

Projektbericht

Bewusster Umgang mit Wasser



Autoren: Roland Fuchsberger
Manuel Philipp
Tobias Renz
Elisabeth Schmidt
Axel Stürmer

Tutor: Daniel Wolf

Mentor: Prof. Dr. Dr.-Ing. Drs. h.c. Peter Wilderer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
2 Neuartige Sanitärsysteme in der Wasserwirtschaft	3
2.1 Leitbild der dezentralen Abwasserbehandlung	3
2.2 Grauwassernutzung	4
2.2.1 Einführung	4
2.2.2 Pflanzenkläranlagen	6
2.2.3 Membrankläranlagen	12
2.2.4 Qualitätsanforderungen	16
2.3 Regenwassernutzung	18
2.3.1 Motivation	18
2.3.2 Regenwasserbeschaffenheit	18
2.3.3 Regenwassernutzungsanlage	19
2.3.4 Versickerung	23
2.4 Separation von Abwasserteilströmen	26
2.4.1 Separationstoiletten	26
3 Praktische Umsetzungen in unterschiedlichen Projektgrößen	31
3.1 Wasserautarkes Grundstück	32
3.2 Pilotprojekte	33
3.2.1 Vorstellung eines wasserautarken Bürogebäudes	33
3.2.2 Pilotprojekt Christophorus Haus	39
4 Auswertung der Umfrage	41
4.1 Ergebnisse	41
4.2 Schlussfolgerungen aus den Umfrageergebnissen	45
5 Zusammenfassung	46
Literaturverzeichnis	47
Appendix	51
A Bearbeiter	51

B Fragebogen

52

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes in einem Privathaus mit Kleinkläranlage	4
2.2	Schematische Darstellung bepflanztter Bodenfilter	7
2.3	Black Box eines beplantzten Bodenfilters	7
2.4	Horizontal und vertikal durchströmte Pflanzenbodenfilter	8
2.5	Bewachsener Bodenfilter	10
2.6	Black Box einer Membrankläranlage	13
2.7	Funktionsweise eines Membranfilters	14
2.8	Aggregateinheit der MembraneClearBox®	14
2.9	erreichte CSB-Werte mit der MembraneClearBox®	15
2.10	Prinzipsskizze einer Regenwasser-Nutzungsanlage	20
2.11	3P Patronenfilter vom Hersteller 3 P Technik Filtersysteme GmbH	20
2.12	Regenwasser-Erdtank Carat von der Firma Otto Graf GmbH	21
2.13	Tauchmotorpumpe Fontana S von der Firma Mall GmbH	22
2.14	Füllkörper-Rigolenversickerung ENREGIS/X-Box®der Firma ENREGIS GmbH	24
2.15	Rohr-Rigole Sicku-pipe 300 VS vom Hersteller Fränkische Rohrwerke GmbH und Co. KG	25
2.16	VS-Schachtsystem DN 400 der Firma Otto Graf GmbH	25
2.17	ROEDIGER Toilettenschüssel	27
2.18	ROEDIGER Trenntoilette	27
2.19	Funktionsprinzip der Toilette	28
2.20	SILENTIUM Vakuumtoilette Wandmodell	30
3.1	Die Trinkwasseraufbereitung mit „RainSafe“	37
3.2	Demographischer Wandel	38
3.3	Das Christophorushaus in Stadtl-Paura, Oberösterreich	40
3.4	Schema der Grauwasseraufbereitung, Regenwassersammlung und Brauchwassernutzung im Chritophorushaus	40
4.1	Antworten auf die Frage: „Welche der genannten Technologien sind Ihnen geläufig?“	43

4.2	Antworten auf die Frage: „Für welche der folgenden Verwendungszwecke würden Sie aufbereitetes Abwasser aus Ihrer Kleinkläranlage nutzen? (vorausgesetzt, das Wasser genügt den erforderlichen Qualitätsansprüchen)“	43
4.3	Antworten auf die Frage: „Aus welchen Gründen würden Sie sich für das von uns vorgestellte Gesamtkonzept entscheiden?“	44
4.4	Antworten auf die Frage: „Welche Bedenken haben Sie gegenüber dieser Technologie?“	44
B.1	Quantitativer Fragebogen	53

1 Einleitung

Die Erde wird zu dreiviertel Wasser bedeckt, jedoch kann davon nur 1 Prozent als Trinkwasser genutzt werden. Die Wasserversorgung mit Trinkwasser ist ein Grundbedürfnis eines jeden Menschen. Dennoch haben momentan 1,1 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Des Weiteren müssen 2,4 Milliarden Menschen ohne Sanitäranlagen auskommen und das Abwasser von circa 4 Milliarden Menschen wird nicht gereinigt, sondern direkt in Gewässer eingeleitet. In den letzten 50 Jahren ist zusätzlich der Wasserverbrauch um das dreifache angestiegen. Dabei werden 20 Prozent des Wasserbedarfs mit Grundwasser gedeckt. Dieser Anteil wächst rapide, was die jetzt schon dramatische Grundwassersenkung weiter drastisch erhöht. Die Wasserproblematik wird zusätzlich durch die wachsende Weltbevölkerungen und den Klimawandel verschärft [8].

Den Wasserbedarf der Menschheit sicher zu stellen sowie einen Zugang zu Sanitäranlagen zu gewährleisten stellt eine enorme Herausforderung an die Infrastruktur dar. Bei der bestehenden Infrastruktur sind die Spültoiletten an eine zentralisierte Kläranlage angeschlossen, welche das Wasser wiederaufbereitet und in lokale Gewässer zurückführt. Diese Infrastruktur erfordert einen hohen baulichen und betrieblichen Aufwand, ist sehr unflexibel und für den einmaligen Gebrauch von Wasser ausgelegt [18]. Zusätzlich gehen in Industriestaaten bei der Trinkwasserversorgung 25 Prozent durch undichte Rohrleitungen verloren, in Entwicklungsländer gehen sogar 50 Prozent verloren [8].

Der wachsende Konsens ist, dass diese Infrastruktur weder wirtschaftlich sinnvoll noch für die Umwelt nachhaltig ist. Außerdem kann diese Infrastruktur schon aus Kostengründen kein Modell für Schwellen- und Entwicklungsländer sein. Um zukünftigen Herausforderungen wie dem Wassermangel, den erhöhten Ansprüchen an den Gewässerschutz, den steigenden Rohstoff- & Energiepreisen sowie dem demografischen Wandel entgegen zu treten, ist ein Paradigmenwechsel zu neuartigen Sanitärsystemen notwendig [18].

Für diese Systeme sollten innovative Techniken verwendet werden und eine ganzheitliche technische Systemlösung gefunden werden, welche kostengünstiger, energieschonender und für die Wiederverwendung von Abwasser ausgelegt sind. Dadurch sollte die systemische Vernetzung der Ressource Wasser mit den Sektoren Energie-,

Abfall- und Landwirtschaft erfolgen [8]. Wichtige Kriterien für neuartige Sanitärkonzepte sind Endnutzerkomfort, Prozessstabilität, Kosten, Trinkwasserbelastung und Hygiene. Zusätzlich gewinnen ressourcenorientierte Aspekte immer mehr an Bedeutung. Außerdem ist laut Expertenbefragungen eine erfolgreiche Einführung dieser Systeme wesentlich an die Akzeptanz des Nutzers gebunden [6, 19].

In diesem Bericht wird in Kapitel 2 ein Überblick über neuartige Sanitärsysteme gegeben. Dabei wird die Grauwassernutzung mit Pflanzenkläranlagen und Membrankläranlagen vorgestellt, die Regenwassernutzung beschrieben und Möglichkeiten zur Separation von Abwasserteilströmen vorgestellt. Anschließend werden beispielhaft in Kapitel 3 zwei praktische Umsetzungen vorgestellt. Des Weiteren wird in Kapitel 4 die Auswertung der Fragebögen präsentiert, welche Aufschluss über die Akzeptanz der Nutzer für neuartige Sanitärsysteme geben.

2 Neuartige Sanitärsysteme in der Wasserwirtschaft

In diesem Kapitel wird auf die unterschiedlichen Technologien eingegangen, mit Hilfe derer Wasser eingespart werden kann. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Grauwasseraufbereitung gelegt, deren Verbreitung in den vergangenen Jahren stark zugenommen hat. Daneben wird auf die Nutzungsmöglichkeiten von Regenwasser und die Aufbereitungsmöglichkeiten von Abwasserteilströmen durch Separationstoiletten eingegangen.

2.1 Leitbild der dezentralen Abwasserbehandlung

Dezentrale Lösungen der Siedlungsentwässerung und ihre Erforschung fanden in der Vergangenheit eher im kleinen Rahmen statt und wurden vom Großteil der Fachwelt kaum beachtet. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass bereits vor mehr als 100 Jahren mit immensen Investitionen in Forschung, Entwicklung und Bau zentral organisierter großtechnischer Systeme (Schwemmkanalisation, Kläranlagen) eine andere Richtung eingeschlagen wurde. Erst in den letzten Jahren begann, durch die Erhöhung der Wasser- und Abwassergebühren, den vielfältigen Nachholbedarf in den neuen Bundesländern und die zunehmende Gegenwehr von Bürgern gegen Bestrebungen auch dünn besiedelte Bereiche mit immensen Kosten zentral zu kanalisieren, das Interesse an dezentralen Lösungen zu wachsen. Schon aus wirtschaftlichen Gründen ist ein Teil der Bevölkerung nicht an eine Kanalisation anschließbar (in den alten Bundesländern bis zu zehn %, in den neuen Bundesländern bis zu 30 %). Insbesondere in Bundesländern wie zum Beispiel Schleswig-Holstein, wo eine weitgehende Kanalisation des ländlichen Raumes unfinanzierbar wäre, sind deshalb schon früh Untersuchungen vorgenommen worden, wie Haus- und Kleinkläranlagen so gebaut, saniert oder erweitert werden können, dass der Einfluss des Abwassers auf Grund- und Oberflächenwasser so gering wie möglich bleibt (vgl. Abbildung 2.1). An Einzelinitiativen zu bestimmten alternativen Verfahren fehlt es daher nicht. Die baldige Aufarbeitung der bisher gesammelten Erfahrungen und die Auswertung der Ergebnisse aus Pilotprojekten (siehe Kapitel 3) sind

wesentliche Voraussetzungen für eine wirtschaftliche und ökologisch sinnvolle Abwägung [13].

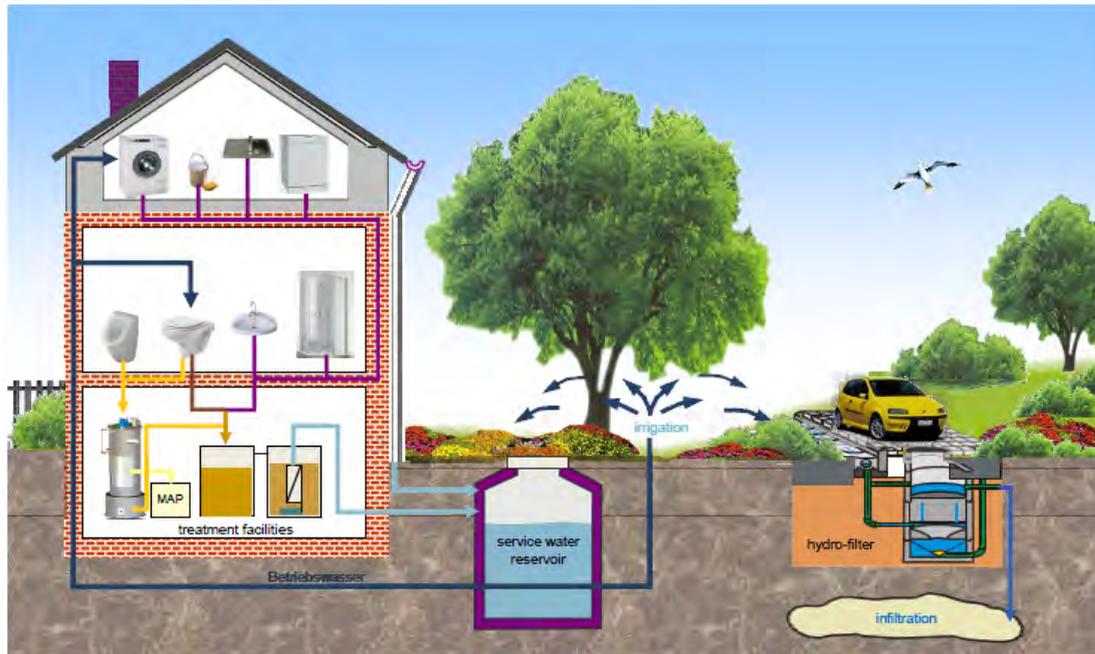


Abb. 2.1: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes in einem Privathaus mit Kleinkläranlage [35]

2.2 Grauwassernutzung

2.2.1 Einführung

Definition Grauwasser

Im häuslichen Bereich fällt Abwasser hauptsächlich in zwei unterschiedlichen Verschmutzungsgraden als sogenanntes Grau- und Schwarzwasser an. Grauwasser ist der Teil des häuslichen Schmutzwassers, der frei von Fäkalien und hochbelastetem Küchenabwasser ist. Es handelt sich um den relativ geringen Abfluss von Bade- und Duschwannen, Waschtischen und eventuell Waschmaschinen. Grauwasser ist eine natürliche Ressource, die Trinkwasser in vielen Bereichen ersetzen kann. Neben Grauwasser entsteht im häuslichen Bereich Schwarzwasser. Das Schwarzwasser ist das über die Toiletten und Küchenspülen ablaufende Wasser, das durch Fäkalien, Urin, Speisereste etc.

stark verschmutzt ist (Ansätze für deren Verwendung siehe Kapitel 2.4.1) [1].

Verschmutzung

Grauwasser ist Wasser, das durch den Gebrauch mit Schmutzstoffen angereichert wurde. Die Schmutzstoffe resultieren aus Körperpflegemitteln, Waschmitteln, Körperschmutz sowie aus verschmutzter Wäsche. Es handelt sich um organische Stoffe wie Lipide, Kohlenhydrate und Proteine sowie um anorganische Inhaltsstoffe wie Phosphor- und Stickstoffverbindungen sowie Salze. Zudem sind grobdisperse Stoffe wie Haare und Fasern im Grauwasser enthalten. Der Name Grauwasser ergibt sich aus den feinverteilten abbaubaren Stoffen, die in der Regel im benutzten Wasser enthalten sind. Die Verschmutzung des Grauwassers ist abhängig von der Art der vorangegangenen Verwendung. Die Schmutzbelastung nimmt vom Badewannen- über das Dusch-, das Handwaschbecken bis zum Waschmaschinenablaufwasser zu. Das Küchenabwasser (Spüle, Geschirrspülmaschine) ist in der Regel am stärksten belastet. Aus diesen Überlegungen heraus kann Grauwasser zweckmäßigerweise in verwendungswürdiges (schwach belastetes Grauwasser) und nicht verwendungswürdiges (stark belastetes Grauwasser) differenziert werden. Grauwasser aus Waschmaschinen ist in der Regel basisch (pH-Werte zwischen pH 9,3 und pH 10), während der pH-Wert aus den Herkunftsbereichen Küche, Bad und Dusche generell in einem Bereich zwischen pH 5 und pH 8,6 liegt. Die Verwendung von Bade- und Duschgrauwasser alleine (schwach belastetes Grauwasser) ist daher einfacher als die Aufbereitung von Wasser aus der Waschmaschine (stark belastetes Grauwasser) [1][6].

Wiederverwendung

Aufgrund der täglichen Körperhygiene fällt das Grauwasser in einem Haushalt kontinuierlich an und ist abhängig von den Lebensgewohnheiten der Haushaltsmitglieder. Im Durchschnitt fallen in Deutschland circa 55 Liter Grauwasser pro Tag und Person aus Waschbecken, Badewanne und Dusche an. Diese Menge entspricht in etwa der Betriebswassermenge, d.h. das Grauwasser, das gesammelt und aufbereitet wird. Das Betriebswasser wird in der Regel für die Toilettenspülung verwendet, in manchen Fällen auch für die Waschmaschine oder zur Gartenbewässerung. Somit wird der Trinkwassereinsatz an dieser Stelle stark reduziert [1]. Auch eine Versickerung oder Einleitung in Gewässer ist möglich. Die Auswahl der beschriebenen Nutzungen hat aufgrund der jeweiligen spezifischen Anforderungskriterien (siehe Kapitel 2.2.4) einen erheblichen Einfluss auf den Umfang der Aufbereitung. Im Vordergrund der Behandlung von Grauwasser mit dem Ziel der Wiederverwendung stehen:

- Entfernen von gesundheits- und umweltschädlichen Substanzen
- Beseitigung von Schwebstoffen, die ein Verstopfen des Grauwassersystems hervorrufen und die nachfolgende Nutzung einschränken können
- Verhinderung des anaeroben Milieus und von Geruchsemissionen
- Erfüllung hygienischer Anforderungen [6]

2.2.2 Pflanzenkläranlagen

Allgemeine Beschreibung

Pflanzenkläranlagen für die Wiederaufbereitung von Grauwasser werden durch bepflanzte Bodenfilter realisiert (siehe Abbildung 2.2). Bepflanzte Bodenfilter sind naturnahe biologische Abwasserbehandlungsanlagen und werden entweder als horizontal oder vertikal durchströmter Filter ausgeführt (siehe Abbildung 2.4). Die hauptsächliche Reinigungsleistung im Filter erfolgt durch Bakterien, die sich im Wurzelbereich der Pflanzen und auf dem Filtermaterial ansiedeln und aus dem vorbeifließenden Wasser Nährstoffe entnehmen. Die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers werden mikrobiologisch abgebaut, veratmet oder als Humus im Boden angereichert (siehe Abbildung 2.3). Die Bodenfilter bestehen aus zum Untergrund hin abgedichteten Becken, die mit einem durchlässigen Filtermaterial befüllt und mit Sumpfpflanzen bewachsen sind. Der Pflanzenbewuchs dient zur Aufrechterhaltung der Durchlässigkeit des Bodenfilters. Die komplexen Reinigungsmechanismen (Filtration, Sorption und biologische Prozesse) finden in der Hauptfilterschicht statt, die gleichmäßig durchströmt werden muss. Im Hinblick auf die mikrobiologische Eliminationsleistung kann von einer Reduzierung um zwei Zehnerpotenzen ausgegangen werden. Eine Nachbehandlung kann optional durch eine nachgeschaltete UV-Desinfektion realisiert werden [6].

Einordnung der Bodenfilteranlagen

Bei der Entwicklung der bewachsenen Bodenfilter wurden Konstruktionsmerkmale der Landbehandlungsverfahren wie Untergrundverrieselung und überstaute Bodenfilter mit Erkenntnissen aus der Abwasserreinigung in Pflanzenkläranlagen kombiniert, um Reinigungsleistung, Betrieb, Wartung und Überwachung auf einem abgegrenzten Areal zu optimieren. Eine ausreichende Vorreinigung und die Verwendung sandigkiesiger Filtersubstrate ermöglichen eine vollständige Bodenpassage des zugeleiteten Abwassers. Aufgrund der hohen und stabilen aeroben Reinigungsleistung haben sich die stoß-

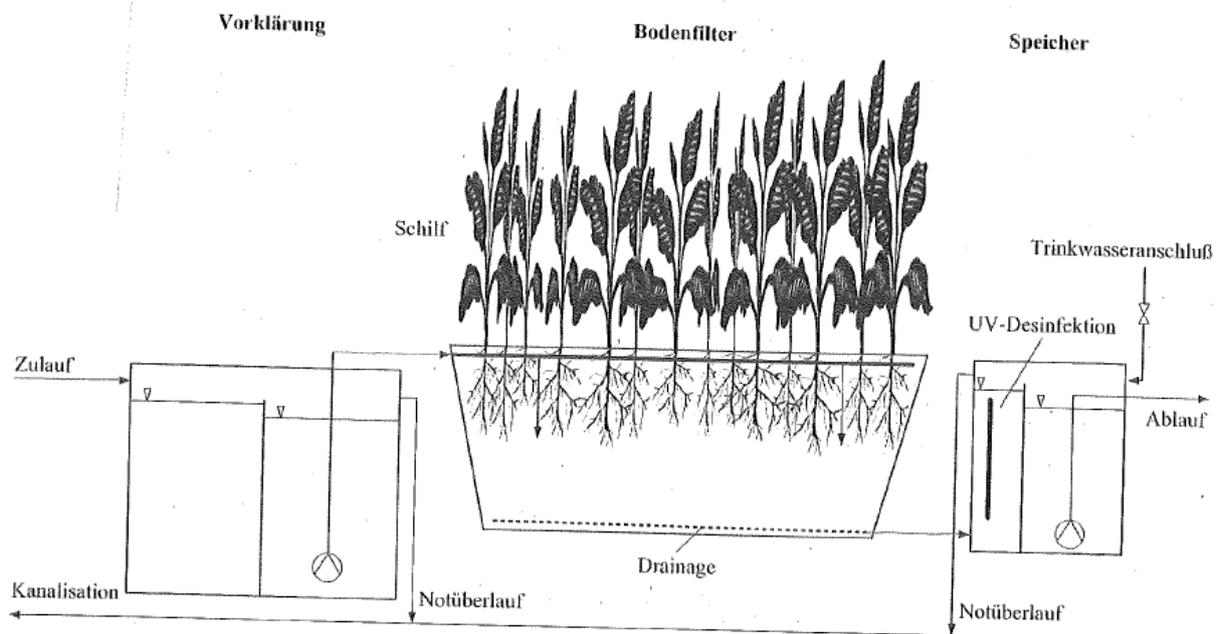


Abb. 2.2: Schematische Darstellung bepflanztter Bodenfilter [6]

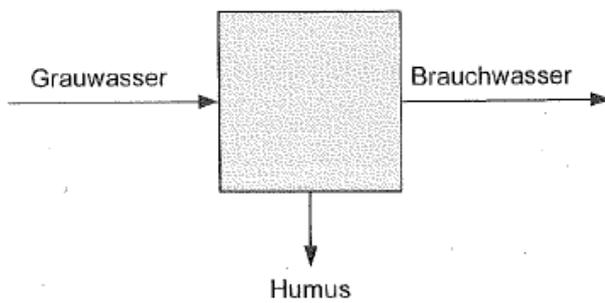


Abb. 2.3: Black Box eines bepflanztter Bodenfilters [6]

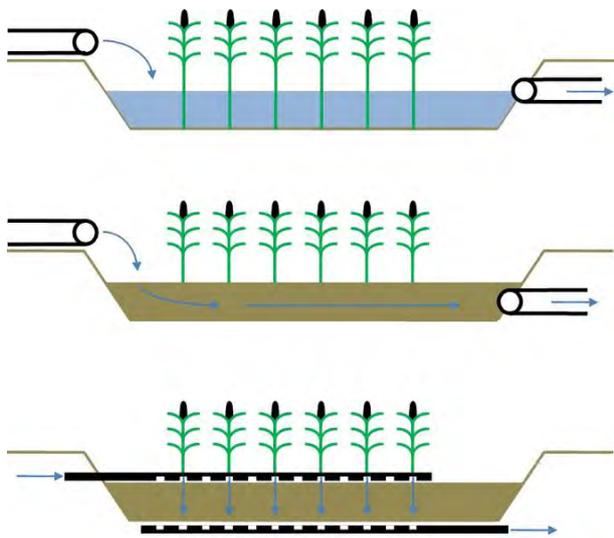


Abb. 2.4: Horizontal und vertikal durchströmte Pflanzenbodenfilter (horizontal: oben und Mitte, vertikal: unten) [33]

weise beaufschlagten und vertikal durchströmten Bodenfilter durchgesetzt. Der für natürliche Klärverfahren erforderliche hohe Flächenbedarf wurde im Laufe der Entwicklung technischer Klärverfahren erheblich vermindert. Allerdings konnte die Flächenreduktion durch einen hohen Energie- und Steuerungseinsatz kompensiert werden [1].

Funktionsweise eines Vertikalfilters

Vertikal durchströmte und stoßweise beschickte Bodenfilter sind für die Reinigung von häuslichen Abwässern und Grauwasser gleichermaßen geeignet. Das in einer Mehrkammergrube abgesetzte, vorgereinigte Abwasser wird in einen Vorlageschacht geleitet und intervallweise mit einer Tauchmotorpumpe auf einen Bodenfilter verbracht (siehe Abbildung 2.5). Das in einer etwa zehn cm dicken Kiesschicht eingebettete Rohrsystem zur Beschickung gewährleistet eine gleichmäßige Verteilung auf der Filteroberfläche. Nach einem Pumpvorgang (etwa ein bis zwei Minuten, zwei bis zehn Intervalle pro Tag) laufen die Rohre durch die nach unten gerichteten Bohrungen leer. Nach der vertikalen Passage durch das Filtersubstrat wird das gereinigte Abwasser an der Sohle über Drainrohre gesammelt und in einen Kontrollschacht geführt. Aufgrund der hohen hydraulischen Belastung ist für eine gleichmäßige Drainung zu sorgen. Als Filtermaterialien eignen sich handelsübliche Mittel- bis Grobsande. Durch die intervallweise Beschickung stellt sich bei einem ein Meter tiefen sandigen Filter in den unteren circa 10 bis 30 cm ein wassergesättigter Zustand ein. In der darüber liegenden ungesättigten Zone findet ein Luftaustausch mit der Atmosphäre statt, der durch die stoßweise Be-

schickung gefördert wird. Unter diesen aeroben Bedingungen erfolgt weitgehend die Abwasserreinigung. Bei einem überstauten, geschlossenen System kann nur wenig Sauerstoff eingetragen werden. Der Stoffabbau bliebe dann weitgehend auf der anaeroben Stufe stehen. Erhöhte CSB-Konzentrationen (chemischer Sauerstoffbedarf = Maß für die Summe aller chemisch abbaubaren Substanzen; Menge an Sauerstoff in mg/l, die zur Oxidation dieser chemisch abbaubaren Substanzen gebraucht wird) im Ablauf und eine geringe Nitrifikationsleistung wären die Folge. Die Abwasserreinigung erfolgt durch die Mikroorganismen, die sich im Filter ansiedeln. Der Schilfbestand fördert zum Beispiel durch zusätzlichen Sauerstoffeintrag die Abbauleistung. Kleine Kläranlagen unterliegen in der Regel großen Zulaufschwankungen. Diese Stoßbelastungen wirken sich ohne Pufferraum nachteilig auf die Reinigungsleistung aus. Durch die zeitweise Sammlung des Abwassers im Pumpenschacht und die lange Aufenthaltszeit im Filterkörper (zwei bis vier Tage) werden Stoßbelastungen abgefangen, so dass ein gleichmäßiger Ablauf aus dem Filter erfolgt [1].

Bemessung eines bewachsenen Bodenfilters

Für die Ableitung von Bemessungsparametern zur Grauwasserreinigung ist zu berücksichtigen, dass im Grauwasser die Fracht an sauerstoffzehrenden organischen Stoffen (CSB und BSB = biochemischer Sauerstoffbedarf) um etwa 60 %, die Fracht an Stickstoff um 85 % und die Fracht an Phosphor um 90 % reduziert wird. Aus diesem Befund ist abzuleiten, dass ein Bodenfilter für die aerobe Grauwasserreinigung ausschließlich nach der hydraulischen Belastung zu bemessen ist. Aufgrund der im abgesetzten Grauwasser noch vorhandenen abfiltrierbaren Stoffe sollte bei feinen Mittelsanden eine Beaufschlagung von 20 und bei Grobsanden von 60 l/m²d nicht überschritten werden. Da das Phänomen der Bodenporenverstopfung vorhanden ist und eine vollständige Nutzung der Filteroberfläche zur Infiltration in der Praxis kaum möglich ist, sollte mit einer Mindestfläche von 3 m²/EW (Sohle = Fläche pro Einwohner) geplant werden. In jedem Fall ist auf eine ausreichend bemessene Vorreinigungsanlage zu achten, um die abfiltrierbaren Stoffe im Zulaufwasser des Bodenfilters zu minimieren [1].

Reinigungsleistung

Eine Bodenfilteranlage wird sofort mit der geplanten Abwasserlast beaufschlagt. Der Abbau der organischen Inhaltsstoffe wird bereits nach wenigen Tagen erreicht. Das Ablaufwasser reagiert neutral und weist Sauerstoffgehalte bis etwa sieben mg/l auf. Die Bindungskapazität eines sandigen Bodenkörpers für Phosphor liegt im ersten Betriebsjahr über 95 % und pendelt sich im weiteren Verlauf dauerhaft bei etwa 50 % der Zulaufkonzentration ein. Untersuchungen ergaben, dass mit vertikal durchström-

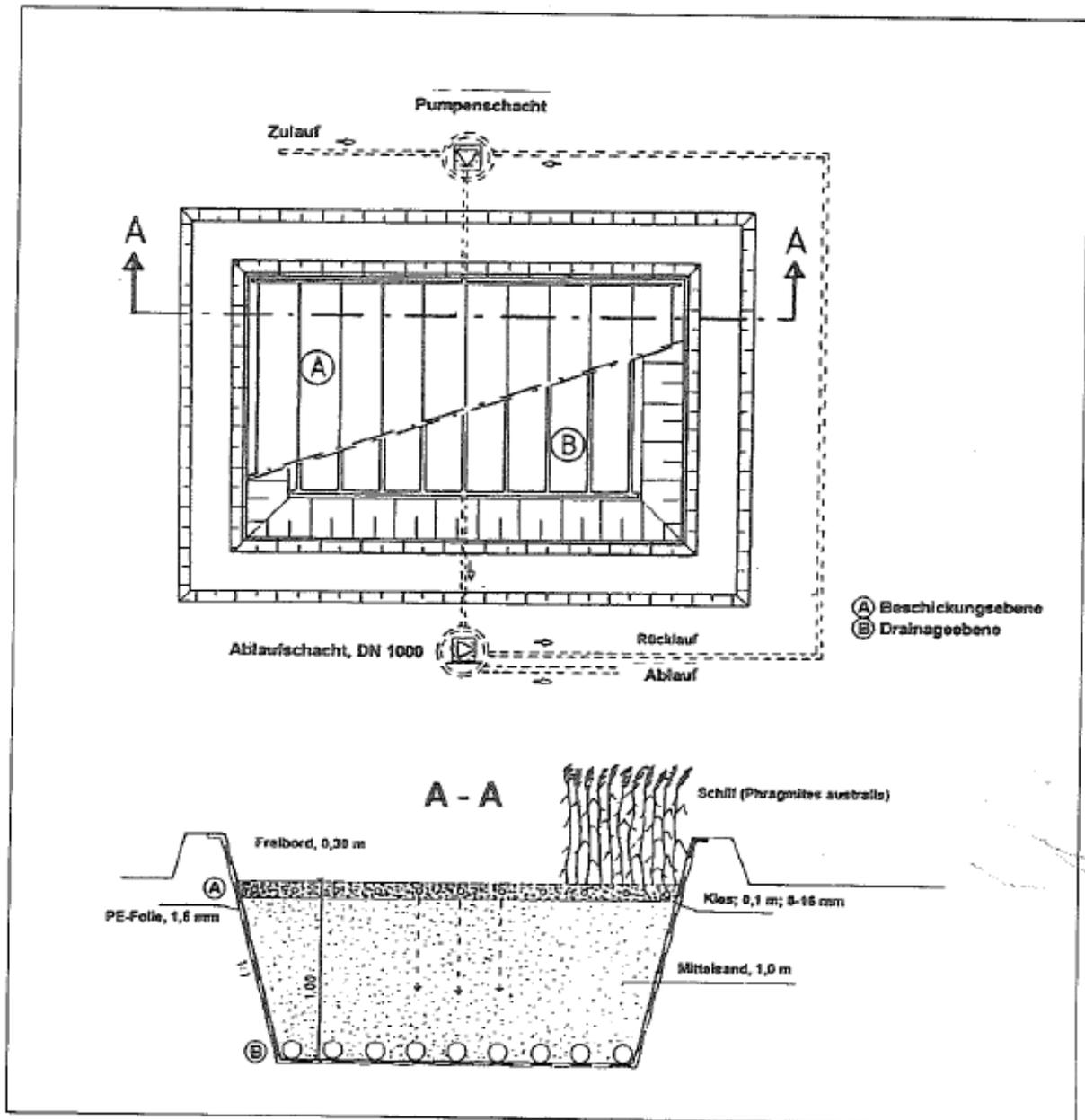


Abb. 2.5: Bewachsener Bodenfilter [1]

ten Bodenfiltern eine Hygienisierung von häuslichem Abwasser im Sinne der EG-Badegewässerrichtlinie von 1975, das heißt eine Einhaltung der Grenz- und Leitwerte für gesamtcoliforme, fäkalcoliforme Bakterien und Fäkalstreptokokken erreicht werden kann. Hohe hydraulische Belastungen (Flächenbeschickung $> 60 \text{ l/m}^2\text{d}$) führen zu fallenden Sauerstoff- und ansteigenden CSB-Ablaufkonzentrationen. In der Folge tritt auch eine verminderte Keimelimination ein. Auf einem kiesüberfüllten Bodenfilter entstehen keine offenen Wasserflächen, so dass die Entwicklung von lästigen Stechmücken unterbunden ist [1].

Betrieb und Wartung

Erfahrungsgemäß steht und fällt die Funktionstüchtigkeit kleiner Kläranlagen mit der regelmäßigen Kontrolle durch den Betreiber. Für den zuverlässigen Betrieb eines vertikal durchströmten Bodenfilters sind folgende Arbeiten durchzuführen:

- Kontrolle der Beschickungspumpe
- Monatliche Begutachtung der Schächte auf ungewöhnliche Wasserstandsschwankungen
- Monatliche visuelle Kontrolle des ablaufenden Wassers
- Gegebenenfalls Mähen des Schilfbestandes im November und Entfernen des Materials vor dem Sprossaustrieb im März
- Führen eines Betriebsbuches
- Allgemeine Pflege der Gesamtanlage

Für Bodenfilter ist der Abschluss eines Wartungsvertrages sinnvoll. Bei der Wartung werden die vorhandene Mehrkammergrube, Schächte, Pumpe und Beschickungsleitungen in der Regel ein- bis zweimal jährlich auf ihre Funktion überprüft. Der anfallende Schlamm wird abgefahren. Ausreichend dimensionierte Dreikammergruben müssen manchmal über Jahre hinweg gar nicht entschlammt werden [1].

Einsatzmöglichkeiten

Bewachsene Bodenfilter mit vertikaler Durchströmung sind in Deutschland als biologische Nachbehandlungsstufe für Kleinkläranlagen und als kleine Kläranlagen (bis 1000 EGW = Einwohnergleichwert) zulässig. Neben der Reinigung von Grauwasser eignen

sich vertikal durchströmte Bodenfilter auch für Ortsteilkäranlagen für mehrere hundert Einwohner. Soweit gewerbliche Abwässer der Zusammensetzung von häuslichem Abwasser entsprechen, d.h. einer biologischen Reinigung zugänglich sind, eignen sich Bodenfilteranlagen ebenfalls für den Einsatz [1].

Kosten

Vor der wirtschaftlichen Entscheidung zum Bau einer Kläranlage sollten die verschiedenen zulässigen Verfahren miteinander hinsichtlich der örtlichen Verhältnisse, vorhandener Abwasseranlagen, Platzbedarf, Abwasseranfall, Reinigungsleistung und Wartungsaufwand verglichen werden. Die Investitionskosten für Bodenfilteranlagen liegen nicht generell unter denen technischer Kompaktanlagen. Insgesamt ergibt sich eine Investitionssumme von etwa 750 bis 3000 € pro Einwohner. Ist eine funktionsfähige Vorbehandlung bereits vorhanden, können die dafür angefallenen Kosten von der oben genannten Summe abgezogen werden. Für den Betrieb einer Kleinkläranlage eines Vierpersonenhaushaltes muss mit Jahreskosten von 250 bis 1000 € pro Jahr gerechnet werden. Darin sind circa 100 bis 250 € für die geregelte Schlammabfuhr sowie kalkulatorische Kosten (Abschreibung, Verzinsung) enthalten. Aufgrund des geringen Wartungsaufwandes, Energiebedarfes und Schlammmanfalles sind die Betriebskosten als gering einzustufen und damit als Vorteil der Bodenfilteranlagen zu sehen [1][29].

2.2.3 Membrankläranlagen

Allgemeine Beschreibung

Das Membranverfahren ist ein physikalisches Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen (siehe Abbildung 2.6). Dieses Verfahren wird sowohl in der Lebensmittelbranche, der chemischen Industrie als auch in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Heute findet es auch verstärkt in der Abwasserreinigung Anwendung. Ziel in der kommunalen Abwasserreinigung ist vor allem die Abtrennung des gereinigten Abwassers von der Biomasse anstelle der konventionellen Nachklärung. Die Methode bietet die Möglichkeit einer höheren Biomassekonzentration im Belebungsbecken, da auf die Sedimentationsfähigkeit des Belebungschlammes im Vergleich zum konventionellen Absetzbecken keine Rücksicht mehr genommen werden muss. Durch die verbesserte Abtrennung der Biomasse vom Wasser werden auch an den Schlammflocken anlagernde Spurenstoffe und Keime zurückgehalten. Optional kann auch ein Nachbehandlung durch Ozonung erfolgen [6].

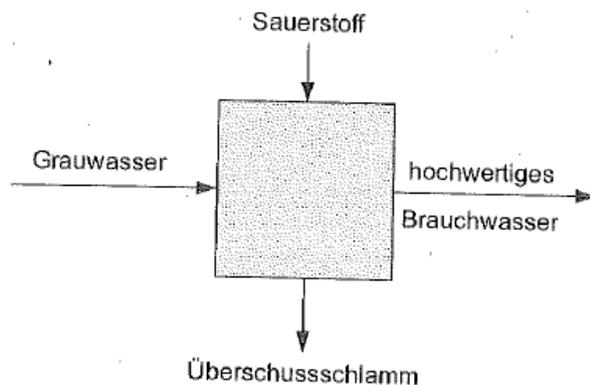


Abb. 2.6: Black Box einer Membrankläranlage [6]

Funktionsweise

Das Funktionsprinzip einer Membran kann im weitesten Sinne wie das eines Filters beschrieben werden. Wird ein zu trennendes Stoffgemisch, der so genannte Feed (zum Beispiel Rohabwasser) durch die Membran geleitet, wird der Teil, welcher die Membran nahezu ungehindert passiert, als Permeat beziehungsweise Filtrat bezeichnet. Der durch die Membran zurückgehaltene Anteil ist das Retentat beziehungsweise Konzentrat. Wird die Membrantechnik zur Abwasserreinigung eingesetzt, so wird meist die Nanofiltration und Umkehrosmose bei der industriellen und die Mikro- und Ultrafiltration bei der kommunalen Abwasserbehandlung eingesetzt. Mittels Membrantechnik kann das Abwasser aus Duschen, Badewannen und Handwaschbecken aufbereitet und anschließend für Toilettenspülungen, Waschmaschine oder Gartenbewässerung genutzt werden. Kernstück solcher Anlagen ist ein Membranbioreaktor mit Membranen im Mikro- und Ultrafiltrationsbereich. Diese Membranen weisen eine Porengröße auf, die es ermöglicht Bakterien nahezu vollständig und im Fall der Ultrafiltration auch Viren zu einem Großteil zurückzuhalten (siehe Abbildung 2.7). Da das Grauwasser nur chargenweise zu bestimmten Tageszeiten anfällt und gleichzeitig aber der Bedarf relativ gleichmäßig über den Tag verteilt ist, ist eine entsprechende Speichervolumenbewirtschaftung auf der Roh- und Nutzwasserseite erforderlich. Nach Angaben der Hersteller ist es möglich, mit diesen Grauwasseranlagen ein Betriebswasser herzustellen, das den Anforderungen der alten und neuen EU-Badegewässerrichtlinie entspricht [6]. Die nachfolgenden Kapitel beziehen sich auf die MembraneClearBox® von dem Hersteller Huber AG (siehe Abbildung 2.8).

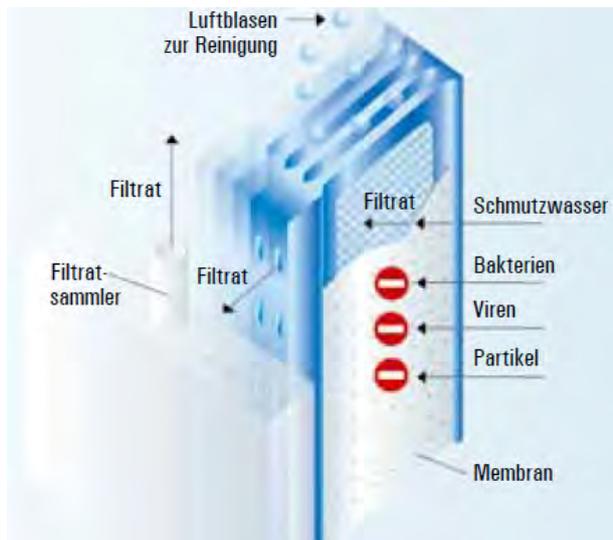


Abb. 2.7: Funktionsweise eines Membranfilters [11]



Abb. 2.8: Aggregateinheit der MembraneClearBox® [17]

Reinigungsleistung

Die Reinigungsleistung beträgt im Mittel für den BSB5-Wert (biochemischer Sauerstoffverbrauch in fünf Tagen; die Menge an Sauerstoff in mg/l, die beim mikrobiellen Abbau der organischen Substanzen bei einer Temperatur von 20 °C innerhalb von fünf Tagen verbraucht wird) 99,1 % und 95,5 % für den CSB-Wert. Für die Messdaten gilt für den BSB5-Gehalt 2,0 mg/l und 23,7 mg/l für den CSB-Gehalt, was die gesetzlichen Grenzwerte weit unterschreitet (siehe Abbildung 2.9). Der Gehalt an Ammonium Stickstoff wird auf 5,4 mg/l verringert (gesetzlicher Grenzwert liegt bei < 10 mg/l) und die Reinigungsleistung für die Fäkalcoliforme beträgt 99,9 %. Wie oben schon erwähnt, erfüllt die Anlage die Qualitätsanforderung der EU-Richtlinie für Badegewässerqualität [17].

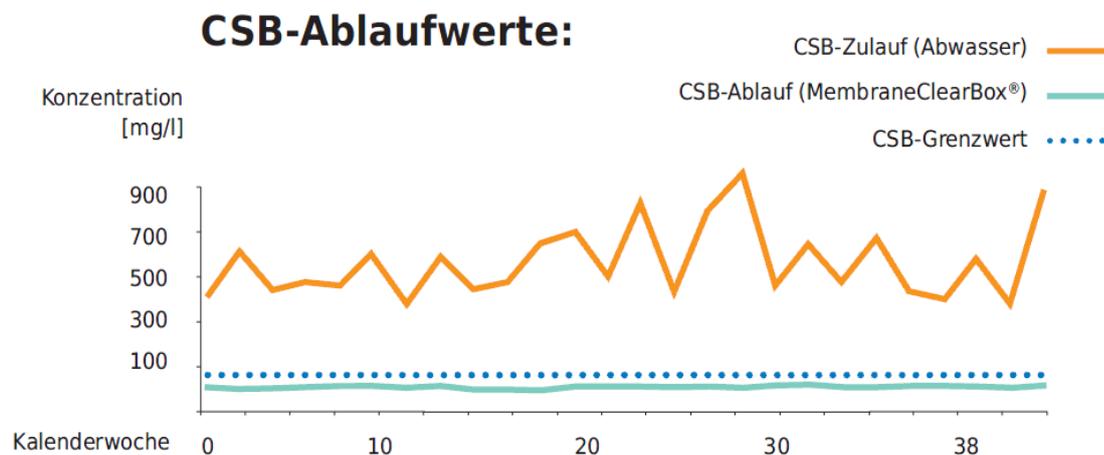


Abb. 2.9: erreichte CSB-Werte mit der MembraneClearBox® [12]

Betrieb und Wartung

Die Steuerung der MCB-Kleinkläranlagen (MCB = MembraneClearBox) wurde speziell für den Betrieb dieser Membranbelebungsanlage angepasst. Die Steuerung protokolliert ein Betriebstagebuch (Kundendaten, Parameter, Betriebsstunden, Störmeldungen, Statusmeldungen), das vom Wartungsdienst mittels PC-Schnittstelle ausgelesen und mittels Software grafisch ausgewertet werden kann. Die Anlage verfügt über die jüngst geforderte netzunabhängige Störmeldeeinheit, sowohl optisch als auch akustisch. Zur zusätzlichen Umweltsicherheit trägt eine optionale Fernüberwachung bei, durch die nach Auftreten einer Störung eine Benachrichtigung an Betreiber oder Wartungsfirma mittels SMS erfolgen kann. Durch die Kombination von Steuerung und Fernüberwachung wird der Kontrollaufwand der Anlage auf ein Minimum reduziert, die Betriebssicherheit auf ein Maximum optimiert [17].

Einsatzmöglichkeiten

Die Membrankläranlage wird zum einen in sensiblen Einleitgebieten eingesetzt wie zum Beispiel im Karst, in Trinkwassereinzugs- und Wasserschutzgebieten. Zum anderen kommen die Anlagen zum Einsatz, wenn ein Augenmerk auf Wiederverwendung des gereinigten Wassers gelegt wird, wie beispielsweise in Hotelanlagen, Campingplätzen und Shopping-Malls [17].

Kosten

Die Investitionskosten für eine Membrankläranlage sind abhängig von der erforderlichen Tagesleistung. Die Anschaffungskosten von Anlagen für eine Recycling-Kapazität von 250 l pro Tag betragen zwischen 5000 und 6000 €. Grauwasser-Recycling-Anlagen verbrauchen zwischen ein bis zwei kWh pro Kubikmeter Wasser. Hinzu kommen noch die Kosten für das separate Rohrsystem, welche für einen Neubau geringer sind als bei der Umrüstung eines Altbaus.

2.2.4 Qualitätsanforderungen

Die nachfolgenden Qualitätsanforderungen gelten sowohl für aufbereitetes Grauwasser als auch für Regenwasser. In den folgenden Kapiteln wird jedoch zur einfacheren Lesbarkeit immer der Begriff Grauwasser verwendet.

Anforderungen für die Toilettenspülung

Für den Einsatz des aufbereiteten Grauwassers als Substitut für Trinkwasser für die Toilettenspülung kann für Deutschland hinsichtlich der Anforderungen an Qualität des Betriebswassers zur Nutzung in Gebäuden auf ein Merkblatt zugegriffen werden, welches die Berliner Senatsverwaltung in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt herausgegeben hat. Das Merkblatt stellt aber nur einen Vorschlag dar und ist nicht bindend. Hygienische Qualitätsziele werden für die Indikatorbakterien Fäkalcoliforme ($< 10/\text{ml}$) und Gesamtcoliforme Bakterien ($< 100/\text{ml}$) angegeben. Darüber hinaus wird eine nicht zu überschreitende Konzentration des Krankheitserregers *Pseudomonas aeruginosa* gefordert ($< 1/\text{ml}$) [6].

Anforderungen für die Bewässerung

Für diese Nutzungsmöglichkeit bestehen eindeutige Qualitätsanforderungen. Bei diesen Anforderungen wird zwischen uneingeschränkter und eingeschränkter Verwendung unterschieden. Die deutsche Anforderung wird in der DIN 19650 *Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser* festgelegt und unterscheidet vier Eignungsklassen. Der Anwendungsbereich der DIN 19650 umfasst die Bewässerung im öffentlichen Bereich (beispielsweise Parkanlagen, Sportplätze), in der Landwirtschaft, im Gartenbau sowie im Landschaftsbau. Für die uneingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser muss der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) < 60 mg/l und der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) < 10 mg/l sein [6].

Anforderungen für eine Teilnutzung in Wasch- und Spülmaschinen

Für den speziellen Nutzungsbereich Wäsche waschen und Geschirr spülen wurden im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche keine gesetzlichen Qualitätsanforderungen gefunden. Jedoch kann neben der nationalen Trinkwasserverordnung und den zwischenstaatlichen Anforderungen der WHO und EU auch die neue europäische Badegewässerrichtlinie zur Beurteilung der Qualität herangezogen werden [6].

Anforderungen an die Einleitung und Versickerung

Das Einleiten von Grauwasser in Gewässer bedarf gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) einer Genehmigung. Die erforderliche Qualität des Wassers, welches eingeleitet werden soll, wird durch die Abwasserverordnung (ABVV, 2004) bestimmt. In Abhängigkeit der Größe der Behandlungsanlage werden dort emissionsbezogene Mindestanforderungen festgelegt. Für Kleinkläranlagen gilt im Rahmen der ABVV für die Einleitung von gereinigtem Abwasser der Grenzwert 150 mg/l für den chemischen Sauerstoffbedarf [6].

2.3 Regenwassernutzung

2.3.1 Motivation

Vor etwa 25 Jahren wurde in Deutschland erstmals im größeren Umfang wieder über Regenwassernutzung gesprochen. Ausgangspunkt dieser Entwicklung waren überwiegend ökologische Probleme. Der stetig steigende Verbrauch an Trinkwasser, das in Deutschland durchschnittlich zu über 50 % aus Grundwasser gewonnen wird, führte dazu, dass in den Quellgebieten der Grundwasserspiegel sank, Bäume abstarben und sich der Boden senkte, bis hin zu Rissen in den Häusern [22].

Im 21. Jahrhundert rückte der Klimawandel als Grund für die Änderung der Rahmenbedingungen für die Bemessung von Entwässerungssystemen in den Siedlungsräumen in den Vordergrund. Kostendruck und gesteigertes Umweltbewusstsein beschleunigen den Paradigmenwechsel von der bisherigen Praxis, möglichst schnell das Wasser abzuleiten, hin zu einer naturverbundenen nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungen [2].

2.3.2 Regenwasserbeschaffenheit

Die stoffliche Belastung des abfließenden Regenwassers hängt von vielen Faktoren ab. Zu nennen sind im Wesentlichen die atmosphärische Belastung mit Feinstpartikeln und Aerosolen, die Niederschlagshöhe und Regenintensität und in entscheidendem Maß die Oberflächenverschmutzung und Oberflächenbeschaffenheit. In Bezug auf die Beschaffenheit von Regenwasser hat es sich daher bewährt Kategorisierungen gemäß der Oberflächen- und Luftverschmutzung einzuführen. Unter schwach belastetem Regenwasser werden an dieser Stelle die Niederschlagsabflüsse der folgenden Flächen anschaulich in den Kategorien Dachflächen, Hofflächen und Straßen zusammengefasst:

- Dachflächen, mit und ohne üblichen Anteilen an unbeschichteten Metallen (wie Kupfer, Zink und Blei), Gründächer, Terrassenflächen, Wiesen und Kulturland (Kategorie 1, 2, 3)
- Hofflächen, PKW-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel, Garagenzufahrten, wenig befahrene Verkehrsflächen (durchschnittlich tägliches Verkehrsaufkommen DTV < 300 Kfz/24h), Gehwege, Radwege (Kategorie 4, 5)
- Straßen mit DTV 00-5000 Kfz, wie Anlieger-, Erschließungs- und Kreisstraßen (Kategorie 6)

Während der BSB5 von schwach belastetem Regenwasser mit Werten bis 12 mg/l niedrig anzusetzen ist, können die Konzentrationen an CSB vor allem von Straßenflächen um ein Vielfaches erhöht sein (bis 70 mg/l). Der pH-Wert bewegt sich im neutralen Bereich, wobei Abflüsse von Dachflächen je nach Flächenart leicht sauer sein können (bis pH = 5,2). In Bezug auf biologisch abbaubare Inhaltsstoffe ist Regenwasser in der Regel schwächer belastet als Grauwasser. Problematisch in Bezug auf die Regenwasserbehandlung können sich erhöhte Chloridkonzentrationen von Straßenflächen durch die Verwendung von Streusalz auswirken [6].

2.3.3 Regenwassernutzungsanlage

Es zeichnet sich ab, dass die moderne Regenwassernutzungsanlage im Prinzip nur noch aus den folgenden beiden Bauteilen bestehen wird (siehe Abbildung 2.10):

- Im Speicher wird der Filter mit integriert sein. Gleichzeitig berücksichtigt der Speicher alle verfahrensbedingten Anforderungen an die Wasserführung und widmet einer eventuell notwendigen Rückstausicherung die notwendige Aufmerksamkeit.
- In den Regenwasserzentralen ist die Systemsteuerung mit der Pumpe und der Trinkwassernachspeisung zusammengefasst [22].

Filter

Ein wesentlicher Bestandteil von Anlagen zur Nutzung von Regenwasser sind Filter im Speicherzulauf (siehe Abbildung 2.11). Heute gibt es zahlreiche, speziell für die Regenwassernutzung entwickelte Filter ausschließlich für häusliche Anlagen. Für diesen Bereich sind mechanische Filtersysteme, neben der Sedimentationszone im Regenspeicher, zur Reinigung des abfließenden Regenwassers von Dachflächen und Terrassen ausreichend. Der Filter muss vor Rückstau gesichert sein und hinsichtlich der Dimensionen und hydraulischen Leistungsfähigkeit für den Einsatzort geeignet sein. Außerdem soll der Filter gut zugänglich sein, um das Warten zu vereinfachen. Genauere Kriterien hierzu werden in der DIN 1989-2 *Regenwassernutzungsanlagen - Filter* definiert. Auf dem Markt haben sich Filtersysteme im Fallrohr und an zentraler Stelle vor oder im Regenspeicher durchgesetzt. Die meisten Filter weisen eine Schmutzwasserabführung auf. Die Kosten eines Filters betragen zwischen 160 und 270 € (für Dachflächen bis circa 400 Quadratmeter) [3].

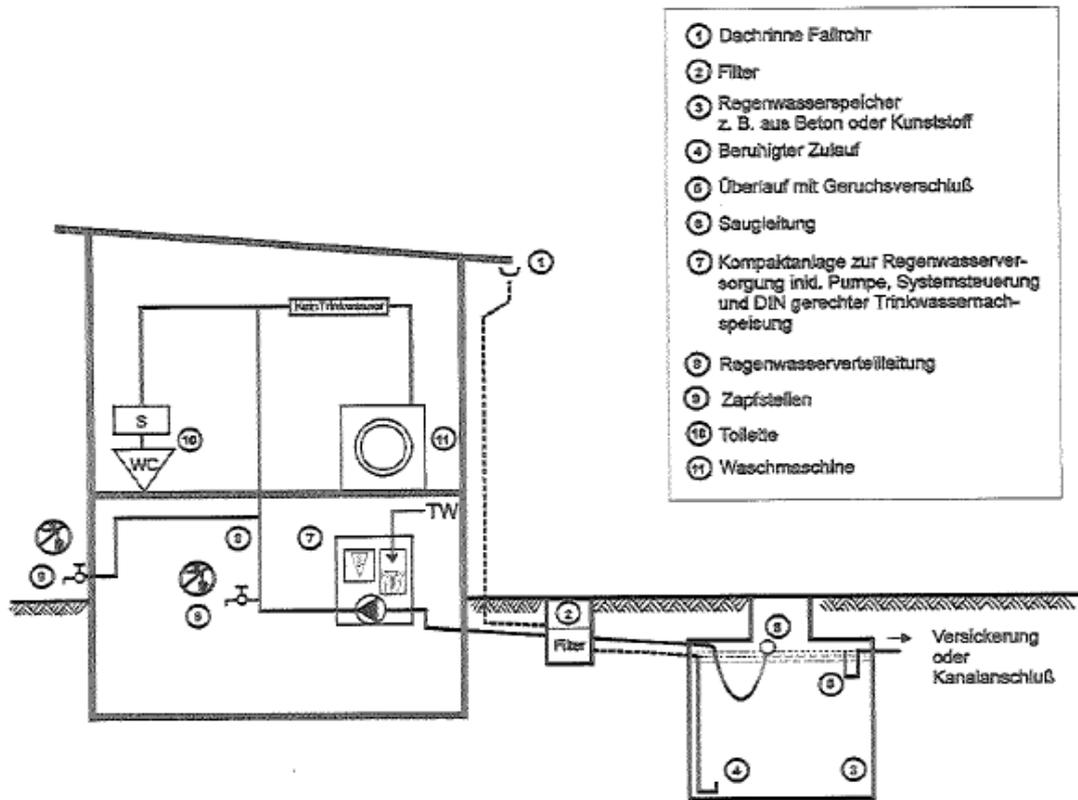


Abb. 2.10: Prinzipsskizze einer Regenwasser-Nutzungsanlage [22]



Abb. 2.11: 3P Patronenfilter vom Hersteller 3 P Technik Filtersysteme GmbH [5]

Speicher

Alle Speicherhersteller haben ihre Speicher mehr und mehr zu sogenannten Speichermodulen entwickelt, die Zulauf-, Überlauf- und Entnahmeeinbauten enthalten. Zunehmend sind bei Erdspeichern bereits Filter integriert, vor allem bei Betonspeichern. Nachdem früher hauptsächlich Innenspeicher - im wesentlichen für die Nachrüstung von Regenwassernutzungsanlagen in bestehende Gebäude - gehandelt wurden, kommen heute überwiegend Erdspeicher zum Einsatz.

Kunststoff-Regenwasserspeicher bestehen meist aus Polyethylen (PE) und sind aus einem Stück gefertigt beziehungsweise vormontiert (siehe Abbildung 2.12). Hierdurch ist eine entsprechende Dichtigkeit garantiert. Für Erdspeicher aus Kunststoff mit einem Nutzvolumen von 6000 l muss man zwischen 2000 und 3000 € investieren.

Als Material für Betonspeicher wird fast ausschließlich Beton B45 oder B65 verwendet. Bei der Möglichkeit von hohen Grundwasserständen sind Betonspeicher in der Regel gegen Auftrieb zu sichern. Die Kosten für einen Betonspeicher mit einem Nutzvolumen von 6000 l belaufen sich auf 1500 bis 2400 € [3].

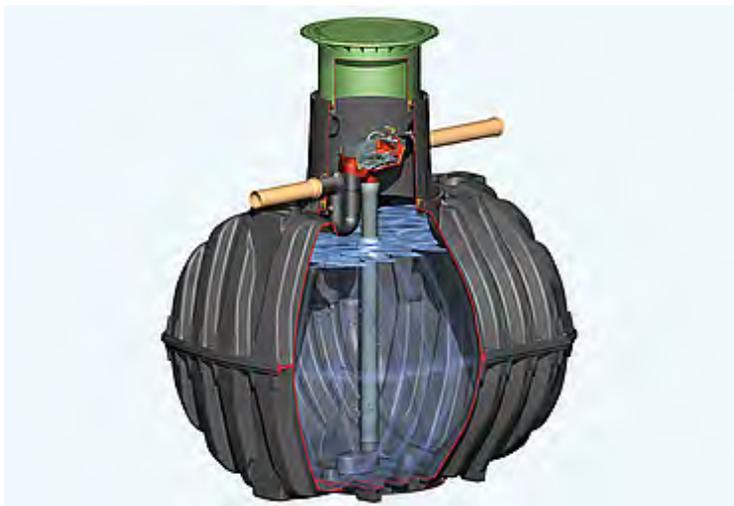


Abb. 2.12: Regenwasser-Erdtank Carat von der Firma Otto Graf GmbH [20]

Pumpen

Die Pumpe mit Regeltechnik zur Förderung des Betriebswassers zu den Verbrauchstellen ist das Herz jeder Betriebswasseranlage. Es ist eines der Teile, an die höchste Ansprüche an Zuverlässigkeit und Funktion gestellt werden. Fällt dieser Teil der Betriebswasseranlage aus, entsteht ein Versorgungsnotstand. Entsprechend sorgfältig sollte die

Förderung des Betriebswassers in Planung und Produktauswahl berücksichtigt werden. Man unterscheidet zwischen trocken aufgestellten Pumpen und Tauchpumpen.

Trocken aufgestellte Pumpen sind korrosionsfrei und leise, haben Motorschutzschalter, Trockenlaufschutz und zuverlässige Steuerungssysteme. Die verschiedenen technischen Systemlösungen für die Druckregelung erfüllen alle Anforderungen für eine dauerhafte Versorgung der gewählten Verbrauchsstellen. Pumpen mit einer maximalen Förderhöhe von 40 m und einer Fördermenge von circa 3,5 m³/h kosten zwischen 500 und 700 €.

Ergeben sich durch die Entfernung beziehungsweise Lage des Regenwasserspeichers vom möglichen Montageort der Regenwasserzentrale mit Pumpe ungünstige Ansaugverhältnisse oder die Regenwasserförderung darf aufgrund der baulichen Situation keine Geräusche entwickeln, sollten Unterwasserpumpen im Regenwasserspeicher eingesetzt werden. Diese sind im Zusammenhang mit den zugehörigen Steuergeräten etwas teurer, weisen jedoch bezüglich der oben genannten Aspekte Vorteile auf beziehungsweise können unter Umständen die einzige Möglichkeit zum Betrieb einer Regenwassernutzungsanlage sein. Die Tauchpumpen sind korrosionsfrei und leise, haben Motorschutzschalter und ein Trockenlaufschutz (siehe Abbildung 2.13). Die Kosten für Pumpen mit einer maximalen Förderhöhe von 40 m und einer Fördermenge von circa 5 m³/h betragen zwischen 470 und 870 € [3].



Abb. 2.13: Tauchmotorpumpe Fontana S von der Firma Mall GmbH [16]

Betrieb und Wartung

Die Anlagen arbeiten weitestgehend wartungs- und störungsfrei. Im Normalfall ist eine jährliche Wartung für den Betrieb der Anlage ausreichend. Lediglich der Filter zwischen der Auffangfläche und dem Speicher muss typenspezifisch und standortbedingt eventuell häufiger gereinigt werden [22].

2.3.4 Versickerung

Rechtliche Vorgaben für die Regenwasserversickerung finden sich sowohl im Wasser-, im Bodenschutz- sowie Baurecht. Darüber hinaus sind noch zahlreiche untergesetzliche Regelungen zu beachten. Die zielgerechte Versickerung von Niederschlagswasser in das Grundwasser ist als ein *Einleiten von Stoffen in das Grundwasser* nach §3 Abs. 1 Nr. 5 WHG (Wasserhaushaltsgesetz) anzusehen und bedarf damit grundsätzlich einer wasserrechtlichen Genehmigung. Diese darf nach § 34 Abs. 1 WHG nur erteilt werden, wenn bei der Versickerung *eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers nicht zu besorgen* ist. Nicht genehmigungspflichtig ist dagegen die breitflächige Versickerung auf Freiflächen, da sie als natürlicher Vorgang angesehen wird. Weitere Anforderungen werden in Abhängigkeit der örtlichen Situation von der jeweiligen Genehmigungsbehörde, in der Regel ist dies die kommunale Unterwasserwirtschaftsbehörde, festgelegt [6].

Versickerungssysteme

Es gibt verschiedene Systemkomponenten zur gezielten Versickerung von Regenwasser. Diese werden in Kombination mit der Betriebs- und Regenwassernutzung zunehmend realisiert. Informationen insbesondere zur Bemessung und zu Aspekten des Grundwasserschutzes sind in dem Arbeitsblatt A138 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) zu entnehmen [3]:

Niederschlagswasser gelangt heute in den meisten bebauten und anderen flächenhaft versiegelten Gebieten nicht mehr auf natürlichen Wegen in den Wasserkreislauf. Dies kann zu langfristigen Veränderungen des Boden- und Wasserhaushaltes führen, die natürliche lokale Grundwasserneubildung verringern und sich auf die chemischen und biologischen Verhältnisse oberhalb und unterhalb der Geländeoberfläche auswirken. Wird eine Versickerungsanlage in einem Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiet geplant, sind die Anforderungen der jeweiligen Schutzgebietsverordnung maßgebend, die sich auf die DVGW-Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, die Arbeitsblätter W

101 (1995) und W 102 (2002) sowie auf die LAWA-Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete (1998) stützen. In den Neuen Bundesländern sind durch den Fortbestand der Trinkwasserschutzzonenbeschlüsse aus der Zeit der DDR die Technischen Güte- und Lieferbedingungen (TGL) 24348/01-03 (1979) und seit 1989 die TGL 43850/01-06 von Bedeutung. Außerdem gelten für Verkehrsflächen folgende Regelungen: *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS Teil: Entwässerung RAS-Ew* (1987), *Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten - RiStWag* (2002), *Hinweise für Maßnahmen an bestehenden Straßen in Wasserschutzgebieten* (1993), *Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen* (1998) und *Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen* (1998) [10].

Man unterscheidet zwischen Füllkörper-Rigolenversickerung, Rohr-Rigolenversickerung und Versickerungsschächten.

Bei der klassischen Rigolenversickerung wird das Regenwasser unterirdischen Speicherkörpern, die aus Schotter oder Kies bestehen, zugeführt. Der Nachteil dieser Bauweise besteht darin, dass das Porenvolumen dieser Füllmaterialien nur circa 30 % beträgt und somit eine große Menge Kies beziehungsweise Schotter mit entsprechendem Gewicht und Platzbedarf einzubauen ist. Dies hat verschiedene Hersteller auf die Idee gebracht, Hohlkörper aus Kunststoff herzustellen, die ein Porenvolumen von etwa 95 % aufweisen. Die Speichermodule sind leicht zu handhaben und die Rigole benötigt entsprechend nur etwa ein Drittel Platz (siehe Abbildung 2.14).



Abb. 2.14: Füllkörper-Rigolenversickerung ENREGIS/X-Box® der Firma ENREGIS GmbH [7]

Die Rohrrigolen-Versickerung wird meist länglich als Grabensystem angelegt (siehe Abbildung 2.15). Das erforderliche Speichervolumen wird bei diesem System vornehmlich durch das Rohr selbst bereitgestellt. Es gilt also die Regel, je größer der Rohrdurchmesser umso kleiner die erforderliche Länge der Anlage. Bei der Rigolenversickerung

muss der Zufluss vom Fallrohr durch einen Schlammfang oder einen einfachen Filter gereinigt werden.



Abb. 2.15: Rohr-Rigole Sicku-pipe 300 VS vom Hersteller Fränkische Rohrwerke GmbH und Co. KG [9]

Versickerungsschächte ermöglichen durch kleine Dimensionen zum Beispiel die dezentrale Versickerung von Niederschlagsabflüssen aus einzelnen Fallrohren von Gebäuden (siehe Abbildung 2.16). Durch die geringe Sohlentiefe entschärft sich die kritische Bewertung der Schachtversickerung bezüglich des Grundwasserschutzes. Die Schachtversickerung stellt insbesondere bei räumlich sehr engen Platzverhältnissen oder oberflächennahen gering durchlässigen Bodenschichten ein geeignetes System zur Versickerung dar [3].



Abb. 2.16: VS-Schachtsystem DN 400 der Firma Otto Graf GmbH [21]

2.4 Separation von Abwasserteilströmen

2.4.1 Separationstoiletten

Einleitung

Um die Nachhaltigkeit der bisherigen Abwasserentsorgung zu verbessern, kann der menschliche Urin getrennt gesammelt werden. Dadurch kann wertvolles Trinkwasser eingespart werden und der Urin als hochwertiger Dünger verwendet werden. Die Fäkalien können zusammen mit Bioabfall in Biogas-Reaktoren genutzt werden. In Deutschland veranschlagen Toilettenspülungen mit einem täglichen Pro-Kopf-Verbrauch von 44 Litern Wasser das meiste Trinkwasser der Privathaushalte [26][19].

Funktionsprinzip

Die Trenntoilette sieht äußerlich wie ein konventionelles, modernes WC aus (vgl. Abbildung 2.18). Die Benutzung unterscheidet sich kaum von herkömmlichen Toiletten, mit dem einzigen Unterschied, dass auch Männer sich setzen müssen. Auch für Frauen und Kinder bereitet besonders in öffentlichen Gebäuden die korrekte Sitzposition Probleme. Im Gegensatz zu herkömmlichen Toiletten besitzt die Toilettenschüssel die in Abbildung 2.17 und 2.18 gekennzeichnete Öffnung zur Ableitung des Urins. Die Öffnung ist mit einem Verschluss versehen, der sich öffnet, sobald sich eine Person auf den Toilettensitz setzt [14].

Wie in Abbildung 2.19 zu erkennen, sind Sitz und Ventil über ein Gestänge verbunden. Durch das Körpergewicht wird der Urinablauf geöffnet. Das Prinzip ist ähnlich wie es von Urinalen (für eine ausführliche Auflistung von Herstellern von Urinalen sei auf die folgende Quelle verwiesen [30]) bekannt ist. Die Toilettenschüssel besitzt eine Form mit Erhebungen, die den Ablauf des Urins in die dafür vorgesehene Stelle fördert. Der Urin wird unverdünnt abgeleitet. Nur bei Bedarf werden Papier oder Fäkalien in den hinteren Ablauf gespült [26]. In Quelle [31] werden die verschiedenen Hersteller solcher Toiletten vorgestellt.

Abbildung 2.19 zeigt die verschiedenen Betriebszustände der Toilette: Im Ruhezustand ist das Ventil des Urinablaufs geschlossen. Bei Benutzung der Toilette wird durch Setzen auf den Toilettensitz eine Mechanik betätigt, die den Verschluss des Urinablaufs öffnet. Der Urin wird über den separaten Ablauf weitergeleitet. Durch Erheben vom Sitz wird der Urinablauf wieder geschlossen.



Abb. 2.17: ROEDIGER Toilettenschüssel (Pfeil zeigt auf den Urinablauf) [26]



Abb. 2.18: ROEDIGER Trenntoilette [27]

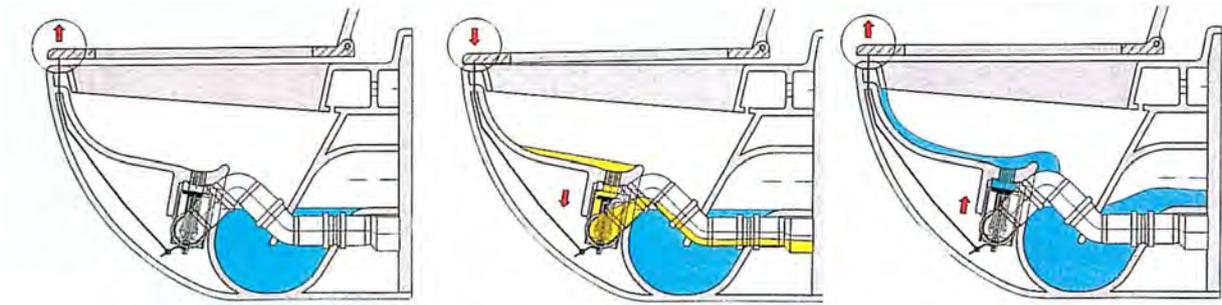


Abb. 2.19: Funktionsprinzip der Toilette [26]

Urinverwertung

Der Mensch produziert im Durchschnitt 1,4 Liter Urin und 140 Gramm Fäkalien täglich. Der Urin trägt 81 % zum Stickstoffanteil und 50 % zum Phosphoranteil des häuslichen Abwassers bei, das nur ein % des gesamten Abwasservolumens ausmacht. Beide können Eutrophierung verursachen, was die Nährstoffanreicherung in einem Ökosystem bezeichnet und zu einer erhöhten pflanzlichen Produktion in Gewässern führen kann. Aufgrund des morgendlichen Höhepunktes an Stickstoff im Urin, müssen Kläranlagen wesentlich größer gebaut werden, als es ohne Stickstoffelimination notwendig wäre. Es wurden in der Vergangenheit große Anstrengungen unternommen, den Phosphor zu fällen sowie Ammonium in Nitrat umzuwandeln und anschließend zu fällen. Ohne die Anteile des Urins könnten die verbleibenden Stickstoff- und Phosphoranteile im Abwasser mit den vorhandenen Mikroorganismen behandelt werden und die Abwasserbehandlung energieeffizienter gestalten. Kläranlagen könnten kleiner gebaut werden und Gewässer wären besser vor Stickstoff und Phosphor geschützt [15][14]. Neben der Verwertung des Urins vor Ort kann der Urin auch zentral in einer Anlage behandelt werden. Hierfür wären allerdings neue Leitungen notwendig, die teuer sind. Ebenso aufwendig und teuer wäre der Abtransport des Urins aus Kellerspeichern. Larsen et al. vertreten die Meinung, dass eine dezentrale Urinbehandlung langfristig wettbewerbsfähiger ist. Bisher sind auf dem Gebiet der dezentralen Urinaufbereitung allerdings noch keine Forschungsarbeiten bekannt. Aus den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor kann entweder ein Pflanzendünger hergestellt werden oder diese können mit ähnlichen Verfahren wie in Kläranlagen eliminiert werden. Da der Urin organische Mikroverunreinigungen, vor allem Medikamentenrückstände und Hormone, enthält, die in Gewässern ebenso unerwünscht sind wie in der Landwirtschaft, müssen Stickstoff und Phosphor zunächst aus dem Urin gewonnen werden [15][14]. Der Abbau des Harnstoffes durch Bakterien zu Ammoniak und Kohlendioxid führt zu einem Anstieg des pH-Wertes. Das Löslichkeitsprodukt verschiedener schwerlöslicher Salze wird dadurch überschritten, so dass diese auskristallisieren. Die Fällungsprodukte setzen sich in den Leitungen ab und können bereits nach wenigen tausend Benutzungen zu Verstopfungen führen. Zur Lösung dieses Problems gibt es zwei Ansätze. Es können entweder

biologische Aktivitäten zum Beispiel durch den Einsatz selbstreinigender Oberflächen verhindert werden oder die unvermeidlichen Ausfällungen durch eine in die Toilette integrierte, austauschbare Einheit erzwungen werden [15][14]. In Industrieländern ohne Nährstoffmangel stellt sich die Frage, inwiefern sich eine aufwendige Düngerherstellung lohnt, da Dünger heute sehr billig ist.

Wirkung

Durch den Einsatz urinseparierender Toiletten lässt sich die Spülwassermenge und damit der Wasserverbrauch erheblich reduzieren und der unverdünnte Urin getrennt verwerten, zum Beispiel in Form von Pflanzennährstoff [26]. Daneben verspricht die Firma ROEDIGER Komfort, einfache Handhabung sowie ein modernes Design. Mit einem kleinen Einsatz kann energieeffizient zum Umweltschutz beigetragen werden. Insbesondere Gewässer können entlastet werden, weil die Nährstoffemissionen aus dem Abwasser stark begrenzt werden können. Kombiniert mit einem herkömmlichen Anschluss an Kanal und Kläranlage für das restliche Abwasser kann die Technologie durchaus auch in Europa wirtschaftlich konkurrenzfähig werden [14].

Herausforderungen

Der Einsatz von urinseparierenden Toiletten bringt gezwungenermaßen Veränderungen mit sich und stellt dadurch eine Herausforderung für alle Beteiligten dar. Die soziale Akzeptanz hängt davon ab, wie groß die Bereitschaft ist, existierende Gewohnheiten aufzugeben, sich während des Toilettenganges hinzusetzen sowie eine für die separaten Abflüsse passende Sitzposition einzunehmen. Daneben spielt die Unterstützung aller Stakeholder, wie der Benutzer, der wartenden Personen, der Planer, der Bauern, aber auch der Politik eine entscheidende Rolle. Der Einsatz des Urins als Düngemittel ist mit Aufwand verbunden und unterliegt in vielen Ländern besonderen Prüfungen. Die Reinigung von urinseparierenden Toiletten ist etwas aufwendiger und unterliegt besonderen Regeln (nähere Hinweise zur Reinigung werden in [14] gegeben). Der Transport des Urins sowie die Aufbereitung sind noch ungeklärt. Ob eine Urinaufbereitung in Deutschland wirtschaftlich wäre, ist fraglich [32].

Alternative Konzepte

Neben urinseparierenden Toiletten können auch andere Konzepte eingesetzt werden, um den Wasserverbrauch zu senken. Besonders der Einsatz von Vakuumtoiletten bie-

tet sich als Alternative an. Das gesamte Rohrleitungssystem steht dabei unter einem ständigen Unterdruck. Der benötigte Unterdruck wird durch eine zentrale Vakuumstation erzeugt, die beispielsweise im Keller positioniert werden kann. Die einzelnen Sanitärobjekte sind durch Absaugventileinheiten mit der Vakuumstation verbunden, die nur dann öffnen, wenn Schmutzwasser abgesaugt werden sollen. Die Ventile in den Toiletten öffnen auf Knopfdruck, alle anderen Ventileinheiten öffnen automatisch, sobald eine ausreichende Menge Schmutzwasser anliegt, und schließen nach einigen Sekunden wieder. Durch den Unterdruck in den Rohrleitungen wird bewirkt, dass die Wassersäule in das Rohrleitungssystem gedrückt wird. Die Abwässer werden im Tank der Vakuumstation gesammelt und intervallweise in die Kanalisation transportiert. Die Vakuumtoilette benötigt pro Spülvorgang nur ein Liter Wasser, wohingegen eine herkömmliche Spülung je nach Spülkasten und Einstellung zwischen vier und neun Litern Wasser verbraucht. Bei der Vakuumtoilette wird dagegen eine Menge von etwa 60 Litern Luft miteingezogen, die das Schmutzwasser zur Vakuumstation transportiert. Die Toiletten haben jeweils links und rechts eine Düse, durch die Spülwasser vor und während der Spülung in die Schüssel gesprayt wird [23, 24, 34].



Abb. 2.20: SILENTIUM Vakuumtoilette Wandmodell [25]

3 Praktische Umsetzungen in unterschiedlichen Projektgrößen

Klimaveränderung, demographischer Wandel und die zunehmende Übernutzung von regionalen Wasservorräten erfordern ein Umdenken im Umgang mit Wasser in Siedlungen. Es stellt sich daher die Frage, ob unsere bestehenden zentralen Wasserinfrastruktursysteme in der heutigen Form noch zukunftsfähig sind? Denken in Kreisläufen - auch auf dem Grundstück - wird für die Siedlungswasserwirtschaft und Haustechnik zukünftig stärker in den Fokus rücken. Einzelne Bausteine für „wasserautarke“ Grundstücke sind bereits erprobt und marktgängig. Komplette Systemlösungen stehen dagegen erst am Anfang [4].

Veränderungen der Randbedingungen und resultierende Handlungsdrücke:

Derzeit verändern sich wichtige Randbedingungen, unter denen die Wasserver- und Abwasserentsorgung unserer Städte und Siedlungen gewährleistet werden muss. Hierdurch baut sich ein Handlungsdruck auf, die bestehenden Wasserinfrastruktursysteme anzupassen und zu modernisieren. So besteht beispielsweise bei unseren Wasserinfrastrukturen ein dringender Sanierungs-/Modernisierungsbedarf. Aufgrund des erreichten Alters sowie des technischen Zustands sind bspw. ca. 20% der rund 515.000 km öffentlicher Kanäle kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig. Legt man die mittleren Kosten für die Kanalsanierung von rund 500 bis 550 €/m Kanal zugrunde, ergibt sich in Deutschland bis zum Jahr 2020 ein Sanierungsbedarf von bis zu 58 Mrd. €.

Durch den Klimawandel ergeben sich weitere Handlungsdrücke hinsichtlich der Anpassung der Wasserinfrastruktur an die sich teilweise deutlich verändernden Temperatur- und Niederschlagsregime (mehr Starkniederschlags- und andere extreme Wetterereignisse, längere Hitze- und Trockenperioden).

Der demographische Wandel führt zu einer Schrumpfung der Bevölkerung in man-

chen Gebieten Deutschlands (s. Abb. 3.2.1) und einer daraus resultierenden Unterauslastung von Netzen und Anlagen. Dies kann durch erhöhte Standzeiten des Trinkwassers zu einer Wiederverkeimung führen. Um dem entgegenzuwirken, müssen die bestehenden Infrastrukturnetze an die sich verändernden Siedlungsstrukturen kapazitätsmäßig wie auch strukturell angepasst werden.

Auch der weltweit und insbesondere in Entwicklungsländern zu beobachtende Trend der Urbanisierung hat dazu geführt, dass bereits heute ca. 50% der Weltbevölkerung von ca. 7 Mrd. Menschen in Städten leben. Bis zum Jahr 2050 wird nicht nur die Weltbevölkerung insgesamt auf ca. 9 Mrd. Menschen anwachsen, sondern der Anteil der Stadtbevölkerung wird auf ca. 70% ansteigen. Die damit verbundene Aufgabe, die in diesen (Mega-)Städten lebende Bevölkerung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser zu versorgen und eine zuverlässige Abwasserentsorgung zu gewährleisten, ist enorm. Sie wird dadurch erschwert, dass die meisten dieser Städte in relativ wasserarmen Regionen liegen. Sollen nachhaltige und zukunftsfähige Infrastrukturkonzepte entwickelt werden, muss es zu einem umfassenden Paradigmenwechsel kommen [4, S. 13].

Regenwasser und Abwasser werden bisher als Belastung empfunden, in Zukunft sollten sie als Ressource genutzt werden. Mehrere Vorteile ergeben sich im Bezug auf Nachhaltigkeit. Regenwasser kann direkt als Brauchwasser für verschiedene Zwecke (Toilettenspülung, Bewässerung, als Betriebswasser in Industrie und Gewerbe) oder als Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung genutzt werden. Durch Recycling des Abwassers können neben Wasser auch Energie und Nährstoffe gewonnen werden. Energie durch Rückgewinnung von Wärme aus Abwasser oder Kühlwasser bzw. durch Umwandlung der in organischen Inhaltsstoffen enthaltenen chemischen Energie. Nährstoffe werden aus dem nährstoffhaltigem Abwasser gewonnen und als Dünger verwendet, um natürliche mineralische Lagerstätten zu schonen.

Bei der Wasserversorgung sollten bedarfsgerechte Wasserqualitäten eingesetzt werden, also nicht wie bisher, Trinkwasserqualität für alle Anwendungen. Dies wird durch eine getrennte Erfassung mit separater Behandlung und Weiternutzung unterschiedlicher Abwasserströme erreicht. Durch diese Teilstromtrennung wird zusätzlich eine verbesserte Nährstoffrückgewinnung und Energierückgewinnung erreicht [4].

3.1 Wasserautarkes Grundstück

Autarke Systeme im allgemeinen Sinne sind Organisationseinheiten, die alle Dinge, die sie benötigen, selbst besitzen oder erzeugen, bzw. ihren Bedarf auf das beschränken, was sie selbst besitzen. Somit würden sich wasserautarke Grundstücke aus Wasservorräten, die auf dem Grundstück gefördert oder gewonnen werden, versorgen und die

Entsorgung bzw. Reinigung des verwendeten Wassers würde ebenfalls auf dem Grundstück stattfinden. Neben einer vollständigen Autarkie, d.h. eigener Wasserversorgung und Abwasserentsorgung bis hin zur Nutzung können weitere Systeme der Teilautarkie unterschieden werden:

- Objekte mit eigener Wasserversorgung z.B. durch eigene Quellen, Wasserfassungen oder Brunnen
- Objekte mit eigener Abwasserbehandlung ohne Anschluss an ein zentrales Abwasserableitungs und -behandlungssystem
- Objekte mit der Nutzung aufbereiteter Abwasserteilströme (z.B. Regenwasser, Grauwasser, Schwarzwasser etc.)

Vollständige Autarkie ist nach dem heutigen Kenntnis- und Entwicklungsstand nur dann möglich und sinnvoll wenn die dem Grundstück zur Verfügung stehenden offenen und versiegelten Flächen ausreichende Niederschlagsmengen liefern. Dies ist der Fall bei Wohngrundstücken im ländlichen Raum, sowie in großzügigen Wohnsiedlungen [4].

3.2 Pilotprojekte

3.2.1 Vorstellung eines wasserautarken Bürogebäudes

Als Beispiel für eine vollautarke Wasserversorgung ist hier ein Projekt der Firma Green-Life GmbH (Hersteller und Großhändler eines umfangreichen Sortimentes für die Regenwassernutzung, -retention und -versickerung) beschrieben. Anhand der Planung und Errichtung eines Bürogebäudes mit Fertigungs- und Lagerhalle im Schweriner Industriegebiet wird demonstriert, dass nicht nur unter ökologischen Gesichtspunkten, sondern auch unter nicht zu unterschätzenden ökonomischen Aspekten ein Umdenken im Bezug auf Wasserversorgung durchaus von Vorteil ist. Der Plan zur Errichtung der Unternehmensgebäude besteht bereits seit 2003. Der erste Schritt wurde mit dem Neubau einer Fertigungs- und Lagerhalle im Jahr 2006 getätigt und der Neubau des Bürogebäudes startete 2009 und wurde im April 2010 fertiggestellt.

Bilanzierung:

Um eine Bilanzierung durchführen zu können, wurden Wasserverbrauchszahlen und Wasserertragszahlen, also Wasser, welches durch Regen und Abwasser anfällt, im Vorfeld ermittelt.

Wasserverbrauchszahlen:

Bei einem Mitarbeiterstab von ca. 15 Arbeitnehmern:

- Toilettenverbrauch ca. 25 m³/Jahr,
- Trinkwasser/Kaffeewasser/Geschirrspülung ca. 5 m³/Jahr,
- Reinigungsarbeiten von Lagerware vor dem Versand ca. 45 m³/Jahr,
- Waschmaschine im Produktionsbetrieb ca. 5 m³/Jahr,
- Duschwasser aus Sozialräumen/Lager ca. 25 m³/Jahr,
- Putzwasser für das Gebäude ca. 2 m³/Jahr,
- Gartenbewässerung für Grünflächen (800 m²) ca. 33 m³/Jahr.

In Summe ist also von einem Wasserverbrauch von ca. 140 m³/Jahr auszugehen, wobei nur ca. 30 m³ die Ansprüche für Trinkwasserqualität erfüllen müssen.

Wasserertragszahlen:

Die Dachflächen von Produktionshalle (500 m²) und Bürogebäude (160 m²) lassen einen Regenwasserertrag von ca. 300 m³/Jahr erwarten. Zusätzlich fallen auf versiegelten Hof- und Lagerflächen (9000 m²) weitere ca. 6000 m³/Jahr Regenwasser an. Das Abwasser, das im Bürogebäude anfällt, setzt sich aus einem Grauwasseraufkommen von ca. 30 m³/Jahr und einem Schwarzwasseraufkommen von ca. 50 m³/Jahr zusammen. Im Lager und Produktion kommt es zu einem Schwarzwasseraufkommen von ca. 50 m³/Jahr. Diese Gegenüberstellung der Zahlen zeigt also ein klares „Entsorgungsproblem“ des Unternehmens und weniger ein „Versorgungsproblem“!

Planung Wasserkreislaufsysteme:

Die Planung der Wasserversorgung wurde in zwei Systeme unterteilt. In ein Regenwassersystem für Anwendungen, die keine Trinkwasserqualität erfordern und in ein Betriebswassersystem, welches zu Trinkwasser aufbereitetes Regenwasser führt.

Planung des Regenwassersystems:

Zur Deckung des Regenwasserbedarfes in der Produktions- und Lagerhalle wurde eine Regenwasseranlage mit 19500 Litern Volumen installiert. Diese Anlage deckt den Bedarf an Regenwasser für die Waschmaschine, die Reinigungsarbeiten und ca. 70% der Gartenbewässerung für ca. 60 Arbeitstage, das entspricht 12 Wochen und bietet eine komfortable Sicherheit.

Zur Deckung des Regenwasserbedarfes im Bürogebäude wurde eine Regenwasseranlage mit 13000 Litern Volumen installiert. Diese deckt den Bedarf an Regenwasser für die Toiletten, Gartenbewässerung (30%) und die Aufbereitung von Regenwasser zu Trinkwasser für die Kaffeeküche und die Sozialräume für einen Zeitraum von ca. 45 Arbeitstagen. Die Regenwasseranlage im Bürogebäude wird jedoch durch den Einsatz einer Grauwasseranlage entlastet, welche das Duschwasser und das Wasser der Handwaschbecken aus den Sozialräumen wieder aufbereitet und ein zweites Mal dem Betriebswasserkreislauf zuführt. Damit ergibt sich eine Reduktion des Regenwasserbedarfes im Bürogebäude um ca. 25 m³/Jahr, womit sich die Deckung durch Regenwasser aus der Zisterne um 20 Tage erhöht.

Somit kommen beide Gebäude gut drei Monate ohne Regenwasserzulauf bei vollen Regenwasserzisternen aus.

Planung des Betriebswassersystems:

Für die Versorgung der Sozialräume und der Kaffeeküche ist „Trinkwasserqualität“ erforderlich, welche durch den von der GreenLife GmbH hergestellten „RainSafe“ erreicht wird (s. Abb. 3.2.1). Mit dem Einsatz von UV-Licht, Ozon und Aktivkohle bereitet der „RainSafe“ Regenwasser zu bester Trinkwasserqualität auf. Dieser „RainSafe“ kann bis zu 60 Liter Trinkwasser pro Minute produzieren, wobei wir es in dem Bürogebäude mit einem Tagesbedarf von ca. 140 Litern/Arbeitstag zu tun haben. Ein Spitzenbedarf kann problemlos abgedeckt werden. Die Wasserqualität wird durch die Entnahme von Wasserproben ständig überwacht.

Planung des Abwassersystems:

Das Schmutzwasseraufkommen welches zur voll biologischen Kläranlage geleitet wird beträgt maximal 500 Liter/Arbeitstag. Somit wurde bei der Planung eine normale 6 EWL - Anlage veranschlagt, deren Überlauf zur Versickerung geleitet wird.

Planung der Versickerungsanlage:

Die Versickerung des auf der ganzen versiegelten Fläche des Geländes (9700 m²) anfallenden Regenwassers ist realisierbar durch eine Mulde mit entsprechender Versickerung über die „belebte Bodenzone“, also der bakterienreichen Humusschicht [28]. Die Größe der Mulde wurde mit einem Rückhaltevolumen von ca. 300 m³ berechnet und ausgelegt [4].

Kosten und Amortisation:

Anlagenkosten:

Die Anlagenkosten gliedern sich in zwei Regenwasseranlagen, eine Grauwasseranlage (Membranfiltration) und die Trinkwasseraufbereitung durch den „RainSafe“ auf der Versorgungsseite, sowie die Versickerungsanlage und die biologische Kleinkläranlage auf der Versorgungsseite:

- Kosten Regenwasseranlage Produktions- und Lagerhalle: 4700 €
- Kosten Regenwasseranlage Bürogebäude: 4300 €
- Kosten Grauwasseranlage mit Membranfiltration (250 Liter/Tag): 3900 €
- Kosten Trinkwasseraufbereitung „RainSafe“: 7900 €
- Kosten Versickerungsanlage: 5500 €
- Kosten Abwasseranlage (6 EWL-Anlage): 6700 €

Gesamtkosten der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung belaufen sich somit auf ca. 33000 €.

Amortisation:

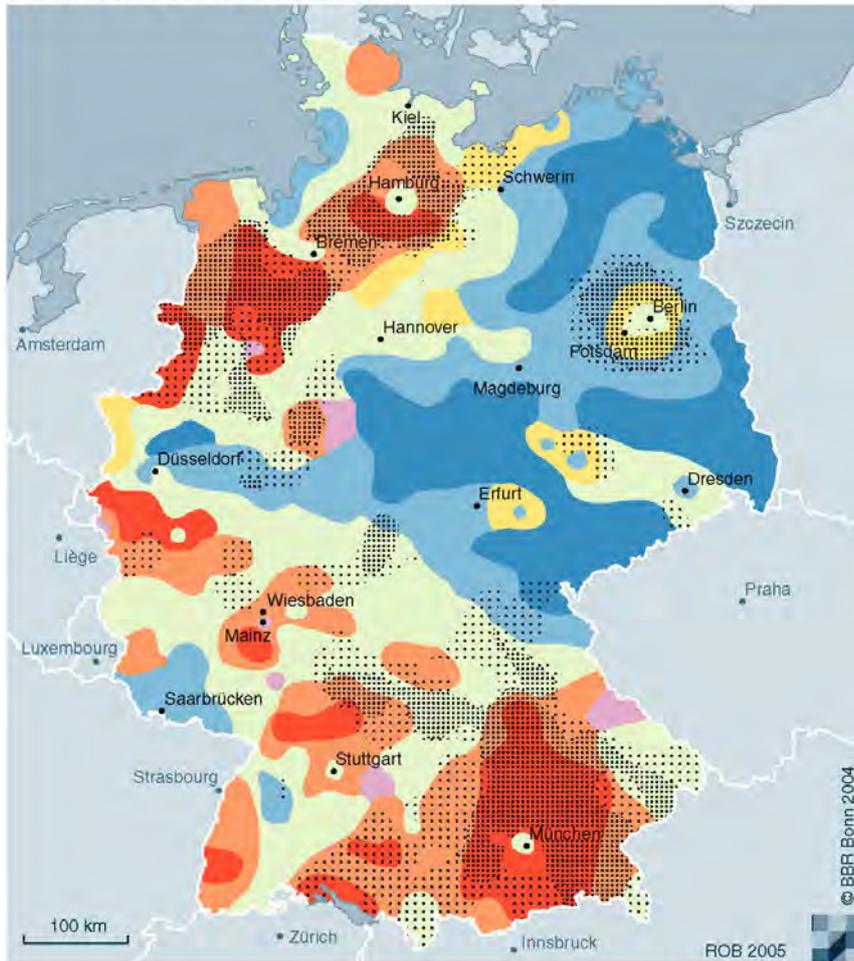
Da die Trink- und Abwasserkosten, auch der Stadt Schwerin, in den nächsten Jahren steigen werden, sind wir von einem mittleren Preis, inklusive Grundgebühren, von 6 €/m³ aus gegangen. Die Einsparung wird sich also im Jahr 2010 bei ca. 850 € bewegen. Zusätzlich ergibt sich eine Gebühreneinsparung bei der jährlichen Niederschlagswassergebühr, welche in Schwerin in Höhe von 0,64 Euro je Quadratmeter und Jahr versiegelter Fläche erhoben wird, also 9700 m² x 0,64 €/m²/Jahr = 6200 €/Jahr.

Somit ergibt sich eine Kosteneinsparung von ca. 7000 €/Jahr und eine Amortisationszeit von 4,7 Jahren [4].



Abb. 3.1: Die Trinkwasseraufbereitung mit „RainSafe“

Trends der Raumentwicklung



Räume in denen die Entwicklung der Bevölkerung und der Beschäftigung geprägt ist durch

- starke Schrumpfung
- geringe Schrumpfung
- divergierende Trends (schrumpfende Bevölkerung, wachsende Beschäftigung)
- Stagnation
- divergierende Trends (wachsende Bevölkerung, schrumpfende Beschäftigung)
- geringes Wachstum
- starkes Wachstum

Siedlungsflächen- und Verkehrswachstum

- stark
- sehr stark

Quellen: Laufende Raubeobachtung des BBR, SuV-Trendrechnung 2020, BBR-Bevölkerungsprognose 2002-2020/Exp, ITP-Intraplan Consult GmbH, Datengrundlagen: BVWP-Verkehrsprognose 2015, Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit, Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung des Bundes und der Länder

Quelle: BBR (2005): Raumordnungsbericht 2005. Berichte Bd. 21, Bonn, Seite 85

Abb. 3.2: Demographischer Wandel

3.2.2 Pilotprojekt Christophorus Haus

Das Christophorushaus ist ein Verwaltungs- und Betriebsgebäude mit Geschäftsflächen, Werkstätte, Lager und Autowaschanlage in Stadl-Paura, Oberösterreich (s. Abb. 3.2.2). Das Gebäude wurde im Oktober 2003 fertiggestellt. Das Christophorushaus ist Arbeitsplatz für neun vollbeschäftigte und fünf teilzeitbeschäftigte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf einer Gesamtnutzfläche von ca. 2000 m². Das Haus dient auch als Veranstaltungsort.

Als übergeordnetes Ziel des Konzeptes Wassernutzung im Christophorushaus wurden das Prinzip der geschlossenen Stoffkreisläufe und ein damit einhergehender Schutz, vor allem der Ressource Wasser, gesehen. Dabei waren Einsparungen an qualitativ hochwertigem Trinkwasser sowie an Energie und eine Entlastung der Kläranlage als Ziele definiert. Geringere Investitions- bzw. Betriebskosten wurden dabei als Teilspekte gesehen. Das Raumklima sollte in Hinblick auf die Austrocknung der Raumluft in den Wintermonaten durch den Einsatz von zwei im Gebäude integrierten, bepflanzten Bodenfiltern verbessert werden.

Durch die kombinierte Nutzung von Regenwasser und gereinigtem Grauwasser für Brauchwasserzwecke und den Einsatz wassersparender Sanitäreinrichtungen wurde die Senkung des Trinkwasserverbrauchs angestrebt. Das Grauwasser der Anlage stammt aus den Handwaschbecken der Sanitärräume und der Küche, die besonders bei Veranstaltungen genutzt wird. Das getrennt abgeleitete Grauwasser wird mittels eines bepflanzten Bodenfilters (Pflanzenkläranlage) biologisch gereinigt, mit dem gesammelten Regenwasser gemischt und steht für die Wiedernutzung als Brauchwasser zur Verfügung. Besonders ist, dass das anfallende Grauwasser im Inneren des Gebäudes aufbereitet wird. Das Brauchwasser wird für die Spülungen der Toiletten, die Versorgung der Autowaschanlage und die Gartenbewässerung eingesetzt. Abwässer aus den Toiletten werden der öffentlichen Kanalisation zugeführt (s. Abb. 3.2.2).

Die Wasserbezugsgebühr in der Gemeinde Stadl-Paura beträgt zum Zeitpunkt der Berichtlegung 1,45 €/m³. Die entsprechende Gebühr für die Abwasserentsorgung beträgt 3,90 €/m³ (Kanalbenützungsg Gebühr). Entsprechend dieser Eckdaten wurde eine Abschätzung der Einsparung an Betriebskosten für das Gebäude erstellt. Die Personalkosten wurden entsprechend einem Technikersatz von 40 €/h abgeschätzt.



Abb. 3.3: Das Christophorushaus in Stadtl-Paura, Oberösterreich

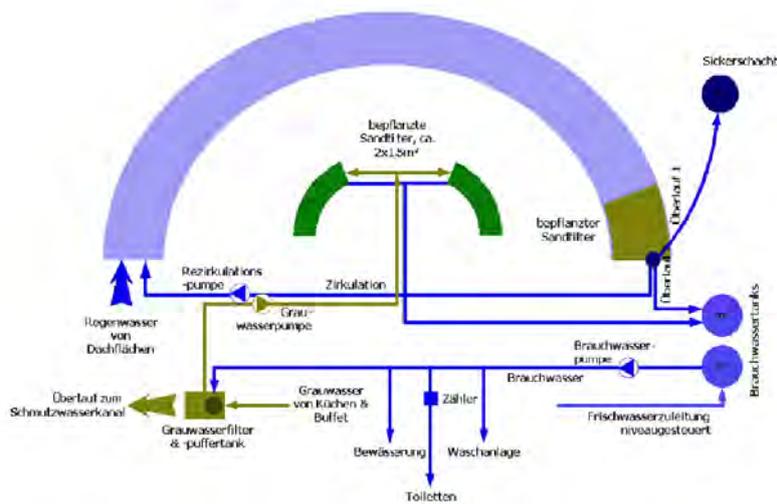


Abb. 3.4: Schema der Grauwasseraufbereitung, Regenwassersammlung und Brauchwassernutzung im Christophorushaus

4 Auswertung der Umfrage

Um Genaueres über die Beweggründe der Nutzer für bzw. gegen den Einsatz neuer Sanitärsysteme zu erfahren, wurde eine Umfrage durchgeführt. Die Umfrage erfolgte anhand des in Abbildung B.1 gezeigten quantitativen Fragebogens und wurde am 9. Mai 2012 auf der Messe IFAT Entsorga durchgeführt. Die IFAT Entsorga ist Weltleitmesse für Wasser- und Abwasserwirtschaft und findet zweijährig in München statt. Der Messebesuch wurde außerdem für persönliche Gespräche mit Ausstellern genutzt, auf die zum Teil in vorherigen Kapiteln eingegangen wurde.

Abgefragt wurden allgemeine Angaben, die Geläufigkeit von Technologien zur Wassereinsparung und eine Einschätzung zu Einsparpotentialen im Alltag. Ferner sollten mögliche Vorbehalte gegen die o.g. Technologien und Beweggründe für den Einsatz von wassersparenden Sanitärsystemen ermittelt werden.

4.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden 136 Fragebögen ausgefüllt, 99 von Männern und 37 von Frauen. Zwei Drittel der Personen waren geschäftlich auf der Messe, ca. ein Drittel privat. Es wurden hauptsächlich Personen befragt, die jünger als 30 (58%) bzw. zwischen 30 und 50 Jahren (32%) alt waren. Diese Zahlen deuten bereits darauf hin, dass die Umfrage keinesfalls als repräsentativ bezeichnet werden kann, zumal die Befragten allein durch die Anwesenheit auf der IFAT ein gesteigertes Interesse an Wasser- und Abwasserwirtschaft an den Tag legen. Dementsprechend sind die im folgenden präsentierten Ergebnisse mit Vorsicht zu genießen und sollten nicht verallgemeinert werden. Nichtsdestoweniger sind aus den Daten Trends ablesbar, die eine tiefere Beschäftigung mit den Ergebnissen rechtfertigen.

Bei der Frage, welche der drei in Abschnitt 2 behandelten Technologien geläufig sind, wurden die in Abbildung 4.1 veranschaulichten Antworten gegeben. Wie zu erwarten, ist die Regenwassernutzung (inkl. Zisterne) nahezu jedem ein Begriff. Bei der Bekanntheit von Grauwassernutzung und Separationstoiletten halten sich die Antworten in etwa die Waage. Bei einem durchschnittlichen täglichen Pro-Kopf-Verbrauch von 120

Litern Wasser in Deutschland sehen 86% der Befragten Einsparpotentiale im Rahmen von 20-60 Litern. Nur 8% glauben, dass Einsparungen von mehr als 60 Litern realistisch sind.

Im nächsten Teil der Fragebögen wurden die Befragten mit Aussagen konfrontiert und konnten ihre Meinung zu diesen in fünf Stufen ausdrücken: stimme gar nicht zu, stimme eher nicht zu, unentschieden, stimme eher zu, stimme voll zu. Die beiden ersten Antworten wurden als Ablehnung, die letzten beiden als Zustimmung interpretiert.

Gefragt nach der Bereitschaft, dezentral in der eigenen Kleinkläranlage aufbereitetes Wasser für verschiedene Verwendungszwecke einzusetzen (jeweilige hygienische Ansprüche sind erfüllt), zeigen sich deutliche Meinungen (s. Abb. 4.2). Eine große Mehrheit ist bereit, aufbereitetes Wasser für die Bewässerung des Gartens (92%) und für die Toilettenspülung (94%) einzusetzen. Geringer ist die Zustimmung schon für die Verwendung in Waschmaschinen (40%) und nur etwa jeder fünfte könnte sich vorstellen selbst aufbereitetes Wasser zum Händewaschen, Geschirrspülen und Duschen zu verwenden.

Eine weitere Fragenkategorie bezog sich auf Gründe, die für den Einsatz von neuartigen Sanitärsystemen sprechen (s. Abb. 4.3). Das Umweltbewusstsein scheint die stärkste Triebfeder für wassersparende Lösungen zu sein (84% Zustimmung), aber auch die Vorbildfunktion für andere Länder und Personen findet starken Zuspruch (71%). 57% der Befragten würden sich für den Einsatz der Technologien entscheiden, wenn dieser nur einen geringen Kostenanteil beim Neubau eines Hauses ausmachen, lediglich 35% um ihr Gewissen zu beruhigen.

Aber nicht nur mögliche Argumente für die neuartigen Sanitärsysteme sollten abgefragt werden, sondern auch solche dagegen (s. Abb. 4.4). Als deutlichste Bedenken kristallisierten sich der Installationsaufwand (34%), der Wartungsaufwand (38%) und hohe Investitionskosten beim Einbau (48%) heraus. Nur jeder fünfte befürchtet Komforteinbußen, hat Bedenken an der Praxistauglichkeit und sieht keine Reduktion der Betriebskosten als Gegenargument. 74% der Befragten sehen jedoch die Notwendigkeit, wassersparende Technologien einzusetzen.

Abschließend wurde gefragt, ob die Umfrageteilnehmer bereit wären, höhere Investitionskosten für Einsparungen im Wasserverbrauch in Kauf zu nehmen. Nur ca. 7% wären dazu nicht bereit, wohingegen mehr als zwei Drittel der Befragten (69%) grundsätzlich mehr Geld für Wassersparen auszugeben.

4 Auswertung der Umfrage

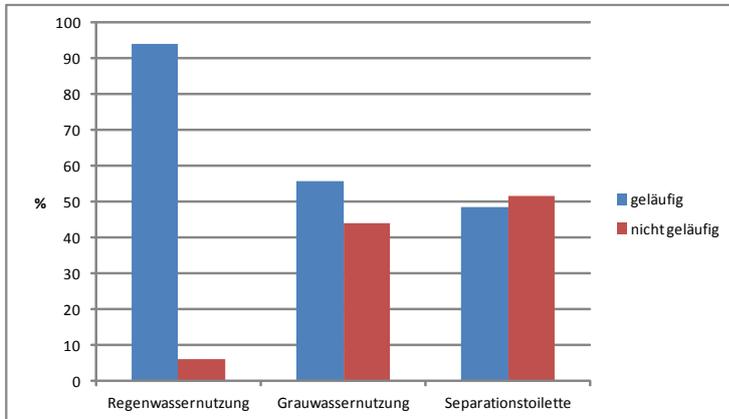


Abb. 4.1: Antworten auf die Frage: „Welche der genannten Technologien sind Ihnen geläufig?“

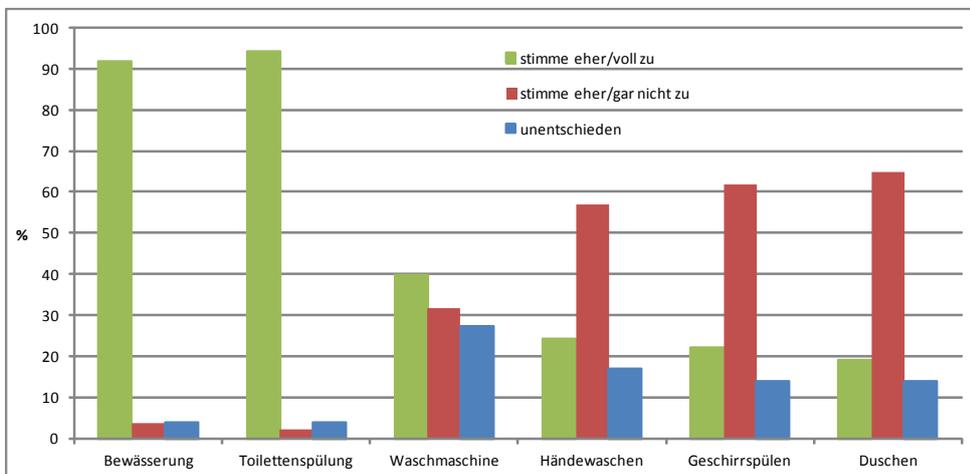


Abb. 4.2: Antworten auf die Frage: „Für welche der folgenden Verwendungszwecke würden Sie aufbereitetes Abwasser aus Ihrer Kleinkläranlage nutzen? (vorausgesetzt, das Wasser genügt den erforderlichen Qualitätsansprüchen)“

4 Auswertung der Umfrage

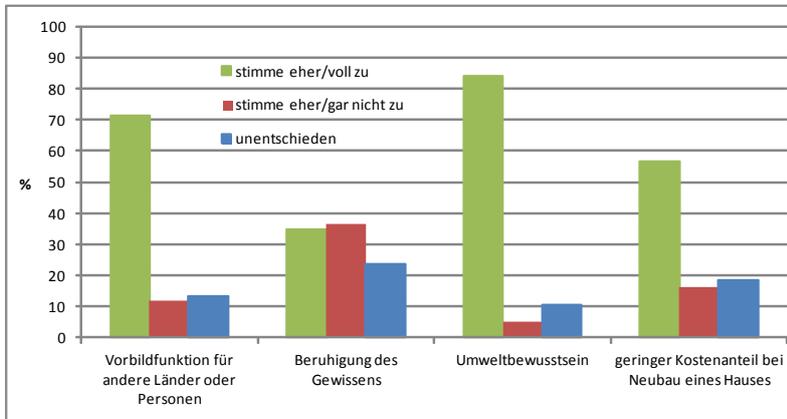


Abb. 4.3: Antworten auf die Frage: „Aus welchen Gründen würden Sie sich für das von uns vorgestellte Gesamtkonzept entscheiden?“

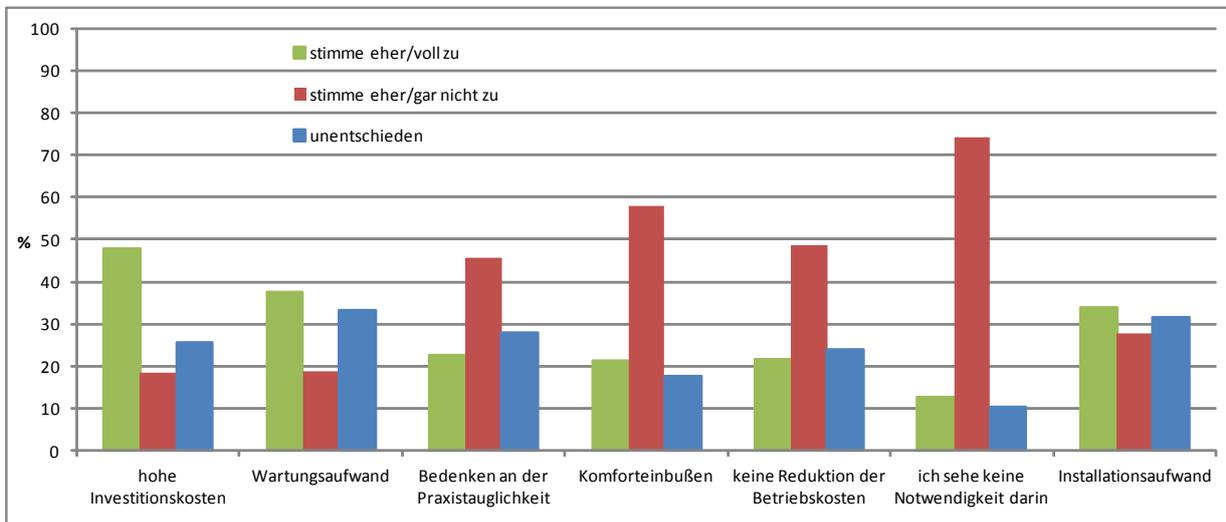


Abb. 4.4: Antworten auf die Frage: „Welche Bedenken haben Sie gegenüber dieser Technologie?“

4.2 Schlussfolgerungen aus den Umfrageergebnissen

Die o.g. Ergebnisse verdeutlichen, dass durchaus ein Bewusstsein für den verantwortungsvollen Umgang mit der Ressource Wasser vorhanden ist. Dabei sind die Ergebnisse weder abhängig vom Geschlecht, noch vom Alter der Befragten. Natürlich spiegeln die Ergebnisse nur die Meinungen der Messebesucher wider, dennoch decken sich die Ergebnisse mit der gesellschaftlichen Stimmung zu diesem Thema. Ein wichtiges Augenmerk bei der Entwicklung neuartiger Sanitärsysteme muss sicherlich auf die Finanzierbarkeit der Lösungen gelegt werden. Außerdem scheinen noch gewisse psychologische Vorbehalte gegen den Einsatz von selbst aufbereitetem Wasser für den Einsatz beim Duschen etc. zu existieren. Hier muss eventuell eine bessere Aufklärung und Sensibilisierung geschehen. Gleiches gilt für Informationen über die Möglichkeiten, Wasser zu sparen. So zeigt die Umfrage, dass nur ca. die Hälfte der Messebesucher, die sich für das Thema Wasserwirtschaft interessieren, wissen, was mit Grauwassernutzung und Separationstoiletten gemeint ist. Auf die ganze Gesellschaft bezogen dürften diese Technologien noch unbekannter sein.

Dennoch zeigen die Befragten, dass sie gewillt sind, aktiv Wasser zu sparen und diesbezüglich auch optimistisch sind. Es wird nicht befürchtet, dass neuartige Sanitärsysteme zu Komforteinbußen führen oder dass sie praxisuntauglich sind. Ein Großteil der Teilnehmer ist außerdem bereit, hohe Investitionskosten in Kauf zu nehmen, wobei die Hauptgründe im Umweltbewusstsein und der Vorbildfunktion zu sehen sind.

5 Zusammenfassung

Die Forschung und Entwicklung für dezentrale Wasserversorgungen hat sich in den letzten Jahren durch Klimaveränderungen, demographischen Wandel und zunehmende Übernutzung von regionalen Wasservorräten deutlich erhöht. Eine Möglichkeit für Grauwasseraufbereitung sind Pflanzenkläranlagen, jedoch benötigen diese Anlagen viel Platz. Durch neue Membranfilter sind in den letzten Jahren platzsparende Produkte marktreif geworden und können in bestimmten Anwendungsfällen wie Duschanlagen wirtschaftlich eingesetzt werden. Zusätzlich werden von vielen Herstellern Regenwassernutzungsanlagen angeboten, um den häuslichen Wasserverbrauch weiter zu reduzieren. Bei diesen Technologien lohnt sich oft eine Trennung der Wasserströme im Haushalt in Brauchwasser und Trinkwasser, da Grauwasseranlagen das Wasser nicht in Trinkwasserqualität aufbereiten können und eine Aufbereitung von Regenwasser in Trinkwasser wesentlich teurer ist. Zusätzlich kann auch eine Trennung von Abwasserströmen – beispielsweise mittels Separationstoiletten – erfolgen, was die Klärung erleichtert.

Mit diesen Technologien wurden bereits mehrere Pilotprojekte durchgeführt. Bereits im Jahr 2003 wurde das Christophorus Haus fertiggestellt, welches einen geschlossenen Stoffkreislauf realisiert hat. Ein weiteres Pilotprojekt ist das wasserautarke Bürogebäude der Firma Greenlife GmbH, welche mit Regenwassernutzung und -aufbereitung komplett auf einen Trinkwasseranschluss verzichten kann. Mit diesen Projekten wurde die praktische Anwendbarkeit dieser Technologie bewiesen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Grauwasser-Recycling: Darmstadt 1999*. Fachtagung der Fbr. Fbr, 1999.
- [2] *Regenwasserbewirtschaftung - Synergien mit der Regenwassernutzung*. Schriftenreihe fbr. fbr, 2009.
- [3] *Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung*. fbr, 2011.
- [4] *Wasserautarkes Grundstück*. Schriftenreihe fbr. fbr, 2011.
- [5] 3P TECHNIK FILTERSYSTEME GMBH: *3P Patronenfilter*. <http://www.3ptechnik.de/de/patronenfilter.html>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [6] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL: *Neuartige Sanitärsysteme*. DWA, 2008.
- [7] ENREGIS GMBH: *ENREGIS/X-Box®*. <http://www.enregis.de/auftritt/daten/pdf/ENREGIS-X-Box-2012.pdf>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [8] FRAUENHOFER – ALIANZ SYSWASSER: *Forschung für die Wassernutzung von morgen*. <http://www.syswasser.de/content/dam/syswasser/de/documents/Forschung%20f%C3%BCr%20die%20Wassernutzung%20von%20morgen.pdf>, 2010. Zugegriffen am 17.05.2012.
- [9] FRÄNKISCHE ROHRWERKE GMBH UND CO.KG: *Sicku-pipe 300 VS*. http://www.fraenkische-drain.de/cps/rde/xchg/fraenkische_de/hs.xsl/207_2368.htm. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [10] GRAU, A. und DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERW: *Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*. DWA - Regelwerk. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, 2005.
- [11] GREENLIFE GMBH: *patentierter Membranfilter*. http://www.greenlife-gmbh.de/all_pdf/Grauwassernutzungsanlagen+Teil+2.pdf. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [12] HUBER SE: *HUBER DeWaTec Membranbelebungsanlage MembraneClearBox®*.

- http://www.huber.de/fileadmin/01_Produnkte/06_Membranbelebung_MBR/03_HUBER_MembraneClearBox_Die_dezentrale_Loesung_bis_500_EW/Prospekte/Huber_Dewatec_MCB_de.pdf. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [13] LANGE, J. und R. OTTERPOHL: *Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft*. Ökologie Aktuell. Mallbeton-Verl., 1997.
- [14] LARSEN, T. A. und J. LIENERT: *Novaquatis Abschlussbericht NoMix - Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft*. Eawag, Dübendorf, 2007.
- [15] LARSEN, TOVE A., ALFREDO C. ALDER, RIK I. L. EGGEN, MAX MAURER und JUDIT LIENERT: *Source Separation: Will We See a Paradigm Shift in Wastewater Handling?* Environmental Science and Technology, 43(16):6121–6125, 2009.
- [16] MALL GMBH: *Tauchmotorpumpe Fontana S*. <http://www.mall.info/produkte/regenwasserbewirtschaftung/regenwassernutzung-zubehoer/zubehoer-gartenbewaesserung/tauchmotorpumpe-fontana-s.html>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [17] MEULER, SIMONE: *Dezentrale Abwasserentsorgung mit der HUBER MembraneClearBox®- die sichere Lösung für Betreiber und Umwelt*. <http://www.huber.de/de/huber-report/praxisberichte/membranbelebungs-mbr/dezentrale-abwasserentsorgung-mit-der-huber-membraneclearboxr-die-sichere-loesung-fuer-betreiber-und-umwelt.html>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [18] MURRAY, ASHLEY, DAVID DOWALL, KARA NELSON und ISHA RAY: *Toolkit for the 21st-Century Urban Sanitation Planner*. http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-1380-en-toolkit-urbansanitation-gtz-ecosan-20081.pdf, 2008. Zugegriffen am 17.05.2012.
- [19] NETZEITUNG.DE: *Täglich 44 Liter Wasser ins Klo*. <http://www.netzeitung.de/wirtschaft/1065357.html>. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [20] OTTO GRAF GMBH: *GRAF Regenwasser-Erdtank Carat*. <http://www.graf-online.de/regenwassernutzung/regenwassertank/regenwassertank-carat/carat-tank.html>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [21] OTTO GRAF GMBH: *VS-Schachtsystem DN 400 der Firma Otto Graf GmbH*. <http://www.graf-online.de/versickerung/schaechte-und-zubehoer/vs-schachtsystem-dn-400.html>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [22] REGENWASSERTAGE, INTERNATIONALE: *Regenwassernutzung und -bewirtschaftung im internationalen Kontext*. Schriftenreihe Fbr. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung, 2001.

- [23] ROEDIGER VACUUM GMBH: *Vakuumsanitärtechnik Funktionsprinzip*. http://www.roevac.com/page/de/page_ID/58. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [24] ROEDIGER VACUUM GMBH: *Vakuumsanitärtechnik Vakuumtoiletten*. http://www.roevac.com/page/de/page_ID/60?PHPSESSID=19d98118d9c72ee86e1c37bcee83ecf9. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [25] ROEDIGER VACUUM GMBH: *ROEVAC Vakuumentchnik Bemusterung SILENTIUM Vakuumtoilette Wandmodell*, 2011. Zugegriffen am 19.12.2011.
- [26] ROEDIGER VAKUUM- UND HAUSTECHNIK GMBH: *ROEDIGER-Trenntoilette*. http://www.roevac.de/include_CST/pv_CST_produkte/getfile.php?DID=3&type=pdf&PHPSESSID=56b056683655bb3b5eaa2fbd25182537. Zugegriffen am 13.05.2012.
- [27] ROEDIGER VAKUUM- UND HAUSTECHNIK GMBH: *ROEDIGER-Trenntoilette*. Zugegriffen am 16.12.2011.
- [28] SIEKER, F.: *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten*. Kontakt & Studium. expert-Verl., 2003.
- [29] UMWELT, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR und C. KOSCHI: *Bepflanzte Bodenfilter zur Reinigung häuslichen Abwassers in Kleinkläranlagen: Informationen für Planung, Bau und Betrieb*. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008.
- [30] VON MUENCH, ELISABETH AND WINKER, MARTINA: *Appendix 1 Technology review of urine diversion components*. <http://www.gtz.de/en/dokumente/giz2011-en-appendix-1-waterless-urinals-suppliers-list.pdf>, 2011. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [31] VON MUENCH, ELISABETH AND WINKER, MARTINA: *Appendix 3 Technology review of urine diversion components*. <http://www.gtz.de/en/dokumente/giz2011-en-appendix-3-UD-pedestals-suppliers-list.pdf>, 2011. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [32] VON MUENCH, ELISABETH AND WINKER, MARTINA: *Technology review of urine diversion components*. <http://www2.gtz.de/dokumente/bib-2011/giz2011-0270en-urine-diversion.pdf>, 2011. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [33] WIKIPEDIA: *Pflanzenkläranlage*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzenkläranlage>. Zugegriffen am 26.05.2012.
- [34] WIKIPEDIA: *Toilettenspülung*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Toilettensp%C3%BClung>. Zugegriffen am 14.05.2012.
- [35] WILDERER, PETER A.: *Sustainable Urban Water Management*, 26.04.2011. Meeting Siemens: Urban Sustainability Centre.

Appendix

A Bearbeiter

Textteil	Bearbeiter
Kapitel 1	Roland Fuchsberger
Abschnitt 2.1, 2.2 und 2.3	Elisabeth Schmidt
Abschnitt 2.4	Tobias Renz
Kapitel 3	Manuel Philipp
Kapitel 4	Axel Stürmer
Kapitel 5	Roland Fuchsberger

Tab. A.1: Bearbeiter

B Fragebogen



Alter: <30 30-50 51-70 >70

Geschlecht: m w

Grund des Messebesuchs: geschäftlich privat

Wo wohnen Sie?

Neubauhaus Altbauhaus Neubauwohnung Altbauwohnung

Welche der angesprochenen Technologien sind Ihnen geläufig?

Regenwassernutzung (inkl. Zisterne) Grauwassernutzung Separationstoilette

Der tägliche Wasserverbrauch in Deutschland liegt bei ca. 120 Litern pro Person. Wie hoch schätzen Sie die täglichen Einsparpotenziale durch einen bewussteren Umgang mit Wasser und durch den Einsatz neuartiger Technologien?

<20 Liter 20-40 Liter 41-60 Liter >60 Liter

Für welche der folgenden Verwendungszwecke würden Sie aufbereitetes Abwasser aus Ihrer Kleinkläranlage nutzen? (vorausgesetzt, das Wasser genügt den erforderlichen Qualitätsansprüchen)

	stimme gar nicht zu			stimme voll zu			weiß nicht
Bewässerung	<input type="checkbox"/>						
Toilettenspülung	<input type="checkbox"/>						
Waschmaschine	<input type="checkbox"/>						
Händewaschen	<input type="checkbox"/>						
Geschirrspülen	<input type="checkbox"/>						
Duschen	<input type="checkbox"/>						

Aus welchen Gründen würden Sie sich für das von uns vorgestellte Gesamtkonzept entscheiden?

	stimme gar nicht zu			stimme voll zu			weiß nicht
Vorbildfunktion für andere Länder oder Personen	<input type="checkbox"/>						
Beruhigung des Gewissens	<input type="checkbox"/>						
Umweltbewusstsein	<input type="checkbox"/>						
geringer Kostenanteil bei Neubau eines Hauses	<input type="checkbox"/>						
Andere Gründe:	_____						

Welche Bedenken haben Sie gegenüber dieser Technologie?

	stimme gar nicht zu			stimme voll zu			weiß nicht
hohe Investitionskosten	<input type="checkbox"/>						
Wartungsaufwand	<input type="checkbox"/>						
Bedenken an der Praxistauglichkeit	<input type="checkbox"/>						
Komforteinbußen	<input type="checkbox"/>						
keine Reduktion der Betriebskosten	<input type="checkbox"/>						
ich sehe keine Notwendigkeit darin	<input type="checkbox"/>						
Installationsaufwand	<input type="checkbox"/>						

Wären Sie bereit, höhere Investitionskosten für Einsparungen im Wasserverbrauch in Kauf zu nehmen?

	eher nein				eher ja	weiß nicht
	<input type="checkbox"/>					

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Abb. B.1: Quantitativer Fragebogen