemen** unterscheiden. Während die installationstechnischen Aspekte hauptsächlich durch Richtlinien geprägt sind, unterscheidet man bei den Stoffstromsystemen die verschiedenen Möglichkeiten, diese voneinander zu trennen um eine Behandlung überhaupt durchführen zu können.

4.2.1. Installationstechnische Aspekte

Hier sind Richtlinien zu beachten, die für eine **Installation einer Grauwasserbehandlungsanlage** wesentlich sind. Dazu zählen die **DIN 1988, Teil 4**: Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen; die **DIN 1988, Teil 2**: Kennzeichnung von Entnahmestellen, die mit Betriebswasser gespeist werden; **DIN 2403**: Kennzeichnung nicht erdverlegter Rohrleitungen nach dem Durchflusstoff; **DIN 1986**: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke und das ATV-Arbeitsblatt A 138 sowie die **DIN 2461** bei Versickerung.

DIN 1988 Teil 4 besagt, dass eine konsequente **Trennung des Trinkwassernetzes vom Betriebswassernetz** erforderlich ist. Die Wassernachspeisung aus der Trinkwasserversorgung muss als freier Auslauf konzipiert sein. Dies soll das Eindringen von Betriebswasser und somit auch eine eventuell auftretende Gefährdung durch Verkeimung des Trinkwassers ausschließen.

DIN 1988 Teil 2 fordert eine eindeutige **Kennzeichnung von Entnahmestellen**, die mit Betriebswasser gespeist werden um eine Verwechslung von Betriebs- und Trinkwasser zu verhindern. Zu den Entnahmestellen zählen auch Toiletten, die mit folgendem Schild gekennzeichnet werden müssen.



Abb.14: Oben: Beispiel für ein Warnschild „Kein Trinkwasser“ zur Kennzeichnung von Entnahmestellen, die mit Betriebswasser gespeist werden.

Quelle: http://www.absperr-schilder-technik.de/artikelbilder/Hinweisschild_zur_Betriebskennzeichnung_Kein_Trinkwasser_21_1174.jpg; Stand 26.07.2010.



Abb.15: Rechts: Beispiel für die Kennzeichnung einer Toilette, die mit behandeltem Grauwasser betrieben wird.

Quelle: <http://bilder.rofl.to/pic/kein-trinkwasser-1;> Stand 26.07.2010

Des Weiteren sollen Zapf-/Abgabestellen für Betriebs- und Trinkwasser räumlich getrennt werden, um mögliche schnelle Querverbindungen über Schlauchanschlüsse zu vermeiden.

Die **DIN 2403** weist darauf hin, dass **Trink- und Grauwasserleitungen** so beschildert werden, dass die unterschiedlichen Leitungsnetze auch nach Jahren noch eindeutig voneinander unterschieden werden können. Vorgeschlagen wird eine Kunststoffleitung, die folgende Einprägung aufweist: „Betriebswasser - kein Trinkwasser“.

Die **DIN 1986** und die **DIN 4261** sowie das **ATV Arbeitsblatt A 138** sind bei **Versickerung** des behandelten Grauwassers zu beachten.

Die hier aufgeführten Richtlinien sollen eine Gesundheitsgefährdung für den Verbraucher nahezu ausschließen.³⁰

Folgende Tabellen sollen einen Überblick über die derzeitig bestehenden Regelwerke liefern, die auch im Hinblick auf die Installation einer Grauwasserbehandlungsanlage anwendbar sind.

Tabelle 18: Regelwerkübersicht: Ableitung innerhalb von Gebäuden.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.52.

Regelwerk	Beschreibung	Stand
DIN EN 12056-1	Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden; Allgemeine und Ausführungsanforderungen	Januar 2001
DIN 1986-100	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056	Februar 2002
DIN 1986-3	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Regeln für Betrieb und Wartung	November 2004
DIN 1986-4	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Verwendungsbereiche von Abwasserrohren und -formstücken verschiedener Werkstoffe	Februar 2003
DIN 1986-30	Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Instandhaltung	Februar 2003
DIN EN 12050-2	Abwasserhebeanlagen für die Gebäude und Grundstücksentwässerung; Abwasserhebeanlagen für fäkalienfreies Abwasser	Mai 2001
DIN EN 12050-3	Abwasserhebeanlagen für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung; Abwasserhebeanlagen zur begrenzten Verwendung	Mai 2001
DIN EN 12050-4	Abwasserhebeanlagen für die Gebäude und Grundstücksentwässerung; Rückflussverhinderer für fäkalienfreies und fäkalienhaltiges Abwasser	Mai 2001
DIN EN 12056-1	Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden	Januar 2001
DIN EN 12109	Unterdruckentwässerungssysteme innerhalb von Gebäuden	Juni 1999

³⁰ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

Tabelle 19: Regelwerkübersicht: Ableitung außerhalb von Gebäuden.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.53.

Regelwerk	Beschreibung	Stand
DIN EN 476	Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme	Aug. 1997
DIN EN 1085	Abwasserbehandlung - Wörterbuch	Mai 2007
DIN EN 1091	Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	Feb. 1997
DIN EN 1610	Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen	Okt. 1997
DIN EN 1671	Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	Aug. 1997
DIN EN 752	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	Jan. 1996
DIN EN 60079-14	Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Elektrische Anlagen für gefährdete Bereiche (ausgenommen Grubenbau)	April 2004
DWA-A 110	Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen	Aug. 2006
DWA-A 112	Richtlinien für hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserkanälen und -leitungen	Aug. 2007
DWA-A 116-1	Besondere Entwässerungsverfahren; Teil 1: Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	März 2005
DWA-A 116-2	Besondere Entwässerungsverfahren; Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden	Mai 2007
DWA-A 118	Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen	März 2006
ATV-DVWK-A 134	Planung und Bau von Abwasserpumpenanlagen	Juni 2000
ATV-DVWK-A 142	Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten	Nov. 2002
ATV-A 200	Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten	Mai 1997
ATV-DVWK-M 154	Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen - Vermeidung oder Verminderung -	Okt. 2003
ATV-M 168	Korrosion von Abwasseranlagen - Abwasserableitung	Juli 1998

4.2.2. Stoffstromsysteme

Um die Behandlung von Grauwasser überhaupt zu ermöglichen, ist das Wasser aus Dusche, Waschbecken und Waschmaschinen getrennt vom Schwarzwasser (Ablauf der Toilette) in einem **Fassungs- und Ablaufsystem** zu erfassen.

Bei der **Grauwassererfassung** ist je nach Behandlungsziel die Erfassung von Grauwasser-teilströmen zu differenzieren. Welche Teilströme für die Grauwassernutzung erfasst werden, kann durch eine Wassermengenbilanz entschieden werden. Grundsätzlich erfolgt die **Erfassung des Grauwassers über die Hausinstallationen**. Zudem bietet es sich an, eine separate Erfassung von schwach belastetem und stark belastetem Grauwasser vorzunehmen, wobei es in privaten Haushalten meist ausreicht, die schwach belasteten Grauwasserteilströme (Grauwasser aus Duschen und Badewannen und Grauwasser aus Handwaschbecken) zu berücksichtigen. Für öffentliche Gebäude wie Schulen, Hotels, Schwimmbäder und ähnliches können keine allgemein gültigen Aussagen getroffen werden. Hier muss vor allem im Planungsprozess die Wassermengenbilanz als Entscheidungshilfe herangezogen werden.

Bei der Ableitung von Schmutzwasser unterscheidet man im Allgemeinen zwei wesentliche Planungsfelder:

- Ableitung innerhalb von Gebäuden,
- Ableitung außerhalb von Gebäuden.

Diese Art der Aufteilung orientiert sich stark an den planungstechnischen Zuständigkeiten. Alle **Anlagen, die innerhalb von Gebäuden** liegen, betreffen den **Fachbereich der Haustechnik**, da sie sich auf privaten Grundstücken befinden. Anlagen hingegen, die sich in den **öffentlichen Straßen und Plätzen** befinden, unterliegen dem **Fachbereich der Siedlungswasserwirtschaft**. Diese Trennung findet sich auch in den jeweiligen Regelwerken wieder, die in den Tabellen 18 und 19 dargestellt sind.

Die Systeme, die eine Ableitung der unterschiedlichen Grauwasserteilströme und die Versorgung mit Brauchwasser ermöglichen, sind in Tabelle 20 und 21 aufgelistet.

Tabelle 20: Ableitungssysteme für unterschiedliche Grauwasserteilströme und Versorgungssysteme für Brauchwasser innerhalb von Gebäuden. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.70.

Stoffströme	Ableitungssystem	Kriterien/Einflussfaktoren							
		Auswirkungen o=keine, *=geringe, **=mittlere, ***=hohe, ?=z.Z. nicht bekannt							
		innerhalb von Gebäuden							
		konstruk-tiver Aufwand	Betriebsaufwand	Energiebedarf	Verhinderung von Geruchsentwicklung	Qualitätsveränderung	Vermeidung von Ablagerungen	Vermeidung von Verstopfung	Anpassungsfähigkeit (zukünftig)
Ableitungssystem für Grauwasser	Schwerkraft	*	*	*	*	o	o	o	o
	Vakuum	***	***	***	**	o	**	**	***
	Druck								
Spülmaschine/Waschmaschine	Druck	**	***	***	*	o	**	**	***
Versorgung mit Betriebswasser (aufbereitetem Grauwasser)	Schwerkraft	**	*	*	*	o	**	**	**
	Druck	*	**	***	*	o	**	**	**

Tabelle 21: Ableitungssysteme für unterschiedliche Grauwasserteilströme und Versorgungssysteme für Brauchwasser außerhalb von Gebäuden. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.70.

Stoffströme	Ableitungssystem	Kriterien/Einflussfaktoren							
		Auswirkungen o=keine, *=geringe, **=mittlere, ***=hohe, ?=z.Z. nicht bekannt							
		außerhalb von Gebäuden							
		konstruktiver Aufwand	Betriebsaufwand	Energiebedarf	Verhinderung von Geruchsentwicklung	Qualitätsveränderung	Vermeidung von Ablagerungen	Vermeidung von Verstopfung	Anpassungsfähigkeit (zukünftig)
Ableitungssystem für Grauwasser	Schwerkraft	*	*	*	*	o	o	o	o
	Vakuum	***	***	***	**	o	**	**	***
	Druck	***	***	***	**	o	**	**	***
Spülmaschine/Waschmaschine	Druck								
Versorgung mit Betriebswasser (aufbereitetem Grauwasser)	Schwerkraft	**	*	*	*	o	**	**	**
	Druck	*	**	***	*	o	**	**	**

Konventionelle Ableitungssysteme bezeichnet man als **1-Stoffstromsysteme**. Hierbei wird das gesamte Abwasser zusammen abgeführt. Es verfügt nicht über eine Stoffstromtrennung. Das Abwasser wird zentral oder dezentral gereinigt. Nur in diesem System gibt es die Möglichkeit, das Regenwasser zusammen mit dem Schmutzwasser als Mischwasser abzuführen. Um die einzelnen Stoffströme zu trennen, gibt es **neuartige Sanitärsysteme**, die im Folgenden unter dem Gesichtspunkt der Trennung des Grauwassers zu dessen Aufbereitung dargestellt werden.

Tabelle 22: Unterteilung von Abwasserinfrastruktursystemen in Systemgruppen.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.21.

Nr.	Name Systemgruppe	Stofftrennung	Stoffströme	Behandlungsziel
1	1-Stoffstromsystem	gemeinsame Ableitung	Schmutzwasser	Ableitung und Elimination
				Rückgewinnung und Nutzung
2	Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem	Abtrennung Grauwasser Rest-Abwasser mit verringerter Fracht und Menge	Grauwasser Schwarzwasser	Rückgewinnung und Nutzung
3	Urintrennung 2-Stoffstromsystem	Abtrennung Gelbwasser Rest-Abwasser mit verringerter Fracht	Gelbwasser Braunwasser/ Grauwasser	Rückgewinnung und Nutzung
4	Urintrennung 3-Stoffstromsystem	Abtrennung Gelb- und Grauwasser Rest-Abwasser mit verringerter Fracht und Menge	Gelbwasser/ Grauwasser Braunwasser	Rückgewinnung und Nutzung
5	Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Tockentoiletten)	Abtrennung Grauwasser Unverdünnte Nass-Fäkalie Kein Rest-Abwasser	Grauwasser Fäkalien	Rückgewinnung und Nutzung
6	Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoiletten)	Abtrennung Gelb- und Grauwasser Unverdünnte Trocken-Fäkalie Kein Rest-Abwasser	Urin/Grauwasser Fäzes	Rückgewinnung und Nutzung

Die in Tabelle 22 dargestellten Sanitärsysteme setzen eine unvermischte Ableitung des Regenwassers voraus.

Die folgenden Darstellungen zeigen die Option, das Regenwasser gemeinsam mit dem Schmutz-, Grau- oder Braunwasser abzuführen. Beim Nutzungsort Bad wird immer vorausgesetzt, dass zum Zähneputzen immer Trinkwasser zum Einsatz kommt, auch wenn für alle anderen Zwecke im Bad das Pflegewasser ausreicht. Ferner wird nicht zwischen dezentralen und zentralen Systemen unterschieden. Konkrete Behandlungsmethoden werden hier nicht dargestellt. Mit welchen Verfahren und Methoden Grauwasser behandelt werden kann, wird im Abschnitt 5 ausführlich erläutert.

4.2.2.1. Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem

Im **Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem** wird das **Regenwasser** entweder abgeleitet oder für eine Nutzung als Reinigungs-, Toilettenspül- oder Waschmaschinenwasser behandelt. Während der Behandlung des Regenwassers findet eine Phasentrennung durch Sedimentation oder Filtration statt. Eine Nutzung des behandelten oder unbehandelten Regenwassers zur Bewässerung von Gärten und Grünanlagen sowie eine Nutzung in der Landwirtschaft ist möglich. Es kann jedoch auch in das Kanal- oder Versickerungsnetz eingeleitet werden.

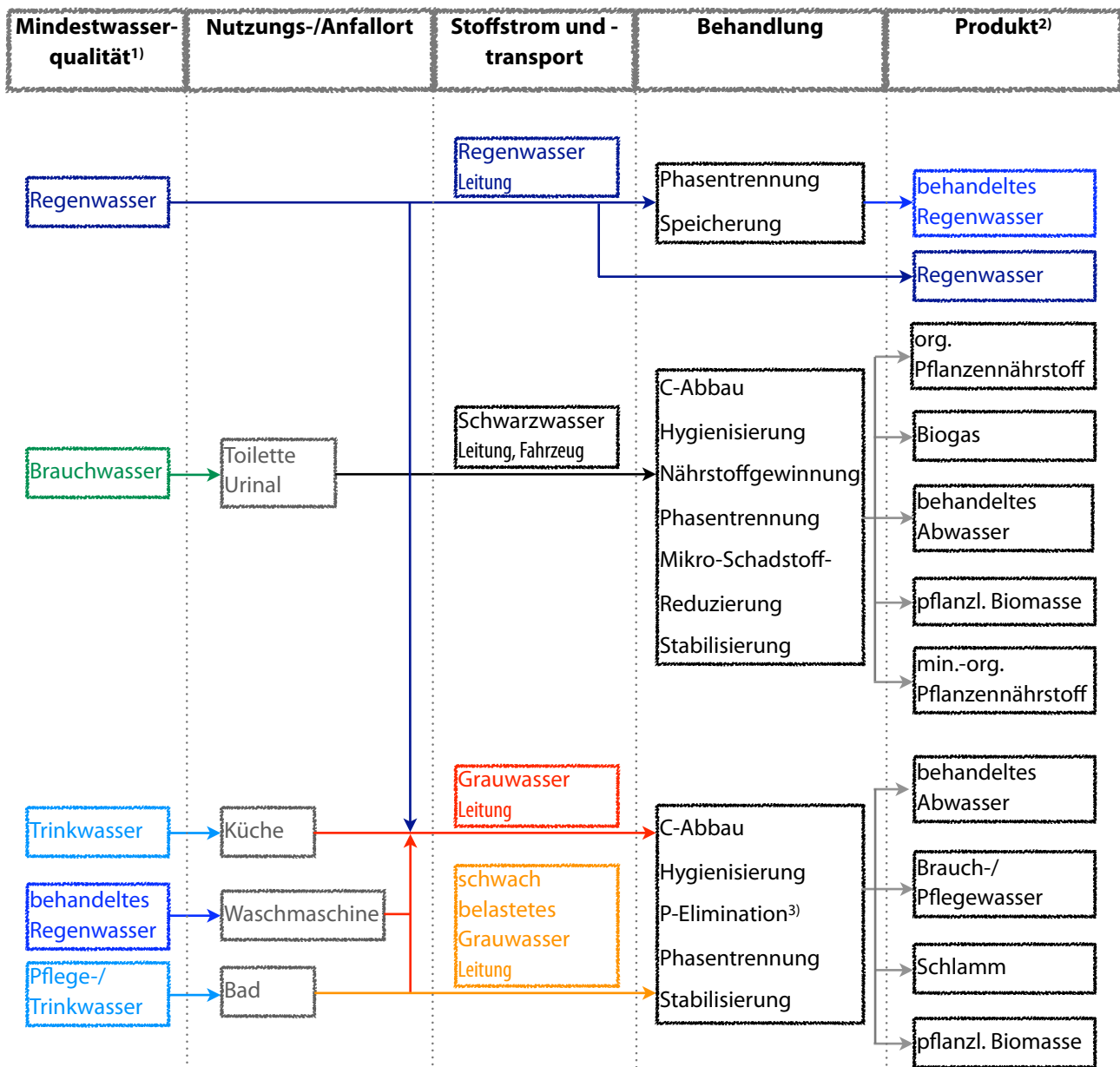
Das **Schwarzwasser** wird als Mischung aus Urin, Fäzes und Spülwasser zusammen erfasst und abgeleitet. Anschließend erfolgt eine Behandlung des Schwarzwassers. Ziele hierbei sind der Abbau von Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffgewinnung, Stabilisierung, Phasentrennung, Hygienisierung und die Reduktion von Mikroschadstoffen. Als Produkte entstehen dabei behandeltes Abwasser, organisch-mineralische Pflanzennährstoffe und gegebenenfalls Biogas. Nach der Behandlung bleibt eine flüssige Phase übrig, die einer weiteren Behandlung unterzogen werden muss.

Schwach belastetes Grauwasser aus dem Bad wird getrennt abgeleitet und so aufbereitet (Abbau von Kohlenstoffverbindungen und Hygienisierung), dass es als Brauch- oder Pflegewasser wiederverwendet werden kann.

Stark belastetes Grauwasser aus der Küche muss zusätzlich einer P-Elimination unterzogen werden.

Bei beiden Grauwasserarten kann als Nebenprodukt, neben der Entstehung von Brauch- und Pflegewasser, behandeltes Abwasser anfallen. Des Weiteren fällt Schlamm an, der entnommen und weiterbehandelt werden muss.³¹

³¹ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.



1) höhere Wasserqualitäten für die Nutzung einsetzbar

2) Verbleib gemäß Tabelle 23

3) Nur bei Küchenabfällen

Abb.16: Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.24.

4.2.2.2. Urintrennung 3-Stoffstromsystem

Auch in diesem System wird das **Regenwasser** abgeleitet oder für eine Nutzung behandelt. Wenn das Regenwasser als Reinigungs-, Toilettenspül- oder Waschwasser genutzt werden soll, dann muss es einer Phasentrennung durch Sedimentation oder Filtration unterzogen werden. Auch hier kann das behandelte oder unbehandelte Regenwasser zur Bewässerung von Gärten und Grünflächen oder zur Nutzung in der Landwirtschaft wiederverwendet werden. Zudem kann es in das Kanal- oder Versickerungssystem abgeleitet werden.

Das **Braunwasser** aus den Fäzes der Toilette und dem Spülwasser muss abgeleitet oder mit einem Fahrzeug beziehungsweise manuell abtransportiert werden. Wenn das Braunwasser behandelt wird, stehen dabei die Kohlenstoffelimination, Hygienisierung, Phasentrennung und Stabilisierung im Vordergrund. Dabei entstehen vor allem mineralisch-organische Pflanzennährstoffe und gegebenenfalls Biogas. Nebenprodukt der Behandlung des Braunwassers ist eine flüssige Phase, die einer weiteren Behandlung unterzogen werden muss.

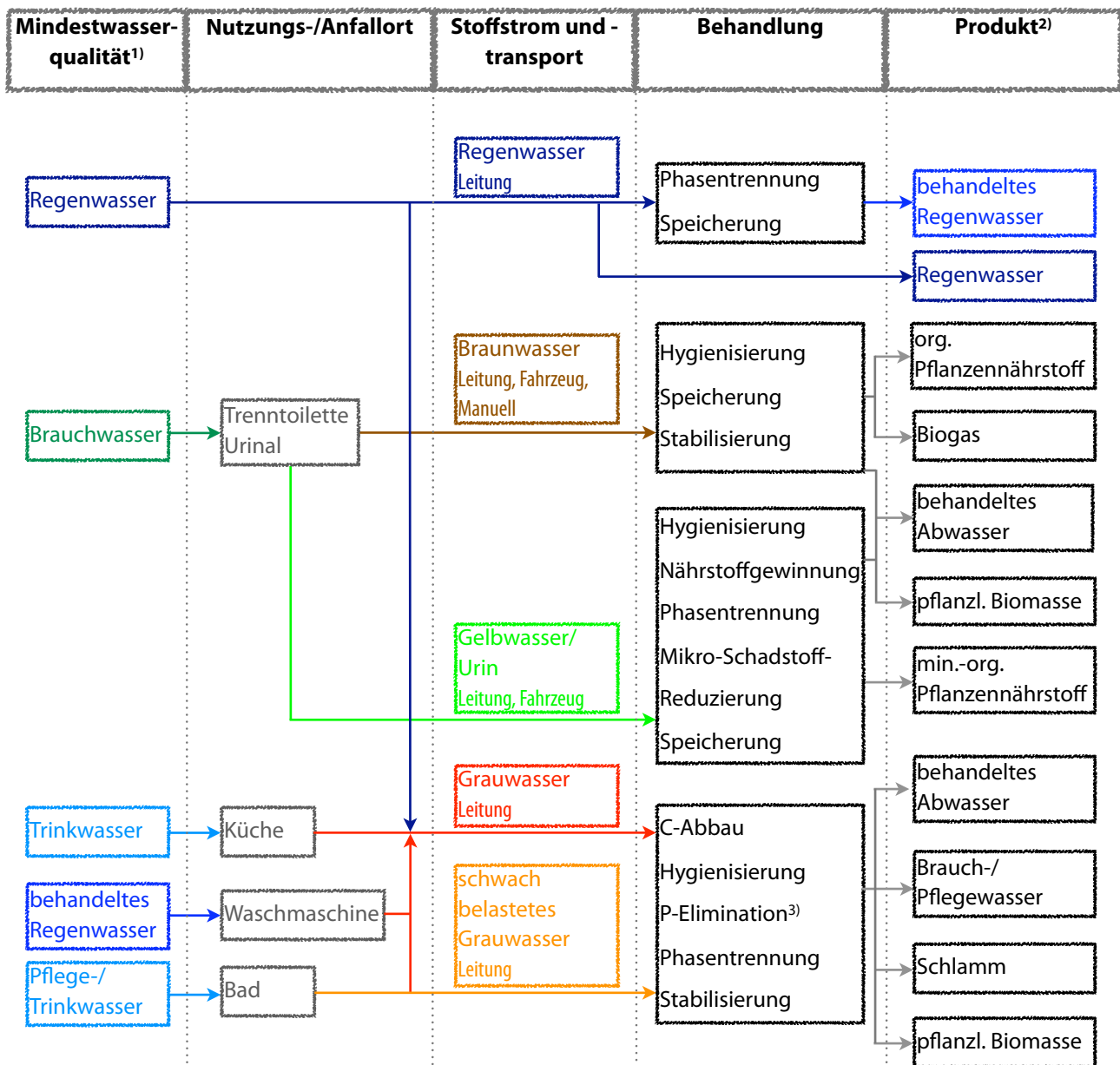
Urin/Gelbwasser, dass aus den Trenntoiletten und/oder dem Urinal getrennt erfasst wird, muss durch Hygienisierung, Nährstoffgewinnung, Phasentrennung, Reduzierung der Mikroschadstoffe und Speicherung behandelt werden. Als Nebenprodukt fällt dabei Mineraldünger (fest oder flüssig) an. Dieser kann für nachwachsende Rohstoffe und Grünflächen sowie für Gärten und in der Landwirtschaft verwendet werden.

Schwach belastetes Grauwasser aus dem Bad wird getrennt abgeleitet. Durch den Abbau von Kohlenstoffverbindungen und Hygienisierung kann es als Brauch- oder Pflegewasser wiederverwendet werden.

Stark belastetes Grauwasser aus der Küche muss zusätzlich einer P-Elimination unterzogen werden.

Bei beiden Grauwasserarten kann je nach Behandlungsart auch behandeltes Abwasser als Nebenprodukt anfallen. Zusätzlich fällt Schlamm an, der entnommen und aufbereitet werden muss.³²

³² WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.



1) höhere Wasserqualitäten für die Nutzung einsetzbar

2) Verbleib gemäß Tabelle 23

3) Nur bei Küchenabfällen

Abb.17: Urinentrennung 3-Stoffstromsystem. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.27.

4.2.2.3. Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten)

Auch bei diesem Stoffstromsystem wird das **Regenwasser** abgeleitet oder für eine Nutzung behandelt. In welcher Form dies geschieht, wird in den Abschnitten 4.2.2.1 und 4.2.2.2 behandelt.

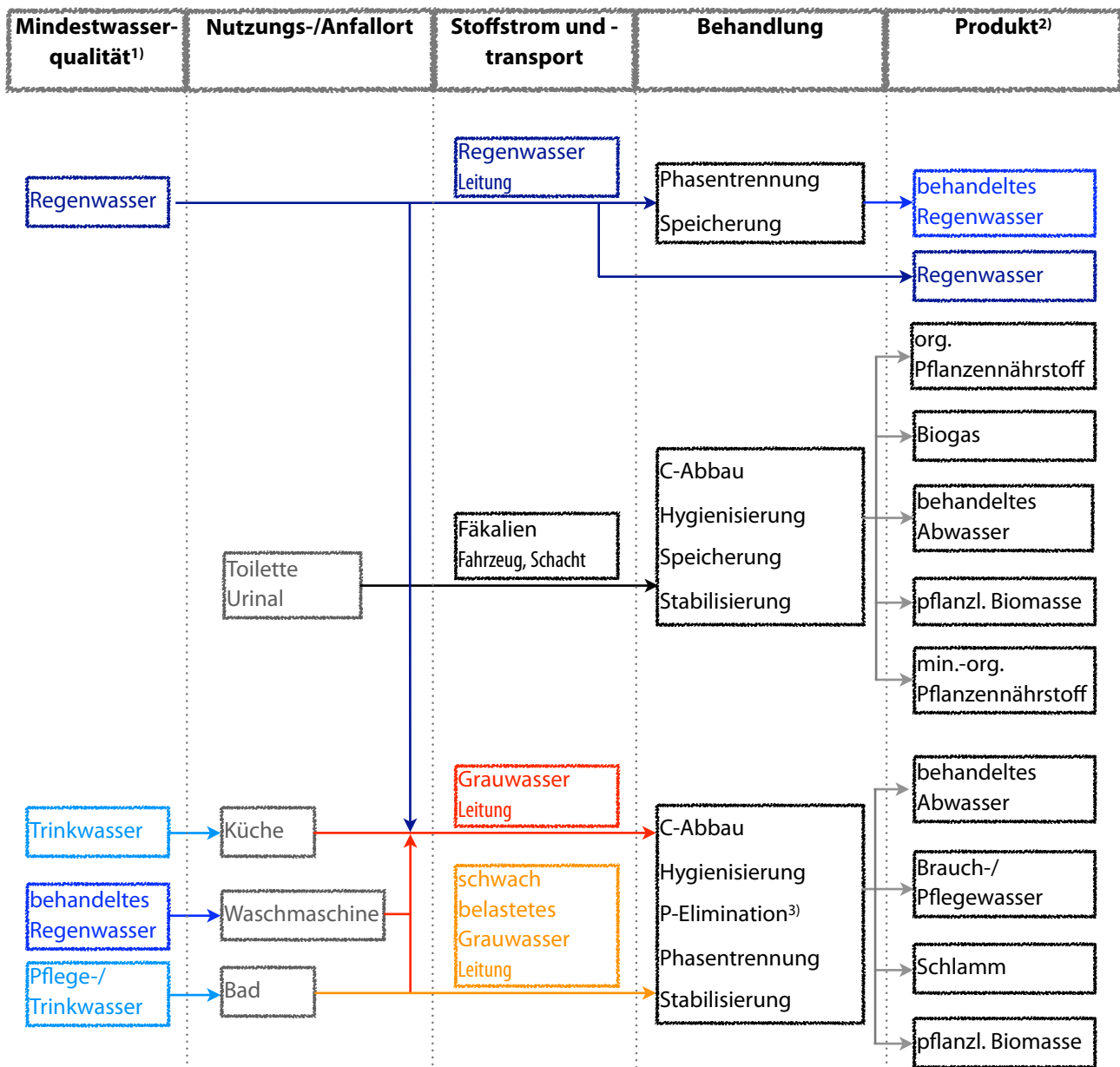
Die **Fäkalien** aus der Trockentoilette werden durch einen Schacht abgeworfen oder gesammelt und müssen abtransportiert werden. Anschließend erfolgt eine Behandlung mit dem Ziel des Abbaus von Kohlenstoffverbindungen, der Hygienisierung und der Stabilisierung. Als Produkte entstehen dabei organisch-mineralischer Pflanzennährstoff und gegebenenfalls Biogas. Auch hier kann bei der Behandlung und Biogasproduktion eine flüssige Phase anfallen, die weiterbehandelt werden muss.

Schwach belastetes Grauwasser wird getrennt abgeleitet und anschließend aufbereitet. Hier steht der Abbau von Kohlenstoffverbindungen sowie die Hygienisierung im Vordergrund. Nach der Behandlung des Grauwasser kann dieses als Brauch- oder Pflegewasser wieder eingesetzt werden.

Stark belastetes Grauwasser muss zusätzlich einer P-Elimination unterzogen werden. Wie schon in den Abschnitten 4.2.2.1 und 4.2.2.2 beschrieben, kann bei beiden Grauwasserarten neben dem Brauch- und Pflegewasser behandeltes Abwasser und Schlamm anfallen. Der Schlamm muss weiterbehandelt werden.

Bei diesem System der Stofftrennung wird auf Grund von Betriebserfahrungen eine Urintrennung empfohlen (beschrieben in Abschnitt 4.2.2.4).³³

³³ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.



1) höhere Wasserqualitäten für die Nutzung einsetzbar

2) Verbleib gemäß Tabelle 23

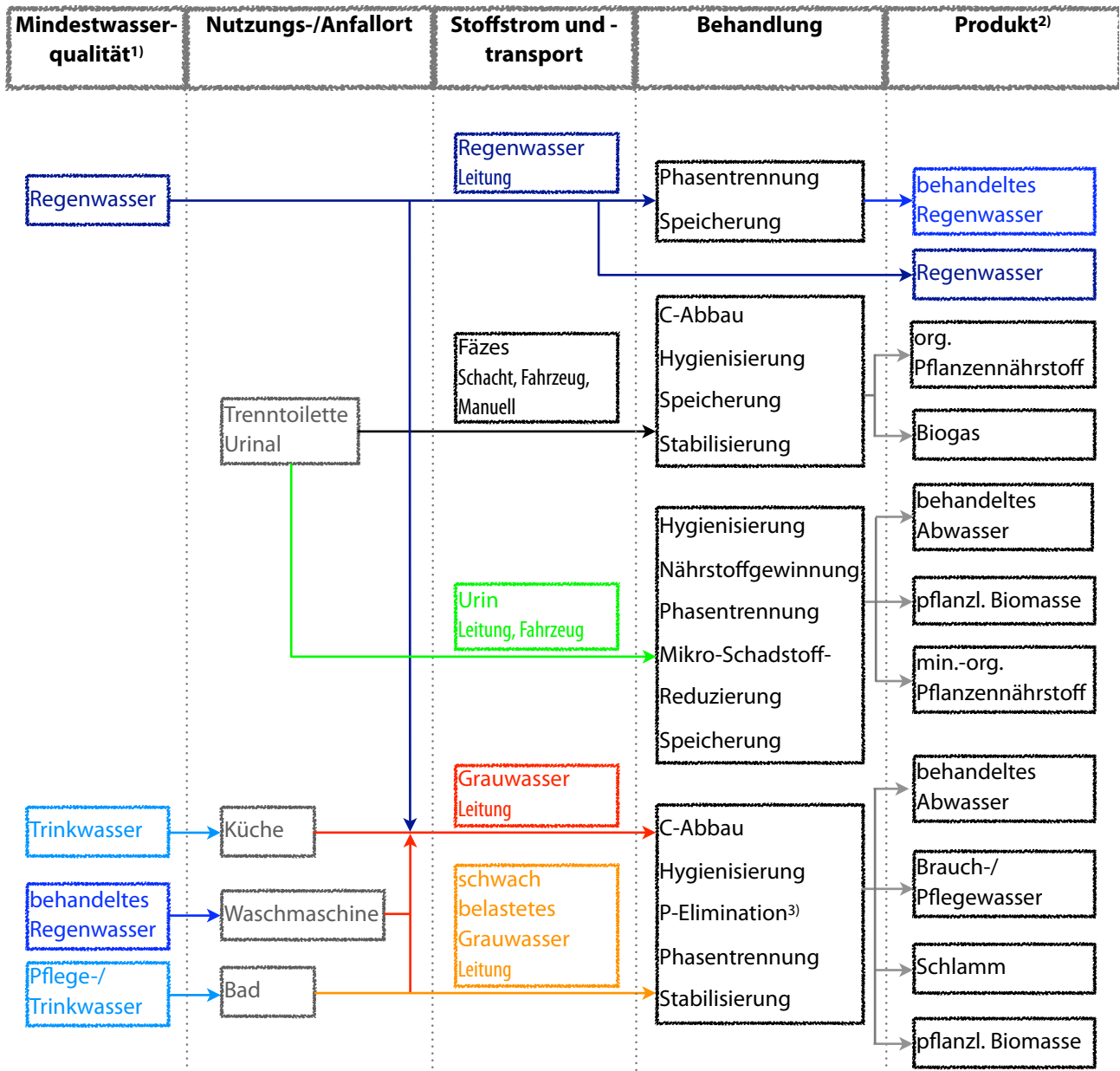
3) Nur bei Küchenabfällen

Abb.18: Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten). Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.28.

4.2.2.4. Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoilette)

Das **Regenwasser**, die **Fäzes**, das **schwach belastete** sowie das **stark belastete Grauwasser** werden wie in 4.2.2.3 beschrieben behandelt. Der Unterschied des Urintrennungs-3-Stoffstromsystems liegt darin, dass der **Urin** in einer Trockentoilette von den Fäzes mit Hilfe eines wasserlosen Urinals separat erfasst und in Leitungen oder einem Fahrzeug abtransportiert wird. Durch Hygienisierung, Nährstoffgewinnung, Phasentrennung, Reduzierung der Mikro-schadstoffe und/oder Speicherung wird der Urin behandelt. Als Produkt fällt dabei Mineraldünger in flüssiger oder fester Form an. Der Mineraldünger kann für nachwachsende Rohstoffe und Grünflächen sowie für Gärten und in der Landwirtschaft eingesetzt werden.³⁴

³⁴ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.



1) höhere Wasserqualitäten für die Nutzung einsetzbar

2) Verbleib gemäß Tabelle 23

3) Nur bei Küchenabfällen

Abb.19: Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoiletten). Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.29.

Den Produkten, die in den jeweiligen Stoffstromsystemen anfallen, ist ein entsprechender Nutzen zugeordnet. Dieser ist in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 23-1: Möglichkeiten des Verbleibs der Produkte aus den Systemdarstellungen. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.30.

Produkt	Verbleib					
	Körperpflege	Waschmaschine	Toilette	Putzen	Versickerung	Gewässer
Pflegewasser	✓	✓	✓	✓	✓	✓
beh. Regenwasser		✓	✓	✓	✓	✓
Brauchwasser			✓	✓	✓	✓
beh. Abwasser					✓	✓
org. Pflanzennährstoff						
min.-org. Pflanzennährstoff						
nachwachsender Rohstoff						
Schlamm						
Biogas						
Asche						
Asche (ohne Schwermetall)						

Tabelle 23-2: Möglichkeiten des Verbleibs der Produkte aus den Systemdarstellungen. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.30.

Produkt	Verbleib						
	Garten	Landwirtschaft	Grünflächen	Baumaterial	Energieerzeugung	Ablagerung	thermische Verwertung
Pflegewasser	✓	✓	✓				
beh. Regenwasser	✓	✓	✓				
Brauchwasser	✓	✓	✓				
beh. Abwasser	(✓)	(✓)	(✓)				
org. Pflanzennährstoff	✓	✓	✓				
min.-org. Pflanzennährstoff	✓	✓	✓				
nachwachsender Rohstoff				✓	✓		
Schlamm		✓		✓	✓		
Biogas					✓		✓
Asche				✓			
Asche (ohne Schwermetall)	✓	✓	✓			✓	

(✓) = bedingt möglich

5. Behandlungsverfahren zur Aufbereitung von Grauwasser

Grundsätzlich muss eine **Grauwasseraufbereitungsanlage** das anfallende Grauwasser sammeln, zwischenspeichern und so aufbereiten, dass es den in 4.1 dargestellten hygienischen Qualitätsanforderungen entspricht. Zudem muss die Versorgung mit qualitativ hochwertigem Betriebswasser auf Dauer gewährleistet sein. Welche Teilströme (Dusche, Badewanne, Handwaschbecken, Waschmaschine) für die Aufbereitung erfasst werden und ob sogar das Grauwasser aus Spülmaschine und Küche angeschlossen wird, sind für jeden Haushalt oder Gewerbebetrieb einzeln zu entscheiden. Dazu sollte eine individuelle **Wassermengenbilanz** und ein **Wasserkonzept** erstellt werden.³⁵

Die **Nutzungsmöglichkeiten** für behandeltes Grauwasser lassen sich wie folgt unterscheiden:

- Nutzung für Toilettenspülwasser,
- Nutzung als Bewässerungswasser,
- Teilnutzung zum Wäschewaschen bzw. für die Geschirrspülmaschine,
- Versickerung oder Einleitung in das Gewässer.

Je nach Nutzung sind spezifische Anforderungskriterien an das Betriebswasser (beschrieben in Abschnitt 4) zu erfüllen. Diese Anforderungen haben Einfluss auf den Aufbereitungsumfang.³⁶

Die **Grauwassermenge** und Zusammensetzung unterliegen je nach Verbraucherverhalten starken Schwankungen. Meist liegt der **Betriebswasserbedarf** deutlich unter der insgesamt anfallenden Grauwassermenge. Daher ist es meist nicht notwendig, die gesamte Menge des anfallenden Grauwassers aufzubereiten. In der Regel ist es immer von Vorteil, nur die gering belasteten Teilströme aus den Bereichen Dusche, Badewanne und Handwaschbecken einer Grauwasseraufbereitungsanlage zuzuführen.

Im **öffentlichen oder gewerblichen Bereich** ist eine Bilanzierung des Grauwasserdargebots und des Betriebswasserverbrauchs ebenfalls sehr sinnvoll, da der Verbrauch erheblich von dem der privaten Haushalte abweicht. Hier kann es unter Umständen sinnvoll sein, auch die stark belasteten Teilströme aus Küche und Spülmaschine einer Grauwasseraufbereitung zu

³⁵ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005.

³⁶ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

unterziehen. Aber auch hier ist eine gute Planung und Bemessung der technischen Auslegung der Grauwasserrecycling-Anlage notwendig.³⁷

Grauwasserrecycling-Anlagen können zentral oder dezentral errichtet werden. **Dezentrale Anlagen** sammeln das Grauwasser im Haus. Zu diesem dezentralen Typ zählen Anlagen, die das Grauwasser in der Wohnung speichern und aufbereiten sowie Hausanlagen, die das Wasser von einer oder mehreren Wohnungen behandeln. **Zentrale Anlagen** führen das Grauwasser aus dem Haus in eine Behandlungs- und Speicheranlage, an die mehrere Häuser angeschlossen sind.

Der **Vorteil dezentraler Anlage** besteht vor allem in den kurzen Leitungswegen. Es bestehen nur hausinterne Sammel- und Verteilleitungen. Da die Anlagen meist nur einen Haushalt oder eine Familie versorgen kann ein direkter Bezug zwischen dem Verschmutzungsgrad und den Verursachern hergestellt werden. Dies wird oft als positiv empfunden. Der Reinigungsaufwand kann meist auf ein Mindestmaß reduziert werden. **Nachteil** ist jedoch, dass die Anlagen meist so klein sind, dass die Investitions- und Wartungskosten höher sind. Dies kann man durch die Selbstbeteiligung des Besitzers bei Bau und Wartung jedoch reduzieren. Dezentrale Anlagen sind meist schnell zu realisieren.

Bei **zentralen Anlagen** sind die Transportleitungen länger, da sie das Grauwasser zu den außerhalb liegenden Anlagen und das Betriebswasser zu den Verbrauchsstellen transportieren müssen. Dies impliziert höhere Kosten. Die Investitions- und Betriebskosten sind auf Grund der größeren Anlage jedoch kleiner, wodurch die höheren Leitungskosten wieder eingespart werden. Etwas höher eingeschätzt werden muss jedoch der Reinigungsaufwand.

Der **Vorteil dieser Anlagen** ist jedoch, dass ein Ausgleich der zu behandelnden Wassermengen stattfindet, da Haushalte verschiedener Größen angeschlossen sind. Dadurch können auch Haushalte mit unregelmäßigem Anfall und Bedarf (z.B.: Alleinlebende) mit versorgt werden.

Nachteil der zentralen Anlagen ist ihr größerer Platzbedarf. Dieser muss bei der Planung mit berücksichtigt werden. Meist kann eine zentrale Anlage nur realisiert werden, wenn genügend Anwohner der Anlage zustimmen und die Grauwassertechnik einsetzen wollen, oder wenn dies von den Hausbesitzern oder Wohngesellschaften vorausgesetzt wird.

³⁷ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005.

Die Entscheidung für eine zentrale oder dezentrale Anlage ist von folgenden Randbedingungen abhängig:

- die Anzahl der potentiellen Mitnutzer der Anlage,
- die Akzeptanz bei den Mitnutzern,
- das Platzangebot in der Wohnung, im Keller oder auf Gemeinschaftsflächen und
- das Verhältnis Grauwasseranfall zu Betriebswasserbedarf.³⁸

Tagesgang Grauwasserzulauf und Betriebswasserbedarf

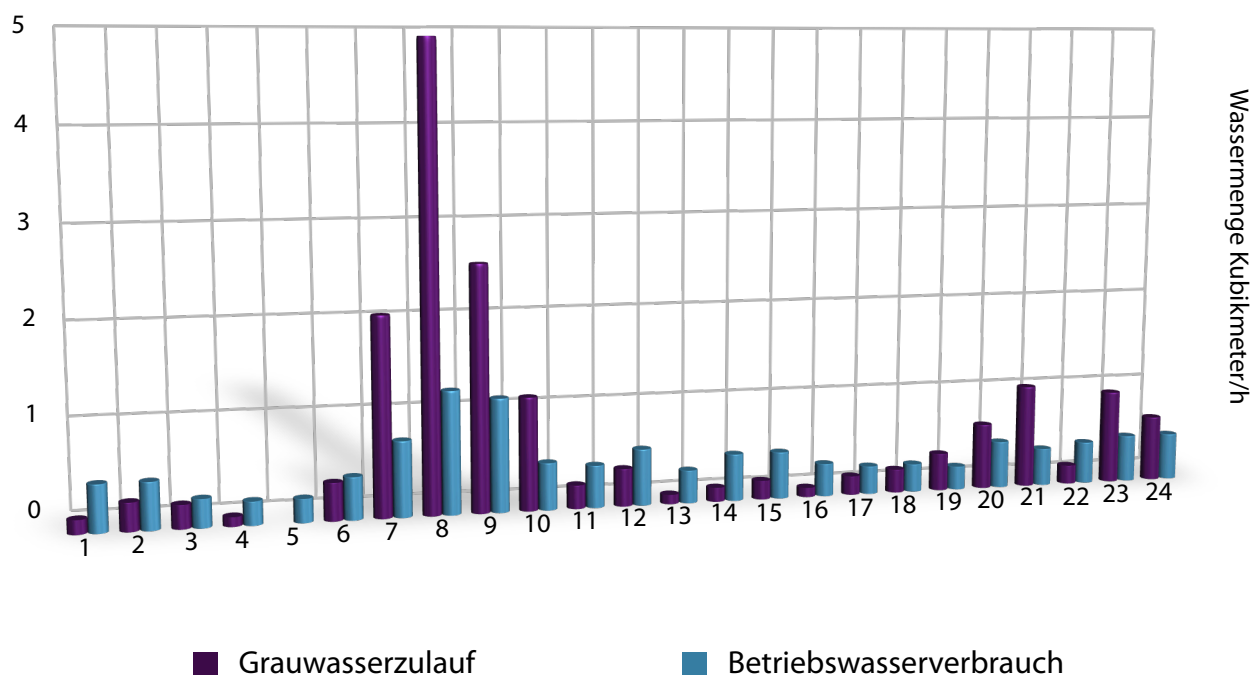


Abb.20: Tagesgang über den Grauwasserzulauf (Badewanne, Duschen und Handwaschbecken aus Hotel-Gästezimmern) und den Betriebswasserbedarf in den Gästezimmern zur Toilettenspülung. Eigene Bearbeitung nach: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005, S.18.

Der **Aufbau einer Grauwasserbehandlungsanlage** setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- **getrenntes Ablaufsystem**

Das Grauwasser aus Duschen, Badewannen, Handwaschbecken und Waschmaschinen muss getrennt vom Schwarzwasser erfasst werden. Dazu sind getrennte Fassungs- und Ablaufsysteme zu installieren. Es dürfen keine Querverbindungen zwischen dem Trink- und Betriebswassernetz bestehen. Die Betriebswasserleitungen sind nach der Trinkwasserverordnung vollständig und

³⁸ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: „fbr 5: Grauwasser-Recycling“; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999

dauerhaft zu kennzeichnen. Die Trinkwassernachspeisung muss nach DIN EN 1717 erfolgen. Die Zapfstellen sind nach Trinkwasserverordnung auszuführen.

- **Sammelbehälter/Zulaufpuffer**

Um eine gleichmäßige Beschickung der nachfolgenden Behandlungsstufen zu sichern, ist das Grauwasser in einem Sammelbehälter oder in einer ersten Reinigungsstufe zu sammeln. Zudem sollte es möglich sein, das Grauwasser bei Bedarf direkt in die Kanalisation abzugeben.

- **Reinigungsanlage**

Das Grauwasser ist mechanisch und biologisch zu reinigen um feststoffhaltige Verunreinigungen, fäulnis- und schlammbildende Stoffe zu entfernen. Nach der Reinigung sollte eine Hygienisierung erfolgen sein um pathogene Keime abzutöten.

- **Notüberlauf**

Die Grauwasserreinigungsanlage ist mit einem Notüberlauf in die Kanalisation auszustatten, um ein Überlaufen zu verhindern. Am sinnvollsten ist dieser Überlauf im Sammelbehälter/Zulaufpuffer anzubringen.

- **Betriebswasser-/Speicherbehälter**

Der Speicherbehälter dient der Bevorratung des Grauwassers. Damit soll der zeitlich verschobene Anfall von Grauwasser und der Bedarf von Betriebswasser ausgeglichen werden. So steht das Grauwasser jederzeit zur Verfügung. Das Speichervolumen ist abhängig vom Nutzerverhalten (siehe Abbildung 18 Tagesgang Dargebot und Tagesgang Verbrauch) und den verfahrenstechnischen Erfordernissen. Der Speicherbehälter ist damit der integrale Bestandteil der Anlage und kann entsprechend den verfahrenstechnischen Anforderungen der Nutzer geliefert werden. Normalerweise ergibt sich aus den Nutzerverhalten eine gute Übereinstimmung zwischen Grauwasseranfall und Betriebswasserbedarf. Daher sollte die Ausgleichs- und Speicherkapazität nicht größer sein als der Betriebswasserbedarf für einen Tag. Der Speicher sollte licht- und sauerstoffdicht abgeschlossen sein, um ein mögliches Algenwachstum auf Grund noch vorhandener Nährstoffe im Wasser zu vermeiden.

- **Trinkwassernachspeisung**

Obwohl der Betriebswasserbedarf zwar in der Regel unter der verfügbaren Grauwassermenge liegt, kann es durchaus vorkommen, dass dies an einzelnen Tagen nicht der Fall ist. Aus diesem Grund sollte zur Versorgungssicherheit eine automatische Nachspeisung erfolgen. Die Qualität des nachgespeisten Wassers muss für den Verwendungszweck geeignet sein. Erfolgt die Nachspeisung mit Trinkwasser, so muss die DIN EN 1717 zu Grunde gelegt werden. Die Nachspeisung erfolgt am besten in der letzten Stufe der Anlage. Zudem muss sichergestellt werden, dass eine unbeabsichtigte Nachspeisung sowie Rückstau und Überflutung ausgeschlossen sind.

- **Versorgungsnetz**

Neben dem getrennten Ablaufnetz muss ein vom Trinkwassersystem strikt abgetrenntes Versorgungsnetz für das gereinigte Grauwasser installiert werden. Auch hier gelten die oben genannten Vorschriften für die Kennzeichnung dieser Leitungen. In der Regel wird das Versorgungsnetz über eine Druckerhöhungsanlage versorgt.

- **Steuermodul**

Eine Grauwasseranlage läuft weitestgehend vollautomatisch. Hierfür ist je nach Verfahrensart ein Steuermodul erforderlich.

- **Sonstiges**

Die Stromversorgung der Anlage ist durch einen Fehlerstromschutzschalter abzusichern. Zudem sind Sensoren für die Wasserstandmessung zu integrieren. Inspektionen sind je nach Angaben des Herstellers der Anlage in regelmäßigen Abständen vorzunehmen. Geprüft werden sollte die Funktion der Anlage und der anlagenrelevanten Teile sowie Klarheit und Geruch des Betriebswassers durch Inaugenscheinnahme. Zusätzlich sollte die Anlage regelmäßig gewartet werden. Dies trägt zur Betriebssicherheit bei.³⁹

Die **Grauwasseraufbereitung** erfolgt durch folgende **verfahrenstechnische Stufen**, die in den oben genannten Aufbau der Anlage integriert sind:

- Feststoffabtrennung,
- biologische Reinigung mittels bewachsener Bodenfilter, Belebungsanlagen oder Biofilmverfahren,
- UV-Desinfektion.

Die **UV-Desinfektion** ist der biologischen Reinigung deshalb nachgeschaltet, weil diese Verfahren nicht dazu in der Lage sind, die mikrobiologischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung einzuhalten.

Die **Behandlung von Grauwasser zur Wiederverwendung** verfolgt in erster Linie folgende **Ziele**:

- Entfernung von gesundheits- und umweltschädlichen Substanzen,
- Beseitigung von Schwebstoffen, die ein Verstopfen des Systems hervorrufen und die nachfolgende Nutzung einschränken können,
- Verhinderung eines anaeroben Milieus und von Geruchsimmissionen,
- Erfüllung hygienischer Anforderungen.⁴⁰

³⁹ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: „fbr 5: Grauwasser-Recycling“; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999

⁴⁰ WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

Zur Aufbereitung des Grauwassers sind diverse Verfahren der Wasseraufbereitung geeignet. Man bevorzugt jedoch Verfahren, in denen eine zusätzliche Zugabe von Chemikalien nicht erforderlich ist. Des Weiteren sollten der Energiebedarf und die Wartungsintensität so gering wie möglich sein. **Zu den verfahrenstechnischen Stufen gehören:**

- biologische Verfahren (bewährt haben sich Verfahren, bei denen die zur Wasserreinigung benötigten Mikroorganismen an Trägermaterialien haften),
- Membranverfahren,
- kombinierte Verfahren.⁴¹

Tabelle 24: Überblick über die Verfahren zur Grauwasseraufbereitung. Eigene Bearbeitung nach: ZAPF, DOMINIK; 2005: "Grauwasserrecycling im Rahmen alternativer Sanitärkonzepte - Marktanalyse und Wirtschaftlichkeit von Grauwasserrecyclinganlagen in Deutschland.", Diplomarbeit an der Fachhochschule Wiesbaden - University of Applied Science, Fachbereich 08 MND-Umwelttechnik, Studiengang Umwelttechnik/Umweltmesstechnik, 07.09.2005, S.21.

Grauwasser	Vorbehandlung	biologische Reinigung	Nachbehandlung	Nutzung
Dusche	mechanische Reinigung	naturnahe Verfahren	Hygienisierung	Toilettenspülwasser
Badewanne	→ Sedimentation	→ bepflanzte Bodenfilter/ Pflanzenkläranlage	→ UV	Bewässerung
Handwaschbecken	→ Siebung	→ Teiche	→ Ozon	Reinigungszwecke
evtl. Waschmaschine	→ physikalische Reinigung	technische Verfahren → Biofilmverfahren (Tropfkörper, Tauchkörper, Festbetтанlagen) → Belebungsverfahren (kontinuierlich, SBR) → Membran-Verfahren → Ökwanne		Wäsche- waschen Versickerung Einleitung in Oberflächen- gewässer

⁴¹ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005: „fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005.

5.1. Mechanische Reinigung/Vorbehandlung

Da bei einer **mechanischen Reinigung** noch zu viele Stoffe im Wasser verbleiben, eignet sie sich ausschließlich als **Vorbehandlung des Grauwassers**, bevor es die eigentliche Reinigung erfährt.

5.1.1. Sedimentation

Unter **Sedimentation** versteht man im Allgemeinen den Vorgang des Ablagerns bzw. Absetzens von Feststoffen, die schwerer sind als das umgebende flüssige Medium unter dem Einfluss der Schwerkraft und anderen Kräften (Bsp.: Zentrifugalkraft).⁴²

Bei dieser Art der **Vorbehandlung** wird das Grauwasser in Tanks oder großen Behältern (Absetzbecken) gesammelt. Durch eine entsprechend lange Aufenthaltszeit des Grauwassers in diesem fast strömungsfreien Behälter findet ein **Absetzungsprozess** der festen Inhaltsstoffe des Grauwassers statt. So kann ein Großteil der enthaltenen Schwebstoffe aus dem Grauwasser eliminiert werden. Des Weiteren findet ein Aufschwimmen der leichteren Inhaltsstoffe statt. Diese können durch eine Tauchwand zurückgehalten werden. Die festeren Inhaltsstoffe (Sediment) sowie die Schwimmstoffe müssen regelmäßig entnommen (abgelassen oder abgesaugt) werden, um anaerobe Fäulnisprozesse im Speicher zu verhindern. Aus dem Klarwasserbereich des Sedimentationstanks kann das Wasser nach der Tauchwand für die weitere biologische Reinigung entnommen werden.

Die **Vorteile** dieser Art der Vorbehandlung sind, dass die Investitionskosten sehr gering sind und eine nachträgliche Installation sehr einfach ist. Die **Nachteile** sind, dass anaerobe Prozesse im Speicherbehälter ablaufen können, welche zu Geruchsentwicklung führen können. Außerdem kann sich eine erhöhte Anzahl pathogener Keime entwickeln.⁴³

⁴² WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010: "Definition Sedimentation.", <http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/s/sedimentation.htm>; Stand 04.08.2010.

⁴³ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999

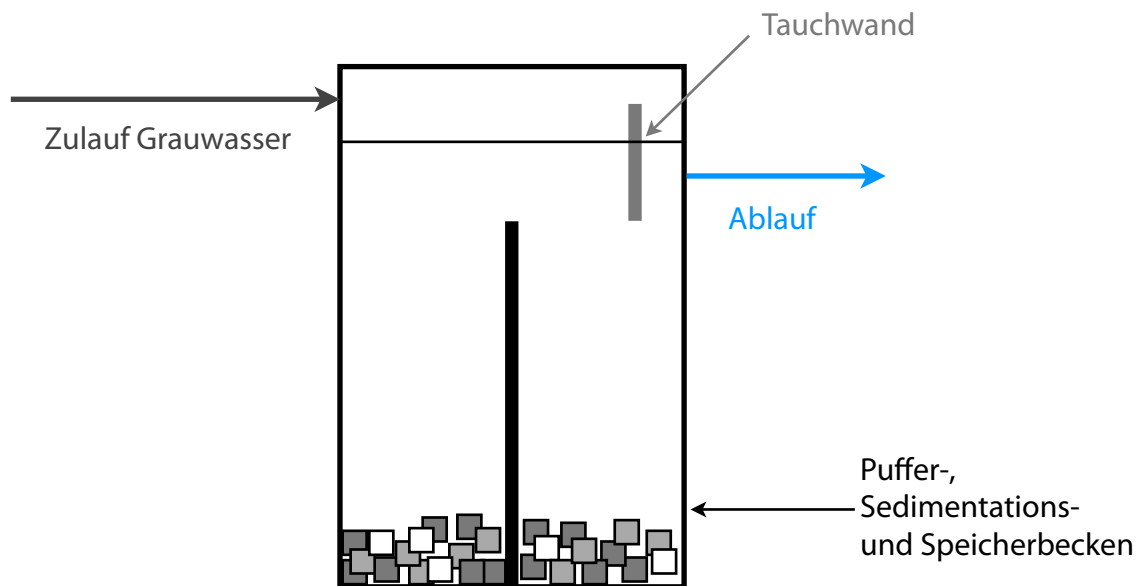


Abb.21: Verfahrensskizze Sedimentation. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.31.

5.1.2. Siebung/Filtration

Bei dieser Art der **mechanischen Vorbehandlung** durchläuft das Grauwasser entweder eine Siebung oder eine Filtration. Anschließend wird es dann in einem oder mehreren Vorratsbehältern gespeichert.

Durch eine **Siebeinrichtung** lassen sich feststoffhaltige Verunreinigungen wie Haare oder Fasern entfernen. Fäulnis- oder schleimbildende Stoffe sind so jedoch nicht zu beseitigen. Eine **weitergehende Reinigung durch Kies-, Sandfilter oder Kartuschen** ist notwendig. Aber auch hier bleiben organische Reststoffe im Wasser.

Die **Siebungs-** und **Filtrationsstufe** muss regelmäßig gereinigt oder rückgespült werden, um Verstopfungen zu verhindern. Wie auch bei der Sedimentation liegen die **Vorteile** dieser Vorbehandlung darin, dass die Investitionskosten gering sind und eine nachträgliche Installation leicht zu realisieren ist. Durch anaerobe Prozesse kann es jedoch zu Geruchsentwicklungen und zu einer **erhöhten Anzahl pathogener Keime** kommen.

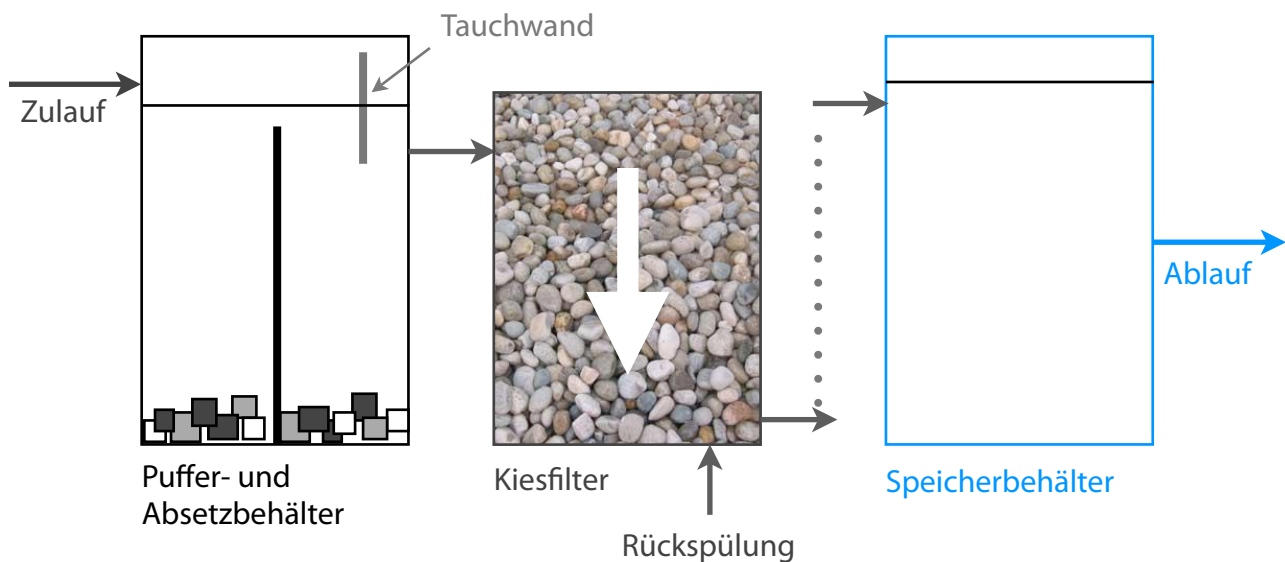


Abb.22: Verfahrensskizze Kiesfiltration. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.32.

5.1.3. Physikalische Reinigung - Entspannungsflotation

Die **Entspannungsflotation** ist ein Verfahren zur **Fest-Flüssig-Trennung** mittels Flotation, wobei die Gasbläschen durch eine Druckverminderung entstehen.

Die Flotation ist ein Verfahren, bei dem mit Hilfe von Gasblasen in der Flüssigkeit dispergierte Partikel (Feststoffteilchen, Tropfen, Moleküle, Ionen) Aggregate bilden. Diese steigen auf Grund ihrer geringeren Dichte gegenüber dem umgebenden Medium an die Oberfläche der Flüssigkeit und bilden eine Schaumschicht. Die Schaumschicht wird als Flotat bezeichnet. Hier liegen die abgetrennten Partikel angereichert vor. Der Auftrieb der abzutrennenden Stoffe wird durch die Anlagerung feiner Luftblasen künstlich erhöht. Dabei entsteht der feste aufschwimmende Schaum (Flotat). Die an der Wasseroberfläche ankommenden Luftblasen dürfen nicht platzen, da die gebundenen Teilchen sonst wieder absinken würden. Deshalb müssen die Luftblasen sehr klein gehalten werden.

Generell unterscheidet man **Turbolenzflotation**, **Elektroflotation** und **Entspannungsflotation**.⁴⁴

⁴⁴ WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010: "Flotation - Entspannungsflotation.", <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/e/entspannungsflotation.htm>, Stand 04.08.2010.

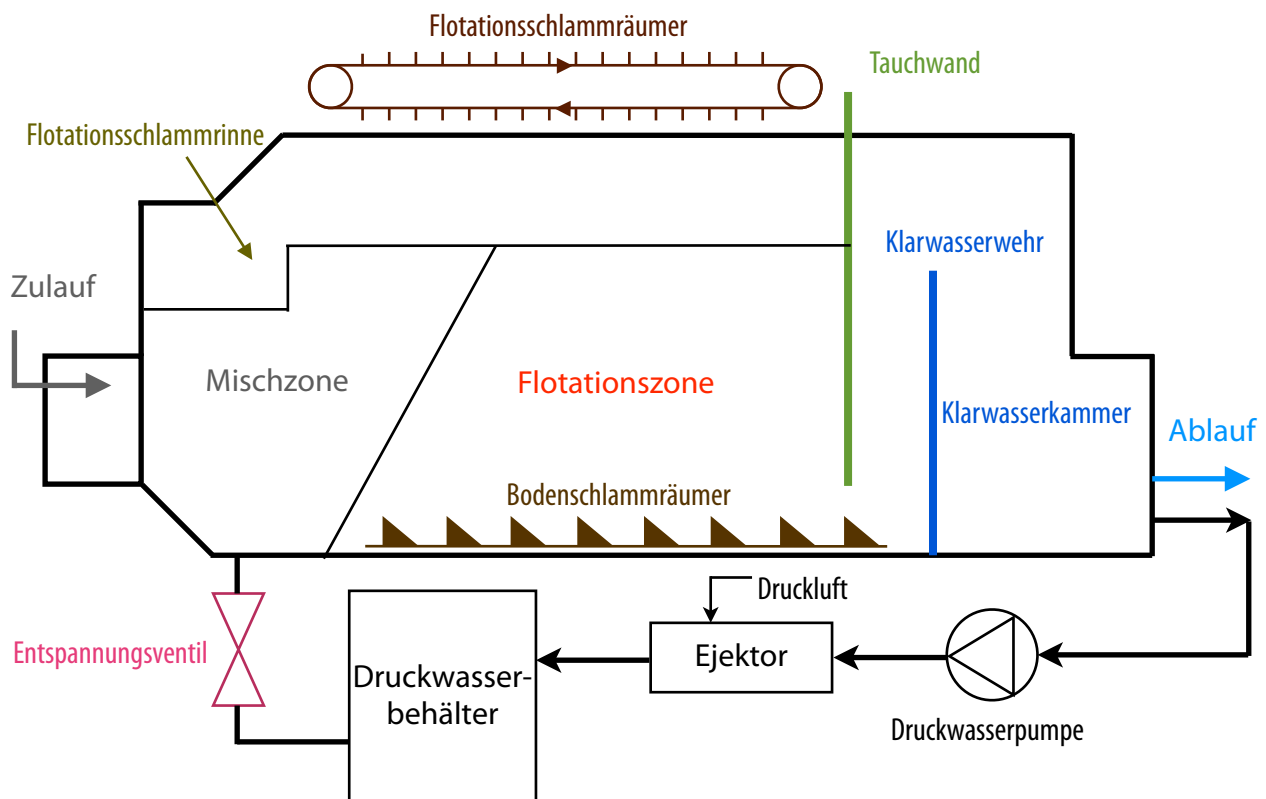


Abb.23: Verfahrensskizze Flotationsanlage. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND Regenwassernutzung e.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.33.

Bei der **Entspannungsflotation** zur Behandlung des Grauwassers wird dieses bei einem Überdruck von 4-6 bar mit Luft gesättigt und anschließend über Entspannungsarmaturen in das Flotationsbecken geleitet. Durch die Entspannung steigt die überflüssige Luft in Form feiner Blasen auf. An die Blasen heften sich Feststoffe und steigen mit an die Oberfläche. Durch dieses Verfahren erreicht man eine Abtrennung von absetzbaren und abfiltrierbaren Stoffen im Wasser. Die Wasseroberfläche sowie der Boden der Flotationsanlage müssen regelmäßig gereinigt werden, da dort die angesammelten Feststoffe angesetzt oder flотиert haben.

Ist der Flotation keine biologische Reinigung angeschlossen, so kann das weitestgehend von Feststoffen abgetrennte Grauwasser unter einem Tauchwehr in einen Klarwasserbehälter abgeführt werden. Bevor es gespeichert wird, sollte das gereinigte Grauwasser hygienisiert werden, um pathogene Keime abzutöten. Anschließend kann es für die weitere Verwendung genutzt werden. Der geringe Platzbedarf und die gute Abtrennung der Feststoffe sind als **Vorteile** der Flotationsanlage anzusehen. **Nachteilig** jedoch ist, dass es sich hierbei um eine sehr aufwendige Anlagentechnik handelt, die einen hohen Überwachungs- und Wartungsaufwand erfordert.⁴⁵

⁴⁵ FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999

5.2. Biologische Reinigung

Die **biologische Reinigung** hat die Aufgabe, organische Substanzen aus dem Abwasser zu entfernen. Im Allgemeinen wird darunter der **Abbau von BSB, CSB oder Kohlenstoff** verstanden. Der Umwandlungsprozess wird dabei von **Mikroorganismen** durchgeführt, die man als heterotroph bezeichnet. In diesem Fall bedeutet Heterotrophie, dass organische **Abwasserinhaltsstoffe** als Rohstoffe für den Aufbau von Zellmaterial verwendet werden. Dabei können die Organismen nur solche Substanzen umwandeln, die Nährstoffcharakter haben. Sie werden entweder für den Aufbau zelleigener Substanzen oder zur Energiegewinnung genutzt. Die ideale Zusammensetzung für heterotrophe Bakterien setzt ein Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis von C:N = 16:1 und ein Kohlenstoff-Phosphor-Verhältnis von ungefähr C:P = 30:1 voraus. Dabei muss der Kohlenstoff in abbaubaren Verbindungen vorliegen. Wenn diese Bedingungen eingehalten werden, reicht die Menge an Kohlenstoffverbindungen aus, um bei der Oxidation soviel Energie zu erzeugen, dass der restliche Kohlenstoff zusammen mit dem Stickstoff und dem Phosphor vollständig umgewandelt wird. Am Ende des Umwandlungsprozesses würde demnach kein Stickstoff und Phosphor im gereinigten Abwasser zurückbleiben. Ein weiterer Prozess, der durch Mikroorganismen stattfindet, nennt sich **Ammonifikation**. Hierbei werden die im Abwasser enthaltenen stickstoffhaltigen organischen Substanzen wie Eiweiße, Aminosäuren, Harnstoff, etc. zu anorganischen Verbindungen wie Ammoniak (NH₃) oder Ammonium (NH₄⁺) abgebaut. Dabei stellt sich das so genannte NH₄⁺/NH₃ -Gleichgewicht ein, dass vom pH-Wert und der Temperatur abhängig ist. Steigt die Temperatur, so sinkt der Anteil an NH₄⁺; und wenn der pH-Wert über 7 steigt, so steigt der Anteil des Ammoniaks. Bei der Ammonifikation liegt das pH-Optimum bei pH=7. Sauerstoffmangel bewirkt in der Regel eine vermehrte Freisetzung von Ammonium.

Die **Elimination von Phosphor** aus dem Abwasser wird in der herkömmlichen Abwasserreinigung durch chemische Prozesse (Fällungsreaktionen) erreicht. Es ist jedoch auch eine biologische P-Elimination möglich. Da in der Grauwasseraufbereitung keine chemischen Substanzen zum Einsatz kommen sollen, muss auch dies auf biologischen Wege erfolgen. Dabei wird eine Phosphorspeicherung in Mikroorganismen durch den Wechsel zwischen anaeroben und aeroben Phasen erreicht.

Die biologische Reinigung von Grauwasser kann mittels naturnaher oder technischer Verfahren erfolgen. Um den Eintrag absetzbarer Stoffe in die biologische Stufe zu vermeiden, sollte immer eine mechanische Vorbehandlung vorgeschaltet sein.⁴⁶

⁴⁶ HAMBURGER BERICHTE ZUR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 47, 2004: „Grauwasserbehandlung und -wiederverwendung - Untersuchung zur höherwertigen Wiederverwendung von Grauwasser in Verbindung mit teilstromorientierten ökologischen Sanitärkonzepten.“ Zifu Li, Gesellschaft zur Förderung der Forschung und Entwicklung der Umwelttechnologie an der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2004.

5.2.1. Naturnahe Verfahren

Bei den naturnahen Verfahren der biologischen Reinigung unterscheidet man bepflanzte Bodenfilter/Pflanzenkläranlagen und Teichanlagen.

5.2.1.1. Bepflanzte Bodenfilter/Pflanzenkläranlage

Bepflanzte Bodenfilter/Pflanzenkläranlagen sind **naturnahe biologische Abwasserbehandlungsanlagen**. Sie werden entweder als horizontal oder vertikal durchströmte Filter ausgeführt. Die Durchströmungsrichtung wird durch die Art der Zuführung des Grauwassers in den Bodenkörper vorgegeben. Bei **horizontal durchströmten Bodenfiltern** fließt das Abwasser über einen Einlauf an einer Seite des Beetes dem Bodenkörper breitflächig zu und wird an der anderen Seite mit einem Dränrohr gesammelt und abgeleitet. Den **vertikal durchströmten Bodenfiltern** wird das Abwasser oberflächennah auf den Bodenkörper aufgebracht. Mehrere über dem Beet verteilte Rohre mit gleichmäßiger Perforierung ermöglichen eine Verteilung des zufließenden Abwassers über die gesamte Beetoberfläche.

Die **Reinigungsleistung** eines bepflanzten Bodenfilters erfolgt durch das Zusammenwirken verschiedener Prozesse. Dazu zählen geochemisch-mechanische Vorgänge, biologisch-biochemische Vorgänge und physikalisch-sorptive Vorgänge. Bei den **geochemisch-mechanischen Vorgängen** handelt es sich um Filter- und Siebwirkung des Bodens für suspendierte und disperse Stoffe, Adsorption kolloidaler und feindisperser Stoffe an inerten Boden und Pflanzenteilen und um Redoxreaktionen. Diese Vorgänge sind im Wesentlichen für die Gefüge- und Milieubedingungen im Bodenmaterial, wie zum Beispiel den Erhalt der Durchlässigkeit, den Rückhalt von Suspensa oder die pH-Verhältnisse verantwortlich. Sie haben großen Einfluss auf das Wachstum der Pflanzen und die Zusammensetzung der Biozönose aus Bakterien und höheren Pflanzen. Die biochemisch-mechanischen Bedingungen in einem bepflanzten Bodenfilter müssen im Gleichgewicht sein bevor die anderen Vorgänge sich entwickeln können. Die **biologisch-biochemischen Vorgänge** sind vor allem Meta- und Katabolisierung von Abwasserinhaltsstoffen sowie der physiologische Einfluss der Pflanzen. Diese Prozesse steuern den Abbau der organischen Verbindungen (CSB, BSB), die Oxidation der Stickstoffverbindungen (Nitrifikation) und die Reduktion des entstandenen Nitrats zu molekularem Stickstoff. Zu den **physikalisch-sorptiven Vorgängen** zählen adsorptiver und desorptiver Kationenaustausch zwischen Abwasser, Porenwasser, Huminstoffen und Tonmineralen sowie Anionenadsorption. Sie bewirken die Adsorption von Phosphor und

weiteren sorptiven Abwasserinhaltsstoffen an überwiegend tonige Bestandteile des Bodenmaterials.⁴⁷

Einerseits werden die **Wasserinhaltsstoffe** von den Pflanzen aufgenommen um deren Nährstoffbedarf zu decken, andererseits erfolgt der größte Teil der Reinigung durch die Mikroorganismen bzw. Bakterien, die sich im Wurzelbereich der Pflanzen und auf dem Filtermaterial ansiedeln. Dabei werden die organischen Inhaltstoffe des Abwassers mikrobiologisch abgebaut, veratmet oder als Humus im Boden angereichert. Die Mikroorganismen benötigen entweder ein aerobes Milieu (sauerstoffreiche Zone) oder ein anoxisches Milieu (sauerstoffarme Zone). Die meisten Halophyten haben sich an sauerstoffarme Umgebungen angepasst und eine aerenchymatisches Gewebe ausgebildet, dass es ihnen ermöglicht den bei der Photosynthese gewonnenen Sauerstoff durch die gesamte Pflanze bis zu den Wurzeln zu transportieren. Der Sauerstoff wird durch Diffusion an das Wasser nahe den Wurzeln abgegeben und begünstigt hier autotrophe Mikroorganismen, die den „ersten Reinigungsschritt“, die Nitrifikation durchführen. Die **Nitrifikation** bezeichnet die bakterielle Oxidation von Ammoniak zu Nitrat. Im anoxischen Milieu liegt der Sauerstoff nur chemisch gebunden vor, zum Beispiel als Nitrifikationsprodukt Nitrat. Dieses wird durch Mikroorganismen, die das sauerstoffarme Milieu bevorzugen, im Rahmen ihres Stoffwechsels in elementaren Stickstoff überführt. Der elementare Stickstoff kann anschließend an die Luft entweichen. Diesen „zweiten Reinigungsschritt“ bezeichnet man als **Denitrifikation**. Er wird von heterotrophen Mikroorganismen durchgeführt.

Die bepflanzen Bodenfilter bestehen aus einem zum Untergrund hin abgedichteten Becken, welches mit einem durchlässigen Filtermaterial befüllt und mit Sumpfpflanzen bewachsen ist. Das Becken sollte möglichst naturnah gestaltet werden, damit es sich in die Landschaft eingliedert. Unterhalb des Filters wird eine Drainage angeordnet, die das filtrierte Grauwasser in die Nachbehandlung abführt. Die Abdichtung zum Untergrund erfolgt durch mineralische Dichtstoffe, Asphalt oder Folien. Der Pflanzenaufwuchs dient dabei vor allem der Aufrechterhaltung der Durchlässigkeit des Bodenfilters. Die komplexen Reinigungsmechanismen (Filtration, Sorption und biologische Prozesse) finden in der Hauptfilterschicht statt, die gleichmäßig durchströmt werden muss. Die mikrobiologische Eliminationsleistung liegt bei einer Reduzierung um zwei Zehnerpotenzen.

Die Filterfläche sollte 2-2,5m²/Einwohner betragen. Im Arbeitsblatt der DWA-A 262 wird neben einer zulässigen hydraulischen Flächenbelastung für Horizontalfilter $\leq 40 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ und für

⁴⁷ ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997:„Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.“, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hennef, 1997.

Vertikalfilter $\leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ zusätzlich eine zulässige CSB-Flächenbelastung für Horizontalfilter $\leq 16 \text{ g CSB}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ und für Vertikalfilter $\leq 27 \text{ g CSB}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ für die Behandlung von häuslichem Abwasser angegeben. Die FLL und IÖV schlagen eine Fläche von 2,5-4 $\text{m}^2/\text{Einwohner}$ vor.⁴⁸

Grundsätzlich sollte dem bepflanzten Bodenfilter eine mechanische Reinigung in Form eines Absetzbeckens vorgeschaltet sein. Hier setzen sich im Grauwasser gelöste Inhaltsstoffe ab (siehe 5.1.1). An das Absetzbecken ist der bepflanzte Bodenfilter angeschlossen. Das Grauwasser wird entweder über ein Gefälle oder eine Pumpe intervallartig aus dem Sammelschacht (Absetzbecken) in den bepflanzten Bodenfilter geleitet. Vertikal durchströmte Bodenfilter zeichnen sich in der Regel durch eine hohe Nitrifikationsrate aber geringe Denitrifikationsrate aus, während horizontal durchströmte Bodenfilter gute Denitrifikationsraten aber schlechtere Nitrifikationsraten aufweisen. Das gereinigte Grauwasser wird über die Drainage der Nachbehandlung zugeführt.

Die **Ablaufqualität** eines bepflanzten Bodenfilters ist in nachstehender Tabelle 25 aufgelistet. Zu beachten ist jedoch, dass bei naturnahen Verfahren die erreichbare Ablaufqualität stark vom zu behandelnden Abwasser abhängt. Die dargestellten Werte können deswegen nicht als allgemein gültig angesehen werden

Tabelle 25: Erzielte Betriebswasserqualität des Ablaufs eines bepflanzten Bodenfilters mit Vergleich der Grenzwerte der Qualitätsanforderungen.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.123.

Parameter	Ablauf	TrinkwV	Berliner Merkblatt
C _{BSB5}	3 mg/l	-	< 5 mg/l
C _{CSB}	< 10 mg/l	-	-
pH	8	6,5-9,5	6-9
Gesamtcoliforme Bakterien	Reduktion um 1,5-2 Zehnerpotenzen	0/100 ml	< 10.000/100 ml
Fäkalcoliforme Bakterien		-	< 1.000/100 ml
Enterokokken		0/100 ml	
E.coli		0/100 ml	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	keine Angaben	0/250 ml	< 100/100 ml

⁴⁸ FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V. (FLL), INGENIEURÖKOLOGISCHE VEREINIGUNG (IÖV), 2008: „Empfehlung für Planung, Bau, Pflege/Wartung und Betrieb von Pflanzenkläranlagen.“, Gelbdruck, 2008.

Bepflanzte Bodenfilter zeichnen sich durch ein einfaches Verfahren mit **geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand** aus. Sie sind einfach in Außenanlagen zu integrieren, haben einen geringen Energieaufwand und eine gute bis sehr gute Reinigungsleistung. Die Energiekosten belaufen sich auf ungefähr 2 kWh/m³ Grauwasser (einschließlich des Energiebedarfs für die Druckerhöhungsanlage). Der einzige **Nachteil** der Anlage liegt in ihrem hohen Platzbedarf.

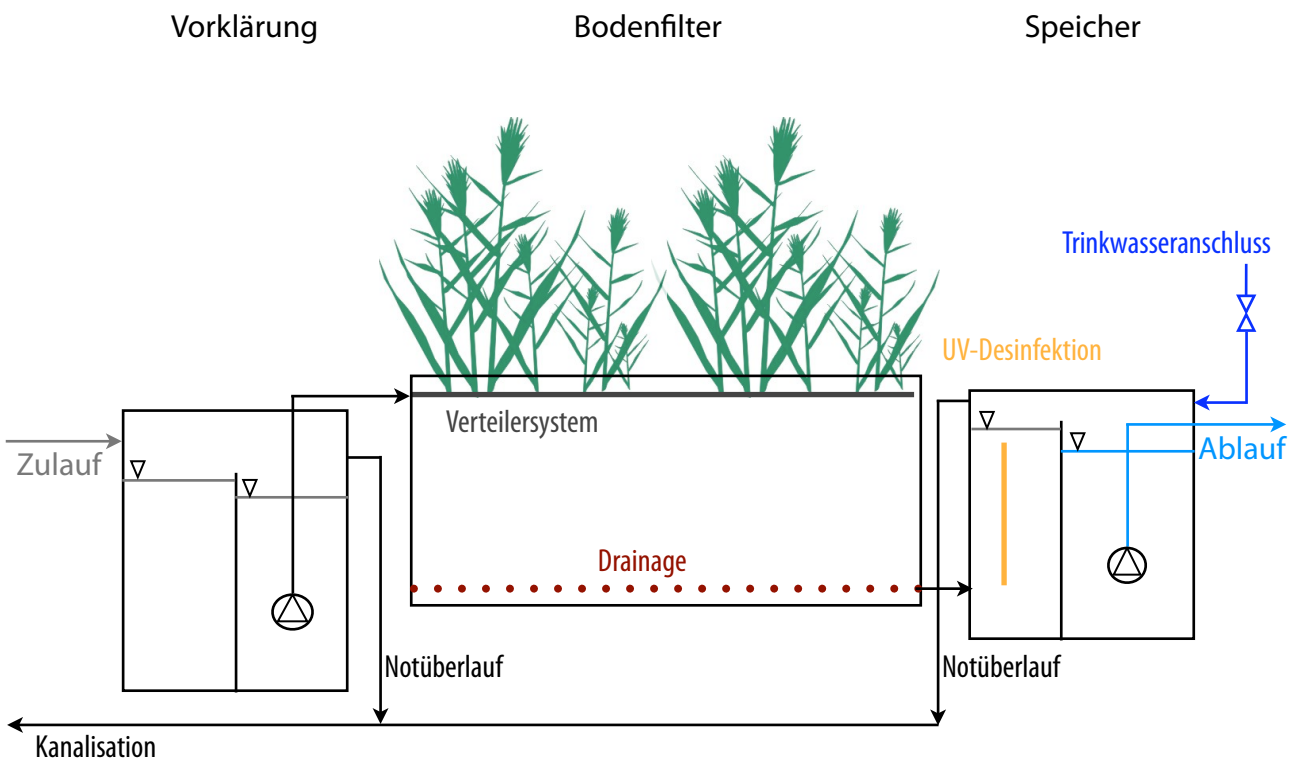


Abb.24: Schematische Darstellung eines bepflanzt Bodenfilters. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.123.

5.2.1.2. Teichanlagen

In der Abwasseraufbereitung werden so genannte Abwasserteichanlagen schon sehr lange eingesetzt. Sie gehören zu den großflächigen und großvolumigen Abwasserbehandlungsverfahren. Dieses Verfahren zur Abwasserreinigung basiert auf dem Wasserpflanzenverfahren. Bei **Abwasserteichanlagen** handelt es sich um künstliche stehende Gewässer, die relativ flach sind und zur **biologischen und mechanischen Reinigung der Abwässer** eingesetzt werden. In den Teichanlagen finden unter teilweise kontrollierten Bedingungen biologische Abbauprozesse statt. Unter diesen biologischen Abbauprozessen versteht man den molekularen Abbau einer organischen Verbindung durch die Einwirkung lebender Organismen. Diese Prozesse finden

unter **aeroben und/oder anaeroben Bedingungen** statt und führen zum **Abbau organischer Abwasserinhaltsstoffe und zur Eliminierung pathogener Keime**.

Generell unterscheidet man belüftete und unbelüftete Teichanlagen. In **unbelüfteten Teichen** laufen die Reinigungsprozesse ähnlich wie in stehenden oder langsam fließenden Gewässern ab. Der Sauerstoffeintrag und die Durchmischung hängen dabei von den klimatischen und meteorologischen Gegebenheiten ab. Das bedeutet, dass die Auslegung und Planung einer Teichanlage nicht ohne Weiteres auf andere klimatische Räume übertragen werden kann. Der Sauerstoffeintrag unbelüfteter Teichanlagen erfolgt über die Oberfläche des Teiches und wird damit auf natürlichem Wege eingetragen. Dies bedingt die spezifisch größere Oberfläche unbelüfteter Teiche. Damit ist der Sauerstoffeintrag nicht beeinflussbar und hängt damit stark von den klimatischen Randbedingungen ab. Die enthaltenen absetzbaren Inhaltsstoffe des Abwassers lagern sich in der Einlaufzone ab und faulen unter anaeroben Bedingungen aus. Dabei ist der Zuwachs der Schlammmenge in den Teichen mit langer Aufenthaltszeit eher gering. Unbelüftete Teichanlagen werden in der Regel als zwei bis drei gleich große, hintereinander geschaltete Einheiten konzipiert. Der Abbau von organischen Verbindungen in Bezug auf BSB₅ liegt zwischen 50% und 70%.

Bei **belüfteten Teichanlagen** ist eine künstliche Sauerstoffbegasung eingebaut. Die Belüftung sichert eine weitestgehend von den natürlichen Gegebenheiten unabhängige Durchmischung und Sauerstoffversorgung. Dadurch bedingt wird ein größerer Teil der Bakterienmasse in der Schwebe gehalten, wodurch ein gleichmäßigeres Absetzen über den gesamten Teichboden erfolgt. Nachteilig daran ist jedoch, dass die Schwebstoffkonzentration im Ablauf beträchtlich höher sein kann und aus diesem Grund ein nachgeschalteter Schwebstoffabscheider notwendig ist. Meist werden zwei belüftete Teiche hintereinander angelegt. Danach folgt immer eine Nachklärzone. Der Kohlenstoffabbau liegt bezogen auf BSB₅ im Bereich von 85%-90%.

Abwasserteiche lassen sich generell in folgende Gruppen unterteilen:

- Absetzteiche (überwiegend anaerob), werden hauptsächlich zur Abscheidung der absetzbaren Stoffe des Rohwassers eingesetzt.
- Unbelüftete Abwasserteiche dienen zur Verminderung der nicht absetzbaren und gelösten organischen Stoffe eines meist in Absetzteichen vorgereinigten Abwassers. Diese werden im Allgemeinen bis zu einer Belastung durch 1.000 Einwohner verwendet.
- Belüftete Abwasserteiche zur Verminderung der organischen Stoffe von rohem oder mechanisch geklärtem Abwasser, wobei die Belastung meist zwischen 500 und 3.000 Einwohnern liegt.

- Schönungsteiche zur Behandlung biologisch gereinigten Abwassers für eine weitere Qualitätsverbesserung und zum Konzentrationsausgleich.⁴⁹

Die **Wirkungsmechanismen** der Reinigung in Abwasserteichanlagen, die der Behandlung von Rohabwässern dienen, sind vor allem Sedimentation- und Flockungsvorgänge.

Durch **aerobe heterotrophe Mikroorganismen** kommt es zu einer Metabolisierung der organischen Abwasserinhaltsstoffe. Hierbei wird CO₂ gebildet, welches der autotrophen Biozönose als Kohlenstoffquelle dient. Dies ist auch der limitierende Faktor für das Wachstum der autotrophen Organismen.

Je nach Betriebsweise und Belastung der Teichanlage können im freien Wasser und im Sediment anaerobe heterotrophe Bakterien zum Abbau der zugeführten organischen Substanzen beitragen, wobei in der Schlammablagerung eine Methangärung stattfinden kann. Teilweise finden in den Teichanlagen auch Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgänge statt.

Die **autotrophen Organismen** sind in diesen Teichanlagen hauptsächlich frei schwimmende oder sessile Algen. Durch ihre Stoffwechsellistung sind sie dazu imstande, Nährstoffe aufzunehmen und zu verwerten. Dabei erfolgt eine CO₂-Fixierung, die zu einer biogenen Entkalkung führen kann. Diese wiederum führt zu einem Anstieg des pH-Wertes. In unbelüfteten Teichen übernehmen gerade die autotrophen Organismen die Sauerstoffversorgung, wobei ein typischer Tag-Nacht-Zyklus entsteht.

Wichtig zu beachten ist, dass durch jahreszeitliche Unterschiede gerade im Winter eine geringere Dichte pflanzlicher Organismen auftritt. Ein weiteres typisches Merkmal von Abwasserteichen ist die Umstrukturierung der Biozönose. Es kann zu Massenentwicklungen einzelner Algenarten kommen, die durch eine erhöhte Assimilationstätigkeit den pH-Wert ansteigen lassen.⁵⁰

Bei der **Aufbereitung von Grauwasser** kann man dieses oft direkt in belüftete oder unbelüftete Teichanlagen einleiten. Meist ist eine Vorbehandlung in Form von Grob-entschlammung oder Sedimentation nicht notwendig, da die entsprechenden Inhaltsstoffe in der Teichanlage sedimentieren können. Die Wirkungsmechanismen entsprechen denen der Abwasserteichanlagen. Der bei den Abbauprozessen anfallende Schlamm muss je nach Bedarf (Schlammspiegelmessung) abgeräumt werden. Das aufbereitete Grauwasser wird am Ende der

⁴⁹ DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V., 2005: "DWA Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 201 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunales Abwasser.", Bad Hoenf, 2005.

⁵⁰ WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010: "Abwasserteiche.", <http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/a/abwasserteich.htm>, Stand 05.08.2010.

Teichanlage über eine Tauchwand abgezogen und kann nach einer Hygienisierung weiterverwendet werden.

Der Energiebedarf liegt bei unbelüfteten Teichanlagen bei 2 kWh/m³ Grauwasser (inklusive des Energiebedarfs für die Druckerhöhungsanlage). Für belüftete Teichanlagen verdoppelt sich der Energiebedarf auf 4 kWh/m³ Grauwasser (ebenfalls inklusive des Energiebedarfs für die Druckerhöhungsanlage).

Dieses Verfahren zur Reinigung von Grauwasser ist ebenso wie die bepflanzen Bodenfilter ein sehr einfaches Verfahren mit **geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand** sowie mit **geringen Bau- und Betriebskosten**. Es lässt sich sehr gut in Außenanlagen integrieren und hat eine relativ gute und stabile biologische Reinigungsleistung, die nach entsprechender Auslegung der Anlagenteile auch hohen Anforderungen gerecht werden kann. Bei unbelüfteten Teichanlagen ist der Energiebedarf zudem sehr gering. **Nachteilig** ist der sehr große Platzbedarf. Zudem ist der Energiebedarf bei belüfteten Teichen höher als bei unbelüfteten. Ferner kann es bei belüfteten Teichen zu Geruchsemissionen kommen.

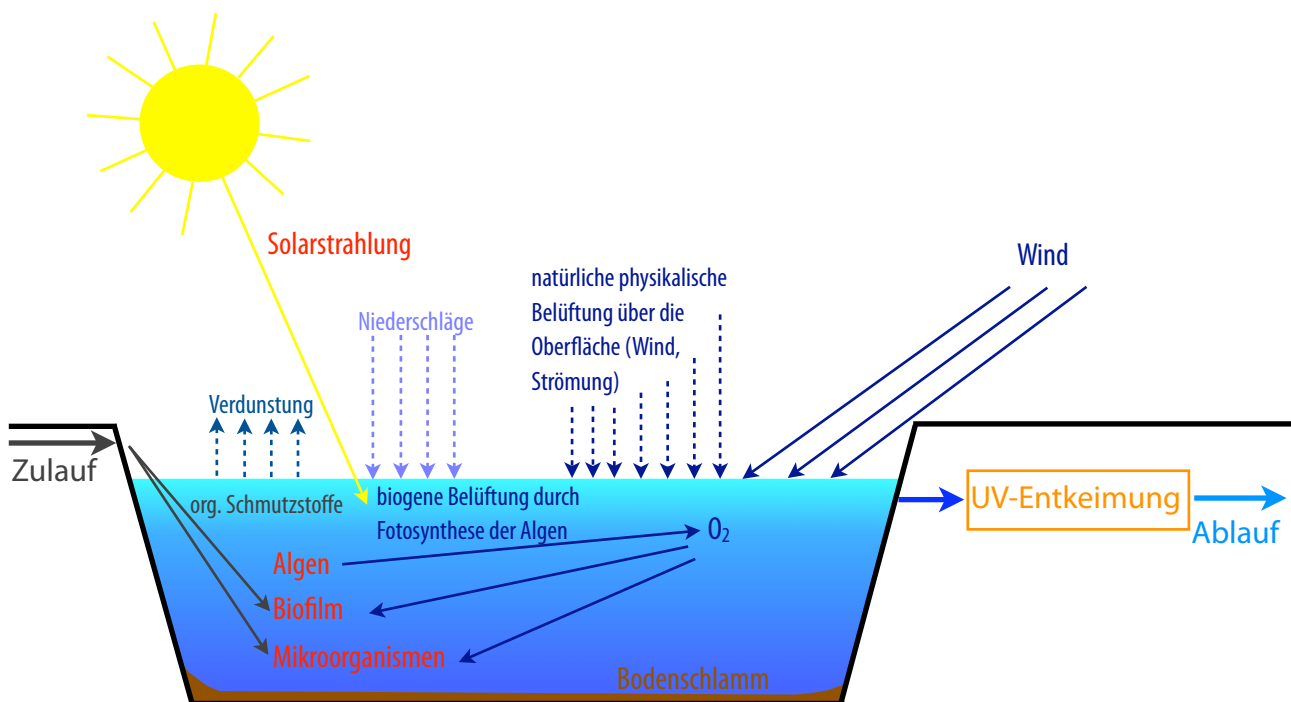


Abb.25: Verfahrensskizze unbelüftete Teichanlage. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND Regenwassernutzung e.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.35.

5.2.2. Technische Verfahren

Zu den technischen Verfahren zur Grauwasseraufbereitung zählen die Ökwanne, Belebungsverfahren (konventionell, SBR), Biofilmverfahren (Tropfkörper, Tauchkörper, Festbetтанlagen) und Membran-Bioreaktoren.

5.2.2.1. Ökwanne

Ökwannen sind **Speicherbehälter mit Belüftungssystem**, in denen das Grauwasser gesammelt wird. In der Regel werden Ökwannen unter der Badewanne installiert. Ökwannen haben ein **begrenztes Volumen** und sind nur für die Aufnahme von Badewannenwasser konzipiert. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, das Trinkwasser für die Toilettenspülung vollständig zu substituieren.

In dem **Speicherbehälter** (der Ökwanne) wird ein Sieb mit einer Pumpe installiert, welches das Grauwasser zur Durchmischung umwälzt. Bei Bedarf fördert die Pumpe das Grauwasser zur weiteren Verwendung. Durch das Belüftungssystem sollen anaerobe Prozesse vermieden werden, die zu einer Geruchsbildung führen können.

Vorteile des Systems sind der geringe Platzbedarf, da die Installation direkt unter der Badewanne erfolgt. Ferner ist sie leicht nachträglich zu installieren und erfordert geringe Investitionskosten. Der Energiebedarf liegt bei ungefähr 2,4 kWh/m³ Grauwasser. **Nachteilig** ist, dass diese Technik nicht für eine gelegentliche Nutzung geeignet ist, da sie einen hohen Wasserdurchsatz erfordert. Weiterhin sind Geruchsbelästigungen vor allem bei höheren Temperaturen möglich. Ferner ist die biologische Reinigungsleistung eher gering und eine erhöhte Anzahl pathogener Keime ist möglich. Ein vollständiger Ersatz von Trinkwasser ist nicht möglich.

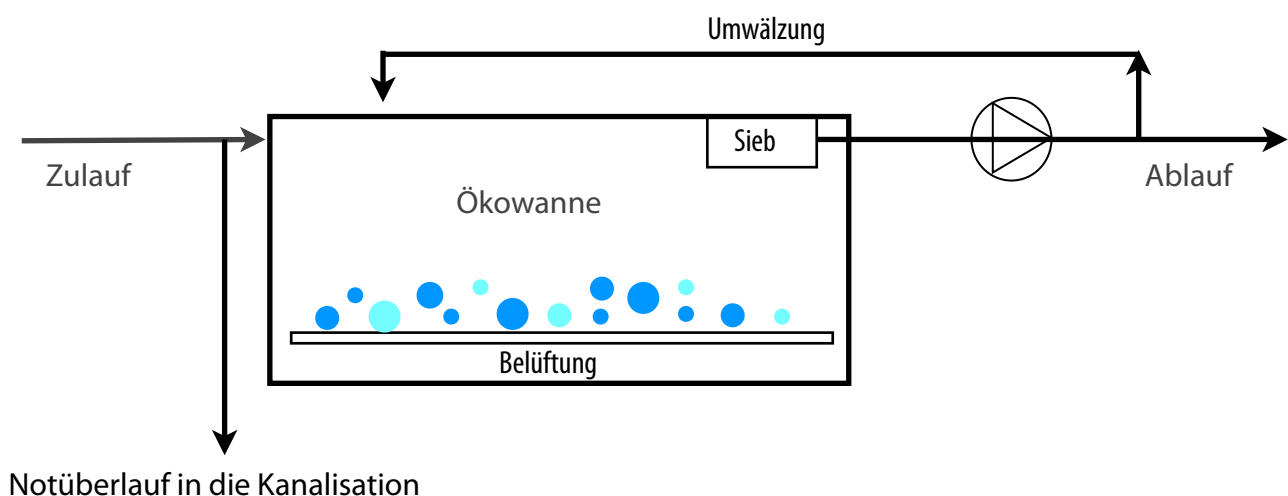


Abb.26: Verfahrensskizze einer Ökwanne. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND Regenwassernutzung e.V., 1999: "fbr 5: Grauwasser-Recycling"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.38.

5.2.2.2. Konventionelle Belebungsanlage (kontinuierlich)/Belebungsverfahren

Das **Belebungsverfahren** kann man als **Umsetzung der natürlichen, in Gewässern ablaufenden Selbstreinigungsprozesse in ein technisches Verfahren** verstehen. In einem Gewässer ist der Umfang der Umsetzungsprozesse durch die geringe Konzentration der Schmutz- und Nährstoffe, die geringe Organismendichte, die teilweise auftretende unzureichende Sauerstoffversorgung und Durchmischung begrenzt. Eine weitergehende Selbstreinigung kann daher nur innerhalb mehrerer Tage erfolgen. Dazu ist ein großes Volumen notwendig. Wenn die Umsatzrate erhöht werden und damit die Reinigungsprozesse in kürzerer Zeit beziehungsweise kleinerem Volumen erfolgen sollen so sind folgende Veränderungen gegenüber einem natürlichen Gewässer notwendig:

- Erhöhung der Anzahl der abbauenden Organismen pro Volumeneinheit,
- Schmutzstoffe dürfen nicht in zu starker Verdünnung angeboten werden,
- der erhöhte Sauerstoffbedarf ist permanent zu decken,
- gute Durchmischung des Systems ist erforderlich.

Diese **Anforderungen** hat man beim Belebungsverfahren durch diese Maßnahmen erfüllt:

- Erhöhung der Organismendichte im Belebungsbecken (Trockensubstanz des „belebten Schlamm“ ca. 3-6 TS/l) durch den Rückhalt der Biomasse im Nachklärbecken und Rückführung,
- Deckung des erhöhten Sauerstoffbedarfs durch entsprechende Belüftung,
- optimaler Kontakt zwischen belebten Schlamm, konzentrierter Nährlösung (Abwasser bzw. Grauwasser) und Sauerstoff durch Zwangsumwälzung.

Das heißt, dass sich bei diesem Verfahren auf Grund intensiver Durchmischung und Belüftung sowie durch den Stoffwechsel von Mikroorganismen Belebtschlammflocken ausbilden. In diesen finden **biologische Selbstreinigungsprozesse** statt. Die Flocken beziehungsweise der Belebtschlamm werden in einem nachgeschalteten Absetzbecken vom gereinigten Wasser durch Sedimentation getrennt und als Rücklaufschlamm in das Belebungsbecken zurückgeführt oder als Überschussschlamm dem System entzogen.

Durch **aerobe Mikroorganismen** wird die organische Belastung, die in gelöster Form im Abwasser vorhanden ist, biologisch abgebaut. In der Regel finden die Prozesse des **Kohlenstoffabbaus**, der **Nitrifikation** und der **Denitrifikation** im Belebungsbecken statt. Dafür ist eine intensive Belüftung notwendig. Die Mikroorganismen bilden aus den Schadstoffen Biomasse (= Belebtschlammflocken), die in Form von meist grau-braunem Schlamm anfällt. Eine Schwarzfärbung des Schlammes deutet auf negativ beeinträchtigende Oxidationsvorgänge des

Schlamm hin. Da die Mikroorganismen beim Belebungsverfahren als belebte Flocken im Wasser schweben kann deren Masse bzw. Anzahl durch geeignete Vorrichtungen in weiten Grenzen während des Betriebes verändert werden. Dadurch kann der Reinigungsprozess beim Belebungsverfahren gesteuert werden.⁵¹

Das **Belebtschlammverfahren** wird im so genannten Belebungsbecken ausgeführt. Die notwendige Belüftung erfolgt entweder durch Belüftungskreisel, Bürstenwalzen, durch ein Gebläse oder andere Belüftungseinrichtungen.

Das **Abwasser** bleibt in der Regel zwischen 4 und 12 Stunden im Belebtschlammbecken. Die Reinigungsleistung beträgt bis zu 95% bezogen auf den Abbau gemessen am BSB₅.

Man kann dieses Verfahren auch mit festen oder beweglichen Aufwuchsträgern kombinieren. Ziel dabei ist es, im gleichen Raum suspendierte und immobilisierte Biomasse zu halten, wodurch sich die Gesamtbiomasse erhöht.

Bei der **Grauwasserreinigung** wird das Grauwasser nach einer Sedimentation und Zulaufpufferung in ein oder mehrere Belebungsbecken gefördert. Wie viele Becken in Reihe geschaltet sind, hängt von den Anforderungen und der Grauwassermenge ab. Um die aktive Oberfläche zu vergrößern, können zusätzlich Aufwuchskörper in das Becken eingebracht werden. Durch die Mikroorganismen im belebten Schlamm und den Aufwuchskörpern werden die Schmutzstoffe mit Hilfe des zugesetzten Sauerstoffs abgebaut. An das Belebtschlammbecken schließt sich wie in der konventionellen Abwasserreinigung ein Absetzbecken an. Das gereinigte Grauwasser muss einer Hygienisierung unterzogen werden, bevor es gespeichert und wiederverwendet wird. Falls eine Trinkwassernachspeisung notwendig wird, erfolgt diese im Speicherbehälter.

Der **sehr geringe Platzbedarf** und die relativ **gute biologische Reinigungsleistung** dieses Verfahrens sind als positiv zu bewerten. Der Energiebedarf liegt bei etwa 4,5 kWh/m³ Grauwasser und ist damit in Vergleich zu den naturnahen Systemen eher hoch. Die Anlage bedarf des Weiteren einer **regelmäßigen Überwachung und Wartung**, wodurch der Aufwand steigt. Probleme können sich bei der Mitnutzung des Waschmaschinenwassers durch schwer abbaubare und hemmende Inhaltsstoffe ergeben.

⁵¹ ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997: "Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.", Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hennef, 1997.

In Tabelle 26 ist die erzielte Betriebswasserqualität im Vergleich mit Grenzwerten und Qualitätsanforderungen dargestellt.

Tabelle 26: Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Aqua-Cycle und ein Vergleich mit Grenzwerten und Qualitätsanforderungen.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.125.

Parameter	Ablauf	TrinkwV	Berliner Merkblatt
C _{BSB7}	4,4 mg/l	-	< 5 mg/l
C _{CSB}	18,7 mg/l	-	-
pH	8	6,5-9,5	6-9
Sauerstoffsättigung	70,3%	-	> 50%
UV-Transmission bei 254 nm	89,1%	-	> 60%
Gesamtcolidiforme Bakterien	< 3/100 ml	0/100 ml	< 10.000/100 ml
Fäkalcoliforme Bakterien	< 3/100 ml	-	< 1.000/100 ml
Enterokokken	k.A.	0/100 ml	
E.coli	k.A.	0/100 ml	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	< 3/100 ml	0/250 ml	< 100/100 ml

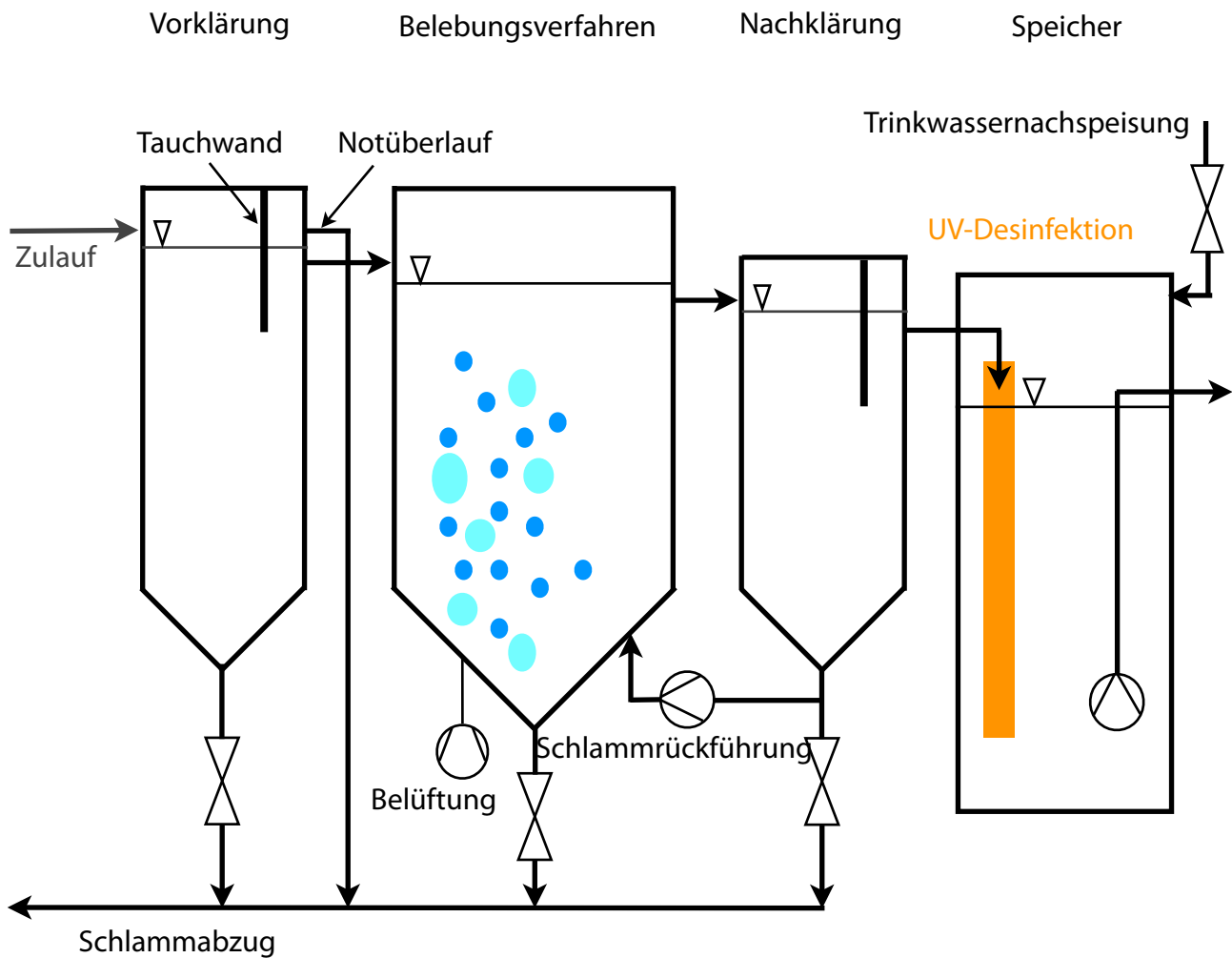


Abb.27: Verfahrensskizze einer konventionellen Belebungsanlage. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.124.

5.2.2.3. Sequencing-Batch-Reactor-Verfahren/Belebungsverfahren

Das **SBR-Verfahren** ist eine **Variante des Belebungsverfahrens** und wurde in seinen Grundzügen schon im ausgehenden 19. Jahrhundert entwickelt. Somit zählt es zu den ältesten Verfahren der biologischen Abwasserreinigung. Trotz der vielen Vorteile, die dieses System zu bieten hat, wurde es lange Zeit nicht angewandt, da es gerade in Bezug auf die Pump- und Prozessleittechnik ein Mindestmaß an Zuverlässigkeit erfordert. Erst 1971 wurde es wieder aufgegriffen und konnte mittels moderner Technik im größeren Maßstab angewandt werden. Das SBR-Verfahren ist besonders für Kläranlagen kleinerer und mittlerer Größe geeignet, da es als einfaches, Platz sparendes und kostengünstiges Verfahren gilt. Zudem ist es sehr flexibel gegenüber Zulaufschwankungen.

Der Unterschied zum konventionellen Belebungsverfahren liegt darin, dass die **Verfahrensschritte** nicht entlang einer Wegachse sondern **entlang einer Zeitachse** geführt werden. Beim SBR-Verfahren laufen alle notwendigen Schritte zur biologischen Reinigung des Abwassers in einer zeitlichen Abfolge im selben Behälter ab. Das heißt, dass die Reaktionsräume nicht mehr voneinander getrennt sind. Es handelt sich demnach um ein **diskontinuierliches Verfahren**, da kein Abwasser in den Reaktor fließt, während das behandelte bzw. gereinigte Abwasser abfließt. Eine kleine **SBR-Anlage** besteht in der Regel aus einem zweikammerigen Aufnahmetank, der die mechanische Vorreinigung (das Absetzen gröberer und schwerer Feststoffe) übernimmt, und der Pufferung der Abwassermengen und -konzentrationen dienen. Von dort aus gelangt das Abwasser in den eigentlichen Reaktor.

Eine **typische Abfolge** eines Steuerungsablaufs sieht wie folgt aus:

- Füllphase: zuerst wird das zu reinigende Abwasser in den Reaktor eingeleitet.
- Mischphase/Rührphase: das Abwasser wird im Reaktor ohne Sauerstoffzufuhr gemischt. Es stellen sich anaerobe und anoxische Bedingungen ein. Je nach Wahl der Rührintervalle kann bei Anlage mit Nitrifikation eine Denitrifikation durchgeführt werden. Dafür wird während und nach dem Füllen gerührt, damit das im vorangegangenen Zyklus gebildete Nitrat veratmet werden kann.
- Belüftungsphase: der Reaktor wird mit Sauerstoff begast. Phase der biologischen Reinigungsprozesse.
- Absetzphase: in dieser Phase trennt sich der Belebtschlamm durch Sedimentation vom gereinigten Abwasser.
- Überschussschlamm-Abzugsphase: der gebildete Überschussschlamm wird aus dem Reaktor abgezogen. So kann der Reaktor konstant mit der gewählten Schlammkonzentration betrieben werden.
- Klarwasserabzugsphase: das Klarwasser, das sich über dem sedimentierten Belebtschlamm gebildet hat, wird abgezogen.
- Stillstandphase: Reaktor „wartet“ auf erneute Beschickung.

Die **Dauer des Gesamtzyklus** wird auf die Abwassereigenschaften, das Reinigungsziel und andere Randbedingungen abgestimmt. Während eines Zyklus ist die Dauer frei wählbar und auch im späteren Betrieb an die jeweils herrschenden Bedingungen anpassbar.

Die **Beschickung des Reaktors** kann je nach Abwasseranfall erfolgen. Hierfür können auch zwei oder mehrere Reaktoren eingesetzt werden um zu gewährleisten, dass während der Sedimentationsphase und der Dekantierphase immer ein Reaktor für die Aufnahme des anfallenden Abwassers bereit steht.

Dem SBR-Becken kann auch ein Vorlagenbehälter vorgeschaltet sein. In ihm kann das Abwasser zwischengespeichert werden. Daraus ergeben einige Vorteile:

- die notwendige Beschickungszeit des Reaktors hängt nur noch von der Größe des Vorlagebehälters ab,
- die Belastungsstöße können weiter gesteigert werden,
- Vorlagebehälter fungiert als Vorklärbecken.

Das **SBR-Verfahren** kann mit **drei unterschiedlichen Varianten** ausgeführt werden. Dazu zählen die kontinuierliche Abwasserzuführung, die alternierende Beschickung und die Kurzzeit-Beschickung.

Die Variante der **kontinuierlichen Abwasserzuführung** besteht in der Regel aus nur einem SBR-Becken. Das Abwasser fließt dem Becken stetig zu. Während der Belüftungs- und Sedimentationsphase bleibt das Ablaufventil geschlossen, wodurch der Wasserspiegel im Becken steigt. Wenn die obere Wasserstandsmarke erreicht ist, wird die Belüftung eingestellt und der Belebtschlamm kann sich absetzen. Um den Wasserspiegel zu senken, wird das Ablaufventil geöffnet und nach unterschreiten einer unteren Wasserstandsmarke wieder geschlossen. Bei dieser Variante kommt es dadurch, dass ungereinigtes Abwasser während des Klarwasserabzugs in das SBR-Becken fließt, zu einer Ablaufverschlechterung. Dies kann akzeptiert werden, wenn der SBR-Anlage eine weitere biologische Reinigungsstufe nachgeschaltet ist.

Bei der **alternierenden Beschickung** werden mindestens zwei SBR-Becken eingesetzt. Das Abwasser wird zunächst in das SBR-Becken 1 eingeleitet, bis dieses gefüllt ist. Anschließend wird das SBR-Becken 2 gefüllt. Beide Becken werden über die Dauer der Füllphase hinaus belüftet, um einen weitestgehenden Abbaueffekt zu erzielen. Wenn die Belüftung eingestellt wird, sinkt der Belebtschlamm ab und das Klarwasser kann abgezogen werden. Eine Rückverschmutzung des gereinigten Abwassers wird durch die klare Trennung zwischen den einzelnen Phasen vermieden. Dafür müssen jedoch mehrere SBR-Becken parallel angeordnet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Befüllung des SBR-Beckens 1, dass in 6 Stunden befüllt wird. Anschließend erfolgt die Befüllung des SBR-Beckens 2. Während der ersten beiden Stunden erfolgt eine statische Befüllung. Das bedeutet, dass der Beckeninhalt weder gemischt noch belüftet wird. Dies soll Abbauvorgänge verhindern und einen signifikanten Anstieg der Konzentrationen organischer Abwasserinhaltsstoffe hervorrufen. Dadurch wiederum soll eine positive Wirkung auf die Entwicklung gut absetzbarer Belebtschlammflocken erzielt werden. Nachteil dieser Betriebstechnik ist, dass bei variablem Zustrom die Fülldauer nicht ausreicht, um das Becken vollständig zu füllen oder das Becken ist schon vor Ablauf der Füllzeit voll (z.B. Mischwasser-

zufluss). Daraus ergibt sich entweder eine Überfüllung des Beckens oder eine vorzeitig eingeleitete Absetz- und Klarwasserabzugsphase.

Bei der Variante der **Kurzzeit-Beschickung** werden die SBR-Becken aus einem Vorlagebehälter einzeln gespeist. Vorteil davon ist, dass die Befüllung der einzelnen SBR-Becken kurzfristig und mit geringem Energieaufwand erfolgen kann. Voraussetzung dafür ist, dass der Vorlagebehälter „über Kopf“ angeordnet ist. Alle Phasen können dann dem aktuellen Prozessfortschritt entsprechend und unabhängig von den momentanen Zulaufbedingungen ausgeführt werden. Dabei sollte die Prozessabfolge allerdings unabhängig von dem momentanen Volumenstrom im Zulauf eingestellt werden können. Die Konzentrationen an organischen Abwasserinhaltsstoffen kann durch ein schnelles Befüllen auf ein maximales Niveau angehoben werden, wodurch sich optimale Ausgangsbedingungen für die Bildung gut absetzbarer Belebtschlämme ergeben. Nachteil dieser Lösung ist jedoch, dass bei dieser Betriebsweise ein Vorlagebehälter gebaut und betrieben werden muss.⁵²

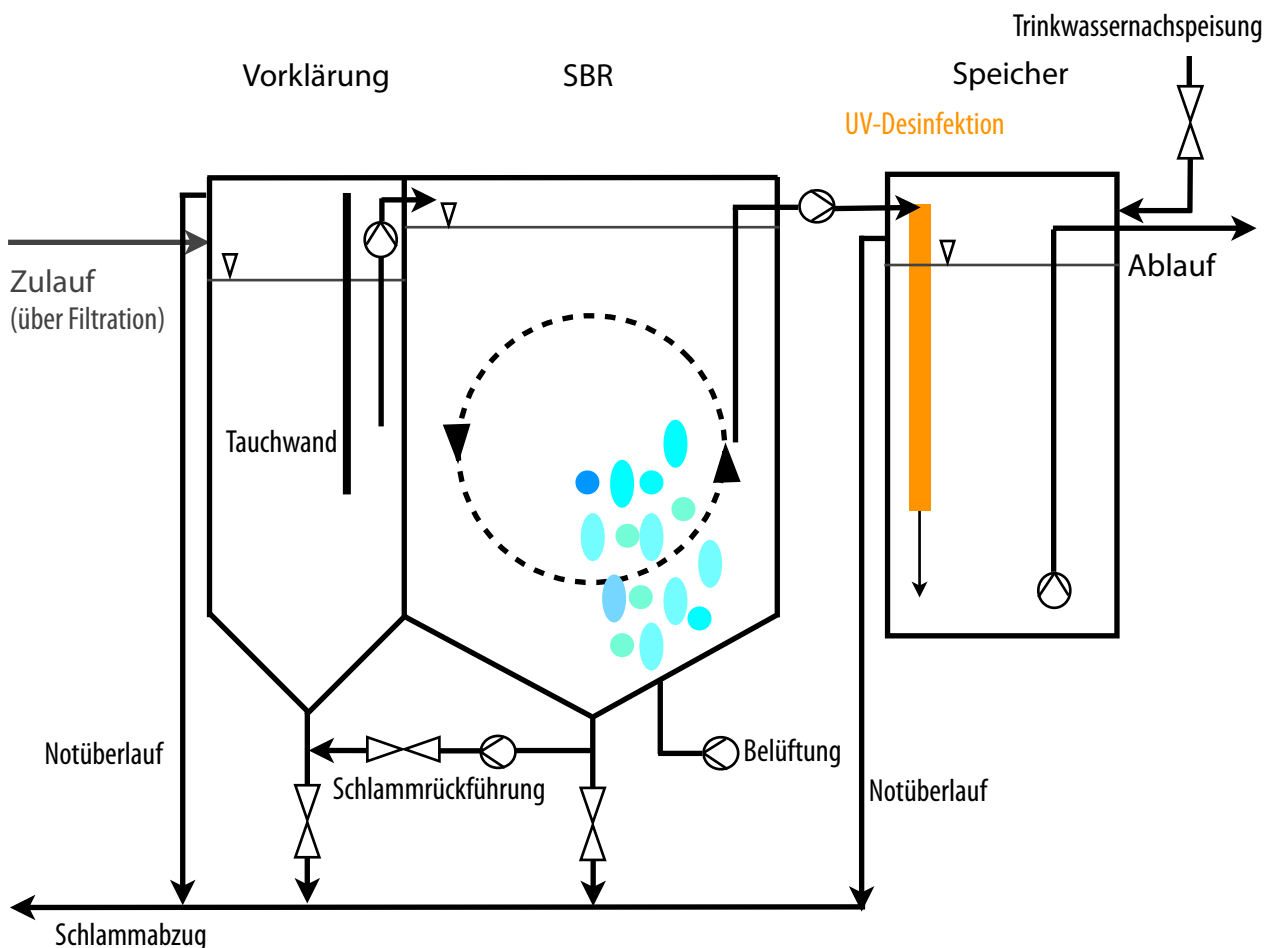


Abb.28: Verfahrensskizze Sequencing-Batch-Reactor. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND Regenwassernutzung e.V., 1999: „fbr 5: Grauwasser-Recycling“; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999; S.40.

⁵² WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010: „Sequencing Batch Reactor“; <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/s/sequencingbatchreactor.htm>, Stand 09.08.2010

Die wichtigsten Unterschiede zwischen einer konventionellen Belebungsanlage und einer SBR-Anlage werden in Tabelle 27 dargestellt:

Tabelle 27: Unterschiede zwischen einer konventionellen Belebungsanlage und einer SBR-Anlage.
 Quelle: HAMBURGER BERICHTE ZUR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 47, 2004: „Grauwasserbehandlung und -wiederverwendung - Untersuchung zur höherwertigen Wiederverwendung von Grauwasser in Verbindung mit teilstromorientierten ökologischen Sanitärkonzepten.“ Zifu Li, Gesellschaft zur Förderung der Forschung und Entwicklung der Umwelttechnologie an der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2004, S.48.

Merkmal	konventionelle Belebungsanlage	SBR-Anlage
Beschickung	kontinuierlich	intermittierend
Beckenvolumina	separate Nachklärung erforderlich	Gesamtvolumen von Vorlagebehälter und SBR vergleichbar mit konventioneller Belebungsanlage
Substratkonzentration im Belebungsbecken	relativ geringe Änderungen, durchgängige Ablaufkonzentration im Belebungsbecken	hohe Anfangskonzentration, sehr geringe Konzentration am Zyklusende
biologische Aktivität	durchgängig niedrig	zu Beginn der einzelnen Phasen sehr hoch, am Ende niedrig, im Mittel höher als bei konventionellen Belebungsanlagen
Anpassung an verschiedene Belastungszustände	nur in ganz geringem Maße möglich	hohes Maß an Flexibilität
Abwasserbehandlung ohne gleichzeitige Beschickung	keine	sehr ausgeprägt
Kurzschlussströmung	möglich	nicht möglich
Einfluss der hydraulischen Belastung auf die Reinigungsleistung	je nach Art und Konzentration des Abwassers hinsichtlich Denitrifikation und Bio-P deutlich besser	keine Beeinflussung
Sauerstoffzufuhr	Gesamt-Sauerstoffverbrauch identisch mit SBR-Anlage	es müssen höhere Kapazitäten vorgehalten werden
Einfluss hydraulischer Belastungen auf die Schlamm-/Wassertrennung	erheblich	keine Beeinflussung
Rücklaufschlammförderung	notwendig	keine

5.2.2.4. Tropfkörperanlage/Biofilmverfahren

Die Tropfkörperanlage gehört neben den Rotationstauchkörperanlagen und den getauchten Festbetтанlagen zu den **Biofilmverfahren**. Der Unterschied zu den Verfahren mit suspendierter Biomasse (Belebungsanlagen) liegt darin, dass es sich hier um **ortsfeste, in einem Biofilm wachsende Mikroorganismen** handelt. Grundsätzlich muss bei allem Biofilmverfahren der

Kontakt zwischen Biomasse und Abwasser hergestellt werden. Zudem ist die Biomasse mit Sauerstoff zu versorgen. Der Energiebedarf dieser Anlagen entsteht durch das Pumpen des Wassers, Bewegen des Füllmaterials oder durch technische Belüftung.

In einem Biofilm siedeln im Gegensatz zur suspendierten Biomasse sessile Organismen. Zu ihnen zählen unter anderem Glockentiere (*Ciliata*). Es ist im Biofilm auch möglich, dass höhere Organismen selektieren, die sich nur langsam entwickeln. Zu ihnen gehören Würmer, Rädertiere (*Rotatoria*), Fadenwürmer (*Nematoden*), Wenigborster (*Oligochaeten*), Milben oder Insektenlarven. Unter den Bakterien, die für die relevante Abbauleistung verantwortlich sind, können auch solche sein, die sehr langsam wachsen und daher eine lange Aufenthaltszeit im System erfordern. Zu ihnen zählen unter anderem die Nitrifikanten. Die Gefahr besteht darin, dass sie von den höheren Organismen abgeweidet werden.

Des Weiteren ist es möglich, dass sich in einem Biofilm aerobe, anoxische und anaerobe Zonen dicht nebeneinander befinden und die entsprechenden Bakterienarten zusammenwirken. Diese Zusammenarbeit ermöglicht den Abbau von Substanzen, die in suspendierter Biomasse nicht abgebaut werden können. Dies führt zu einer hohen Anpassungsfähigkeit an extreme Bedingungen.

Das **Tropfkörperverfahren zählt zu den ältesten technischen Verfahren der biologischen Abwasserbehandlung**. Es basiert auf den Erfahrungen, die man Mitte des vorletzten Jahrhunderts mit der Bodenfiltration gesammelt hat. Ähnliche Techniken wurden aber schon im antiken Athen und Ägypten angewendet. Damals beobachtete man, dass im Boden lebende Mikroorganismen die organischen Stoffe abbauen. Körniger, sandiger Boden hat sich dabei als besonders geeignet herausgestellt. Um 1900 entwickelte *Corbett* in Salford ein freistehendes grobkörniges Filtermaterial, wodurch die Durchlüftung wesentlich verbessert werden konnte. Das hatte eine weitergehende Abwasserbehandlung zur Folge, die eine kontinuierliche Verrieselung von vorgeklärtem Abwasser auf dem Filtermaterial erlaubte. Als problematisch stellte sich zu dieser Zeit die auftretende Verschlammung dar, die nur durch gründliches Auswaschen des Filtermaterials in gewissen Zeitabständen bewältigt werden konnte. Erst durch eine erhöhte Flächenbeschickung (erstmalig angewandt 1936 von *Halverson*) ergab sich eine ausreichende Spülwirkung, mit der eine Verschlammung des Filtermaterials weitgehend verhindert werden konnte. Seit den 50er Jahren werden die Biofilmverfahren von Belebungsverfahren verdrängt.

Beim **Tropfkörperverfahren wird das Abwasser über dem Füllmaterial verregnet**. Dadurch wird während des Durchtropfens der Kontakt zwischen Biomasse und Abwasser hergestellt. Der

entstehende **Kamineffekt** (Dichteunterschied infolge von Temperatur und Luftfeuchtigkeit gegenüber der Außenluft) bewirkt, dass die Luft durch das Füllmaterial strömt. Eine weitere energieaufwendige Belüftung ist nicht notwendig. Der Tropfkörperanlage muss eine leistungsfähige **Vorklärung vorgeschaltet** sein, um eine Verstopfung der verschiedenen Füllstoffe zu verhindern. Ansonsten wäre mit erheblichen Einbußen in der Reinigungsleistung zu rechnen. Zudem muss der Austrag des Überschussschlammes aus den Füllstoffen gewährleistet sein. Für die Abscheidung der im Festbett gebildeten und ausgespülten Biomasse ist eine nachgeschaltete Feststoffabtrennung erforderlich. Dies kann als Sedimentation oder als Filtration erfolgen

Der wichtigste Bestandteil einer Tropfkörperanlage sind die eingesetzten **Füllstoffe**, die man grob in **mineralische Füllstoffe** und **Kunststofffüllstoffe** einteilen kann. Mineralische Füllstoffe sind Natursteine wie Lavaschlacke, Steinschotter und grober Kies. Materialien, die zum Absanden, Splitteln oder Bröckeln neigen, sind eher ungeeignet. Füllstoffe sollten generell sehr beständig gegen aggressive Einwirkungen des Abwassers sein und dürfen die biologischen Eigenschaften des biologischen Rasens nicht bremsen. Zudem sollten sie keine organischen Bestandteile, Sand oder Lehm enthalten. Als Körnung verwendet man für die Füllschicht 40 mm bis 80 mm und für die Stüttschicht 80 mm bis 150 mm. Die Füllstoffe aus Kunststoff haben den Einsatzbereich von Tropfkörperanlagen erheblich erweitert. Kunststofffüllstoffe weisen ein höheres Hohlraumvolumen auf und verstopfen selbst bei größeren Belastungen seltener. Ihre spezifische Oberfläche kann zwischen $80 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ variieren. Zudem ermöglicht das geringe Gewicht bautechnische Vorteile. Diese Vorteile können jedoch nur bei korrekter Auswahl der Füllkörper ausgenutzt werden. Man unterscheidet **drei Einsatzbereiche**:

- Hochlast - teilbiologische Reinigung hoch belasteter Abwässer vor allem im Industriebereich,
- Mittellast- Auslegung auf Kohlenstoffabbau ohne Nitrifikation,
- Schwachlast - Tropfkörper zur Nitrifikation.

Durch die unterschiedliche Biofilmdicke in diesen Bereichen wird die **spezifische Oberfläche der Füllkörper festgelegt**:

- Hochlast: $100 \pm 20 \text{ m}^2/\text{m}^3$,
- Mittellast: $150 \pm 20 \text{ m}^2/\text{m}^3$,
- Schwachlast: $200 \pm 20 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Es werden **Kunststofffüllelemente** aus PVC, PE und PP angeboten, die als Schüttfüllung oder regelmäßig geformte Kunststoff-Füllelemente in den Tropfkörper eingebracht werden können.

Kunststofffüllungen können grundsätzlich größere spezifische Oberflächen als die traditionellen Brockenfüllungen aus Lavagestein bieten.⁵³

Bei der **Behandlung von Grauwasser** wird dieses nach einer Sedimentation und Pufferung in die Tropfkörperanlage gefördert. Daraufhin erfolgt eine Nachklärung an die sich die Hygienisierung anschließt. Dann erst kann das aufbereitete Grauwasser gespeichert werden. Je nach Grauwassermenge sind Tropfkörperanlagen auch mehrstufig ausführbar. Der Energiebedarf liegt bei etwa 30 bis 60 Wh/m³ Abwasser. Für die Luftförderung wird keine Energie benötigt. Im Gegensatz dazu verbrauchen Belebungsbecken pro m³ Abwasser je nach Verfahren zwischen 150 und 350 Wh. **Vorteil** dieser Anlagenart ist der relativ geringe Platzbedarf, eine gute bis sehr gute Reinigungsleistung und der geringe Energiebedarf. Der **Nachteil** liegt vor allem im hohen Überwachungs- und Wartungsaufwand.

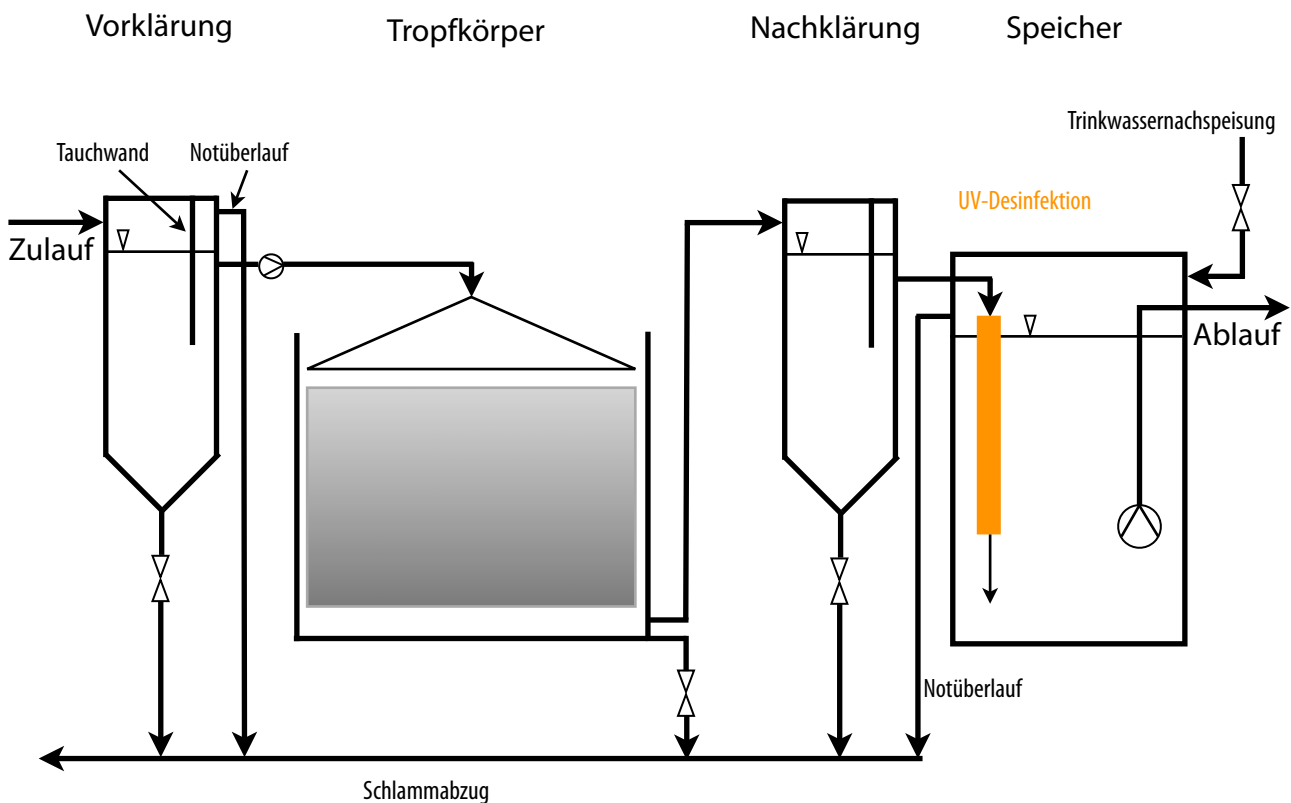


Abb.29: Verfahrensskizze Tropfkörperverfahren. Eigene Bearbeitung nach: ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997: "Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.", Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hoenf, 1997; S.120 Bild 4.1-1.

⁵³ ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997: "Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.", Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hoenf, 1997.

5.2.2.5. Rotationstauchkörperanlage/Biofilmverfahren

Wie die Tropfkörperanlage gehört auch die Rotationstauchkörperanlage zu den **Biofilmverfahren**. Hierbei wird das **zum Teil getauchte Füllmaterial** durch Einsatz von Energie um seine Längsachse gedreht. Während der Auftauchphase kann der Biofilm Sauerstoff aus der Umgebungsluft aufnehmen. In der Tauchphase nimmt der Biofilm die Schmutzstoffe aus dem Abwasser auf. Bei den Rotationstauchkörpern handelt es sich um Walzen, die in eine vom Abwasser durchflossene Wanne tauchen und sich dabei langsam drehen. Früher wurden häufig Styroporscheiben verwendet. Eine Weiterentwicklung hat aber auch in diesem Bereich stattgefunden. Heute werden aus profilierten Folien gewickelte Rotationstauchkörper sowie Rotationstauchkörper aus gitterförmig strukturierten Röhren eingesetzt. Bei beiden Varianten ist darauf zu achten, dass ein sicherer Austrag der Biomasse erfolgen kann.

Der **Rotationstauchkörperanlage** ist eine **Feststoff- und Störstoffabtrennung** vorzuschalten. Dabei gilt: je kleiner der Abstand zwischen den Scheiben beziehungsweise je höher die spezifische Oberfläche des Trägermaterials, desto höher sind die Anforderungen an die Feststoffabtrennung in einer Vorklärung.

Der für die **biologische Abwasserreinigung** benötigte belebte Schlamm befindet sich auf der Oberfläche der Rotationskörper als biologischer Rasen. Der belebte Schlamm, der sich im Wasser der Wanne in Suspension befindet, hat nur einen geringen Anteil an der Reinigungsleistung. Durch die Rotation des Körpers erfolgt eine gute Durchmischung des Wanneninhalts. Die Wanne ist so zu dimensionieren beziehungsweise ist die Umdrehungszahl des Rotationskörpers so zu wählen, dass eine ausreichende Turbulenz gewährleistet ist. Eine Schlammablagerung im Tauchkörper und in der Wanne ist so zu verhindern.

Bei jeder **Auftauchphase** nimmt der Biofilm Sauerstoff aus der Umgebungsluft auf. Dieser muss zur Deckung der Zehrungsvorgänge während der Eintauchphase und zur Aufrechterhaltung der aeroben Verhältnisse in der Wanne ausreichen. Dies bedingt eine Mindestumdrehungszahl der Walze in Abhängigkeit von der Zehrungsgeschwindigkeit. Ein übermäßiges Abwaschen des aktiven biologischen Schlamms auf den Scheiben muss verhindert werden. Auf Grund dessen ist die Drehgeschwindigkeit der Art und Struktur sowie dem Durchmesser anzupassen.

Der Sauerstoffeintrag erfolgt nicht durch das Einschlagen von Luft auf Abwasser, sondern über Austauschvorgänge an der nassen Scheibenoberfläche. Der Sauerstoff löst sich an der nassen Scheibenoberfläche, während diese aus dem Abwasser auftaucht. Die Oberfläche des Bewuchses ist so groß, dass dort sofort Sauerstoffsättigung eintritt. Der Sauerstoff dringt auf Grund des Konzentrationsgefälles in die tieferen Schichten des Bewuchses vor. Beim Eintauchen

des sauerstoffgesättigten Scheibenbewuchses in das Abwasser wandert ein Teil des aufgenommenen Sauerstoffs wegen des jetzt umgekehrten Konzentrationsgefälles in das Abwasser. In den Luftraum über dem Rotationskörper entweichen die gasförmigen Stoffwechselprodukte. Um eine Anreicherung dieser Gase zu verhindern ist immer für ausreichend Luftsauerstoff zu sorgen.

Tauchkörperanlagen sollten immer abgedeckt werden, da bei offenen Anlagen im Winter Probleme durch Eisbildung auftreten können.

Die **biologisch abbaubaren, organischen und anorganischen Stoffe** werden von dem getauchten Teil des Scheibenbewuchses und auch vom belebten Schlamm in den Wannen aufgenommen und je nach Belastung zu unterschiedlichen Anteilen in Belebtschlamm umgebaut, oxidiert oder angelagert.

Bei der Bemessung dieser Anlage geht man davon aus, dass pro m² Bewuchsfläche etwa 4 Liter Wasser in der Wanne zur Verfügung stehen sollten.

Rotationstauchkörperanlagen bestehen in der Regel aus 2-4 hintereinander angeordnete Walzen (**Kaskadenanordnung**). Diese Bauweise ermöglicht es, unterschiedliche Raumbelastungen und unterschiedlich dicht gepacktes Trägermaterial zu realisieren. Auf jeder Walze kann so ein anderer, dem Reinheitsgrad des Abwassers entsprechender Bewuchs realisiert werden.

Um die **Denitrifikation** in einem Rotationstauchkörper zu realisieren, muss dieser gasdicht abgeschlossen werden, um eine sauerstofffreie Atmosphäre zu gewährleisten. Eine weitere Möglichkeit ist das vollständige Abtauchen des Rotationstauchkörpers in einer anoxischen Wanne.

Der Überschussschlamm muss durch Sedimentation in einem Nachklärbecken oder durch andere Maßnahmen vom biologisch gereinigten Wasser getrennt werden.

Man unterscheidet in der Regel **Scheibentauchkörper** von **Walzentauchkörpern**.

Bei **Scheibentauchkörpern** werden mehrere glatte, nicht strukturierte kreisrunde Scheiben auf einer Welle befestigt. Die Scheiben werden in einem Abstand von 8 cm bis 16 cm getrennt voneinander montiert und tauchen maximal bis zur Hälfte in das Wasser. Der Abstand der Scheiben richtet sich danach, ob die Anlage als reine Nitrifikationsanlage oder als Anlage für Kohlenstoffabbau eingesetzt wird. Die Scheiben bestehen aus Gewichtsgründen aus Kunststoff (Polystyrol) und werden auf frei tragenden Wellen bis zu 7m Länge angeordnet.

Die **Walzentauchkörper** bestehen aus wasserdurchlässigen Walzen, die geformte feste oder beweglich angeordnete Füllkörper enthalten, auf deren Oberfläche die Biomasse wächst. Die

Walzen tragen gleichzeitig zum Sauerstoffeintrag und der Turbulenzerzeugung bei. Die Walzentauchkörper sind zwischen 50% und 80% eingetaucht. Je nach Belastungsgrad der Reinigungsstufe (Kaskade) können unterschiedlich dichte Aufwuchsflächen mit nutzbaren Oberflächen von 100 m²/m³ bis 250 m²/m³ verwendet werden.⁵⁴

Bei der **Behandlung von Grauwasser** wird dieses aus der Vorklärung in Intervallen in ein Becken gefördert, in dem halb eingetauchte Scheiben oder Walzen rotieren. Diese bestehen aus gewellten oder gitterförmig strukturierten Röhren, die eine große Oberfläche aufweisen. Hier siedelt sich der Biofilm an. Die Feststoffe werden in einer Nachklärung abgetrennt. Anschließend erfolgt die Hygienisierung und Speicherung des gereinigten Grauwassers. Je nach Grauwassermenge ist auch diese Anlage mehrstufig ausführbar. Der Energiebedarf entspricht circa 2,5 kWh/m³ Grauwasser. Diese Art der Grauwasserbehandlung ist vor allem für **Hotels und Siedlungen mit einem Grauwasseranfall von > 5m³/d** geeignet. Bei kleineren Grauwassermengen ist der spezifische Energiebedarf zu hoch. Der Platzbedarf beträgt für einen Grauwasseranfall von 5m³/d ungefähr 20m², für 10m³/d sind es ungefähr 15m². Die Vor- und Nachteile entsprechen im Wesentlichen denen der Tropfkörperanlage.

In Tabelle 28 ist die erzielte Betriebswasserqualität des Rotationstauchkörpers im Arabella-Sheraton Hotel aufgezeigt.

Tabelle 28: Erzielte Betriebswasserqualität des Rotationstauchkörpers im Arabella-Sheraton Hotel/Offenbach und ein Vergleich mit Grenwerten von Qualitätsanforderungen.

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.127.

Parameter	Ablauf	TinkWV	Berliner Merkblatt
C _{BSB7}	< 3 mg/l	-	< 5 mg/l
C _{TOC}	1,5 - 2,0 mg/l	-	-
Sauerstoffsättigung	> 70%	-	>50%
Gesamtcoliforme Bakterien	< 10/100 ml	0/100 ml	< 10.000/100 ml
Fäkalcoliforme Bakterien	< 10/100 ml	-	< 1.000/100 ml
Enterokokken	k.A.	0/100 ml	
<i>E.coli</i>	<3/100 ml	0/100 ml	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	< 1/100 ml	0/250 ml	< 100/100 ml

⁵⁴ ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997:“Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.“, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hennef, 1997.

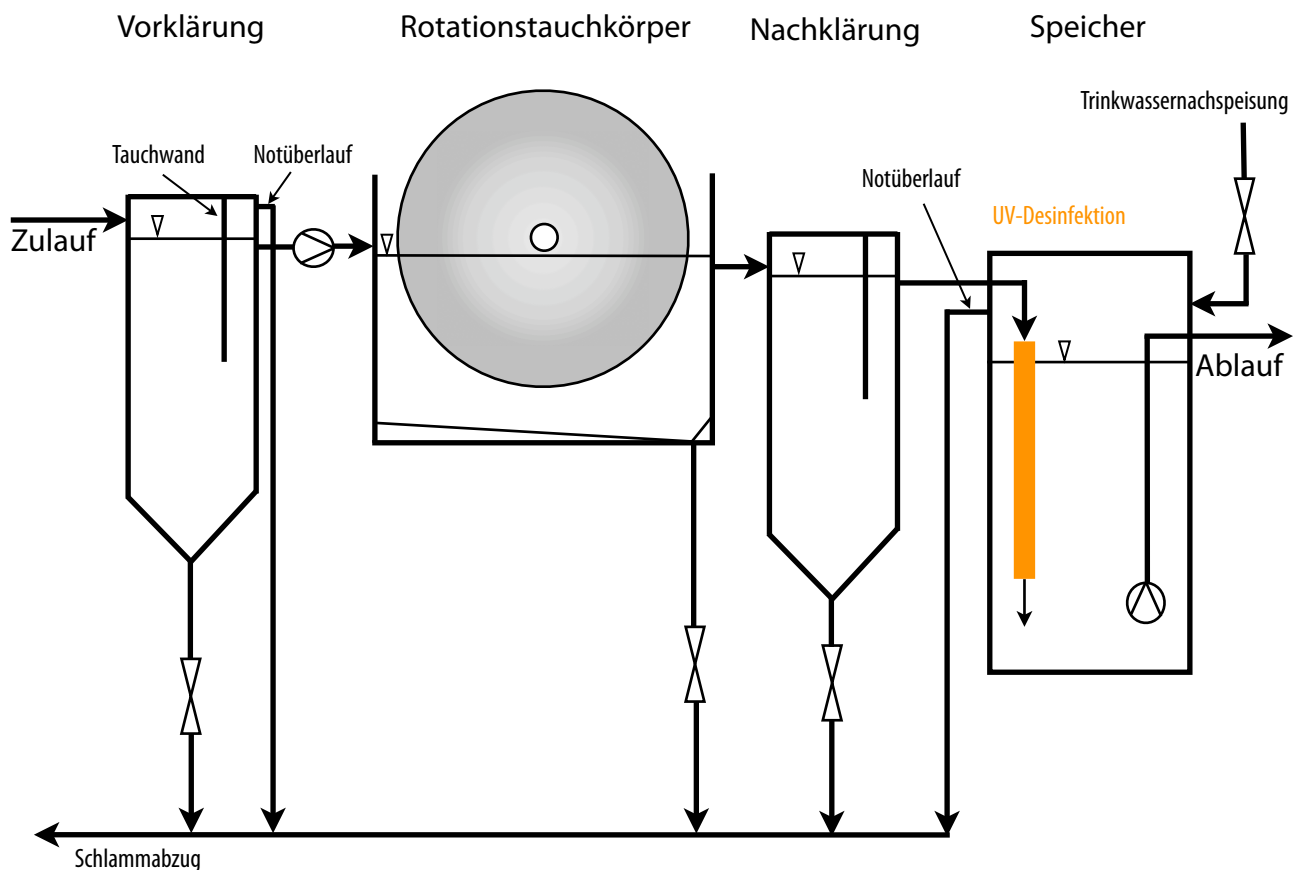


Abb.30: Verfahrensskizze Rotationstauchkörper. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.126.

5.2.2.6. Getauchte Festbetтанlage/Biofilmverfahren

Getauchte Festbetтанlagen gehören ebenfalls zu den **Biofilmverfahren**. Sie bestehen aus einem oder mehreren **Reaktoren, in denen submerse Aufwuchskörper** (Packungen) **installiert sind**. Sie können bis zu 6 m hoch sein. Die Festbettelemente sind so gestaltet, dass sie einerseits eine **hohe Besiedlungsdichte** und andererseits relativ **große, freie Querschnitte und Hohlraumanteile** aufweisen. Theoretisch steht ein Hohlraumanteil von 85% bis 90% zur Verfügung. Damit wird der hydraulische Verlust sowie die Verstopfungsgefahr sehr gering gehalten. Luft und freigesetzte Gase können den Reaktor ohne großen Widerstand nach oben durchdringen und verlassen. Dadurch wird auch eine intensive Durchmischung und somit ein intensiver Austausch der Medien ermöglicht. Festbettreaktoren ermöglichen eine längere Verweilzeit des Abwassers im System, wodurch eine optimale Sauerstoffausnutzung erzielt wird. Um ein Maximum an immobilisierter Biomasse zu erreichen, sollte nur ein Minimum an Spülenergie aufgewendet werden. Dafür sollte der Festbettreaktor die Durchströmung des Abwassers und der Luft in vertikaler und horizontaler Richtung nur gering behindern. Ferner besteht die Gefahr, dass die Elemente zuwachsen und dadurch verstopfen. Daher haben sich Gitterstrukturen am besten

bewährt. Die Materialien für getauchte Festbetten sind zahlreich. Es handelt sich dabei um Gitter, Folien und unterschiedlich geformtes Schüttgut. Eine Klassifizierung oder Einordnung der Materialien ist nicht möglich.

Die Packungen werden meist in Blockform mit einer **spezifischen theoretischen Oberfläche zwischen 100 m²/m³ und 400 m²/m³** hergestellt. Sie können eine glatte oder rauhe Oberflächen aufweisen. Glatte Oberflächen können komplexere Biofilme weniger gut halten, lassen sich jedoch besser von überschüssiger Biomasse reinigen.

Anwendungsbezogene Grenzen werden hauptsächlich durch die zu erwartenden Biofilmeigenschaften bestimmt. Es gilt, dass bei abnehmender Biofilmdicke höhere spezifische Oberflächen der Füllmaterialien erreicht werden können. Dicke Biofilme hingegen lassen nur geringe spezifische Oberflächen zu.

Im Gegensatz zu den anderen Biofilmverfahren muss bei **getauchten Festbettanlagen zusätzlich belüftet** werden. Sie haben dabei zwei grundsätzliche Aufgaben. Auf der einen Seite sichern sie die für den Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe erforderliche Sauerstoffzufuhr und auf der anderen Seite spült sie den Festbettkörper frei von überschüssiger Biomasse. Das Festbett ist daher das zu überwindende Hindernis in Bezug auf die Durchströmung. Erhöht sich die spezifische Oberfläche, muss eventuell zusätzlich eine hydraulische Rückspülung hinzugefügt werden. Die Belüftung kann entweder flächig oder über Düsen erfolgen.

Bei der Festbettanlage ist es ebenfalls möglich, diese **als Kaskade zu installieren**. Dadurch lassen sich wie bei der Rotationskörperanlage unterschiedliche Biozönosen und Raumbelastungen realisieren. Zudem verringert dies die Auswirkungen von Belastungsstößen und bewirkt eine höhere Betriebssicherheit.

Auch hier wird bei der **Behandlung des Grauwasser** zuerst vorgeklärt und anschließend in Intervallen in ein Becken gefördert, in dem sich die ganz eingetauchten Festbettreaktoren befinden. Die Feststoffe werden in einer Nachklärung abgetrennt. Anschließend erfolgt die Hygienisierung und Speicherung des gereinigten Grauwassers. Je nach Grauwassermenge ist auch diese Anlage mehrstufig ausführbar. Diese Art der Grauwasserbehandlung ist vor allem **für Hotels und Siedlungen mit einem Grauwasseranfall von > 5m³/d** geeignet. Bei kleineren Grauwassermengen ist der spezifische Energiebedarf zu hoch. Die Vor- und Nachteile entsprechen im Wesentlichen denen der Tropfkörperanlage.

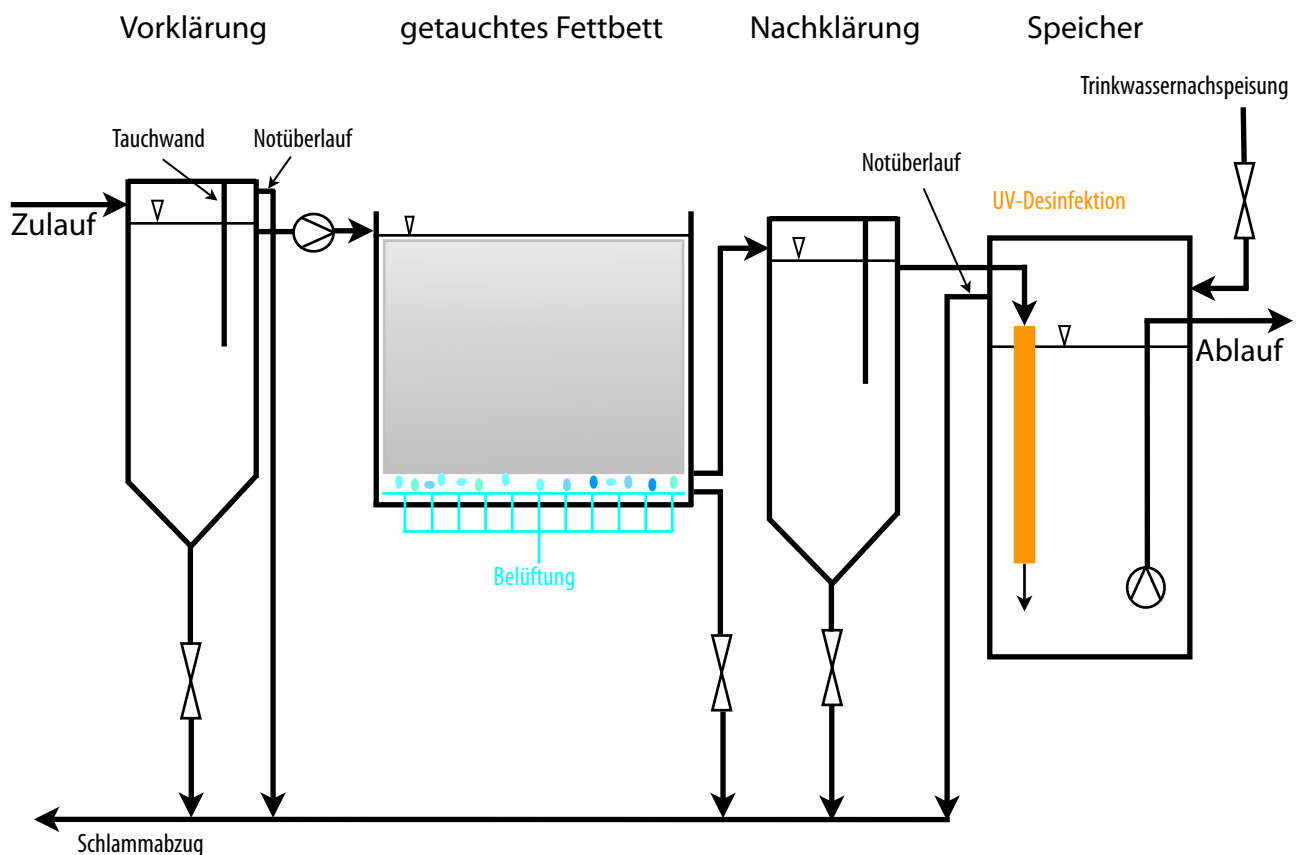


Abb.31: Verfahrensskizze getauchtes Fettbett. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.126; ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997:“Biologische und weitergehende Abwasserreinigung“, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hoenf, 1997; S.120 Bild 4.1-3.

5.2.2.7. Membranverfahren

Membranverfahren sind **physikalische Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen** und haben sich seit der Entwicklung der asymmetrischen Membranen (1960) weiterentwickelt. Grundsätzlich trennen Membrananlagen in einem verfahrenstechnischen Prozess einen Stoffstrom, der mehrere Komponenten enthält, in zwei Stoffströme. Der zu behandelnde Stoffstrom strömt dabei über eine Membran, die selektiv auf die einzelnen Komponenten des Stoffstroms wirkt. Einige Komponenten strömen besser durch die Membran als andere, wodurch man zwei neue Stoffströme mit unterschiedlicher Zusammensetzung erhält. Im Fall der Wasseraufbereitung wird das **verschmutzte Wasser über die Membran geleitet**. Hierbei strömen nur die Wassermoleküle durch die Membran und ergeben einen Stoffstrom mit sauberem Wasser. Die Schmutzstoffe, gelöst oder partikulär, werden von der Membran zurückgehalten und bleiben in dem anderen Teilstrom zurück. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Membranverfahren, die sich ganz unterschiedlicher Membranen bedienen. Die Verfahren sind für unterschiedliche Trennaufgaben unterschiedlich gut geeignet, und jede Membran hat dabei ihre eigenen Vor- und Nachteile.

Membranverfahren werden meist in der Lebensmittelbranche, der chemischen Industrie und in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Heute finden sie aber auch verstärkt Anwendung in der Abwasseraufbereitung. In der kommunalen Abwasserreinigung soll dabei das gereinigte Abwasser von der Biomasse getrennt werden und somit die konventionelle Nachklärung ersetzen. Diese Methode ermöglicht es, die Biomassenkonzentration in den Belebungsbecken zu erhöhen, da auf die Sedimentationsfähigkeit des Belebtschlammes keine Rücksicht mehr genommen werden muss. Durch die verbesserte Abtrennung der Biomasse vom Wasser werden auch an den Schlammflocken anlagernde Spurenstoffe und Keime aufgehalten. In der Abwasserbehandlung wird das Rohabwasser (=Feed) durch die Membran geleitet. Der Teilstrom, der die Membran fast ungehindert passiert, wird als Permeat oder Filtrat bezeichnet, der durch die Membran zurückgehaltene Teilstrom ist das Retentat oder Konzentrat.

Bei den **Membranverfahren, die zur Abwasserbehandlung** eingesetzt werden, unterscheidet man die **Nanofiltration**, die **Umkehrosmose**, die **Mikrofiltration** und die **Ultrafiltration**. Alle vier Verfahren gehören zu der Gruppe der druckbetriebenen Membranverfahren.

Die **Mikrofiltration** bildet dabei die Grenze zwischen den Membranverfahren und der klassischen Filtration. Die Mikrofiltrationsmembran enthält winzige Poren. Teilchen, die größer als die Porenweite sind, werden selektiv zurückgehalten. Im Gegensatz zu den klassischen Filtern haben die Mikrofilter jedoch deutlich kleinere Poren. Die Mikrofiltrationsmembran gewährleistet auf Grund ihrer Porengröße einen **vollständigen Rückhalt von Bakterien**. In der Industrie beispielsweise wird die Mikrofiltration eingesetzt um suspendierte, **feste oder emulgierte Stoffe bis zu einer Größe von 0,1 mm** aus Flüssigkeiten aller Art abzutrennen. Die Mikrofiltration arbeitet dabei mit relativ kleinen Drücken von 0,5-3 bar. Bei der Mikrofiltration sind zwei Betriebsweisen zu unterscheiden. Einmal das so genannte „**Dead-End-Verfahren**“, bei dem fast die gesamte Flüssigkeit bis auf eine kleine Konzentratmenge filtriert wird. Der Filterkuchen wächst kontinuierlich an. Dieses Verfahren wird bei Flüssigkeiten angewendet, die einen sehr geringen Feststoffanteil haben. Zum anderen gibt es das „**Crossflow-Verfahren**“ bei dem die ungereinigte Flüssigkeit über die Membranoberfläche gepumpt und gleichzeitig filtriert wird. Dies ermöglicht bis auf die periodische Rückspülung einen kontinuierlichen Betrieb. Dieses Verfahren wird bei höherem Feststoffanteil eingesetzt.

Die **Ultrafiltration** ist durch ihre kleineren Poren dazu in der Lage, sogar **Viren vollständig zurückzuhalten**. Der dafür notwendige Druck ist etwas höher als bei der Mikrofiltration.

Die **Einsatzmöglichkeiten** für Ultra- und Mikrofiltration sind:

- Trinkwasseraufbereitung und kommunale Abwasserbehandlung,

- Aufbereitung von Filterrückspülwasser,
- Entkeim- und Phosphatentfernung von Kläranlagenabläufen,
- Kombination von Belebungs- und Membranstufe (Membranbioreaktor),
- Vorreinigung von Umkehrosmose-Anlagen, uvm.

Die **Nanofiltration** kann Moleküle von etwa **einem Nanometer Größe zurückhalten**. Für dieses Verfahren sind nicht nur organische, sondern auch anorganische Membranen erhältlich. Organische Nanofiltrationsmembranen erzielen bei transmembranen Druckdifferenzen von 10 bis 50 bar für organische Moleküle hohe Rückhalte oberhalb eines Molgewichts von 200 g/mol. Damit liegt die Nanofiltration zwischen der Umkehrosmose und der Ultrafiltration. Die Besonderheit liegt in ihrer **Ionenselektivität**. Sie basiert auf negativen Ladungsgruppen an der Oberfläche beziehungsweise in der Membran. Über elektrostatische Wechselwirkungen werden mehrwertige Ionen an der Permeation gehindert. Dabei werden mehrwertige Anionen stärker zurückgehalten als mehrwertige Kationen.

Die **Umkehrosmose** ist seit vielen Jahren durch die Meerwasserentsalzung bekannt, wird aber auch zur Reinwasser-Erzeugung eingesetzt. Die Membranen, auch RO-Membranen genannt, sind porenfrei. Sie trennen nach dem **Lösungs-Diffusions-Prinzip** Moleküle mit einem Molgewicht über 100 g/mol vollständig ab und weisen Salzurückhalte von 90% bis über 99% auf. Typische Betriebsdrücke liegen zwischen 15 und 150 bar.⁵⁵

Derzeit gibt es mehrere Anbieter, die **Grauwasseraufbereitungsanlagen** mit Membrantechnik anbieten. Mittels dieser Membrananlagen kann das Grauwasser aus Duschen, Badewannen und Handwaschbecken aufbereitet und anschließend für die Toilettenspülung, Waschmaschine oder Gartenbewässerung aufbereitet werden. Der Kern dieser Anlagen enthält einen **Membranbioreaktor** mit Membranen **im Mikro- und Ultrafiltrationsbereich**. Diese machen es möglich, Bakterien nahezu vollständig (und im Fall der Ultrafiltration auch Viren) zurückzuhalten. Wichtig hierbei ist, dass Grauwasser nur chargenweise zu bestimmten Tageszeiten anfällt, der Bedarf aber relativ gleichmäßig über den Tag verteilt ist. Dadurch wird eine Speichervolumenbewirtschaftung des Roh- und Nutzwassers notwendig. Das in den Anlagen aufbereitete Grauwasser entspricht den EU-Badegewässerrichtlinien. Mittlerweile gibt es auch Membranbioreaktoren (Kombination von Belebungs- und Membrananlage), die auf dem Markt, zum Beispiel von der Firma aixAQUA, zur Grauwasseraufbereitung angeboten werden.

⁵⁵ MEMBRANANLAGEN-MEMBRANVERFAHREN: „http://www.membranverfahren.info/html/body_membrananlagen-membranverfahre.html; Stand 29.08.2010.

Membrananlagen werden in verschiedenen Größen angeboten. Die Firma GEO TERRA bietet Anlagen mit einer Aufbereitungskapazität von 500 l/d bis 6.000 l/d an. Der Platzbedarf (LxBxH) liegt für die kleine Anlage bei 1,50 m x 1,50 m x 1,80 m. Der Energiebedarf ist je nach Größe sehr unterschiedlich und wird auf 2kWh/d geschätzt.

Tabelle 29: Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Membranbioreaktor (Micro Clear, Firma GEO-Terra/aixAQUA) Gegenüberstellung mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen (verändert GEO TERRA, 2007)

Quelle: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.130.

Parameter	Ablauf	TinkWV	Berliner Merkblatt
Leitfähigkeit	572 µS/cm	< 2.500 µS/cm	-
Trübung	0,2 NTU	< 1 NTU	-
C _{BSB5}	< 5 mg/l	-	< 4,4 mg/l (als BSB ₇)
C _{CSB}	15 mg/l	-	-
Sauerstoffgehalt	8,6 mg/l	> 5 mg/l	-
Gesamtcoliforme Bakterien	0/100 ml	0/100 ml	< 10.000/100 ml
Fäkalcoliforme Bakterien	k.A.	-	< 1.000/100 ml
Enterokokken	k.A.	0/100 ml	
<i>E.coli</i>	0/100 ml	0/100 ml	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	k.A.	0/250 ml	< 100/100 ml

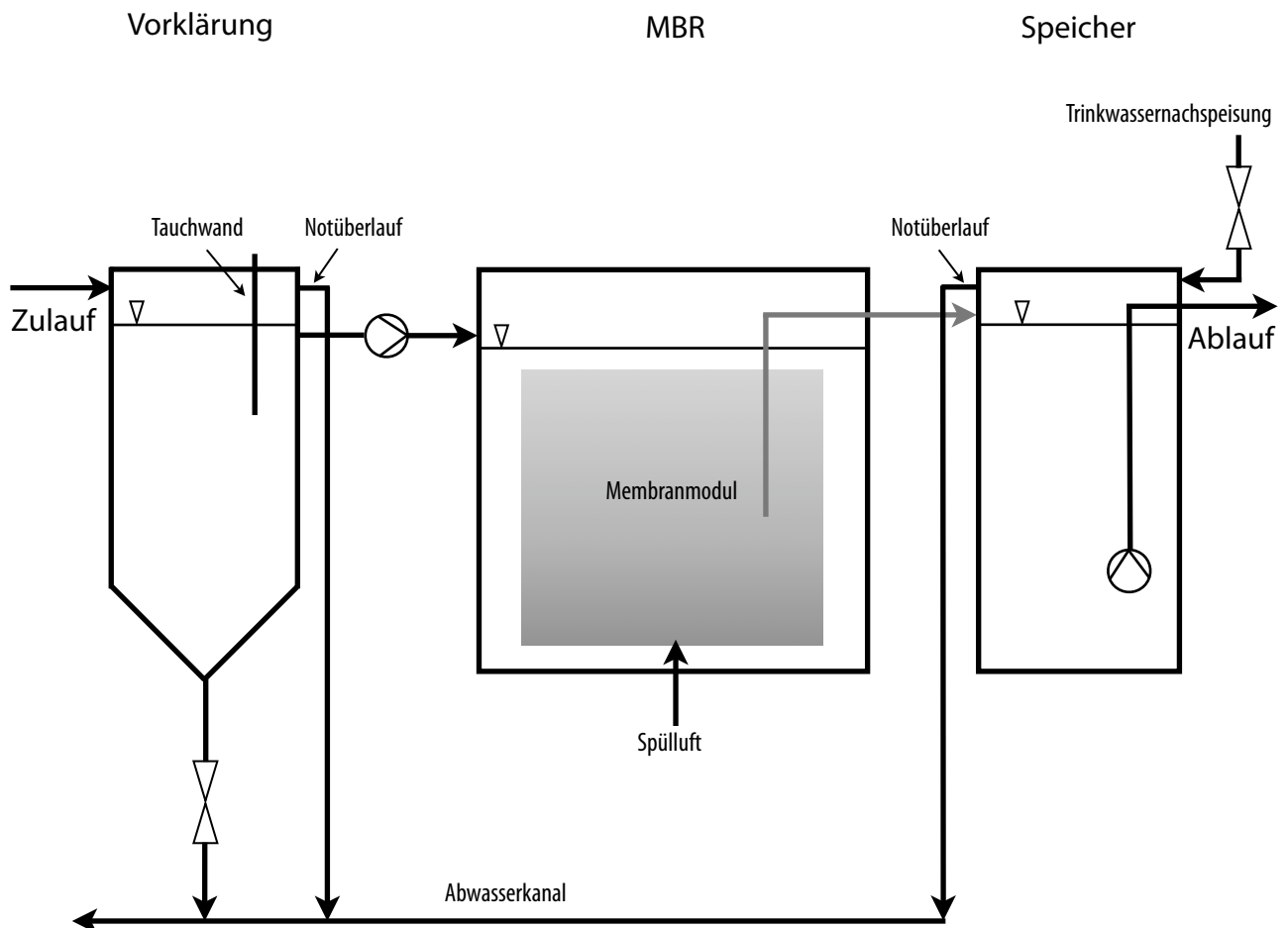


Abb.32: Verfahrensskizze Membranbioreaktor. Eigene Bearbeitung nach Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., 2009: "fbr 12: Grauwasser-Recycling - Wasser zweimal nutzen"; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2009; S.18.

5.3. Übersichtstabellen zur Behandlung von Grauwasser

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Verfahren und die erreichbaren Behandlungsziele für schwach belastetes Grauwasser und für stark belastetes Grauwasser.

Tabelle 30-1: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.120.

	Behandlungsziel 0=kein Effekt; *=schwacher Effekt; **=mittlerer Effekt; ***=starker Effekt						
	Desinfektion	CSB-Elimination	Keimreduzierung nach EU-RL 2006/7/EG	Feststoff-abtrennung	Entfernung von Mikroverunreinigungen	Fette	Tenside
Naturnahe Technik							
Vorbehandlung							
Ausgleichsbecken	0	0	0	*	0	0	0
Behandlungsverfahren							
bepflanzter Bodenfilter	**	**	*	0	0	**	*
Nachbehandlung s.u.							
suspendierte Biomasse							
Vorbehandlung							
Ausgleichsbecken	0	0	0	*	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Belebungsanlage	**	***	*	**	**	***	**
SBR-Anlage	**	***	*	**	**	***	**
Nachbehandlung s.u.							
sessile Biomasse							
Vorbehandlung							
Ausgleichsbecken	0	0	0	*	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Festbettreaktor	**	***	*	**	*	***	**

	Behandlungsziel 0=kein Effekt; *=schwacher Effekt; **=mittlerer Effekt; ***=starker Effekt						
	Desinfektion	CSB-Elimination	Keimreduzierung nach EU-RL 2006/7/EG	Feststoff-abtrennung	Entfernung von Mikroverunreinigungen	Fette	Tenside
Wirbelbettreaktor	**	***	*	**	*	***	**
Rotationstauchkörper	**	***	*	**	**	**	**
Nachbehandlung s.u.							
MBR							
Vorbehandlung							
	0	0	0	*	0	0	0
Feinstsieb 0,5 mm	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
MBR-Anlage (MF)	**	***	**	***	**	***	**
MBR-Anlage (UF)	**	***	**	***	**	***	**
Nachbehandlung s.u.							
Membrananlage							
Vorbehandlung							
Ausgleichsbecken	0	0	0	*	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Filter (<50 µm)	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Nanofiltration	**	**	***	***	***	***	**
Umkehrosmose	**	**	***	***	***	***	**
ggf. Nachbehandlung							
Nachbehandlung							
UV	***	0	***	0	*	0	0
Ozon	***	0	***	0	***	***	***

Tabelle 30-2: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.120.

	weitere Kriterien 0=keine/r; *=gering; **=mittel; ***=hoch			
	Vorbehandlungsaufwand	Nachbehandlungsaufwand abhängig von den Kosten	... vorhandener Erfahrung/ Literatur
Naturnahe Technik				
Vorbehandlung				
Ausgleichsbecken		***		***
Behandlungsverfahren				
bepflanzter Bodenfilter	*	***	**	***
Nachbehandlung s.u.				
suspendierte Biomasse				
Vorbehandlung				
Ausgleichsbecken				***
Siebe/Rechen				***
Behandlungsverfahren				
Belebungsanlage	*	***	**	***
SBR-Anlage	**	***	**	***
Nachbehandlung s.u.				
sessile Biomasse				
Vorbehandlung				
Ausgleichsbecken				***
Siebe/Rechen				***
Behandlungsverfahren				
Festbettreaktor	**	***	**	**
Wirbelbettreaktor	**	***	**	**
Rotationstauchkörper	***	***	**	***
Nachbehandlung s.u.				
MBR				

	weitere Kriterien 0=keine/r; *=gering; **=mittel; ***=hoch			
	Vorbehandlungsaufwand	Nachbehandlungsaufwand abhängig von den Kosten	... vorhandener Erfahrung/ Literatur
Vorbehandlung				
Ausgleichsbecken				***
Feinstsieb 0,5 mm				***
Behandlungsverfahren				
MBR-Anlage (MF)	***	*	**	**
MBR-Anlage (UF)	***	*	**	**
Nachbehandlung s.u.				
Membrananlage				
Vorbehandlung				
Ausgleichsbecken				***
Siebe/Rechen				***
Filter (<50 µm)				***
Behandlungsverfahren				
Nanofiltration	***	*	**	0
Umkehrosmose	***	*	**	0
ggf. Nachbehandlung				
Nachbehandlung				
UV			*	**
Ozon			**	**

Tabelle 30-3: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.120.

	Reststoffentsorgung 0=keine/r, nicht möglich; x=notwendig, möglich				
	Einleitung ins Gewässer	Versickerung	Ableitung in den SWKanal	häuslicher Restmüll	Qualität des behandelten Wassers
Naturnahe Technik					
Vorbehandlung					
Ausgleichsbecken	0	0	0	0	
Behandlungsverfahren					
bepflanzter Bodenfilter	x	x	0	0	AbwV, DIN 19650
Nachbehandlung s.u.					
suspendierte Biomasse					
Vorbehandlung					
Ausgleichsbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen	0	0	0	x	
Behandlungsverfahren					
Belebungsanlage	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
SBR-Anlage	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Nachbehandlung s.u.					
sessile Biomasse					
Vorbehandlung					
Ausgleichsbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen	0	0	0	x	
Behandlungsverfahren					
Festbettreaktor	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Wirbelbettreaktor	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Rotationstauchkörper	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Nachbehandlung s.u.					
MBR					

	Reststoffentsorgung 0=keine/r, nicht möglich; x=notwendig, möglich				
	Einleitung ins Gewässer	Versickerung	Ableitung in den SWKanal	häuslicher Restmüll	Qualität des behandelten Wassers
Vorbehandlung					
Ausgleichsbecken	0	0	0	0	
Feinstsieb 0,5 mm	0	0	0	x	
Behandlungsverfahren					
MBR-Anlage (MF)	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
MBR-Anlage (UF)	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Nachbehandlung s.u.					
Membrananlage					
Vorbehandlung					
Ausgleichsbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen	0	0	0	x	
Filter (<50 µm)	0	0	0	x	
Behandlungsverfahren					
Nanofiltration	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Umkehrosmose	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
ggf. Nachbehandlung					
Nachbehandlung					
UV	x	x	0	0	
Ozon	x	x	0	0	

Tabelle 31-1: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.121.

	Behandlungsziel						
	0=kein Effekt; *=schwacher Effekt; **=mittlerer Effekt; ***=starker Effekt						
	Desinfektion	CSB-Elimination	Keimreduzierung nach EU-RL 2006/7/EG	Feststoff-abtrennung	Entfernung von Mikroverunreinigungen	Fette	Tenside
Naturnahe Technik							
Vorbehandlung							
Absetzbecken	0	0	0	**	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
bepflanzter Bodenfilter	**	*	*	0	0	**	*
Nachbehandlung s.u.							
suspendierte Biomasse							
Vorbehandlung							
Absetzbecken	0	0	0	**	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Belebungsanlage	**	***	*	**	**	***	**
SBR-Anlage	**	***	*	**	**	***	**
Nachbehandlung s.u.							
sessile Biomasse							
Vorbehandlung							
Absetzbecken	0	0	0	**	0	0	0
Siebe/Rechen	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Festbettreaktor	**	***	*	**	*	***	**
Wirbelbettreaktor	**	***	*	**	*	***	**
Rotationstauchkörper	**	***	*	**	**	**	**
Nachbehandlung s.u.							

	Behandlungsziel 0=kein Effekt; *=schwacher Effekt; **=mittlerer Effekt; ***=starker Effekt						
	Desinfektion	CSB-Elimination	Keimreduzierung nach EU-RL 2006/7/EG	Feststoff-abtrennung	Entfernung von Mikroverunreinigungen	Fette	Tenside
MBR							
Vorbehandlung							
Absetzbecken	0	0	0	**	0	0	0
Feinstsieb 0,5 mm	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
MBR-Anlage (MF)	**	***	**	***	**	***	**
MBR-Anlage (UF)	**	***	**	***	**	***	**
Nachbehandlung s.u.							
Membrananlage							
Vorbehandlung							
MBR	0	0	0	**	0	0	0
	0	0	0	***	0	0	0
	0	0	0	***	0	0	0
Behandlungsverfahren							
Nanofiltration	**	**	***	***	***	***	**
Umkehrosmose	**	**	***	***	***	***	**
ggf. Nachbehandlung							
Nachbehandlung							
UV	***	0	***	0	*	0	0
Ozon	***	0	***	0	***	***	***

Tabelle 31-2: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.121.

	weitere Kriterien 0=keine/r; *=gering; **=mittel; ***=hoch			
	Vorbehandlungsaufwand	Nachbehandlungsaufwand abhängig von den Kosten	... vorhandener Erfahrung/ Literatur
Naturnahe Technik				
Vorbehandlung				
Absetzbecken		***		***
Siebe/Rechen		***		***
Behandlungsverfahren				
bepflanzter Bodenfilter	*	**	**	***
Nachbehandlung s.u.				
suspendierte Biomasse				
Vorbehandlung				
Absetzbecken		***		***
Siebe/Rechen		***		***
Behandlungsverfahren				
Belebungsanlage	*	**	**	***
SBR-Anlage	**	**	**	***
Nachbehandlung s.u.				
sessile Biomasse				
Vorbehandlung				
Absetzbecken		***		***
Siebe/Rechen		***		***
Behandlungsverfahren				
Festbettreaktor	***	*	**	**
Wirbelbettreaktor	***	*	**	**
Rotationstauchkörper	***	*	**	***
Nachbehandlung s.u.				

	weitere Kriterien 0=keine/r; *=gering; **=mittel; ***=hoch			
	Vorbehandlungsaufwand	Nachbehandlungsaufwand abhängig von den Kosten	... vorhandener Erfahrung/ Literatur
MBR				
Vorbehandlung				
Absetzbecken		***		***
Feinstsieb 0,5 mm		***		***
Behandlungsverfahren				
MBR-Anlage (MF)	***	*	**	**
MBR-Anlage (UF)	***	*	**	**
Nachbehandlung s.u.				
Membrananlage				
Vorbehandlung				
MBR		***		***
		***		***
		***		***
Behandlungsverfahren				
Nanofiltration	***	*	**	0
Umkehrosmose	***	*	**	0
ggf. Nachbehandlung				
Nachbehandlung				
UV	***		***	**
Ozon	**		***	**

Tabelle 31-3: Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009, S.121.

	Reststoffentsorgung 0=keine/r, nicht möglich; x=notwendig, möglich				
	Einleitung ins Gewässer	Versickerung	Ableitung in den SWKanal	häuslicher Restmüll	Qualität des behandelten Wassers
Naturnahe Technik					
Vorbehandlung					
Absetzbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen				x	
Behandlungsverfahren					
bepflanzter Bodenfilter	x	x	0	0	AbwV, DIN 19650
Nachbehandlung s.u.					
suspendierte Biomasse					
Vorbehandlung					
Absetzbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen				x	
Behandlungsverfahren					
Belebungsanlage	x	x	0	0	
SBR-Anlage	x	x	0	0	
Nachbehandlung s.u.					
sessile Biomasse					
Vorbehandlung					
Absetzbecken	0	0	0	0	
Siebe/Rechen				x	
Behandlungsverfahren					
Festbettreaktor	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Wirbelbettreaktor	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Rotationstauchkörper	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Nachbehandlung s.u.					

	Reststoffentsorgung 0=keine/r, nicht möglich; x=notwendig, möglich				
	Einleitung ins Gewässer	Versickerung	Ableitung in den SWKanal	häuslicher Restmüll	Qualität des behandelten Wassers
MBR					
Vorbehandlung					
Absetzbecken	0	0	0	0	
Feinstsieb 0,5 mm				x	
Behandlungsverfahren					
MBR-Anlage (MF)	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
MBR-Anlage (UF)	x	x	0	0	BR, EU-RL 2006/7/EG
Nachbehandlung s.u.					
Membrananlage					
Vorbehandlung					
MBR	0	0	0	0	
				x	
				x	
Behandlungsverfahren					
Nanofiltration	x	x	0	0	
Umkehrosmose	x	x	0	0	
ggf. Nachbehandlung					
Nachbehandlung					
UV	x	x	0	0	
Ozon	x	x	0	0	

5.4. Nachbehandlung

In der Abwasserbehandlung hat die biologische Reinigung die Aufgabe, die in Kapitel 5.2 genannten Abwasserinhaltsstoffe aus dem Abwasser zu entfernen, so dass diese in der Natur keinen Schaden anrichten. Eine vollständige Elimination kann aber mit der biologischen Reinigung nicht erzielt werden. Je nach Verfahren wird immer eine Restbelastung zurückbleiben.

Die **Restbelastungen lassen sich in drei Klassen zusammenfassen:**

- hygienische Verunreinigungen,
- anorganisch-chemische Verunreinigungen,
- organisch-chemische Verunreinigungen.

Die **hygienischen Verunreinigungen** stellen dabei die höchste Gefahr für den Menschen dar. Sie treten in Form von **Krankheitserregern** (Bakterien, Viren, Parasiten) auf. Für Wässer, die einen gewissen Anteil an Abwasser enthalten, sind dies vor allem Enterobakterien (Coliforme und E.coli), Protozoen wie Giardien und Cryptosporidien. Ein Beispiel hierfür ist die Konzentration von E.coli im Ablauf von dreistufigen Klärwerken kommunaler Abwässer. Sie liegen im Bereich von 10^2 CFU/ml bis 10^3 CFU/ml. Im **Grauwasser** sind die **Werte von pathogenen Keimen weitaus geringer als die von kommunalem Abwasser**. Um das Grauwasser nutzen zu können, sind die Krankheitserreger bis zum Grenzwert der Richtlinien zu eliminieren.

Anorganische Schadstoffe sind vor allem **Schwermetallionen**, die je nach Anteil des industriellen Abwassers stark variieren können. Für Grauwasser wurden bisher keine Untersuchungen über Schwermetallkonzentrationen nach der biologischen Reinigung durchgeführt.

Organische Stoffe stellen den **CSB-Restgehalt** im Abwasser dar. Für kommunale Abwässer wurden für den gelösten inerten CSB-Gehalt aus dem Bakterienzerfall Konzentrationen von etwa 5 mg/l und für den synthetisch gelösten inerten CSB-Gehalt etwa 10 mg/l ermittelt. Das bedeutet, dass ein Rest-CSB von 15 mg/l durch den biologischen Abbau von kommunalen Abwässern nicht unterschritten werden kann. Generell sind die organischen Inhaltsstoffe kommunaler Kläranlagenabläufe nur in Teilbereichen bekannt und stellen damit ein nicht genau definiertes Risiko dar. Da Grauwasser viele ähnliche Inhaltsstoffe wie kommunales Abwasser enthält (resultierend aus Waschmitteln), sollte der Rest der organischen Stoffe nach einer biologischen Stufe durch eine geeignete Nachbehandlung eliminiert werden.

Diese **Nachbehandlung** kann im Fall der **Grauwasseraufbereitung** durch UV-Entkeimung oder Ozonierung erfolgen.

5.4.1. UV-Entkeimung

Die **Desinfektion mit ultravioletter Strahlung** zählt zu den **physikalischen Verfahren der Hygienisierung**. Sie wurde 1877 in England entwickelt und ist für die Trink- und Brauchwasserdesinfektion weit verbreitet. Bei richtiger Bemessung und sachgemäßem Betrieb der Anlage wird in biologisch gereinigtem Grauwasser eine **Reduktion der Fäkalindikatorbakterien um 2-4 Zehnerpotenzen** erreicht. Damit können die Grenzwerte und Leitwerte der EG-Badegewässerrichtlinie eingehalten werden. **Vorteil** dieses Verfahrens ist die einfache Erzeugung von UV-Strahlen aus elektrischer Energie direkt am Ort der Verwendung und die gefahrenlose Anwendung bezüglich Überdosierung und Reaktion mit den Wasserinhaltsstoffen. Die Wirkung der UV-Strahlen geht nicht über den Anwendungsort hinaus. Dies macht die Anwendung viel unkomplizierter im Vergleich zur chemischen Desinfektion. Es ist nur darauf zu achten, dass Augen und Haut nicht der direkten UV-Strahlung ausgesetzt sind. Ein gutes Ergebnis mit UV-Bestrahlung ist nur zu erreichen, wenn die Keime nicht durch Einlagerung in größere Partikel oder durch Bildung von Agglomerationen wirksam gegen die UV-Strahlung geschützt sind. Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen sollte $TS < 20 \text{ mg/l}$ betragen.

Als **UV-Strahlung** wird die **elektromagnetische Strahlung in dem Wellenlängenbereich zwischen 100 und 380 nm bezeichnet**. Sie wird in die drei Bereiche UV-A (315 bis 380 nm), UV-B (280 bis 315 nm) und UV-C (100 bis 280 nm) eingeteilt. **Nur die UV-C -Strahlen** (vor allem im Bereich 245 bis 265 nm) besitzen eine für **Mikroorganismen abtötende Wirkung**. Die Wirkung der UV-C-Strahlung sieht dabei wie folgt aus. Die Nukleinsäuren der Bakterien besitzen im Spektralbereich um 260 nm ihr Absorptionsmaximum. Dieses deckt sich gerade mit der Wellenlänge der Hauptemissionsbande der Quecksilber-Niederdrucklampen, die 254 nm beträgt. Durch die Adsorption der energetischen UV-Strahlen kommt es im Bereich der Nukleinsäuren der DNS bzw. der RNS von Mikroorganismen zu Schädigungen, welches zum Absterben der Zellen führt. Es ist jedoch zu erwähnen, dass auch Mikroorganismen verschieden empfindlich auf die UV-Strahlung reagieren. Auf Grund dessen kommt es bei der UV-Bestrahlung des Grauwassers neben einer **Reduzierung der Bakterien** auch zu einer **Veränderung der Zusammensetzung der überlebenden Bakterienarten**. E.coli und Salmonellen zum Beispiel reagieren sehr empfindlich auf die Bestrahlung, während Staphylokokken und Streptokokken weniger empfindlich reagieren. Viren sind in der Regel sehr empfindlich gegen UV-Bestrahlung. Generell sollte für die Bemessung einer UV-Bestrahlungsanlage zur Grauwasser-/Abwasserdesinfektion der Nachweis eines Sicherheitsbereichs mit einer etwas höheren Reduktionsrate als für die Einhaltung bestimmter Grenzwerte notwendig gefordert werden.

Bei der **Wiederverwendung des hygienisierten Grauwassers** ist darauf zu achten, dass durch die UV-Bestrahlung **keine Depotwirkung** wie bei Chlor entsteht. Das bedeutet, dass es zu einer **Wiederverkeimung** im Rohrnetz kommen kann. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass bei ausreichender Keimreduzierung enteropathogene Bakterien sich nicht wieder in dem Maß vermehren, dass sie eine Infektionsgefahr darstellen.

Bei den herkömmlichen Desinfektionsanlagen mit UV-Bestrahlung handelt es sich um zylindrische Strahler mit kreisrundem Querschnitt, welche die Strahlungsenergie gleichmäßig über den Umfang der gesamten Bogenlänge abstrahlen. Dabei nimmt die Bestrahlungsstärke mit zunehmendem Abstand vom UV-Strahler ab, da sich die emittierte Strahlungsenergie dabei auf eine immer größer werdende bestrahlte Fläche verteilt.

Die **Wirksamkeit der UV-Bestrahlung** bei der Keimreduzierung ist ausschließlich von der Bestrahlungsdosis abhängig. Sie wird als Produkt der Bestrahlungsstärke und der Dauer der Bestrahlung berechnet und hat die Einheit J/m².

Die **UV-Entkeimung** ist derzeit das Verfahren, dass unter energetischen Aspekten und mit einem relativ geringem Aufwand für die Wartung und Überwachung effizient in der Grauwasser-aufbereitung eingesetzt werden kann.

Tablelle 32: Die wichtigsten Eigenschaften von Quecksilber-Niederdruck- und Mitteldruckstrahlern.
 Quelle: ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997:“Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.“, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hoenf, 1997; S.517 Bild 9.2-1.

Merkmale	Niederdruckstrahler	Mitteldruckstrahler
Spektrum	monochromatisch	breitbandig
Wellenlänge	254 nm	200 bis 400 nm
UV-C-Leistung (254 nm) (%) bezogen auf die eingespeiste Leistung	30 bis 40	12 bis 15
Leistungsaufnahme (W)	10 bis 200	1.000 bis 30.000
Quecksilberdampfdruck (bar)	0,01 bis 1,0	10 bis 20
Oberflächentemperatur (°C)	40 bis 50	600 bis 900
Nutzungsdauer (h)	8.000 bis 10.000	2.000 bis 5.000

5.4.2. Behandlung mit Ozon

Die **Hygienisierung mit Ozon** wird im Abwasserbereich zur Desinfektion von biologischen oder chemisch-physikalisch vorgereinigten Abwässern erst seit ungefähr 20 Jahren eingesetzt. Bei der Trinkwasseraufbereitung, besonders aus Oberflächengewässern und Uferfiltrat, liegen dagegen Erfahrungen in Mitteleuropa seit fast 100 Jahren vor. Die Reduktion von Mikroorganismen und Viren liegt dabei in Höhe von 2 bis 3 Zehnerpotenzen. Vor allem bei der **Inaktivierung von Viren** und bestimmten **Bakterienarten** ist Ozon wirksamer als Chlor. Aber auch hier gilt, dass Ozon **keine Langzeitdesinfektion** bewirkt.

In vorgereinigtem Abwasser kann durch den Einsatz von Ozon zusätzlich eine Oxidation von anorganischen und organischen Inhaltsstoffen sowie eine Elimination von geruchsintensiven und gefärbten Stoffen erreicht werden. Dadurch wird auch die Trübung verringert.

Ozon (O₃) ist die energiereiche, dreiatomige Modifikation des Sauerstoffs. Die Wirkung des Ozon beruht auf seinem starken Oxidationsvermögen. Der Erfolg der Desinfektion hängt demnach von der Ozonkonzentration, der Einwirkungszeit, der organischen Vorbelastung, dem pH-Wert und der Temperatur des Wassers ab. Ozon wird genau wie Chlor durch die Abwasserinhaltsstoffe verbraucht. Durch diese Zehrung ist die Zugabe so durchzuführen, dass im Wasser eine Mindestkonzentration von 0,3 bis 0,5 g Ozon/m³ an freiem Ozon während des Desinfektionsvorgangs gewährleistet sein muss. Ozon zerfällt nach der Anwendung sehr schnell in Sauerstoff und besitzt **keine Depotwirkung** über den Anwendungsort hinaus. Zu beachten ist, dass Ozon bei hohen pH-Werten schneller zerfällt als bei niedrigen pH-Werten. Ein weiteres Kriterium ist, dass Ozon nicht bevorratet werden kann. Daher muss es direkt am Ort der Verwendung unmittelbar vor dem Einsatz hergestellt werden und zwar genau in der Menge in der es benötigt wird.

Der Gehalt an oxidierbaren und damit an ozonzehrenden gelösten und ungelösten Wasserinhaltsstoffen hat einen erheblichen Einfluss auf die Desinfektionsleistung. Das Problem besteht darin, dass die Oxidation dieser Stoffe so viel Ozon verbraucht, dass für die Abtötung der Keime nur noch eine Restkonzentration zur Verfügung steht. Daher können die notwendigen Ozonmengen erheblich ansteigen. Die **Ozondosierung** sollte in der Regel 20 mg/m³ Abwasser betragen um die Einhaltung der geforderten Grenz- und Leitwerte der EG-Badegewässerrichtlinie zu gewährleisten.

Ozon hat auf Wasserorganismen eine ähnliche Wirkung wie Chlor. Es oxidiert die Doppelbindungen der Fettsäuren in der Lipidschicht der Zellmembranen, wodurch eine Störung des

Stofftransports eintritt. Bei Viren und Bakterien kommt es durch Ozon zu Schädigungen der freien Amino- und Nukleinsäuren, die zur Inaktivierung führen.

Da Ozon wegen seiner **starken oxidativen Wirkung** zum Abbau von organischen Reststoffen beiträgt, können die entstandenen Zwischenprodukte weiter biologisch abgebaut werden, was zu einer **BSB-Erhöhung** und damit zu einer größeren Sauerstoffzehrung führen kann. Deshalb sind diese Werte ständig zu überprüfen. Das dadurch **erhöhte Nährstoffangebot** kann dann wiederum zu vermehrtem Bakterienwachstum führen (**Wiederverkeimung** in Rohrnetzen für Brauchwasser). Das bei der Desinfektion nicht benötigte Ozon wird in der Regel in einer Restozon-Entfernungsanlage abgebaut. Falls dies nicht der Fall ist, zerfällt Ozon sehr schnell in Sauerstoff und kann zur Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse beitragen.

6. Referenzprojekte von Grauwasseraufbereitungsanlagen

In diesem Kapitel werden zwei Referenzprojekte zur Grauwasseraufbereitung vorgestellt. Das erste Projekt befindet sich in Kassel, Deutschland. Dieses Pilotprojekt war die erste Grauwasseraufbereitungsanlage in Deutschland und dient noch heute als Referenzprojekt. Das zweite hier vorgestellte Projekt befindet sich in dem Entwicklungsland Tansania, Ostafrika. Es ist eines von vielen Projekten, das in Zusammenarbeit mit der Evangelisch-Lutherischen Landeskirche Mecklenburgs zur Trinkwassereinsparung bzw. -gewinnung in der Stadt Same, Tansania durchgeführt wurde.

Beide Projekte sind sehr unterschiedlich, stellen jedoch sehr gut die verschiedenen Herangehensweise an die Aufbereitung von Grauwasser dar.

6.1. Grauwassernutzung Kassel-Hasenhecke

Im Jahr **1993** strebte die WOHNSTADT GMBH zusammen mit dem Ingenieurbüro Umweltplanung Bullermann Schneble GmbH und der Hessische Landesregierung die Realisierung einer **Grauwasseraufbereitungsanlage für Gebäude des sozialen Wohnungsbaus** an. Dieses Projekt sollte im Zuge einer Neubebauung auf dem ehemaligen Kasernengelände in Kassel, Stadtteil Hasenhecke ausgeführt werden.

Die sanitärtechnischen Anlagen und Einrichtungen (doppelte Leitungsführung) sowie die Grauwasseraufbereitungsanlage wurde aus Fördermitteln der Grundwasserabgabe realisiert. In diesem Zusammenhang wurde vereinbart, dass diese Anlage dazu genutzt werden soll, um neue **Erkenntnisse und Ergebnisse bezüglich** betriebstechnischer und hygienischer Aspekte sowie bezüglich **der Einsatzmöglichkeiten von Grauwasseraufbereitungsanlagen** in privaten Haushalten im Rahmen eines Untersuchungsprogramms zu liefern.

Im Jahr **1996 erfolgte die Ausführung**. Im Zuge dessen wurden die **Gebäude „In der Hasenhecke 52/54, 56/58 und 60“ mit einer Anlage zur Grauwasseraufbereitung ausgestattet**. Zum Vergleich wurden die Baugleichen Gebäude „Stonsbreite 49/51, 53/55 und 57“ mit Anlagen zur Regenwassernutzung ausgestattet. Sie sollen Vergleichszwecken dienen. Insgesamt sind an die Grauwasseranlage **24 Haushalte mit etwa 39 Erwachsenen und 26 Kindern angeschlossen**. Die Aufbereitung erfolgt durch eine **biologische Stufe mit Rotationstauchkörper und nachfolgendem Lamellenabscheider**. Die **Desinfektion** wurde mit Hilfe einer **UV-Desinfektion** realisiert. Im April/Mai 1996 wurde die Einrichtung in Betrieb genommen.

Auf Grund dessen, dass die Anlage für Tests hinsichtlich der betrieblichen und hygienischen Stabilität genutzt wurde, verwendete man das aufbereitete Grauwasser während der Versuchsphase nicht für die Toilettenspülung. Stattdessen wurde das gewonnene Betriebswasser mit einer Verbrauchssimulation, die den tatsächlichen Verbräuchen so genau wie möglich angepasst wurde, entnommen und in den Abwasserkanal abgeleitet.

Die **hygienischen Untersuchungen wurden von 1996 bis 1998** durchgeführt. Ab Dezember 1998 wurde das aufbereitete Grauwasser der regulären Verwendung für die Toilettenspülung zugeführt. Der reguläre **Betrieb wurde anschließend bis Juni 2000 hinsichtlich betriebstechnischer und hygienischer Aspekte überwacht**. Tabelle 33 zeigt einen Überblick über den zeitlichen Ablauf des Gesamtprojekts.

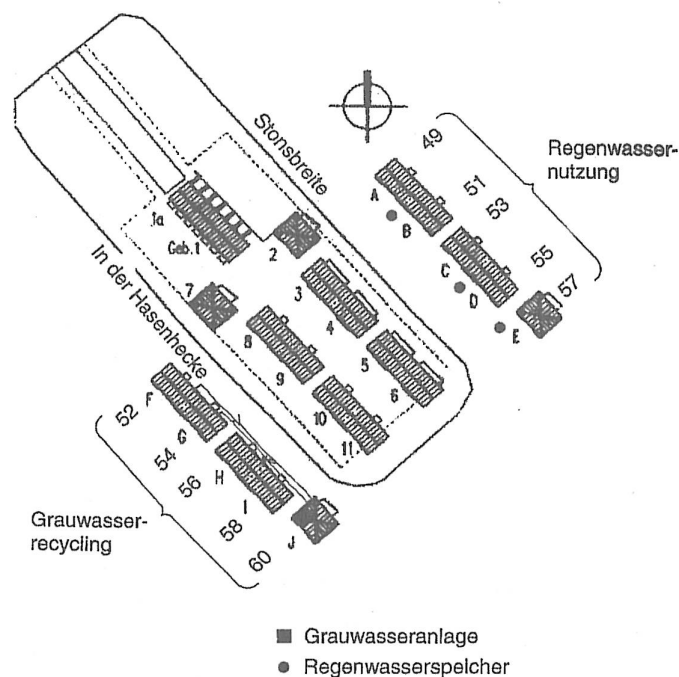


Abb.33: Lageplan der Grauwasseraufbereitungsanlage, Kassel, „Hasenhecke“.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.15.

Tabelle 33: Überblick über den zeitlichen Ablauf des Gesamtprojekts, Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.17.

1992 - 1994	Vorüberlegungen und erste Initiative
1994 - 1995	Planung und Ausschreibung
04.1996 - 06.1996	Bau der Aufbereitungsanlage
07.1996 - 08.1996	Aufbau des Feldlabors und Einrichtung der Probenahmestelle, Festlegung der Analyseverfahren
09.1996 - 10.1998	Versuchsphase: Verbrauchssimulation mit intensiver Begleitung/ Versuchsbetrieb
12.1998 - 09.2000	Betriebsphase 1: Versorgung der Toilettenspülung mit Betriebswasser, intensive Begleitung
09.1999 - 06.2000	Betriebsphase 2: Versorgung der Toilettenspülung mit Betriebswasser, sukzessive Betriebsübergabe an Wohnungsgesellschaft, teilweise reduzierte Begleitung
ab 06.2000	Routinebetrieb durch die Wohnungsgesellschaft

6.1.1. Aufbau und Funktion der installierten Grauwasseraufbereitungsanlage

Entsprechend der Konzeption und Planung durch das Ingenieurbüro Bullermann Schneble GmbH wurde die Grauwasseraufbereitungsanlage in einem 15 Quadratmeter großen Kellerraum des Gebäudes Nr. 60 installiert.

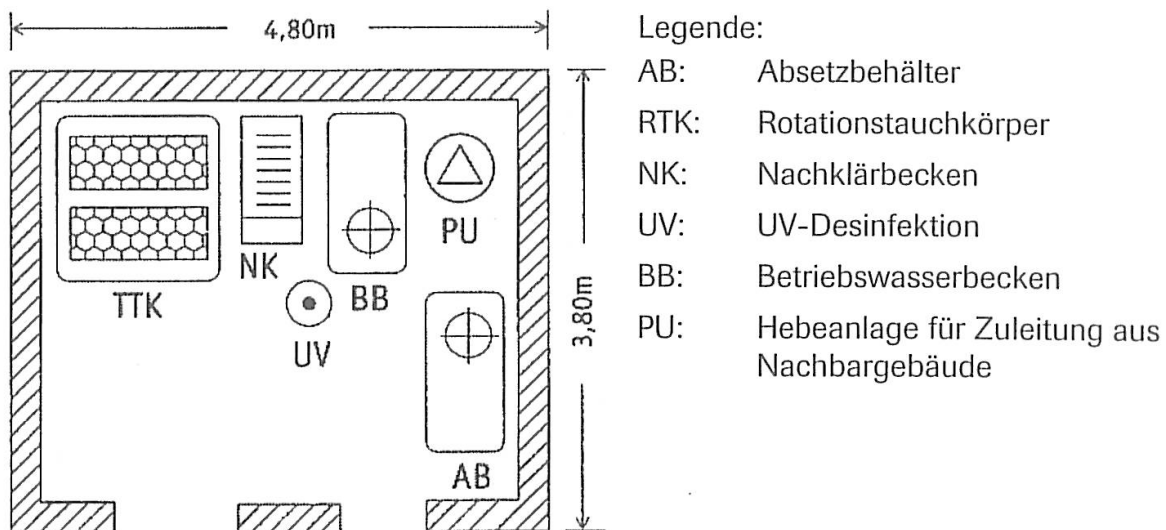


Abb.34: Raum- und Aufstellplan der Grauwasserbehandlungsanlage in Kassel „Hasenhecke“.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.18.

Die Anlage wurde im April 1996 installiert und im Mai und Juni 1996 in Betrieb genommen. Es erfolgt die **separate Erfassung von Grauwasser aus den Handwaschbecken und den Duschen/Badewannen**. Anhand einer Bedarfsrechnung im Zuge der Vorplanung konnte man davon ausgehen, dass dies zur Bedarfsdeckung ausreicht. Das Grauwasser aus anderen Bereichen (z.B. Waschmaschine) wurde nicht an die Anlage angeschlossen. Auch das stark verschmutzte Grauwasser aus Spülmaschine und Spülbecken wurde nicht in das System integriert, da man auf Grund des zu erwartenden Eintrags von Fetten mit betrieblichen Problemen rechnete.

Die **Hauptelemente der Grauwasseraufbereitungsanlage** bestehen aus einer Hebeanlage, Sedimentations-/Vorlagenbehälter, Rotationstauchkörper, Nachklärung, Betriebswasserspeicher, Druckerhöhung und Betriebswassernetz.

Auf Grund des Gefälleverhältnisses erfolgt die Zuleitung des Grauwassers aus den Nachbarhäusern „In der Hasenhecke 52/54 und 56/58“ über eine Hebeanlage in den Sedimentations- bzw. Vorlagebehälter (Keller des Gebäudes Nr. 60). Die separat erfassten Grauwassermengen dieses Gebäudes können im freien Gefälle zugeführt werden.

Der **Absetzbehälter** hat ein Volumen von rund 1.700 Litern und entspricht in etwa dem Betriebswasserbedarf eines Tages. Neben der Sedimentation von absetzbaren Stoffen dient er auch als Ausgleichsbecken bei Bedarfsschwankungen. Alle sechs Tage wird der Behälter automatisch geleert und mit Betriebswasser gereinigt (ausgespritzt). Um dies zu gewährleisten, ist der Behälter mit einem Gefälle ausgestattet, womit eine vollständige Entleerung ermöglicht wird. Zudem ist er vollständig verschlossen und wird über eine Falleitung entlüftet. Der Füllstand wird kontinuierlich erfasst.

Im **Vorlagebehälter** ist eine Tauchpumpe installiert, die der Beschickung der Rotationstauchkörper dient. Die Beschickung (bzw. die Steuerung der Pumpe) erfolgt nachfragegesteuert. Das bedeutet, dass je nach Wasserstand des Betriebswasserbeckens Grauwasser aus dem Vorlagebehälter in die Rotationstauchkörper gepumpt wird.

Der **Rotationstauchkörper** (RTK) ist zweistufig. Es handelt sich dabei um zwei getrennte, hintereinandergeschaltete Becken. Dadurch wird die Reinigungsleistung und die Betriebsstabilität gesichert. Das Trägermaterial des RTK hat eine spezifische Oberfläche von $120 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Der Biofilm, der sich im RTK bildet, verwertet die gelösten Inhaltsstoffe des Grauwassers. Durch das regelmäßige Auftauchen des RTK an die Luft wird der Sauerstoffbedarf gedeckt. Demnach ist keine zusätzliche Belüftung des Systems notwendig. Der entstehende Überschussschlamm

wird hydraulisch und kontinuierlich abgeschert und der Nachklärung zugeführt. Im Normalbetrieb sollten sich auf Grund der Turbulenzen keine Ablagerungen im Becken bilden. Da die Umdrehungsgeschwindigkeit regelbar ist, muss diese im Fall vermehrt auftretender Ablagerungen erhöht werden.

In der **Nachklärung** erfolgt die Abtrennung der absetzbaren Stoffe. In der Regel wird die Leistungsfähigkeit der Nachklärung über die spezifische Oberflächenbeschickung [$m^3/(m^2 \cdot d)$] beschrieben. Durch den eingebauten Schrägklärer, der zu einer Verlängerung der Fließstrecke führt, kann die erforderliche Oberfläche und damit die erforderliche Stellfläche deutlich vermindert werden. Die Nachklärung ist zudem mit einem separaten Klarwasserbehälter ausgestattet, der als Vorlage für eine Pumpe dienen könnte, wenn die Weiterführung nicht im freien Gefälle möglich ist. Der Überschussschlamm aus der Nachklärung wird regelmäßig automatisch über einen Motor-Kugelhahn abgezogen.

Die **Hygienisierung** des behandelten Grauwassers erfolgt durch UV-Desinfektion. Um den Energieverbrauch so gering wie möglich zu halten, schaltet sich die UV-Lampe aus (bis zu drei mal pro Tag), wenn kein Durchfluss durch die UV-Strecke erfolgt. Während die UV-Lampe außer Betrieb ist, verhindert ein automatisches Ventil einen unbeabsichtigten Durchfluss von nicht desinfiziertem Wasser in den Betriebsbehälter. Ein Detektor erfasst die UV-Ausbeute. Diese wird in Prozent zum Ursprungswert angegeben. Eine Verminderung der UV-Ausbeute auf einen Wert von 30% des Anfangswertes hat eine automatische Abschaltung zur Folge. Der Zufluss zum Betriebswasserbehälter wird gestoppt.

Der **Betriebswasserbehälter** umfasst ein Volumen von rund 1.000 Liter und dient als Vorlage für die Druckerhöhung. Es erfolgt die Förderung des aufbereiteten Grauwassers in ein separates Betriebswassernetz zur Toilettenspülung in den Gebäuden „In der Hasenhecke 52/54, 56/58 und 60“. Die Toiletten wurden mit einer Druckspülung ausgestattet, um die Aufenthaltszeit im Leitungsnetz und dem Vorlagebehälter so gering wie möglich zu halten. Wenn die Menge des aufbereiteten Grauwassers nicht zur Deckung des aktuellen Betriebswasserbedarfs ausreicht, erfolgt eine Trinkwassernachspeisung in den Betriebswasserbehälter über einen freien Rohrausfall nach DIN 1988.

Wie schon erwähnt wurden die Toiletten während der Versuchsphase mit Trinkwasser gespült. Die **Steuerung der Grauwasseraufbereitungsanlage** erfolgt über die nachgefragte Betriebswassermenge. Für die Versuchsphase wurde daher eine Verbrauchssimulation mit Tagesganglinie erforderlich. Diese erfolgte über eine separate Druckerhöhung und eine mit

Zeituhr und Magnetventil gesteuerte Zapfstelle im Aufstellraum der Grauwasseraufbereitungsanlage. Zuerst erfolgte eine Schätzung des täglichen Verbrauchs, die nach unten korrigiert werden musste. Tabelle 34 stellt die jeweils eingestellten Verbrauchsmengen dar.

Tabelle 34: Einstellungen der Verbrauchssimulation, Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.23.

	Datum (Beginn)	Tagesmenge (Verbrauch) [l/d]	Verbrauch (Spitzenstunde) [l/h]	Spitzenstundenfaktor [-]	Pumpenleistung [l/s]
		(1)	(2)	(3)	(4)
Einstellung 1	29.05.96	2550	266	2,5	k.A.
Einstellung 2	17.11.96	1700	177	2,5	k.A.
Einstellung 3	06.01.97	1105	115	2,5	0,40
Einstellung 4	01.08.97	1250	130	2,5	0,33
Betriebsphase	01.12.98	1300	170	3,1	0,60

Auf Grund der unregelmäßigen Nachfrage im Tagesverlauf ist neben der durchschnittlichen Verbrauchsmenge pro Tag der Spitzenstundenverbrauch für die Auslegung der Grauwasseraufbereitungsanlage von Bedeutung.

6.1.2. Probenahme- und Messstellen

Seit Dezember 1998 werden die Druckspüler der Toiletten mit behandeltem Grauwasser beschickt. Seitdem werden auch **Proben für mikrobiologische Untersuchungen in den Wohnungen** (W1 und W2) entnommen. Grundsätzlich sollten zwei Probenahmestellen im jeweils obersten Geschoss installiert werden, um die längsten Aufenthaltszeiten in den Rohrleitungen zu erfassen. Da dies aber einen regelmäßigen Zutritt zu den Wohnungen erfordert war die Auswahl der Wohnungen zur Beprobung auf die kooperationsbereiten Mieter begrenzt.

Insgesamt wurden **sechs Probenahmestellen** eingerichtet. Die folgende Tabelle 35 stellt die einzelnen Stellen und deren Analyseumfang dar. Die Abbildungen 33 und 43 zeigen deren Lage zum Einen in der Gesamtanlage und zum Anderen im Betriebswassernetz.

Tabelle 35: Analyseumfang an den Probenahme- und Messstellen, Kassel „Hasenhecke“. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.25.

Probenahmestelle	Lage	Betriebstechnische Untersuchungen	Mikrobiologische Untersuchungen
	Sedimentationsbehälter	kontinuierliche Füllstandsmessung	--
P1:	zwischen Sedimentationsbehälter und biologischer Stufe (RTK)	BSB ₅ , CSB, TOC ¹⁾ , AFS ²⁾ , P _{ges.} , N _{ges.}	x
	Becken RTK	O ₂ , Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit (kontinuierlich)	--
P2:	Zwischen RTK und Nachklärung	AFS ²⁾	--
P3:	Klarwasserbehälter der Nachklärung	BSB ₅ , CSB, TOC ¹⁾ , AFS ²⁾ , P _{ges.} , N _{ges.} , UV-Transmission	x
P4:	Zwischen UV-Desinfektion und Betriebswasserbehälter	UV-Transmission	--
	Betriebswasserbecken	O ₂ , Temperatur (kontinuierlich)	--
P5:	Zapfstelle direkt am Betriebswasserbecken	TOC ¹⁾ , UV-Transmission	x
P7: (siehe Abb.35, P6 wurde nicht installiert)	Zapfstelle für Verbrauchssimulationen	--	x
W1:	Zapfstelle vor Druckspülung in Wohnung 1	--	x
W2:	Zapfstelle vor Druckspülung in Wohnung 2	--	x

¹⁾ TOC = Gesamter organischer Kohlenstoffgehalt

²⁾ AFS = abfiltrierbare Stoffe

Die **mikrobiologischen Untersuchungen** wurden an den in Tabelle 35 mit x markierten Probenahmestellen durch geeignete Zapfhähne (abflämmbaar) durchgeführt.

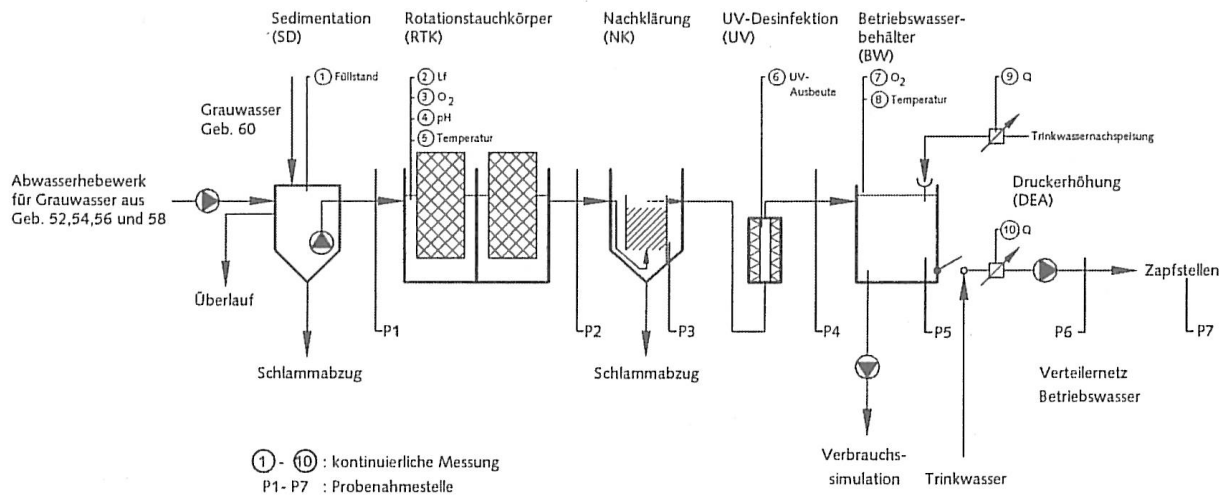


Abb.35: Darstellung der Mess- und Probenahmestellen der Grauwasseraufbereitungsanlage Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.24.

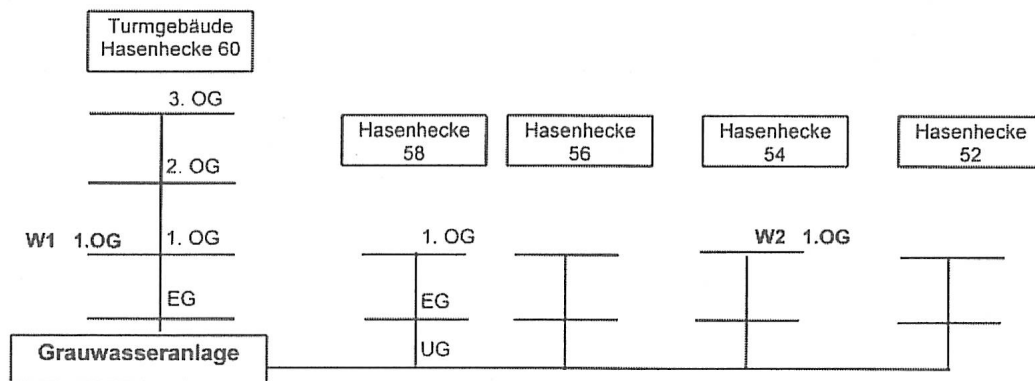


Abb. 36: Lage der Probenahmestellen im Betriebswassernetz der Grauwasseranlage Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.24

6.1.3. Abwassertechnische Untersuchungen

Die Lage und der Analyseumfang der Probenahmestellen sind in Kapitel 6.1.2 beschrieben. Die Tabelle 36 gibt einen Überblick über die Untersuchungszeiträume für die einzelnen Parameter.

Tabelle 36: Übersicht zu den Untersuchungszeiträumen für die einzelnen Parameter, Kassel „Hasenhecke“.
Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.39.

	von	bis	Zeitraum	Anzahl der Analysen
BSB ₅	23.08.1996	09.11.1999	1173 Tage	146
CSB	23.08.1996	09.11.1999	1173 Tage	159
TOC	09.10.1996	30.06.1998	629 Tage	79
AFS	23.08.1996	09.11.1999	1173 Tage	160
N, P	23.08.1996	15.04.1998	600 Tage	80

Die **Probenahme der Zulaufparameter** erfolgte nach dem Sedimentationstank und vor dem Zulauf zum Rotationstauchkörper (Probenahmestelle P1). Tabelle 37 zeigt die Zulaufkonzentrationen für die organische Belastung (BSB₅ und CSB).

Tabelle 37: Zulaufkonzentrationen von CSB₅ und BSB, Kassel „Hasenhecke“.
Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.39.

	BSB ₅			CSB		
	96/97	98	99	96/97	98	99
Anzahl der Messungen	58	47	41	66	50	44
Minima Kassel-Hasenhecke	67 mg/l	60 mg/l	42 mg/l	109 mg/l	65 mg/l	123 mg/l
Maxima Kassel-Hasenhecke	> 350 mg/l	212 mg/l	135 mg/l	400 mg/l	342 mg/l	287 mg/l
Mittelwert Kassel-Hasenhecke	128 mg/l	108 mg/l	90 mg/l	257 mg/l	212 mg/l	190 mg/l
Median Kassel-Hasenhecke	115 mg/l	100 mg/l	91 mg/l	248 mg/l	204 mg/l	192 mg/l

Der **CSB Zulaufwert** liegt zwischen 65 und 400 mg/l, im arithmetischen Mittel bei 225 mg/l, der Median bei 212 mg/l. Der BSB₅ Zulaufwert liegt zwischen 42 mg/l und 350 mg/l, im arithmetischen Mittel bei 111 mg/l, der Median bei 101 mg/l. Das durchschnittliche Verhältnis CSB zu BSB₅ beträgt etwa 2 bei Schwankungen des Monatsmittels von 1,5 bis 2,8.

Die Tabelle zeigt ebenfalls, dass sich die Qualität des zulaufenden Grauwasser mit der Zeit verändert hat. Die organische Belastung hinsichtlich CSB und BSB₅ ist um 20% bis 23% zurückgegangen. Dies ist vor allem auf veränderte Nutzungsbedingungen zurückzuführen.

Die **Belastungen des Abwassers mit TOC** (Gesamtorganischer Kohlenstoff) und **abfiltrierbaren Stoffen (AFS)** sind über den Untersuchungszeitraum bis Mitte 1998 gleichbleibend. Die Abweichungen des Mittelwertes ist auf erhöhte Einzelwerte außerhalb der Normalverteilung zurückzuführen. Die AFS im Zulauf P1 unterlagen bis 1998 großen Schwankungen (3,3 bis 1120 mg/l). Man geht davon aus, dass diese starken Schwankungen auf Störungen des Sedimentationsprozesses, ausgelöst durch die Hebeanlage, verursacht wurden. Dies führte zu hohen Energieeinträgen und Turbulenzen im Sedimentationsbehälter. Im Juni 1997 wurde das Hebewerk modifiziert, um erhöhte Turbulenzen zu vermeiden. Eine Verminderung des Eintrags von AFS wurde dadurch jedoch nicht erreicht. Der durchschnittliche Feststoffeintrag pendelte zwischen 30 und 50 mg/l.

Tabelle 38: Zulaufkonzentrationen TOC und AFS, Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.40.

	TOC			AFS		
	96/97	98	99	96/97	98	99
Anzahl der Messungen	55	28	-	66	50	44
Minima Kassel-Hasenhecke	48 mg/l	18 mg/l	-	15 mg/l	3 mg/l	12 mg/l
Maxima Kassel-Hasenhecke	400 mg/l	218 mg/l	-	400 mg/l	1.120 mg/l	114 mg/l
Mittelwert Kassel-Hasenhecke	130 mg/l	128 mg/l	-	17 mg/l	85 mg/l	44 mg/l
Median Kassel-Hasenhecke	116 mg/l	124 mg/l	-	44 mg/l	41 mg/l	40 mg/l

Der **Nährstoffgehalt** des untersuchten Grauwassers lag im Mittel mit 2,1 mg/l P_{ges} und 14 mg/l N_{ges} um das drei bis vierfache unter den Werten des kommunalen Abwassers (etwa 7 bis 9 mg/l P_{ges} und 40 bis 50 mg/l N_{ges}).

Tabelle 39: Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Zulauf der Grauwasseranlage, Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.41.

	P_{ges}	N_{ges}
Anzahl der Messungen	81	81
Minima Kassel-Hasenhecke	0,5 mg/l	5,3 mg/l
Maxima Kassel-Hasenhecke	5,9 mg/l	42,3 mg/l
Mittelwert Kassel-Hasenhecke	2,1 mg/l	14,0 mg/l
Median Kassel-Hasenhecke	2,0 mg/l	12,4 mg/l

Der **pH-Wert** im Becken des RTK schwankte zwischen 7,5 und 8,2. Es wurden keine Extremwerte festgestellt. Daher geht man davon aus, dass hinsichtlich des pH-Wertes optimale Bedingungen für eine biologische Reinigung vorlagen.

Die **Temperaturmessungen** haben gezeigt, dass die Temperaturen im RTK während der Kälteperioden im Dezember 1996 und Anfang Januar 1997 deutlich absanken. Der Grund hierfür war zum Einen, dass sehr geringe Außentemperaturen vorherrschten und zum Anderen, dass die Stillstandphase eine Zuführung von neuem warmen Grauwasser in den RTK verhinderte. Während dieser Zeit sank die Temperatur auf 4,2°C ab. Danach wurde aber eine Stabilisierung der Temperatur auf 14°C erreicht. In den folgenden Jahren lag die Temperatur im RTK auch im Winter über 12°C und während der Sommerzeit bei ca. 23°C.

Die **Leitfähigkeit** lag am Anfang der Messungen bei etwa 540 µS/cm. Seit Oktober 1996 hat sie sich bei 400 µS/cm eingependelt. Gelegentlich treten Schwankungen zwischen 300 und 500 µS/cm auf.

Die **einwohnerspezifischen Tagesfrachten** wurden aus den arithmetischen Mitteln der gemessenen Konzentrationen bei einem mittleren täglichen Grauwasseranfall von 2,16 m³ berechnet.

Die **organische Belastung** des ersten Tauchkörpers beträgt im Mittel 144 g BSB₅/d. Bei einer spezifischen Aufwuchsfläche des Füllmaterials von 120 m²/m³ ergibt sich eine Aufwuchsfläche von 190 m². Daraus kann eine sehr geringe Flächenbelastung von etwa 0,8 g BSB₅/m²*d abgeleitet werden. Die vorhandene Anlage könnte demnach mehr Grauwasser behandeln, d.h. es könnten noch mehr Einwohner an die Aufbereitungsanlage angeschlossen werden.

Bei einem Volumen des Behälters des ersten Tauchkörpers von 1.250 Liter ergibt sich, bei einem täglichen Betriebswasserbedarf von 1.300 Liter eine hydraulische Aufenthaltszeit von etwa 23 Stunden.

In nachfolgender Tabelle 40 sind die einwohnerspezifischen Tagesfrachten und organische Belastungen dargestellt.

Tabelle 40: Einwohnerspezifische Frachten und organische Belastung, Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.43

	Konzentration Mittelwert 96-99 mg/l	Tagesfracht g/d	einwohnerspezifische Tagesfracht g/ (E*d)	Belastung der Anlage bei einem Betriebswasserbedarf von 1.300 l/d
BSB ₅	111	235	3,6	144
CSB	225	477	7,3	293
TOC	129	273	4,2	168
AFS	68	144	2,2	88
N	14	30	0,46	18
P	2,1	4	0,07	3
Menge		2.160 l/d	33 L/(E*d)	1.300 l/d

6.1.4. Reinigungsleistung der Anlage

Die Anlage erzielte im Normalbetrieb **konstante BSB₅-Ablaufkonzentrationen** von unter 5 mg/l. Somit erfüllt die Anlage die Anforderungen des Berliner Merkblattes (SenBauWo, 1995). Die **CSB-Ablaufkonzentrationen** lagen während der ersten Betriebsphase zwischen 15 und 25 mg/l. Über die gesamte Laufzeit traten sowohl niedrigere als auch höhere Konzentrationen auf. Ursachen hierfür waren voraussichtlich Schwankungen im Anwenderverhalten. Man geht aber davon aus, dass trotz erhöhter CSB-Werte keine Geruchsentwicklung und damit auch keine Nutzungseinschränkungen zu erwarten sind, unter der Voraussetzung, dass die BSB₅-Konzentration unter 5 mg/l bleibt.

Damit lag die **Reinigungsleistung für BSB₅** während des gesamten Untersuchungszeitraums im Mittel bei 99%. Die **CSB-Reinigungsleistung** ist von 94% auf 90% zurückgegangen.

In Bezug auf die **abfiltrierbaren Stoffe** erzielte die Anlage überwiegend **sehr gute Reinigungsleistungen** zwischen 1 und 2 mg/l. Gleiches gilt für die **TOC-Ablaufkonzentrationen**. Diese Werte lagen konstant unter 15 mg/l.

Die **Reinigungsleistung für die Nährstoffe** wurde zu 32% für Stickstoff und zu 23% für Phosphor bestimmt. Bei einer Reinigung von 1.300 Liter Abwasser wurden täglich 5,7 g Stickstoff und 0,65 g Phosphor entfernt. Diese Eliminationsrate wurde zum Teil durch den Aufbau von Biomasse (=Überschusschlammproduktion) erreicht. Bei Phosphor kommt dabei zu einem geringeren Teil Fällung und Sedimentation zum Tragen. Bei Stickstoff sind die Prozesse der Nitrifikation und der Denitrifikation zu erwähnen.

Um die Entfernung der Nährstoffe durch Biomasseaufbau abschätzen zu können, wurde eine Biomasseproduktion von 0,4 gTS/g BSB₅ angenommen. Daraus ergibt sich bei einem Abbau von 140 g BSB₅/d ein Wert von 56 g TS. Wenn man von einem für Tauchkörper üblichen Anteil von 5% Stickstoff und 1% Phosphor an der Trockensubstanz ausgeht, dann ergibt sich für diese Anlage eine rechnerische Nährstoffentfernung durch Biomasseaufbau von 2,8 g/d für Stickstoff und 0,56 g/d für Phosphor.

6.1.5. Mikrobiologische Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden in der Versuchsphase (1996 bis 1998) vom Staatlichen Medizinal-, Lebensmittel- und Veterinäruntersuchungsamt Nordhessen durchgeführt. Seit 1999 wurden die mikrobiologischen Untersuchungen und die hygienische Beurteilung unter der Leitung von Prof. Dr. F.-K. Lücke der Fachhochschule Fulda durchgeführt.

Die **hygienisch relevanten Mikroorganismen**, die in eine Grauwasseraufbereitungsanlage eingetragen werden können, sind:

- unerwünschte Bestandteile der Haut- und Schleimhautflora, dazu zählen: *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* und *Pseudomonas aeruginosa*,
- pathogene Darmbakterien wie Salmonellen und pathogene Stämme von *Escherichia coli*, sowie Darmviren.

Aus dem Darm können zusätzlich die **operational definierten Keimgruppen** Coliforme, Fäkalcoliforme und Fäkalstreptokokken eingetragen werden. Bei der Beurteilung von Betriebs- und Trinkwasser werden sie als Index-Organismen für den Eintrag und das Überleben von pathogenen Agenzien aus dem Darm herangezogen.

Zu den in der Hygiene als **Nass-Keime** bezeichneten Bakterien, die insbesondere bei Risikogruppen (Säuglinge, Pflegebedürftige, immunsupprimierte Personen) Infektionen hervorrufen können zählen:

- bestimmte Enterobacteriaceae-Stämme,
- *Pseudomonas aeruginosa* und bestimmte andere *Pseudomonas*-Stämme,
- *Acinetobacter calcoaceticus*,
- Stämme von *Aeromonas* und *Flavobacterium*,
- bestimmte atypische *Myobacterium*-Stämme.

Diese Bakterien können in Biofilmen vorkommen. Sie bilden sich so, wie sie sich bei längeren Stagnationszeiten auch in trink- und regenwassergespeisten Systemen bilden können.

Die **Probenahme für die mikrobiologischen Untersuchungen** erfolgte nach dem deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DIN 38 411, Teil 1) beziehungsweise in Anlehnung an die Empfehlung des Umweltbundesamtes (1995). Die Probenahmestellen waren P3, P4, P5, W1 und W2.

Das **unbehandelte Grauwasser** wies mit 42 bis 350 mg BSB₅/l **deutliche organische Belastungen** auf und galt damit als faulungsfähig. Dementsprechend war auch die mikrobielle Belastung hoch. Die Medianwerte für *Escherichia coli* lagen bei etwa 10⁴/ml, für Coliforme und Aeromaden bei etwa 10⁵/ml und für Fäkalstreptokokken bei etwa 10³/ml. Das deutet darauf hin, dass sich die Bakteriengruppe der Coliformen sowie der Aeromaden in unbehandeltem nährstoffreichen Grauwasser vermehren können.

Die Tabelle 41 gibt einen Überblick über das Vorkommen anderer hygienisch relevanter Mikroorganismen in Grau- und Betriebswasserproben. Im Betriebswasser wurden keine Salmonellen, pathogenen Hefen, pathogene Legionellen oder *Staphylococcus aureus* nachgewiesen.

Tabelle 41: Vorkommen pathogener Mikroorganismen in der Grauwasseranlage, Kassel „Hasenhecke“. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.58.

Mikroorganismen		Zahl der positiven Proben/Gesamtproben in				
		P1	P3	P4	P5	P7
<i>Salmonella</i>	in 100 ml	0/49	0/61	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
<i>Salmonella</i>	in 1000 ml	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0/53	0/60	0/17
<i>Candida albicans</i>	in 0,1 ml	4/48	0/92	0/71	0/77	0/43
pathogene Legionellen	in 0,1 ml	0/33	0/84	nicht bestimmt	0/77	nicht bestimmt
pathogene Legionellen	in 10 ml	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0/66	0/72	0/32
<i>Staphylococcus aureus</i>	in 1 ml	21/50	12/92	2/69	0/76	0/32

Im aufbereiteten aber noch nicht UV-desinfizierten Grauwasser (P3) wurden in 94 von insgesamt 145 Proben einer oder mehrere Richtwerte des Berliner Merkblattes überschritten. Die Überschreitung spielte sich jedoch im Bereich von Zehnerpotenzen ab. Weitere fünf Proben wurden wegen ihres Fäkalstreptokokken-Gehaltes beanstandet, da man die Richtwerte der EU Badegewässerrichtlinie zugrunde legte. Insgesamt zeigten die Ergebnisse jedoch, dass sich überlebende hygienisch bedenkliche Organismen während und nach der Aufbereitung nicht weiter vermehrten.

Tabelle 42: Übersicht über die organische Belastung des aufbereiteten Grauwassers (mg/l), Kassel „Hasenhecke“. Eigene Bearbeitung nach: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.59.

Probe	Parameter								
	BSB ₅			CSB			TOC		
	n	arithm. Mittel	Standard-abweichung	n	arithm. Mittel	Standard-abweichung	n	arithm. Mittel	Standard-abweichung
P3	152	1,42	1,12	159	14,91	5,53	79	10,63	5,93
P5	nicht bestimmt			nicht bestimmt			75	9,80	7,01

Tabelle 43: Belastung des aufbereiteten Grauwassers mit *Escherichia coli*, Coliformen, Fäkalstreptokokken und *Pseudomonas aeruginosa* (KBE/100 ml) im Vergleich zu Richtwerten des Berliner Merkblattes und der EU-RL 76/160 EG, Kassel „Hasenhecke“.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.59.

Probe	Parameter											
	<i>Escherichia coli</i>			Coliforme			Fäkalstreptokokken			<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
	n	Median	Maximum	n	Median	Maximum	n	Median	Maximum	n	Median	Maximum
P3	145	1.000-9.999	≥ 10.000	146	1.000-9.999	≥ 10.000	138	10-99	≥ 10.000	142	< 1	100-999
P4	143	< 1	10-99	138	< 1	≥ 1.000	144	< 1	100-999	93	< 1	10-99
P5	151	< 1	10-99	145	< 1	≥ 1.000	152	< 1	10-99	94	< 1	10-99
W1	63	< 1	1-9	63	< 1	≥ 1.000	63	< 1	10-99	63	< 1	10-99
W2	65	< 1	1-9	65	< 1	100-999	65	< 1	10-99	65	< 1	10-99
Richtwert Berliner Merkblatt			1.000			10.000			1.000			100
Grenzwert EU-RL 76/160			2.000			10.000			100			nicht festgelegt

Die **UV-Desinfektion** vermindert die Anzahl von *E.coli* und Coliformen Bakterien um zwei bis drei Zehnerpotenzen (siehe Tabelle 43). Die *Pseudomonas aeruginosa* - Zahlen werden um etwa eine Zehnerpotenz reduziert. Die Wirksamkeit der UV-Desinfektion wurde somit nachgewiesen. Die Belastung mit Enterokokken war bereits vor der UV-Desinfektion sehr niedrig und wurde in der Grauwasserbehandlung mit Rotationstauchkörper nahezu vollständig eliminiert.

Nach der UV-Desinfektion konnten die Richtwerte des Berliner Merkblattes sowie die Grenzwerte der EU-Richtlinie 76/160 durchweg eingehalten werden.

Die Transmission lag im Vorlagebehälter generell bei 94% und in den Wohnungen bei über 97%. Die Trübungswerte lagen durchweg unter 0,9 Einheiten und damit weit unter dem geforderten Grenzwert von 1,5 der Trinkwasser-Verordnung.

Zu erwähnen ist, dass es auf dem Weg des Betriebswassers von der UV-Desinfektion zum Endverbraucher zu keinerlei Verkeimung mit *E.coli*, Coliformen und Fäkalstreptokokken kam. Den Aeromaden sowie *Pseudomonas aeruginosa* ist jedoch eine Vermehrungspotential zuzuschreiben, da sie sich im Biofilm etablieren können. In den Untersuchungen, die im Rahmen

des Projekts durchgeführt wurden, konnte *Pseudomonas aeruginosa* in nur wenigen Proben nachgewiesen werden.

Die **Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen** zeigen auf, dass von dem behandelten Grauwasser (Betriebswasser) keine Gefahr hinsichtlich pathogener Hefen, pathogener Legionellen oder Salmonellen ausgeht. Diese Mikroorganismen waren bereits im behandelten aber noch nicht desinfizierten Grauwasser (Betriebswasser) nicht mehr nachweisbar. Das Bakterium *Staphylococcus aureus* war im Betriebswasser noch vereinzelt nachweisbar ist, jedoch im Wasser und im Biofilm nicht konkurrenzfähig.

Da es zu keiner Vermehrung hygienisch problematischer Keime im Betriebswasser auf dessen Weg von der Anlage zum Nutzer kommt, ist von keiner Gefahr durch die Nutzung auszugehen.

6.1.6. Mengenzbilanz

Der **Durchschnittliche Betriebswasserverbrauch** zur Toilettenspülung lag bei etwa 1,3 m³/d. Bei rund 65 versorgten Einwohnern konnte ein **einwohnerspezifischer Verbrauch von 20 l/(E*d)** errechnet werden. Der Vergleich mit anderen Werten aus der Literatur [20 bis 40 l/(E*d)] zeigt, dass der hier errechnete Wert im unteren Bereich liegt. Zum Einen liegt das am spezifisch geringeren Wasserverbrauch der Druckspüler, zum Anderen an den Nutzergewohnheiten der Testgruppe.

Vereinzelt musste mit Trinkwasser nachgespeist werden. Diese Nachspeisung wurde hauptsächlich im Zuge von Wartungsarbeiten (Behälterentleerung, Reinigung) durchgeführt. Die dadurch verursachte **Nachspeisemenge an Trinkwasser betrug etwa 7-8 m³/a** (2% des Betriebswasserverbrauchs).

In der ersten Betriebsphase überstieg das Grauwasserdargebot aus Handwaschbecken, Duschen/Badewannen deutlich den Betriebswasserbedarf für die Toilettenspülung.

Der **durchschnittliche Grauwasseranfall wurde mit 2,16 m³/d** bestimmt. Bezieht man diesen Wert auf die 65 Bewohner, so ergibt dies einen einwohnerspezifischen Grauwasseranfall von 33 l/(E*d).

Aktuelle Literaturstudien gingen bisher von einem Grauwasseranfall aus Handwaschbecken, Duschen/Badewannen von rund 42 l/(E*d) bei durchschnittlicher Installationstechnik aus. Der in Kassel-Hasenhecke berechnete Wert von 33l/(E*d) liegt damit unter dem erwarteten Wert.

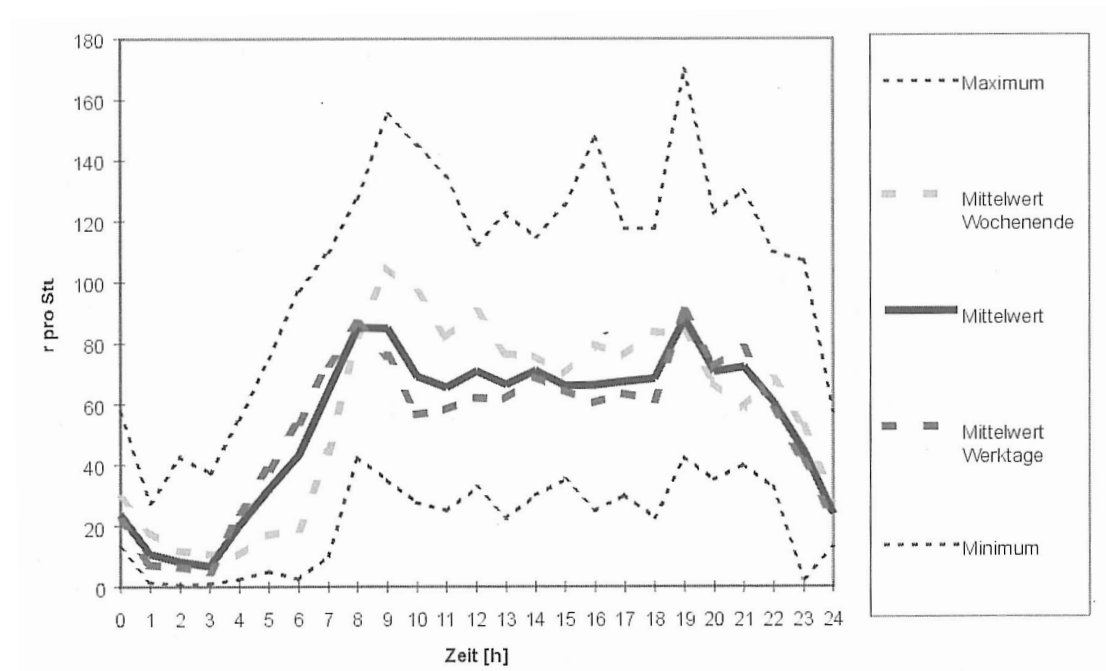


Abb.37: Tagesgang des Betriebswasserverbrauchs Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.75.

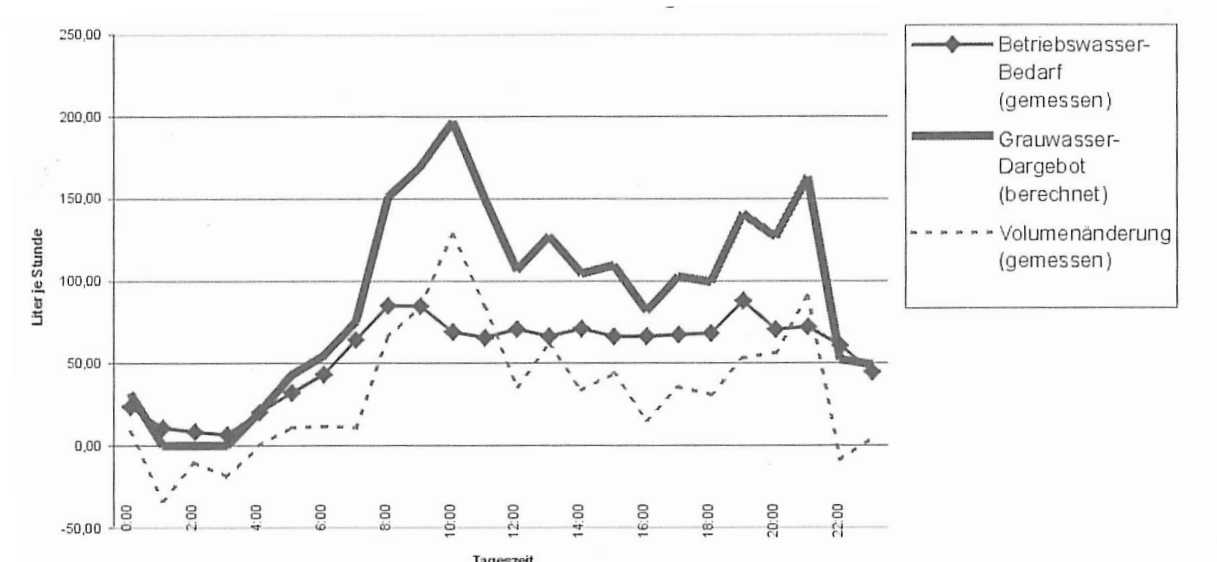


Abb.38: Grauwasser-Dargebot in Kassel „Hasenhecke“.
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.74.

6.1.7. Stromverbrauch

Der **Verbrauch der Grauwasseraufbereitungsanlage** wurde durch einen separaten Zähler erfasst und beträgt etwa **3,8 kWh/d beziehungsweise 2,9 kWh/m³ gereinigtes Grauwasser**. Der Stromverbrauch der einzelnen Anlagenteile wurde aus den Betriebsstunden und der jeweiligen elektrischen Leistung berechnet und anschließend mit dem Gesamtstromverbrauch abgeglichen.

Die **Rotationstauchkörperanlage** verbrauchte mit rund **66% am Gesamtstromverbrauch** am meisten Energie. **13% am Gesamtstromverbrauch fallen der Hygienisierung** des Betriebswassers mittels der UV-Desinfektion zu. Weitere **15% sind der Druckerhöhungsanlage** zuzuschreiben.

Der **Stromverbrauch** ist im Vergleich mit anderen Anlagen gering und weist kein Optimierungspotential auf. Selbst wenn man die Anlage mit einem höheren Volumenstrom auslasten würde, so ergäbe sich lediglich bei der Druckerhöhung ein geringfügig höherer Stromverbrauch. Der spezifische Stromverbrauch könnte bei erhöhter Beaufschlagung der Anlage mit der Bemessungsmenge von 3 m³/d auf 1,7 m³/d gesenkt werden.

Tabelle 44: Stromverbrauchsstellen der Grauwasseranlage Kassel „Hasenhecke“.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.77.

	Leistung [W]	Betriebsstunden [h/a]	Stromverbrauch			Prozentualer Anteil [%]
			[kWh/a]	[kWh/d]	[kWh/m ³]	
Tauchkörper- Antrieb ²⁾	106	8747	927	2,5	2,0	66
UV-Lampe	24	7697	185	0,5	0,4	13
Grauwasser- Pumpe ³⁾ (Hebewerk)	1.200	9	11	0,0	0,0	1
Beschickungs- Pumpe ⁴⁾	600	114	68	0,2	0,1	5
Druckerhöhung 1 ⁵⁾	1.900	55	105	0,3	0,2	7
Druckerhöhung 2 ⁵⁾	1.900	55	105	0,3	0,2	7
Summe			1.400	3,8	2,9	100

²⁾ Anschlussleistung: 120 Watt

³⁾ 2 Meter Förderhöhe, 10 m³/h

⁴⁾ 0,2 m³/h

⁵⁾ 9 m³/h bei einer Förderhöhe von 45 m

6.1.8. Wartung der Grauwasseraufbereitungsanlage

Die **Inspektions- und Wartungsarbeiten** der Grauwasseraufbereitungsanlage wurden von der Inbetriebnahme bis zum 30.11.1999 von dem Ingenieurbüro Umweltplanung Bullermann und Schneble im Rahmen der begleitenden Untersuchungen durchgeführt. Danach erfolgte eine umfassende Einweisung des technischen Personals sowie der zuständigen Hausmeister der WOHNSTADT GmbH. Zudem wurden zwei externe Firmen aus den Bereichen Haustechnik und Elektro eingewiesen, die für die WOHNSTADT GmbH tätig sind. Es wurde eine 14-tägige Inaugenscheinnahme und Protokollierung der Ergebnisse vereinbart.

Es hat sich gezeigt, dass für eine Grauwasseraufbereitungsanlage ein gewisser Zeitbedarf erforderlich ist. Ist dieser nicht mit eigenem Personal zu decken, so ist eine externe fachkundige Firma mit der Wartung und Inspektion zu beauftragen. Bei den jährlichen Inspektionen empfiehlt es sich, den Hersteller der Anlage damit zu betrauen, da dieser gleichzeitig die Grundeinstellungen kontrollieren kann.

In Tabelle 45 sind die wesentlichen Wartungsmaßnahmen der Grauwasseraufbereitungsanlage Kassel-Hasenhecke aufgeführt.

Tabelle 45: Wartungsmaßnahmen im Zeitraum zwischen 1996 und 2000, Kassel „Hasenhecke“.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: „fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.36.

Datum	betriebsbedingte Wartungsmaßnahme	untersuchungsbedingte Wartungsmaßnahme
1996		
19.09.96	Abzug von Schlamm aus RTK-Becken	
24.10.96	Wartung	
12.11.96	Reinigung der UV-Lampe	
22.11.96		vollständige Reinigung der Anlage
09.12.96		Reinigung der Messsonden
18.12.96	jährliche Grundreinigung und Außerbetriebnahme	
1997		
08.01.97	Reinigung der Beschickungspumpe	
28.01.97	Austausch der UV-Lampe nach 5.000 Betriebsstunden	
04.04.97	vollständige Reinigung der Anlage	

Datum	betriebsbedingte Wartungsmaßnahme	untersuchungsbedingte Wartungsmaßnahme
04.04.97	Ölwechsel am RTK-Antrieb entsprechend Herstellerangaben nach 5.000 Betriebsstunden	
20.04.97	viel Schwimmschlamm auf Nachklärung, manueller Abzug des Schwimmschlammes, Reinigung der UV-Anlage	
28.04.97	Reinigung der UV-Anlage	
30.04.97	Reinigung von Nachklärbecken und Betriebswasserbecken	Reinigung des Schlauchs für Rezirkulation zur UV-Desinfektion
07.05.97	Quarzglas der UV-Entkeimung gewechselt (defekt)	
21.06.97	Nachklärbecken gereinigt	
22.09.97	vollständige Reinigung der Anlage	
05.11.97	Austausch der UV-Lampe nach 5.000 Betriebsstunden	
12.11.97	vierteljährliche Wartung, Reinigung der UV-Lampe	
1998		
09.01.98	jährliche Wartung, Reinigung der UV-Lampe	
20.03.98	vierteljährliche Wartung, Reinigung der UV-Lampe	
05.08.98	vierteljährliche Wartung, Ölwechsel im Getriebemotor des RTK, Reinigung der UV-Lampe	
22.11.98	vierteljährliche Wartung, Reinigung der UV-Lampe	
1999		
24.01.99	jährliche Wartung, Austausch der UV-Lampe. Ölwechsel im Getriebe des RTK	
16.03.99		Oximetersonde laut Anweisung gereinigt und kalibriert
17.03.99		Austausch der Oximeter-Messsonde
03.05.99	vierteljährliche Wartung, Entleerung des BWB, Reinigung der UV-Lampe	
13.08.99	vierteljährliche Wartung	

Datum	betriebsbedingte Wartungsmaßnahme	untersuchungsbedingte Wartungsmaßnahme
28.08.99	Störmeldung Spannungsausfall quittiert, Anlage war automatisch wieder in regulären Betrieb gegangen, keine weiteren Störungen oder Maßnahmen erforderlich	
2000		
08.03.00	Beschickungspumpe defekt, ausgetauscht	
250.900	UV-Lampe gereinigt	

6.1.9. Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen der Planung und Konzeption des Projekts Kassel-Hasenhecke wurde im Dezember 1999 eine Umfrage zu den **Anschaffungskosten für Grauwasseraufbereitungsanlagen** erhoben. Dabei wurden **ausschließlich die Kosten für die Aufbereitung inklusive Speicher und Druckerhöhung** erfasst. Separate Grauwasser- und Betriebswasserleitungen sind in den Kosten nicht inbegriffen.

Die Auswertung der Umfrage ergab, dass die Preisunterschiede sehr groß sind und sich noch kein stabiler Markt in Bezug auf Grauwasseraufbereitungsanlagen eingestellt hat. Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass unterschiedliche Behandlungstechniken mit unterschiedlichen Reinigungsleistungen dargestellt wurden. Diese sind nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Grundsätzlich ist aber darauf zu achten, dass bei Vermischung des Grauwassers aus verschiedenen Haushalten eine Hygienisierung stattfinden muss, die mindestens dem Berliner Merkblatt entspricht.

Es erfolgte zusätzlich eine **Auswertung der Pilotanlage in Kassel-Hasenhecke bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Anlage**. Der Aufwand für den Betrieb dieser Anlage wurde auf der Grundlage des vorgesehenen Betreiberkonzepts und den im Betriebshandbuch vorgegebenen Inspektions- und Wartungsintervallen (inklusive dem vorgeschlagenen Wartungsvertrag) ermittelt. Vergleicht man den derzeitigen Betrieb der Anlage mit der Auslastung, die der Auslegungsgröße entspricht (etwa 3.000 l Betriebswasser/d), so würde sich lediglich die Nachspeisemenge (ca. 2% der Betriebswassermenge) sowie der Stromverbrauch (bei 3.000 l Betriebswasser ca. 1,7 kWh/1.000 l) erhöhen. Alle anderen Kostenblöcke wären praktisch gleichbleibend. Würde man die Anlage mit 3.000 l/d beschicken, so ergäbe sich ein spezifischer Preis für die Betriebskosten von etwa 4 DM (~2,05 Euro)/m³, die im Wesentlichen durch Kosten im Bereich der Wartung und Inspektion hervorgerufen werden.

Tabelle 46: Betriebskosten der Grauwasseranlage Kassel-Hasenhecke bei einem Durchsatz von 3.000 Liter pro Tag Betriebswasser.

Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: "fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.90.

	EP	Menge	Einheit	Kosten (brutto) [DM/a]
Betriebskosten				
- Strom	0,30 DM/kWh	1.860	kWh/a	558,00
- Trinkwassernachspeisung ¹⁾	9,17 DM/m ³	22	m ³ /a	201,74
- UV-Lampen	255,- DM/Stk.	1,5	Stk./a	382,50
- Ölwechsel	10,- DM/Stk.	1	Stk./a	10,00
Summe Betriebsmittelkosten				1.153,24
	Stundensatz	Stunde je Wartung	Wartung pro Jahr	
Zeitaufwand für Inspektion und Wartung				
- 14-tägige Inspektion ²⁾	65 DM/h	0,75	22	1.073,-
- vierteljährliche Wartung ²⁾	65 DM/h	4	3	780,-
- jährliche Wartung durch Firma			pauschal	1.500,-
Summe Wartung/Inspektion				3.353,-

¹⁾ Trinkwasser- und Abwasserpreis in Kassel 1999

²⁾ durch Eigenpersonal

Bei der **Bewertung der Investitionskosten** dieses Projekts muss man erwähnen, dass es sich um eine Pilot-Anlage handelt. Die Preise zeigen die tatsächlichen Investitionskosten im Jahr 1996. Wenn man eine Auslastung der Anlage mit 3.000 l/d annimmt, könnten bei gleichem Betriebswasserverbrauch etwa 150 Anwohner versorgt werden. Bezogen auf diese 150 Anwohner ergäbe sich ein Anschaffungspreis von 1.184 DM pro Einwohner.

Tabelle 47: Investitionskosten Grauwasseranlage Kassel-Hasenhecke (Brutto, DM).
 Quelle: FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001: "fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001; S.91.

Grauwasseraufbereitungsanlage	94.239,65
Sanitärinstallationen für zweites Abfluss- und Zuflusssystem	36.169,42
Anschaffungskosten	130.409,07

Die **Kosten für die Grauwasseraufbereitungsanlage** werden zu 75% von den Kapitalkosten bzw. den Anschaffungskosten dominiert. Zusätzlich zu den Investitionskosten für die eigentliche Grauwasseraufbereitungsanlage entstehen noch Kosten für die Installation der Sammelleitungen (Grauwassersammlung) und der Verteilleitungen (für das Betriebswasser).

Anhand der Durchführung einer Grenzkostenberechnung kann untersucht werden, unter welchen Rahmenbedingungen (Wasser-/Abwasserpreis, Kosten der Anlage) eine Grauwasseraufbereitungsanlage wirtschaftlich betrieben werden kann.

6.1.10. Zusammenfassung

Die in Kassel-Hasenhecke installierte Grauwasseraufbereitungsanlage hat sich hinsichtlich der Funktion und Qualitätsziele deutlich bewährt. **Die im Berliner Merkblatt geforderten biologischen und physikalischen Qualitätsziele wurden eingehalten.** Die Erhebung der Betriebsparameter zeigt, dass diese Anlage über eindeutige Reserven bezüglich der Leistung verfügt und etwa doppelt so viele Anwohner angeschlossen werden könnten.

Die **mikrobiologischen Untersuchungen** haben gezeigt, dass keine Gefahr von hygienisch problematischen Keimen im Betriebswasser für die Nutzer ausgeht.

Des Weiteren zeigen die **Verbrauchsmessungen**, dass das Dargebot an Grauwasser aus Handwaschbecken sowie Dusche/Badewannen den erforderlichen Betriebswasserbedarf zur Toilettenspülung bei weitem überschreitet. Demnach ist fast keine Trinkwassernachspeisung erforderlich. Die Angaben zum Stromverbrauch ergaben, dass der Rotationstauchkörper die höchsten Kosten verursacht. Das bedeutet, wenn man die Auslastung erhöhen würde, könnte man die spezifischen Stromkosten auf 1,7 kWh/m³ reduzieren.

Der **Wartungs- und Inspektionsrhythmus** beschränkt sich auf eine 14-tägige Inaugenscheinnahme sowie die 1/4-jährliche Inspektion und die jährliche Wartung. Es ist jedoch darauf zu achten, dass bei betrieblichen Störungen/Auffälligkeiten auch die entsprechenden

Maßnahmen getroffen werden. Sobald dies durch externes Personal durchgeführt werden muss, erhöhen sich die spezifischen Betriebskosten.

Gerade bei größeren Anlagen kann auch bei durchschnittlichen Bedingungen die Aufbereitung von Grauwasser zu Betriebswasser wirtschaftlich sinnvoll sein. Bei kleineren Anlagen jedoch müssen die Rahmenbedingungen günstig sein, damit sich der Betrieb einer solchen Anlage wirtschaftlich lohnt.

6.2. Grauwassernutzung in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika)

Tansania ist ein ostafrikanischer Staat, der am indischen Ozean liegt und rund rund **41 Millionen Einwohner** hat. Das Festland Tansanias besteht aus einer 16 bis 64 Kilometer breiten Küstenebene mit tropischer Vegetation, der 213 bis 1067 Meter hoch gelegenen Massai-Savanne im Norden und einem Hochplateau im Süden, das bis zum Malawisee reicht. Im Westen wird das Land vom Zentralafrikanischen Graben berührt. Der Ostafrikanische Graben verläuft zentral durch das Land. Tansania wird zum Großteil von Feucht- und Trockensavannen dominiert. Halbwüsten und Küstenebenen dominieren die übrige Landschaft.

Das **Klima ist vorherrschend tropisch, äquatorial**. Es herrschen jedoch große Regionale Differenzen, die in der unterschiedlichen Topologie des Landes begründet sind. Die Küste entspricht dem tropischen Gebiet. Dort ist es das ganze Jahr über feucht und heiss. Im Jahresmittel bewegen sich die Temperaturen zwischen 25°C und 31°C mit einer Luftfeuchtigkeit zwischen 70% und 85%. Im Zentralplateau hingegen liegen die Temperaturen im Mittel etwas niedriger und auch die Luftfeuchtigkeit ist nicht so hoch. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sind relativ groß. Typisch für diese Region ist die Regenzeit, die sich vor allem im Norden und Nordosten in zwei Regenzeiten einteilen lässt. Eine etwas kleinere zwischen November und Dezember, die Große zwischen März und Mai.

Tansania gehört zu den ärmsten Ländern der Welt. Es ist etwa zweieinhalb mal so groß wie Deutschland bei einer Bevölkerungszahl von rund 41 Millionen Einwohnern. Die Infrastruktur ist mit zunehmender Entfernung zur Küste schlechter entwickelt. An der Ostküste Tansanias haben sich die Wirtschaftszentren mit direktem Zugang zum Hafen entwickelt. Außerhalb der Städte besteht kein Anschluss an Wasserleitungen.⁵⁶

⁵⁶ http://www.the-gnu.net/tansania/tansania_klima.shtml, Stand 10.09.2010.

Die **Wasserverfügbarkeit Tansanias wird im Jahr 2025 auf 900m³** geschätzt. In Ländern mit einer erneuerbaren Wassermenge von unter 1.700 m³ herrscht Wasserknappheit. Bei unter 1.000 m³ besteht eigentlicher Wassermangel.⁵⁷

Das im Folgenden beschriebene Projekt wurde von dem deutschen Ingenieurbüro Wassertechnik Nord - Dipl.-Ing. Ulf Engfer, im Jahr 2008 in der tansanischen Verwaltungsregion Arusha umgesetzt. In der Region Arusha leben rund 1.292.973 Menschen (Volkszählung aus dem Jahr 2002).

6.2.1. Projekthintergrund

Voraussetzung für dieses Projekt ist die **Zusammenarbeit der Evangelischen-Lutherischen Landeskirche Mecklenburgs** mit der **Pare Diözese in der Lutherischen Kirche in Tansania (ELCT)**. Die Tätigkeitsfelder der Kirche sind vor Allem das Gesundheits- und Bildungswesen des Landes, das sie entscheidend mittragen.

In Zusammenarbeit mit der Evangelisch-Lutherischen Landeskirche Mecklenburgs hat es schon mehrfach Projekte zur Wassergewinnung gegeben. **Das Projekt zur Wasseraufbereitung für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same** soll eine sinnvolle Wiedernutzung des Wassers ermöglichen. **Ziel war es, den Verbrauch von Frischwasser zu minimieren und Wasser für Bewässerungszwecke zu gewinnen.**

Dazu wurde eine **Grauwassernutzungsanlage auf der Basis eines horizontal bewachsenen Bodenfilters** errichtet. Der Nutzen dieser Anlage besteht einerseits aus dem **Einsparpotenzial von über 40% des vorhandenen Trinkwassers** durch Mehrfachnutzung und der Darstellung eines technisch einfachen und reproduzierbaren Verfahrens zur Wasseraufbereitung. Andererseits kann das **aufbereitete Wasser als Brauchwasser für WC-Spülung und zur Bewässerung eingesetzt werden.**⁵⁸

6.2.2. Beschreibung der Wohnanlage

Die Stadt Same befindet sich zwischen dem 38. Grad geografischer Länge und dem 4. Grad südlicher geografischer Breite. Die **Temperatur** liegt ganzjährig zwischen 25°C und 35°C. Die **jährliche Regenspende** beträgt ungefähr 300 bis 400 mm im Jahr. Sie ist aufgeteilt in **zwei jährliche Regenzeiten** mit teilweise sehr heftigen Niederschlägen. Darauf folgen **monatelange Trockenzeiten**. Während dieser Trockenzeiten steht Trinkwasser nicht in ausreichender Menge

⁵⁷ TRINKWASSER SANTÉ EAU POTABLE: http://www.trinkwasser.ch/dt/frameset.htm?html/weltwasser/weltwas_verfuegbar_01.htm~mainFrame, Stand 10.09.2010.

⁵⁸ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika)", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

und Qualität zur Verfügung. Das liegt unter anderem daran, dass ein Großteil des Trinkwassers für Reinigungs- und Bewässerungszwecke verwendet wird.

Die **Wohnanlage**, die für dieses Projekt ausgesucht wurde, befindet sich am Fuße der Pare-Berge in Same und umfasst ein **Gebiet von ca. 3 ha**. Die Wohnanlage wurde in Hanglage erbaut mit einer annähernd gleichbleibenden Geländeneigung von 3% in südwestlicher Richtung.

Auf dem Gelände wurden 11 Einfamilien- beziehungsweise Zweifamilienhäuser für die Beschäftigten am Bischofsitz errichtet.

Für das Projekt hat man **6 Wohnhäuser, ein Kindergartengebäude und ein Sanitärgebäude** ausgewählt; die Wohnhäuser wurden mit gesondert angeordneten Sanitärgebäuden in hausnähe errichtet. Hier sind Wäschereien, Duschen und WC's untergebracht. Des Weiteren befindet sich ein Schulgebäude des Trägers *Compassion International* mit einem gesonderten Sanitärgebäude auf dem Gelände.

Die gesamte Wohnanlage bietet **Wohnraum für maximal 65 Bewohner**. Der **Kindergarten** und die **Schule** werden von rund **50 Kindern** besucht. Zudem findet in geringem Umfang **Vieh- und Kleintierhaltung mit 50 Ziegen und 100 Hühnern statt**. Als **Ackeranbaufläche** stehen circa **3.000 m²** zur Verfügung.

Die **Trinkwasserversorgung** des Wohngebiets erfolgt durch die Kanalisierung einer Bergquelle in den Pare-Bergen. Das Quellwasser wird in einem Betonspeicherbehälter von 70.000 l in den Bergen zwischengespeichert und durch eine Rohrleitung zu einem Wasserturm mit 12.000 l in die Wohnanlage transportiert. Von dem Wasserturm aus wird das Trinkwasser auf die einzelnen Wohnhäuser verteilt. In den letzten Jahren stand das Trinkwasser vor Allem in den Trockenzeiten nicht in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung.⁵⁹

6.2.3. Wasserbedarfsermittlung

Die **Wasserbedarfsermittlung** wurde für die **6 Wohnhäuser, einen Kindergarten/Schule und ein Sanitärgebäude** durchgeführt. Für die Wohngebäude wurde eine Belegung von **6 Einwohnern je Gebäude** festgelegt.

⁵⁹ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika)", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

Tabelle 48: Täglicher Wasserbedarf, Same, Tansania.

Quelle: DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Seite 4, Stand 10.09.2010.

6 Wohnhäuser mit je max. 6 EW (36 EW)	3 l*36 EW/d	= 108 l/d
Dusche für max. 36 EW	10 l*36 EW/d	= 360 l/d
Schule/Kindergarten mit ca. 50 Kindern	1 l*50 EW/d	= 50 l/d
Summe täglicher Trinkwasserbedarf		= 518 l/d

Tabelle 49: Täglicher Nutzwasserbedarf (geschätzt), Same, Tansania.

Quelle: DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Seite 4, Stand 10.09.2010.

Wohnhäuser mit WC	10 l*36 EW/d	= 360 l/d
Wohnhäuser mit Wäsche	10 l*36 EW/d	= 360 l/d
Schule/Kindergarten (WC)	2 l*50 EW/d	= 100 l/d
Viehtränke (Ziegen, Kleintiere)	3 l*50 Ziegen	= 150 l/d
Summe täglicher Nutzwasserbedarf (fest)		= 970 l/d

erforderliche Bewässerung der Anbauflächen zusätzlich zum natürlichen Regenereignis (400 mm/p.a. + 350 mm p.a. = 1,0 mm/d) 1,0 mm/d * 2.000 m² = 2.000 l/d

= 2.970 l/d

Aus den Tabellen 48 und 49 ergibt sich demnach eine Gesamtsumme des **täglichen Nutzwasserbedarfs von maximal 2.970 l/d**.

6.2.4. Vorhandene Wasserquellen (Ersatzquellen für Trinkwasser)

Zu der vorhanden Trinkwasserversorgung durch das Quellwasser aus den Pare-Bergen wird zusätzlich Dachregenwasser und das Grauwasser aus den Wohnhäusern als Ersatzquelle zur Einsparung von Trinkwasser genutzt. Wie folgt dargestellt in den Tabellen 50 und 51.

Tabelle 50: Dachregenwasser (Minimum), Same, Tansania.

Quelle: DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Seite 4 Stand 10.09.2010.

6 Wohnhäuser/Sanitäregebäude * Dachfläche * mittlere Regenspende (p.a.) 6 Stk. * (5 m x 10 m) * 0,9 * 400 mm	= 108 m ³ /a
1 Schulgebäude/Kindergarten * Dachfläche * Regenspende (p.a.) 1 Stk. * (8 m x 15 m) * 0,9 * 400 mm	= 43 m ³ /a
Summe Regenspende p.a.	= 151,20 m ³ /a
Summe mittlere Regenspende p.m. (6 Monate)	= 25,20 m ³ /m
Summe mittlere Regenspende p.d. (365 Tage)	= 0,414 m ³ /d

Tabelle 51: Grauwasser aus den Wohnhäusern, Same, Tansania.

Quelle: DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Seite 4 Stand 10.09.2010.

Anzahl EW 30 l p.d. * 0,9 (Verlustfaktor)	36 EW * 30 l * 0,9	= 0,97 m ³ /d
Gesamtsumme täglicher Regen- und Grauwasseranfall (max.)		= 1,38 m ³ /d

Bei einem **täglichen Nutzwasserbedarf von ca. 2,97 m³** können durch die Wiederverwendung von Regen- und Grauwasser ca. 1,38 m³ Trinkwasser/d eingespart werden. Das entspricht einer **maximal möglichen Trinkwassereinsparung von 44%**.⁶⁰

6.2.5. Projektbeschreibung und Projektrealisierung

Die vor Ort installierte Wasseraufbereitung besteht aus einer **Regenwassernutzung** und einer **Grauwasserfilteranlage** in Form eines **bewachsenen Bodenfilters**. Zusätzlich dazu wurde ein **Speicherbehälter mit 10.000 l Fassungsvermögen**, ein **Hochbehälter** und ein **Rohrnetz zur Wasserverteilung** installiert. Das Wasser wird mit Hilfe einer **Solarpumpe** an die angeschlossenen Verbraucher verteilt. Die **Stromversorgung** wird durch eine Solarstromanlage im Inselbetrieb sichergestellt. Parallel dazu musste der vorhandene Betonwasserturm aufgrund von Undichtigkeiten saniert werden, um weiteren Trinkwasserverlust zu verhindern.

⁶⁰ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

Die Realisierung der Baumaßnahmen erfolgte in 7 getrennten Arbeitsschritten. Davon sind 4 Arbeitsschritte vorbereitende Maßnahmen, die vor Ort stattgefunden haben. Zwei Arbeitsschritte wurden von Partnern aus Mecklenburg begleitet und ein Arbeitsschritt wurde nachträglich realisiert.⁶¹

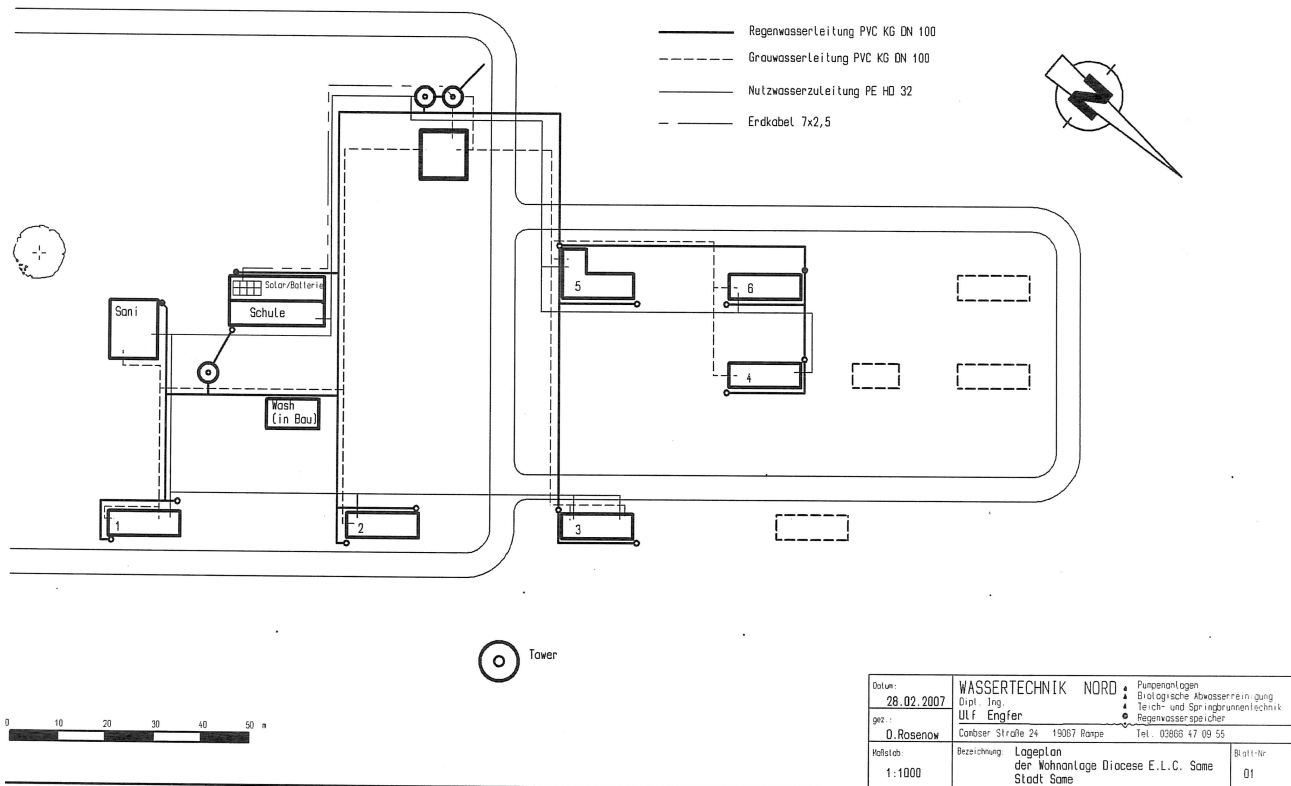


Abb.39: Lageplan der Grauwasseraufbereitungsanlage, Same, Tansania.

Quelle: DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

6.2.6. Grau- und Regenwasserableitung

An je einer Dachhälfte der Wohngebäude wurden jeweils eine Regenrinne und ein Regenfallrohr (100 mm) montiert. Dabei wurde diejenige Dachseite ausgewählt, bei der man mit der geringsten Verschmutzung rechnete. In dem Regenfallrohr installierte man einen Regenwasserfilter (Maschenweite 0,8 mm). Der seitliche Klarwasserablauf des Filters (50 mm) ist an eine neue 500 l Regentonne (je Wohnhaus) angeschlossen, die privat genutzt werden kann. Der Schmutzwasserablauf des Filters endet frei über dem Boden. Die Regentonne ist über einen Wasserüberlaufanschluss (50 mm) an das erdverlegte Regen- und Grauwasserrohrleitungssystem (DN 100) angeschlossen. Diese Rohrleitung wurde mit den Einleitungsstellen der anderen Wohnhäuser unterirdisch verbunden. Bei Vollfüllung läuft das Regenwasser so in das

⁶¹ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

Gemeinschaftssystem des Bodenfilters ab. Der Ablauf der Regentonne ist so konzipiert, dass keine Komplettleerung erfolgen kann. Die **Dachflächen des Kindergarten- und Schulgebäudes** wurden ebenfalls mit jeweils einer Dachrinne ausgerüstet. Die Dachnordseite erhielt einen Fallrohrfilter und das Regenfallrohr wurde oberirdisch an die vorhandene Regenzisterne angeschlossen. Die Dachsüdseite wurde analog zu den Wohnhäusern ebenfalls mit einem Regenfallrohr (inklusive Fallrohrfilter) ausgestattet, dass aber im Gegensatz zu den Wohnhäusern direkt mit dem Grau- und Regenwasserrohrleitungen verbunden ist.

6.2.7. Wasseraufbereitung mit bewachsenem horizontalen Bodenfilter

Das leicht verschmutzte Grauwasser aus Duschen, Waschbecken und sonstigen Waschstellen stellt den größten Teil des häuslichen Abwassers dar und kann mit relativ geringem Aufwand zu Brauchwasser aufbereitet werden. Als **Reinigungsstufe wurde eine biologisch arbeitende horizontale Bodenfilterklärstufe mit Schilfbepflanzung** gewählt. Diese ist vor Ort mit den vorhandenen Bodenmaterialien und Schilfpflanzen herstellbar und reproduzierbar. Der technische Aufwand zur Wartung und Unterhaltung ist bei dieser Art der naturnahen Grauwasseraufbereitung sehr gering (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Die Funktionsweise des Bodenfilters basiert auf einem **mechanisch-biologisch arbeitenden Filter** (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Die Körnung des Bodenmaterials filtert das zulaufende Regen- und Abwasser. Die Wurzeln der Schilfpflanzen und die Hohlräume in dem Bodenfiltermaterial dienen als Ansiedlungsraum für Mikroorganismen. Diese bauen organische und anorganische Abwasserinhaltsstoffe ab. Alle **Hausabläufe** für Grauwasser (Dusche, Waschstellen und Waschbecken) werden außerhalb der Gebäude über ein Einmündungsrohr mit mechanischem Grobfiltersieb in die erdverlegten Rohrleitungen geführt.

Vor dem Bodenfilter wurde ein **Kunststoffverteilerschacht** installiert, der den Zulauf drosselt, die Wasserverteilung optimiert und den Bodenfilter vor Grobteilen schützt. Von hier aus wird das Grau- und Regenwasser an den Bodenfilter verteilt.

Der **Bodenfilter** wurde als Becken mit den Maßen 10m x 9m x 1m ausgebaut. Als Abdichtung dient eine wasserundurchlässige Bodenschicht aus Lehm und Ton (k_f -Wert $> 10^{-8}$) mit einer Mächtigkeit von 20 cm, die als untere und seitliche Dichtungsschicht zusammen mit einer Vlieslage eingebracht wurde. An den Rohrdurchführungsstellen (Zu- und Ablauf) wurde die Mächtigkeit der seitlichen Bodenabdichtung auf 40 cm erhöht.

Das Becken wurde anschließend mit zwei verschiedenen Bodenfiltermaterialien gefüllt. Im Zu- und Ablaufbereich erfolgte eine Kiesfüllung mit einer Körnung von 30 mm und verfügbarem Lavagestein unterschiedlicher Körnung. Im Mittelteil des Filters wurde Sand/Kies mit einer

Körnung von 1-2 mm (k_f -Wert 0,004 m/min) eingebracht. Das Bodenmaterial wurde durch die Sammlung von Berggeröll gewonnen. Das Bodenfiltermaterial (Sand 1-2 mm) wurde durch Siebung und Auswaschung aus dem anstehenden Boden gewonnen.

Anschließend wurde der Bodenfilter mit rund 200 Schilfpflanzen bestückt. Die Schilfpflanzen stammen von Jungpflanzen am Ufer kleinerer Bäche und Flüsse von Same.

Das im Bodenfilter aufbereitete Grauwasser wird anschließend in einem nachgeschalteten **unterirdischen Brauchwasserspeicher** zwischengespeichert. Hier befindet sich eine Wasserversorgungspumpe, die einen **1.000 l Hochbehälter** füllt und für die Wasserzirkulation über dem Bodenfilter sorgt. Die Pumpenlaufzeit ist meist nachts (Zeitsteuerung), da die Verdunstung über dem Bodenfilter dann geringer ist. Der Brauchwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 10.000 l ist mit einer Überlauföffnung ausgestattet, die 30 cm über dem Bodenfilterablauf liegt.⁶²

6.2.8. Hochbehälter und Stromversorgung

Wie schon erwähnt wurde für die Verteilung des gespeicherten Brauchwassers eine Pumpenanlage und ein Zwischenspeicher als Hochbehälter (1.000 l Fassungsvermögen) erforderlich. Der **Hochbehälter** wurde neben dem vorhandenen Wasserturm auf einem Stahlhochgestell ($h=4,0$ m) aufgestellt. Er dient als Druckerzeuger und Zwischenspeicher. Hier mündet die Pumpendruckrohrleitung der Wasserversorgungspumpe ein und gewährleistet die Wasserverteilung zu den einzelnen Wasserzapfstellen.

Zur **weitergehenden Hygienisierung** wurde eine UV-Bestrahlung des Wassers in der Druckleitung nach dem Speicherbehälter empfohlen.

Die **Stromversorgung** wird durch eine Solarstromanlage für 12V, 80-300W DC mit Batteriepufferung sichergestellt. Die Installation der Solarmodule (6 Stück je 80Wp) erfolgte auf dem Dach des Kindergartengebäudes. Die Stromversorgung speist die Wasserversorgungspumpe und die UV-Hygenisierung (ca. 25W) des Brauchwassers in der Grauwasseraufbereitungsanlage. Als Dauerleistung waren 700VA vorgesehen. Das Zeitsteuergerät steuert die Pumpenschaltung (Nachtbetrieb) und ermöglicht das Ein- und Ausschalten der Pumpe und der UV-Hygenisierung.

⁶² DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

6.2.9. Nutzwasserverteilungssystem

Die **Nutzwasserverteilung** wurde durch eine erdverlegte Druckrohrleitung (1" = 32 mm PE-HD) im gleichen Grabensystem wie die Grau- und Regenwasserrohrleitungen realisiert. Die elektrische Wasserversorgungspumpe speist das Nutzwasser in den Hochbehälter (1.000 l Fassungsvermögen), bis dieser vollgefüllt ist. Bei Vollenfüllung läuft das Wasser durch eine Überlauföffnung in das Kanalrohrsystem zurück zum Bodenfilter. Aus dem Hochbehälter führt eine Druckrohrleitung (1" = 32 mm PE-HD) zu jedem Wohngebäude und dem Sanitärgebäude am Kindergarten. Das **Nutzwasser** wird jeweils als Wasseranschluss in Form einer Wassersteckdose 1/2" mit Spezialschlüssel am Gebäude installiert und dient Bewässerungs-, Reinigungs- und Tränkzwecken.

Essentiell für die Funktionsweise der gesamten Anlage ist die Dichtigkeit aller Rohrleitungen und Verbindungen sowie der Schutz der Rohrleitungen vor Zerstörung. Aus diesem Grund ist Trassenwarnband verlegt worden.

Als **Versuchsfläche** wurde zusätzlich eine Gartenbewässerung mit wassersparenden unterirdisch verlegten Tropfrohren (Agro Drip 20) und einer mechanischen Bewässerungsuhr als selbsttätig arbeitende Bewässerung für eine Melonenpflanzung realisiert.⁶³

6.2.10. Wartungs- und Kontrollarbeiten

Die Wartungsarbeiten setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Kontrolle auf Undichtigkeiten im Rohrsystem (feuchte Stellen), vor allem nach den ausgeführten Erdarbeiten,
- Prüfung der Dichtigkeit aller Wasserzapfstellen,
- Kontrolle der Wasserstände im Vorratsspeicher und im Hochtank,
- Funktionskontrolle der Solarpumpenanlage und Pumpenleistung im Handbetrieb,
- technische Wartung der Solarpumpe (Ausbau alle 2 Jahre),
- Überprüfung der Solarbatterien (Säurestand),
- Sichtkontrolle der Solarmodule und der Steuereinheit,
- Kontrolle des Bodenfilters auf Fremdbewuchs,
- Kontrolle des Zauns (Dornenhecke) um den Bodenfilter, Bodenfilter nur mit Brettern zur Auflage betreten,
- Schneiden und Entsorgen des Schilfs alle 2 Jahre vor der Trockenzeit,
- Reinigung des Kontrollschachts vor dem Bodenfilter von Grobstoffen und Schlamm,
- Kontrolle der Regenrinnen und Fallrohre auf Befestigung,

⁶³ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika)", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

- Reinigung der Fallrohre an den Wohngebäuden,
- Vermeidung der Einleitung desinfizierender Stoffe in das Grauwasser.⁶⁴

6.2.11. Kostenaufstellung

Eine genaue Kostenaufstellung ist auf Grund unzureichender Informationen leider nicht möglich. Insgesamt hat das Projekt rund **20.000 Euro** gekostet. Diese wurden aus Spenden der Kirchengemeinde sowie unterschiedlicher Personen und Träger in Mecklenburg gedeckt. Ein **finanzieller Vorteil** bestand hauptsächlich darin, dass viele Materialien in Tansania selbst eingekauft (Rohrleitungen, Beton- und Kunststoffspeicher, Kleinmaterial) beziehungsweise hergestellt (Schilfpflanzen, Kies, Lehm, Bodenfiltermaterial) werden konnten. Nur die spezielle Ausrüstung wie Solarpumpe, Regenwasserfilter, etc. wurden aus Gründen der sicheren Verfügbarkeit aus Deutschland importiert. Zusätzlich konnte der größte Teil der Arbeitskräfte vor Ort eingestellt werden. Weitere Hilfe kam von einer Reisegruppe aus Schöneberg und weiteren freiwilligen Helfern. So konnten Personalkosten eingespart werden.⁶⁵

6.3. Gegenüberstellung der Projekte

Ein direkter Vergleich der beiden Anlagen ist auf Grund der unterschiedlichen Betriebsweisen und Grundvoraussetzungen nicht möglich. Dennoch kann eine Gegenüberstellung der Projekte durchgeführt werden.

Die Problematik besteht vor allem darin, dass die Anlagen mit **unterschiedlichen Konzepten** durchgeführt wurden. Während man in **Kassel „Hasenhecke“ ein technisches Verfahren** (Rotationstauchkörper) wählte, wurde in **Same, Tansania ein natürliches Verfahren** zur Grauwasseraufbereitung umgesetzt. Dies liegt zum Einen an der **Flächenverfügbarkeit**, die in dicht besiedelten städtischen Bereichen wie Deutschland eher ein Problem darstellt als in weniger dicht besiedelten ländlichen Regionen wie Ostafrika. Tansania beispielsweise hat eine Landesfläche, die zweieinhalbmal so groß ist wie Deutschland. Die Bevölkerungszahl jedoch ist nur halb so groß (rund 41 Millionen Einwohner). Hier ist ein naturnahes Verfahren, das einen höheren Flächenbedarf hat, besser realisierbar. Für die Auswahl eines naturnahen Verfahrens in Entwicklungsländern wie Tansania spricht zudem, dass der Technisierungsgrad naturnaher Verfahren eher gering ist und somit auch die **Betriebs- und Wartungskosten** ebenso gering

⁶⁴ DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007: "Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).", 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

⁶⁵ WASSERTECHNIK NORD: <http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/index.php/wasser-fuer-tansania.html>, Stand 10.09.2010

sind. Zudem ist Fachpersonal, das zur Wartung technischer Anlagenteile benötigt wird, schwerer bereitzustellen.

Ein Vergleich der beiden Anlagen ist auch deshalb schwierig, da in Same, Tansania zusätzlich zur Aufbereitung des Grauwassers das anfallende Regenwasser in die Aufbereitungsanlage einfließt (Überschussregenwasser der Wohnhäuser gelangt durch eine Zuleitung in das Grauwasser-aufbereitungssystem und wird anschließend als Betriebswasser weitergeleitet). In Kassel „Hasenhecke“ besteht zwar ebenfalls eine Regenwasseraufbereitung und -nutzung, diese wurde jedoch separat betrachtet und ist in das in Kapitel 6.1 beschriebene Projekt, dessen Betrachtung und Bilanzierung nicht mit eingeschlossen.

In Bezug auf die **Nutzung des Brauchwassers** unterscheiden sich die beiden Projekte. Während man in Kassel „Hasenhecke“ das aufbereitete Grauwasser ausschließlich für die Toilettenspülung verwendet, so werden in Same zusätzlich zur Toilettenspülung Ackerflächen bewässert und Vieh getränkt. In Kassel war man darauf bedacht, den Betriebswasserbedarf der Toilettenspülung komplett durch das aufbereitete Grauwasser zu decken, auch wenn man für den Notfall eine Trinkwassernachspeisung vorgesehen hat. In Same hingegen war das Ziel, die Trinkwasserressourcen vor allem in den Trockenzeiten zu entlasten und eine Einsparung zu erreichen. Eine vollkommene Deckung des Betriebswasserbedarfs war nicht vorgesehen. Die Trinkwassereinsparung beläuft sich nach Berechnungen auf rund 44%.

Die folgende Tabelle 51 stellt die Aspekte *Teile der Grauwasseraufbereitungsanlage, Platzbedarf, Grauwassererfassung, Brauchwassernutzung, Anzahl der angeschlossenen Einwohner, Reinigungsleistung, mikrobiologischen Untersuchungen, Betriebswasserverbrauchs, Grauwasseranfall, Stromverbrauch und Investitionskosten* der beiden Projekte gegenüber und zeigt auf, wie unterschiedlich die Projekte konzipiert sind.

Tabelle 52: Gegenüberstellung der Projekte Kassel „Hasenhecke“ und Same, Tansania.

	Projekt Kassel „Hasenhecke“	Projekt Same, Tansania
Grauwasser-aufbereitungsanlage → Anlagenteile	Grauwasserzuleitung	Grauwasserzuleitung
		Regenwasserzuleitung → von Schule und Kindergarten (abgeleitet von der Dachsüdseite) zum Gemeinschaftssystem des Bodenfilters
		Überschussregenwasserzuleitung → von den Wohnhäusern zum Gemeinschaftssystem des Bodenfilters (bei Vollfüllung der 500 l Regentonnen pro Wohnhaus)
		500 l Regentonne pro Wohnhaus
		Regenzisterne → für Schule und Kindergarten (abgeleitet von der Dachnordseite)
	Hebeanlage	
	Sedimentations-/Vorlagebehälter → 1.700 l Fassungsvermögen	
	Tauchpumpe → zur Beschickung des Rotationstauchkörpers	
	Rotationstauchkörper → zweistufig → Biofilm: 120m ² /m ³ spezifische Oberfläche	horizontal bewachsener Bodenfilter → (10 m x 9 m x 1 m) → 200 Schilfpflanzen
	Nachklärbecken	Brauchwasserspeicher → (Zwischenspeicher) 10.000 l Fassungsvermögen
		Wasserversorgungspumpe → zur Füllung des Hochbehälters
	UV-Hygenisierung	
	Betriebswasserspeicher → 1.000 l Fassungsvermögen	Hochbehälter → 1.000 l Fassungsvermögen
	Druckerhöhungsanlage	Solarpumpe und Pumpendruckleitung → vom Hochbehälter zu den Wasserzapfstellen
		UV-Hygenisierung → in der Druckleitung
		Solarstromanlage → 12V, 80-300W → Solarmodule (6 Stk. je 80 Wp) auf dem Dach des Kindergarten
	Betriebswassernetz	Brauchwassernetz

	Projekt Kassel „Hasenhecke“	Projekt Same, Tansania
Platzbedarf der Aufbereitungsanlage	15 m ² Kellerraum für den RTK im Gebäude Nr. 60	10m x 9m x 1m Fläche für den horizontal bewachsenen Bodenfilter
Grauwasser-erfassung	Dusche	Dusche
	Handwaschbecken	Handwaschbecken
		sonstige Waschstellen
Brauchwasser-nutzung (Nutzung des gereinigten Grauwassers)	Toilettenspülung	Toilettenspülung
		Bewässerung von rund 3.000 m ² Ackerfläche
		Viehtränkung (50 Ziegen)
Anzahl der angeschlossenen Einwohner	24 Haushalte mit 39 Erwachsenen und 26 Kindern	6 Wohnhäuser mit 36 Einwohnern, 50 Kinder der Schule/Kindergarten.
Reinigungsleistung der Anlage	BSB ₅ - Ablaufkonzentration < 5 mg/l → Reinigungsleistung liegt im Mittel bei 99%	k.A.
	CSB - Ablaufkonzentration 15-25 mg/l → Reinigungsleistung liegt im Mittel bei 90%-94%	k.A.
	abfiltrierbare Stoffe - Ablaufkonzentration 1-2 mg/l	k.A.
	TOC - Ablaufkonzentration 15 mg/l	k.A.
	N - Ablaufkonzentration bei 1.300 l/d 5,7 g/d entfernt	k.A.
	P - Ablaufkonzentration bei 1.300 l/d 0,65 g/d entfernt	k.A.
	→ Für alle oben aufgeführten Parameter werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 76/16 und die Richtwerte des Berliner Merkblattes eingehalten	k.A.
Mikrobiologische Untersuchung → nach der UV-Desinfektion	<i>E.coli</i> < 1 (Median)	k.A.
	Coliforme Bakterien < 1 (Median)	k.A.
	Fäkalstreptokokken < 1 (Median)	k.A.

	Projekt Kassel „Hasenhecke“		Projekt Same, Tansania
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> < 1 (Median)		k.A.
→ Für alle oben aufgeführten Parameter werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 76/16 und die Richtwerte des Berliner Merkblattes eingehalten			k.A.
Betriebswasser- verbrauch	einwohnerspezifischer Verbrauch 20 l/(E*d)		Gesamtsumme Nutzwasserbedarf 970 l/d Gesamtsumme Bewässerungsbedarf 2.000 l/d = Gesamtsumme 2.970 l/d = 2,97 m³/d
Grauwasseranfall	einwohnerspezifischer Grauwasseranfall 33 l/(E*d)		Gesamtsumme (inklusive Regenwasseranfall) 1,38 m³/d
Stromverbrauch → Gesamtsumme	3,8 kWh/d	2,9 kWh/m³	k.A.
→ Rotationstauchkörper	2,5 kWh/d	2,0 kWh/m³	k.A.
→ Hygienisierung	0,5 kWh/d	04, kWh/m³	k.A.
→ Druckerhöhungsanlage	0,3 kWh/d	0,2 kWh/m³	k.A.
Investitionskosten	Summe Betriebsmittelkosten: 1.153,24 DM/a brutto (~ 584,64 Euro/a brutto) Summe Wartungskosten: 3.353,- DM/a brutto (~ 1.714,36 Euro/a brutto) → ohne separate Grauwasserzuleitung und Betriebswasserleitungen → bei einer Auslastung von 3.000 l Betriebswasser/d		Gesamtsumme des Projekts 20.000 Euro

7. Vergleich und Bewertung der Grauwasseraufbereitung

7.1. Gegenüberstellung der verschiedenen Aufbereitungsverfahren

Um eine Bewertung der unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren durchführen zu können, werden die Verfahren zuerst im Einzelnen mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt.

Tabelle 53: Darstellung der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung: Vor- und Nachteile.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Mechanische Vorbehandlung		
Sedimentation	geringe Investitionskosten	anaerobe Prozesse im Speicherbehälter mit Geruchsentwicklung möglich
	nachträglich leicht zu installieren	erhöhte Anzahl pathogener Keime möglich
Siebung	geringe Investitionskosten	anaerobe Prozesse im Speicherbehälter mit Geruchsentwicklung möglich
	nachträglich leicht zu installieren	erhöhte Anzahl pathogener Keime möglich
physikalische Reinigung	geringer Platzbedarf	aufwendige Anlagentechnik
	gute Feststoffabtrennung	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
Biologische Reinigung → naturnahe Verfahren		
bepflanzter Bodenfilter	einfaches Verfahren mit geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand	großer Platzbedarf
	gute Integration in Außenanlage möglich	
	geringer Energiebedarf (2 kWh/m ³ Grauwasser)	
	gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung	
Teichanlagen	einfaches Verfahren mit geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand	großer bis sehr großer Platzbedarf
	gute Integration in Außenanlage möglich	bei belüfteten Teichanlagen erhöhter Energiebedarf (4kWh/m ³ Grauwasser)
	geringer Energiebedarf (2 kWh/m ³ Grauwasser) bei unbelüfteten Teichanlagen	Geruchsentwicklung bei belüfteten Teichanlagen möglich
	gute biologische Reinigungsleistung	
Biologische Reinigung → technische Verfahren		

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Ökwanne	geringer Platz- und Installationsbedarf	für gelegentliche Nutzung ungeeignet, d.h. Ökwanne funktioniert nur bei permanentem Wasserdurchsatz
	geringe Investitionskosten	Geruchsbelästigung v.a. bei höheren Temperaturen
	nachträglich leicht zu installieren	geringe biologische Reinigungsleistung
		erhöhte Anzahl pathogener Keime möglich
		kein vollständiger Ersatz von Trinkwasser möglich
kontinuierliche Belebungsanlage	sehr geringer Platzbedarf	hoher Energiebedarf (4,5 kWh/m ³ Grauwasser)
	gute biologische Reinigungsleistung	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
		Probleme bei der Mitnutzung von Waschmaschinenabwasser durch schwer abbaubare Inhaltsstoffe
SBR-Anlage	sehr geringer Platzbedarf	hoher Energiebedarf (3,7 kWh/m ³ Grauwasser)
	gute biologische Reinigungsleistung	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
		Probleme bei der Mitnutzung von Waschmaschinenabwasser durch schwer abbaubare Inhaltsstoffe
Tropfkörper	geringer Platzbedarf	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
	gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung	
	geringer Energiebedarf (2,5 kWh/m ³ Grauwasser)	
Rotationstauchkörper	geringer Platzbedarf	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
	gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung	wird v.a. bei größeren Anlagen > 5m ³ Grauwasser/d eingesetzt da sonst der Energiebedarf zu hoch ist
Festbettanlage	geringer Platzbedarf	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
	gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung	wird v.a. bei größeren Anlagen > 5m ³ Grauwasser/d eingesetzt da sonst der Energiebedarf zu hoch ist

Verfahren	Vorteile	Nachteile
MBR-Anlage	geringer Platzbedarf	hoher Überwachungs- und Wartungsaufwand
	relativ geringer Energiebedarf (2,5 kWh/m ³ Grauwasser)	
Hygienisierung		
UV-Desinfektion	energetisch geringer Aufwand	
	geringer Wartungs- und Überwachungsaufwand	

Aus der oben aufgeführten Tabelle ist sehr gut zu ersehen, dass die **Vorteile der naturnahen Verfahren** zur Grauwasseraufbereitung vor allem im **geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand** liegen. Sie sind **gut in bestehende Außenanlagen zu integrieren** und der **Energiebedarf ist gering**. Ferner haben beide Verfahren eine **gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung**. Der einzige **Nachteil** liegt in dem **großen Flächenbedarf** beider Verfahren. Daher eignen sie sich vor allem für den Einsatz in Entwicklungsländern, in denen die Besiedlungsdichte nicht so groß ist und ausreichend Fläche zur Verfügung steht. Der geringe Technisierungsgrad sowie Wartungs- und Überwachungsaufwand spricht ebenfalls für den Einsatz in solchen Gebieten, da nicht unbedingt speziell ausgebildetes Personal benötigt wird, um die Anlagen zu prüfen. Gerade in europäischen Ländern stellt der benötigte Platzbedarf ein Problem dar. Eine Einsatzmöglichkeit besteht jedoch auf kommunaler Ebene beispielsweise für Verwaltungsgebäude oder neue Siedlungsgebiete, deren Wasseraufbereitung dezentral abgewickelt werden kann.

Bei allen **technischen Verfahren** ist dieses Problem nicht gegeben. Sie benötigen **wenig bis sehr wenig Fläche** und haben meist eine **gute bis sehr gute biologische Reinigungsleistung**. Große Unterschiede sind hier nicht zu verzeichnen. Ihr **Nachteil** liegt eindeutig im **hohen Überwachungs- und Wartungsaufwand**, der von geschultem Personal durchgeführt werden sollte. Zudem ist meist der **Energiebedarf höher**. Die Rotationskörperanlagen sowie die Festbetтанlagen sind nur effizient, wenn man sie mit mehr als 5m³ Grauwasser/d betreibt. Ansonsten wäre der Energiebedarf zu hoch. Daher lohnt sich ihr Einsatz vor allem in größeren Gebäuden wie Hotel- und Sportanlagen oder öffentlichen Gebäuden. Bei der heutigen technischen Entwicklung im Bezug auf die Grauwasseraufbereitung ist die Ökwanne auf Grund ihrer zahlreichen Nachteile keine adäquate Möglichkeit mehr. Von ihrem Einsatz ist daher abzuraten.

Gerade für den privaten Haushalt ist die Anschaffung einer Grauwasseraufbereitungsanlage anhand einer Trinkwasserverbrauchsermittlung und einer Betriebswasserbedarfsermittlung zu prüfen. Welches Verfahren dann zum Einsatz kommt, hängt auch von der Verfügbarkeit der entsprechenden Anlagen, deren Kapazitäten und den Bedarfs- und Mengenermittlungen ab. Dies gilt auch für größere dezentrale Anlagen. In diesem Fall sollte ein Ingenieurbüro zu Rate gezogen werden. Dieses kann die Planung und Ausführung wirtschaftlich optimal durchführen.

7.2. Vor- und Nachteile der verschiedenen Aufbereitungsverfahren in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung

Im Folgenden werden die verschiedenen Verfahren in Abhängigkeit der angestrebten Nutzung gegenübergestellt. Zu den Nutzungsbereichen zählen Versickerung, Bewässerung, Toiletten-spülwasser, Waschmaschinenwasser im privaten Bereich und Waschmaschinen- und Spülwasser im öffentlichen Bereich.

Wird eine **Versickerung oder Einleitung** des aufbereiteten Grauwassers angestrebt, so sind **bepflanzte Bodenfilter oder Teichanlagen** am besten geeignet. Sie weisen geringe Betriebskosten und einen niedrigen Energiebedarf von circa 2 kWh/m³ Grauwasser auf. Der Wartungs- sowie Überwachungsaufwand ist relativ gering, somit sind sie mit wenig Aufwand zu betreiben. Die Qualität des Grauwassers, dass versickert oder in ein Gewässer eingeleitet wird, entspricht den Richtwerten der jeweiligen kommunalen Satzung, den Anforderungen der Abwasserverordnung und den Grenzwerten der Badegwässerrichtlinie der EU. Eine angeschlossene Hygienisierung wird empfohlen, da der Keimrückhalt nur eingeschränkt erfolgt. Der einzige Nachteil ist der hohe Flächenbedarf beider Verfahren.

Tabelle 54: Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Versickerung oder Einleitung in ein Gewässer: Vor- und Nachteile. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“, S.132.

Nutzung:	a) Versickerung b) Einleitung in das Gewässer	
Qualitätsanforderungen:	a) kommunale Satzungen b) Anforderungen der AbwV (AbwV, 2004)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Bodenfilter Teichanlagen	geringe Betriebskosten geringer Energiebedarf (2 kWh/m ³ Grauwasser)	Wasserwiederverwendung nur bedingt möglich hoher Platzbedarf eingeschränkte Keimrückhaltung möglich (ggf. Hygienisierung)

Für **Bewässerungszwecke** sind vor Allem bepflanzte Bodenfilter, Teichanlagen, Wirbelbettreaktoranlagen, Rotationstauchkörperanlagen und Membrananlagen geeignet. Auch hier gilt, dass sich die **naturnahen Verfahren** durch ihre geringen Betriebskosten, den geringen Wartungs- und Überwachungsaufwand und den geringen Energiebedarf auszeichnen. Der hohe Platzbedarf schränkt ihre Einsatzgebiete jedoch stark ein. Gerade private Haushalte verfügen meist nicht im nötigen Umfang über genügend Platz.

Die **technischen Verfahren** weisen keine großen Unterschiede auf. Alle Verfahren weisen einen geringen Platzbedarf auf. Das Membranverfahren hat die Nachteile, dass gerade die Betriebs- und Energiekosten sehr hoch sind. Daher eignet es sich eher für einen Betrieb, an dem viele Einheiten angeschlossen sind um die Betriebskosten und Energiekosten zu amortisieren. Eine Ausnahme stellt das Wirbelbettreaktorverfahren dar, da es ein sehr bekanntes Verfahren ist und man über genügend Betriebserfahrung verfügt. So kann der sichere Betrieb gewährleistet werden. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren am ehesten für die Grauwasseraufbereitung zur Bewässerung zu empfehlen.

Für alle Verfahren gilt, dass eine nachgeschaltete Hygienisierung empfehlenswert ist, damit die Anforderungen aller Klasse der DIN 19650 erfüllt werden und somit der Betrieb uneingeschränkt erfolgen kann.

Tabelle 55: Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Bewässerung: Vor- und Nachteile. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“, S.132.

Nutzung:	Bewässerung	
Qualitätsanforderungen:	DIN 19650 (DIN, 1999)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Bodenfilter Teichanlagen	geringe Betriebskosten geringer Energiebedarf (2 kWh/m ³ Grauwasser)	hoher Platzbedarf eingeschränkte Keimrückhaltung möglich (Hygienisierung erforderlich um Anforderungen aller Klassen nach DIN 19650 einzuhalten)
Wirbelbettreaktor	bekanntes Verfahren ausreichend Betriebserfahrung geringer Platzbedarf	ggf. Zusatzbehandlung erforderlich um Anforderungen aller Klassen nach DIN 19650 einzuhalten
Rotationstauchkörper	geringer Platzbedarf	evtl. Desinfektion erforderlich um die Anforderungen aller Klassen nach DIN 19650 einzuhalten

Nutzung:	Bewässerung	
Qualitätsanforderungen:	DIN 19650 (DIN, 1999)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Membranbioreaktor (MBR)	guter Keimrückhalt geringer Platzbedarf	hoher Energiebedarf hohe Betriebskosten

Zu den Verfahren, die am besten zur Nutzung des aufbereiteten Grauwassers als **Toilettenspülwasser** geeignet sind, zählen bepflanzte Bodenfilter, Teichanlagen, Wirbelbettreaktoranlagen, Rotationstauchkörperanlagen und Membranbioreaktoren.

Auch hier gilt, dass die **naturnahen Verfahren** durch die geringen Betriebs- und Energiekosten positiv hervortreten. Ihr Einsatzbereich wird jedoch durch den hohen Platzbedarf eingeschränkt. Die **technischen Verfahren** weisen alle einen geringen Platzbedarf auf. Hervorzuheben ist hier das Membranverfahren, das zudem eine gute Keimrückhaltung aufweist, durch seine hohen Energie- und Betriebskosten jedoch nur für größere Einheiten sinnvoll ist.

Bei allen anderen Verfahren ist eine nachgeschaltete Hygienisierung erforderlich.

Tabelle 56: Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Toilettenspülung: Vor- und Nachteile. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“, S.132.

Nutzung:	Toilettenspülung	
Qualitätsanforderungen:	Berliner Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“, (Berlin, 1995) EU - Badegewässerrichtlinie (EG, 2006)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Bodenfilter	geringe Betriebskosten	hoher Platzbedarf
Teichanlagen	geringer Energiebedarf (2 kWh/m ³ Grauwasser)	Desinfektion erforderlich eingeschränkte Keimrückhaltung möglich (Hygienisierung erforderlich)
Wirbelbettreaktor	geringer Platzbedarf	evtl. Desinfektion erforderlich
Rotationstauchkörper	geringer Platzbedarf	evtl. Desinfektion erforderlich
Membranbioreaktor (MBR)	guter Keimrückhalt geringer Platzbedarf	hoher Energiebedarf hohe Betriebskosten

Zur Nutzung des aufbereiteten Grauwasser in **Waschmaschinen im privaten Bereich** sind vor allem die **technischen Verfahren** zu empfehlen. Am besten geeignet sind dabei Wirbelbettreaktoren, Rotationstauchkörper und Membranbioreaktoren. Alle Verfahren weisen einen geringen Platzbedarf auf. Bei den Wirbelbettreaktoren und den Rotationstauchkörpern ist eine nachträgliche Desinfektion unbedingt erforderlich. Auf Grund ihrer relativ geringen Betriebs- und Energiekosten sind sie dem Membranbioreaktor vorzuziehen. Diese haben zwar den Vorteil einer sehr guten Keimrückhaltung, verbrauchen aber sehr viel Energie. Es ist zu empfehlen, eine Trinkwassermengen- und eine Betriebswasserbedarfsermittlung durchzuführen, bevor man den Einsatz des Membranbioreaktors in Erwägung zieht. Damit ist eine Gegenüberstellung der Kosten für die Anlage und der Kostenersparnis durch verringerte Trink- und Abwasserkosten möglich.

Tabelle 57: Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Nutzung in Waschmaschinen (privater Bereich): Vor- und Nachteile. Eigene Bearbeitung nach: WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009: „Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung“, S.133.

Nutzung:	Waschmaschine - privater Bereich	
Qualitätsanforderungen:	keine nutzungsspezifischen Anforderungen daher Rückgriff auf Berliner Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“, (Berlin, 1995)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Wirbelbettreaktor	geringer Platzbedarf	evtl. Desinfektion erforderlich
Rotationstauchkörper	geringer Platzbedarf	evtl. Desinfektion erforderlich
Membranbioreaktor (MBR)	guter Keimrückhalt geringer Platzbedarf	hoher Energiebedarf hohe Betriebskosten evtl. Desinfektion erforderlich

In folgender Tabelle sind die Verfahren aufgelistet, die für die Aufbereitung von Grauwasser zur Nutzung in **Wasch- und Spülmaschinen im öffentlichen Bereich** am besten geeignet sind. Es handelt sich **ausschließlich um technische Verfahren**, da sie einen geringen Platzbedarf aufweisen.

Mit Ausnahme des Membranverfahrens weisen alle aufgeführten Verfahren den Vorteil auf, dass das aufbereitete Grauwasser für alle Spülgänge geeignet ist. Nachteil der Verfahren ist, dass sie alle einen hohen Energiebedarf haben. Das Verfahren der Umkehrosmose ist definitiv nur für den Betrieb mit großen Mengen an anfallendem Grauwasser zu empfehlen, da es sonst zu unwirtschaftlich wird. Daher ist es nur für die Anwendung im industriellen Bereich zur

Betriebswasseraufbereitung geeignet. Mit dem Belebungsverfahren und anschließender Nanofiltration sowie dem MBR+RO-Verfahren sind derzeit noch keine Betriebserfahrungen vorhanden.

Generell ist die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser in diesem Bereich sehr schwierig, da im öffentlichen Bereich die hygienischen Anforderungen strenger sind als im privaten Bereich.

Tabelle 58: Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Nutzung in Wasch- und Spülmaschine (öffentlicher Bereich): Vor- und Nachteile. Eigene Bearbeitung nach: INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER RHEIN.-WESTF. TECHNISCHEN HOCHSCHULE AACHEN, 2008: Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, GWA 213 „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, e.V., Aachen 2008, S.75.

Nutzung:	öffentlicher Bereich	
	Waschmaschine (nur Waschgänge, Klarspülung mit Trinkwasser) Spülmaschine (nur Waschgänge, Klarspülung mit Trinkwasser)	
Qualitätsanforderungen:	keine nutzungsspezifischen Anforderungen daher Rückgriff auf: a) TrinkwV (TRINKwV, 2001) b) EU - Badegewässerrichtlinie (RL 76/160/EWG von 1975 bzw. RL 2006/7/EG von 2006)	
Verfahren:	Vorteile	Nachteile
Belebung + Nanofiltration	theoretisch sicherer Keimrückhalt für alle Wasch- und Spülgänge geeignet	hoher Energiebedarf hohe Betriebskosten keine Betriebserfahrung
Umkehrosmose (RO)	niedrige Salzgehalte sicherer Keimrückhalt für alle Wasch- und Spülgänge geeignet	nur für große Mengen wirtschaftlich hoher Energiebedarf nur industrielle Anwendung zur Betriebswasseraufbereitung hohe Betriebskosten
Membranbioreaktor (MBR)	sicherer Keimrückhalt erprobte Technik	hoher Energiebedarf evtl. Desinfektion erforderlich
MBR + RO	niedrige Salzgehalte sicherer Keimrückhalt für alle Wasch- und Spülgänge geeignet	hoher Energiebedarf hohe Betriebskosten keine Betriebserfahrung

7.3. Kostenbetrachtung und Wirtschaftlichkeit

Die **Wirtschaftlichkeit** hängt im Wesentlichen von den **Anlageninvestitions- und Betriebskosten** ab. Diese werden wiederum stark von den Anforderungen der Nutzer- und Randbedingungen beeinflusst. Zu ihnen zählen unter anderem der **Platzbedarf** und der **Betrieb** der Grauwasseranlage. Eine Anlage in einem Einfamilienhaus kann unter Berücksichtigung der Hygieneanforderungen weniger aufwendig gestaltet werden als eine Anlage, die mehrere Familien versorgt. So können sich vor allem dezentrale Anlagen innerhalb weniger Jahre amortisieren.

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit sind für jede Anlage die **Investitions- und Betriebskosten** der Grauwasseranlage den **eingesparten Kosten** auf Grund des verminderten Trinkwasserverbrauchs und Abwasseranfalls gegenüber zu stellen (vgl. Kapitel 2.2 Wasserver- und Entsorgungsgebühren).

Folgendes Beispiel zeigt das Einsparpotential an Trinkwasser bei Nutzung einer Grauwasseraufbereitungsanlage für einen 4-Personen-Haushalt. Geht man von einem Trinkwasserverbrauch von $125\text{l}/(\text{E}^*\text{d})$ (vgl. Kapitel 2.2) aus, so würden die Kosten für Trinkwasser bei rund $25\text{ Cent}/(\text{E}^*\text{d})$ liegen ($1,85\text{ Euro}/1.000\text{ l}$ im Jahr 2007, vgl. Kapitel 2.2). Im Jahr sind das rund 84 Euro . Der Grauwasseranfall in einem privaten Haushalt liegt in Deutschland zwischen 57 und $111\text{ l}/(\text{E}^*\text{d})$. Betrachtet man nur das Grauwasser aus Dusche/Badewanne und der Körperpflege, so handelt es sich um circa $48\text{ l}/(\text{E}^*\text{d})$ (vgl. Tabelle 4, Seite 26). Der Trinkwasserverbrauch wird bei Nutzung einer Grauwasseraufbereitungsanlage demnach auf $77\text{ l}/(\text{E}^*\text{d})$ reduziert. Bei einem Preis von $1,85\text{ Euro}/1.000\text{ l}$ Trinkwasser ergibt das einen Preis von rund $52\text{ Euro}/(\text{E}^*\text{a})$. Bei einem 4-Personen-Haushalt bedeutet das eine Ersparnis von rund $128\text{ Euro}/\text{a}$. Nicht mit einbezogen sind die Abwassergebühren, die sich ebenfalls verringern, und die Hausanschlussgebühren. Geht man davon aus, dass 155 l Abwasser/ (E^*d) (vgl. Kapitel 2.2: $2,28\text{ Euro}/1.000\text{ l}$ Abwasser und Jahreskosten von $129\text{ Euro}/(\text{E}^*\text{a}) \sim 56.578\text{ l}/(\text{E}^*\text{a}) \sim 155\text{ l}/(\text{E}^*\text{d})$ im Jahr 2005) anfallen und man pro Tag 48 l Grauwasser/ (E^*d) aus Dusche/Badewanne und Körperhygiene (vgl. Tabelle 4, Seite 26) durch eine Grauwassernutzungsanlage in der Kreislaufführung hält, so kann man durch Nutzung einer solchen Anlage von einem täglichen Abwasseraufkommen von $107\text{ l}/(\text{E}^*\text{d})$ ausgehen. Bei einem Preis von $2,28\text{ Euro}/1.000\text{ l}$ Abwasser (vgl. Kapitel 2.2 im Jahr 2005) ergibt das einen Preis von $89\text{ Euro}/(\text{E}^*\text{a})$. In einem 4-Personen-Haushalt kann man demnach pro Jahr 160 Euro an Abwassergebühren sparen. Das ergibt eine Gesamtersparnis von rund $288\text{ Euro}/\text{a}$ für eine 4-Personen-Haushalt durch den Einsatz einer Grauwassernutzungsanlage.

Folgende Tabelle 59 zeigt die spezifischen Kosten verschiedener Verfahren zur Grauwasseraufbereitung.

Tabelle 59: Spezifische Kosten unterschiedlicher Verfahren zur Grauwasseraufbereitung. Eigene Bearbeitung nach: INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER RHEIN.-WESTF. TECHNISCHEN HOCHSCHULE AACHEN, 2008: Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, GWA 213 „Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, e.V., Aachen 2008, S.76.

Systemkomponente	Auslegungshinweise und spezifische Kostenansätze	einwohnerspezifische Kosten
Leitungssystem		
Ableitungssystem	i.M. 9€/BGF ¹⁾ , Wohnfläche i.M. 30,8 m ² /E ²⁾	260€/E
Verteilungssystem	i.M. 15€/BGF ³⁾ , Wohnfläche i.M. 30,8 m ² /E ²⁾	450€/E
Nebenanlagen		
Druckerhöhungsanlage	Energiebedarf ca. 0,3 - 0,5 kWh/m ³ , i.M. 6 kWh/(E*a)	$IK_E = 103 * E^{-0,1257}$ in (€/E)
UV-Anlage	Energiebedarf ca. 0,04 - 0,1 kWh/m ³ , i.M. 1 kWh/(E*a), Verschleiß 66€/E*a)	$IK_E = 734 * E^{-0,2418}$ in (€/E)
Aufbereitungsanlage		
Teichanlage	A = 4 m ² /E und 250 - 1.200€/E Energiebedarf ca. 0,5 - 2 kWh/m ³ , i.M. 18 kWh/(E*a)	$IK_E = 21.653 * E^{-0,6164}$ in (€/E)
MBR + Ultrafiltration	V = 0,05 - 0,08 m ³ /E (Anlagen < 35 E) V = 0,03 - 0,05 m ³ /E (Anlagen > 35 E) Energiebedarf ca. 6 kWh/m ³ , i.M. 88 kWh/(E*a)	$IK_E = 1.6613 * E^{-0,4846}$ in (€/E)
SBR-Anlage	V = 0,067 - 0,1 m ³ /E Energiebedarf ca. 1 - 2,3 kWh/m ³ , i.M. 24 kWh/(E*a)	$IK_E = 958 * E^{-0,2418}$ in (€/E)
Rotationstauchkörper	V = 0,001 m ³ /E Energiebedarf ca. 0,5 - 2 kWh/m ³ , i.M. 18 kWh/(E*a)	$IK_E = 605,36$ €/E (Anlagen > 150 E), kleinere Anlagen wie SBR
Investitionskosten		
Gesamtinvestitionen ergeben sich je nach gewählter Technik aus der Summe: $GK_E = IK_{E, \text{Leitungssystem}} + IK_{E, \text{Nebenanlagen}} + IK_{E, \text{Aufbereitung}}$		
Betriebskosten		
Gesamtbetriebskosten ergeben sich je nach gewählter Technik aus der Summe: $GBK_E = BK_{E, \text{Energie(Nebenanlagen)}} + BK_{E, \text{Energie (Aufbereitung)}} + 3\% * GK_E$		
Randbedingungen für die Kostenabschätzung: <ul style="list-style-type: none"> • Haushaltsgrößen 2-4 Personen, Bemessungsgröße 3 Personen je Wohnungseinheit, 40 l/(E*d) werden an Grauwasser recycelt. • Betriebskosten: Energiekosten, 3% für Wartungsaufwand und Instandhaltung. • IK = Investitionskosten in €/E, Betriebskosten in (€/E*a), E = Einwohner. 		

¹⁾ Kostenkennwerte für Abwasserinstallationsarbeiten (Leitungen und Abläufe) gemäß Standardleistungsbuch (StlB; BKI, 2007).

²⁾ Einwohnerbezogene Bemessungsgrößen (zitiert aus BUCHERT ET AL., 2004).

³⁾ Kostenkennwerte für Gas- und Wasserinstallationsarbeiten (Leitungen und Armaturen) incl. Druckrohrleitungen Gas, Wasser Abwasser gemäß Standardleistungsbuch (StlB; BKI, 2007).

7.4. Abschließender Vergleich der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung

Anhand der in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Vor- und Nachteile der verschiedenen Grauwasseraufbereitungsverfahren erfolgt nun ein abschließender Vergleich. Dieser wird anhand einer Ordinalskala durchgeführt. Dabei werden den einzelnen Kriterien Werte von sehr gut (++) bis schlecht (--) zugeordnet.

Die Bewertungskriterien sind:

- Platzbedarf
- Reinigungsleistung (Betriebswasserqualität)
- Grauwasserquellen (Herkunft des Grauwassers)
- Wartungsaufwand (zeitlicher Aufwand durch Nutzer und Wartungskosten)
- Betriebswassernutzung (Anwendungsbereich)
- Energieverbrauch (Energieverbrauch pro m³ Grauwasser)

Tabelle 60: Abschließender Vergleich der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung.

	Platzbedarf	Reinigungsleistung	Grauwasserquellen	Wartungsaufwand	Betriebswassernutzung	Energieverbrauch
naturnahe Verfahren						
bepflanzter Bodenfilter	-	++	+	++	+	++
Teichanlage	--	++	+	++	+	++
technische Verfahren						
Tropfkörper	+	++	+	-	++	+
Rotationstauchkörper	+	++	+	-	++	-
Festbettanlage	+	++	+	-	++	-
Belebungsverfahren, kontinuierlich	++	+	o	--	++	--
SBR-Verfahren	++	+	o	-	++	--
Ökowanne	+	-	-	-	--	k.A.

++ = sehr gut

+ = gut

o = mittel

- = schlecht

-- = sehr schlecht

Grundsätzlich ist zu vermerken, dass je nach Bedarf und Einsatzort die passende Grauwasseraufbereitungsanlage zu Wählen ist. Daher ist es besonders wichtig, die vorherrschenden Gegebenheiten (zur Verfügung stehende Fläche, Betriebswasserbedarf, Trinkwasserverbrauch,

anfallende Grauwassermenge) genau zu prüfen und die Auswahl einer Anlage auf die Nutzungsbedingungen abzustimmen. Eine gute Planung und Beratung ist daher Grundvoraussetzung zur Wahl der Variante, die aus wirtschaftlicher Sicht am geeignetsten ist.

8. Ausblick

Vor dem Hintergrund, dass die **Wasserverfügbarkeit** in den verschiedenen Teilen der Welt so unterschiedlich ist und sehr starken Schwankungen unterliegt, wurde eingangs schon erwähnt, dass es in Zukunft die **Hauptaufgabe der Wasserwirtschaft** sein wird, **Ressourcen zu schützen**, die **Wasseraufbereitung zu verbessern** und **gezieltes Wassermanagement** zu betreiben. Die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser als Betriebswasser stellt für die Zukunft eine sehr effiziente Möglichkeit dar, Trinkwasser nachhaltig einzusparen.

Auch die **Auswirkungen des Klimawandels** werden deutlich zu spüren sein. Die Rohwasserqualität wird schlechter und das Wasserdargebot verringert sich. Das führt zu einer **Verstärkung des Konflikts der Wassernutzer** untereinander. Um die Versorgung mit Wasser in ausreichender Qualität und Menge auch in Zukunft sichern zu können, muss die Wasseraufbereitung verbessert und die Nutzung der Wasserressourcen effizienter gestaltet werden.

Gerade in diesem Zusammenhang stellt die **Grauwassernutzung** innerhalb der dezentralen Wasserver- und Entsorgung eine sehr gute Alternative dar, um den Wasserverbrauch zu senken. Die unterschiedlichen Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser können in alle Teile der Welt übertragen werden. Welche Anlage dabei zum Einsatz kommt, ist stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und Bedarf einer ausführlichen Beratung und Planung. Gerade in Entwicklungsländern sollte man derzeit auf die naturnahen Verfahren zurückgreifen. Sie bieten eine gute Reinigungsleistung bei geringem Wartungs- und Überwachungsaufwand, sodass die Anlagen von den Menschen vor Ort selbstständig betrieben werden können.

In **Deutschland** wird die Wasserwirtschaft vor ein weiteres Problem gestellt. Der Rückgang der Bevölkerung und der allgemeine Rückgang des Trinkwasserbedarfs hat erhebliche **Auswirkungen auf die Leitungssysteme**, die auf größere Kapazitäten ausgelegt sind. Hier besteht die Gefahr, dass die Leitungssysteme unterlastet werden, dass Wasser länger in den Leitungssystemen steht und damit das Risiko einer Verkeimung erhöht wird. Zusätzlich können sich gerade dadurch in den Abwasserleitungen Säuren und Gase bilden, die das Abwassernetz angreifen. Um dies zu vermeiden, werden die Leitungsnetze zusätzlich gespült. Das bedeutet wiederum, dass Abwasser verdünnt und somit die Reinigung in der Kläranlage zusätzlich erschwert wird. In der Wasserwirtschaft muss daher eine **Weiterentwicklung in Richtung Kreislaufführung der Stoffströme** vollzogen werden. Auch hier stellt das Grauwasserrecycling einen Teilschritt in diese Richtung dar.

Im Hinblick darauf sollte die Grauwasseraufbereitung in Zukunft ein wesentlicher Bestandteil bei der Kreislaufführung der Stoffströme werden und besser in die Planung integriert werden. Es mangelt vor allem an der **Aufklärung und Information der Bevölkerung** über diese Möglichkeit, Wasser gezielt auf diese Weise auch im eigenen Haushalt zu sparen. Durch gezielte Information und Aufklärung könnte zudem die **Akzeptanz gesteigert werden**. Eine Subventionierung, die ähnlich gelagert ist wie die der energetischen Sanierung von Häusern, könnte ein Anreiz für Wohnbaugesellschaften und Hausbesitzer sein, diese Art der Kreislaufführung in Zukunft bei Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Da ein nachträglicher Ausbau der notwendigen Leitungssysteme immer aufwendig und teuer ist, sollte bei Neuplanungen auf diese Möglichkeiten hingewiesen werden. Dabei können gerade die Kommunen mit guten Beispiel vorangehen und bei Neuplanungen aber auch Sanierungen die Grauwasseraufbereitung in ihr Konzept integrieren.

9. Quellen

9.1. Literaturquellen

ATT, BDEW, DBVW, DVGW, DWA UND VKU, 2008

„Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008.“, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser GmbH, Bonn 2008.

ATV-HANDBUCH 4.AUFLAGE, 1997

„Biologische und weitergehende Abwasserreinigung.“, Abwassertechnische Vereinigung e.V., Bad Hoenf, 1997.

BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V., 2010

„Wasserfakten im Überblick - Stand Januar 2010.“

DVGW, 2010

„Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien - eine Information des DVGW Lenkungs Komitees Wasserwirtschaft, Wassergüte, Wasserwerke und Wasserversorgungssysteme.“, Zeitschrift Energie/Wasser-Praxis 03/2010.

DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V., 2005

„DWA Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 201 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunales Abwasser.“, Bad Hoenf, 2005.

EUROPÄISCHE NORM EN 12056-1, 2000

„Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen.“, Juni 2000.

FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 1999

„fbr 5: Grauwasser-Recycling“; Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 1999

FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2001

„fbr 7: „Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke - Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchung.“ Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.; Darmstadt 2001.

FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V., 2005

„fbr-Hinweisblatt H 201: Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebshinweise.“, Fachvereinigung für Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., Darmstadt April 2005.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V. (FLL), INGENIEURÖKOLOGISCHE VEREINIGUNG (IÖV), 2008

„Empfehlung für Planung, Bau, Pflege/Wartung und Betrieb von Pflanzenkläranlagen.“, Gelbdruck, 2008.

GESETZ ÜBER ABGABEN FÜR DAS EINLEITEN VON ABWASSER IN GEWÄSSER

(Abwasserabgabengesetz - AbwAG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18.Januar 2005 (BGBl. I S.115), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 31.Juli 2009 (BGBl. I, Nr. 51, S.2585) in Kraft getreten am 1. März 2010: §2 Abs. 1-2.

GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 215, 2008

„2.Aachener Kongress - Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29.Oktober 2008 im Europäischen Kongress Aachen.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008.

HAMBURGER BERICHTE ZUR SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 47, 2004

„Grauwasserbehandlung und -wiederverwendung - Untersuchung zur höherwertigen Wiederverwendung von Grauwasser in Verbindung mit teilstromorientierten ökologischen Sanitärkonzepten.“ Zifu Li, Gesellschaft zur Förderung der Forschung und Entwicklung der Umwelttechnologie an der Technischen Universität Hamburg-Harburg 2004.

HERBST, H.-B. IN GEWÄSSERSCHUTZ - WASSER - ABWASSER 213, 2008

„Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme.“, Herausgegeben vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2008.

LANGE, J.; OTTERPOHL, R., 2000

„Abwasser - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft.“, BETON GmbH Donaueschingen-Pföhren, Mall-Beton-Verlag 2000.

PIELOW, H., 2009

„Ökologische Industriepolitik zur Förderung von Innovationen, Mittelstand und Beschäftigung.“, fbr Schriftenreihe 12 Grauwasser-Recycling - Wasser zweimal nutzen, Darmstadt 2009.

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009

„Statistisches Jahrbuch 2009“, Wiesbaden 2009, S.301-303.

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2009

„Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung.“, Fachserie 19 Reihe 2.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009.

UMWELTBUNDESAMT, 2007

„Soziodemographischer Wandel in Städten und Regionen - Entwicklungsstrategien aus Umweltsicht.“, UBA-Texte 18/07, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.v., Dresden.

UNESCO, 2003

„Water for people, Water for life - UN World Water Development Report.“, Bonn 2003.

UNESCO, 2003

„Water for people, Water for life - UN World Water Development Report.“, Bonn 2003.

WEITERBILDENDES STUDIUM WASSER UND UMWELT, 2009

„Neuartige Sanitärsysteme - Begriffe, Stoffströme, Behandlung von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.“ Lehrmaterial der Bauhaus-Universität mit freundlicher Genehmigung der DWA, Februar 2009.

9.2. Online-Quellen

BERLIN INSTITUT FÜR BEVÖLKERUNG UND ENTWICKLUNG

„Weltbevölkerung, Wasserdargebot und Wassernachfrage.“ von Udo Simonis, <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/umwelt/wasser.html>, Stand 25.05.2010.

DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG

„Weltbevölkerung und Wasser - Wasser wird immer knapper.“, DSW-Info, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.dpf, Stand 25.05.2020.

DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG

„Weltbevölkerung und Wasserknappheit.“, http://www.dsw-online.de/pdf/fs_wasser.pdf, Stand 25.05.2010.

DIPL.-ING. ULF ENGFER, 2007

„Projektbeschreibung - Wasseraufbereitungsanlage für Regen- und Grauwasser in der Stadt Same, Republik Tansania (Ostafrika).“, 12.04.2007, http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/tl_files/Bilder/Tansania/Projektbeschreibung.pdf, Stand 10.09.2010.

DVGW, 2007

„Klimawandel und Wasserversorgung.“, DVGW-Forum, 18. Oktober 2007, Bonn, <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/ressourcen/klimawandel.pdf> (Stand 20.05.2010).

http://www.abwasser.zh.ch/internet/bd/awel/ga/aw/de/wissenswertes/misch_trennsystem.html, Stand 10.06.2010

http://www.the-gnu.net/tansania/tansania_klima.shtml, Stand 10.09.2010.

MEMBRANANLAGEN-MEMBRANVERFAHREN

http://www.membranverfahren.info/html/body_membrananlagen-membranverfahre.html; Stand 29.08.2010.

TRINKWASSER SANTÉ EAU POTABLE

http://www.trinkwasser.ch/dt/frameset.htm?html/weltwasser/weltwas_verfuegbar_01.htm~mainFrame, Stand 10.09.2010.

WASSERTECHNIK NORD

<http://www.wassertechnik-nord.eu/cms/index.php/wasser-fuer-tansania.html>, Stand 10.09.2010

WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010

„Abwasserteiche.“, <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/a/abwasserteich.htm>, Stand 05.08.2010.

WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010

„Definition Sedimentation.“, <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/s/sedimentation.htm>; Stand 04.08.2010.

WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010

„Flotation - Entspannungsflotation.“, <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/e/entspannungsflotation.htm>, Stand 04.08.2010.

WASSER WISSEN - DAS INTERNETPORTAL FÜR WASSER UND ABWASSER, 2010

„Sequenzing Batch Reactor“; <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/s/sequencingbatchreactor.htm>, Stand 09.08.2010

10. Abbildungsverzeichnis

Abb1.:	Globale Übersicht des Anteils am verfügbaren Süßwasser im Vergleich zum Anteil an der Bevölkerung.	Seite 2
Abb.2:	Weltbevölkerung und Wasserknappheit.	Seite 6
Abb.3:	Wachstums- und Schrumpfungsgebiete in Deutschland (1993-2002).	Seite 8
Abb.4:	Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen eines verringerten Wasserverbrauchs auf die Trinkwasserversorgung/Trinkwasserleitungen.	Seite 9
Abb.5:	Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen des verringerten Trinkwasserverbrauchs auf die Abwasserleitungen/ Abwasserbehandlung.	Seite 10
Abb.6:	Wassernutzung in Deutschland 2007.	Seite 11
Abb.7:	Entwicklung der Wasserförderung 1990-2007 in Millionen Kubikmeter.	Seite 12
Abb.8:	Öffentliche Wasserversorgung in Deutschland - Wasserabgabe nach Kundengruppen 1990 und 2007.	Seite 13
Abb.9:	Prognose und tatsächliche Entwicklung des Haushaltswasserverbrauchs in Litern pro Einwohner und Tag.	Seite 14
Abb.10:	Pro-Kopf-Wasserverbrauch im europäischen Vergleich.	Seite 15
Abb.11:	Kostenstruktur in der Wasserversorgung 2004.	Seite 18
Abb.12:	Kostenstruktur in der Abwasserentsorgung 2005.	Seite 18
Abb.13:	Anwendung der Gebührenmaßstäbe im Jahr 2005.	Seite 20
Abb.14:	Oben: Beispiel für ein Warnschild „Kein Trinkwasser“ zur Kennzeichnung von Entnahmestellen, die mit Betriebswasser gespeist werden.	Seite 48
Abb.15:	Rechts: Beispiel für die Kennzeichnung einer Toilette, die mit behandeltem Grauwasser betrieben wird.	Seite 48
Abb.16:	Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem.	Seite 56
Abb.17:	Urintrennung 3-Stoffstromsystem.	Seite 58
Abb.18:	Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten).	Seite 60
Abb.19:	Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoiletten).	Seite 62
Abb.20:	Tagesgang über den Grauwasserzulauf (Badewanne, Duschen und Handwaschbecken aus Hotel-Gästezimmern) und den Betriebswasserbedarf in den Gästezimmern zur Toilettenspülung.	Seite 67
Abb.21:	Verfahrensskizze Sedimentation.	Seite 72
Abb.22:	Verfahrensskizze Kiesfiltration.	Seite 73
Abb.23:	Verfahrensskizze Flotationsanlage.	Seite 74
Abb.24:	Schematische Darstellung eines bepflanzten Bodenfilters.	Seite 79
Abb.25:	Verfahrensskizze unbelüftete Teichanlage.	Seite 82

Abb.26:	Verfahrensskizze einer Ökowanne.	Seite 83
Abb.27:	Verfahrensskizze einer konventionellen Belebungsanlage.	Seite 87
Abb.28:	Verfahrensskizze Sequenzing-Batch-Reactor.	Seite 90
Abb.29:	Verfahrensskizze Tropfkörperverfahren.	Seite 94
Abb.30:	Verfahrensskizze Rotationstauchkörper.	Seite 98
Abb.31:	Verfahrensskizze getauchtes Fettbett.	Seite 100
Abb.32:	Verfahrensskizze Membranbioreaktor.	Seite 104
Abb.33:	Lageplan der Grauwasseraufbereitungsanlage Kassel „Hasenhecke“.	Seite 123
Abb.34:	Raum- und Aufstellplan der Grauwasserbehandlungsanlage in Kassel „Hasenhecke“.	Seite 124
Abb.35:	Darstellung der Mess- und Probenahmestellen der Grauwasseraufbereitungsanlage Kassel „Hasenhecke“.	Seite 129
Abb.36:	Lage der Probenahmestellen im Betriebswassernetz der Grauwasseranlage Kassel „Hasenhecke“.	Seite 129
Abb.37:	Tagesgang des Betriebswasserverbrauchs Kassel „Hasenhecke“.	Seite 139
Abb.38:	Grauwasser-Dargebot in Kassel „Hasenhecke“.	Seite 139
Abb.39:	Lageplan der Grauwasseraufbereitungsanlage, Same, Tansania.	Seite 151

11.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Teilströme des häuslichen Schmutzwassers.	Seite 23
Tabelle 2:	Frachten unterschiedlicher Stoffe in den Einzelstoffströmen des häuslichen Schmutzwassers.	Seite 24/25
Tabelle 3:	Bakteriologische Belastung der Stoffströme häusliches Schmutzwasser.	Seite 26
Tabelle 4:	Anfallende Grauwassermengen im häuslichen Bereich nach Quellen und Ländervergleich.	Seite 28/29
Tabelle 5:	Chemisch-physikalische Beschaffenheit von Grauwasser nach Herkunftsbereich.	Seite 30/31
Tabelle 6:	Konzentrationen ausgewählter Nährstoffe im Grauwasser nach Herkunftsbereich.	Seite 31
Tabelle 7:	Mikrobielle Belastung von Grauwasser nach Herkunftsbereich.	Seite 32
Tabelle 8:	Schwermetallbelastungen des Teilstroms Grauwasser.	Seite 33
Tabelle 9:	Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser (schwach belastet, d.h. ohne Küche und Waschmaschine.	Seite 34
Tabelle 10:	Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser aus der Küche (stark belastet).	Seite 34
Tabelle 11:	Qualitätsanforderungen an die Betriebswassernutzung in Gebäuden.	Seite 36
Tabelle 12:	EU-Richtlinie über die Qualität von Badegewässern.	Seite 37
Tabelle 13:	Qualitätsanforderungen für die Toilettenspülung im Ländervergleich.	Seite 38/39
Tabelle 14:	Qualitätsanforderungen für eine uneingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser.	Seite 41/42
Tabelle 15:	Qualitätsanforderungen für eine eingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser.	Seite 42/43
Tabelle 16-1:	Gegenüberstellung verschiedener Qualitätsanforderungen für Trinkwasser und Badegewässer.	Seite 45
Tabelle 16-2:	Gegenüberstellung verschiedener Qualitätsanforderungen für Trinkwasser und Badegewässer.	Seite 45
Tabelle 17:	Anforderungen an gereinigtes häusliches und kommunales Abwasser aus Kläranlagen zur Versickerung.	Seite 47
Tabelle 18:	Regelwerkübersicht: Ableitung innerhalb von Gebäuden.	Seite 49
Tabelle 19:	Regelwerkübersicht: Ableitung außerhalb von Gebäuden.	Seite 50

Tabelle 20:	Ableitungssysteme für unterschiedliche Grauwasserteilströme und Versorgungssysteme für Brauchwasser innerhalb von Gebäuden.	Seite 52
Tabelle 21:	Ableitungssysteme für unterschiedliche Grauwasserteilströme und Versorgungssysteme für Brauchwasser außerhalb von Gebäuden.	Seite 53
Tabelle 22:	Unterteilung von Abwasserinfrastruktursystemen in Systemgruppen.	Seite 54
Tabelle 23-1:	Möglichkeiten des Verbleibs der Produkte aus den Systemdarstellungen.	Seite 63
Tabelle 23-2:	Möglichkeiten des Verbleibs der Produkte aus den Systemdarstellungen.	Seite 64
Tabelle 24:	Überblick über die Verfahren zur Grauwasseraufbereitung.	Seite 70
Tabelle 25:	Erzielte Betriebswasserqualität des Ablaufs eines bepflanzten Bodenfilters mit Vergleich der Grenzwerte der Qualitätsanforderungen.	Seite 78
Tabelle 26:	Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Aqua-Cycle und ein Vergleich mit Grenzwerten und Qualitätsanforderungen.	Seite 86
Tabelle 27:	Unterschiede zwischen einer konventionellen Belebungsanlage und einer SBR-Anlage.	Seite 91
Tabelle 28:	Erzielte Betriebswasserqualität des Rotationstauchkörpers im Arabella-Sheraton Hotel/Offenbach und ein Vergleich mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen.	Seite 97
Tabelle 29:	Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Membranbioreaktor (Micro Clear, Firma GEO-Terra/aixAQUA) Gegenüberstellung mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen (verändert GEO TERRA, 2007)	Seite 103
Tabelle 30-1:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser.	Seite 105/106
Tabelle 30-2:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser.	Seite 107/108
Tabelle 30-3:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser.	Seite 109/110
Tabelle 31-1:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser.	Seite 111/112
Tabelle 31-2:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser.	Seite 113/114

Tabelle 31-3:	Übersichtstabelle über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser.	Seite 115/116
Tabelle 32:	Die wichtigsten Eigenschaften von Quecksilber-Niederdruck- und Mitteldruckstrahlern.	Seite 119
Tabelle 33:	Überblick über den zeitlichen Ablauf des Gesamtprojekts Kassel „Hasenhecke“.	Seite 124
Tabelle 34:	Einstellungen der Verbrauchssimulation, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 127
Tabelle 35:	Analyseumfang an den Probenahme- und Messstellen, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 128
Tabelle 36:	Übersicht zu den Untersuchungszeiträumen für die einzelnen Parameter, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 130
Tabelle 37:	Zulaufkonzentrationen von CSB ₅ und BSB, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 130
Tabelle 38:	Zulaufkonzentrationen TOC und AFS, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 131
Tabelle 39:	Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Zulauf der Grauwasseranlage, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 132
Tabelle 40:	Einwohnerspezifische Frachten und organische Belastung, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 133
Tabelle 41:	Vorkommen pathogener Mikroorganismen in der Grauwasseranlage, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 136
Tabelle 42:	Übersicht über die organische Belastung des aufbereiteten Grauwassers (mg/l), Kassel „Hasenhecke“.	Seite 136
Tabelle 43:	Belastung des aufbereiteten Grauwassers mit <i>Escherichia coli</i> , Coliformen, Fäkalstreptokokken und <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (KBE/100 ml) im Vergleich zu Richtwerten des Berliner Merkblattes und der EU-RL 76/160 EG, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 137
Tabelle 44:	Stromverbrauchsstellen der Grauwasseranlage, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 140
Tabelle 45:	Wartungsmaßnahmen im Zeitraum zwischen 1996 und 2000, Kassel „Hasenhecke“.	Seite 141-143
Tabelle 46:	Betriebskosten der Grauwasseranlage Kassel-Hasenhecke bei einem Durchsatz von 3.000 Liter pro Tag Betriebswasser.	Seite 144
Tabelle 47:	Investitionskosten Grauwasseranlage Kassel-Hasenhecke (Brutto, DM).	Seite 145
Tabelle 48:	Täglicher Wasserbedarf, Same; Tansania.	Seite 149
Tabelle 49:	Täglicher Nutzwasserbedarf (geschätzt), Same; Tansania.	Seite 149
Tabelle 50:	Dachregenwasser (Minimum), Same; Tansania.	Seite 149
Tabelle 51:	Grauwasser aus den Wohnhäusern, Same; Tansania.	Seite 150

Tabelle 52:	Gegenüberstellung der Projekte Kassel „Hasenhecke“ und Same, Tansania.	Seite 157-159
Tabelle 53:	Darstellung der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung: Vor- und Nachteile.	Seite 160-162
Tabelle 54:	Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Versickerung oder Einleitung in ein Gewässer: Vor- und Nachteile.	Seite 163
Tabelle 55:	Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Bewässerung: Vor- und Nachteile.	Seite 164/165
Tabelle 56:	Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Toilettenspülung: Vor- und Nachteile.	Seite 165
Tabelle 57:	Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Nutzung in Waschmaschinen (privater Bereich): Vor- und Nachteile.	Seite 166
Tabelle 58:	Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser zur Nutzung in Wasch- und Spülmaschine (öffentlicher Bereich): Vor- und Nachteile.	Seite 167
Tabelle 59:	Spezifische Kosten unterschiedlicher Verfahren zur Grauwasseraufbereitung.	Seite 169
Tabelle 60:	Abschließender Vergleich der Verfahren zur Grauwasseraufbereitung.	Seite 170