

**Untersuchung
zum internationalen Stand
und der Entwicklung
Alternativer Wassersysteme**

Verantwortlich für den Inhalt sind die Verfasser

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Referat 421

Heinemannstraße 2

53175 Bonn

Telefon: 01888 / 57-0

Telefax: 01888 / 57 8-3601

Internet: <http://www.bmbf.de>

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Technik und Umwelt

Projekträger für Wassertechnologie und Entsorgung

Postfach 3640

76021 Karlsruhe

Telefon: 07247 / 82-0

Telefax: 07247 / 825070

Internet: <http://www.fzk.de>

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Karl-Ulrich Rudolph

Dipl.-Ing. Dirk Schäfer



Institut für Umwelttechnik und Management
an der Universität Witten/Herdecke gGmbH

Alfred-Herrhausen-Strasse 44
58455 Witten

Tel: 02302 / 91401-0, Fax: 02302 / 91401-11

e-mail: mail@uni-wh-utm.de

<http://www.uni-wh-utm.de>

Bonn - Karlsruhe - Witten, Oktober 2001

Druck
Lonnemann GmbH
Ludgerstraße 13
59379 Selm

Zu diesem Bericht ist eine ausführliche englische Zusammenfassung erhältlich.

INHALTSVERZEICHNIS

I	EINLEITUNG	1
II	DEFINITIONEN, SYSTEMKRITERIEN UND ANWENDUNGSPOTENZIAL	4
III	STRUKTURÜBERSICHT DER WASSERSYSTEME	9
IV	KOMPONENTEN UND OPERATIONEN DER WASSERSYSTEME	13
0	VORGEHENSWEISE	13
1	WASSERVERSORGUNG	15
	<i>1.1 Wassergewinnung.....</i>	<i>15</i>
	<i>1.1.2 Oberflächenwasser</i>	<i>16</i>
	<i>1.1.3 Regenwasser</i>	<i>16</i>
	1.2 WASSERAUFBEREITUNG.....	17
	<i>1.2.1 Zentrale Versorgung.....</i>	<i>17</i>
	<i>1.2.2 Dezentrale Versorgung.....</i>	<i>19</i>
	<i>1.2.3 Gemischt zentrale und dezentrale Ver- und Entsorgung</i>	<i>21</i>
	1.3 WASSERVERTEILUNG.....	22
	<i>1.3.1 Rohrleitung.....</i>	<i>22</i>
	<i>1.3.2 Tankwagen.....</i>	<i>23</i>
	<i>1.3.3 Wasserflaschen.....</i>	<i>24</i>
2	WASSERNUTZUNG.....	25
	2.1 TRINKWASSER	25
	2.2 BRAUCHWASSER.....	26
3	ABWASSERERZEUGUNG	27
	3.1 NIEDERSCHLAGSWASSER.....	27
	3.2 GRAUWASSER UND SONSTIGE ABWÄSSER.....	27
	3.3 SCHWARZWASSER.....	27
4	ABWASSERENTSORGUNG.....	28
	4.1 ABWASSERABLEITUNG	28
	<i>4.1.1 Natürliches Gefälle.....</i>	<i>28</i>
	<i>4.1.2 Künstliches Gefälle.....</i>	<i>29</i>
	<i>4.1.3 Tankwagen.....</i>	<i>29</i>

4.2	ABWASSERKLÄRUNG	30
4.2.1	<i>Zentrale Anlagen</i>	30
4.2.2	<i>Dezentrale Anlagen</i>	30
4.2.3	<i>Gemischte Systeme</i>	33
4.3	ABWASSERVERBLEIB	33
4.3.1	<i>Untergrundverbringung</i>	33
	Exkurs zu Kapitel 4.3.1 (Untergrundverbringung).....	34
4.3.2	<i>Oberflächeneinleitung</i>	36
4.3.3	<i>Abwasserwertung</i>	36
4.3.3.1	Abwasserwertung für die Wasserversorgung	36
	Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung).....	39
	Exkurs II zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung).....	47
	Exkurs III zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung).....	58
	Exkurs IV zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung).....	59
	Exkurs V zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung)	60
4.3.3.2	Stoffliche Verwertung / Integrierte Systeme	61
	Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung)	66
	Exkurs II zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung).....	70
	Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung)	70
V	ÜBERSICHT DER RECHERCHIERTEN PILOTPROJEKTE.....	74
VI	ZUR WIRTSCHAFTLICHKEIT „ALTERNATIVER WASSERSYSTEME“	79
1	KAPITALKOSTEN (CAPEX – CAPITAL EXPENDITURES).....	79
2	ARBEITS- UND ZEITKOSTEN	83
VII	ERGEBNIS.....	85
1	AWS FÜR DICHT BESIEDELTE BALLUNGSZENTREN.....	85
2	AWS FÜR BEREICHE MIT MITTLERER EINWOHNERDICHTE (SIEDLUNGEN UND VORSTÄDTE).....	87
3	AWS FÜR DÜNN BESIEDELTE UND ENTLEGENE VERSORGUNGSGBIETE	91
4	RESSOURCENABHÄNGIG EINGESETZTE AWS	92
5	SITUATIONSABHÄNGIG EINGESETZTE AWS	93
6	GENERELLE BEDENKEN	95
VIII	FAZIT	96
IX	LITERATURQUELLEN	98

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Internationale Recherche über alternative Wassersysteme	10
Abbildung 2:	Anteil verschiedener Rohwassertypen an der Wassergewinnung in Deutschland	15
Abbildung 3:	Zentrale Ver- und Entsorgung.....	18
Abbildung 4:	Dezentrale Ver- und Entsorgung.....	20
Abbildung 5:	Gemischt zentrale und dezentrale Ver- und Entsorgung	21
Abbildung 6:	Wasserversorgung in den größten Städten: durchschnittlicher Prozent- satz der Bevölkerung nach Art der Versorgung, nach Region	22
Abbildung 7:	Zapfstelle in Afrika	23
Abbildung 8:	Wasserverkäufer in Peru	24
Abbildung 9:	Anteile verschiedener Trinkwassernutzungen im Haushalt.....	25
Abbildung 10:	Abwasserentsorgung in den größten Städten: durchschnittlicher Prozentsatz nach Art der Einrichtung, nach Region.....	28
Abbildung 11:	Schema eines Membran Jokhasous.....	32
Abbildung 12:	Aufbereitung des Kläranlagenablaufs für die Versickerung in der Water Factory 21	35
Abbildung 13:	Grauwasseraufbereitungsanlage der Firma Hans Grohe.....	41
Abbildung 14:	Fließbild der Recyclinganlage des Ohtemachi Financial Centre	49
Abbildung 15:	Makuhari New City und Shinjuku	51
Abbildung 16:	Fließbild der Recyclinganlage in Fukuoka	52
Abbildung 17:	The water cycle management strategy for Homebush Bay.....	53
Abbildung 18:	Abwasserrecycling-Anlage des Ministry of Social Services	55
Abbildung 19:	Abwasserrecycling-Anlage im Salt Spring Island Village Resort.....	57
Abbildung 20:	Anlage der Huband Park Elementary School	58
Abbildung 21:	Denver Potable Reuse Demonstration Treatment Plant Processes	59
Abbildung 22:	Beispielhaftes Schema eines integrierten Entsorgungssystems	63
Abbildung 23:	Separate Teilstrombehandlung des Urins	67
Abbildung 24:	Separationstoilette.....	69

Abbildung 25: Healthy House, Toronto	71
Abbildung 26: Abwasserkosten Rostock	81
Abbildung 27: Differenzkosten K bei Wasserverbrauchänderung	82
Abbildung 28: Versorgung mit Wasserflaschen in Peru	85
Abbildung 29: Brauchwasserverteilrohre der Nachbehandlungs- und Verteil- station Chiba	87
Abbildung 30: Zapfstelle in Peru	88
Abbildung 31: Trenntoilette, Pfeil zeigt Urinablauf	88
Abbildung 32: Regenwasseranlage mit Erdspeicher	90
Abbildung 33: Sanitärkonzept mit Grauwasserbehandlung	91
Abbildung 34: Kläranlage in Irvine	92
Abbildung 35: Meteora-Kloster, Griechenland	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Definition „konventionelle“ und „alternative“ Systeme der Wasserver- und –entsorgung	4
Tabelle 2:	Systemkriterien der alternativen Wasserver- und –entsorgung	5
Tabelle 3:	Existing alternative solutions for water supply	6
Tabelle 4:	Existing alternative solutions for sanitation.....	7
Tabelle 5:	Anwendungspotential für alternative Systeme	8
Tabelle 6:	„Ausreichende“ und „unzureichende“ Technologien für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung.....	11
Tabelle 7:	Empfehlungen und Richtlinien für die Qualität von recyceltem Abwasser für die Toilettenspülung.....	38
Tabelle 8:	C-, N-, P- und K-Gehalte des Abwassers.....	62
Tabelle 9:	Recherchierte Projekte	74

I Einleitung

Die seit Ende des 19. Jahrhunderts in Deutschland und in zahlreichen anderen industrialisierten Ländern entstandenen überwiegend zentral ausgerichteten Systeme zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung gelten als bedeutende Errungenschaft im Hinblick auf Stadthygiene und Lebensqualität. Die heutigen Versorgungsnetze sind zumeist mit den Städten gewachsen und sorgen damit in den urbanen Regionen für einen hohen Anschlussgrad. Aufgrund der gestiegenen Kosten und der Tatsache, dass vielerorts die Systeme altern und hohe Reinvestitionen anstehen, wird zunehmend nach Alternativen zu den bestehenden Strukturen und Lösungskonzepten gesucht. Auch der technologische Fortschritt, welcher in den vergangenen Jahren neue Verfahren zur Aufbereitung von Trinkwasser und zur Abwasserreinigung gebracht hat, scheint in manchen Bereichen eine Abkehr von der an sich jahrzehntelang bewährten zentralen Wasserversorgung und Abwasserreinigung möglich zu machen.

Die Vorteile der zentralen Wasserversorgung über Druckleitungsnetze und zentralen Abwasserentsorgung über die Schwemmkanalisation liegen in der hohen Sicherheit, dem hohen Nutzungskomfort und relativ geringem Betriebsaufwand. Aber es gibt auch Nachteile:

- Bei zentralen Systemen ist der Kostenanteil für den Transport über Wasserrohrleitungen oder Abwasserkanäle relativ hoch, oft höher als die Kosten für die eigentliche Wassergewinnung bzw. die eigentliche Abwasserreinigung.
- Bei der Wasserversorgung muss der höchste Qualitätsstandard für Trinkwasser (das wichtigste Lebensmittel) eingehalten werden, obwohl der überwiegende Teil des Wassers für niederwertigere Zwecke verbraucht wird (beispielsweise zur Toilettenspülung).
- Bei der Abwasserentsorgung mit Schwemmkanalisation, (insbesondere im Mischsystem), werden unterschiedliche Abwasserarten vermischt und stark verdünnt. Dies führt zu einem entsprechenden Mehraufwand in den nachgeschalteten Klärwerken, wo die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe eliminiert werden und bestenfalls über den „Umweg“ Klärschlamm verwertet werden können.

- Das zentrale System funktioniert nur bei ausreichendem Wasserverbrauch (Metermengenwert). Anreize zum Wassersparen sind daher nur bis zu einem gewissen Grad volkswirtschaftlich und betriebswirtschaftlich sinnvoll.
- In Überschwemmungsgebieten oder Regionen mit anhaltender Wasserknappheit ist die zentrale Druckwasserversorgung und Schwemmkanalisation ggf. nicht die adäquate Lösung, weil beispielsweise mit den Ressourcen nicht sparsam genug umgegangen wird.

Das Thema „Alternative Wassersysteme“ ist keineswegs neu und seit Jahrzehnten ein Arbeitsthema der Verfasser¹. Zu den heute zunehmend diskutierten Alternativen zählen sowohl neue Technologien (z.B. Membrantechnologie), wassersparende Installationen als auch Veränderungen des bestehenden zentralen Systems mit Schwemmkanalisation hin zu semizentralen oder dezentralen Lösungen mit der Abtrennung und dem Recycling von Teilströmen (Grauwasserrecycling, Nährstoffrecycling, Energiegewinnung etc.). Ziel des in diesem Bericht vorgestellten BMBF-Forschungsvorhabens war es zu recherchieren, welche alternativen Systeme und Technologien derzeit weltweit diskutiert und erprobt werden.

Parallel dazu findet eine Untersuchung mit dem Titel „Integrierte Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Gebiete“ an der Technischen Universität München statt, welche sich im Wesentlichen auf Deutschland und ausgewählte Lösungsansätze für Entwicklungsländer fokussiert.²

¹ Rudolph, K.-U. (1979) sowie
Rudolph, K.-U. (1981)

² Wilderer, P. (2001)

Delphi-Studie „Wassertechnologie im Jahr 2010“

1998 gaben die Messe Frankfurt GmbH und das Hessische Umweltministerium beim Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung eine Delphi-Studie zum Thema „Wassertechnologie im Jahr 2010“ in Auftrag.

Im Rahmen dieser Studie äußerten sich 45 internationale Experten aus den Bereichen Sanitärindustrie, Wasserwirtschaft, Wissenschaft und öffentliche Wasserversorgung dazu, welche Entwicklungen sie in der Wassertechnik in den nächsten Jahren erwarten.

Die Experten gehen davon aus, dass bis 2010 etwa 15 % der Neubauten in Europa und den USA sowie 20 % in Asien über eine Betriebswasseranlage verfügen werden.

Fast die Hälfte der Befragten rechnet damit, dass bis 2010 mehr als 10 % der neu installierten Toiletten mit Betriebswasser gespült werden und 41 % erachten bereits heute die hausinterne Grauwassernutzung als hygienisch unbedenklich.

Während die Studie prognostiziert, dass 2010 in den USA mehr als 40 %, in Europa mehr als 50 % und in Asien mehr als 60 % der Bevölkerung die Nutzung von Regenwasser im Haushalt akzeptieren werden, wird die Akzeptanz von Grauwasser im Haushalt für die USA auf 21 %, für Europa auf 30 % und für Asien auf 36 % geschätzt.

Quelle: Hessisches Umweltministerium (1999)

II Definition, Systemkriterien und Anwendungspotenzial

Bezüglich der noch nicht erfassten Restanschlüsse in Deutschland (im ländlichen Bereich und in Außengebieten ca. 3 Mio. EW) sowie für wachsende Problemregionen im Ausland (laut WHO-Schätzung 2,5 Mrd. EW bis 2005) besteht ein großes Anwendungspotenzial für so genannte „Alternative Systeme“ der Wasserver- und -entsorgung.

Darunter fällt eine Vielzahl an technologischen und logistischen Konzepten, die von der in entwickelten Siedlungsgebieten üblichen und bewährten zentralen Druckversorgung mit Trinkwasser bzw. von der zentralen Abwasserentsorgung über Schwemmkanäle abweichen (**Tabelle 1**).

Bedingt durch den technologischen Fortschritt sind Systemalternativen verbessert und anwendungsreif gemacht worden, und mit neuen Technologien sind zusätzliche Alternativen entstanden. Die Anwendungspalette reicht dabei von der einfachen Regenwassernutzung über naturnahe oder kompakte Kleinkläranlagen bis hin zu aufwendigen Wasserkreislaufsystemen.

Tabelle 1: Definition „konventionelle“ und „alternative“ Systeme der Wasserver- und -entsorgung

<u>nach Strukturmerkmal</u>	
zentral	⇒ konventionell
semizentral	
dezentral	⇒ alternativ
<u>nach Funktionsmerkmal</u>	
Vollanschluss (externe Versorgung)	⇒ konventionell
Teilanschluss (semi-externe Versorgung)	
autark / autonom (Eigenversorgung)	⇒ alternativ
<u>Definition</u>	
konventionell =	zentrale Struktur, Druckwasserversorgung, Abwasser-Schwemmkanal, einheitliche Wasserqualität
„alternativ“ =	alles andere (dezentral, autonom, night soil, dual water supply u.v.a.m.)

Im Allgemeinen wird bei „alternativen“ Systemen abweichend von der zentralen Lösung eine dezentrale oder semizentrale Struktur angestrebt, die bis zu einer autonomen Lösung für Einzelgebäude oder Baugruppen reicht (**Tabelle 2**). Unter dem Begriff „integrierte Ver- und Entsorgungskonzepte“ (englisch: multi utilities) werden zudem die Bereiche Abfall und Energie (Biogas, Abwärmenutzung ...) subsummiert.

Tabelle 2: Systemkriterien der alternativen Wasserver- und -entsorgung

<u>Begriffe</u>	
Wasser	= TW + BW (Trink- + Brauchwasser)
Abwasser	= RW + GW + FW (Regen- + Grau- + Fäkalwasser)
* Abfall	= wiederverwertbare + organische + inerte Abfälle
* Energie	= Strom + Gas + Wärme
	* integrierte Systeme (Querverbund, multi-utility)
<u>Transport</u>	
	(Gefällekanal, Druckleitung, Vakuumsystem, LKW-Transport etc.)
<u>Behandlung/Verfahren</u>	
	(physikalisch/mechanisch: z.B. Filter, UV; biologisch: z.B. Belebung, Tropfkörper; chemisch: z.B. Ozon, Chlor)
<u>Anlagentyp/Bauweise</u>	
	kompakt: z.B. Containeranlage
	großvolumig: z.B. Teichanlage

In den **Tabellen 3 und 4** sind die Grundsysteme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung mit Anwendungskriterien dargestellt. Ein wichtiger Teil der Abwasserentsorgung sind die so genannten Sanitärkonzepte.

Tabelle 3: Existing alternative solutions for water supply

Type	Description	Average Water Supply (L/C/D)	No. of households supplied	Advantages	Disadvantages	Examples
Communal open wells.	A bucket attached to the end of a rope is used to draw water from a well.	10-50		In principle, cheap source of water (but can be fairly expensive taking account of the cost of ropes, buckets, etc.).	High risk of contamination.	Dhaka
Tube wells/bore-holes	Pumps are attached to the top of a pipe which is sunk into an aquifer.			Clean water is available.	Reliability of pumps. Can be expensive to sink.	Dhaka, Jakarta
Water vendors	A vendor delivers water to the home.	5-50		Water is brought to the home.	Expensive. Quality of water supplied.	Jakarta, Maroua, Ho Chi Minh
Public tanker trucks.	Trucks deliver water to the home or close by.	5-50		Water is brought to the home or close by.	Expensive.	Phnom Penh
Water kiosks	An operator sells water from a kiosk, from where users have to carry it home.	5-20	100	Clean water is available. People only pay for water they use. Very high payment rate.	Expensive. People have to walk and carry long distances.	Port-au-Prince, Ouagadougou
Communal standpipes	A tap shared by many homes.	10-50	25	Cheaper installation than other systems - low bills.	People have to carry their water. Different methods of payment. Payment problems.	Jakarta, Ouagadougou, Delhi
Yard or roof tanks	Water is drawn from tanks installed at each home; the tanks are filled daily.	30-50	1	Water is always paid for. People can judge the amount of water they are using.	Tank may empty if consumption is high.	Durban
Yard taps	Service pipe delivers water to tap situated in the yard.	30-100	1	Water is available on-site.	High investments.	
House connections.	Service pipes are laid to supply water direct to taps inside the home.	40-250	1	Very convenient.	Water use escalates. High investment costs.	City centres

(Quelle: Suez Lyonnaise des Eaux, 1998, überarbeitet)

Tabelle 4: Existing alternative solutions for sanitation

Type	Description	Average flush water volume (litres)	Advantages	Disadvantages	Examples
Ordinary pit latrines	A pit with a seat, in a shelter.		Basic enough for people to construct themselves.	Often badly built. Problem with flies and stench.	Dar-Es-Salaam, Tanzania.
Bucket sanitation systems.	A bucket is placed under a seat in a privy.			Problem with flies and stench. Bucket soon fills when many people use the system.	
VIP latrines.	Reinforced pit with concrete cover and seat. Air vent with screen and anti-mosquito baffle.		Easy to construct. Cheap. Hygienic	No good if ground is rocky or groundwater table is near surface.	Zimbabwe.
Aqua-privy with on-site disposal.	Waste enters a digester to be processed by bacteria. Liquid effluent soaks away.	1	Cheap. Easy to install.	Water tank needs frequent filling. Digester requires periodic emptying. Effluent can contaminate the surrounding ground.	India.
Septic tank.	As aqua-privy with on-site disposal, except that this is a full flush system on-site disposal.	10-20	Can be installed where there are no sewers.	Expensive to install. Reserved for large sites. Cost of emptying sludge disposal.	
Aqua-privy with solid-free sewer or simplified network.	Waste enters a digester to be processed by bacteria. Liquid effluent is evacuated by sewer pipe.	1	Small volume of water needed for flush. No soakway required.	Digester needs periodic emptying.	USA, Australia, Brazil.
Intermediate flush sanitation (with sewer).	Similar to a full flush system but uses less water. All waste goes to a sewer.	3-6	Full flush system is convenient. Use little water.	Needs to be designed and installed correctly.	
Full flush sanitation (with sewer).	Full flush system with on-site sewer to transfer waste to main sewer.	10-20	Most convenient system.	Most expensive system to construct. Uses the most water.	Developed cities.

(Quelle: Suez Lyonnaise des Eaux, 1998, überarbeitet)

Innerhalb solcher Systeme ergibt sich für die Weiterentwicklung der Apparate und Anlagentechnik der Wasserbehandlung ein großes Anwendungspotential (siehe **Tabelle 5**), welches in Zukunft eine ganze Entwicklungsrichtung in der Wasserwirtschaft auslösen wird.

Tabelle 5: Anwendungspotential für alternative Systeme

<ul style="list-style-type: none"> Anwendungsbeispiele sind in D für Sonderfälle, international vielfach gegeben 	<p>mobile Systeme (Schiffe, Bahn, Flugzeug, Baustellen, ...)</p> <p>Außengebiete und ländlicher Raum</p> <p>Stoßbelastungen (Industrie, Saisonbetriebe, Katastrophenhilfe, Tourismus)</p> <p>Sonderfälle (Felsgebiet, extreme Höhen- und Tiefenlagen, Inseln, Wasserschutzgebiet etc.)</p>
	<p>Wasserknappheit (z.B. Sahara)</p> <p>Abwasserüberbelastung (z.B. Bangladesh)</p>
	<p>polit-wirtschaftlich instabile Gebiete (z.B. GUS)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Aktualität: steigend, bedingt durch technischen Fortschritt und ökologische Entwicklung 	<p><u>technischer Fortschritt</u> (Membrantechnik, Steuerung PLS z.B. für Biologie, Fernwirktechnik, RW-Versickerung, Kompostierung, O₃/UV, Transportsysteme)</p> <p><u>Restanschluss-Kostenprogression</u> in Außengebieten Zentralkanalisation oft zu teuer</p> <p><u>Bevölkerungswachstum + politische Krisengebiete</u> öffentliche Infrastruktur funktioniert nicht</p>

Um die Vielfalt der Informationen über Einzeltechnologien und Systeme zu sammeln und zu systematisieren, ist eine internationale Bestandsaufnahme durchgeführt worden, deren Ergebnisse nachfolgend dargestellt sind.

III Strukturübersicht der Wassersysteme

Es stellte sich sehr schnell heraus, dass es nicht sinnvoll ist, die Untersuchung in „Wasser“ und „Abwasser“ zu unterteilen oder sich nur auf eines dieser Teilgebiete zu beschränken. Dabei könnte man jeweils nur einen Teil alternativer WASSERVERSORGUNGSKONZEPTE erfassen, bzw. nur einen Teil alternativer SANITÄRKONZEPTE. [Beispielsweise könnte man über die Regenwassernutzung im Haushalt im Teil „Wasser“ oder über Komposttoiletten im Teil „Abwasser“ sprechen, ohne die Wassersysteme umfassend zu strukturieren.] Dabei würden jedoch viele wichtige Alternativen (wie beispielsweise das Grauwasserrecycling) herausfallen.

Aus diesem Grund wurde zunächst versucht, eine umfassende Struktur der Wassersysteme darzustellen, welche eine Gesamtschau der technischen Alternativen bei den einzelnen Komponenten bzw. Operationen enthält. Das Ergebnis ist in **Abbildung 1** wiedergegeben, und entsprechend dieser Gliederung sind die Auswertungen der zahlreichen internationalen Informationen und Projektbeispiele dargestellt.

In der **Abbildung 1** sind jene Begriffe fett gedruckt, welche die so genannten konventionellen Wassersysteme beschreiben (das ist die zentrale Druckwasser-Vollversorgung bzw. die zentrale Abwasserentsorgung über Gefällekanäle usw.). Die durch Kursivdruck und (nur im Farbausdruck) teilweise rot markierten Begriffe beschreiben die Schwerpunktansätze der Forschung und Praxis zu alternativen Wassersystemen nach dem heutigen Stand.

Es ist keineswegs überraschend, dass sich weltweit immer wieder die gleichen technologischen und logistischen Grundideen finden, und dass sich dabei Überschneidungen und Überlappungen ergeben. Aufgrund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten und Gestaltungsvarianten ist es im Ergebnis dann doch so, dass es kaum völlig identische Projekte und Systemansätze gibt.

Weil es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine aus wasserfachlicher Sicht handelt, konnten die besonderen (u.a. hygienischen, ökotoxikologischen und agrartechnischen) Aspekte der Bewässerung und Düngung mit Abwasser bzw. mit Produkten aus Abwasser nicht näher behandelt werden. Soweit im Rahmen solcher Konzepte jedoch besondere wassertechnische oder -ökonomische Ansätze Beachtung fanden, sind diese in der Bestandsaufnahme und Auswertung berücksichtigt worden.

Internationale Recherche über alternative Wassersysteme

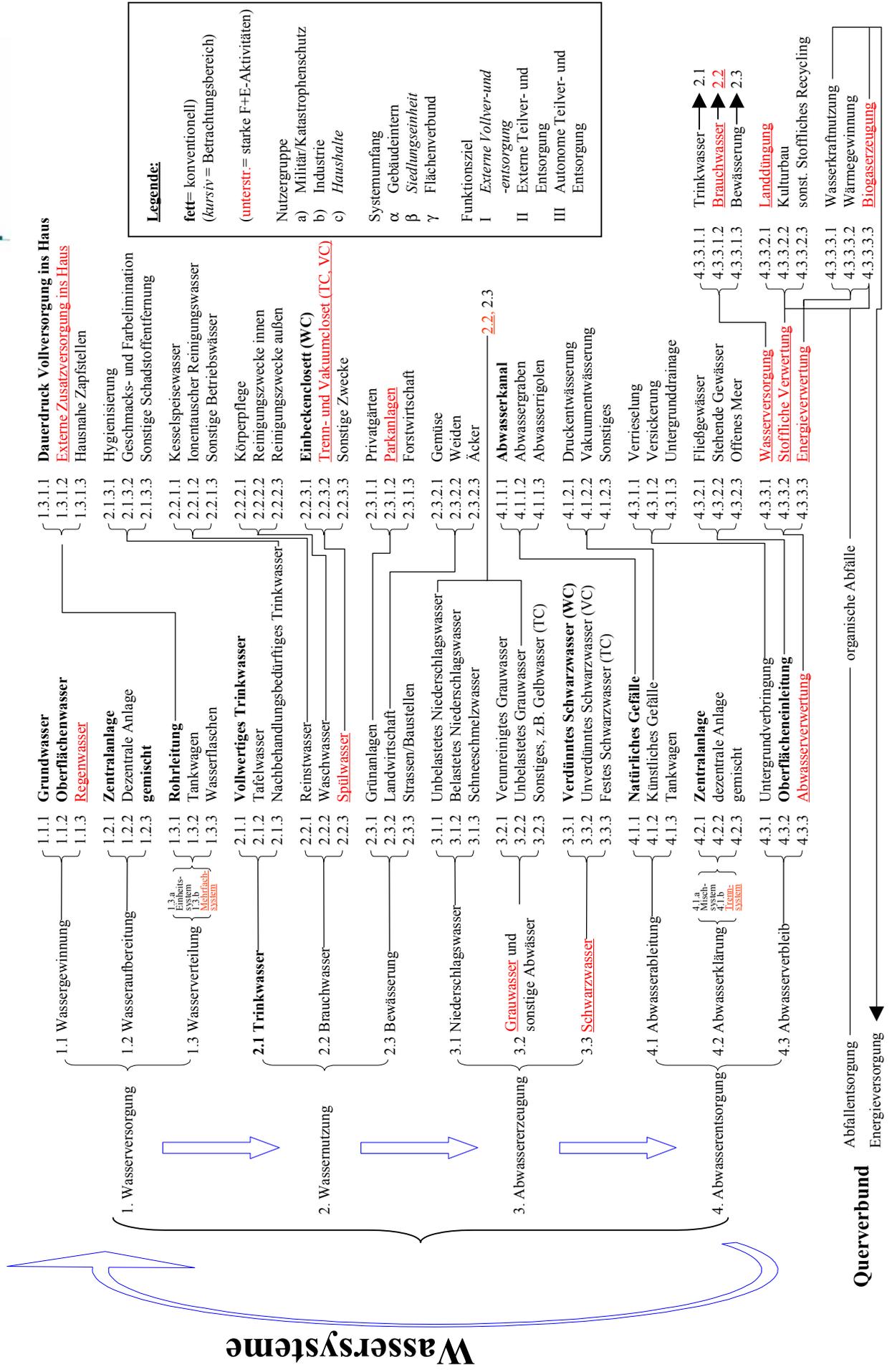


Abbildung 1

Im Übrigen lag der Fokus der Untersuchung auftragsgemäß bei „ausreichenden Wassersystemen“, im Unterschied zu „unzureichenden Systemen“ im Sinne der Definition der WHO (Improved and Non-Improved water systems, siehe **Tabelle 6**).

Tabelle 6: „Ausreichende“ und „unzureichende“ Technologien für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung

AUSREICHEND („verbessert – improved“)	
<i>Wasserversorgung</i>	<i>Sanitäre Einrichtungen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Haushaltsanschluss • Öffentliches Standrohr • Bohrloch • Geschützter gegrabener Brunnen • Geschützte Quelle • Regenwasserzisterne 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschluss an einen öffentlichen Abwasserkanal • Ordnungsgemäß entsorgte Fäkalgruben • Spülklosett • Einfache oder belüftete Grubenlatrine
UNZUREICHEND („nicht verbessert - non improved“)	
<i>Wasserversorgung</i>	<i>Sanitäre Einrichtungen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Ungeschützter Brunnen • Ungeschützte Quelle • Wasser von Wasserverkäufern • In Flaschen abgefülltes Wasser* • Wasser aus Tankwagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Eimerlatrinen (wo Exkremate manuell entfernt werden) • Öffentliche Latrinen • Latrinen mit einer offenen Grube
<p>* Als 'nicht verbessert' in Betracht gezogen, aufgrund von Bedenken bezüglich der Menge des gelieferten Wassers, nicht aufgrund von Bedenken bezüglich der Wasserqualität. Quelle: World Health Organisation and United Nations Children's Fund, 2000</p>	

Dass Einfach-Systeme im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet werden, bedeutet keine Diskriminierung für die Anwendung in geeigneten Fällen und unter bestimmten Randbedingungen, wo Einfach-Systeme aus ökonomischer und sozialer, ggf. auch technisch-logistischer Sicht unbestritten sinnvoll sein können. Es wird allerdings bestritten, dass eine wasserfachliche Forschung und Entwicklung für solche Einfach-Systeme notwendig ist (wobei wiederum die Notwendigkeit edukativer Programme und sozialwissenschaftlicher F+E-Projekte gegeben sein mag).

In den nachfolgenden Kapiteln sind, den o.g. Überlegungen entsprechend, die wichtigsten Komponenten und Operationen für alternative Wassersysteme mit einschlägigen Projektbeispielen abgehandelt.

IV Komponenten und Operationen der Wassersysteme

0 Vorgehensweise

Um einen Überblick über die weltweiten Aktivitäten im Bereich „Alternative Wassersysteme“ zu bekommen wurden in einem ersten Schritt zahlreiche Fachleute an Universitäten und Umweltministerien weltweit angeschrieben. Die hierzu benötigten Adressen stammten neben den bereits zuvor bestehenden Beziehungen aus Veröffentlichungen der internationalen Fachpresse, aus Mitgliederverzeichnissen internationaler Vereinigungen, Teilnehmerlisten vorangegangener Seminare und Workshops sowie Adressenlisten der Weltbank.

Die hieraus resultierenden Antworten verschafften einen ersten Überblick darüber, in welchen Ländern bereits an „Alternativen Systemen“ gearbeitet wird und welche Themen dort im Vordergrund stehen.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde die Recherche vertieft. Zu zahlreichen der in den Antworten erwähnten Projekten existieren bereits Veröffentlichungen in Fachzeitschriften. Zu anderen Projekten wurden von den jeweiligen Bearbeitern Informationen und Unterlagen zur Verfügung gestellt.

Weil weder die offizielle noch die graue Literatur im Allgemeinen eine schlüssige Bewertung der betrieblichen Ergebnisse, insbesondere der zu erwartenden Kosten bei Dauerbetrieb, ermöglicht, wurden ausgewählte Projekte vor Ort gesichtet. Zu erwähnen ist insbesondere die im Rahmen des Projektes vom BMBF ermöglichte Japan-Reise zu den Abwasser- und Grauwasserrecycling-Projekten in Yokohama und Chiba, außerdem die Anlagen in Irvine, Kalifornien, sowie Trujillo, Peru (GTZ Projekt PROAGUA), und Eldoret, Kenia (GTZ Projekt UWASAM).

(An dieser Stelle soll allen Fachkollegen und Freunden gedankt werden, die durch ihre Unterstützung und offene Auskunft zum vorliegenden Bericht wichtige Erkenntnisse beigetragen haben.)

Als besonders ergiebige Quelle und Möglichkeit zur zeitnahen laufenden Aktualisierung erweist sich zudem das Internet. Es existieren zahlreiche Seiten, die sich auf unterschiedlichste Art und Weise mit dem Thema „Alternative Wassersysteme“ auseinandersetzen. Die interessantesten Seiten werden am Ende der Studie genannt. Viele E-Mail-Kontakte, die zu vertiefenden Informationen führten, entstanden durch die aufgeführten Seiten.

1 Wasserversorgung

1.1 Wassergewinnung

1.1.1 Grundwasser

In Deutschland wird bei der Wasserversorgung vorrangig auf Grundwasser zurückgegriffen, welches als die hochwertigste natürliche Ressource gilt, weil es im Allgemeinen unbelastet und rein ist. Deshalb gilt das Vorsorgeprinzip beim Grundwasserschutz, und die technische „Reparatur“ von Gewässerverschmutzungen durch Wasseraufbereitungsanlagen wird nur ungern praktiziert. Dies ist in anderen Ländern nicht gleichermaßen der Fall.

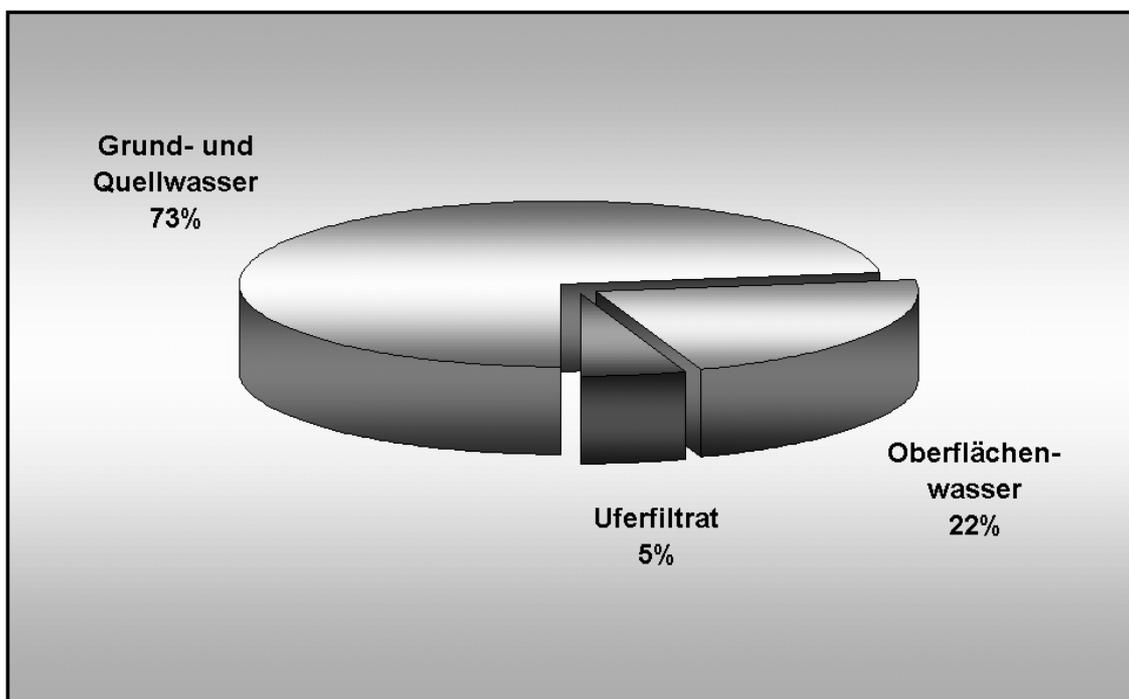


Abbildung 2: Anteil verschiedener Rohwassertypen an der Wassergewinnung in Deutschland
(Quelle: BMU, 1998)

Häufig ist Grundwasser (anders als in Deutschland) gar nicht oder in nur zu geringen Mengen verfügbar. Oder aber, es fehlt an dem flächenwirksamen, vorsorgenden Grundwasserschutz, wie er insbesondere in den Ballungsgebieten der Entwicklungsländer nicht durchgesetzt werden kann.

1.1.2 Oberflächenwasser

Neben dem Grundwasser ist das Oberflächenwasser die zweitwichtigste Rohwasserquelle. Es wird überwiegend dort verwendet, wo kein Grundwasser in ausreichender Menge oder Qualität zur Verfügung steht. Die Beschaffenheit des Oberflächenwassers ist häufig schlechter als die von Grundwasser. Insbesondere häufige (jahreszeitliche) und kurzfristige Änderungen der Wasserbeschaffenheit können seine Aufbereitung mitunter erschweren.

1.1.3 Regenwasser

Für die Regenwassernutzung wird meist das auf den Dachflächen auftreffende Niederschlagswasser gesammelt und verwendet. Dieses kann dabei je nach Platzverhältnissen in Innen- oder Außenspeichern gesammelt werden. Aufgrund der ungleichen zeitlichen Verteilung der Niederschläge muss eine Nachspeisung des Systems mit Trinkwasser möglich sein, wenn nicht ausreichend Niederschlagswasser zur Verfügung steht.

Die Nutzung von Regenwasser hat in der Vergangenheit deutlich zugenommen. Die hierfür erforderliche Technik wird von zahlreichen Herstellern angeboten und es liegt mittlerweile ausreichend Erfahrung mit dem Sammeln und Verwenden von Regenwasser vor. In der Regel beschränkt sich die Nutzung von Regenwasser jedoch auf die Verwendung als Brauchwasser, beispielsweise für die Bewässerung oder die Toilettenspülung. Die Verwendung für die Waschmaschine wurde in Deutschland bis zuletzt sehr kontrovers diskutiert, auch wenn Studien mittlerweile belegen, dass diese Art der Nutzung hygienisch unbedenklich ist.

Regenwasser für die Bewässerung zu sammeln und zu nutzen ist in der Regel technisch relativ einfach zu realisieren und hygienisch weitgehend unproblematisch. Daher wird die Regenwassernutzung im Garten von den meisten Wasserfachleuten grundsätzlich sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen empfohlen. Die Nutzung des Regenwassers im Haushalt (für die Toilettenspülung, zu Reinigungszwecken oder die Waschmaschine) erfordert hingegen bereits einen deutlich größeren technischen wie finanziellen Aufwand. Insbesondere die sichere Trennung der Regenwasserleitungen von der Trinkwasserversorgung gilt als unerlässliche Grundlage für eine hygienisch unbedenkliche Nutzung des Regenwassers im Haushalt.

Untersuchungen legen nahe, dass die Nutzung von Regenwasser im Haushalt bei den bestehenden Wassertarifen und den Kosten für die Regenwasseranlagen in Ländern, in denen Wasser keine knappe Ressource darstellt, fast immer unwirtschaftlich ist, es sei denn, der Grundstücksbesitzer erbringt eine erhebliche Eigenleistung. Die hierfür erforderliche Ausrüstung ist im Fachhandel erhältlich. Solche Bastellösungen bergen jedoch hygienische Risiken, wenn die Installation nicht den technischen Regeln entsprechend durchgeführt oder die anschließend erforderliche Wartung vernachlässigt wird.³

1.2 Wasseraufbereitung

1.2.1 Zentrale Versorgung

Die zentrale Versorgung (und Entsorgung) stellt das in Industrieländern am weitesten verbreitete System dar.

Dass das bestehende System der zentralen Wasserversorgung (und Abwasserreinigung) zunehmend in Frage gestellt wird, sollte nicht zu dem Schluss führen, dass kleine, dezentrale Anlagen grundsätzlich zu bevorzugen sind.⁴ Vielmehr soll im Einzelfall geprüft werden, ob eine semizentrale oder dezentrale Lösung ökologisch und wirtschaftlich nicht die bessere Alternative darstellt.

³ Rudolph, K.-U., Antoni, M. (1998)

⁴ Jeffrey, P. et al. (1997)

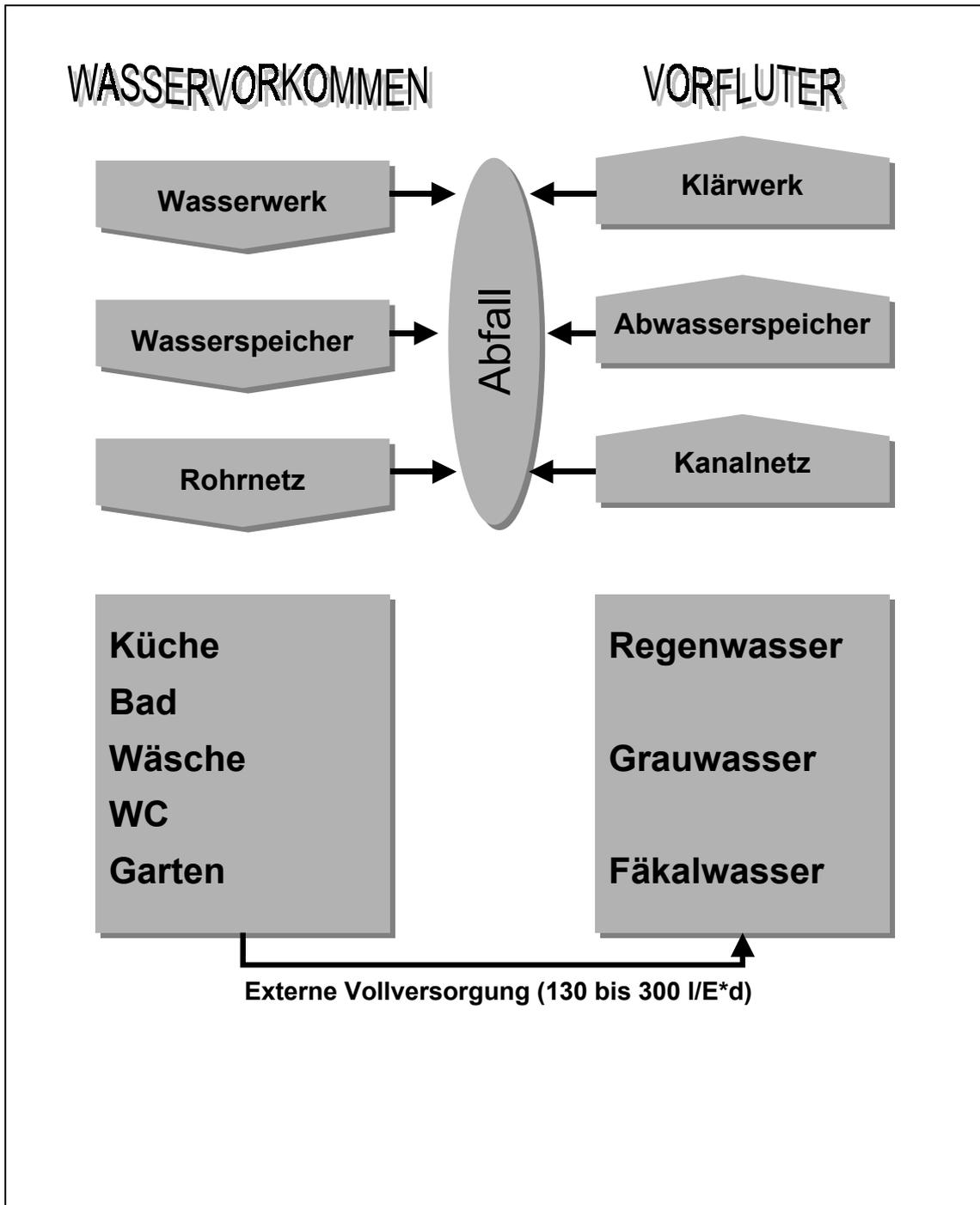


Abbildung 3: Zentrale Ver- und Entsorgung

1.2.2 Dezentrale Versorgung

Der heute fortgeschrittene technische Stand bei der Entwicklung von Anlagen, die auch für einzelne Gebäude oder kleine Siedlungen eine sichere Wasserversorgung oder Abwasserreinigung auf hohem Niveau ermöglichen, erlaubt es, die Frage nach der besten Alternative zu stellen (anstatt a priori auf das zentrale System hin zu arbeiten). Gerade in ländlichen Gebieten, wo für den Anschluss einzelner Häuser meist längere Leitungsstrecken erforderlich sind, ist die zentrale Wasserversorgung (Entsorgung analog: Schwemmkanalisation und die anschließende zentrale Abwasserreinigung) häufig mit hohen spezifischen Kosten verbunden.

Besonderes Augenmerk muss bei dezentralen Hausanlagen zur Trinkwasseraufbereitung, zum Wasserrecycling und zur Abwasserreinigung der Überwachung der Wasserqualität und der Wartung der Anlage geschenkt werden. Fragen nach der Instandhaltung durch den Besitzer – ausreichende Fachkenntnis und geeignetes Design der Anlage vorausgesetzt – oder durch Fachpersonal sowie der Verantwortung für die Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit müssen vorab geklärt werden. Häufig wird von Fachleuten gefordert, dass mit der Errichtung einer dezentralen Anlage ein Wartungsvertrag abgeschlossen werden muss.

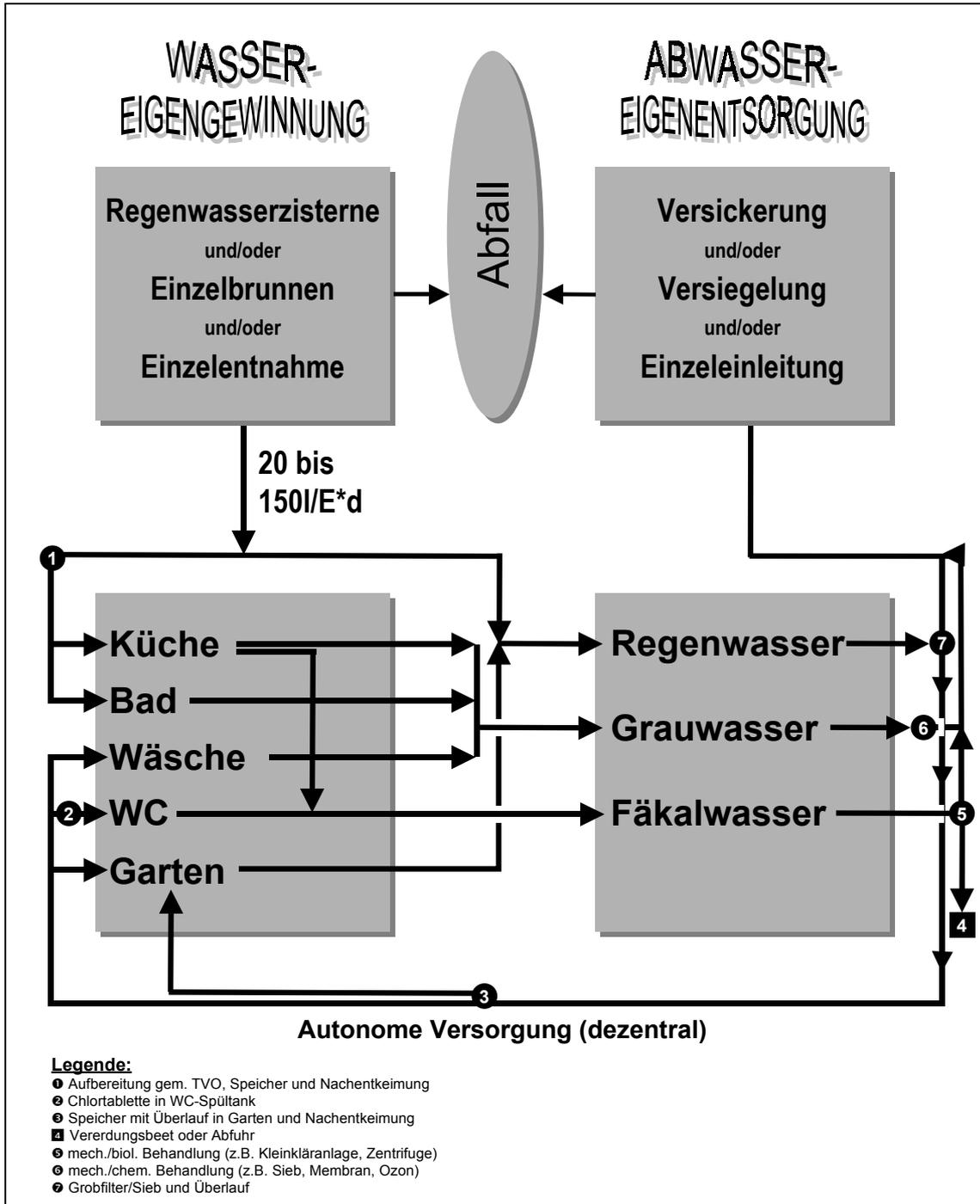


Abbildung 4: Dezentrale Ver- und Entsorgung

1.2.3 Gemischt zentrale und dezentrale Ver- und Entsorgung

Neben die rein zentralen oder dezentralen Lösungen können in der Praxis gemischte Systeme treten, die beispielweise eine dezentrale Versorgung mit Brauchwasser mit einer zentralen Teilversorgung mit Trinkwasser kombinieren.

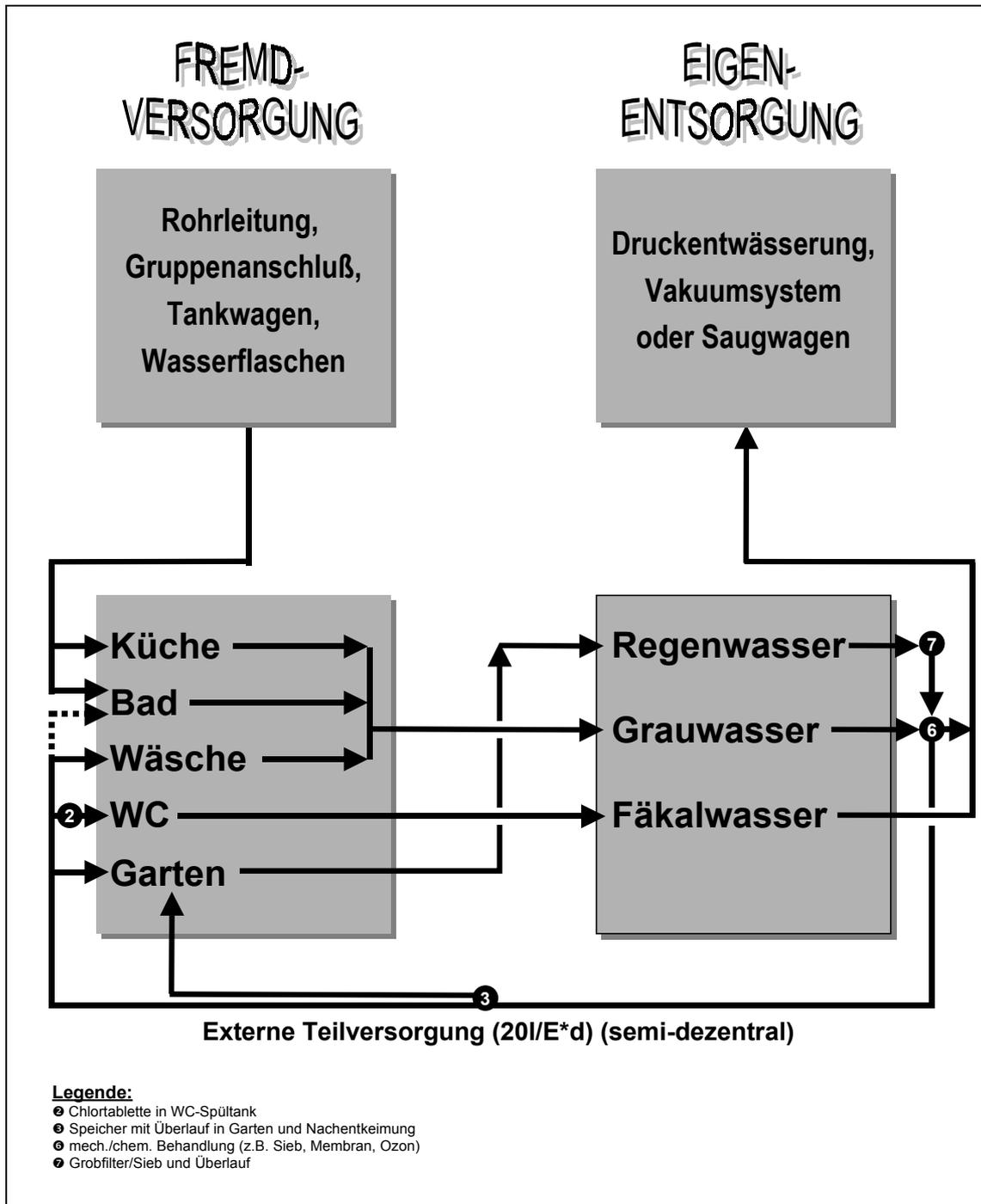


Abbildung 5: Gemischt zentrale und dezentrale Ver- und Entsorgung

1.3 Wasserverteilung

1.3.1 Rohrleitung

Die Wasserverteilung über Wasserrohrleitungen stellt das in den westlichen Ländern am weitesten verbreitete System dar. Neben der hier üblichen Dauerdruck-Vollversorgung für jeden einzelnen Haushalt sind insbesondere in Entwicklungsländern Versorgungssysteme mit hausnahen Zapfstellen verbreitet. Diese stellen das Trinkwasser häufig nur einige Stunden pro Tag zur Verfügung. Oftmals dienen die Zapfstellen nicht nur der Wasserversorgung sondern sind zugleich wichtiger sozialer Treffpunkt für die Bewohner (vgl. Abbildung 7).

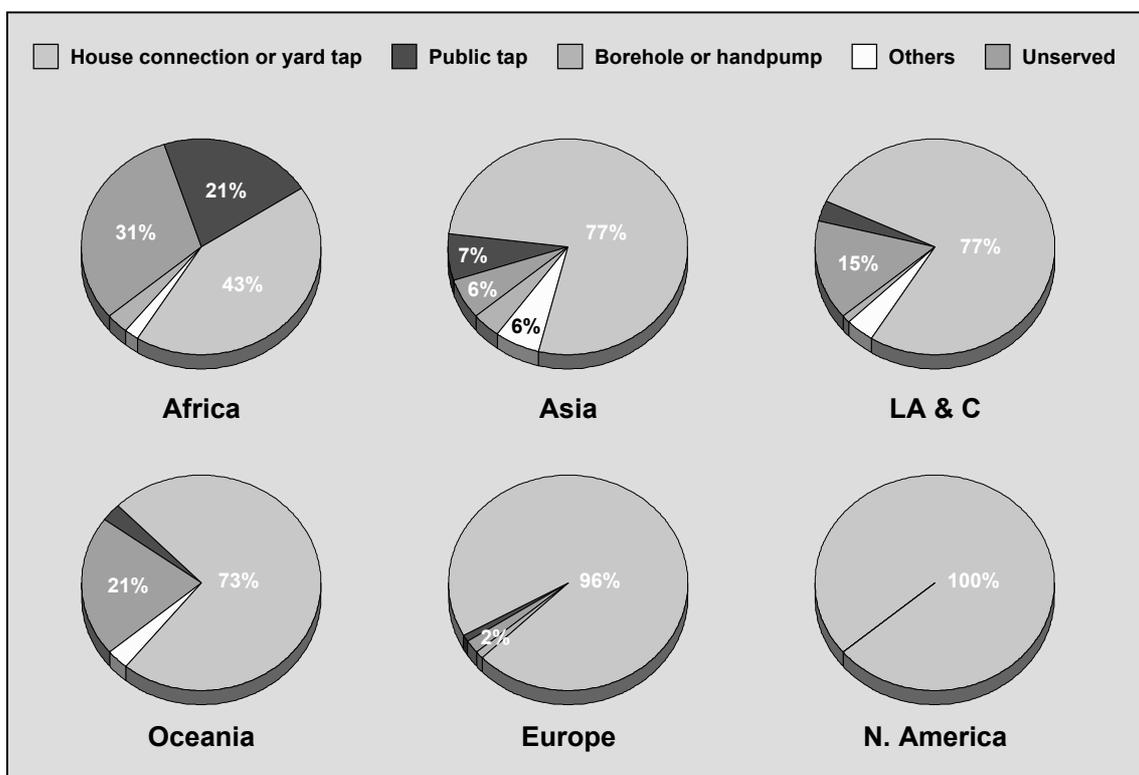


Abbildung 6: Wasserversorgung in den größten Städten: durchschnittlicher Prozentsatz der Bevölkerung nach Art der Versorgung, nach Region
(Quelle: World Health Organisation and United Nations Children's Fund, 2000)

Wasserleitungen stellen die kontinuierlichste, meist aber auch teuerste Form der Wasserverteilung dar. In Versorgungsnetzen, die nicht regelmäßig gewartet werden, können durch Leckagen sehr hohe Verluste auftreten.



Abbildung 7: Zapfstelle in Afrika
(Quelle: World Health Organisation and United Nations
Children's Fund, 2000)

Wasserleitungen bieten aufgrund der (meist) ständigen Verfügbarkeit des Wassers zwar den größten Komfort, bringen aber in der Regel auch einen vergleichsweise hohen Wasserverbrauch mit sich.

1.3.2 Tankwagen

Die Versorgung durch Tankwagen stellt in vielen Regionen eine funktionierende Alternative zur Wasserleitung dar. In schnell wachsenden Randbereichen der großen Städte in Entwicklungsländern oder in entlegenen Gebieten, in denen keine Wasservorkommen für die selbständige Versorgung vorhanden sind (z.B. Gebirge, Permafrostregionen) kann durch Tankwagen eine zuverlässige Wasserversorgung gewährleistet werden.

1.3.3 Wasserflaschen

Unter der Versorgung mit Kanistern bzw. Wasserflaschen ist hier nicht die in Europa übliche, ergänzende Versorgung mit Mineralwasser zu verstehen („Luxus Wasser“), sondern die teilweise oder vollständige Versorgung durch in Flaschen abgefülltes Wasser. Sofern sie lediglich eine Ergänzung einer bestehenden Versorgung darstellt, kann diese Art der Versorgung unproblematisch sein. Eine ausschließlich auf Wasserflaschen gestützte Versorgung wird von der WHO als nicht ausreichend angesehen, da die zur Verfügung stehende Menge zu gering ist.⁵



Abbildung 8: Wasserverkäufer in Peru
(Foto: GTZ PROAGUA)

⁵ World Health Organisation and United Nations Children`s Fund (2000)

2 Wassernutzung

Bei der Wassernutzung kann unterschieden werden zwischen Trinkwasser, Brauchwasser und Wasser für die Bewässerung. Im industriellen Bereich gibt es weitere Sorten (Betriebswasser, Reinstwasser, Kühlwasser usw.)

2.1 Trinkwasser

In den meisten industrialisierten Ländern wird im häuslichen Bereich für sämtliche Anwendungen Trinkwasser eingesetzt, da Haushalte in der Regel nur einen Anschluss für Trinkwasser besitzen. So wird Trinkwasser neben den Bereichen, in denen hohe Qualitätsanforderungen unbestritten sind, z.B. Kochen, auch für Anwendungen eingesetzt, die ebenso Wasser geringerer Qualität verwenden könnten. Hierzu zählen beispielsweise Spülwasser für Toiletten, Wasser für Reinigungszwecke sowie Wasser für die Gartenbewässerung. Zu der Frage, ob für die Körperpflege Trinkwasserqualität erforderlich ist, gibt es unterschiedliche Ansichten. Zumindest dort, wo Kinder mit dem Wasser in Berührung kommen wird überwiegend Trinkwasserqualität gefordert (z.B. Springbrunnen in Parkanlagen).

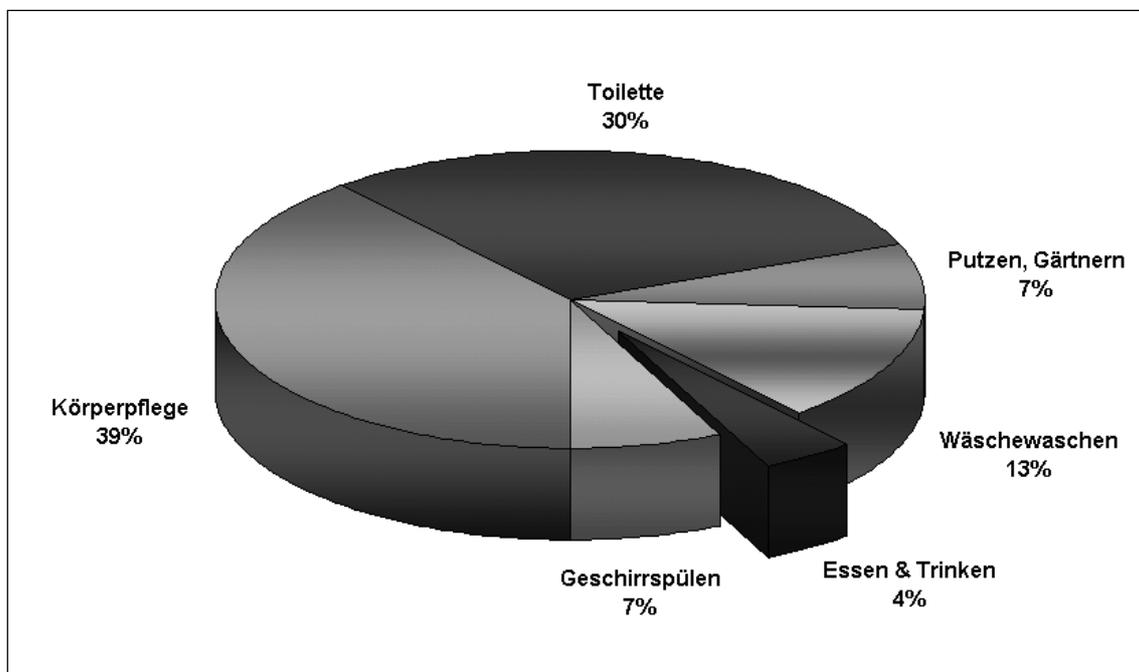


Abbildung 9: Anteile verschiedener Trinkwassernutzungen im Haushalt
(Quelle: Seyfried, K.-H., 2000)

Dort wo, meist durch Privatinitiative, Regenwasser gesammelt und genutzt wird, kann der Trinkwasserverbrauch auf die tatsächlich notwendigen Anwendungen beschränkt werden.

2.2 Brauchwasser

Brauchwasser mit geringeren Qualitätsanforderungen als Trinkwasser wird bislang eher im gewerblichen Bereich verwendet und von Wasserversorgern angeboten. Eine Versorgung der privaten Haushalte mit Brauchwasser erfordert ein zweites Versorgungsnetz, das nachträglich nur mit sehr hohen Kosten installiert werden kann. Bei der Errichtung von Neubaugebieten wird insbesondere in wasserarmen Regionen zunehmend über ein solches zweites Versorgungsnetz nachgedacht. Auch für Bürogebäude in städtischen Bereichen existieren Beispiele für eine zusätzliche Versorgung mit Brauchwasser für die Toilettenspülung oder die Bewässerung. Das Brauchwasser kann dabei aus der selben Quelle stammen, wie das Trinkwasser, jedoch mit einer weniger aufwändigen Aufbereitung. Brauchwasser kann aber auch aus dem Kläranlagenablauf gewonnen werden (s. Exkurs II zu Kapitel 4.3.3.1).

Neben dem im Vergleich zum Trinkwasser minderwertigen Brauchwasser, wird im gewerblichen Bereich für manche Produktionsschritte und Herstellungsverfahren auch Brauchwasser mit höherer Qualität als Trinkwasser (sog. Reinstwasser) benötigt. Dieses wird meist von den betreffenden Firmen selbst aufbereitet.

3 Abwassererzeugung

Verschiedene Wasserverwendungen und –herkünfte führen generell zu unterschiedlich belasteten Abwässern. Bei den im häuslichen Bereich anfallenden Abwässern kann unterschieden werden zwischen Niederschlagswasser, Schwarzwasser sowie Grau- und sonstigen Abwässern.

3.1 Niederschlagswasser

Niederschlagswasser fällt als Abwasser vorwiegend dort an, wo es von versiegelten Flächen (Dächer, Straßen, Parkplätze etc.) ohne eine Möglichkeit der Versickerung abgeführt werden muss. Das anfallende Niederschlagswasser kann nach der Sammlung in der Kanalisation (Misch- oder Trennsystem) abgeführt werden.

Niederschlagswasser kann, wenn es unbelastet ist, auch direkt als Brauchwasser verwendet werden. Bei belastetem Niederschlagswasser ist zunächst eine Behandlung erforderlich.

3.2 Grauwasser und sonstige Abwässer

Grauwasser ist das häusliche Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Waschmaschine etc. (ohne Fäkalien und Urin). Grauwasser wird bereits in vielen Ländern vorwiegend zur Bewässerung wieder verwendet, wodurch sich der zu reinigende Abwasserstrom verringert.

Gelbwasser bezeichnet Urin aus Urinseparationstoiletten und Urinalen, mit oder ohne Spülwasser. Toilettenabwasser ohne Urin wird hingegen als **Braunwasser** bezeichnet.

3.3 Schwarzwasser

Als Schwarzwasser wird das Sanitärabwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien mit Spülwasser) bezeichnet.

4 Abwasserentsorgung

4.1 Abwasserableitung

Die Ableitung des anfallenden Abwassers kann entweder durch natürliches Gefälle, künstliches Gefälle oder mittels Tankwagen erfolgen. Welches System im Einzelfall das wirtschaftlichste darstellt, hängt sehr stark von den jeweiligen Randbedingungen ab.

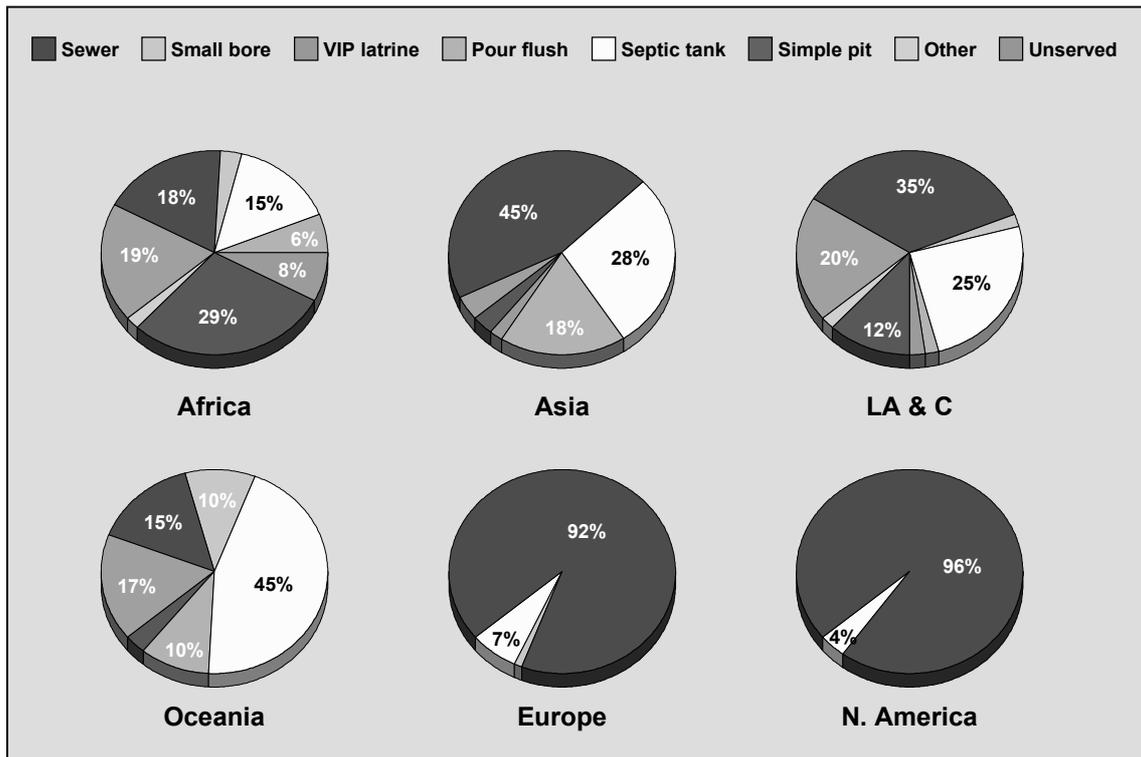


Abbildung 10: Abwasserentsorgung in den größten Städten: durchschnittlicher Prozentsatz nach Art der Einrichtung, nach Region
 (Quelle: World Health Organisation and United Nations Children’s Fund, 2000)

4.1.1 Natürliches Gefälle

Als konventionelles System gilt heute die Abwasserableitung in der Schwemmkanalisation. Dieses System ist weitgehend sicher und erprobt. Seine Kritiker werfen ihm allerdings vor, es sei zu teuer – zumindest in ländlichen Gebieten – und es erfordere einen hohen Wasserverbrauch, um die für den Transport der Schmutzstoffe erforderliche Spülwirkung sicherzustellen. Auch kann dieses System nicht in Gebieten mit Wassermangel sowie in von Überschwemmungen häufig bedrohten Regionen eingesetzt werden.

Die Schwemmkanalisation kann sowohl als Mischsystem (Ableitung von Schmutz- und Regenwasser in einem Kanal) als auch als Trennsystem (getrennte Kanäle für Schmutz- und Regenwasser) betrieben werden.

4.1.2 Künstliches Gefälle

Zu den Systemen mit künstlichem Gefälle zählen insbesondere die Druck- und die Vakuumkanalisation. Im Gegensatz zu Systemen mit natürlichem Gefälle arbeiten Systeme mit künstlichem Gefälle weitgehend unabhängig von der topographischen Situation eines Entsorgungsgebietes. Zudem dienen diese Systeme nur der Ableitung des Schmutzwasser, weshalb in der Regel deutlich geringere Durchmesser der Leitungen zum Einsatz kommen.

Vakuumsysteme mit Vakuumtoiletten werden bereits seit längerem in Flugzeugen, Zügen und auf Schiffen eingesetzt. Für die Spülung einer Vakuumtoilette wird ca. 1 Liter Wasser benötigt (bei der Ökosiedlung Flintenbreite z.B. 0,7 bis 1,2 Liter⁶), wodurch der Wasserverbrauch im Haushalt im Vergleich zu Haushalten mit herkömmlichen Spültoiletten deutlich reduziert werden kann. Bei der Spülung einer Vakuumtoilette werden ca. 60 bis 70 Liter Luft in das Rohrleitungssystem eingesaugt. Diese Luft drückt den Flüssigkeitspfropfen durch die Rohrleitung in Richtung Sammelbehälter.⁷

4.1.3 Tankwagen

Die Abwasserentsorgung mittels Tankwagen kann überall dort geschehen, wo kein Anschluss an ein öffentliches Kanalnetz vorhanden ist und das Abwasser zwischengespeichert wird. Das mit dem Tankwagen transportierte Abwasser wird nach Möglichkeit zu einer vorhandenen Kläranlage gebracht.

Die Entsorgung durch Tankwagen erfordert einen erhöhten logistischen und finanziellen Aufwand und wird sich überwiegend für einzelne Gebäude weit abseits bestehender Entsorgungsnetze rechnen. Im Einzelfall wäre jedoch zu prüfen, ob nicht eine dezentrale Abwasserreinigung und Ableitung vor Ort sinnvoller ist.

⁶ www.flintenbreite.de

⁷ Lange, J., Otterpohl, R. (1997)

4.2 Abwasserklärung

Die Klärung des Abwassers kann auf vielfältige Weise erfolgen. Entsprechend der Größe der Systeme, bzw. der angeschlossenen Einheiten, kann zwischen zentralen, dezentralen und gemischten Systemen unterschieden werden. Welches System jeweils am besten geeignet ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Neben den topographischen, geologischen und klimatischen sind auch die institutionellen Rahmenbedingungen von Bedeutung.

4.2.1 Zentrale Anlagen

Zentrale Anlagen zu Abwasserklärung stellen den in den industrialisierten Regionen am weitesten verbreiteten Anlagentypus dar. Meist wird das Abwasser mittels Schwemmkanalisation zu einer zentralen Kläranlage geleitet und dort gereinigt.

4.2.2 Dezentrale Anlagen

Kompakte Kläranlagen, wie sie sich bereits auf Schiffen bewährt haben, könnten auch zunehmend als dezentrale Anlagen an Land eingesetzt werden. Als platzsparende und betriebssichere Variante existiert beispielsweise das Membranbelebungsverfahren. So wurde im Jahr 2000 an Bord des U-Boot-Tenders Meersburg eine Versuchsanlage mit getauchten Niederdruck-Plattenmembranen installiert und im Betrieb untersucht. Aufgrund der guten Betriebsergebnisse sollte noch 2000 das Segelschulschiff Gorch Fock mit einer großtechnischen Abwasserbehandlungsanlage nach dem Membranbelebungsverfahren ausgerüstet werden. Die Ausrüstung weiterer zivil und militärisch genutzter Schiffe ist außerdem in Vorbereitung. Da der Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken einer solchen Membrananlage deutlich höher eingestellt werden kann, als beim herkömmlichen Belebungsverfahren, ergibt sich ein wesentlich geringeres Reaktorvolumen. Die Versuchsanlage auf der Meersburg war für eine Reinigungskapazität von 30 EW bzw. einen hydraulischen Durchsatz von bis zu 2,4 m³/d ausgelegt und hatte ein Reaktorvolumen von 1 m³.⁸

Ebenfalls mit der Grauwasser- und Abwasserbehandlung auf Schiffen beschäftigt sich zurzeit eine Untersuchung der US Navy. Dort wird der Prototyp einer AMTS-Anlage (Aerated Non-Oily Wastewater Membrane Treatment System) der Firma Zenon erprobt. Mit dieser Anlage sollen Grauwasser und Abwasser aus Vakuumsystemen behandelt

⁸ Brüß, U. (2000)

werden. Die Anlage besteht aus einem Bioreaktor, Hohlfaser-Membranen zur Ultrafiltration sowie einer UV-Desinfektion und soll das Abwasser von 75 Crew-Mitgliedern reinigen. Nach der Testphase soll dieser Anlagentyp auch auf Kreuzfahrtschiffen eingesetzt werden.⁹

Als Variante für den Einsatz des Membranbelebungsverfahrens als dezentrale Lösung an Land ist eine Nachrüstung bestehender Mehrkammergruben denkbar. Durch eine solche Nachrüstung kann die Leistungsfähigkeit der insbesondere in ländlichen Gebieten noch häufig vorzufindenden Abwasserreinigung durch Mehrkammergruben verbessert werden. Mit Hilfe der Membranfiltration können leistungsfähige Kleinkläranlagen entstehen, die aus einer mechanischen und einer biologischen Stufe bestehen. Die mechanische Stufe hat dabei die Aufgabe, Feststoffe zurück zu halten und den anfallenden Primärschlamm auszufaulen. Das mechanisch gereinigte Abwasser fließt anschließend in die biologische Stufe. Diese besteht aus einem Belebungsbecken mit integrierter, getauchter Membraneinheit. Die Membraneinheit besteht aus den Membranmodulen, einem Gebläse zur Belüftung der Biologie und der Membran sowie einer Permeatpumpe.

Das durch die Membranfiltration weitgehend feststoff- und keimfreie Abwasser kann entweder direkt eingeleitet oder als Brauchwasser, z.B. für die Toilettenspülung oder Bewässerung wieder verwendet werden.

Zwar fehlen bislang Erfahrungen mit der Umrüstung von Mehrkammergruben zu Kleinkläranlagen mit Membranbelebungsverfahren, doch existieren in der Literatur ausführliche Empfehlungen zur Bemessung und Ausführung.¹⁰

In **Japan** sind Hauskläranlagen sehr verbreitet. Zahlreiche Häuser, Wohnanlagen oder Hotels verfügen über eine eigene Anlage zur Abwasserreinigung. Die in Japan Johkasou genannten Anlagen verfügen in der Regel auch bei Anschlussgrößen unter 10 EW über eine aerobe Stufe. 1996 existierten nach Angaben des japanischen Gesundheitsministeriums 7 996 748 solcher Anlagen in Japan.¹¹

⁹ Anonymus (2000C)

¹⁰ Gründer, B. (2000)

¹¹ Nakajima, J. et al. (1999)

Zwischen 1989 und 1997 wurden in der Präfektur Chiba fast 100 Anlagen mit unterschiedlichen Anschlussgrößen untersucht. Diese Untersuchung ergab, dass 70 % der Anlagen BSB-Ablaufwerte von weniger als 20 mg/l aufweisen. Die besten Ablaufwerte wurden von Anlagen mit Schlammrückführung erreicht.¹²

Auch in Japan gibt es Ansätze, die kleinen Hauskläranlagen mit Membranen auszustatten. Hierzu wurden bereits Versuche durchgeführt. Die sogenannten Membrane Jokhasous haben den Vorteil, dass die Leistungsfähigkeit der Anlage nicht von den Absetzeigenschaften des Schlammes abhängt. Die Entfernung des Stickstoffs kann in diesen Anlagen durch intermittierende Belüftung erlangt werden. Da es sich bei der Membranfiltration um einen physikalischen Vorgang handelt, müssen keine biochemischen Vorgänge kontrolliert und überwacht werden. Dadurch wird der Betrieb solcher Anlagen erleichtert. Das aufbereitete Abwasser kann wieder verwendet werden. Die in Japan durchgeführten Versuche benutzten eine Anlage mit einer Kapazität von 0,85 m³/d. Die Versuchsanlage erreichte BSB Ablaufwerte von durchschnittlich 2,3 mg/l und erwies sich als betriebssicher.¹³

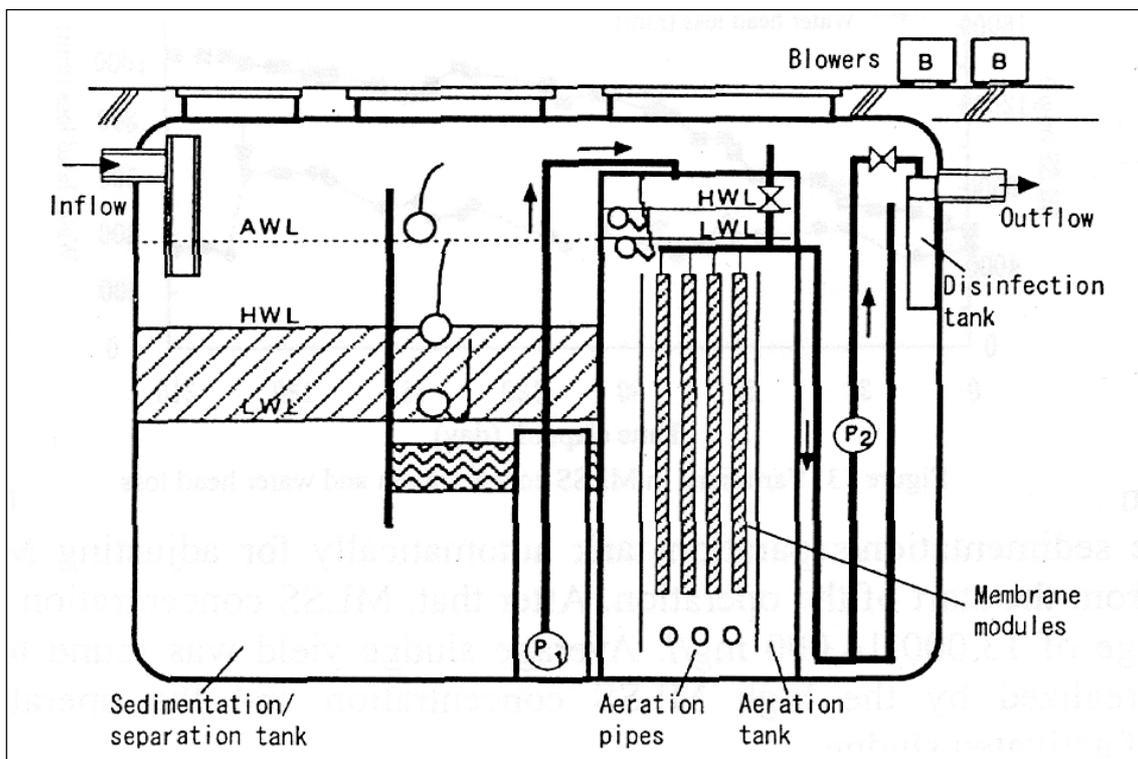


Abbildung 11: Schema eines Membran Jokhasous

(Quelle: Yang, X., 2000)

¹² Nakajima, J. et al. (1999)

¹³ Yang, X. (2000)

Eine 1997 publizierte Studie untersuchte die Möglichkeit, mit dem Müllschlucker zerkleinerten Bio-Abfall mit Hilfe der oben beschriebenen Hauskläranlagen zu beseitigen. Hierzu wurden Versuche durchgeführt, um die Abbauraten von BSB und TKN bei reinem Abwasser und bei einem Gemisch aus Abwasser und zerkleinertem Bio-Abfall zu vergleichen. Die Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass sich die BSB-Abbauraten durch Zugabe des Bio-Abfalls nicht wesentlich verändern. Die TKN-Abbauraten verbesserten sich hingegen.¹⁴ Anders als bei dem heute häufiger diskutierten Ansatz der Mischung von konzentriertem Schwarzwasser und Bio-Abfällen, wird hier keine Energie- oder Nährstoffnutzung angestrebt, sondern lediglich geprüft, ob den Bewohnern von Hochhäusern die Entsorgung von Abfällen erleichtert werden kann.

4.2.3 Gemischte Systeme

Wie bereits in Kapitel 1.2.3 geschildert, können auch bei der Abwasserreinigung Kombinationen von Elementen der zentralen und der dezentralen Abwasserreinigung gewählt werden. So existieren Siedlungen, bei denen zunächst eine Trennung der Teilströme Schwarz- und Grauwasser vorgenommen wird. Während das schwach belastete Grauwasser durch einfache, evtl. naturnahe Verfahren, aufbereitet und in einen Vorfluter geleitet wird, wird das stark belastete Schwarzwasser in eine zentrale Kläranlage geleitet und dort gereinigt.

4.3 Abwasserverbleib

4.3.1 Untergrundverbringung

Ziel der Untergrundverbringung ist die Minimierung hygienischer Risiken. Für die Untergrundverbringung ist mindestens eine mechanische Vorbehandlung erforderlich. Zudem muss der anstehende Boden für diese Form der Abwasserbeseitigung geeignet sein. Ein Beispiel für solche Systeme sind die sog. Subterra Kläranlagen.¹⁵

¹⁴ Sankai, T. et al. (1997)

¹⁵ Ankara, Ü. (1996)

Exkurs zu Kapitel 4.3.1 (Untergrundverbringung)

Grundwasseranreicherung

In Gebieten, in denen Wassermangel herrscht bzw. aufgrund der Wasserentnahmen der Grundwasserspiegel absinkt, wird zunehmend über eine Anreicherung des Grundwassers mit aufbereitetem Abwasser nachgedacht. Beispiele hierfür finden sich in großem Maßstab in den USA.

Bereits seit 1976 wird im **Orange County**, Kalifornien, Wasser der sog. **Water Factory 21** in den Untergrund versickert. Aufgrund starker Wasserentnahmen aus dem Aquifer war der Grundwasserspiegel bereits 1956 so weit abgesunken, dass Salzwasser aus dem Pazifischen Ozean eindrang. Aus diesem Grund wurde beschlossen, im Küstenbereich an insgesamt 81 Stellen Wasser zu versickern, um weiteres Eindringen von Salzwasser zu verhindern.

Heute werden täglich mehr als 85 000 m³ Wasser unterschiedlicher Herkunft versickert. Rund 53 000 m³ davon stammen aus in mehreren Stufen aufbereitetem Kläranlagenabfluss, von dem ca. 19 000 m³ abschließend mittels Umkehrosmose gereinigt werden, ca. 34 000 m³ durchlaufen zum Ende der Aufbereitung einen Aktivkohlefilter mit anschließender Chlorung. Das so aufbereitete Wasser erfüllt Trinkwasseranforderungen und wird schließlich mit täglich etwa 32 000 m³ Wasser aus Tiefbrunnen verschnitten und versickert.

Die Versickerung dient zwar vorrangig dem Schutz vor der Versalzung des Grundwassers, sie reichert aber auch die Grundwasservorräte an, aus denen 50 % des Trinkwassers der Region gewonnen werden.¹⁶

¹⁶ www.ocwd.com/_hml/wf21.htm

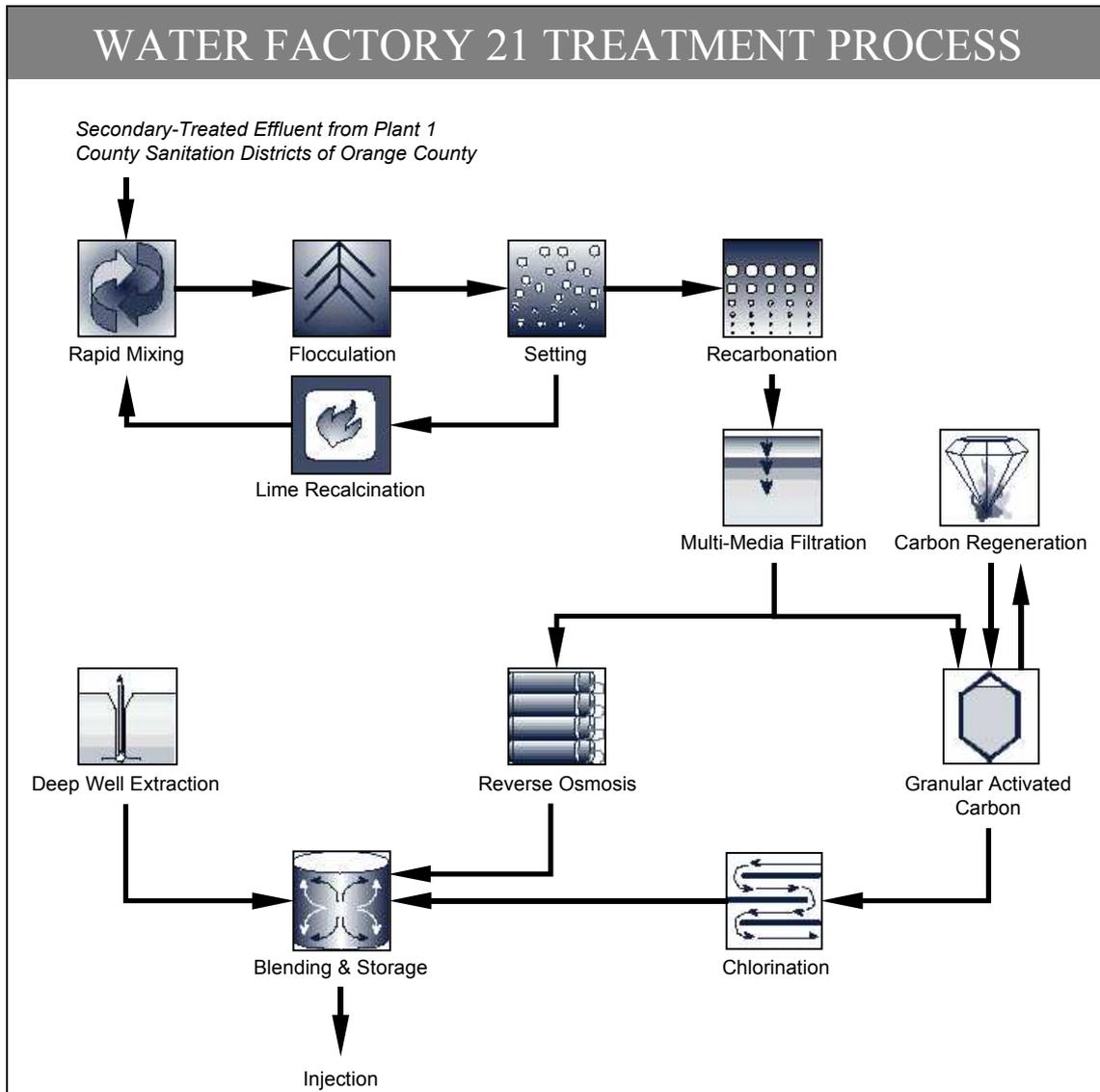


Abbildung 12: Aufbereitung des Kläranlagenablaufs für die Versickerung in der Water Factory 21

(Quelle: www.ocwd.com/_html/wf21.htm)

Ebenfalls im **Orange County**, Kalifornien, wurde im März 2001 die Umsetzung der Phase 1 des „Groundwater Replenishment Systems“ beschlossen. Dieses vom Orange County Water District und vom Orange County Sanitation District initiierte Projekt sieht die Versickerung von gereinigtem Abwasser zur Grundwasseranreicherung vor. Das gereinigte Abwasser soll dazu in mehreren Stufen mittels Mikrofiltration, Umkehrosmose und UV-Desinfektion so weit aufbereitet werden, dass es die Anforderungen an Trinkwasser deutlich übersteigt. Durch die Versickerung wird die Qualität des existierenden Grundwassers verbessert. Die Anreicherung des Grundwasserspeichers soll die Abhängigkeit von der Fernwasserversorgung verringern und die Versalzung des Grundwassers durch Meerwasser vermeiden.

In der nun beschlossenen ersten Phase sollen ab 2004 jährlich ca. 86 Mio. m³ Wasser versickert werden.¹⁷

Ein weiteres Beispiel für die Anreicherung von Grundwasser mit aufbereitetem Abwasser findet sich in Gilbert, Arizona. Dort wird das aufbereitete Abwasser, das nicht direkt wieder verwendet wird (z.B. für die Bewässerung) in den Grundwasserspeicher versickert.¹⁸

Auch auf die langjährigen Versuche der wabolu (früheres Institut für Wasser Boden Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes) mit der weitestgehenden Aufbereitung von kommunalem Abwasser auf der Kläranlage Langen zwecks Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried (Versickerung über Schlitzgräben) ist an dieser Stelle hinzuweisen.

4.3.2 Oberflächeneinleitung

Die Oberflächeneinleitung des (gereinigten) Abwassers stellt das bei Weitem am häufigsten anzutreffende Verfahren dar. Die meisten Kläranlagen entwässern in Vorfluter/Flüsse, wo das Abwasser verdünnt wird.

4.3.3 Abwasserverwertung

4.3.3.1 Abwasserverwertung für die Wasserversorgung

Bei der Abwasserverwertung für die Wasserversorgung ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen der Aufbereitung und Wiederverwendung von Grauwasser und der Wiederverwendung von Abwasser. Für beides gibt es Beispiele. Es kann beobachtet werden, dass einzelne Länder bei der Wiederverwendung als Brauchwasser verstärkt auf die vorhergehende Trennung von Grauwasser und Schwarzwasser und das anschließende Recycling lediglich des Grauwasserstromes setzen – hierzu zählen beispielsweise England, Deutschland und Schweden. Andere Länder – vorwiegend Japan, Australien und Kanada – bereiten den gesamten Abwasserstrom dezentral oder zentral auf und nutzen dieses Wasser für die Toilettenspülung etc..

Die Nutzung von recyceltem Grau- oder Abwasser kann insbesondere in urbanen Gebieten helfen, die natürlichen Wasserreserven zu schonen.

¹⁷ www.gwrssystem.com

¹⁸ Carpenter, G. (2000)

Neben den zahlreichen Aufbereitungsverfahren, die für das Abwasserrecycling eingesetzt werden, existieren unterschiedliche Auffassungen bezüglich der **erforderlichen Qualität** des aufbereiteten Abwassers. In den meisten Ländern existieren noch keine Vorschriften, welche Qualität beispielsweise das für die Toilettenspülung verwendete Wasser aufweisen soll. Dennoch gibt es zahlreiche Empfehlungen der in diesem Bereich tätigen Fachleute und Institutionen. In Europa wird meist empfohlen, sich mit den Qualitätsstandards an der EU-Richtlinie für Badegewässer (Directive 76/160/EEC) zu orientieren. In den USA wurde vom Umweltministerium (EPA) eine Empfehlung ausgesprochen, die sich vorwiegend an Staaten richtet, die noch keine eigenen Richtlinien aufgestellt haben. 1992 hatten in den USA bereits drei Staaten eigene Richtlinien für die Qualität von wiederverwendetem Wasser für die Toilettenspülung erlassen.¹⁹ In zahlreichen anderen Ländern existieren oftmals Empfehlungen unterschiedlicher Institutionen sowie Richtlinien, die von Region zu Region bzw. Stadt zu Stadt unterschiedlich sein können.

¹⁹ United States Environmental Protection Agency (EPA) (1992)

Tabelle 7: Empfehlungen und Richtlinien für die Qualität von recyceltem Abwasser für die Toilettenspülung

	Faecal coliforms /100ml	Total coliforms /100ml	BSB mg/l	Trübung	pH	Cl ₂ mg/l
US EPA (Vorschlag) ²⁰	0		< 10	< 2 NTU	6-9	1
Japan ²¹		10	30 (CSB)	5 NTU	5,8-8,6	
Australien (Bsp. Rouse Hill) ²²	< 2,5 (geometrisches Mittel über 5 Tage)	< 25 bei 95% aller Proben		< 2 NTU (geo. Mittel) < 5 NTU (95% der Proben)	6,5 – 8,5	< 0,5
Süd-Afrika ²³	0					
EU Badegewässer Richtlinie 76/160/EEC	200 (R), 1000 (V)	500 (R), 10000 (V)		2 m (R), 1 m (V)	6-9	
Großbritannien (BSRIA) (Vorschlag)	0 je ml in 90 % der Proben					

Verfahrensrechtlich richtet sich die Behandlung von Betriebswasseranlagen in Deutschland nach den Bestimmungen der jeweiligen Landesbauordnung. In der Regel sind sie genehmigungsfrei. Sie sind jedoch so anzuordnen, herzustellen und zu unterhalten, dass sie im Betrieb sicher sind und keine Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen von ihnen ausgehen.

Bei der Errichtung sind u.a. folgende technischen Vorschriften zu beachten²⁴:

- DIN 1986 (Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke), u.a. rückstausichere Anschlüsse
- DIN 1988 Teil 4 Abs. 4.2.1 (Wassernachspeisung aus der Trinkwasserversorgung als freier Auslauf) und Abs. 3.3.2 (Kennzeichnung von Entnahmestellen, die mit Betriebswasser gespeist sind)
- DIN 2403, Abs. 7.4 (Kennzeichnung von Leitungen), Kennzeichnung der Betriebswasserleitung beispielsweise mit der Einprägung „BETRIEBSWASSER“ oder „KEIN TRINKWASSER“

²⁰ United States Environmental Protection Agency (EPA) (1992)

²¹ Fukuoka Municipal Government (1999)

²² Sydney Water Corporation (1995)

²³ United States Environmental Protection Agency (EPA) (1992)

²⁴ Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen, Berlin (1995)

Ein von der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen in Berlin herausgegebenes Merkblatt formuliert für die Betriebswassernutzung in Gebäuden folgende Qualitätsziele:

Qualitätsziel	Beurteilungskriterien / Begründung
hygienisch / mikrobiologisch einwandfrei	Gesamtcolimforme Bakterien 0/0,01 ml (<100/ml) Fäkalcoliforme Bakterien 0/0,1 ml (<10/ml) Pseudomonas aeruginosa 0/1,0 ml (<1/ml)
niedriger BSB	BSB ₇ unter 5 mg/l, um sicherzustellen, dass das Grauwasser weitgehend gereinigt ist
farblos und klar	UV-Transmission _{254 nm} in 1 cm Küvette : mind. 60 %
möglichst sauerstoffreich	> 50 % Sättigung, damit das Betriebswasser lagerfähig ist
nahezu schwebstofffrei nahezu geruchlos nicht fäulnisfähig in 5 Tagen	Damit Armaturen einwandfrei funktionieren und kein Komfortverlust für die Nutzer eintritt

Quelle: Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 1995

Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserverwertung für die Wasserversorgung)

Grauwasserrecycling

Auf dem deutschen wie auf dem internationalen Markt existieren zahlreiche Anbieter von Anlagen zum **Grauwasserrecycling**. Fast ebenso vielfältig sind die dabei eingesetzten Verfahren. Diese reichen von der biologischen Behandlung des Grauwassers über Advanced Oxidation Prozesse bis hin zu unterschiedlichen Membranverfahren.

Auch die Verwendung des aufbereiteten Grauwassers ist unterschiedlich und kann nicht zuletzt vom gewählten System der Abwasserbeseitigung abhängen. Während in zahlreichen Ländern die Verwendung des Grauwassers, häufig unbehandelt, zur Bewässerung des eigenen Gartens weit verbreitet ist, zielen Anlagen zur Grauwasseraufbereitung meist auf eine Nutzung des Grauwassers im Haushalt.

Insbesondere in den USA finden sich zahlreiche Publikationen und Untersuchungen zum Thema Grauwassernutzung für die Bewässerung. Weitergehende Verwendungen, beispielsweise für die Toilettenspülung, scheinen dort dagegen eher die Ausnahme zu sein. Mit den hygienischen Parametern des für die Bewässerung verwendeten

Grauwassers beschäftigte sich eine umfangreiche Studie der „Water Conservation Alliance of South California“.²⁵

Aufgrund der hygienischen Beschaffenheit des Wassers ist die Nutzung im Haushalt in vielen Ländern auf die Toilettenspülung beschränkt. Bei einigen Projekten in Schweden und insbesondere in Kanada wird das Wasser jedoch auch zum Händewaschen und sogar zum Duschen und Wäschewaschen verwendet

Befürworter der Grauwasseraufbereitung und –nutzung im Haushalt sehen insbesondere den Nutzen der möglichen beträchtlichen Wassereinsparung. Je nach Verbraucherverhalten und Anlage können, folgt man den Veröffentlichungen und Untersuchungen, bis zu 30-40 % des Wasserverbrauchs eingespart werden. Wie hoch die erzielte Einsparung in der Praxis tatsächlich ist, hängt jedoch sehr stark davon ab, zu welchen Zeiten der Bedarf für Trink- bzw. Brauchwasser entsteht, welche Speicherkapazität vorgesehen wurde und über längere Zeiträume betrachtet nicht zuletzt davon, wie häufig die Aufbereitungsanlage still steht.²⁶

Die Aufbereitung und Wiederverwendung des Grauwassers für die Toilettenspülung wird darüber hinaus nur dort sinnvoll sein (ökologisch wie ökonomisch), wo nicht zugleich wassersparende (Vakuumtoiletten) oder gar wasserlose Toiletten (Komposttoiletten) eingesetzt werden. Der Amortisationszeitraum einer solchen Anlage ist abhängig von der Wassereinsparung und dem Wasserpreis. Ein hoher Wasserverbrauch für Toiletten und ein hoher Wasserpreis erhöhen somit rechnerisch die Wirtschaftlichkeit einer Anlage.

Sofern in Gebäuden wassersparende Toiletten, Urinale und sonstige Einrichtungen eingebaut wurden, kann sich dennoch die Aufbereitung des Grauwassers anbieten, um es vor Ort, also ohne Umweg über die Kläranlage, in einen Vorfluter einzuleiten oder zur Bewässerung zu verwenden. Das verhältnismäßig gering belastete Grauwasser kann meist durch einfache Verfahren zufrieden stellend gereinigt werden.

Ob zukünftig aufbereitetes Grauwasser auch verstärkt für „höherwertige“ Anwendung genutzt wird, ist weniger eine Frage des technisch Machbaren, sondern vielmehr eine Frage des gesellschaftlich Gewünschten und wirtschaftlich Sinnvollen. So ist die

²⁵ www.watercasa.org

²⁶ Environment Agency (2000)

Akzeptanz der Nutzung im Haushalt in den USA, zumindest von behördlicher Seite, eher gering. Dennoch kam bereits in den 80er Jahren eine Studie bei der Untersuchung von fünf verschiedenen, einfachen Systemen zur Grauwasseraufbereitung zu dem Ergebnis, dass eine Wiederverwendung auch für die Toilettenspülung möglich ist.²⁷

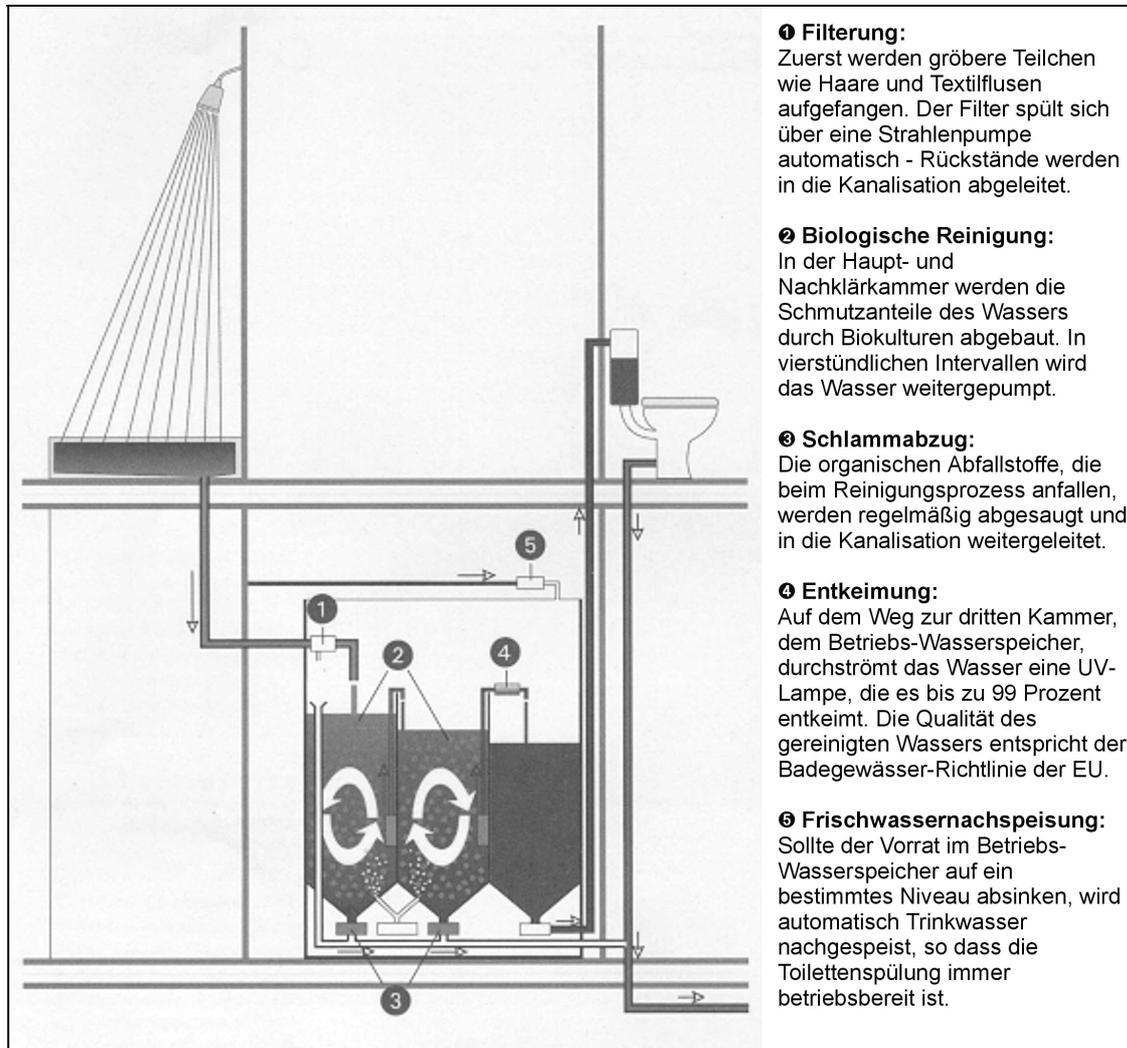


Abbildung 13: Grauwasseraufbereitungsanlage der Firma Hans Grohe
(Quelle: Hans Grohe)

Grauwasseranlagen werden in den unterschiedlichsten Größenordnungen angeboten und betrieben. Von der kleinen dezentralen Anlage für einzelne Haushalte bis hin zu semizentralen Anlagen für mehr als 200 EW existieren bereits Beispiele.

²⁷ Gerba, C. et al. (1995)

Nach einer Untersuchung der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) zum Thema Grauwasser, sind Grauwasseranlagen derzeit jedoch erst ab einer Größe von ca. 200 EW wirtschaftlich sinnvoll. Dies liegt nach Auskunft der fbr zum Einen an den niedrigen Wasserpreisen. Zum Anderen sinken die mit einer solchen Anlage verbundenen relativen Investitions- und Betriebskosten wie auch in anderen Bereichen der Wasserwirtschaft mit zunehmender Größe (Kostendegression; economies of scale).²⁸

Um die Funktion von Grauwasseranlagen zu untersuchen wurden in verschiedenen Ländern zum Teil recht umfangreiche Pilotprojekte initiiert, die teilweise bereits abgeschlossen und dokumentiert wurden.

Zur Beurteilung der Sicherheit und zukünftiger Einsatzmöglichkeiten des Grauwasserrecyclings ließ die Stadt Brisbane, **Australien**, eine umfangreiche Studie erstellen. Ziel war es, geeignete Richtlinien für die Wiederverwendung von Grauwasser zu erarbeiten. Der erste Teil dieser dreiteiligen Studie wurde 1993 fertiggestellt und befasste sich mit Erfahrungen in Übersee, einer Literaturrecherche und mikrobiologischen Analysen. Dieser Teil der Studie kam zu dem Ergebnis, dass von den westlichen Staaten die USA und Japan führend sind beim Grauwasserrecycling. Zudem ergab die Untersuchung, dass mit der Wiederverwendung von Grauwasser zwar gesundheitliche und umweltrelevante Bedenken verbunden sind. Durch geeignete Richtlinien seien jedoch mit dem Grauwasserrecycling deutliche Wassereinsparungen erreichbar.

Der zweite Teil der o.g. Studie untersuchte die Praxis des Grauwasserrecyclings in anderen Ländern und wie dieses vorteilhaft in Australien eingesetzt werden könnte. Dieser Teil wurde 1994 fertig gestellt. Er kam zu dem Ergebnis, dass zur Zerstörung oder Entfernung der Mikroorganismen aus dem Grauwasser eine Behandlung erforderlich ist und dass menschlicher Kontakt mit dem Grauwasser vermieden werden muss. Grauwasser auf der Basis einzelner Haushalte so zu behandeln, dass ein menschlicher Kontakt ungefährlich ist, ist laut dieser Untersuchung unwirtschaftlich. Zudem stellte sich heraus, dass es schwierig ist, Grauwasser-Anlagen zu unterhalten. Untersuchungen in den USA und Australien ergaben, dass 60-80 % der häuslichen Abwasserbehandlungsanlagen nicht fachgerecht in Stand gehalten wurden und daher keine akzeptablen Ablaufwerte erreichten.

²⁸ Aussage Dr. Mehlhart, Umweltplanung Bullermann Schneble, Darmstadt, am 13.1.2001

Während der erste Teil der Studie noch davon ausging, dass zur Grauwasser-Aufbereitung für die Toilettenspülung nur Desinfektion und eine grobe Filtration erforderlich sind, wurde nun festgestellt, dass diese Art der Aufbereitung nicht ausreicht, da ein menschlicher Kontakt nicht ausgeschlossen werden kann. Daher kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass sich die Grauwasseraufbereitung für die Toilettenspülung nicht lohnt. Die geringen erzielbaren Kosteneinsparungen durch den reduzierten Wasserverbrauch stünden in keinem Verhältnis zu den notwendigen Investitionskosten.

Für die von der Stadt Brisbane zu erarbeitenden Richtlinien zum Grauwasserrecycling empfiehlt die Studie aufgrund der gesundheitlichen Risiken, Grauwasser lediglich für die unterirdische Bewässerung zu verwenden. Auf eine Verwendung für die Toilettenspülung soll ganz verzichtet werden.²⁹

In **Großbritannien** finden sich zahlreiche Pilotprojekte zum Thema Grauwasser. So wurde eine zweijährige Studie durchgeführt, in deren Rahmen 10 Mitarbeitern des Englischen Umweltministeriums Anlagen zum Grauwasserrecycling im Haus eingebaut wurden. Es wurden Anlagen von Water Dynamics eingesetzt, wobei die Mitarbeiter des Umweltministeriums zwischen drei verschiedenen Ausführungen der Anlagen wählen konnten. Zur Aufbereitung wird das gesammelte Grauwasser in diesen Anlagen zunächst gefiltert und anschließend gespeichert. Vom Speicherbehälter wird das Grauwasser schwimmergesteuert in einen weiteren Speicher auf dem Dachboden gepumpt und desinfiziert. Falls das Grauwasser nicht ausreicht, wird Wasser aus dem Trinkwasserversorgungsnetz nachgespeist.

Insgesamt stellte die Studie eine mittlere Wassereinsparung von 19,3 % fest, in einer Spannweite von 5,6-32,2 %. Die starken Schwankungen erklären sich insbesondere aus zahlreichen technischen Problemen, die beim Betrieb der Anlagen auftraten und nur teilweise gelöst werden konnten. Dazu zählten Probleme mit dem Filter und der Desinfektion.

Auch die Wasserqualität war nicht immer sichergestellt. So kam es gelegentlich zu hohen Bakterienkonzentrationen, die auch die Europäische Richtlinie für Badegewässer übertrafen. In anderen Phasen war der Chlorgehalt des behandelten Wassers zu hoch.

²⁹ Jeppsen, B. (1996)

Dies lag daran, dass die Desinfektion mit Hilfe von Tabletten stattfand und somit nicht mengenreguliert ablief.

Bei durchschnittlichen Kosten der Anlagen von 950 £ zuzüglich 250 £ für die Installation ergab die Studie für einen 4-Personen Haushalt und unter Berücksichtigung der Betriebskosten eine durchschnittliche Amortisationszeit von 23 Jahren (bei mittlerem Wasserpreis).

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass für eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung Anlagen angeboten werden müssen, die sehr betriebssicher und einfach zu warten sind, umschrieben mit den Worten „fit and forget“. Die Studie wurde ausführlich dokumentiert und publiziert.³⁰

In einem weiteren Projekt zum Grauwasserrecycling wurde von Anglian Water Services Ltd. am **Waste Water Innovation Centre, Cambridge**, eine Pilotanlage betrieben. Im Vorfeld hatte man sich für eine physikalische Behandlung des Grauwassers entschieden. Erste Versuche wurden mit einfachen Filterpatronen unternommen, führten jedoch nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Daher wurden in einer zweiten Stufe verschiedene Membranverfahren getestet. Mit einer Mikrofiltration wurden sehr gute Ergebnisse erzielt. Auf der Grundlage der gesammelten Erfahrungen wurde eine erste Anlage zum Recycling von Grauwasser aus Haushalten installiert und untersucht. Zudem wurde eine Anlage in größerem Maßstab 1997 in einem neuen **Studentenwohnheim** an der Universität von Oxford installiert.³¹

Auch am **Linacre College, Oxford**, wurde von Anglian Water eine Grauwasseranlage installiert, die das Wasser mit einem Sandfilter, nachgeschalteten Membranen und Desinfektion aufbereitet. Insgesamt kommt Anglian Water zu dem Ergebnis, dass Grauwasseranlagen für einzelne Haushalte nicht wirtschaftlich sind. Erst größere Anlagen können auch wirtschaftlich sein.³²

Die **School of Water Sciences** an der **Cranfield Universität** führt Untersuchungen zum hausinternen Wasserrecycling durch. Im Vordergrund stehen dabei geeignete Technologien wie die Membrantechnologie und biologische Prozesse für das Recycling

³⁰ Enviroment Agency (2000)

³¹ Murrer, J.

³² Ward, M.

von Grauwasser. Unterstützt werden die Forschungsvorhaben vom UK Government's Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) sowie zahlreichen anderen Institutionen und Wasserversorgungsunternehmen.³³

In einem Studentenwohnheim für 40 Studenten an der **Loughborough Universität** wurden zwei verschiedene biologische Verfahren zur Grauwasseraufbereitung über 18 Monate getestet. Mit der biologischen Behandlung wurde fast Trinkwasserqualität erreicht. Als Amortisationszeit des Systems wurden bei Neubau eines Gebäudes 5 Jahre und bei Integration in ein bestehendes Gebäude 10 Jahre ermittelt. Die Herstellungskosten der Anlage wurden dabei für den Neubau mit 1 720 £ angegeben, die Betriebs- und Instandhaltungskosten mit 128 £/a.³⁴

Eine der größten Anlagen zum gebäudeinternen Wasserrecycling wurde im **Millenium Dome** in London errichtet. Thames Water bereitet dort täglich 500 m³ Grau-, Regen-, und Grundwasser für Toilettenspülungen und Urinale auf. In Zusammenarbeit mit der New Millenium Experience Company (NMEC) sollen verschiedene Technologien zum Wasserrecycling untersucht werden.

Der Anfall an Grauwasser vom Händewaschen wird auf täglich 120 m³ geschätzt. Das Grauwasser wird gesammelt und in einen Ausgleichsbehälter geleitet. Ziel der Grauwasserbehandlung ist die Entfernung biologisch abbaubarer organischer Substanzen. Dazu wird das Grauwasser zunächst durch einen belüfteten biologischen Filter geleitet. Vor der anschließenden Membrananlage werden die Wasserströme aus Regen-, Grund- und behandeltem Grauwasser zusammengeführt. Pilotversuche hatten zwar gezeigt, dass für die Grauwasserbehandlung eine Ultrafiltration ausreichen würde. Dennoch werden zusätzlich Spiralwickelmodule zur Umkehrosmose eingesetzt um den hohen Salzgehalt des Grundwassers zu reduzieren. Die Ultrafiltration besteht aus Hohlfasermembranen, die im dead-end Modus arbeiten. Sie dient als Vorfilter vor der Umkehrosmose und entfernt die feinen Partikel wie Bakterien und Viren bevor die Entsalzung durch die Umkehrosmose erfolgt. Nach der Entsalzung ist das Wasser entmineralisiert und somit sehr weich und korrosiv. Um die Leitungen zu schonen wird das Wasser daher mit Kalkstein aufgehärtet. Zudem wird Wasserstoffhypochlorid zur Desinfektion zugegeben.³⁵

³³ Turton, P. (1998 B)

³⁴ Wheatley, A.

³⁵ Matheson, Z. et al. (2000)

An der **Technischen Universität Kalmar** in **Schweden** wurde 1997 ein neues Gebäude an ein sogenanntes „Wetpark“-System angeschlossen. Dieses System stellt eine biologische Grauwasserbehandlung dar, bei der das Wasser im mehrfachen Wechsel zwischen Wurzelzonen und Teichen gereinigt wird. Bevor das Grauwasser das Teichsystem erreicht, wird es durch eine Zone mit Kalkstein geleitet, um den pH-Wert einzustellen und eine größere Oberfläche zum aeroben Abbau organischer Bestandteile zu schaffen.

Das angeschlossene Gebäude wurde für 500 Studenten errichtet, mit einem jährlichen Wasserverbrauch von 400 m³. Das Wasser stammt vom Händewaschen und Geschirrspülen. Die Grauwasseranlage hat einen Flächenbedarf von 1 200 m². Auch das Regenwasser wird in den Wetpark geleitet. Dadurch stellt das System rund 700 m³/a zur Verfügung. Nach der Installation der Anlage 1997 soll die Leistungsfähigkeit untersucht werden. Erste Berechnungen lassen einen Nährstoffabbau um 75 % erwarten. Die Kosten der Anlage lagen bei ca. \$ 375 je angeschlossener Person, einschließlich der Wege, Sitzgelegenheiten etc..³⁶

In **Kanada** existieren zahlreiche Projekte zum (Grau-) Wasserrecycling. Diese werden unter anderem von der Canada Mortgage and Housing Corporation betreut, die auch Studien zu den Projekten veröffentlicht. Ebenso veröffentlichte diese Organisation 1998 einen „Application Guide for Water Reuse Systems“, der sich mit den Anforderungen an Anlagen zum Wasserrecycling beschäftigt.

Ein Beispiel für Grauwasserrecycling in Kanada ist das **Quayside Village Greywater Demonstration Project** in North Vancouver, B. C.. Dort wird das Grauwasser von 20 Wohneinheiten aufbereitet. Zunächst soll das Wasser nur für die Toilettenspülung verwendet werden. Wenn genügend Erfahrungen mit dem System vorliegen, soll das Wasser jedoch auch für Duschen und Wäschewaschen genutzt werden. Die Grauwasseraufbereitung erfolgt mittels Biofilter, Vor-Ozonung, mehrstufiger Sandfiltration und Ozonung.³⁷

³⁶ Günther, V. (2000)

³⁷ Homepage der Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca>

Exkurs II zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserverwertung für die Wasserversorgung)

Abwasserrecycling

Anders als beim Grauwasserrecycling werden die Abwasserströme beim Abwasserrecycling nicht getrennt. Vielmehr wird das gesamte Abwasser gereinigt und einer erneuten Verwendung zugeführt. In vielen Ländern beschränkt sich diese Verwendung auf den Einsatz zur Bewässerung. Auch der Einsatz des gereinigten Abwassers zur Fahrzeugreinigung, für die Industrie, als Kühlwasser oder zur Grundwasseranreicherung kann in zahlreichen Ländern angetroffen werden.

In einigen Projekten wird das gereinigte Abwasser aus dezentralen oder zentralen Kläranlagen jedoch auch als Brauchwasser für Toilettenspülungen wieder verwendet. Beispiele hierfür finden sich insbesondere in Japan, Australien und Kanada.

In **Grand Canyon Village**, Arizona, in den USA wurde bereits 1926 ein System zur Nutzung von gereinigtem Abwasser für die Toilettenspülung errichtet.³⁸

Anfang der 70er Jahre zeigten Kostenbetrachtungen im kalifornischen Küstenbezirk **Irvine (Los Angeles)**, dass die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser günstiger sein kann, als die Einleitung dieses Wassers über einen Creek (sommertrockenes Flussbett) in das Meer. Für diese bis dahin übliche Praxis waren hohe Einleitungsgebühren zu entrichten. 1987 wurde daher die Einrichtung eines zweiten Wassernetzes für Brauchwasser beschlossen. Das aufbereitete Abwasser wird heute neben der Bewässerung in mehreren neu gebauten Geschäftshochhäusern für die Toilettenspülung und die Raumreinigung verwendet. Wirtschaftlichkeitsanalysen zeigten, dass sich die Versorgung der Hochhäuser mit Brauchwasser ab einer Höhe von 6 Stockwerken rechnet, zumal in diesen Gebäuden zwischen 70 und 85 % des Wassers für die Toilettenspülung benötigt wird. Die Gebäude sind die ersten ihrer Art in Kalifornien und werden als Modellversuch gesehen. Bürogebäude gelten als besonders geeignet für die Brauchwassernutzung, da sich dort überwiegend Erwachsene aufhalten.³⁹

³⁸ Water Environment Federation (Hrsg.) (1989)

³⁹ Lanz, K. (1998)

Ende der 80er Jahre fanden sich in den USA insgesamt etwa 25 Projekte zur Wiederverwendung von Abwasser für die Toilettenspülung in Bürogebäuden, Schulen und Einkaufszentren.⁴⁰

In **Japan** begannen die Bemühungen, aufbereitetes Abwasser wieder zu verwenden, ebenfalls schon früh. So setzte sich die Stadtregierung Tokios bereits 1973 für die Nutzung recycelten Wassers ein. Heute existieren in Tokio sowie in anderen japanischen Städten drei verschiedene Systeme für recyceltes Wasser:

1. Individual building system: Bei diesem System haben einzelne Gebäude eine eigene Anlage zur Aufbereitung des Abwassers.
2. Limited area system: mehrere Gebäude in einem kleinen Gebiet, z.B. große Apartment-Komplexe oder sanierte Stadtteile haben eine gemeinsame Aufbereitungsanlage.
3. Broad area system: zahlreiche Gebäude in einem größeren Gebiet nutzen aufbereitetes Abwasser aus einer Kläranlage oder industriellen Wasserwerken.

1984 entstanden in Tokio Richtlinien für das Recycling von Abwasser. Sie hatten das Ziel, die Nutzung recycelten Wassers in der Stadt zu verstärken.

Heute erhalten in Tokio Gebäude mit mehr als 10 000 m² Nutzfläche oder 3 000 m² Grundstücksfläche nur noch eine Baugenehmigung, wenn das Recycling von Abwasser vorgesehen wurde.⁴¹ Vergleichbare Regelungen existieren auch in Fukuoka.⁴²

1994 wurden so bereits 196 Gebäude durch *individual building* und *limited area* Systeme mit täglich mehr als 26 000 m³ Wasser versorgt. 328 Gebäude (rund 21 000 m³/d) bezogen Brauchwasser von industriellen Wasserwerken. Neben 291 gewerblichen Abnehmern wurden auch mehr als 35 000 Haushalte in den Gebieten Koto und Johoku mit recyceltem Wasser für die Toilettenspülung versorgt.⁴³

Von den bestehenden *individual building* Anlagen waren 72 biologische Verfahren (Belebtschlammverfahren) und 70 Anlagen Membrananlagen. Der Anteil der

⁴⁰ Water Environment Federation (Hrsg.) (1989)

⁴¹ Ortstermin Hochhaus „Fudji“, Tokio, am 09.02.2001

⁴² Ogoshi, M. et al. (2000)

⁴³ Udagawa, T. (1994)

Membrananlagen war 1994 steigend. In den meisten Anlagen wurde Wasser vom Händewaschen, aus Restaurants und Kühlsystemen aufbereitet.

Beispiele für *limited area systems* und *individual building systems* sind **Ikebukuro Sunshine City** und **Ohtemachi Financial Center**.

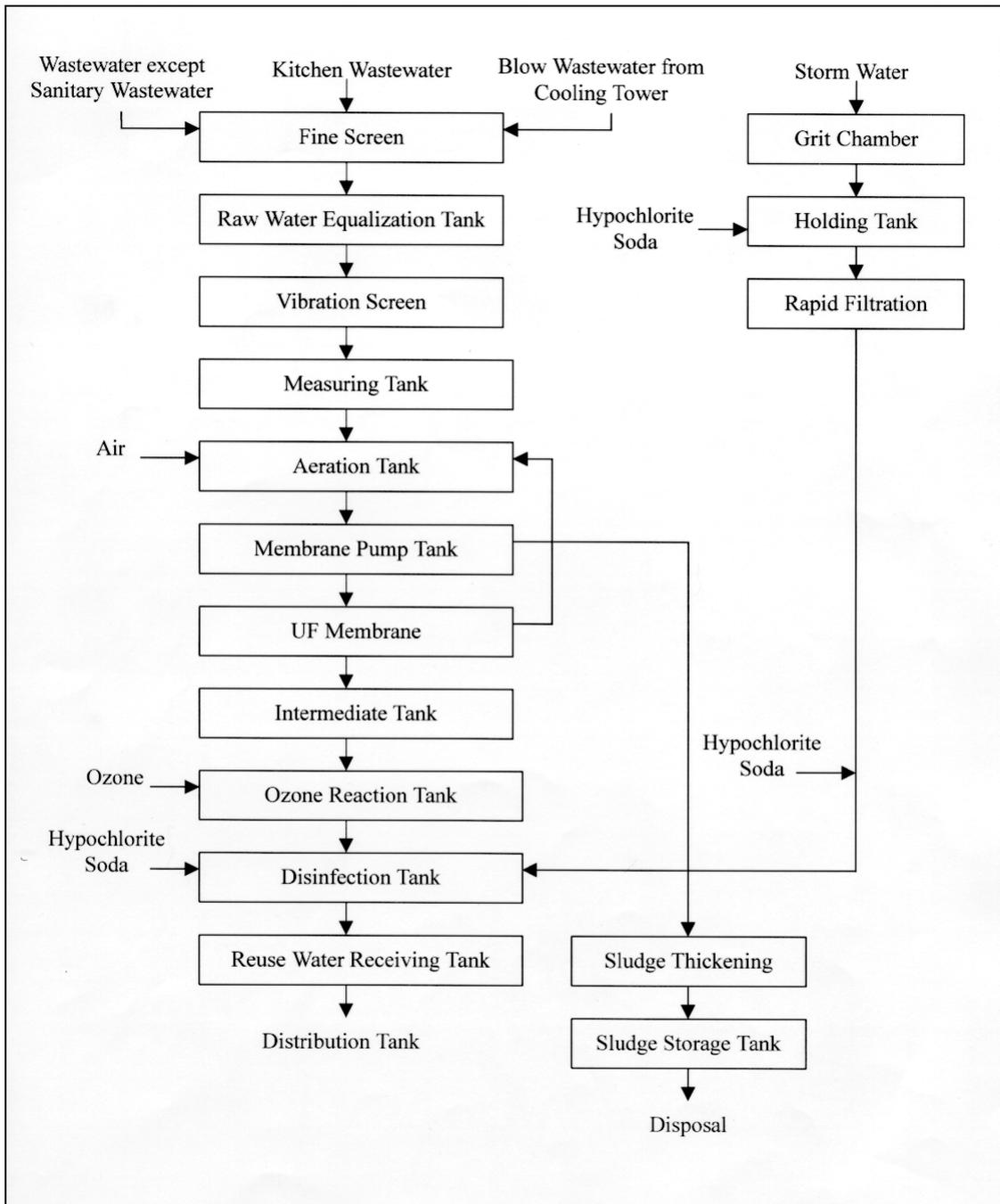


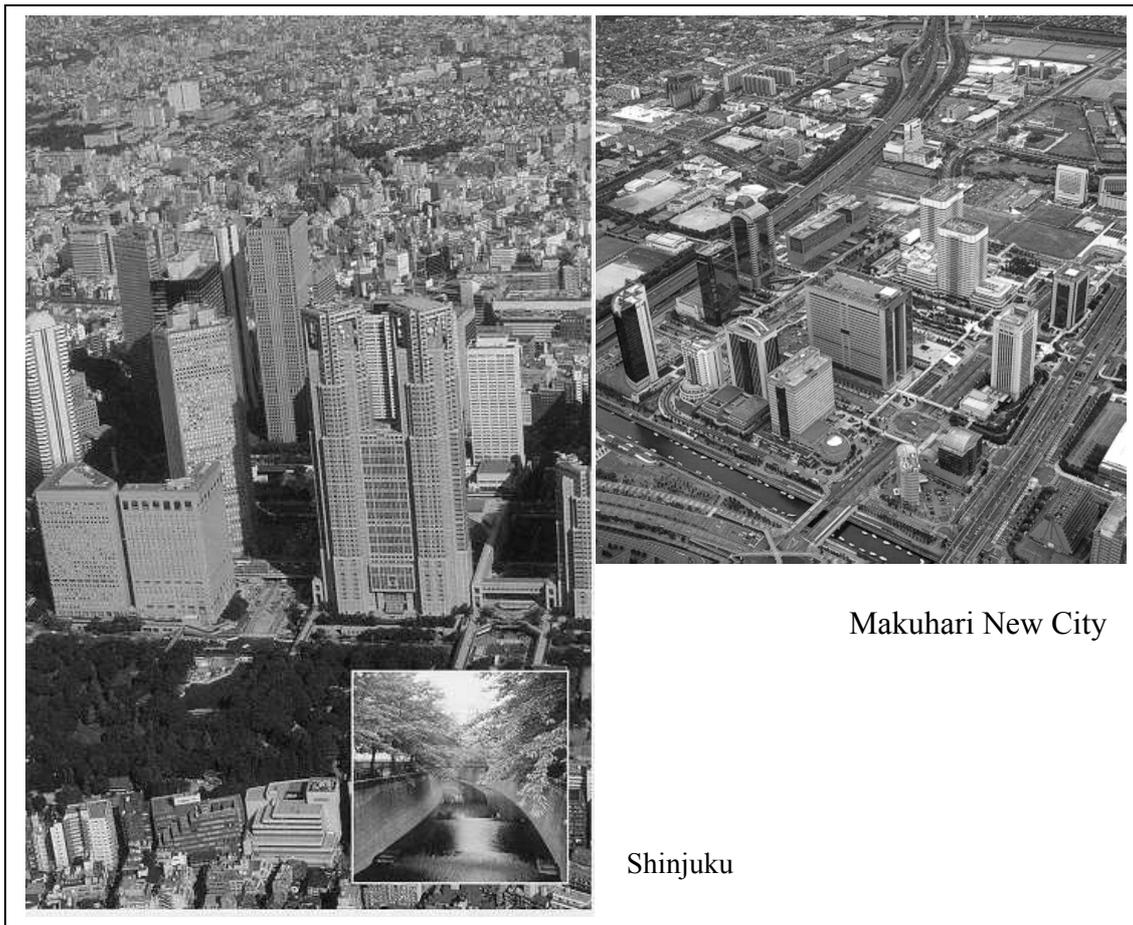
Abbildung 14: Fließbild der Recyclinganlage des Ohtemachi Financial Centre (Quelle: Nishihara Environmental Sanitation Research, 2000)

In der Anlage des Ohtemachi Financial Center werden durchschnittlich ca. 70 m³/d Abwasser (außer Sanitärabwasser) sowie 6 m³/d Regenwasser für die Toilettenspülung aufbereitet.

Ein Beispiel für ein *broad area system* ist der ab 1984 entstandene **Shinjuku** Hochhaus-Komplex in Tokio. Dort werden 19 Hochhäuser (Stand 1996) mit recyceltem Abwasser für die Toilettenspülung versorgt. Nach einem Ausbau der Anlagen konnten 1991 bis zu 8 000 m³/d zur Verfügung gestellt werden. Dazu wird der Ablauf der Ochiai Kläranlage nach einer Sandfiltration zum 3 km entfernten Shinjuku Water Recycling Centre gefördert. Das Recycling Center befindet sich im Kellergeschoss des Tokio Hilton Hotels. Dort wird das Wasser mit Hypochlorid desinfiziert. Alle angeschlossenen Gebäude verfügen über einen Zwischenspeicher von dem das Wasser in einen Speicher auf dem Dach, der den Versorgungsdruck sicherstellt, gepumpt wird.⁴⁴

Ein weiteres Beispiel für die Versorgung mit recyceltem Wasser in Tokio ist **Makuhari New City**, ein Gebiet, das den aufbereiteten Kläranlagenablauf der Hanami-gawa Kläranlage für die Toilettenspülung in Hotels, Bürogebäuden und einem Krankenhaus sowie für die Bewässerung erhält.

⁴⁴ Asano, T. et al. (1996)



Makuhari New City

Shinjuku

Abbildung 15: Makuhari New City und Shinjuku

Weitere Beispiele für die eher zentrale Aufbereitung des Kläranlagenablaufs und die Bereitstellung dieses Wassers für die Toilettenspülung in Bürogebäuden finden sich in Fukuoka City und in Yokohama. Bereits 1991 existierten in Japan 12 solcher Anlagen, deren gereinigtes Abwasser für die Toilettenspülung verwendet wurde.

In **Fukuoka City** wurden 1984 zunächst 12 Gebäude mit recyceltem Abwasser für die Toiletten versorgt. Die Menge betrug $400 \text{ m}^3/\text{d}$.⁴⁵ Mittlerweile wurde das Versorgungsgebiet auf $7,7 \text{ km}^2$ vergrößert, 170 Gebäude erhalten heute recyceltes Abwasser. 1998 betrug die täglich zur Verfügung gestellte Wassermenge $6\,300 \text{ m}^3$, bei einer möglichen Kapazität von insgesamt $8\,800 \text{ m}^3/\text{d}$. Es existieren 2 Anlagen zur Abwasseraufbereitung, eine im Gebiet Chubu (Kapazität $8\,000 \text{ m}^3/\text{d}$) und eine im Gebiet Tobu (Kapazität $800 \text{ m}^3/\text{d}$). Das behandelte Abwasser wird zunächst zur Entfernung von Geruch und Farbe mit Ozon behandelt, anschließend mit einem

⁴⁵ Asano, T. et al. (1996)

Sandfilter gereinigt und mit Hypochlorid desinfiziert.⁴⁶ Zwar sind in Fukuoka die Preise für recyceltes Abwasser mit durchschnittlich 2,99 \$/m³ niedriger als für Trinkwasser (3,73 \$/m³), die tatsächlichen Aufbereitungskosten liegen jedoch beim Abwasser bei 2,01 \$/m³ und beim Trinkwasser bei 1,88 \$/m³.⁴⁷

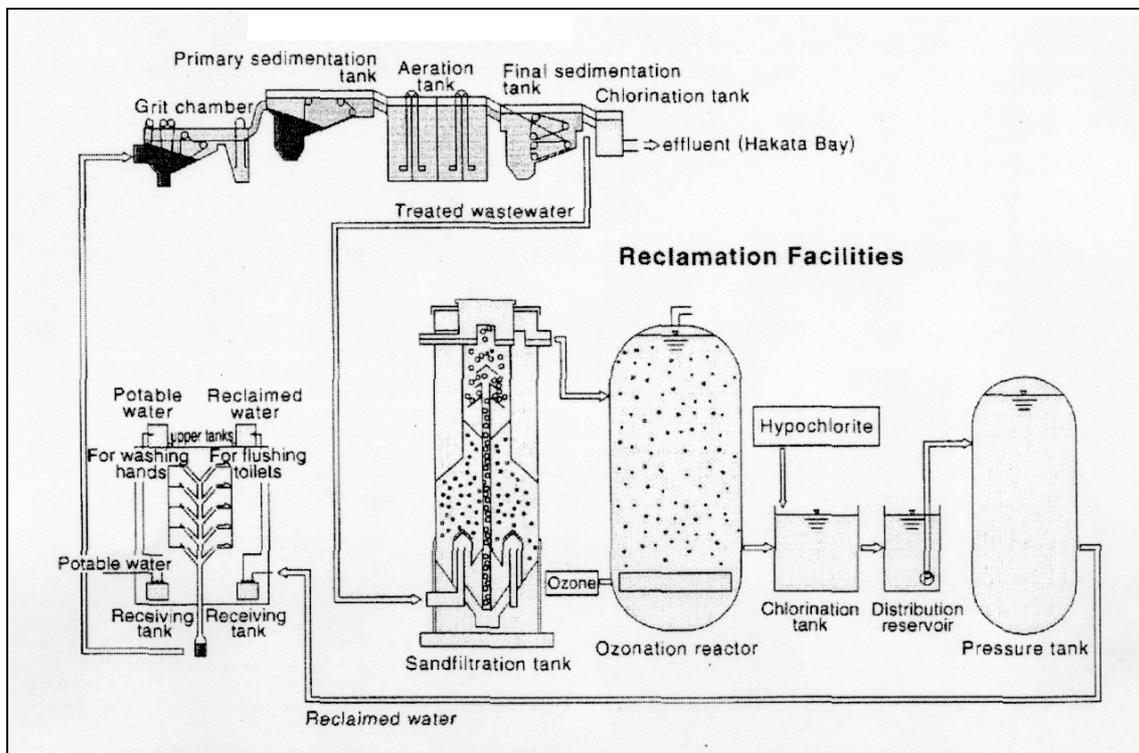


Abbildung 16: Fließbild der Recyclinganlage in Fukuoka
(Quelle: Nonaka, Y., 2000)

Insgesamt existierten 1998 in Japan 1 475 Anlagen der Kategorien *individual building* oder *broad area system* mit einer jährlichen Kapazität von ca. 71 Mio. m³. Aufgrund der geringen erforderlichen Fläche werden dazu überwiegend Membran-Bioreaktoren mit anschließender Desinfektion eingesetzt.⁴⁸

Ein großes Projekt, bei dem aufbereitetes Abwasser für die Toilettenspülung und die Bewässerung verwendet wird, startet 2000 in **Rouse Hill, Australien**. Rouse Hill wird das größte doppelte Versorgungsnetz Australiens bekommen. Nach der Fertigstellung werden in Rouse Hill täglich 8 000 m³ recyceltes Wasser für 100 000 Haushalte zur Verfügung stehen.

⁴⁶ Fukuoka Municipal Government (1999)

⁴⁷ Asano, T. et al. (2000)

⁴⁸ Ogoshi, M. et al. (2000)

Dem dortigen Kläranlagenablauf werden zunächst Flockungsmittel zugegeben. Anschließend folgt ein Sandfilter und eine Chlordesinfektion. Um Verwechslungen zu vermeiden, erhalten die Leitungen für Trinkwasser und die Leitungen für recyceltes Wasser unterschiedliche Farben.⁴⁹ Um den Bewohnern einen Anreiz zu geben, das recycelte Wasser zu verwenden, ist der Preis je m³ mit 0,27 \$ deutlich unter dem für Trinkwasser mit 0,90 \$ (Stand 1999).⁵⁰

Für die olympischen Spiele 2000 in Sydney und insbesondere für das olympische Dorf **Homebush Bay** wurde eine umfassende Strategie zum Wassermanagement und Wasserrecycling erarbeitet. Diese Strategie beinhaltete neben der Wiederverwendung von Abwasser für Toilettenspülungen, Bewässerung und Reinigungszwecke (2 200 m³/d) auch eine weitgehende Nutzung des anfallenden Regenwassers.⁵¹

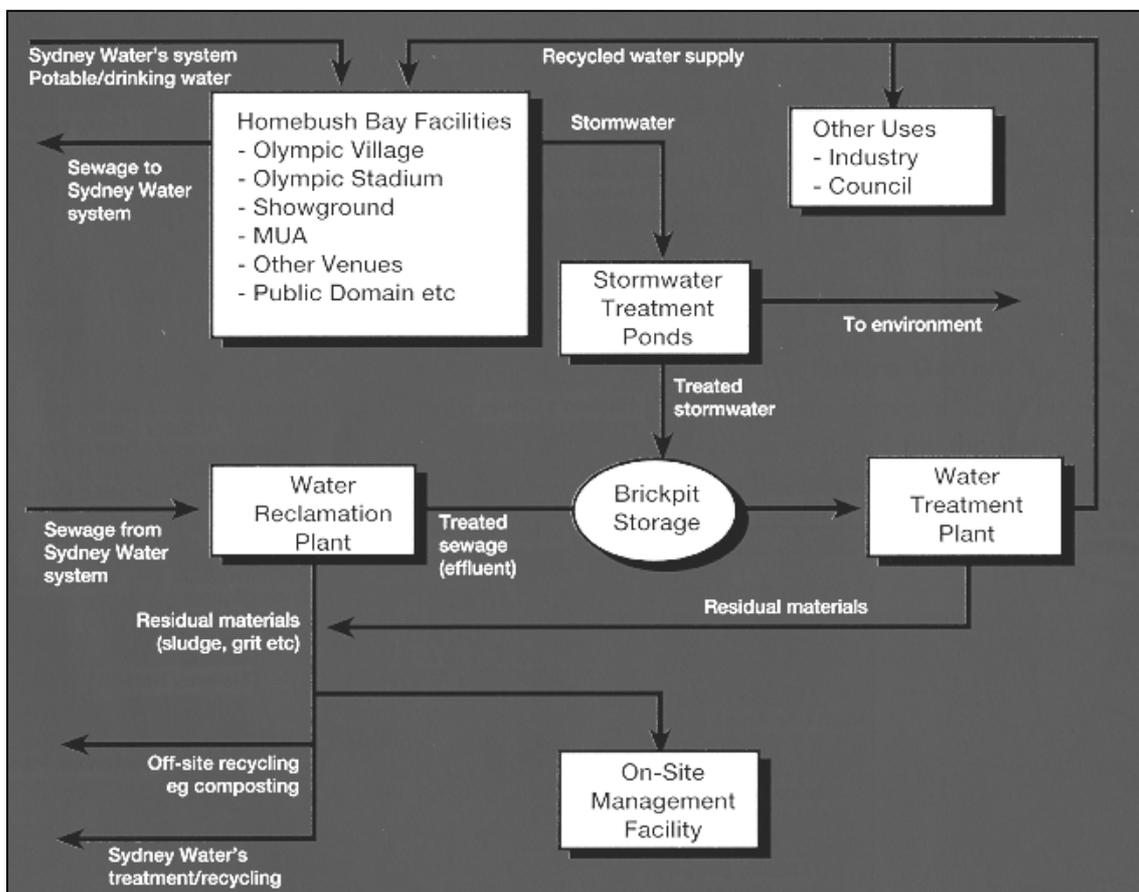


Abbildung 17: The water cycle management strategy for Homebush Bay
(Quelle: Hayward, K., 1998 B)

⁴⁹ Sydney Water Corporation (2000)

⁵⁰ Sydney Water Corporation (1999)

⁵¹ Hayward, Keith (1998B)

Die Stadt **Yellowknife** in **Kanada** hat aufgrund des Dauerfrostes und der Bodenbedingungen besondere Probleme mit der Landerschließung. Die Erschließungsgebühren für einzelne Grundstücke erreichen einschließlich der Straßen bis zu \$ 75 000 sofern konventionelle Entwässerungssysteme errichtet werden. Daher gab die Stadt eine Studie in Auftrag, welche die Möglichkeiten der dezentralen Abwasserreinigung und des Wasserrecyclings untersuchen sollte. Die Studie, angefertigt von UMA Engineering Ltd. und Vista Engineering, kam zu dem Ergebnis, dass mit Hilfe bereits angewandter Systeme zur dezentralen Abwasserbehandlung und Wiederverwendung deutliche Kosteneinsparungen erzielt werden könnten. Erste Kostenschätzungen ergaben mögliche Einsparungen über die gesamte Lebensdauer einer solchen Anlage (Annahme: 20 Jahre, Realzinssatz 4 %) von ca. 40 % (\$ 47 000 gegenüber \$ 80 000 bei einem konventionellen System). Vorausgesetzt, die einzusetzenden Systeme werden in großen Stückzahlen gefertigt.⁵²

Ebenfalls in **Yellowknife** installierte die Northwest Territories Housing Corporation (NWTHC) Systeme zum Abwasserrecycling in 5 Einfamilien-Häusern. Das gesamte Abwasser wird gereinigt und für alle Zwecke eingesetzt, die kein Trinkwasser benötigen, einschließlich Baden. Die Kapazität jedes dieser Systeme beträgt 1 m³/d. Bislang wurden diese Gebäude per LKW mit Trinkwasser versorgt, das Abwasser wird ebenso mit dem LKW abtransportiert. Ziel dieses Projektes war es, die mit dem LKW zu transportierenden Wassermengen zu reduzieren und den Haushalten gleichzeitig mehr Wasser zur Verfügung zu stellen. Außerdem sollte die Machbarkeit des Abwasserrecyclings im Norden Kanadas demonstriert und dem bestehenden kommunalen LKW-Transportsystem gegenüber gestellt werden.

Die eingesetzte Aufbereitungstechnologie entspricht der im „Healthy House“ in Toronto mit Biofilter, Sandfiltration und Ozonung (s. Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.2). Die Verantwortung für den Betrieb und die Wartung der Anlagen übernahmen die NWTHC und Yellowknifes Dene First Nation.

Die Gesamtkosten je System, einschließlich Installation, betragen \$ 13 295. Die Betriebs- und Wartungskosten wurden mit jährlich \$ 1 125 angegeben.

⁵² Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca>

Von dem gewählten System werden Kosteneinsparungen für die Ver- und Entsorgung per LKW von jährlich \$ 5 000 je Haus erwartet.⁵³

Ein weiteres Projekt, bei dem das System des „Healthy House“ eingesetzt wurde, befindet sich in **Cape Dorset**. Dort wurden 5 Mehrfamilienhäuser mit dem genannten System ausgestattet. Die Gesamtkosten je Anlage liegen bei \$ 45 200, die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten bei \$ 1 125.

Das Gebäude des **Ministry of Social Services** in Sooke, British Columbia, wurde auf einem Gelände errichtet, auf dem keine öffentliche Kanalisation zur Verfügung stand. Daher wurde eine Anlage zum Abwasserrecycling mit einer Kapazität von 3,8 m³/d installiert.

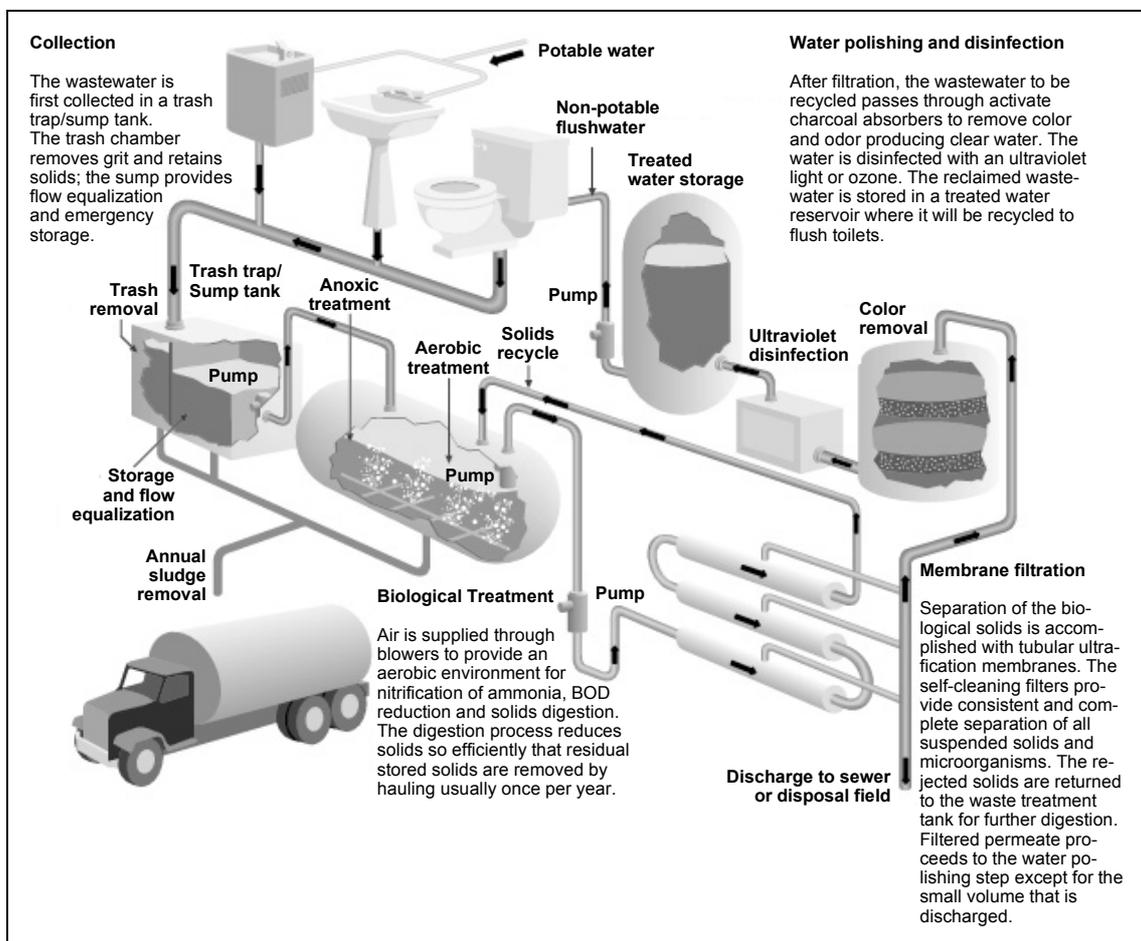


Abbildung 18: Abwasserrecycling-Anlage des Ministry of Social Services
(Quelle: Hill Murray)

⁵³ Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca>

Das Abwasser wird in einem Behälter außerhalb des Gebäudes zwischengespeichert und kontrolliert in einen Bioreaktor gegeben. Der Ablauf des Bioreaktors wird mit einer ZenoGem-Membran im Crossflow-Verfahren mit anschließendem Aktivkohlefilter gereinigt und mit UV desinfiziert. Das gereinigte Wasser wird gespeichert, überschüssiges Wasser wird versickert. Die Anlage wird von einem Unternehmen betrieben und gewartet. Das System kann fernüberwacht und anhand vorgegebener Parameter im Alarmfall weitgehend ferngesteuert werden.

Die Gesamtkosten der Anlage betragen \$ 88 000. Die jährlichen Kosten für Energie, Betrieb und Überwachung liegen bei insgesamt \$ 11 400. Mit der Einführung des Systems konnte der tägliche Verbrauch an Trinkwasser von 1,5 m³ auf ca. 0,07 m³ gesenkt werden.⁵⁴

Das **Salt Spring Island Village Resort** in Kanada erhielt 1997 eine Anlage, mit der täglich 114 m³ aufbereitet und wieder verwendet werden können. Das Resort verfügt neben dem Hauptgebäude über 123 Hütten auf einer Fläche von ca. 14,5 ha. Das gesamte Abwasser des Hauptgebäudes und der Hütten wird in eine zentrale Anlage zur Aufbereitung geleitet. Nach einem Schmutzfang gelangt das Abwasser in einen belüfteten Membran-Bioreaktor. Dort werden die biologisch abbaubaren Stoffe entfernt. Mit Vakuumpumpen wird das Wasser durch die Membran gefiltert, wodurch die Feststoffe und pathogenen Keime zurückgehalten werden. Vor der Wiederverwendung sind noch ein Aktivkohlefilter und eine UV-Desinfektion angeordnet. Das aufbereitete Abwasser wird für die Toiletten und Urinale verwendet. Insgesamt werden 36 % des Abwassers wieder verwendet. Die Anlage wurde so konzipiert, dass sie stufenweise vergrößert werden kann.⁵⁵

⁵⁴ Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca> sowie Hill Murray, <http://www.hillmurray.com>

⁵⁵ Hill Murray, <http://www.hillmurray.com>

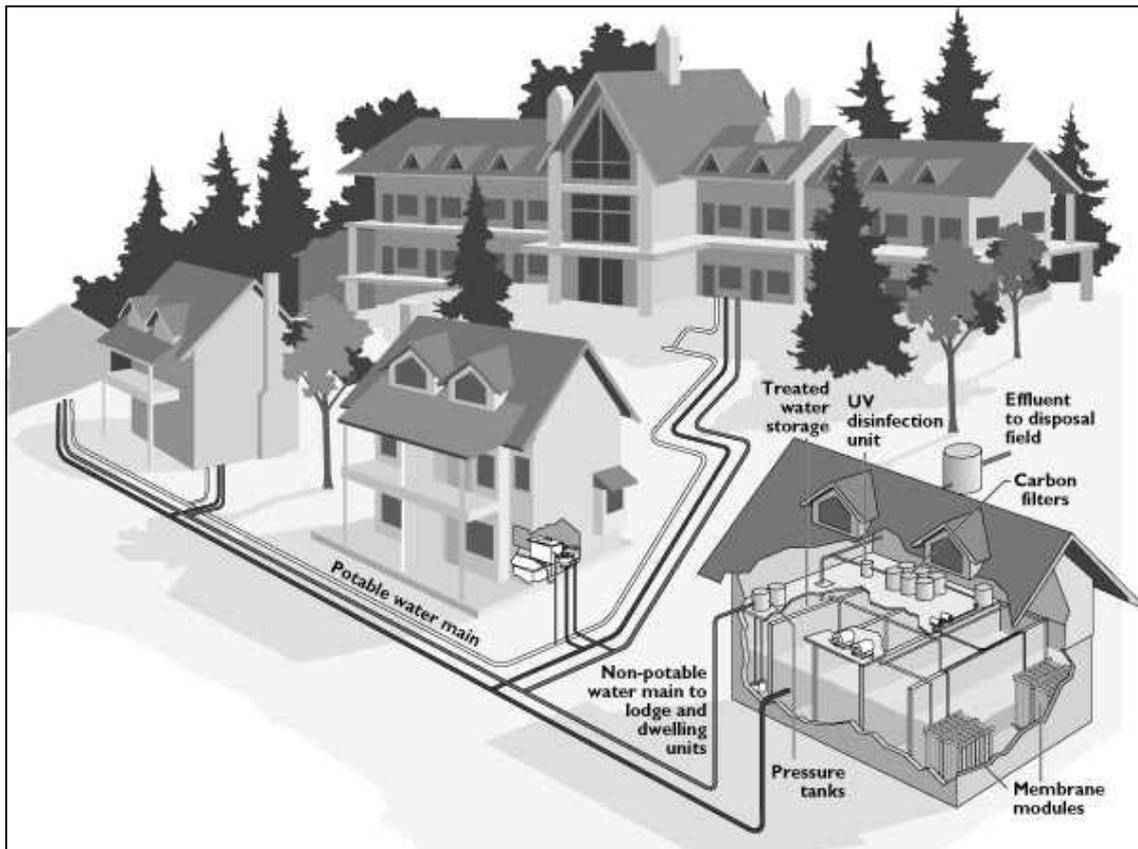


Abbildung 19: Abwasserrecycling-Anlage im Salt Spring Island Village Resort
(Quelle: Hill Murray)

Eine ähnliche Anlage wurde u.a. 1996 auch für das **Kingfisher Oceanside Inn Resort** errichtet. Die dortige Anlage hat eine Kapazität von ca. 45 m³/d. Die Kapitalkosten der Anlage lagen bei \$ 28 1000, die jährlichen Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Überwachung betragen \$ 28 900. Pro Woche fallen etwa 4 Arbeitsstunden auf der Anlage an.⁵⁶

Eine weitere vergleichbare Anlage findet sich in der Huband Park Elementary School (ca. 1,2 m³/d).⁵⁷

⁵⁶ Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca> sowie Hill Murray, <http://www.hillmurray.com>

⁵⁷ Hill Murray, <http://www.hillmurray.com>

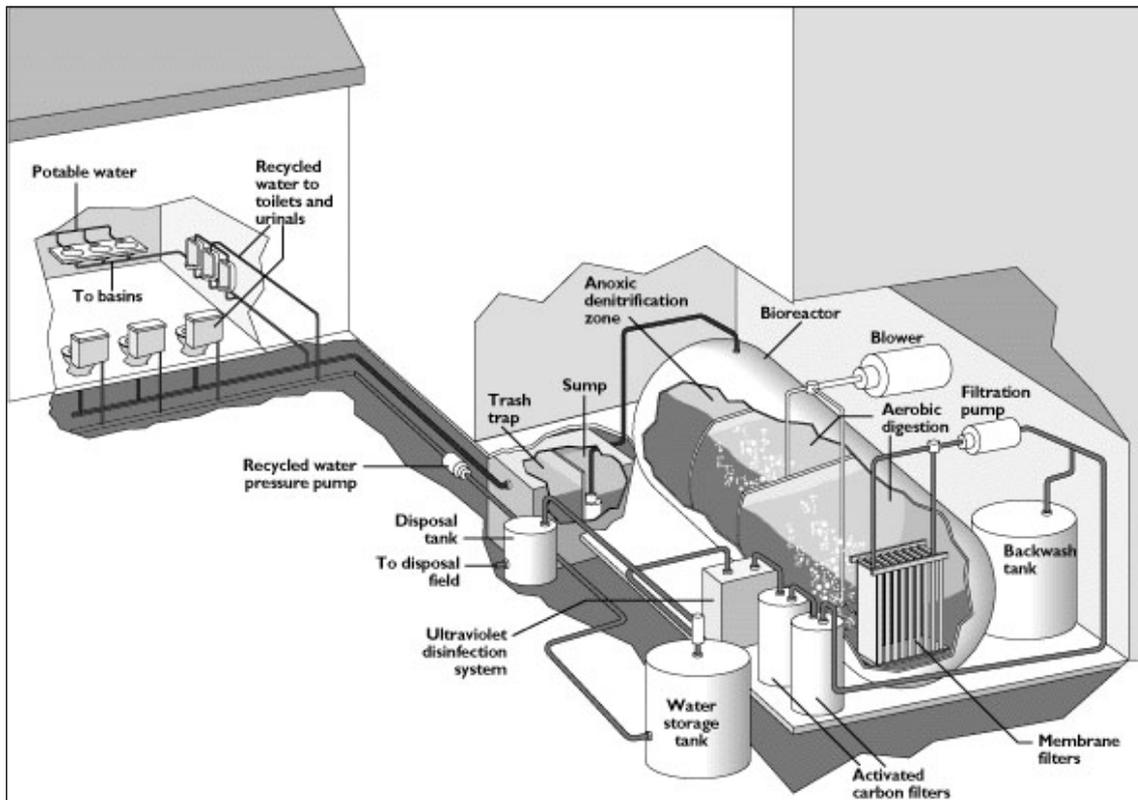


Abbildung 20: Anlage der Huband Park Elementary School
(Quelle: Hill Murray)

Exkurs III zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung)

Abwasser zu Trinkwasser

Neben der Bewässerung und der Nutzung als Brauchwasser findet auch zunehmend die Aufbereitung des Kläranlagenablaufes zu Trinkwasser Beachtung. Die weltweit erste Anlage dieser Art wird bereits seit 1969 in **Windhoek, Namibia** betrieben.

Auch in den USA wurden in **Denver, San Diego** und **Tampa Bay** in der Vergangenheit umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel, Trinkwasser direkt aus dem Kläranlagenablauf zu gewinnen. Die umfangreichsten Untersuchungen fanden über einen Zeitraum von 30 Jahren in Denver statt. Davon wurden 10 Jahre lang Anlagen mit unterschiedlichen Verfahren betrieben.⁵⁸

Obwohl alle Projekte zeigten, dass die Aufbereitung von Trinkwasser aus Abwasser technisch machbar und im Einzelfall auch wirtschaftlich sinnvoll sein kann, wurden die

⁵⁸ United States Environmental Protection Agency (EPA) (1992)

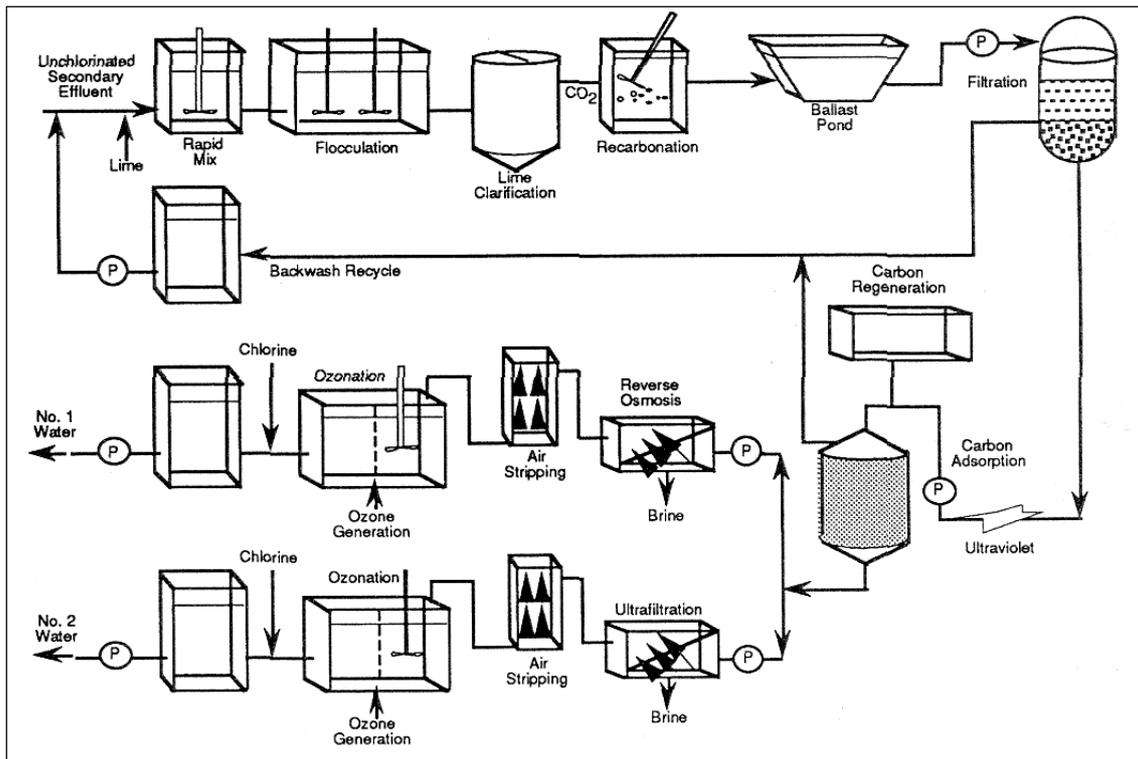


Abbildung 21: Denver Potable Reuse Demonstration Treatment Plant Processes

(Quelle: United States Environmental Protection Agency (EPA), 1992)

Projekte in San Diego und Tampa Bay 1999 aufgrund hygienischer Bedenken eingestellt.

In **Australien** wurde eine Demonstrationsanlage bei der **Quakers Hill** Kläranlage errichtet. Dort sollen zunächst zwei Verfahren der Aufbereitung, physikalisch-chemische und Membranprozesse (Mikro-/Ultrafiltration) mit einer Leistungsfähigkeit von je 2 000 m³/d getestet werden. Langfristig wird die Gewinnung von Trinkwasser aus dem Kläranlagenablauf angestrebt.⁵⁹

Exkurs IV zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung)

Wiederverwendung für die Bewässerung

Die Verwendung von (unterschiedlich vorbehandeltem) Abwasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen, Golfplätzen und öffentlicher Grünanlagen ist weit verbreitet. Insbesondere in wasserarmen Gebieten kann hierdurch die Nutzung von Grund- oder Oberflächenwasser sehr stark reduziert werden. Beispiele hierfür finden

⁵⁹ Hayward, K. (1998)

sich in sehr vielen Ländern wie beispielsweise in Israel, wo etwa 70 % des Abwasser gereinigt und für die Bewässerung verwendet werden.⁶⁰

Exkurs V zu Kapitel 4.3.3.1 (Abwasserwertung für die Wasserversorgung)

Wassertechnologie / Aufbereitungsverfahren

Ebenso wie das Grauwasserrecycling setzt das Abwasserrecycling keine bestimmte Technologie voraus. Sowohl Brauchwasser als auch Trinkwasser kann mit verschiedenen Technologien erzeugt werden. Ob dabei naturnahe Aufbereitungsverfahren (z.B. Abwasserteiche und Bodenfiltration), „konventionelle“ Aufbereitungsverfahren oder „moderne“ (Vakuumverdampfung, Umkehrosmose) angewandt werden, ist die Entscheidung des Anlageninvestors.

Im Gegensatz zur Abwasserreinigung mit anschließender Einleitung in einen Vorfluter, wo von behördlicher Seite strikte Regelungen bezüglich der Wasserqualität getroffen werden, bietet das Wasserrecycling die Möglichkeit, integrierte, kosteneffektive Prozesse so zu kombinieren, dass eine den jeweiligen Anforderungen angepasste Wasserqualität erreicht wird. Die anwendbaren Verfahren reichen dabei von Teichen, über physikalisch-chemische Verfahren, biologische Verfahren, Advanced Oxidation bis hin zur Membranfiltration und Membran-Bioreaktoren. Verfahren wie die Aktivkohle-Filtration, Advanced Oxidation oder auch die Umkehrosmose ermöglichen es, Abwasser so aufzubereiten, dass seine Qualität erheblich besser ist, als die herkömmlichen Trinkwassers. Bisher galt der Einsatz von Membranen, insbesondere die Umkehrosmose, aufgrund des hohen Energieverbrauchs, der Kosten für den Membranersatz sowie der Gefahr des Foulings und der Verblockung als teures und aufwendiges Verfahren. Technologische Fortschritte reduzierten die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb von Membrananlagen in den letzten Jahren jedoch erheblich, so dass die Membrantechnologie zunehmend zu einer ernsthaften Alternative für die Wasseraufbereitung wird.⁶¹

Trotz der technologischen Entwicklung und der Kostenreduzierung kamen verschiedene Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass die Anlagen zum Wasserrecycling für einzelne Haushalte in den meisten Fällen nicht rechnen, sondern dass z.B. in Deutschland solche

⁶⁰ Gleick, P. (2000)

⁶¹ Mujeriego, R., Asano, T. (1999)

Anlagen erst ab Anschlussgrößen von 100 bis 200 EW unter gegebenen Umständen wirtschaftlich werden.

4.3.3.2 Stoffliche Verwertung / Integrierte Systeme

Die Betrachtung der heutigen Wasser- und Nährstoffkreisläufe verdeutlicht beträchtliche Mängel des Systems der zentralen Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Nahrungsmittel aus der Landwirtschaft werden auf dem Land produziert und in den Städten konsumiert. Auf dem Land werden daher Nährstoffe/Dünger benötigt, die aber mit dem Abwasser in der Stadt anfallen (Phosphor und Stickstoff). Durch einen Transport der Nährstoffe hin zur Landwirtschaft könnte der Nährstoffkreislauf geschlossen und künstliche Düngemittel eingespart werden. Zudem werden bei den konventionellen Abwassersystemen in Kläranlagen erhebliche Aufwendungen zur Beseitigung des Stickstoffs aus dem Abwasser unternommen. Könnte der Stickstoff bereits vorher separiert und landwirtschaftlich genutzt werden, so ließen auf den Kläranlagen Kosten einsparen. Statt einer schrittweisen Erweiterung von Kläranlagen könnte beispielsweise auch alternativ eine sukzessive Erfassung des Urins erfolgen.⁶²

In herkömmlichen Kläranlagen werden 50 – 60 % der organischen Zulauffrachten in CO₂ und Wasser abgebaut. 10 % verbleiben im Wasser, 30 – 40 % im Schlamm.⁶³ Die biochemische Umsetzung der Kohlenwasserstoffe ist zwar ein exothermer Vorgang. Die freiwerdende Energie kann jedoch nur zu einem geringen Teil, z.B. zur Denitrifikation oder über Wärmetauscher zur Wärmeabgewinnung genutzt werden.

Um den Energieinhalt der organischen Stoffe nutzen zu können, müssten diese in möglichst unverdünnter Form gesammelt und beispielsweise in einer Biogasanlage vergoren werden. Solche Konzepte finden sich insbesondere im asiatischen Raum, z.B. in China und Indien.⁶⁴

Besonders die Rückgewinnung des Phosphors könnte zukünftig an Bedeutung gewinnen. Phosphor stellt eine endliche Ressource dar, deren Qualität zudem durch steigende Schwermetallgehalte abnimmt.⁶⁵ Ähnliches gilt für Kalium. Bei der

⁶² Otterpohl, R. et al. (1999B)

⁶³ Aspegren et al. (1997)

⁶⁴ Lindert, M. et al. (1997)

⁶⁵ Larsen, T. A.; Gujer, W. (1998)

konventionellen Abwasserbehandlung gelangt nur ein Bruchteil dieser Nährstoffe über die Klärschlammverwertung wieder in den Nährstoffkreislauf. Ein großer Teil passiert die Kläranlage und gelangt in die Gewässer.⁶⁶ Die fehlende Rückführung von Nährstoffen und Spurenelementen führt zu einer Auslaugung der Böden.⁶⁷

Fast alle Nährstoffe, die für eine landwirtschaftliche Verwertung genutzt werden könnten, finden sich im Schwarzwasser. Urin enthält den größten Teil der gelösten Nährstoffe, Fäkalien enthalten den größten Teil der partikulär gebundene Nährstoffe. Aufgrund dieser Aufteilung erscheint es sinnvoll, über Konzepte zur Teilstromerfassung, -behandlung und -verwertung nachzudenken. Anders als bei der Klärschlammverwertung können durch die Teilstrombehandlung Produkte mit hoher Nährstoffkonzentration gewonnen und somit eine möglichst weitgehende Schließung der Stoffkreisläufe erreicht werden. Auch die Mitbehandlung von Bioabfällen kann bei solchen dezentralen Konzepten integriert werden.

Die getrennte Erfassung der Teilströme und die Verwendung des Urins ist nur sinnvoll, wenn zugleich der landwirtschaftliche Bedarf für diesen Dünger in der Region gegeben ist. Der spezifische „Flächenbedarf“ je Einwohner liegt bei separierenden Konzepten bei etwa 200 - 300 m². Der erzeugte Dünger kann entweder als hochkonzentrierte Lösung oder als rieselfähiges Substrat erzeugt werden.⁶⁸

Tabelle 8: C-, N-, P- und K-Gehalte des Abwassers

	org. Kohlenstoff [kg/E*a]	Stickstoff (Kjedahl) [kg/E*a]	Phosphor [kg/E*a]	Kalium (K ₂ O) [kg/E*a]
Grauwasser (Küche, Putzen, Badezimmer)	5,50	0,30	0,50	1,1
Schwarzwasser (Fäkalien)	17,00	0,50	0,20	0,17
Gelbwasser (Urin)	6,00	5,00	0,40	1,00

(Quelle: Otterpohl et al., 1999)

Wird an eine Nährstoffnutzung gedacht, sollte der Wasserverbrauch möglichst gering gehalten werden. Hierzu bieten sich verschiedene Lösungen an:

⁶⁶ Niederste-Hollenberg, J. et al. (2000)

⁶⁷ Hildmann, C. et al. (2000)

⁶⁸ Otterpohl, R. et al. (1999 B)

- Wasserspartoiletten
- Urinseparation
- Vakuumtoiletten
- Komposttoiletten.

Mit Wasserspartoiletten kann der Wasserbedarf jedoch in der Regel nicht unter 20 l/E*d reduziert werden. Für die Biogasproduktion müsste das Schwarzwasser daher zunächst entwässert werden. Mit Toiletten zur Urinseparation kann der Wasserverbrauch bereits auf ca. 7 l/E*d reduziert und damit wesentlich weniger verdünntes Schwarzwasser gewonnen werden. Solche Systeme werden derzeit überwiegend in Skandinavien getestet und eingesetzt. Die Erfahrung zeigte dort jedoch, dass diese zurzeit technisch noch nicht ausgereift sind. Ein ähnlich niedriger Wasserverbrauch kann mit Hilfe von Vakuumtoiletten erreicht werden.⁶⁹

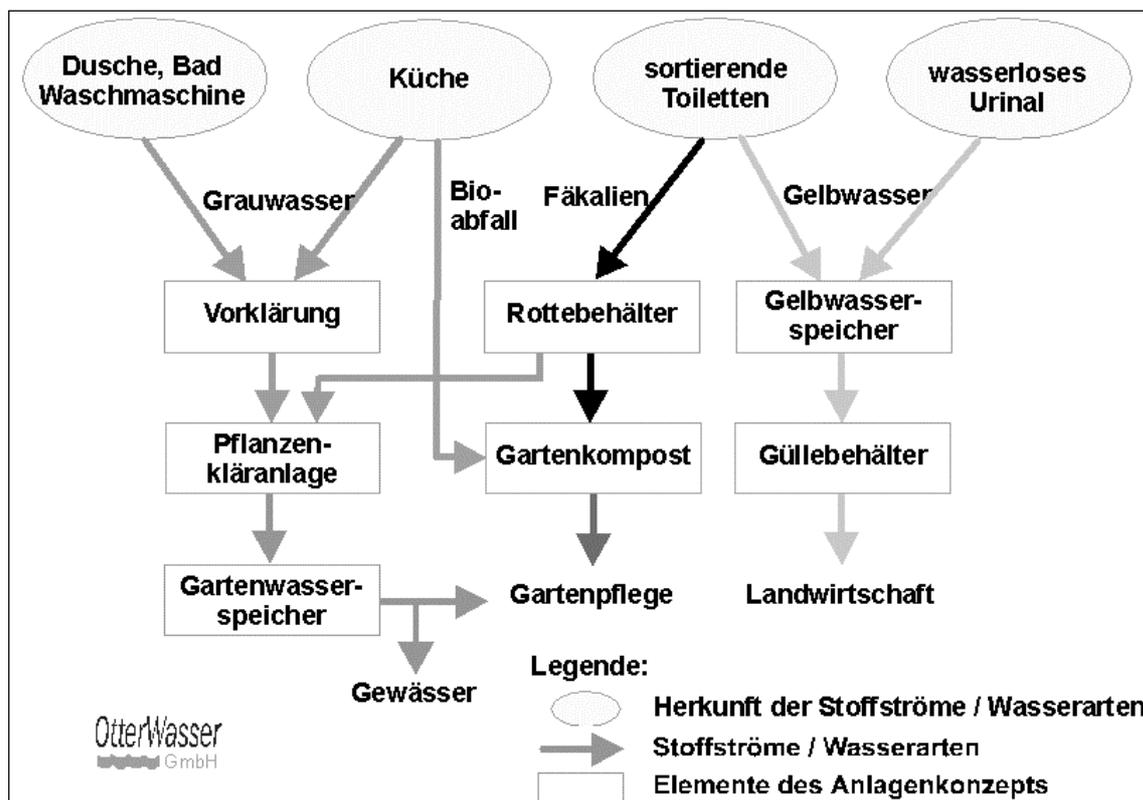


Abbildung 22: Beispielhaftes Schema eines integrierten Entsorgungssystems
(Quelle: www.otterwasser.de)

⁶⁹ Lanz, K. (1998)

Eine Studie für den Stadtteil Bergsjön der Stadt **Göteborg** untersuchte in einer Art Energiebilanz den Energiebedarf unterschiedlicher Wassersysteme. Dabei wurden drei Alternativen betrachtet und verglichen⁷⁰:

- Alternative 0: Kanalsystem mit zentraler Kläranlage und Verbringung des Klärschlammes in der Landwirtschaft.
- Alternative 1: Vorbehandlung des Abwassers und Abtrennung der Feststoffe, anschließend Filtration. Das behandelte Abwasser wird in einen Vorfluter geleitet. Der Schlamm der Vorbehandlung wird von einem Fahrzeug zu einer Biogas-Anlage in Bergsjön gebracht. Die übrigen Produkte aus der Eindickung und der mit Phosphor gesättigte Filtersand werden als Bodenverbesserer in der Landwirtschaft eingesetzt.
- Alternative 2: Das häusliche Abwasser wird in drei Fraktionen getrennt (Urin, übriges Schwarzwasser, Grauwasser). Der Urin wird als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt. Das übrige Schwarzwasser wird gespeichert und mit Fahrzeugen zu einer Biogas-Anlage gebracht.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass für das betrachtete Fallbeispiel die Alternative 2 energetisch betrachtet die mit Abstand günstigste Variante darstellt.

⁷⁰ Hellström, D.; Kärman, E. (1997)

Ökosiedlung Flintenbreite

Demonstrationsvorhaben des Bundesumweltministeriums

Pilotprojekt der Hansestadt Lübeck für ökologisch verträglichen Städtebau

Das häusliche Abwasser der Siedlung wird innerhalb der Wohnungen getrennt erfasst. Bei Einsatz von Vakuumtoiletten, die einen sehr geringen Wasserverbrauch haben, werden Fäkalien (Schwarzwasser) und das restliche Abwasser (Grauwasser) getrennt abgeleitet und behandelt.

Das nur schwach mit Nährstoffen belastete Grauwasser wird über Gefälleleitungen aus den Häusern herausgeführt, von Grobstoffen gereinigt und in diskontinuierlicher Beschickung drei bewachsenen Sandfiltern bzw. Pflanzenkläranlagen zugeführt. Der Abfluss der Grauwasserbehandlung, der Badegewässerqualität aufweist, erfolgt in einen nachgeschalteten Teich, bzw. kann zu Bewässerungszwecken im Siedlungsgebiet genutzt werden.

Durch den Einsatz der Vakuumtoiletten, die je Spülung nur 0,7 - 1,2 l Spülwasser verbrauchen, liegt das Schwarzwasser als hoch konzentrierter Abwasserstrom vor. Dieser Teilstrom wird durch Vakuumleitungen zur zentralen anaeroben Biogasanlage transportiert.

Biomüll wird über ein Biotonnensystem gesammelt, in einer zentralen Anlage zerkleinert und ebenfalls der Biogasanlage zugegeben.

Durch die gemeinsame Vergärung von Schwarzwasser und Biomüll in der Biogasanlage wird der Energieinhalt der beiden Teilströme genutzt. Das bei der Vergärung entstehende Biogas kann in einem Blockheizkraftwerk zur Energieerzeugung genutzt werden. Die dabei entstehende Abwärme versorgt sowohl die Biogasanlage mit der erforderlichen Prozessenergie als auch das angeschlossene Wärmeversorgungsnetz. Der nach der Behandlung in der Biogasanlage verbleibende Flüssigdünger wird in einem Speicherbehälter gesammelt und an die Landwirtschaft abgegeben. Hierdurch können die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe fast vollständig in die Landwirtschaft zurückgeführt werden.

Quelle: www.flintenbreite.de

Hammarby Sjöstad, ein Stadtteil Stockholms, ist das derzeit größte Wohnungsbauprojekt in **Schweden**. Innerhalb von 10 Jahren entstehen etwa 8 000 Wohnungen. Der Stadtteil soll ein Beispiel für umweltbewusste Konstruktion und Lebensweise werden. Um dies zu erreichen soll nach umweltgerechten Lösungen auch im Bereich Abfall und Abwasser gesucht werden. Daher wird für ein System zur Nutzung von Küchenabfällen und Schwarzwasser ein Ideenwettbewerb stattfinden, der die beste

Lösung für die Sammlung und den Transport von Schwarzwasser gemischt mit Küchenabfällen aus Wohnblöcken aufzeigen soll. Der behandelte, nährstoffreiche Schlamm soll landwirtschaftlich verwertet werden. Ziel ist es, eine Anlage für mindestens 1 000 Wohnungen zu errichten. Der Siegervorschlag soll zunächst in einer Feldstudie getestet werden.⁷¹

Exkurs I zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung)

Urin („Gelbwasser“)

Urin enthält ca. 90 % des Stickstoffs und ca. 67 % des Phosphors menschlicher Exkremate und kann daher, richtige Behandlung und richtigen Einsatz vorausgesetzt, als wertvoller Nährstoff betrachtet werden.⁷² In der Landwirtschaft bestehen aufgrund der Schwermetallgehalte häufig Bedenken gegen die Ausbringung von Klärschlamm. Da im Urin der weitaus größte Teil der für die Landwirtschaft interessanten Nährstoffe enthalten ist, könnte die Urinseparierung und der Einsatz des Urins als Dünger eine geeignete Alternative darstellen.⁷³

Neben der Bedeutung des Urins als Nährstoff können durch die für die Separation erforderlichen Separationstoiletten bis zu 80 % des Spülwasser eingespart werden. Insgesamt wäre damit eine Reduzierung des häuslichen Wasserverbrauchs um ca. 25 % möglich.⁷⁴

Für die Behandlung des separierten Urins werden verschiedene Lösungen vorgeschlagen. Ein Vorschlag sieht vor, den Urin am Anfallsort (dezentral) in kleinen Haustanks zu speichern und in den Nachtstunden als Schwall zur Kläranlage zu leiten. Die Öffnung der Tanks kann gesteuert und zeitlich so verzögert geschehen, dass die räumlich Ausdehnung der Urinwelle und damit zugleich die Vermischung mit dem Abwasser möglichst gering gehalten wird. Untersuchungen haben gezeigt, dass zumindest in kleineren Einzugsgebieten der nächtlich Zeitraum mit geringem Abwasseranfall ausreicht, um den Urin konzentriert zur Kläranlage zu leiten.⁷⁵ Dort wird der konzentrierte Urin einer separaten Nährstoffaufbereitung zugeführt und zu

⁷¹ LIP-Office and Stadt Stockholm (2000)

⁷² Günther, V. (2000)

⁷³ Larsen, T. et al. (1999)

⁷⁴ www.novaquatis.eawag.ch

⁷⁵ Larsen, T., Udert, K. (1999)

Dünger verarbeitet. Das verbleibende Abwasser ist nährstoffarm und kann ohne Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorentfernung gereinigt werden.

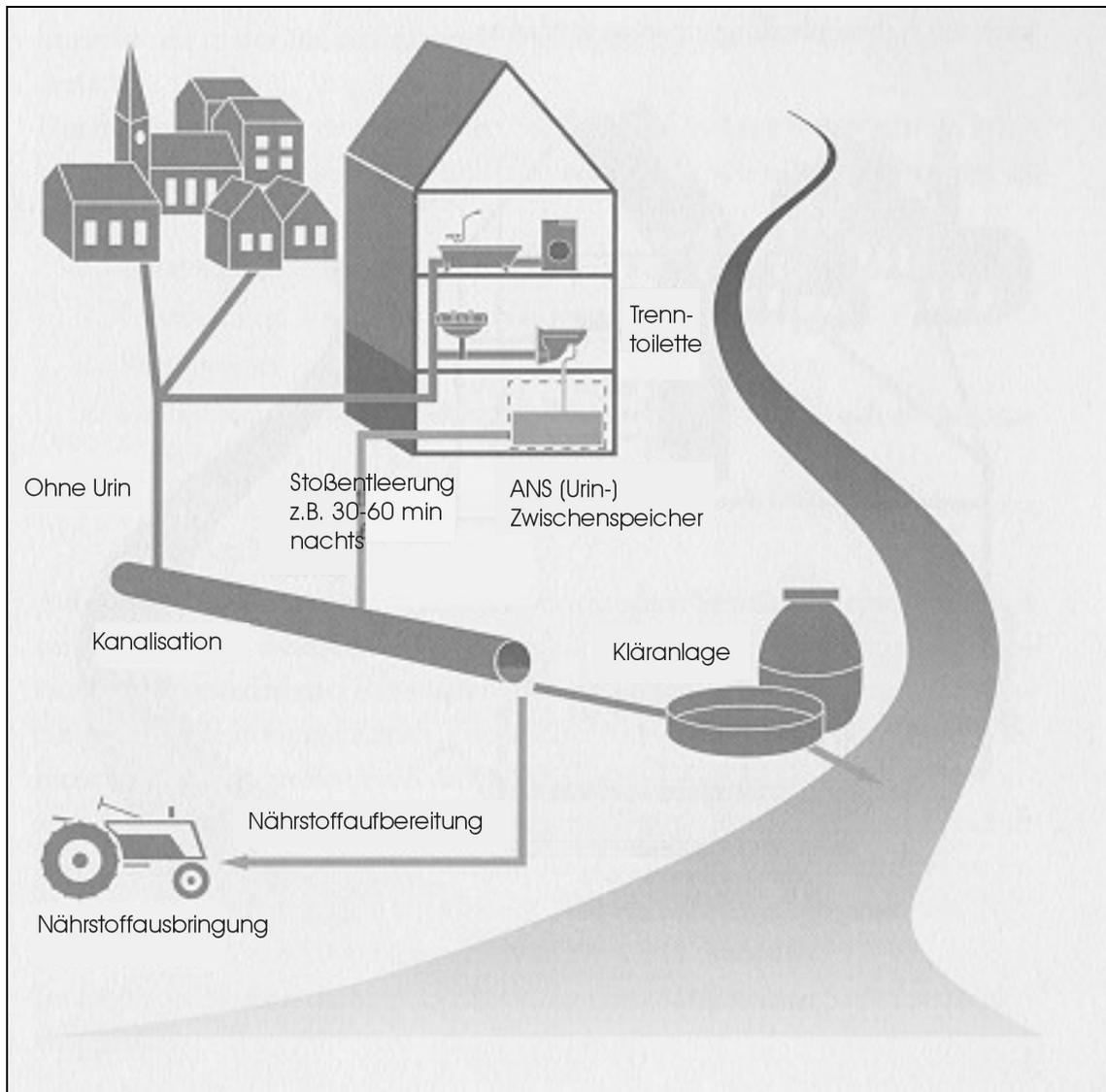


Abbildung 23: Separate Teilstrombehandlung des Urins

(Quelle: Lang, J., Otterpohl, R., 1997)

Als problematisch erweist sich bei diesem Konzept die Instabilität des Urins. Der Harnstoff zerfällt sehr schnell in Ammoniak und Kohlendioxid. Ausgasender Ammoniak kann dann zur Korrosion im Kanalnetz und Geruchsbelästigungen führen.⁷⁶

Andere Konzepte sehen vor, den Urin über längere Zeiträume zu speichern, z.B. in Jahrespeichern, und der Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Gelegentlich wird

⁷⁶ Larsen, T. A., Gujer, W. (1998)

hierzu jedoch angemerkt, dass noch erheblicher Forschungsaufwand notwendig ist, um die Eignung des Urins als Dünger zu untersuchen.

Die Nutzung von Urin in der Landwirtschaft ist in vielen Ländern verbreitet, beispielsweise in China. In Äthiopien wird der Einsatz von Urin in der Landwirtschaft praktiziert, während die Nutzung von Fäkalien eher ein Tabu darstellt. Doch auch hierfür wurden zuletzt Versuche unternommen, die eine Trennung der festen und flüssigen Stoffe und eine getrennte Verwertung vorsehen.⁷⁷

Urin enthält jedoch nicht nur den größten Teil des Stickstoffs, sondern auch die meisten ausgeschiedenen Pharmaka. Diese gelangen bei konventioneller Abwasserreinigung häufig in die Gewässer, mit Folgen, die in den vergangenen Jahren zunehmend untersucht werden. Die Gewässerbelastung durch diese Stoffe könnte durch die Urinseparation zwar verringert werden, die Verunreinigungen müssten dann jedoch bei der Verarbeitung des Urins zu Dünger entfernt werden.⁷⁸ Bei einer Speicherzeit von 6 Monaten scheint ein weitgehender Abbau von Medikamentenrückständen möglich zu sein. Dennoch muss abgewogen werden, ob ein Verbleib dieser Stoffe im Wasserkreislauf oder im Boden das kleinere Übel darstellt. Mit der Separation des Urins besteht zumindest die Möglichkeit, bedenkliche Stoffe durch eine lange Speicherung und geeignete Teilstrombehandlung weitgehend abzubauen.⁷⁹ Mit Sicherheit wird die Wirkung von Arzneimittelrückständen zukünftig ein zentrales Thema bei der Diskussion über die Eignung von Urin als Dünger in der Landwirtschaft darstellen.

Das von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) initiierte Forschungsprojekt **Novaquatis** zum Thema Urinseparation untersucht in mehreren Stufen unter anderem Fragen zu

- den Konsumentenbedürfnissen und -erwartungen
- praktischem Design von Separationstechnologien
- Aspekten der Speicherung sowie des Transports des Urins zwischen Haushalten und Behandlungsanlagen
- Verfahren zur Herstellung eines Düngeproduktes

⁷⁷ Ketema, A. (2000)

⁷⁸ Larsen, T., Udert, K. (1999)

⁷⁹ Otterpohl, R. et al. (1999 B)

- dem Gefährdungspotenzial von Mikroverunreinigungen und Möglichkeiten, diese bei der Herstellung des Düngers zu eliminieren
- der zu erwartenden Nachfrage nach dem Düngerprodukt aus Urin in der Landwirtschaft.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in einer umfassenden Beurteilung der Nährstofftrennung in der Landwirtschaft zusammengefasst. Zudem ist eine mögliche Initiierung eines Pilotprojektes in China angedacht.⁸⁰

Die Reduzierung von Spülwassermengen ist ein Beitrag zum umweltbewussten Ressourcenumgang. Die Trenntoilette ermöglicht eine separate Erfassung von Urin und Feststoffen. Nur bei Bedarf werden Papier oder Fäkalien in den hinteren (großen) Ablauf gespült. Die getrennten Abfallprodukte können nach entsprechender Behandlung weiter genutzt werden, z.B. als Dünger in der Landwirtschaft.

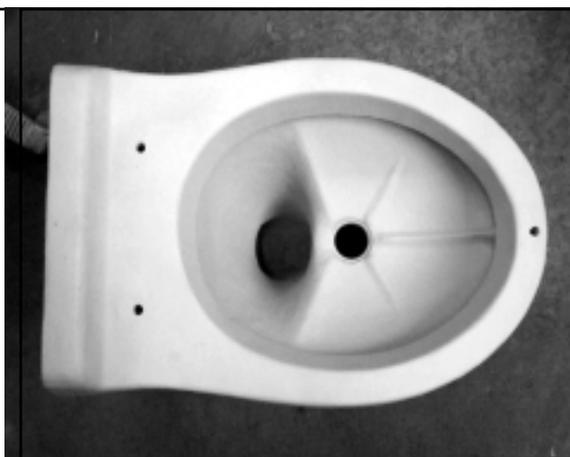


Abbildung 24: Separationstoilette

Die Einsatzmöglichkeiten des Urins in der Landwirtschaft werden auch in **Schweden** in dem Projekt „Source separated human urine – a future source of nutrients for agriculture around **Stockholm**“ untersucht. Dort werden unter Anderem anhand mehrjähriger Feldversuche die Eigenschaften von Urin mit denen mineralischer Dünger verglichen.⁸¹

Die Stadtbetriebe Linz, **Österreich**, planen für das Stadterweiterungsprojekt **SolarCity Pichling** ein Konzept zur Schließung des Stoffkreislaufes in der Abwasserwirtschaft umzusetzen. In diesem Pilotprojekt sollen etwa 100 Wohneinheiten und eine Schule mit Separationstoiletten und wasserfreien Urinalen ausgestattet werden. Der gesammelte Urin soll als Flüssigdünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Das übrige Schwarzwasser wird bei dem in Linz geplanten System in einen Biofilter geleitet. Das daraus ablaufende Wasser soll in einer Pflanzenkläranlage gereinigt

⁸⁰ www.novaquatis.de

⁸¹ Carlander, A. et al. (1999)

werden, die Feststoffe werden im Biofilter kompostiert. Nach einer zweiten Kompostierungsstufe soll der Rottekompost in der Landwirtschaft eingesetzt werden.⁸²

Exkurs II zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung)

Schwarzwasser / Braunwasser

Schwarzwasser oder Braunwasser kann bei dezentralen Konzepten mit Teilstromnutzung entweder einer anaeroben Behandlung (Biogasanlage) oder einer aeroben Behandlung (aerob thermophile Stabilisierung oder Kompostierung) zugeführt werden. Auch die Verwendung häuslichen Schwarzwassers in landwirtschaftlichen Biogasanlagen kann sinnvoll sein und wird bereits praktiziert.

Bei den bislang bestehenden Projekten wird die energetische häufig mit einer stofflichen Verwertung kombiniert. Das, bestenfalls hoch konzentrierte, Schwarz- oder Braunwasser wird einer Biogasanlage zugeführt (energetische Verwertung). Je nach Konzept können in dieser Anlage zugleich die organischen Haushaltsabfälle mit verwertet werden. In den Biogasanlagen entsteht zudem ein Flüssigdünger, der in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann (stoffliche Verwertung).

Für dieses Konzept finden sich zahlreiche Beispiele, wie das **Modellprojekt Wohnen & Arbeiten in Freiburg**, wo das Schwarzwasser aus Vakuumtoiletten zusammen mit häuslichen Bioabfällen zu Flüssigdünger verarbeitet wird. Das gewonnene Biogas wird zum Kochen verwendet. Das anfallende Grauwasser wird in einem belüfteten Sandfilter gereinigt und entweder versickert oder wieder verwendet.⁸³

Ein ähnliches Konzept verfolgt die o.g. **ökologische Wohnsiedlung Flintenbreite** bei Lübeck

Exkurs III zu Kapitel 4.3.3.2 (stoffliche Verwertung)

Autarke Gebäude

In **Toronto, Kanada**, wurde 1995 das sogenannte „Healthy House“ errichtet. Dieses Gebäude mit ca. 160 m² Wohnfläche ist nicht an die öffentliche Strom- und Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung angeschlossen. Energie wird mittels einer

⁸² Stadtbetriebe Linz

⁸³ Verein zur Förderung des ökologischen Bauens e.V. (1998)

Solaranlage gewonnen, zur Sicherheit steht ein Dieselgenerator bereit. Die Wasserversorgung erfolgt mit Regenwasser.

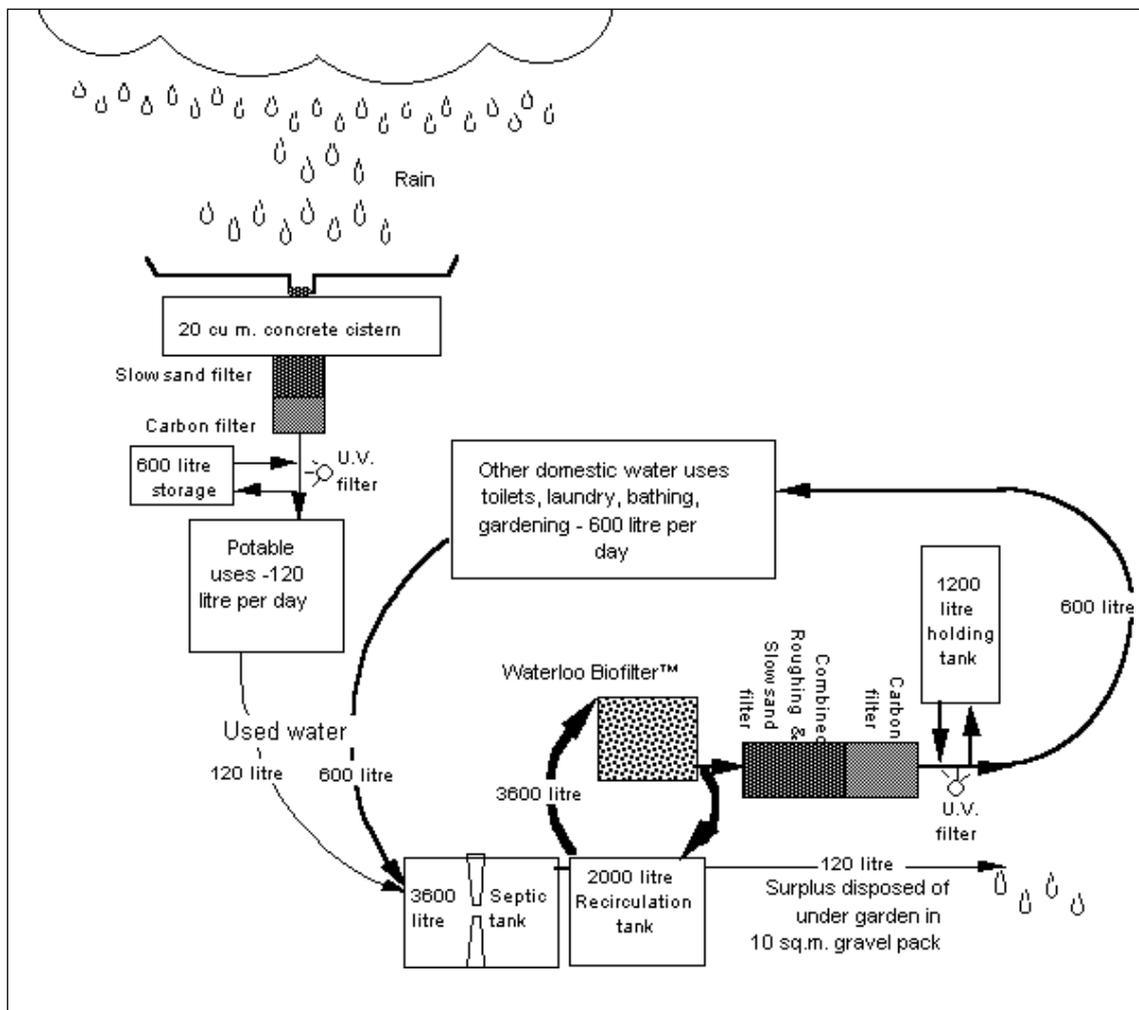


Abbildung 25: Healthy House, Toronto
(Quelle: Paloheimo, R.)

Das Regenwasser wird in einer Zisterne mit Kalkstein gesammelt, um es frisch zu halten und den pH-Wert zu erhöhen. Anschließend passiert das Wasser einen Langsandsandfilter. Anorganische Inhaltsstoffe werden mit Aktivkohle entfernt. Die Desinfektion erfolgt mit UV. Das gesamte Abwasser wird mehrstufig aufbereitet. Zunächst in einer anaeroben Stufe, dann in einem Biofilter. Anschließend folgt auch hier eine Sandfiltration, ein KohlfILTER und die UV-Desinfektion. Trinkwasser wird lediglich für Waschbecken und Geschirrspülen verwendet. Alle anderen Anwendungen

nutzen Brauchwasser aus gereinigtem Abwasser. Der gesamte Wasserverbrauch einer dreiköpfigen Familie liegt in diesem Haus bei 120 l/d.⁸⁴

Auf der Grundlage der im „Healthy House“ eingesetzten Technologien wurden in **Nova Scotia** fünf Fallstudien erstellt, welche die Wirtschaftlichkeit autarker Systeme unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen untersuchten. Als Ergebnis wurde dabei hervorgehoben, dass die im „Healthy House“ eingesetzte Technologie unter folgenden Rahmenbedingungen wirtschaftlich konkurrenzfähig ist:

- in städtischen oder vorstädtischen Bereichen, sofern kein Brandschutz durch öffentliche Hydranten gewährleistet sein muss
- in ländlichen Bereichen an Stelle von Gruppensystemen
- in ländlichen Bereichen als Alternative zu sanierungsbedürftigen zentralen Systemen.⁸⁵

Das **Eagle Lake Healthy House** wurde mit einem von der Architectural & Community Planning Inc. in Kenora, Ontario, entwickelten System für autarke Gebäude ausgestattet. Dieses „EcoNomad™“ genannte System verfügt über die gesamten für ein Wohnhaus erforderlichen Ver- und Entsorgungseinheiten.

Für die Energie- und Wärmeversorgung sorgen eine Solar- und eine Windkraftanlage, die in Notfällen mit einem Dieselmotor ergänzt werden. Der modulare Aufbau der Anlage erlaubt auch den Einsatz von Brennstoffzellen, sobald diese Marktreife erlangt haben.

Das Trinkwasser wird in diesem Fall aus einem nahe gelegenen See entnommen, kann aber grundsätzlich auch aus Regenwasser gewonnen werden. Das Rohwasser passiert zunächst einen Langsandsfilter und anschließend eine Mikrofiltration. Die Desinfektion erfolgt mit UV.

Die Abwasserreinigung erfolgt mit einem modifizierten Waterloo Biofilter®. Das gereinigte Abwasser wird gespeichert und für die Toilettenspülung wieder verwendet.

⁸⁴ Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca>

⁸⁵ Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC): <http://www.cmhc-schl.gc.ca>

Das gesamte System wird in einem 2,4 x 2,4 x 6,1 m großen Container untergebracht, der außerhalb des Gebäudes aufgestellt werden kann. Ein solcher Container kann per LKW oder Bahn transportiert werden. EcoNomad™ wurde für extreme Klimate in polaren Regionen entwickelt. Es können mehrere Häuser an einen Container angeschlossen werden.

Die verwendeten Module stammen aus Kanada und Deutschland. Die größten Anlagen dieses Typs erlauben Anschlussgrößen von 40 EW und passen in zwei Container. Das System ist mit einer Fernüberwachung ausgestattet, die beispielsweise bei niedrigem Heizölstand oder bei Problemen mit den Pumpen einen Alarm auslösen.⁸⁶

Ein ebenfalls weitgehend autarkes Gebäude findet sich in **Sydney, Australien**. Das Gebäude ist zwar an das öffentliche Netz angeschlossen, nutzt jedoch Regenwasser als Trinkwasser. Nachdem die ersten 25 l Regenwasser abgeflossen sind, ist die Wasserqualität nach Untersuchungen der University of Technology in Sydney (UTS) nicht schlechter als die Qualität des Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz. Zur Sicherheit passiert das Regenwasser, das von Kindern genutzt wird, zuvor einen Kohlefilter.

Die organische Fracht des gesamten Abwassers wird in einem Tank von Regenwürmer und Mikroorganismen abgebaut. Das gereinigte Abwasser wird nach einer UV-Desinfektion zum Wäschewaschen und für die Toilettenspülung verwendet. Die Energie für die Pumpen wird mit einer Solaranlage gewonnen.

Insgesamt kostete das System \$ 48 000. Der Entwickler glaubt jedoch, die Kosten aufgrund seiner Erfahrung auf etwa \$ 35 000 senken zu können. Durch die Produktion in größeren Stückzahlen wären darüber hinaus noch weitere Kostensenkungen zu erreichen.⁸⁷

⁸⁶ <http://www.economad.com>, sowie E-Mails von Udo Staschick, Architectural & Community Planning Inc., am 28. und 30.11.2000

⁸⁷ Linke, M. (1997), www.ata.org.au

V Übersicht der recherchierten Pilotprojekte

In der nachfolgenden Tabelle sind die recherchierten Pilotprojekte aufgelistet und nach ihrem Hauptmerkmal klassifiziert.

Hauptmerkmale sind beispielsweise die sehr häufig praktizierte Grauwassernutzung (GR) oder das Abwasserrecycling (AR), in einigen Fällen auch mit der Abwassernutzung als Trinkwasser (AR - TW). Die Klassifikation ist dann einer Ordnungsnummer zugeordnet, welche der in **Abbildung 1** dargestellten Strukturierung der Wassersysteme nach Komponenten und Operationen entspricht (bei den meisten Projekten wären mehrere Zuordnungen möglich gewesen; ausgewählt wurde jeweils die am ehesten zutreffende, entsprechend dem Schwerpunkt des recherchierten Projektes).

Die Dokumentationsnummer bezieht sich auf die Literaturangaben im Anhang.

Ansonsten sind die interessantesten und ausreichend dokumentierten Projekte im Textteil Kapitel 1 bis 4 an entsprechender Stelle behandelt.

Für weitere Recherchen wird zusätzlich auf das Literatur- und Quellenverzeichnis hingewiesen.

Tabelle 9: Recherchierte Projekte

Hauptmerkmal	Klass.-Nr.	Bemerkung	Dok. Nr.	Land
AR-TW (= Abwasser Recycling zu Trinkwasser)	4.3.3.1.1	Zusammenarbeit zwischen Aquafin und IWVA. Ab 2001 sollen jährlich 2 Mio. m ³ Abwasser zu TW recycelt werden, mit Mikrofiltration, RO, Infiltration und TW-Produktion.	13	Belgien
AR-TW	4.3.3.1.1	San Diego, Pilotprojekt zum Recycling von Abwasser (Membrantechnologie). 1999 wegen öffentlichen Widerstands eingestellt	17	USA
AR-TW	4.3.3.1.1	Tampa Bay Region, eingestellt wegen Gesundheitsbedenken. TW stattdessen durch Entsalzung.	18	USA
AR-TW	4.3.3.1.1	Demonstrationsprojekt in Denver, 3.785 m ³ /d, zwei Membranverfahren eingesetzt	19	USA
autarkes Gebäude	4.3.3.1.1 1.1.3	Das 1995 gebaute Healthy House in Toronto hat keinen Strom-, Wasser- und Kanalanschluss. Abwasser wird im Keller gereinigt und für sämtliche Zwecke wieder verwendet. Reinigung durch Biofilter, Sandfilter und Ozonierung. Ausgleich von Verlusten durch Regenwasser.	41	Kanada
AR-TW	4.3.3.1.1	Kläranlage Windhoek mit Aufbereitung zu TW (6,7 Mio. m ³ /a)	29	Namibia
AR-TW	4.3.3.1.1	Demonstration Water Factory bei der Quakers Hill Kläranlage, zwei Verfahren der Aufbereitung werden getestet, physikalisch/chemisch und Membranprozesse (Mikro-/Ultrafiltration) je 2 ML/d	28	Australien

Hauptmerkmal	Klass.-Nr.	Bemerkung	Dok. Nr.	Land
GR (= Grauwasser Recycling)	4.3.3.1.2	Versuchspark Hannover, Hägewiesen. Für 48 Wohneinheiten wurden 4 verschiedene Grauwassersysteme installiert und in einer Langzeitstudie untersucht. Anlagentypen: Schilfbeet, Bioreaktor, Tauchtropfkörperanlage und Ökowanne.	50	Deutschland
GR	4.3.3.1.2	Anlagen der Firma Lokus in Berlin (Wohnblock) und Hannover (6 Wohneinheiten)	1	Deutschland
GR	4.3.3.1.2	Hotel Arabella (400 Betten) verfügt seit 1996 über 6-stufige Grauwasseranlage. Reinigungsleistung 20 m ³ /d.	52	Deutschland
AR	4.3.3.1.2	Toilettenhäuschen mit Wasserkreislaufführung (Membrantechnologie). Vorgestellt auf der WASSER BERLIN 2000 vom Arbeitskreis Wasser im Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz e. V. (BBU).	53	Deutschland
GR	4.3.3.1.2	Millenium Dome, Grauwasser für Toilettenspülung	4	UK
GR	4.3.3.1.2	2-jährige Studie zum Grauwasserrecycling in 10 Häusern von Mitarbeitern des Umweltministeriums, Einsparungen von durchschnittlich 19 %, Amortisationszeitraum 18 bis 92 Jahre, Kosten incl. Installation: 1200 Pfund	5	UK
GR	4.3.3.1.2	Three Valleys Water Company zusammen mit Crest Homes 8 Häuser mit Grauwasseraufbereitung für Toiletten.	6	UK
GR	4.3.3.1.2	Millenium House von Wilcon Homes	7	UK
GR	4.3.3.1.2	Seit Mai 1997 Anlage in Studentenwohnheim. Recyclinganlage entwickelt von Anglian Water, mehrstufig mit Mikrofiltration	9	UK
GR	4.3.3.1.2	Grauwasserrecycling im Abrahams Building des Linacre College, Oxford. Sandfilter mit dahinter geschalteter Hohlfasermembran.	11	UK
GR	4.3.3.1.2	Mehrere Wohnungen am Campus der Cranfield University werden an eine Anlage zum Grauwasserrecycling für Toilettenspülung angeschlossen. Versuche laufen von 1998 bis 2002. Verschiedene biologische und physikalisch-chemische Verfahren sollen getestet werden.	12	UK
GR	4.3.3.1.2	Studentenwohnheim an der Loughborough University. 40 Studenten. 2 verschiedene biologische Verfahren wurden über 18 Monate getestet. Amortisationszeit des Systems bei Neubau eines Gebäudes 5 Jahre, bei Integration in bestehendes Gebäude 10 Jahre.	31	UK
AR (= Abwasser Recycling)	4.3.3.1.2	Abwasserrecycling in Fukuoka City, 6300 m ³ /d, 173 Gebäude.	21	Japan
	4.3.3.1.2	Abwasserrecycling in Tokio. Gebäude mit mehr als 10.000 m ² müssen recyceltes Wasser für Toiletten verwenden.	22	Japan
	4.3.3.1.2	Abwasserrecycling in Yokohama	23	Japan
AR	4.3.3.1.2	Abwasserrecycling im Gebäude: "Ikebukuro Sunshine City"	38	Japan
AR	4.3.3.1.2	Abwasserrecycling im Ohtemachi Financial Center, Tokio. 70 m ³ Abwasser werden täglich für die Toilettenspülung wieder verwendet.	65	Japan
AR	4.3.3.1.2	Die Anlage in Bedok soll 10.000 m ³ /d zur Verfügung stellen.	30	Singapur
GR	4.3.3.1.2	Pilotanlage in einem Bürogebäude (2 m ³ /d). Grauwasser wurde mit SBR und anschließender Mikrofiltration behandelt.	37	Korea

Hauptmerkmal	Klass.-Nr.	Bemerkung	Dok. Nr.	Land
AR	4.3.3.1.2	Im Rahmen des "Article 22 of the San Francisco Public Works Code - Reclaimed Water Use" sollen zahlreiche Projekte u.a. mit Abwasserrecycling für Toilettenspülung, u.a. in Mission Bay, Hunters Point und Treasure Island umgesetzt werden.	20	USA
AR	4.3.3.1.2	Wiederverwendung von Wasser für Toiletten in Bürohochhäusern in Irvine, California. Ab 2000 ca. 49 000 m ³ /d.	34	USA
AR	4.3.3.1.2 4.3.3.1.3	In Grand Canyon Village, Arizona, wird wieder verwendetes Wasser für die meisten Anwendungen eingesetzt, die kein Trinkwasser benötigen.	36	USA
GR	4.3.3.1.2	Casa del Aqua in Arizona wurde 1985 errichtet. Es sollten 5 einfache Systeme zum Grauwasserrecycling untersucht werden. Dazu gehörten 1) Wasserhyazinthen und Sandfiltration, 2) Wasserhyazinthen, Kupferionendesinfektion, Sandfiltration, 3) Kupferionendesinfektion und Sandfiltration, 4) Kupfer/Silberionendesinfektion und Sandfiltration, 5) Filter-Kartusche	59	USA
autarkes Gebäude	4.3.3.1.2 1.1.2 1.1.3	Eagle Lake First Nation Healthy House Project. Für die vollständig autarke Ver- und Entsorgung steht ein EcoNomad-Container zur Verfügung. Dieser enthält einen Dieselmotor, einen Windgenerator und eine Solaranlage zur Strom- und Wärmeversorgung. Für die Trinkwasserversorgung wird Regen- oder Oberflächenwasser mit Sandfilter, Mikrofiltration und UV-Desinfektion aufbereitet. Das Abwasser wird mit Waterloo Biofilter aufbereitet und für die Toilettenspülung wieder verwendet. Der Container kann transportiert werden.	62	Kanada
GR	4.3.3.1.2	Grauwassersystem in einem Gebäude mit 8 Wohneinheiten in Ottawa. Das Grauwasser wird für die Toilettenspülung aufbereitet. Dazu werden zunächst mit einem Rechen die Feststoffe abgetrennt, danach folgt ein Sedimentationstank. Anschließend folgen Sandfiltration und Desinfektion mit Ozon.	54	Kanada
GR	4.3.3.1.2	Grauwassersystem für 20 Wohneinheiten in North Vancouver, B.C.. Grauwasseraufbereitung mit Sandfilter, Kohle und UV. Nach einer Erprobungsphase soll das aufbereitete Grauwasser neben der Toilettenspülung auch für Dusche und Wäschewaschen verwendet werden.	55	Kanada
AR	4.3.3.1.2	In Yellowknife wurden 5 Häuser mit dem im Healthy House in Toronto erprobten System zum Abwasserrecycling ausgestattet. Ansonsten erfolgt die Ver- und Entsorgung per LKW.	56	Kanada
AR	4.3.3.1.2 1.1.3	5 Mehrfamilienhäuser in Cape Dorset, Nunavut, ausgestattet mit dem System des "Healthy House" in Toronto. Das aufbereitete Wasser (1 m ³ /d) dient der Toilettenspülung und dem Wäschewaschen. Dadurch weniger LKW-Wasser. Kosten der einzelnen Anlagen je \$ 45200, Betriebs- und Wartungskosten \$ 1125 pro Jahr. Erhoffte Einsparung \$ 12000.	57	Kanada
AR	4.3.3.1.2	Gebäude des Ministry of Social Services in Sooke, British Columbia. Kapazität von 3,8 m ³ /d. Das Abwasser wird in einem Behälter außerhalb des Gebäudes zwischengespeichert und in einen Bioreaktor gegeben. Der Ablauf des Bioreaktors wird mit einer Membran im Crossflow-Verfahren mit anschließendem Aktivkohlefilter gereinigt. Die Gesamtkosten der Anlage betragen \$ 88000. Die jährlichen Kosten für Energie, Betrieb und Überwachung liegen bei insgesamt \$ 11400.	58	Kanada

Hauptmerkmal	Klass.-Nr.	Bemerkung	Dok. Nr.	Land
GR	4.3.3.1.2	Charles Sturt University Campus, Grauwasser wird in einem intermittierend beschickten Teich gereinigt und recycelt.	24	Australien
GR	4.3.3.1.2	4 Häuser in Melbourne wurden mit Grauwasser-Anlagen ausgestattet und zwei Jahre (1993-1995) getestet.	25	Australien
AR	4.3.3.1.2 4.3.3.1.3	Projekt in Rouse Hill startet 2000 und soll nach 5 Jahren 100.000 (8 ML/d) Häuser mit recyceltem Wasser für Toilette und Bewässerung versorgen	26	Australien
AR	4.3.3.1.2 4.3.3.1.3	Recyceltes Wasser für Toilette und Bewässerung im Olympiadorf Homebush Bay (2 ML/d). Behandeltes Abwasser und Regenwasser werden gemeinsam mit Mikrofiltration und RO aufbereitet.	27	Australien
AR	1.1.3 2.2.3.3 4.3.3.1.2	Sydney's sustainable house. Das Gebäude nutzt Regenwasser als Trinkwasser, das Abwasser wird in einem Biofilter gereinigt, mit UV desinfiziert und für die Toilettenspülung und zum Wäschewaschen genutzt.	39	Australien
GR	4.3.3.1.2	Grauwasserrecycling für 6 Wohneinheiten in einem Altenheim in Palmyra. Biologische Stufe mit anschließender Chlordesinfektion.	33	Australien
AR	4.3.3.1.2	Im Jurong Industrial Estate in Singapur leben 25000 Menschen in einem 12-stöckigen Apartment Gebäude, das mit aufbereitetem Abwasser für die Toilettenspülung versorgt wird.	63	Singapur
GR	4.3.3.1.2	Grauwasseranlage der BBC, errichtet von Anglian Water.	64	UK
Vakuumtoiletten/ Biogasanlage	4.3.3.2.1 5.2	Modellprojekt Bauen und Wohnen in Freiburg. In Zusammenarbeit mit Fraunhofer Institut. Fäkalien, Urin und Biomüll werden in hauseigener Biogasanlage zu Flüssigdünger verarbeitet. Das entstehende Biogas wird zum Kochen verwendet. Grauwasser aus Küche und Bad wird in belüftetem Sandfilter gereinigt und recycelt.	3	Deutschland
Separation	4.3.3.2.1	100 Wohneinheiten und eine Schule sollen in der SolarCity Pichling (Stadtbetriebe Linz) mit getrennter Urinerfassung ausgestattet werden. Verwertung des Urins sowie der kompostierten Feststoffe in den Landwirtschaft. Reinigung des Grauwassers in Pflanzenkläranlage.	60	Österreich
Separation	4.3.3.2.1	Museumshof Mon. Urin wird gesammelt und im Sommer auf lokale Ackerflächen verbracht.	42	Dänemark
Vakuumtoiletten	4.3.3.2.1	Das Abwasser aus Vakuumtoiletten wird mit Kalkstein vermischt und der pH-Wert auf 12 angehoben. Durch diesen pH-Wert werden Bakterien und Viren abgetötet, das Produkt kann als Dünger verwendet werden. Projekt wird für Sandö in Schweden diskutiert.	16	Schweden
GR	4.3.3.2.1	Grauwasserrecycling für Toiletten und zum Händewaschen für 500 Studenten am Technical University College of Kalmar, Südschweden. Kosten pro angeschlossenem EW: 375 \$. Wetland-Pond-System. Wasserqualität würde auch TW-Anforderungen genügen.	32	Schweden
Separation	4.3.3.2.1	Urinseparation für 17 Gebäude, 55 EW in Ecovillage Björnsbyn.	35	Schweden
Separation	4.3.3.2.1	Hanaeus und Johansson berichten von 11 größeren Anlagen, die 1996 in Betrieb waren.	61	Schweden
Separation	4.3.3.2.1	Mehrstöckiges Gebäude mit 18 Haushalten in Norrköping mit No-Mix-Toiletten. Urin wird landwirtschaftlich verwertet. Schwarzwasser wird teilweise von Feststoffen getrennt. Feststoffe werden kompostiert und zur Bodenverbesserung verwendet.	43	Schweden

Hauptmerkmal	Klass.-Nr.	Bemerkung	Dok. Nr.	Land
Separation	4.3.3.2.1	Anlage für 44 Wohneinheiten in Understenshöjden. Urin wird im 1/2-Jahresspeicher gesammelt und zur Düngung verwendet. Dezentrale Behandlung des Abwassers.	46	Schweden
Vakuumtoiletten	4.1.2.2 4.3.3.2.1	An der Tegelviken Schule in Kvicksund wird das Schwarzwasser mit einem Vakuumsystem gesammelt und von Farmern zu einer Farm gebracht. Dort wird das Schwarzwasser mit Kuhdung vermischt und einer Flüssigkompostierung zugeführt. Das Produkt dient als Dünger. Zukünftig sollen auch noch Küchenabfälle mitbehandelt werden.	47	Schweden
Separation	4.3.3.2.1	Lambertsmühle bei Burscheid. Urin wird mittels Separationstoiletten getrennt in einem Jahresspeicher gesammelt und landwirtschaftlich verwertet. Grauwasser und Braunwasser wird in Rottebehälter geleitet (2 Kammern mit jährlichem Wechsel)	49	Deutschland
Separation	4.3.3.2.1	Ökodorf Toarp, 37 Häuser mit Trockentoiletten und Grauwasseraufbereitung	14	Schweden
Fäkalien + Bioabfälle	5.1	Waldquellesiedlung in Bielefeld. Unter Anderem Grauwasserbehandlung in Pflanzenkläranlage und gemeinsame Behandlung von Fäkalien und Bioabfall in Großkammertoiletten (Clivus-Multrum-Typ).	48	Deutschland
Fäkalien + Bioabfälle	5.1	Das Haus Ramshusene 8 Wohneinheiten verfügt über Komposttoiletten. Fäkalien werden vorkompostiert, auf 70°C erhitzt, um Volumen auf 10 % zu reduzieren. Dann Zugabe von kompostierten Küchenabfällen und Nutzung als Dünger.	40	Dänemark
Vakuumtoiletten	5.1	Ökohaus in Oslo mit Vakuumtoiletten. Schwarzwasser wird mit zerkleinerten Haushaltsabfällen vermischt und in eine aerob thermophile Anlage einer nahe gelegenen Farm gebracht.	44	Norwegen
Wassersparende Toiletten und Biogasproduktion	5.2	Volvo fermentiert in einer Produktionsstätte Schwarzwasser aus Wasserspartoiletten (ca. 3 l pro Spülung) mit organischen Haushaltsabfällen um Methan zu gewinnen.	51	Schweden
GR	5.2 4.1.2.2	Ökologische Siedlung Flintenbreite bei Lübeck für 350 EW, Grauwasserbehandlung, Vakuumtoiletten	2	Deutschland
Separation		Separationstoiletten in insgesamt 3.000 Haushalten.	15	Schweden
Komposttoiletten		Die Stadt Tanum hat beschlossen, dass Neubauten ab 2000 keine Spültoiletten mehr erhalten. Alle anderen Gebäude sollen schrittweise auf Komposttoiletten umgerüstet werden.	45	Schweden
Komposttoiletten, wasserlose Urinale		4 Gebäude des National Trust wurden mit wasserlosen Urinalen ausgestattet, in Gloucester und Purbeck wurden Trockenkomposttoiletten installiert. Kosten der Toiletten zwischen 3.700 und 4.500 Pfund	8	UK
GR, Komposttoiletten	1.1.3	3 Gledhow Valley Eco-Houses: kein Anschluss an öff. Ver- und Entsorgungsnetze. Regenwasser wird zu Trinkwasser aufbereitet, Grauwasser im Schilfbeet aufbereitet. Da Komposttoiletten installiert wurden, fällt nur Grauwasser an.	10	UK

VI Zur Wirtschaftlichkeit „Alternativer Wassersysteme“

Bei den Recherchen stießen die Verfasser vielfach auf Betriebskostenermittlungen und systembezogene Wirtschaftlichkeitsvergleiche, die - unabhängig davon, ob von wissenschaftlicher Seite (Universitäten, Forschungsinstitute), von professioneller Seite (Consultingbüros, Wirtschaftsprüfer) oder den Lieferfirmen bzw. Anlagenbetreibern selbst erstellt - von falschen Prämissen ausgingen und deshalb bei näherer Betrachtung nicht belastbar waren.

Umgekehrt sind die Verfasser im Rahmen ihrer internationalen Kontakte besonders häufig darauf angesprochen worden, wann bzw. unter welchen Umständen denn die „Alternativen Wassersysteme“ gegenüber dem „konventionellen Konzept“ tatsächlich wirtschaftlich seien, und zwar einmal im mittelfristig betriebswirtschaftlichen Kontext, zum anderen aus langfristig volkswirtschaftlicher Perspektive oder sogar unter den Kriterien der Nachhaltigkeit.

Aus diesem Grunde wird nachfolgend noch einmal auf einige prinzipielle Zusammenhänge hingewiesen.

1 Kapitalkosten (CAPEX – Capital Expenditures)

Wenn Einrichtungen zum Wassersparen bewertet werden sollen (Grauwasserrecycling, Sammeln von Regenwasser, Bewässerung mit Abwasser, Vakuum-Toiletten etc.), macht es einen großen Unterschied, ob die Kapazitäten der existierenden Ver- und Entsorgungssysteme („Assets“) teilweise ungenutzt oder bereits überbeansprucht sind.

Es muss von Fall zu Fall entschieden werden, ob die Kalkulation zusätzlicher Kapitalkosten für zusätzliches Wasser (bzw. gespartes Wasser) auf den gegenwärtigen Durchschnittskapitalkosten oder auf den Kosten für eine notwendige Erweiterung basiert oder vollständig außer acht gelassen werden kann.

Die folgende Darstellung verdeutlicht den bedeutsamen Unterschied, der mit dieser Betrachtung zusammenhängt.⁸⁸

⁸⁸ Rudolph, K.-U. (2000)

CAPEX related Views		
Given:	Total Costs of recycled water	4 €/m ³
	Present water tariff	2 €/m ³
	Present wastewater fee	1 €/m ³
	Fixed costs	70 %
	Subsidies	50 %
	Enlargement Costs	5 €/m ³
<hr/>		
	Customers view	4 > 3 €/m ³
	Utilities view	
a)	excess capacity	4 >> 0,9 €/m ³
b)	poor capacity	4 < 5 €/m ³
	National view	4 < 4,5 €/m ³

Die Definition der maßgebenden Kapitalkosten hängt von dem Standpunkt des jeweiligen Betrachters ab. Aus Sicht des Verbrauchers lohnt sich für das angegebene Beispiel das Wasserrecycling nicht, weil die Kosten dafür (4 €/m³) höher als die Entgelte für Wasser plus Abwasser (2 + 1 = 3 €/m³) sind.

Für ein Wasserversorgungsunternehmen, welches Kapazitätsreserven hat (Fall a), werden mit jedem recyclingbedingt eingesparten m³ nur die variablen Kosten eingespart (30 %), während die Fixkosten gleich bleiben. Weil die Einsparung nur $30\% \cdot (2 + 1) \text{ €/m}^3 = 0,9 \text{ €/m}^3$ betragen, lohnt sich das Wasserrecycling keinesfalls.

Anders liegen die Verhältnisse bei Kapazitätsengpässen. Falls beispielsweise für die Erweiterung des Wassersystems (zusätzliche Fernwasserleitungen zu einer neuen Wasserressource beispielsweise) 5 €/m³ an Kosten anfallen, lohnt sich das Wasserrecycling, welches lediglich 4 €/m³ kostet.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind auch evtl. Subventionen zu berücksichtigen. Für den Fall, dass diese 50 % der Kosten für Wasser und Abwasser betragen, das sind $50\% \cdot (2 + 1) = 1,5 \text{ €/m}^3$, müssten diese Subventionen aufgeschlagen werden. Die volkswirtschaftlich wahren Kosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung betragen dann nicht 3 €/m³, sondern 4,5 €/m³. Aus nationaler Sicht wäre das Wasserrecycling wiederum lohnenswert (weil es weniger kostet, nämlich nur 4 €/m³).

(Zurzeit verwalten viele Wasserversorgungsbetriebe, besonders in Ostdeutschland, bedeutsame Überkapazitäten und befinden sich in derselben Situation wie ein privater Ge-

sellschaftsclub, welcher einen Bus für 60 Teilnehmer gemietet hatte, 20 Teilnehmer traten aus, und die verbleibenden 40 mussten für den gesamten Bus zahlen. **Abbildung 26** zeigt zur **Fixkostenproblematik** ein Beispiel aus dem Wassersektor.)

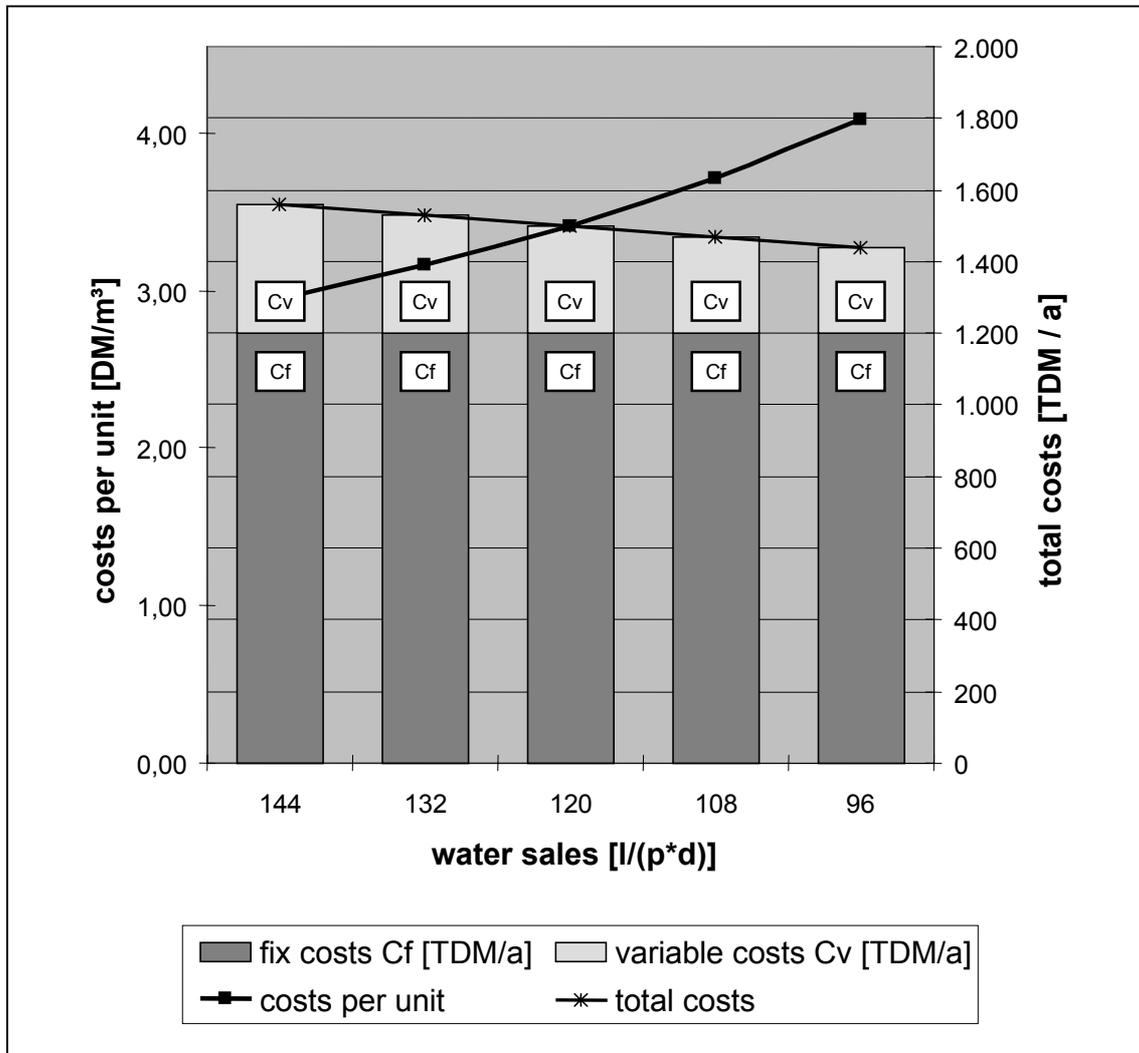


Abbildung 26: Abwasserkosten Rostock

(Quelle: Rudolph, K.-U., Antoni, M., 1998)

Abbildung 27 gibt einen Hinweis auf „Grenzkosten“ und beschreibt das **Schwellenkostenphänomen**:

Bei steigendem Wasserverbrauch steigen die Kosten zunächst relativ gleichmäßig an (konstante Differenzkosten), bis die Kapazitätsgrenze des Wassersystems erreicht ist.

Dann gibt es einen Kostensprung (Anlagenausbau von Kapazität I auf Kapazität II). Wenn der Verbrauch danach wieder abnimmt, gehen nur die variablen Kosten zurück ($\Delta 1$). Hätte man vor dem Anlagenausbau den Verbrauch reduziert, wären wesentlich höhere Differenzkosten ($\Delta 2$) eingespart worden. Wenn große Wassersysteme nicht ausreichend durchflossen werden, können sogar Zusatzkosten ($\Delta 3$) entstehen, nachdem der Wasserverbrauch zurückgegangen ist (Rohrspülung, Chlorung etc.).

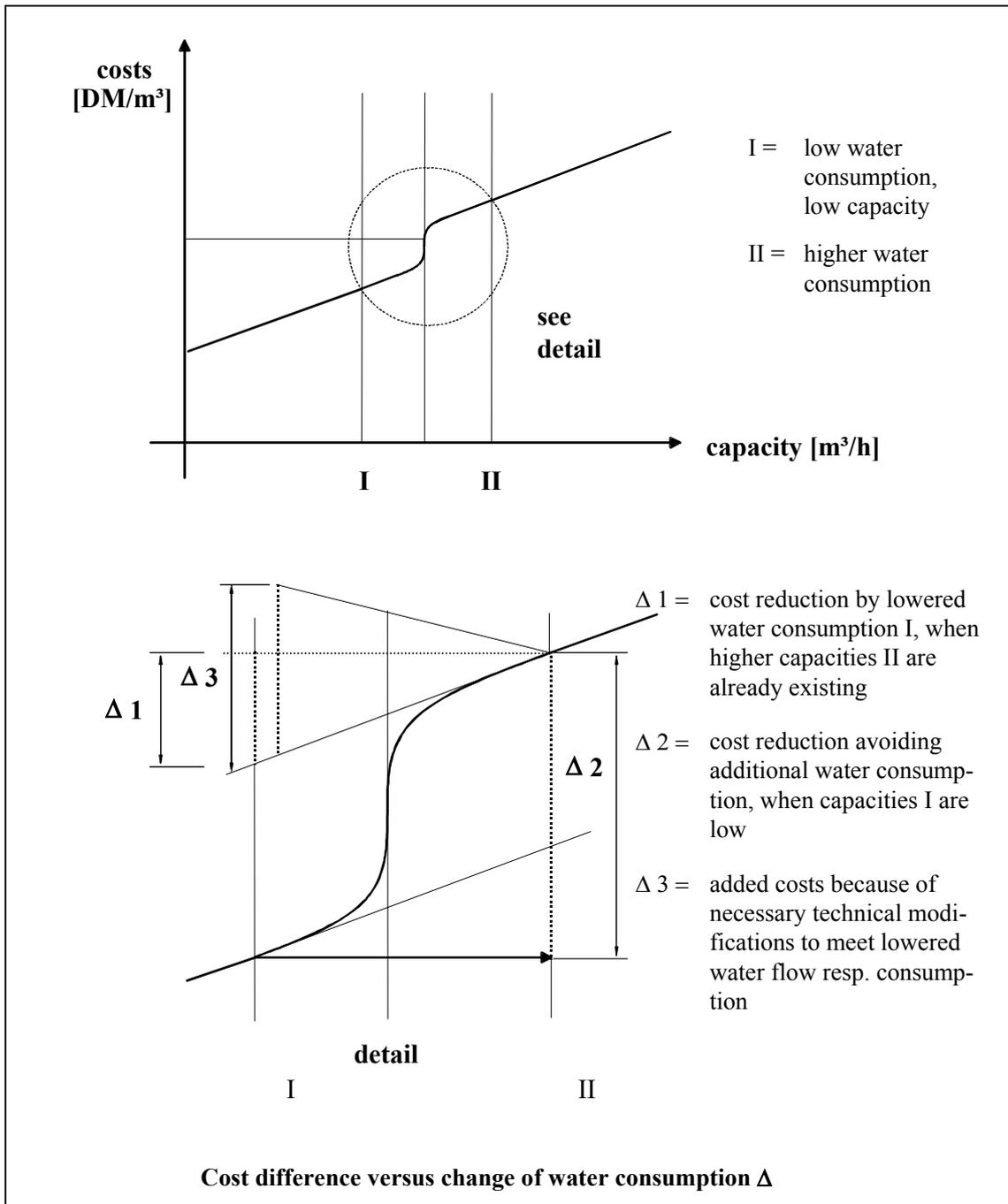


Abbildung 27: Differenzkosten K bei Wasserverbrauchänderung
(Quelle: Rudolph, K.-U., Antoni, M., 1998)

2 Arbeits- und Zeitkosten

Es macht einen großen Unterschied, welche Art von Arbeit eingesetzt wird.

- professionelle Arbeit
Muss als Kosten pro Arbeitseinheit berechnet werden, einschließlich Urlaub und Sozialversicherungen etc.
- unbeschäftigte Arbeitskraft
Unter makro-wirtschaftlicher Sicht können die Kosten für Arbeit in Bereichen mit hoher Arbeitslosigkeit nahezu bei Null liegen oder sogar noch darunter (z.B. kann der Arbeitsbeschaffungseffekt einer großen Baumaßnahme erhebliche volkswirtschaftliche und soziale Vorteile bringen, verringerte Arbeitslosenraten, gesellschaftspolitische Stabilisierung, reduzierte Verbrechensraten usw.).
- Arbeit aus Spaß
Wie private Gartenarbeit; die Hausbesitzer installieren mit großem Vergnügen Anlagen zum Sammeln von Regenwasser, zur Ableitung und Wiederaufbereitung von Schmutzwasser - und Vergnügen muss definitiv nicht wie professionelle Arbeit berechnet werden.

Die folgende Darstellung veranschaulicht die unterschiedlichen Ergebnisse der verschiedenen methodologischen Verfahren in einer wirtschaftlichen Auswertung.

Labour related Views		
Given:	Total Costs of recycled water	4 € /m ³
	Labour included for construction and operation	2 € /m ³
<hr/>		
Customers view:	4 - work for fun = 3 € /m ³	
National view:	4 - transfer costs - unemployed labour = 2,5 € /m ³	

Wenn für die Produktion von Recyclingwasser (nach üblicher Kostenberechnung) beispielsweise Kosten von 4 €/m³ entstehen, und der Arbeitskostenanteil davon 2 €/m³

ausmacht, wären je nach Sichtweise auch andere Interpretationen der eigentlichen „maßgebenden Kosten“ denkbar: Der private Hausbesitzer (customer's view), der in einer dezentralen Recyclinganlage das Brauchwasser zur Wiederverwertung produziert, würde einen Abschlag dafür ansetzen, dass er einen Teil der Arbeit in Eigenleistung ausführt (und ihm das möglicherweise Spaß macht, work for fun). Die Gesamtkosten wären dann nurmehr 3 €/m³.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht könnte man (unter gegebenen Bedingungen in vielen Entwicklungsländer) einen Abschlag dafür ansetzen, dass die anfallenden Arbeiten von ansonsten arbeitslosen Personen erbracht werden (Abschlag für „unemployed labour“). Möglicherweise reduzieren sich die Gesamtkosten für das Recyclingwasser dann auf 2,5 €/m³.

VII Ergebnis

Bei der internationalen Recherche von betriebstechnisch bereits realisierten Systemen und Versuchsanlagen ergaben sich bezüglich der Motivation für Alternative Wassersysteme (AWS), dem technischen bzw. logistisch/institutionellen Lösungsansatz sowie der praktischen Durchführung viele Ähnlichkeiten und Wiederholungen.

Die wichtigsten Typen alternativer Wassersysteme für die verschiedenen Anwendungsfälle sind nach heutigem Stand folgende:

1 AWS für dicht besiedelte Ballungszentren

a) Low-Cost-System: Trinkwasserversorgung aus Flaschen

Ein bekanntes Beispiel ist Mexiko-City. Hier sind die natürlichen Wasserressourcen im eigentlichen Sinne nicht knapp, aber durch unzureichenden Gewässerschutz belastet. Die Wasserversorgung funktioniert aufgrund technischer, vor allem aber institutioneller Mängel nur unzureichend. Bei Versorgungsausfällen kommt es zu Verkeimungen im Netz - was zusätzliche Probleme mit der Trinkwasserqualität erzeugt.



Abbildung 28: Versorgung mit Wasserflaschen in Peru
(Foto: RUDOLPH, 2001)

Die Trinkwasserversorgung erfolgt über Behälter, die über private Organisationen vertrieben und verteilt werden (5 Gallonen-Flaschen). Die öffentliche Wasserversorgung hat nur noch die Funktion der Brauchwasserversorgung. Die Abwasserentsorgung erfolgt in den entwickelten Stadtgebieten über Kanäle, ansonsten auch ungeordnet über offene Gräben usw.

b) Hightech-System: Wasserrecycling

Es erfolgt eine zentrale Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Ein Teil des Abwassers wird jedoch wiederverwertet. Hier sind drei Unterfälle zu unterscheiden:

- Grauwasserrecycling für Einzelgebäude

Fallbeispiel: Ohtemachi Financial Center Tokio

Hier wird das Grauwasser getrennt gesammelt, aufbereitet und gemeinsam mit gereinigtem Regenwasser zur Toilettenspülung verwendet.

- Abwasserrecycling für Siedlungsgebiete

Beispiel: Chiba, Japan

Hier wird das weitgehend geklärte Abwasser zusätzlich zu Brauchwasser aufbereitet und zur Toilettenspülung, zur Parklandschaftgestaltung und als Speisewasser bei der Fernwärme und -kühlversorgung eines neuen Geschäftsviertels verwendet. Bei diesen Konzepten fallen erhebliche Kosten für Wasserspeicherung und -transport an (vgl. Abbildung 29).

- Komplettes Abwasserrecycling
mit der direkten oder indirekten Rückspeisung in den Trinkwasserkreislauf.

Bekanntere Beispiele sind die seit 1969 in Betrieb befindliche Anlage in Windhoek, Namibia, sowie die in den USA in Denver, San Diego und Tampa Bay durchgeführten Versuche zur Trinkwassergewinnung aus Abwasser (s. Exkurs III zu Kapitel 4.3.3.1).



Abbildung 29: Brauchwasserverteilrohre der Nachbehandlungs- und Verteilstation Chiba

2 AWS für Bereiche mit mittlerer Einwohnerdichte (Siedlungen und Vorstädte)

Bei geringerer Siedlungsdichte kommt es darauf an, kostengünstige Leitungssysteme und auch in kleinerem Maßstab realisierbare Anlagenkonzepte zu finden.

a) Low-Cost-System: Zapfstellenversorgung

Für Slumgebiete oder Entwicklungsländer kommt es darauf an, mit geringstmöglichem Aufwand einen sozial-hygienischen Mindeststandard zu erfüllen.

Ein häufig avisiertes und in der Praxis realisiertes Konzept besteht darin, die Wasserversorgung möglichst durch Zapfstellen (public standpipe, district tap, water kiosk), die jeweils eine gewisse Anzahl von Familien/Wohnung versorgt, und die nötige Hygiene über Latrinenanlagen herzustellen. Das Grauwasser fließt ungeklärt über ungedichtete Erdmulden- und Grabensysteme ab.

Solche Systeme findet man beispielsweise in vielen Städten Indiens, etwa in Außenbezirken von Kalkutta, oder in Afrika.



Abbildung 30: Zapfstelle in Peru
(Foto: GTZ PROAGUA, 2001)

b) Trenntoilette mit Abwasserverwertung

Die Grundidee liegt darin, dass man das „Schwarzwasser“ getrennt sammeln und z.B. anaerob vergasen und den Rückstand als Dünger verwerten kann, während das Grauwasser beispielsweise über ein Pflanzenklärwerk schadlos entsorgt oder als Beregnungswasser verwertet werden kann.



Abbildung 31: Trenntoilette, Pfeil zeigt Urinablauf
(Quelle: www.roevac.de)

Eine weiter entwickelte Variante stellt die ökologische Wohnsiedlung Flintenbreite in Lübeck dar, wo ein Vakuum-Entwässerungssystem mit Trenntoiletten kombiniert ist. Schwarzwasser und Biomüll werden gemeinsam zur Biogaserzeugung genutzt, Grauwasser wird separat in Sandfiltern und Pflanzenkläranlagen gereinigt (s. Kapitel 4.3.3.2).

Insbesondere in Schweden existieren zahlreiche Projekte, in denen Trenntoiletten eingesetzt wurden.

c) Dezentrale Regenwassernutzung und Grauwasserrecycling

In Deutschland als „Bastellösung“ von zahlreichen privaten Haushalten installiert, die an einem (teil-)autonomen Konzept aus ökologischen oder sonstigen Erwägungen heraus interessiert sind. Das Regenwasser (zumeist Dachwasser) wird in Zisternen gesammelt, mechanisch gefiltert und gemeinsam mit (nach unterschiedlichen Verfahren) aufbereitetem Grauwasser verwendet. Oft sind Mehrfach-Versorgungssysteme im Gebäude installiert, beispielsweise Regenwasser zur Waschmaschine, Grauwasser zur Toilettenspülung usw.

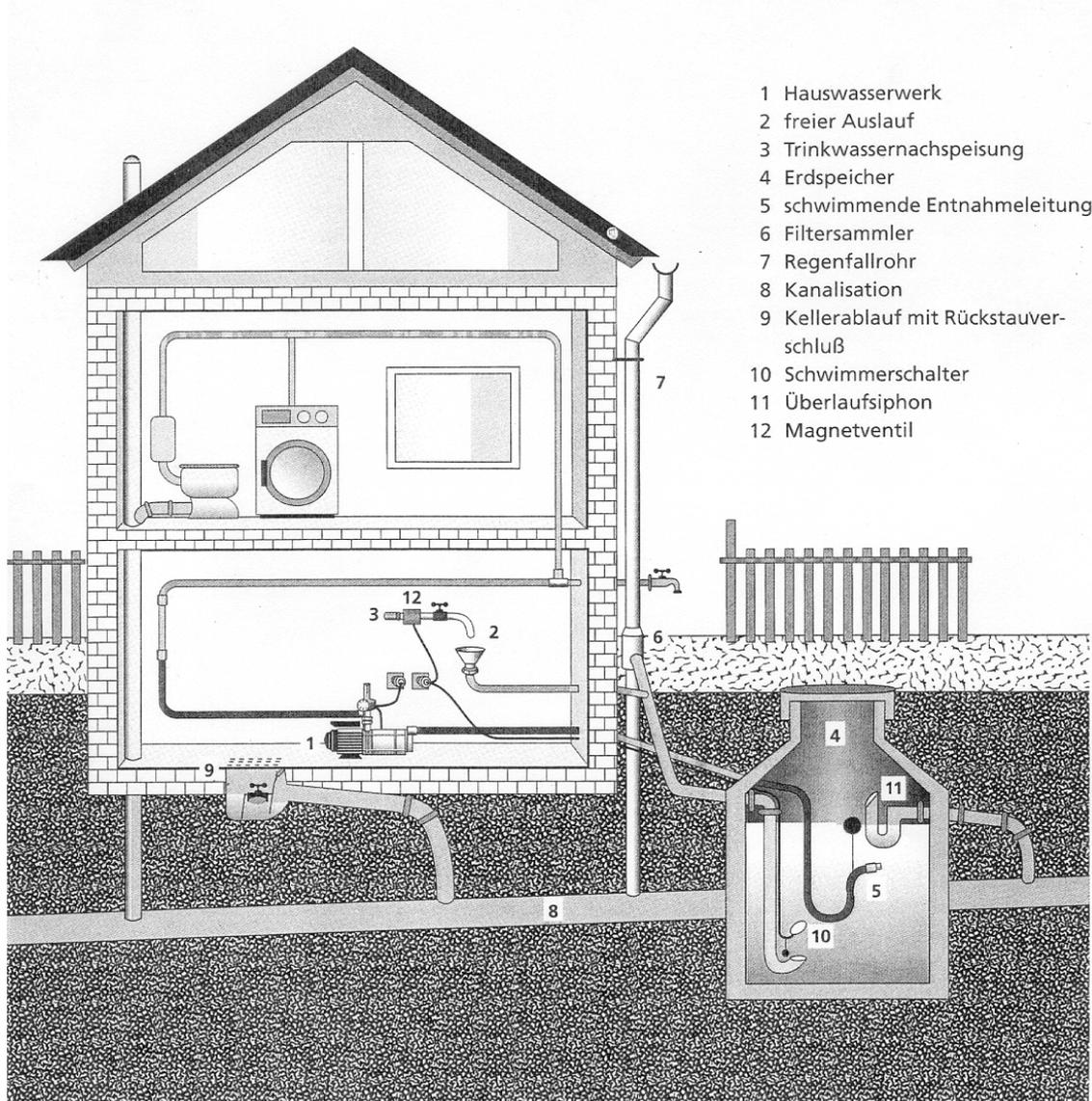


Abbildung 32: Regenwasseranlage mit Erdspeicher

(Quelle: Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände, 1995)

Ergänzend wird auf die zentrale Wasserversorgung zurückgegriffen (in Deutschland auch aufgrund des gesetzlichen Anschluss- und Benutzungszwanges). Überschüssiges Regenwasser kann vor Ort versickert werden (dezentrale Anlagen), und auch die Abwasserreinigung kann dezentral (bevorzugt eingesetzt: naturnahe Verfahren wie Pflanzenklärwerke oder Teiche) stattfinden.

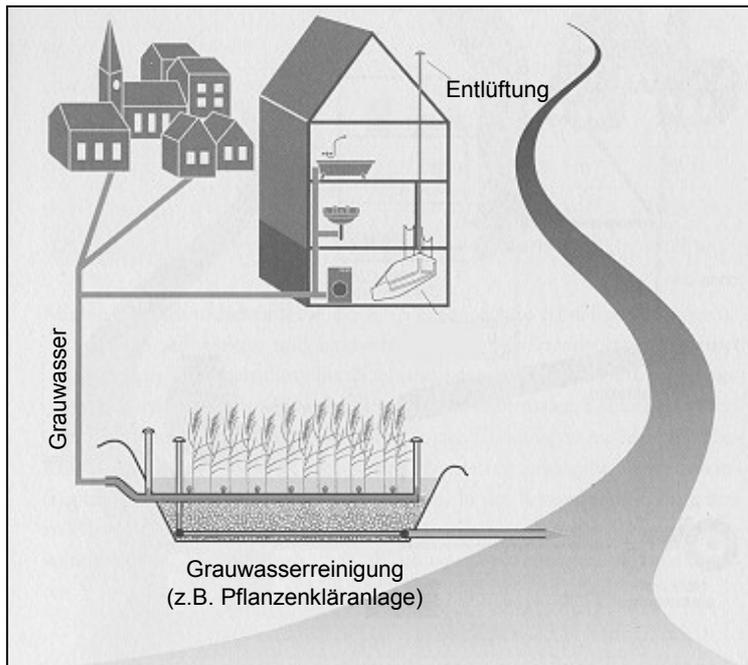


Abbildung 33: Sanitärkonzept mit Grauwasserbehandlung
(Quelle: Lange, J., Otterpohl, R., 1997)

3 AWS für dünn besiedelte und entlegene Versorgungsgebiete

Hier gibt es viele technisch unterschiedliche Lösungen, die häufig auf Einzelkomponenten der vorbeschriebenen Systeme zurückgreifen. Unterscheiden kann man zwischen

- a) Einzelanlagen zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (Klassische Hausversorgung oder Hauskläranlage),
- b) Kombinationslösungen
 - Abwasserentsorgung mit Wasserversorgung
z.B. Grauwasserrecycling,
 - Abwasserentsorgung mit Abfallentsorgung
z.B. Kombivergärung von Schwarzwasser und Organikmüll,

- Wasserversorgung mit Energieversorgung
z.B. Blockheizkraftwerk gekoppelt mit der Meerwasserentsalzung,
- Abwasserentsorgung mit Energieversorgung,
z.B. Fäkalschlammfäulung und Biogasnutzung,
- Mehrfachkombinationen.

4 Ressourcenabhängig eingesetzte AWS

Bei der technischen Ausprägung der Systeme kommt es auf die jeweils tragende Motivation an, wobei zu unterscheiden ist

a) Wassermangel (z.B. aride Zonen)

Hier wird in fast allen Fällen ein *Abwasser-Downcycling* empfohlen, erprobt oder bereits realisiert. Etabliert hat sich in vielen Ländern, darunter Israel, Jordanien aber auch in afrikanischen Wüsten oder weiten Teilen Kaliforniens die Abwasserverregnung zur Bewässerung.



Abbildung 34: Kläranlage in Irvine
(Quelle: Irvine Ranch Water District)

b) mangelnde Vorflut (z.B. sensitive Gewässer)

Wenn die Aufnahmekapazität des Vorfluters gering ist, steigen die Aufwendungen für die Abwasserentsorgung sprunghaft an (oder die volkswirtschaftlichen Kosten aufgrund der Ressourcenverschmutzung mit anthropogen erzeugtem Wassermangel). Dann kann das Motiv zum Abwassersparen in hohen Abwassergebühren liegen, was beispielsweise die Industrie in Deutschland zur Umstellung ihrer Produktionsverfahren und Installation von Wasserrecyclinganlagen bewegt hat.

5 Situationsabhängig eingesetzte AWS

a) Technische Sonderanforderungen

Beispielsweise bei der Notwasserversorgung, aber auch in Zügen und auf Schiffen, wo bereits seit längerem eigene Technologien und kompakte Anlagen mit Vakuumtechnik, Membranfiltration und teilweise Wasserrecycling entwickelt und eingesetzt werden. Ebenso für schwer zugängliche Grundstücke, bei denen ein Anschluss an zentrale Systeme von vorneherein ausscheidet (Abbildung 35).

b) Politisch instabile Verhältnisse

In politisch instabilen Gebieten erweist sich die zentrale Ver- und Entsorgung häufig als nicht geeignet, da die institutionellen Rahmenbedingungen schwierig und Verantwortlichkeiten für die Funktion unter Umständen nicht geklärt sind oder nicht wahrgenommen werden

Deshalb betreiben große Hotels oder Betriebe in Städten wie Nairobi, Tirana oder Katmandu usw. in der Regel ihre eigene, autonome Wasserversorgungsanlage und Stromerzeugung.



Abbildung 35: Meteora-Kloster, Griechenland
(Quelle: EU FAIR Project)

c) Zahlungsbereitschaft der Wasserverbraucher

In den einkommensschwachen Regionen der Welt lassen sich aufgrund der geringen Zahlungsbereitschaft und zum Teil Zahlungsfähigkeit oft nur Low-Cost-Alternativen mit niedrigem Standard realisieren.

In den reichen Ländern kann (umgekehrt) eine höhere Zahlungsbereitschaft der Verbraucher für alternative Systeme vorkommen, insbesondere der Wunsch, eine autonome Eigenversorgung aufzubauen, den Wasserkreislauf lokal zu schließen und die Umweltbelastung zu verringern.

In Deutschland gibt es viele private Hausbesitzer (nicht nur in der „Ökoszene“), die aus solchen Motiven z.B. ihre eigene Regenwassernutzungsanlage betreiben.

6 Generelle Bedenken

In der Literatur lassen sich umgekehrt auch die Bedenken gegen „alternative Wassersysteme“ (vergrößert dargestellt) in folgenden „Hauptlinien“ skizzieren:

- Trinkwasser aus Abwasser
hygienisch und betriebstechnische Risiken
- kleinräumige Konzepte
hygienische Risiken und nicht überwachungsfähige Standards
- technisch „anspruchsvolle“ Recyclingkonzepte
Wirtschaftlichkeitserwägungen, zum Teil auch technische Bedenken
(Fehlanschlüsse)

VIII Fazit

Es gibt eine Vielzahl an Innovationen und technologischen sowie logistischen Weiterentwicklungen, die den Einsatz so genannter alternativer Wassersysteme mit den unterschiedlichsten Konzepten dort sinnvoll erscheinen lassen, wo die konventionellen Wassersysteme an ihre wirtschaftlichen oder ökologischen Grenzen stoßen.

Der Bedarf wächst weltweit ständig, und zwar sowohl nach Low-Cost-Konzepten, beispielsweise für den ländlichen Bereich in Entwicklungsländern, als auch nach High-Tech-Konzepten, die z.B. für wasserarme Gebiete auf Dauer die einzige machbare Möglichkeit darstellen.

Es wurde versucht, die zahlreichen Projekte (die sich inhaltlich vielfach überschneiden, viele Ideen kommen identisch oder in veränderter Form mehrfach vor) in eine logische Gesamtstruktur zu ordnen. Die am häufigsten verfolgten Grundideen betreffen einerseits die Wasserverwendung und Abwasserproduktion (z.B. Trenntoiletten, die eine getrennte Behandlung und Verwertung von Fäkalien und Grauwasser ermöglichen), die weiter gehende Abwasserbehandlung zwecks Recycling (wobei die Membrantechnik stark an Bedeutung gewinnt) und den Querverbund von Wasser/Abfall/Energie in einem integrierten System, was beispielsweise bei der Meerwasserentsalzung im Verbund mit der Stromerzeugung fast schon die Regel geworden ist.

Australien, Deutschland, Japan und Kanada sind Länder, aus denen viele Innovationen zu „High-Tech“-Ansätzen kommen. Die „Low-Tech“-Konzepte entstehen vor allem in Entwicklungsländern und dem ländlichen Bereich, wobei die Expertise der technischen Entwicklungszusammenarbeit⁸⁹ und die mittelständisch strukturierte, ökologisch ausgerichtete Wasserindustrie⁹⁰ aus Deutschland einen hohen Innovationsanteil zur Entwicklung weltweit beitragen.

Für die Zukunftsentwicklung geht es weniger um Detailverbesserung an Systemkomponenten, als um die Demonstration der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit von Konzepten, welche den langfristig orientierten, ökologischen Notwendigkeiten genügen.

Schlussendlich bleibt anzumerken, dass bei einem möglichen Durchbruch der Technologieentwicklung für die dezentrale Energieerzeugung (Brennstoffzelle) auch im Bereich

⁸⁹ siehe hierzu: Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GtZ), 2001

⁹⁰ siehe hierzu: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung (fbr), 2001

der Wassersysteme eine völlig neue Orientierung anstehen könnte. Die Toilette mit integrierter thermischer Abwasserverbrennung und Rückdestillation von Verbrauchswasser, kombiniert mit der Hauswasseranlage, welche Frischwasser aus der Umgebungsluft kondensiert, wird aber noch für lange Zeit „Zukunftsmusik“ bleiben.

IX Literaturquellen

1. Quellen zu den Projekten in Tabelle 9:

- [1] FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG e.V. (fbr) (1999)
Grauwasser-Recycling 1999
Schriftenreihe fbr 5
- [2] NIEDERSTE-HOLLENBERG, J., OTTERPOHL, R. (2000)
Innovative Entwässerungskonzepte.
wwt awt, 02/00, S. 23 ff.
- [3] VEREIN ZUR FÖRDERUNG DES ÖKOLOGISCHEN BAUENS e.V. (1998)
Modellprojekt Wohnen & Arbeiten
- [4] ANONYMUS (2000)
Recycling grey water at the London Dome
European Water Management, Volume 3, Number 2, 2000, S. 21-22
- CRANFIELD UNIVERSITY SCHOOL OF WATER SCIENCE (2001)
Research Review 2000/2001
- [5] TURTON, P. (1998)
Greywater recycling - in house
www.environment-agency.gov.uk
- TURTON, P. (2000)
Greywater Recycling - OK But(t) Could do Better
www.environment-agency.gov.uk
- MORRIS, A. (2000)
Environment Agency greywater recycling study shows more work needed
www.environment-agency.gov.uk
- STEDMAN, L. (2000)
Mixed reaction to greywater
water21, 04/2000, S. 6
- [6] TURTON, P. (1999)
Development in Three Valleys
www.environment-agency.gov.uk
- [7] TURTON, P. (1999)
Development in Three Valleys
www.environment-agency.gov.uk

- [8] ENVIRONMENT AGENCY (1998)
Saving Water. On the right-track – A summary of current water conservation initiatives in the UK – January 1998, S. 7-8
- [9] MURRER, J.
Grey Water Treatment and Reuse
Thames Water, S. 26
- [10] HILL, M.
Greywater Recycling: Experiences in Housing
Architectural Digest for the 21st Century;
Thames Water, S. 27
- [11] WARD, M.
The Challenge of Grey Water Design -- Architectural Digest for the 21st Century; Thames Water, S. 27
- [12] TURTON, P. (1998)
Water recycling at Cranfield
www.environment-agency.gov.uk
- CRANFIELD UNIVERSITY SCHOOL OF WATER SCIENCE (2001)
Research Review 2000/2001
- [13] THOEYE, C. (2000)
Wastewater Reclamation and Reuse Perspective in Flanders, Belgium
IWA-Newsletter July 2000 (Paris Conference Edition), S. 4-7
- [14] FITTSCHEN, I. , NIEMCZYNOWICZ, J. (1997)
Experience with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp, Sweden.
Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 9, 1997, S. 161-170
- [15] NIEDERSTE-HOLLENBERG, J., OTTERPOHL, R. (2000)
Innovative Entwässerungskonzepte.
wwt awt, 02/00, S. 23 ff.
- [16] E-Mail von Eva Brännlund, Swedish Environmental Protection Agency
- [17] ASANO, T., LEVINE, A. (1995)
Wastewater reuse: a valuable link in water resources management.
WQI, No. 4, 1995, S. 20-24
- RICHMANN, M. (1997)
Repurification - City sets new Standard for Converting Wastewater to Potable Water
Water Environment & Technology, 8/97, S. 22-24

- DESENA, M. (1999)
Water Reuse- Public Opposition Sidelines Indirect Potable Reuse Projects.
Water Environment & Technology, 5/99, S. 16-18
- [18] DESENA, M. (1999)
Water Reuse- Public Opposition Sidelines Indirect Potable Reuse Projects.
Water Environment & Technology, 5/99, S. 16-18
- [19] ASANO, T., LEVINE, A. (1995)
Wastewater reuse: a valuable link in water resources management.
WQI, No. 4, 1995, S. 20-24
- ASANO, T. et.al. (1996)
Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation
examples.
Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 11, 1996, S. 219-226
- [20] KUBICK, K. (2000)
The City of San Francisco's Dual Plumbing Ordinance
IWA-Newsletter July 2000 (Paris Conference Edition), S. 2-4
- [21] FUKUOKA MUNICIPAL GOVERNMENT
Sewage Works Bureau
Recycling water - Reclaimed Water in Fukuoka City
- [22] OKUN, D. A. (1996)
Water reclamation and nonpotable reuse: an option for meeting urban water
supply needs
Desalination, 106; 1996, S. 205-212
- [23] Gespräch mit Y. Nonaka am 12.09.2000
8th Japanese-German Workshop on Water Technology, Dresden
- [24] E-Mail Percival Thomas und David Mitchel
- [25] CHRISTOVA-BOAL, D. et.al. (1996)
An investigation into greywater reuse for urban residential properties.
Desalination, 106; 1996, S. 391-397
- [26] SYDNEY WATER CORPORATION (1999)
Rouse Hill Development Area
- SYDNEY WATER CORPORATION (2000)
Recycled water in the Rouse Hill Area

- [27] Sydney Water Corporation (2000)
Sydney Water wants to know your views about water recycling

ANDERSON, J. (2000)
Water Recycling in Australia.
IWA-Newsletter. (Paris Conference Edition), S. 7-9
- [28] HAYWARD, K. (1998A)
A question of confidence.
WQI, 7-8/98, S. 24-26
- [29] SCHULTZE, D. (2000)
Direkt vom Abwasser zum Trinkwasser.
UTA, 3/00, S. 159-161
- [30] ANONYMUS (2001)
Singapore plans to ramp up recycling
Global Water Report, 1/01, S. 10

ANONYMUS (2000)
Singapore pilots re-use scheme
World Water and Environmental Engineering, 9-10/00, S 10
- [31] WHEATLEY, A.
Large Institution Water Reclamation
<http://www.environment-agency.gov.uk>
- [32] GÜNTHER, F. (2000)
Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based
greywater purification plant in Sweden.
Ecological Engineering 15, S. 139-146
- [33] BINGLEY, E. B. (1996)
Greywater reuse proposal in relation to the Palmyra Project.
Desalination, 106, 1996, S. 371-375
- [34] EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits. Water Division Region
IX - EPA 909-F-98-001

OKUN, D. A. (1996)
Water reclamation and nonpotable reuse: an option for meeting urban water
supply needs
Desalination, 106; 1996, S. 205-212

ASANO, T., LEVINE, A. (1995)
Wastewater reuse: a valuable link in water resources management.
WQI, No. 4, 1995, S. 20-24

- [35] HANAUEUS, J. et al. (1997)
A study of a urine separation system in an ecological village in northern Sweden, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 9. 1997. S. 153-160
- [36] OKUN, D. A. (1996)
Water reclamation and nonpotable reuse: an option for meeting urban water supply needs
Desalination, 106; 1996, S. 205-212
- [37] SHIN, H. et al. (1998)
Pilot-scale SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from greywater.
Wat. Sci. Tech., Vol. 38, No. 6, 1998, S. 79-88
- [38] UDAGAWA, T. (1994)
Water recycling systems in Tokyo.
Desalination, 98; S. 309-318
- [39] UDAGAWA, T. (1994)
Water recycling systems in Tokyo.
Desalination, 98; S. 309-318
- [40] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [41] Facts & Figures
CMHC's Healthy House in Toronto is:
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/hh-lms/toronto/e_facts.htm
- [42] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [43] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [44] LANZ, K. (1998)
Fortschrittliches urbanes Wassermanagement – Realisierte und geplante technische und organisatorische Lösungen; in: Hiessl, H., Stein, D. (1998):
Umgestaltung und Modernisierung kommunaler Abwasserentsorgungssysteme,
S. 137-170
- [45] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000

- [46] JÖNSSON, H. et al. (1997)
Source separated urine-nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination.
Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 9, 1997, S. 145-152
- ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [47] LIP-OFFICE AND CITY OF STOCKHOLM (2000)
System for combined collection of food waste and lavatory sewage water independent of other household waste water systems in Hammarby Sjöstad, Stockholm
- [48] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [49] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000
- [50] DEUTSCHE BAUBECON AG (1995)
Ökologische Wasser- und Energiesparsysteme
Versuchspark Hannover, Hägewiesen
- DEUTSCHE BAUBECON AG (1996)
Grauwasseranlagen – Versuchspark Hannover, Hägewiesen
Zwischenbericht
- [51] LANZ, K. (1998)
Fortschrittliches urbanes Wassermanagement – Realisierte und geplante technische und organisatorische Lösungen; in: Hiessl, H., Stein, D. (1998):
Umgestaltung und Modernisierung kommunaler Abwasserentsorgungssysteme, S. 137-170
- [52] FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG e.V. (fbr) (1999)
Grauwasser-Recycling 1999
Schriftenreihe fbr 5
- [53] ARBEITSKREIS WASSER IM BUNDESVERBAND BÜRGERINITIATIVEN
UMWELTSCHUTZ e.V. (BBU) (Hrsg.) (2000)
Vom Wassersparen zur Abwassermeidung. 2000

- [54] The Present
Current Research- SUSTAINABILITY
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/hr-trs/e_susprs.htm
- Water Research at CMHC
Greywater Research at Conservation Co-op
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/hr-trs/water/co-op.htm
- [55] The Present
Current Research- SUSTAINABILITY
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/hr-trs/e_susprs.htm
- Water Conservation Case Studies
Quayside Village
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case01.htm
- [56] Water Conservation Case Studies
Yellowknife, Northwest Territories
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case02.htm
- [57] Water Conservation Case Studies
Cape Dorset, Nunavut
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case04.htm
- [58] Water Conservation Case Studies
Ministry of Social Services Building
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case06.htm
- [59] GERBA, C. et al. (1995)
Water quality study of graywater treatment systems.
Water Resources Bulletin; Vol. 31; No.1, 02/95, S. 109-116
- [60] STADTBETRIEBE LINZ
Alternatives Abwasserkonzept für die SolarCity Pichling
- [61] HANAEUS, J. et al. (1997)
A study of a urine separation system in an ecological village in northern Sweden, Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 9. 1997. S. 153-160
- [62] Eagle Lake First Nation Healthy House Project- Quick Facts and Features
www.economad.com/elspec.htm
- Eagle Lake Healthy House
www.cmhc-schl.gc.ca/publications/aboutyourhouse/north/ns05.htm
- [63] WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1989)
Water Reuse - Manual of practice; Alexandria, USA

- [64] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2001)
Sustainable water use in Europe, Part 2: Demand Management; Copenhagen
- [65] NISHIHARA ENVIRONMENTAL SANITATION RESEARCH (2000)
Wastewater Reuse Facilities of Ohtemachi Financial Center

2. Sonstige Literatur

ADHAM, S. et. al. (1999)

In search of purer waters.

Water Environment & Technology, 11/99, S. 23-27

AMFT, A. (2000)

Bedeutung der Modulbauweise für die Regenwassernutzung. fbr - Wasserspiegel 01/00

ANDERSON, J. (1996)

Current water recycling initiatives in Australia: Scenarios for the 21st Century.

Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 10-11,1996, S. 37-43

ANKARA, Ü. (1996)

Kläranlage mit Bodenfilter nach dem Subterra-Prinzip.

Korrespondenz Abwasser, 1/96, S. 100-104

ANKARA, Ü.; LAMMERS, U. (1994)

Subterra - Pflanzenkläranlage mit unterirdischem Abwassereintrag.

Korrespondenz Abwasser, 10/94, S. 1850-1852

ANONYMUS (1999)

Benchmarking Water and Sanitation Utilities: A World Bank Start-up Kit 17. Sep 99

Global Water Report, Issue 80, 9/99, S. 2

ANONYMUS (1999)

Das abflußlose Grundstück - AUTARK 2010

KOMMUNAL DIREKT, 11/99, S. 48

ANONYMUS (2000)

Recycling von Brauchwasser und Regenwasser durch Kornaktivkohlefilteranlagen am Millenium Dome

Wasser & Boden, 9/00, S. 74

ANONYMUS (2000)

Mixed reaction to greywater

Water21, 4/00,S. 6

ANONYMUS (2000)

New treatment system for shipboard gray water and vacuum-collected sewage

European Water Management, Nr. 1, 2000, S. 18-19

ANONYMUS (2000)

Szenarien für die Zukunft der kommunalen Abwasserentsorgung

EUWID, 3.4.2001, S. 9

ANONYMUS (2000)

Aktionsbündnis für dezentrale Entsorgung

EUWID, 03.05.2000, S. 10

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERBRAUCHERVERBÄNDE E.V. (Hrsg.) (1995)

Regenwasser für Haus und Garten, Bonn

ASANO, T.; LEVINE, A. (1996)

Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future.

Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 10-11, 1996, S. 1-14

ASANO, T. et al. (2000)

The new challenges for urban water recycling in Japan

IWA Water Reuse Committee, Newsletter Juni 2000

ASPEGREN, H. et al. (1997)

The urban water system - a future swedish perspective.

Wat. Sci. Tech., Vol. 35, No. 9, 1997, S. 33-43

ATV-DVWK DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT;
ABWASSER UND ABFALL e.V. (2001)

Nachhaltige Wasserwirtschaft

AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG,
LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (AID) e.V. (Hrsg.) (1998)

Entsorgung häuslicher Abwässer im ländlichen Raum - unter besonderer
Berücksichtigung ländlicher Betriebe

BACKES, K.; REICHMANN, J.

Urban and rural sanitation concept with nutrient recycling and energy gain

BAKX, T. et al. (2000)

Treatment of oil-contaminated water from naval warships.

Water21, 8/00, S. 37-38

BOUWER, H. et al. (1999)

Integrating water management and re-use: causes for concern?

WQI, 1-2/99, S. 19-22

BRÜß, U. (2000)

Entwicklung und Erprobung einer Anlagentechnik für die Reinigung von
Schiffsabwasser durch das Membranbelebungsverfahren.

ATV-DVWK Bundestagung 2000 / Bd. 20, S. 497-506

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND
REAKTORSICHERHEIT (1998)

Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland, Bonn

- CARLANDER, A. et al. (1999)
Field experiment at Stockholm on the fertilising value of source separated human urine.
EcoEng Newsletter 1/99
- CARPENTER, G. (2000)
Riparian Preserve At Water Ranch, Town Of Gilbert, Arizona
IWA-Newsletter, Specialist Group on Wastewater, Reclamation, Recycling and Reuse,
July 2000
- CASANOVA, L. et.al.
A survey of the microbial quality of recycled household graywater
- CASANOVA, L. et.al.
Chemical and microbial characterization of household graywater
- CRANFIELD UNIVERSITY (2000)
Technologies for Urban Water Recycling 2000
- CRITES, R.; TCHOBANOGLIOUS, G.
Small and Decentralized Wastewater Management Systems
- DEURVORST, J. M. (2000)
Membrane technology: a quality treatment.
DHV Times, 11/00 S. 16-17
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ)
(2001)
ecosan – closing the loop in wastewater management and sanitation
Proceedings of the International symposium, 30-31 October 2000, Bonn, Germany
- DOUGLAS, B. (1998)
The decentralised approach: an innovative solution to community wastewater
management.
WQI, 1-2/98, S. 29-31
- EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR WASSERVERSORGUNG,
ABWASSERREINIGUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ (Hrsg.) (1999)
Strategien in der Siedlungswasserwirtschaft
EAWAG news, November 1999
- EISWIRTH, M. (2000)
Nachhaltige urbane Wasser- und Abwassersysteme
Umwelt Praxis, 12/200, S. 45-48
- ENVIRONMENT AGENCY
A study of domestic greywater recycling

- EQSTEIN, K. (2000)
Home greywater system separates waste streams, reuses water
US water news; water quality / wastewater treatment; 08/00, S. 12
- FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V. (FBR)
(1999) Wasser zweimal nutzen: Grauwasser-Recycling, fbr-top4, März 99
- FACHVEREINIGUNG BETRIEBS- UND REGENWASSERNUTZUNG E.V. (FBR)
(2001) Betriebs- und Regenwasser, fbr-Branchenführer 2001
- FINSEN, J.
Water Recycling Discussion Group - Factsheet 4
- GIBSON, H.
Water Systems Support - Factsheet 3
- GIBSON, H.
Springfield total urban development - Factsheet 5
- GLEICK, P. (2000)
The Changing Water Paradigm – A Look at Twenty-first century Water Resources
Development
Water International, 3/2000, S. 127-138
- GOULD, J., NISSEN-PETERSEN, E. (1999)
Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply - Design, construction and
implementation
- GÜNDER, B. (2000)
Aufrüstung von Kleinkläranlagen mit Membrantechnologie
ATV-DVWK Bundestagung 2000 / Bd. 20, S. 123-132
- HAARBURGER, T. (2000)
Mobile Trinkwasseraufbereitungsanlagen für Hilfeinsätze: Generationenwechsel ist
abgeschlossen
UTA, 6/00; S. 342-343
- HAYWARD, K. (1999)
Building a global vision for water.
Water21, 9-10/99, S 9-11
- HAYWARD, K. (1998B)
Going for green.
WQI, 7-8/98, S. 18-23
- HAYWARD, K., MATHYS, A. (2000)
Extending services to poor areas.
Water21, 6/00, S. 14-18

- HELLSTRÖM, D., JOHANSSON, E. (1999)
Swedish experiences with urine separating systems.
Wasser & Boden, 11/99, S. 26-29
- HEPPE, A. (2000)
Elektrolytische Membranfiltration - ein neuer Weg der weitergehenden
Abwasserreinigung,
WLB Wasser, Luft und Boden, 07-08/00, S. 25-26
- HESSISCHES UMWELTMINISTERIUM (1999)
Wassertechnologie im Jahr 2010. Wiesbaden
- HIESSL, H., STEIN, D. (Hrsg.) (1998)
Umgestaltung und Modernisierung kommunaler Abwassersysteme.
Beiträge zum Workshop der WestLB-Stiftung im Institut für Kanalisationstechnik
(IKT) Gelsenkirchen am 16. März 1998
- HIESSL, H., TOUSSAINT, D. (1999)
Szenarios für Stadtentwässerungs-Systeme. GAiA 8 "Ecological Perspectives in
Science, Humanities, and Economics", No.3, 1999
- HOLMSTRÖM, H. (1998)
New trends in small scale wastewater treatment.
WQI, 05-06/98, S. 35
- HÖPPNER, M. (2001)
Betriebswassernutzung im Umbruch.
wwt awt, 01/01, S. 8
- HUSAIN, H., COTE, P. (1999)
Membrane bioreactors for municipal wastewater treatment
WQI, 03-04/99, S. 19-22
- HÜTTER, M. M. et al. (2000)
Integration of membrane technology in communal wastewater treatment: operation and
cost analysis.
European Water Management, Volume 3., 2000, S. 33-42
- INTERNATIONAL WATER AND SANITATION CENTRE (IRC) (1998)
Closing the nutrient cycle: why and how - A way to reduce waste water problems.
Report of a Workshop on community management of waste water (treatment and
disposal) in low-income, semi-urban communities in the Kathmandu valley, Nepal, 2-13
November, 1998
- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (1999)
Specialist Group on Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants –
Newsletter November 1999

- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (2000)
IWA Specialist Group on Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse - Bulletin
September 2000
- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (2000)
IWA Water Reuse Committee, Newsletter - June 2000
- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (2000)
IWA Specialist Group on Water & Waste Technology & Management Strategies For
Developing Countries – Newsletter June 2000
- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (2000)
Specialist Group of Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse - NEWSLETTER
May 2000
- INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA) (2000)
Specialist Group on Wastewater Reclamation, Recycling And Reuse - Newsletter
December 2000
- IRVINE RANCH WATER DISTRICT
Michelson Water Reclamation Plant
- JACKSON, R., ORD, E. (2000)
Greywater re-use - benefit or liability? The UK perspective.
Water21, 06/00, S. 38-39
- JEFFERSON, B. et al. (1999)
Technologies for domestic wastewater recycling.
Urban Water, 1/99, S. 285-292
- JEFFERSON, B., LAINE, A. (1997)
Wastewater recycling: the potential for membrane bioreactors.
WQI, 12/97, S. 12-13
- JEFFREY, P., et al. (1997)
Evaluation methods for the design of adaptive water supply systems in urban
environments.
Wat. Sci. Tech. Vol., 35, No. 9, 1997, S. 45-51
- JEPPESEN, B. (1996)
Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future.
Desalination, 106, 1996, S. 311-315
- JIMENEZ, B. et.al. (2000)
Impact and potential of reused water in the Mezquital Valley.
Water21, 06/00, S. 34-36

- JÖNSSON, H. et al. (1999)
Source separation of urine.
Wasser & Boden, 11/99, S. 21-24
- KETEMA, A. (2000)
Addis Plastic Campaign and recycling urban waste
Addis Tribune, 21.4.2000
- KLARGESTER ENVIRONMENTAL ENGINEERING (1999)
Ökonomisch, ökologisch, vollbiologisch.
wwt awt, 5/99, S. 57-58
- KOMMUNALE UMWELT-AKTION U.A.N. (1996)
Kostengünstige Abwasserbehandlung – Praxisbeispiele.
Schriftenreihe Heft 27, 1996
- KOMMUNALE UMWELT-AKTION U.A.N. (2000)
Konzepte zur Abwasserbehandlung im ländlichen Raum Europas.
Schriftenreihe Heft 39, 2000
- KÖNIG, K. W. (1999)
Editorial fbr-Wasserspiegel. 03/99, S. 2
- KRAMPE, J., KRAUTH, KH. (2000)
Brauchwasserrecycling durch den Einsatz membrangestützter SBR-Anlagen 2000 ATV-
DVWK Bundestagung 2000 / Bd. 20, S. 803-812
- KÜFFNER, G. (2000)
Das nicht mehr zeitgemäße Abwassersystem
FAZ, 21. Februar 2000, Nr. 43, S. 14
- KUNZ, P. M., RETTENBERGER, A.
Umweltorientierte Produktionsverfahren - Produktion von Düngewasser
- LA TROBE, B. E.; ROSS, W. R. (1992)
Full scale operation of forced aeration composting garbage and night soil
- LA TROBE, B. E.; ROSS, W. R. (1991)
Forced aeration co-composting of domestic refuse and night soil
- LANGE, J., OTTERPOHL, R. (1997)
Abwasser - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft
- LARSEN, T.
Nährstoffmanagement in der Siedlungswasserwirtschaft und modernen Landwirtschaft

- LARSEN, T., GUJER, W. (1998)
Teilstromerfassung und -behandlung von Siedlungsabwässern unter dem Aspekt von Stoffkreisläufen; in: Hiessl, H., Stein, D. (1998): Umgestaltung und Modernisierung kommunaler Abwasserentsorgungssysteme, S. 171-176
- LARSEN, T., UDERT, K. M. (1999)
Urinseparierung - ein Konzept zur Schließung der Nährstoffkreisläufe
Wasser & Boden, 11/99, S. 6-9
- LINDERT, M. et al. (1997)
Teilstrombehandlung von Fäkalienabwasser.
gwf Wasser - Abwasser, 8/97, S. 403-408
- LINKE, M. (1997)
Sydney`s sustainable house
ReNew, 7-9/97
- LÜBBECKE, S. (1999)
Pilotanlage Membran-Biologie
UTA, 5-6/99, S. 368
- LUTZ, G. (1997)
Mobile Abwasserbehandlungsanlagen: ein Grundsatzstreit - oder geht es nur ums Geld ?
UTA, S. 19-22
- MAKOLLA, A. et. al. (2000)
Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung
Korrespondenz Abwasser, 5/00, S. 640-644
- MAPLESTON, B.
Advanced Water Recycling Demonstration Plant - Factsheet 2
- MATHESON, Z. et al. (2000)
Waste Minimisation and Water Recycling: a case study at the Millennium Dome
IWA Yearbook 2000, S. 30-32
- MATHYS, A. (2000)
Water supply in underprivileged areas.
New World Water 2000, S. 32
- MEHLHART, G. (2001)
Grauwasser weiter auf dem Vormarsch
fbr- wasserspiegel 2/01, S. 14-16
- MOELLER, J. et.al. (2000)
Wastewater Treatment`s Future: Commercially Valuable Products?
Water Environment & Technology, 8/00, S. 8-10

- MOELLER, JEFF et.al. (2000)
Research needs to optimize Wastewater as a resource.
CEE New Millennium Colloquium 20-21. March 2000
- MUJERIEGO, R., ASANO, T. (1999)
The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse.
Wat. Sci. Tech., Vol. 40, No. 4-5, 1999, S. 1-9
- MÜLLER, V. (1999)
Naturnahe und technische Klein- und kleine Kläranlagen im Vergleich
Korrespondenz Abwasser, 9/99, S. 662-666
- NAKAJIMA, J. et al. (1999)
Performance evaluation of on-site treatment facilities for wastewater from households,
hotels and restaurants.
Wat. Sci. Tech., Vol 39, No. 8, 1999, S. 85-92
- NEAL, J. (1996)
Wastewater reuse studies and trials in Canberra
Desalination, 106;1996, S. 399-405
- NOLDE, E. (1999)
Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years
experience in Berlin.
Urban Water 1, S. 275-284
- NONAKA, Y. (2000)
Proposals to improve a wastewater reuse system in housing complexes
- OBEL-LAWSON, E., NJOROGE, B. K.
Small Service Providers make a Big Difference
UNDP-World Bank; Water and Sanitation Programm; Field Note Number 5
- OGOSHI, M. et. al. (2000)
Non-potable urban water reuse - a case of Japanese water recycling
Water21, 6/00, S. 27-30
- OHLE, P., BRANDS, E. (1999)
Membrantechnologie zur Behandlung kommunalen Abwasser.
wwt awt, 04/99, S. 17-21
- OTTERPOHL, R.; OLDENBURG, M.; ZIMMERMANN, J. (1999)
Integrierte Konzepte für die Abwasserentsorgung ländlicher Siedlungen
Wasser & Boden, 11/99, S. 10-13
- OTTERPOHL, R. (1999)
Zum Schwerpunkt "Moderne Sanitärkonzepte"
Wasser & Boden, 11/99, S. 5

- OTTERPOHL, R. et al. (1999 A)
Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement
Korrespondenz Abwasser, 2/99, S. 204-212
- OTTERPOHL, R. et al. (1999 B)
Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources.
Wat. Sci. Tech., Vol. 39, No. 5, 1999, S. 153-160
- RAUTENBACH, R. et al. (1997)
Möglichkeiten und Perspektiven der Membrantechnik bei der kommunalen Abwasserbehandlung und Trinkwasseraufbereitung.
Begleitbuch zur 1. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, 30. Juni - 01. Juli 1997
- ROFE, B. (2000)
Wastewater as a resource.
Water21, 12/00, S. 60-61
- ROSE, J. (1991)
Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources.
Wat. Res., Vol. 25, No. 1, S. 37-42
- ROSE, J. et al. (1999)
The boiling effect: innovation for achieving sustainable clean water.
Water21, 09-10/99, S. 16-19
- RUDOLPH, K.-U. (1979)
Trennsysteme für die Wasserversorgung - ein altes Thema unter neuen Gesichtspunkten
gwf wasser/abwasser; 120. Jahrgang; Heft 5; Seite 207-211
- RUDOLPH, K.-U. (1981)
Die Abwassertransportkosten als Wirtschaftlichkeitskriterium für Kleinkläranlagen
Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport, 5/81, S. 245-250
- RUDOLPH, K.-U., ANTONI, M. (1998)
Regenwassernutzung im Haushalt
gwf, 11/98, S. 719-725
- SANKAI, T. et al. (1997)
Treatment of domestic wastewater mixed with crushed garbage and garbage washing water by advanced gappei-shori jokhaso
Wat. Sci. Tech., Vol. 36, No. 12, 1997, S. 175-182
- SCHMAUTZ, H. (1999)
Abwasser - muß das sein?
Korrespondenz Abwasser, 10/99, S. 1509

- SCHNEIDMADL, J. et al. (1999)
Vergleich der Stoffflüsse von Abwasserkonzepten mit und ohne Teilstrombehandlung
Wasser & Boden, 11/99, S. 14-20
- SCHREFF, D., WILDERER, P. (1999)
Kleine Kläranlagen.
Korrespondenz Abwasser, 10/00, S. 1522 ff.
- SENATSVERWALTUNG FÜR BAU- UND WOHNUNGSWESEN (HRSG.) (2000)
Betriebswassernutzung in Gebäuden, Berlin
- SEYFRIED, K.-H. (2000)
Geld-Quelle
Capital 23/2000, S. 142-148
- SKELTON, R. (1999)
Skerratt, Glynn Water treatment using membrane systems
Water21, 11-12/99, S. 27-28
- STAECK, F. (2000)
Seegrass statt Sedimentation
ENTSORGA-Magazin Entsorgungswirtschaft, 1-2/00, S. 20-24
- SUEZ LYONNAISE DES EAUX (Hrsg.) (1998)
Alternative solutions for water supply and sanitation in areas with limited financial resources
- SWISS FEDERAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (1999)
Household-Centred Environmental Sanitation "Report of the Hilterfingen workshop on Environmental Sanitation in the 21st Century", 15 - 19 März 1999
- TAYLER, K., PARKINSON, J. (2000)
Strategic planning for urban sanitation.
Water21, 02/00, S. 54 ff.
- TCHOBANOGLIOUS, G., ANGELAKIS, A. N. (1996)
Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in greece.
Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 10-11, 1996, S. 15-24
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT, INSTITUT WAR (1999)
Abwasserwiederverwendung in Wasserarmen Regionen - Einsatzgebiete, Anforderungen, Lösungsmöglichkeiten
Schriftenreihe WAR 116

- TOKYO METROPOLITAN GOVERNMENT (2000)
Bureau of Sewerage Ministry of construction Publishes the results of research on
endocrine Disrupters
R & R, Vol. 8, No. 1
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1992)
Guidelines for water Reuse
- UHLMANN, V.
Queensland Water Recycling Strategy - Factsheet 1
- VAN KEMPEN, R.; NOTENBOOM, G. (1999)
Compact technologies in wastewater treatment.
WQI, 03-04/99. S 27-28
- VENHUIZEN, D. (1997)
Paradigm Shift; Dezentralized wastewater systems may provide better management at
less cost.
Water environment & Technology, S. 49 ff.
- VESTNER, R. J., GÜNTHER, F. W. (1999)
Abwasserentsorgung in alpinen Regionen - Reststoffe bei Alpenvereinshütten.
Korrespondenz Abwasser, 9/99, S. 1390-1400
- VIVENDI WATER (2000)
Business Partners for Development – KwaZulu-Natal Pilot Project
February 2000 Report
- VON HAUFF, M, LENS, P. N. L.
Micro and macro economic aspects of decentralized sewage treatment
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1989)
Water Reuse - Manual of practice. Alexandria, USA
- WEGELIN-SCHURINGA, M., GREMION, B. (2000)
Solar acceptance.
Water21, 08/00, S. 35-36
- WEGELIN-SCHURINGA, M., COFFEY, M. (1998)
Small pit emptying machine an appropriate solution in Nairobi slum.
- WIELAND, C. A.
Water Reuse: Is There a Devil or a Property Right in the Details
WATER ENVIRONMENT & TECHNOLOGY, S. 6-7
- WILDERER, P.
Wastewater Treatment Works: A Big Market For Small Systems

- WILDERER, P. et al. (1998)
Dezentrale Abwasserbehandlung für ländliche und urbane Gebiete
Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Nr. 138
- WILDERER, P. et al. (2001)
DESAR – Kleine Kläranlagen und Wasserwiederverwendung
Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Nr. 161
- WOOD, P.
Greywater Recycling
- WORLD HEALTH ORGANISATION AND UNITED CHILDREN'S FUND (2000)
Global Water Supply and Sanitation Assessment Report
- WRIGHT, A. M. (1997)
Toward a Strategic Sanitation Approach - Improving the Sustainability of Urban
Sanitation in Developing Countries
UNDP-World Bank, Water and Sanitation Program
- YANG, X. (2000)
On-site systems for domestic wastewater treatment (Jokaso) and its application in Japan

3. INTERNET

3.1 Environment Agency UK

TURTON, P. (1999)
Barriers to uptake of rainwater and greywater
www.environment-agency.gov.uk

TURTON, P. (2000)
Greywater Recycling - OK But(t) Could do Better
www.environment-agency.gov.uk

TURTON, P. (2000)
Buildings that save water - Nearing completion
www.environment-agency.gov.uk

3.2 Canada Mortgage and Housing Corp

What's happening across Canada
On-Site Wastewater Recycling Study-Yellowknife
www.cmhc-sch.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/yellowknife.htm

Research Highlights
Innovative Residential Water and Wastewater Management
www.cmhc-sch.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/98127.htm

Articles Sur L'Eau
Coopérative Conservation Projet de récupération d'eau résidentielle
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/fr/water-eau/watart06.htm

Research Highlights
An Application Guide for Water Reuse Systems
www.cmhc-sch.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/98103.htm

Water Research at CMHC
Greywater Research at Conservation Co-op
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/hr-trs/water/co-op.htm

Research Highlights
Case Studies of Potential Applications of Innovative Residential Water and Wastewater Technologies
www.cmhc-sch.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/99116.htm

Eagle Lake Healthy House
www.cmhc-sch.gc.ca/publications/aboutyourhouse/north/ns05.htm

Water Conservation Case Studies
Conservation Co-op
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case05.htm

Water Conservation Case Studies
Sooke Harbour House
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case7.htm

Sustainable Solutions
Small Resorts
www.hillmurray.com/projects/solution/sol-sr.htm

Water Conservation Case Studies
Kingfisher Oceanside Inn
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/case8.htm

Water Articles
Conservation Co-op Residential Water Reclamation Project
www.cmhc-schl.gc.ca/rd-dr/en/water-eau/watart6.htm

Research Highlights
Water Quality Guideline and Water Monitoring Tools for Residential Water Reuse Systems
www.cmhc-schl.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/99115.htm

3.3 Hill Murray

Sustainable Solutions
Huband Park Elementary School
www.hillmurray.com/projects/solution/sol-hub.htm

Hill Murray- Engineering Water Solutions
Huband Park Elementary School is BC's First Water Recycling School
<http://www.hillmurray.com/releases/oct01-98.htm>

Sustainable Solutions
Sooke Office Building
www.hillmurray.com/projects/solution/sol-sk.htm

Hill Murray- Engineering Water Solutions
Water-Recycling Building performs well
www.hillmurray.com/releases/jan31-97.htm

Sustainable Solutions
Salt Spring Island Village Resort
www.hillmurray.com/projects/solution/sol-ss.htm

Sustainable Solutions
High-Artic Radar Sites
www.hillmurray.com/projects/solution/sol-ar.htm

3.4 Sonstige

LINKE, M. (1997)
Sydney`s sustainable house
ReNew July-September 1997
www.ata.org.au

PALOHEIMO, R. et al.
Reusing Treated Wastewater in Domestic Housing: the Toronto Healthy House project.
<http://mha-net.org/msb/html/papers-n/palo01/wastewa.htm>

WORLDBANK (2000)
World Development Report 1999/2000
www.worldbank.org/wdr/2000/overview.html

HALENA, S. (2000)
Septic system alternative gets attention
St. Cloud Times Online, 21.11.2000

JEFFREY, P.
Major survey of public attitudes to water recycling -- Cranfield University
www.cranfield.ac.uk/sims/water/recyclingsurvey.htm

Reusing Treated Wastewater in Domestic Housing: the Toronto Healthy House Project.
www.mha-net.org/msb/html/papers-n/palo01/wastewa.htm

Ökologische Wohnsiedlung Flintenbreite
www.flintenbreite.de

Groundwater Replenishment System Orange County, Kalifornien
www.gwrssystem.com

Water Factory 21
www.ocwd.com/_html/wf21.htm

3.5 Institutionen und Organisationen

Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ)
www.gtz.de

ecosan (GTZ-Projekt)
www.gtz.de/ecosan

Global Water Partnership
www.gwpforum.org

Unicef – Water environment and sanitation
www.unicef.org/programme/wes

Water Supply and Sanitation Collaborative Council
www.wsscc.org

WaterReuse Association
www.watereuse.org

World Bank Water and Sanitation Program
www.wsp.org

World Water Council
www.worldwatercouncil.org

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Abschlussbericht
3a. Titel des Berichts Untersuchung zum internationalen Stand und der Entwicklung Alternativer Wassersysteme	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Karl-Ulrich Rudolph Dipl.-Ing. Dirk Schäfer	5. Abschlußdatum des Vorhaben 31. Mai 2001
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum 30. Juni 2001
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke gGmbH Alfred-Herrhausen-Straße 44 58455 Witten Tel.: 0 23 02 / 914 01-0 Fax: 0 23 02 / 914 01-11 Email: mail@professor-rudolph.de	7. Form der Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat 421 Heinemannstraße 2 53175 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen*) 02 WA 0074
	11a. Seitenzahl Bericht 122
	11b. Seitenzahl Publikation
	12. Literaturangaben 90
	14. Tabellen 9
	15. Abbildungen 35
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger für Wassertechnologie und Entsorgung – Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	
18. Kurzfassung <p>Das Thema "Alternative Wassersysteme" ist keineswegs neu. Zu den heute zunehmend diskutierten Alternativen zählen sowohl neue Technologien (z.B. Membrantechnologie), wassersparende Installationen als auch Veränderungen des bestehenden zentralen Systems mit Schwemmkanalisation hin zu semizentralen oder dezentralen Lösungen mit der Abtrennung und dem Recycling von Teilströmen (Grauwasserrecycling, Nährstoffrecycling, Energiegewinnung, etc.).</p> <p>Ziel des in diesem Bericht vorgestellten BMBF-Forschungsvorhabens war es zu recherchieren, welche alternativen Systeme und Technologien derzeit weltweit diskutiert und erprobt werden.</p> <p>Die am häufigsten verfolgten Grundideen betreffen die Wasserverwendung und Abwasserproduktion (z.B. Trenntoiletten, die eine getrennte Behandlung und Verwertung von Fäkalien und Grauwasser ermöglichen), die weiter gehende Abwasserbehandlung zwecks Recycling und den Querverbund von Wasser/Abfall/Energie in einem integrierten System.</p> <p>Australien, Deutschland, Japan und Kanada sind einige jener Länder, aus denen viele Innovationen zu "High-Tech"-Ansätzen kommen. Die "Low-Tech"-Konzepte entstehen vor allem in Entwicklungsländern und dem ländlichen Bereich.</p> <p>Für die Zukunftsentwicklung geht es um die weitere Verbesserung und Demonstration der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit von Gesamtkonzepten, welche den langfristig orientierten, ökologischen Notwendigkeiten genügen.</p>	
19. Schlagwörter Alternative Wassersysteme, EcoSan, Dezentrale Wassersysteme, Grauwasserrecycling, Brauchwassernutzung, Abwasserwertung, Nährstoffrückgewinnung, Membrantechnologie	
20. Verlag Eigenverlag	21. Preis

*) auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden