

Trinkwassereinsparung in Wohnbauten
durch Mehrfachnutzung und
Einbeziehung des Regenwassers

F 1858

F 1858

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Schriftenreihe „Bau- und Wohnforschung“
des Bundesministers für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau**

**Trinkwassereinsparung in Wohnbauten durch
Mehrfachnutzung und Einbeziehung des
Regenwassers**

F 1858

**Bearbeitet im Auftrag des Bundesministers
für Raumordnung, Bauwesen und
Städtebau, Bonn**

FORSCHUNGSBERICHT

Trinkwassereinsparung in Wohnbauten

DURCH MEHRFACHNUTZUNG UND EINBEZIEHUNG
DES REGENWASSERS

FORSCHUNGS-AUFTRAG B I 5-80 01 79-127

vom

BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN
UND STÄDTEBAU

o. Prof. Dr. - Ing. Berthold Gockell
Technische Universität Braunschweig

Die Forschungsarbeit TRINKWASSEREINSPARUNG IN WOHNBAUTEN DURCH MEHRFACHNUTZUNG UND EINBEZIEHUNG DES REGENWASSERS wurde im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau durchgeführt.

Meinem Mitarbeiter, Dipl. -Ing. Detlef Hügin, der in besonderem Maße zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat, sei an dieser Stelle aufrichtig gedankt.

Braunschweig, im September 1982

Berthold Gockell

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite	
1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Grundlagen	5
2.1	Anforderungen an die Wasserqualität in Wohnbauten	6
2.2	Struktur des Wasserverbrauchs privater Haushalte	10
2.3	Möglichkeiten der Trinkwassersubstitution	17
2.4	Einsatz wassersparender Sanitärtechnik	18
3	Einflußgrößen auf die Nutzbarmachung häuslicher Abwässer	21
3.1	Menge und Beschaffenheit des Schmutzwassers	23
3.2	Menge und Beschaffenheit des Regenwassers	34
4	Trinkwassereinsparende Wasserversorgungssysteme und Möglichkeiten der Integration	44
4.1	Verwendung von zentral anfallendem Abwasser	45
4.2	Verwendung von örtlich anfallendem Abwasser	49
4.2.1	Systeme zur Schmutzwassernutzung	51
4.2.1.1	Wasser-Wiederverwendung, System Karner, Oberwart, Österreich 1976	52
4.2.1.2	Wasser-Wärmerecycling, System Bosch, Stuttgart 1980	57
4.2.1.3	Wasser-Wiederverwendung, System Bennett/Linstedt, Colorado, USA, 1975	61
4.2.1.4	Wasser-Wiederverwendung, System Hypes, NASA, Langley Research Center, Hampton, USA, 1978	68
4.2.1.5	Wasser-Wiederverwendung, System Cohen/Wallman, Cincinnati, USA, 1974	74
4.2.1.6	Wasser-Wiederverwendung, System Mc Laughlin, Pennsylvania, USA, 1968	80
4.2.1.7	Wasser-Wiederverwendung, System Mitsubishi, Japan, 1976	82
4.2.1.8	Wasser-Wiederverwendung und Regenwasserverwendung, System Schäfer, Schweich, 1979	86
4.2.2	Systeme zur Regenwassernutzung	91
5	Zusammenfassung und Schlußfolgerung	96
6	Literaturverzeichnis	105
7	Tabellenverzeichnis	112
8	Abbildungsverzeichnis	113

Forschungsbericht F 6/82

Trinkwassereinsparung in Wohnbauten

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Notwendigkeit, Wasser rationeller und sinnvoller zu verwenden, wird durch eine Vielzahl von Pressemitteilungen und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen der Bevölkerung immer bewußter gemacht. Titel wie "Das Problem kommt schleichend !" *), Trinkwasser - bald so knapp wie Öl?" **) und "Was wäre wenn ... Trinkwasser knapp wird?" ***) belegen dies.

Dabei gilt die Bundesrepublik Deutschland als wasserreiches Land und die nutzbaren Wasservorkommen sind um ein Vielfaches größer als der Wasserverbrauch. Dennoch mehren sich wasserversorgungstechnische Probleme. Ursache ist die zunehmende Schadstoffbelastung und die räumliche Verteilung der Wasservorkommen. Ihre Menge und Qualität entspricht nicht immer dem örtlichen Bedarf und ein überregionaler Ausgleich ist deshalb in

-
- *) BMBau: Staatssekretär Dr. Sperling diskutiert mit Experten der Wasserversorgung, Pressemitteilung 46/81
- **) Burgdorff, S.: DER SPIEGEL, Titelgeschichte 33/1981, S. 50 - 65
- ***) 1. Deutsches Fernsehen: Sendung am 8. April 1982, 20.15 - 21.00 Uhr

vielen Fällen erforderlich. Auch ist die stärkere Heranziehung geringwertiger Wasserressourcen für Versorgungszwecke mit hoher Qualitätsanforderung eine zwingende Notwendigkeit.

Hoher Wasserbereitstellungsaufwand und die damit verbundenen Kosten durch Bau von Fernwasserversorgungssystemen, Aufbereitungsanlagen etc. sowie die Verschlechterung der Wasserqualität durch lange Aufenthaltszeiten des Trinkwassers in Rohrnetzen und Vorratsbehältern und großräumige Grundwasserabsenkungen mit ökologischen Störungen in Wassergewinnungsgebieten *) seien als einige der Folgeprobleme genannt.

Auch die Frage nach einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch Wiederaufbereitung des durch Schadstoffe stark belasteten Oberflächenwassers zu Trinkwasser wird zunehmend diskutiert. Zwar sind Gesundheitsgefahren mit humanmedizinischen Langzeitwirkungen bislang nicht erwiesen, werden jedoch auch nicht vollständig ausgeschlossen. **)

Ein Blick in die Richtlinien für wasserwirtschaftliche Planungen läßt folgende Zielrichtungen erkennen:

- Erschließung neuer Wasserressourcen,
- Verbesserung des qualitativen Gewässerschutzes,
- verstärkte Ausweisung von Wasserschutz- und Wasservorranggebieten,
- gerechtere und wirtschaftliche Verteilung der Nutzungsrechte am Wasser durch Änderung bestehender Wasserverteilungsrechte zwischen Industrie und Trinkwasserversorgungsunternehmen.

*) z. B. Hessisches Ried

***) Lahl, V.; Zeschmar, B.: Wie krank ist unser Wasser? Die Gefährdung des Trinkwassers: Sachstand und Gegenstrategien, Freiburg 1981

Aktivitäten zur Erforschung und Durchsetzung wassersparender Maßnahmen dagegen sind kaum erkennbar, obwohl unbestritten ist, daß Wasserversorgungsprobleme nicht zuletzt auf hohen Wasserbedarf basieren und sich durch Nachfragesenkung leichter beherrschen ließen. Gleiches gilt auch für Schwierigkeiten, die im Zusammenhang mit der Beseitigung des damit einhergehenden Abwasseranfalls auftreten.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes soll die Thematik der Nachfragesenkung bzw. Wassereinsparung für den Bedarfssektor "private Haushalte" behandelt werden. Zwar ist der auf dem Wege der Selbstversorgung gedeckte Wasserbedarf der Industrie, Wärmekraftwerke etc. um ein Vielfaches höher (10-15 faches) als der häusliche Wasserverbrauch, dennoch kommt diesem besondere Bedeutung zu, da hier die höchsten Anforderungen an die Wasserqualität gestellt werden und beachtliche Zuwachsraten feststellbar sind.

	Anteile in %					Verbrauch in Mill cbm	
	1955	1960	1970	1975	1980	1979	1980
Haushalte *) (inkl. Kleingewerbe)	55,2	57,6	64,3	67,5	71,4	2576,3	2608,3
Industrie (inkl. Großgewerbe)	35,5	33,3	28,3	24,8	20,8	787,8	760,5
Sonstige (inkl. öff. Einricht.)	9,3	9,1	7,4	7,7	7,8	273,5	286,6
Insgesamt	100	100	100	100	100	3637,6	3655,4

Tabelle 1:

Verbrauchsstruktur der Wasserabgabe aus dem Netz der öffentlichen Wasserversorgung nach BGW **)

*) Der Wasserbedarf von ca. 96 % aller privaten Haushalte wird von öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen gedeckt.

**) BGW: Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V., Bonn

Betrag der spezifische Trinkwasserbedarf pro Tag und pro Person im statistischen Mittel im Jahre 1950 noch 85 Liter, so sind es 1980 bereits mehr als 139 Liter *).

Infolge steigender hygienischer Bedürfnisse, weiterem Komfortanstieg sowie wachsender Anzahl von 1- und 2-Personenhaushalten ist auch zukünftig mit einem weiteren Bedarfsanstieg zu rechnen.

Demgegenüber ist bemerkenswert, daß im Bereich der Industrie das Bemühen um eine rationelle Wasserverwendung (Kreislaufsysteme, wassersparender Technologieeinsatz etc.) bereits zu einer erheblichen Absenkung des Trinkwasserbezugs geführt hat. Wurden im Jahre 1955 noch 35,5 % des von öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen bereitgestellten Trinkwassers benötigt, waren es 25 Jahre später nur noch 20,8 % (Tabelle 1).

Es stellt sich die Frage, ob nicht auch in privaten Haushalten Trinkwasser eingespart werden kann. Sieht man von restriktiven Maßnahmen ab, wäre zunächst an Aufforderungen zur kritischen Überprüfung des individuellen Verbraucherverhaltens im Hinblick auf den vermeidbaren Wasserverbrauch zu denken. Schwer kalkulierbar dabei ist jedoch der Erfolg. Anders verhält es sich mit trinkwassersparenden, technologischen Maßnahmen. Ansatzpunkte dafür sind ausreichend gegeben: Verringerung geräte- und sanitärobjectspezifischer Wasserbedarfsmengen (Waschmaschine, WC-Anlage etc.), Vermeidung von unrationell genutztem Wasser durch sanitärtechnische Schwachstellen (Armaturenausstattung, Warmwasserverteilungssysteme etc.) und Bereitstellung von Wasser mit einer Güte, die dem Verwendungszweck entspricht.

*) BGW: Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V., Bonn

Nachfolgend soll schwerpunktmäßig die letzte Möglichkeit untersucht werden und zwar unter dem Gesichtspunkt der Mehrfachnutzung von Wasser und der Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung.

2 Grundlagen

In der Bundesrepublik Deutschland wird der Wasserbedarf privater Haushalte durch Wasserversorgungsunternehmen gedeckt, die ausschließlich Wasser höchster Qualität bereitstellen. Es handelt sich dabei um trinkbares Wasser, dessen Güte in einer Reihe verschiedener Rechtsquellen vorgeschrieben ist und einer ständigen Überwachung unterliegt *).

Zum menschlichen Genuß geeignetes Wasser wird somit aufgrund der bestehenden Wasserversorgungsstruktur für sämtliche Wassernutzungsarten im Haushalt verwendet, obwohl unbestreitbar ist, daß gerade die Trinkwassergewinnung problematischer wird. Nicht überraschend ist daher, daß zunehmend in die öffentliche Diskussion gelangt, ob nicht Trinkwasser in einigen häuslichen Verwendungsbereichen durch Wasser minderer Qualität ersetzt werden sollte, um damit eine Entlastung der Trinkwasserversorgung zu erreichen.

*) Trinkwasser-Verordnung:

Verordnung über Trinkwasser und über Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung vom 31. 1. 1975 (BGBl. I, S. 453), zuletzt geändert durch VO. v. 25. 6. 1980 (BGBl. I, S. 764

DIN 2000:

Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser - Planung, Bau und Betrieb der Anlagen, Nov. 1973, u. a.

Die Beantwortung dieser Frage unter dem Gesichtspunkt der Mehrfachnutzung von Wasser und der Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung muß sich zunächst an folgenden zwei Rahmenbedingungen orientieren:

- bei welchen häuslichen Wassernutzungsarten könnte Trinkwasser unter dem Aspekt einer gütemäßig rationelleren Wasserverwendung durch Wasser minderer Qualität ersetzt werden und
- wie würde sich diese Substitution mengenmäßig auswirken, wenn häusliche Abwässer dafür nutzbar gemacht würden?

Zu untersuchen sind somit als erstes Wassergüteanforderungen in Wohnbauten in Abhängigkeit von häuslichen Wassernutzungsarten. Weiterhin ist die Verteilung des Wasserverbrauchs auf einzelne private Verwendungszwecke unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen zu analysieren.

2.1 Anforderungen an die Wasserqualität in Wohnbauten

Aufgrund der in der Bundesrepublik Deutschland bestehenden einschienigen Wasserversorgung mit Trinkwasser fehlen gesetzliche Regelungen über Anforderungen an die gütemäßige Beschaffenheit davon abweichender häuslicher Versorgungswässer. Auch sind in deutschsprachigen Untersuchungen *), die sich mit der Substitution von Trinkwasser in Wohnbauten beschäftigen, keine

-
- *) Robert Bosch GmbH: Wasser und Wärmerecycling im Haushalt (Vorstudie), Robert Bosch GmbH, Technisches Zentrum Forschung, Daniel, W. u. a., BMFT Forschungsbericht T 80-068, Aug. 1980
- Feurich, H.: Überlegungen zur Einsparung von Trinkwasser, Sanitär- + Heizungstechnik, 7/1972, S. 448-456
- Schnappauff, J.: "Zweierteil Wasser im Haushalt?" Wasserfachliche Aussprachetagung DVGW, 1967, Der Sanitär- und Gas-Installateur, 4/1968, S. 78-85, u. a.

konkreten Richtwerte über denkbare Wasserqualitätsanforderungen zu entnehmen. Detaillierte Angaben ergeben sich lediglich aus ausländischen Veröffentlichungen *), von denen die Untersuchungen von BAILEY und IWAI den wesentlichsten Beitrag stellen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 2 und 3 aufgeführt. BAILEY geht dabei von den Trinkwasserqualitätsanforderungen des US-Gesundheitsministeriums aus und leitet danach Grenzwerte für die Beschaffenheit von Wasser zum Baden, Waschen, Gartenbewässerung und der Toilettenspülung ab. Fehlen in Tabelle 2 Angaben über die bakteriologische Beschaffenheit einzelner Versorgungswässer, so wird von BAILEY davon ausgegangen, daß jede Art von Wasser, das im Haus verwendet wird, keine krankheitserregenden und gesundheitsgefährdenden Bakterien enthalten darf. Dieser Voraussetzung wird selbstverständlich auch hier gefolgt. Folgt man BAILEY weiter, so kann hypothetisch festgestellt werden, daß sämtliche Wasserqualitätsstandards mit Ausnahme der mit der Ernährung in Verbindung stehenden je nach Verwendungszweck mehr oder weniger gelockert werden könnten.

Die im einzelnen aus der Tabelle 2 zu ersehenden Abweichungen zeigen, daß bereits zwischen Badewasser und Trinkwasser, hier nach USPHS drinking

-
- *) Bennett, E.R. ;
Linstedt, K.D. : "Individual Home Wastewater Characterisation and Treatment", Report OWRP Project No. A-021-COLO, Environmental Resources Centre, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1975, Government Report: PB 245 259
- Bailey, J.R., u. a. : A study of flow reduction and treatment of waste water from households - Water Pollut. Control Research Ser. US Departm. of the interior. Federal Water Quality Administr. 11050 FKE 12/69, 1969
- Iwai, S., u. a. : Reuse of drainage from an office building Desalination 23, S. 171-181, Amsterdam 1977
- Withee, C.C. : Segregation and reclamation of household wastewater at an individual residence, Master-Thesis, Colorado State University, Colorado 1975

water standard, Unterschiede im Hinblick auf Schwermetalle, Nitrate und Sulfate vorhanden sind. Sehr große Qualitätsunterschiede bestehen zwischen dem Trink- und dem WC-Spülwasser in Bezug auf Klarheit, Geruch und Farbe.

	US PHS Drinking Water Standards (mandatory limit) [mg/l]	Bathing Water [mg/l]	General Washing and Cleaning [mg/l]	Irr. Waters [mg/l]	Toilet Flushing Waters [mg/l]
Turbidity [units]	5,0	10,0	10,0	10,0	20,0
Color [units]	15,0	15,0	15,0	15,0	30,0
Odor [units]	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	0,5	1,0	2,0	1,0	
Silver (Ag)	(0,05)*	0,05	0,05	0,05	
Arsenic (As)	0,01 (0,05)	0,05	0,05	0,05	
Barium (Ba)	(1,0)	1,0	1,0	1,0	
Boron (Bo)				1,0	
Cadmium (Cd)	(0,01)	0,01	0,01	0,01	
Chloride (Cl)	250	500	500	500	
Chromium (Cr)	(0,05)	0,05	1,5	0,05	
Copper (Cu)	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0
Carbon Chloroform Extrakt (CCE)	0,2	0,2	0,4	0,4	
Cyanide (CN)	0,01 (0,2)	0,2	0,2	0,2	
Fluoride (F)		6,0	6,0	6,0	
Iron (Fe)	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0
Lead (Pb)	(0,05)	0,05	0,05	0,05	
Manganese (Mn)	0,5	0,05	0,05	0,5	0,5
Iron + Manganese (Fe + Mn)		1,0	1,0	1,0	1,0
Nitrate (NO ₃)	45	90	180	180	
Phenols	0,001	0,005	0,01	0,05	
Selenium (Se)	(0,01)	0,01	0,01	0,01	
Sulfates (SO ₄)	250	500	500	500	
Total Dissolved Solids (TDS)	500	1500	500	1000	
Zinc (Zn)	5	10	10	10	
pH		6,5-8,3	6,5-8,3		
Hardness		100	100		
Alkalinity			60		

*) Numbers in parenthesis are considered the maximum allowable limits

Tabelle 2: Denkbare Wasserqualitäten im Haushalt nach BAILEY

Unabhängig von BAILEY, stellt auch IWAI einen Wasserqualitätsstandard für WC-Spülwasser vor (Tabelle 3). Dieser Standard stimmt mit dem von BAILEY vorgeschlagenen weitgehend überein. Zusätzlich gibt IWAI noch weitere Wassergütemerkmale an, die für die Aufbereitung von bereits genutztem Wasser von Wichtigkeit sind.

Turbidity (degree)	20
Color (degree)	30
Odor	nil
PH	6, 5-8, 6
NH ₄ -N	20
Soluble matters	-
Fe	1, 0
Mn	0, 3
ABS	1, 0
Coliform (1/ml)	-
Residual chlorine	0, 4
BOD	20
COD	40

Tabelle 3:

Wasserqualitätsstandard für WC-Spülwasser nach IWAI

Greift man BAILEY's Überlegungen hinsichtlich des Einsatzes mehrerer, qualitativ unterschiedlicher Versorgungswässer auf, so stellt man sehr schnell fest, daß diese Möglichkeit in Wohnbauten unrealistisch ist. Einerseits stünde der verfahrenstechnische Aufwand bei der Wassergewinnung in keinem Verhältnis zu den Abweichungen der einzelnen Wasserqualitäten, zum anderen ergäbe sich ein unzumutbarer Mehraufwand an Rohrsystemen mit der Gefahr von Querverbindungen und Rohrleitungsverwechslungen.

Vorstehende Überlegungen führen zu der Feststellung, daß allenfalls zwei differenzierte Wassergüten im Wohngebäude vertretbar sind.

Welche Einsatzbereiche sich dabei unter dem Gesichtspunkt der Mehrfachnutzung von Wasser und der Einbeziehung des Regenwassers in die häusliche Wasserversorgung anbieten, hängt von der Menge und der Beschaffenheit dieser Wässer sowie deren Aufbereitungsmöglichkeiten ab. Naturgemäß werden sie auch von der mengenmäßigen Verteilung des Wasserverbrauchs im

Haushalt bestimmt. Letztere Thematik soll anhand veröffentlichter Daten im folgenden untersucht werden.

2.2 Struktur des Wasserverbrauchs privater Haushalte

Über die Struktur des Wasserverbrauchs privater Haushalte in der Bundesrepublik unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen gibt lediglich eine Untersuchung vom Battelle-Institut *) aus dem Jahre 1972 Zahlenhinweise (Tabelle 4). Als Basisdaten dienen dabei die im gleichen Jahre im Arbeitsblatt W 410 herausgegebenen Wasserbedarfszahlen vom DVGW **). Die vom Battelle-Institut im Jahre 1972 prognostizierten Daten zum Gesamtwasserverbrauch wurden im Jahre 1976 geringfügig korrigiert ***). Inzwischen haben sie sich sämtlich als zu hoch erwiesen (Tabelle 4) und werden in der Literatur auch mit Skepsis betrachtet ****).

-
- | | | |
|-------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| *) | Battelle
Prognose 72: | Wasserbedarfsentwicklung in Industrie, Haushalten, Gewerbe, öffentlichen Einrichtungen und Landwirtschaft, Prognose des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2000, Frankfurt 1972 |
| **) | DVGW: | Wasserbedarfszahlen - DVGW Regelwerk Wasserversorgung, Merkblatt W 410, ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt, April 1972 |
| ***) | Battelle
Prognose 76: | Analyse der Einflußfaktoren des Trinkwasserbedarfs der privaten Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland und Prognose bis zum Jahre 2000, Frankfurt 1976 |
| ****) | Winje, D.
Zwicker, E.: | Erstellung eines Prognosemodells zur Vorhersage des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung alternativer Entwicklungen (1. Stufe), Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Berlin, Forschungsbericht 10202023, Berlin 1978 |
| | Rammer, P.: | Investitionsetat der Wasserversorgung mit Rekordzuwachs, ifo-Schnelldienst 33/81, S. 25-33, u. a. |

Trotz vieler Vorbehalte kann eine ungefähre Größenvorstellung über die Struktur des Wasserverbrauchs im Haushalt gewonnen werden.

Wassernutzungsart	Prognostizierte Werte *) [l/Einwohner und Tag]					Basiswerte **)
	1969	1975	1980	1985	2000	1964-1966
Trinken/Kochen	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3-6
Geschirrspülen	6,4	7,8	9,2	10,2	11,6	4-6
Baden/Duschen	28,3	38,8	48,8	58,9	90,0	20-40
Körperpflege	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	10-15
Wäschewaschen	17,4	16,1	16,0	16,0	16,0	20-40
Raumreinigung	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	3-10
WC-Benutzung	36,8	43,2	48,9	52,2	59,0	20-40
Hausgartenbewässerung	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-
Autopflege	1,6	2,1	2,3	2,4	2,6	-
Kleinstgewerbe	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	-
Insgesamt	117,5	134,1	150,7	165,2	203,7	80-157
	-	-	143,0	161,0	193,0	***)
	118,0	133,0	139,0	-	-	****)

Tabelle 4:

Aufteilung des Wasserverbrauchs privater Haushalte

Betrachtet man den von Battelle prognostizierten Wasserverbrauch für häusliche Wassernutzungsarten, die unbedingt Trinkwasserqualität erfordern, wie Trinken und Kochen, so zeigt sich eine fallende Tendenz und weniger als 5 % am Gesamtwasserverbrauch. Ursache ist die zunehmende Verbreitung

*) Battelle Prognose 1972

***) Battelle Prognose 1976

**) DVGW 1969

****) BGW (tatsächlicher Verbrauch)

zunehmende Verbreitung tischfertiger Konserven und Tiefkühlkost. Auch wird in wachsendem Umfang Leitungswasser durch andere Getränke ersetzt.

Die prognostizierten Daten zeigen weiterhin, daß auch für das Geschirrspülen, bei dem Wasser mit hoher Qualität erforderlich ist, nur wenig Wasser benötigt wird. Wenngleich auch die Battelle-Zahlen hier als zu gering erachtet werden, da relevante ausländische Untersuchungen *) mehr als doppelt so hohe Werte ausweisen, so zeigt sich dennoch, daß der Verbrauchsanteil für Geschirrspülen am Wassergesamtverbrauch nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Entgegengesetzt dazu verhält es sich mit dem Wasserverbrauch für Baden und Duschen. Hier ist ein hoher Anteil am Wassergesamtverbrauch festzustellen. Auch sind erhebliche Zuwachsraten zu beobachten. Die verbesserte Ausrüstung des Gebäudebestandes mit Dusch- und Badeeinrichtungen und der gestiegene Lebensstandard, der ein erhöhtes Hygienebewußtsein zur Folge hat, sind als Gründe zu nennen. Während im Jahre 1965 das wöchentliche Baden die Regel war **) sind mittlerweile veränderte Bade- und Duschaktivitäten im häuslichen Bereich zu verzeichnen. Zwar liegen

-
- *) Webster, C. J. D. : An investigation of the use of water outlets in multi-story flats, Building Service Engr. 39, BRS Current Paper, S. 215-233, 1972
- Archibald, G. : The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Part 1, S. 37-61, 1978
- Cocker, V.
Thackray, J. E.
- Golani, Z. : Advanced means and methods for savings in domestic water consumptions - Summary of field observations, Hrsg. Israel Centre of Waterworks Appliances (ICWA), 1975
- Ginzburg, P.
- **) Noelle-Neumann, E. : Sauberkeitsnormen 1964-1975, Zentralblatt für Bakteriologie, Hygiene, I. Abt. Orig. B, Institut für Publizistik, Universität Mainz, Band 163, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1976

darüber auf der Ebene des gesamten Bundesgebietes keine Durchschnittsangaben vor, dennoch zeigen neuere Untersuchungen Tendenzen auf. So wurde von der HEA *) auf der Basis von 35 000 Personen ein Mittelwert von 2,2 Bäder bzw. Duschbäder je Person und Woche ermittelt. Bemerkenswert ist, daß dieser Wert beachtlichen regionalen Schwankungen (Nord-Süd-Gefälle) unterworfen und die Badehäufigkeit der Stadtbevölkerung überdurchschnittlich hoch ist. Auch zeigt sich eine Abhängigkeit der Dusch- und Badegewohnheiten der Bevölkerung vom Bildungsstand. Einwohner mit höherer Schulbildung baden wesentlich häufiger als Einwohner mit Volksschulabschluß **). Weiterhin sind unterschiedliche Bade- und Duschgewohnheiten in Abhängigkeit von der Anzahl der Personen pro Haushalt nachgewiesen (Tabelle 5).

Haushalte mit ... Personen	Anzahl der Bäder pro Person und Woche	
	Wannenbad	Duschbad
1	1,85	4,34
2	1,35	2,98
3	1,31	2,42
4	1,22	2,10
5 und mehr	1,12	2,00

Tabelle 5: Anzahl der Wannen- oder Duschbäder nach Haushaltsgröße ***)

-
- *) HEA: Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung - Überlegungen zur künftigen Entwicklung der elektrischen Warmwasserversorgung in den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland, Verf.: Müller, W.; Schulz, E.; Frankfurt 1979
- ***) Socialdata: Sozialdata Institut für empirische Sozialforschung GmbH, München, DM, Februar 1982
- ***) Brög, W.: Einfluß des Verbraucherverhaltens auf den Energiebedarf privater Haushalte. Schriftenreihe der Forschungsreihe für Energiewirtschaft, Band 15, Springer Verlag 1982

Wenngleich die angegebenen Daten über Bade- und Duschgewohnheiten nicht auf den Bundesdurchschnitt zu beziehen sind, lassen sie dennoch den hohen Stellenwert des Wasserverbrauchs für Baden und Duschen (Wannenbad 100 - 150 Liter, Duschbad 30 - 60 Liter) erkennen.

Im Gegensatz zum Wasserverbrauch für Baden und Duschen ist der Wasserbedarf für die Körperpflege am Waschbecken als gering zu betrachten. Auch werden keine Steigerungsraten prognostiziert und ein konstanter Wert von 8 Liter pro Person und Tag angenommen.

Mehr Wasser als im Waschbecken wird für das Wäschewaschen benötigt. Im Bundesdurchschnitt waschen fast 90 % aller Haushalte mit einer elektrischen Waschmaschine und nur 4 % der Haushalte waschen noch von Hand, der Rest gibt die Wäsche außer Haus *). Da die Ausrüstung der Haushalte mit Waschmaschinen ihren Sättigungsgrad erreicht haben dürfte und keine veränderten Waschgewohnheiten in der Bevölkerung zu erwarten sind, dürfte der Wasserverbrauch für das Wäschewaschen in der Zukunft nicht mehr ansteigen. Battelle rechnet mit Wasserverbrauchswerten von 16 Liter pro Person und Tag. Berücksichtigt ist dabei, daß nicht sämtliche Haushalte mit Waschmaschinen ausgerüstet sind.

Für diejenigen Haushalte, die eine Waschmaschine besitzen, wird als spezifischer Wasserverbrauch 25 Liter pro Person und Tag angesetzt. Dies entspricht annähernd dem von KRÜSSMANN **) angegebenen Wasserverbrauch von verschiedenen Waschprogrammen (Tabelle 6). Er gilt für einen 4-Personen-Haushalt unter der Voraussetzung eines Anfalls von 0,5 kg Wäsche pro Person und Tag. Obwohl Angaben über Gewohnheiten des Wäschewaschens in privaten Haushalten in repräsentativen Bandbreiten

*) IEA: a. a. O.

**) Krüssmann, H.; u. a.: Versuche zur Reduktion der Haushaltswäsche, Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West, Wäschereiforschung, Krefeld 1981

	%	Energie kWh/kg	Wasser l/kg	Waschmittel g/kg
Kochwäsche	35	0,8	35	65
Heißwäsche	20	0,45	35	65
Pflegeleicht (60 °C)	25	0,95	70	100
Feinwäsche (40 °C)	20	0,4	90	100
	100	0,68	52	79

Tabelle 6:

Bedarfszahlen von Waschprogrammen, 4-Personen-Haushalt, 3,5 kg
Wäsche/Person - Woche

fehlen und daher nicht nachzuweisen ist, ob die von Battelle prognostizierten Daten tatsächlich der Realität entsprechen, sollte die Größenordnung dieser Daten für Überlegungen genügen, ob nicht Trinkwasser für Wäschen durch ein Wasser anderer Beschaffenheit ersetzt werden könnte. Gerade unter dem Gesichtspunkt des Einsatzes von Regenwasser stellt dies eine sinnvolle Überlegung dar. Regenwasser erfordert im Gegensatz zu üblicherweise bereitgestelltem Trinkwasser eine geringere Waschmitteldosierung. Der härtebindende Phosphatanteil könnte vollständig entfallen. Neben der Trinkwassereinsparung wäre ein weiterer Gewinn zu erzielen: die Reduktion der Phosphatfracht, die zur Zeit in den Vorfluter gelangt.

Im Fall des Wasserverbrauchs für die Raumreinigung zeigt Tab. 4, daß hierfür nur ein relativ geringer Anteil am Gesamtwasserverbrauch zu verzeichnen ist. Gegenüber dem Jahre 1950 ist ein Absinken erkennbar, das zukünftig auch weiter anhalten wird. Ursache dafür ist die zunehmende Verwendung von Teppichböden, deren Pflege weniger Wasser erfordert als die früher vorherrschenden Bodenbeläge.

Mengenmäßig anders verhält es sich mit dem Wasserverbrauch zur Beseitigung von Fäkalien und Urin. Der mit ca. ein Drittel erhebliche Anteil am Wassergesamtverbrauch basiert auf durchschnittlichen WC-Benutzungen in Wohnungen zwischen 4 und 6 mal pro Tag und Person *). Zugrunde liegen Wasserbedarfsmengen zwischen 6 und 10 Litern pro Spülvorgang. Eindeutige Angaben über spezifische Spülwasserverbrauchsmengen lassen sich jedoch nur für WC-Spüleinrichtungen mit Spülkasten treffen, deren Wasserbedarf überwiegend 9 Liter beträgt (nachlaufende Wassermenge bis zu 1 Liter). Im Gegensatz dazu ist nicht bekannt, wieviel Wasser für einen Spülvorgang mit Druckspüler im Durchschnitt verwendet wird, da es von der individuellen Betätigung des Druckspülers abhängt. Anzunehmen ist, daß geringere Werte als 6 Liter pro Spülvorgang mit Druckspüler kaum in Wohngebäuden anzutreffen sind. Zu rechnen ist eher mit höheren, wie sich aus einer Untersuchung von GOCKELL **) ableiten läßt.

Aufgrund des hohen Wasserverbrauchs für die WC-Spülung und der bereits aufgezeigten, geringen Anforderung an die Wassergüte, ist der Trinkwassersubstitution im WC-Bereich besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

-
- *) Asplund, L. ; : Water consumption and design requirements
Holmberg, St. ; The National Swedish Institute for Building Research,
Olsson, E. Water Supply and Drainage, Stockholm, 1979
- Ebersbach, K.F. : Grundsätzliche Untersuchung über die Möglichkeit der Abwärmenutzung im Haushalt, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Forschungsbericht BMFT-T 79-92, München 1979, u. a. O.
- Thackray, u. a. : a. a. O.
- **) Gockell, B. : Spüleigenschaften von Klosettanlagen, Forschungsbericht F 5/78, Technische Universität Braunschweig, 1979

Bleibe noch der Anteil des Wasserverbrauchs für die Hausgartenbewässerung und die Autopflege sowie sonstige häusliche Wassernutzungsarten. Aus Tabelle 4 ersieht man, daß sie nur einen äußerst geringen Anteil am Wassergesamtverbrauch in Wohnbauten besitzen und unter quantitativen Aspekten keiner detaillierten Betrachtung bedürfen.

2.3 Möglichkeiten der Trinkwassersubstitution

Vorstehende Ausführungen zeigen, daß nur ein sehr geringer Teil des in Wohnbauten benötigten Wassers Trinkwasserqualität haben muß. Weiterhin ist festzustellen, daß der Wasserverbrauch für diejenige häusliche Wasserverwendungsart mit der geringsten Wasserqualitätsanforderung, nämlich für die Toilettenspülung mit ca. 1/3 des Gesamtverbrauchs einen quantitativ hohen Stellenwert besitzt.

Läßt man vorerst wasserversorgungstechnische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen unberücksichtigt und setzt hypothetisch voraus, daß im Rahmen steigenden Umweltbewußtseins in der Bundesrepublik Deutschland eine zweiseitige Wasserversorgung von der Verbraucherseite her akzeptiert wird, stände einer Trinkwassersubstitution in Wohnbauten nichts entgegen. Um welche Mengen es sich dabei im einzelnen handeln könnte, ergibt sich aus der zu verfolgenden Trinkwasser-Ersatzstrategie. Einerseits wäre es denkbar, Trinkwasser überall dort zu ersetzen, wo es nicht in Verbindung mit der Ernährung steht *). Anderer-

-
- *) Wijntes, W. C. : Different qualities in water supply, 1974, Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Mehrfachnutzung von Wasser in Haushalt und Kleingewerbe, Batterselle-Institut e. V., Frankfurt 1975
- Schnappauff, J. : "Zweierlei Wasser im Haushalt?", Wasserfachliche Aussprachetagung DVGW 1967, Der Sanitärinstallateur, S. 78-85, 4/1968

seits aber auch nur dort, wo kein direkter Körperkontakt mit dem Wasser vorliegt, also schwerpunktmäßig bei der Beseitigung menschlicher Abfallstoffe.

Im Hinblick auf die Mehrfachnutzung von Wasser und der Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung ist nur die zweite Strategie von Interesse. Schlüssig nachgewiesen ist, daß es ohne praktische Bedeutung ist, den gesamten Bedarf an nicht trinkbarem Wasser im Haushalt durch Nutzbarmachung von Regenwasser zu decken *) und weiterhin ist derzeit unbestritten, daß nur in Ausnahmefällen aufbereitetes und unverdünntes - nicht mit andern Wässern gemischtes - Abwasser als Versorgungswasser mit hoher Qualitätsanforderung, wie z. B. zur Körperpflege zum Einsatz gelangen sollte **).

2.4 Einsatz wassersparender Sanitärtechnik

Bevor die vorstehend aufgezeigte Entwicklungsrichtung der Trinkwassersubstitution in Wohnbauten weiter verfolgt wird, ist auch auf wasserverbrauchsreduzierende sanitärtechnische Möglichkeiten hinzuweisen. Nahe liegt, zunächst das häusliche Trinkwassereinsparpotential zu aktivieren, das sich mit Hilfe konventioneller Techniken unter vertretbarem Aufwand eröffnet. Offensichtlicher Vorteil dabei ist der geringere technische Aufwand, da erweiterte Rohrnetze, sowie zusätzliche Wassergewinnungs- und Aufbereitungseinrichtungen entfallen. Außerdem versteht sich von selbst, daß wasserverbrauchsreduzierende Einrichtungen nicht in Konkurrenz zu alternativen Wasserversorgungsmöglichkeiten stehen und sich ein kombinierter Einsatz nicht ausschließt.

*) Dornier System GmbH: Regenwasser-Nutzung, Möglichkeiten und Grenzen im Auftrag des BMFT, Friedrichshafen 1979

***) Müller, W.J.: Nutzung und Wiederverwendung von Abwässern, E. Schmidt Verlag, Bielefeld 1976

Allseits bekannte und häufig beschriebene Schwachstellen der Sanitärtechnik im Rahmen einer sparsamen Wasserverwendung in Wohnbauten sind:

- ungenutzt ausfließendes Wasser bis zum Erhalt der gewünschten Wassertemperatur
- schadhafte Sanitärinstallation
- überhöhte und daher nicht ausreißend zu nutzende Armaturausflußströme
- konstruktiv bedingte, hohe Wasserbedarfsmengen zur Beseitigung von Fäkalien und Urin
- Füllmenge von Badewannen.

Ohne hier auf Einzelheiten einzugehen, kann festgestellt werden, daß es mit bekannten Verfahren und Konstruktionen der Sanitärtechnik möglich ist, vorstehende Schwachstellen weitgehend zu beseitigen. Dabei bleibt der hygienische Standard bestehen, teilweise ergäbe sich sogar eine Komforthöhung. Die bloße Existenz dieser Möglichkeiten darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß ihre Realisierung mit einem hohen kostenmäßigen Aufwand verbunden ist. So bedarf es keiner näheren Betrachtung, daß z. B. durch den Einsatz thermostatischer Mischbatterien bzw. durch elektronisch gesteuerte berührungslose Sanitärarmaturen diejenigen Wasser- und Energieverluste verringert werden, die aufgrund vorherrschender Armaturenausstattung in Wohngebäuden anzutreffen sind. Für den privaten Verbraucher ist die Anschaffung derartiger Armaturen unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten aber ohne Anreiz. Gleiches gilt auch für die am Markt erhältlichen, mit Prüfzeichen versehenen und für den häuslichen Bereich relevanten wassersparenden Konstruktionen für den WC-Bereich. Dabei handelt es sich um Klosett-kombinationen, bei denen der WC-Körper und der Spülkasten eine feste Baueinheit bilden. Zwar benötigen derartige Konstruktionen gegenüber konventionellen WC-Anlagen mit Kastenspülung ca. 1/3 weniger Spülwasser, sie sind jedoch um ein vielfaches teurer.

Ebenso wenig sinnvoll wäre es unter wirtschaftlichen Aspekten bei zentraler Wasserversorgung Wasserverluste bis zum Erhalt des Warmwassers zu minimieren. Zum einen steht die Wassereinsparung in Konkurrenz zum zusätzlichen Energieverbrauch, der sich ergibt, wenn ständig Warmwasser an der Zapfstelle bereitgestellt wird, zum anderen wäre es vom installationstechnischen Aufwand völlig unrealistisch, bestehende Warmwasserverteilsysteme hinsichtlich der Wasserausfluß-Verlustminimierung zu sanieren.

Während warmwasserversorgungstechnisch bedingte Wasserverluste auch zukünftig durch verstärkte Wärmedämmmaßnahmen nur unwesentlich verringert werden dürften, kann angenommen werden, daß im Bereich wassersparender Sanitärarmaturen und WC-Konstruktionen in absehbarer Zeit mit Änderungen zu rechnen ist.

So dürften wasserverbrauchsreduzierende Elektronikarmaturen im Rahmen des allgemeinen Einzugs der Mikroelektronik preiswerter werden und auch in Wohnbauten künftig verstärkt anzutreffen sein und im Fall handelsüblicher WC-Anlagen ebenfalls wassersparende Bauelemente unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen zum Einsatz gelangen.

Anlaß zur letzteren Feststellung geben eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit dem Spülwasserbedarf vorherrschender WC-Anlagen in jüngster Zeit beschäftigen *). Unter Verwendung marktgängiger WC-Druckspüler und WC-Spülkästen und der Zugrundelegung praxisgerechter Fließwegverhältnisse in WC-Anschlußleitungen konnte dabei nachgewiesen werden, daß ein Teil der handelsüblichen, also in Wohnbauten vorhandenen Klosetttypen, die derzeit vorgeschriebenen Normspülwassermengen von 9 Litern nicht benötigen und ausreichende Spülwirkungen mit reduzierten Spülvolumen erreichen.

*) Knoblauch, H.J.: Klosettanlagen, Neue Kriterien für die Spülwirkung, Technische Fachhochschule Berlin, 1980
Grasmeier, K.: Einschränkung des Wasserverbrauchs (Spülwasserverbrauch von Klosettanlagen), Forschungsbericht F 1652, BMBau, Bonn 1980, u. a.

KNOBLAUCH stellt in diesem Zusammenhang fest, daß bei günstiger Geometrie des Klosettkörpers Spülwassermengen von 4 Litern zur Ausspülung von fäkalienähnlichem Ersatzspülgut möglich sind. Auch die Ausschwemmung in den angeschlossenen Leitungen soll dabei gewährleistet sein, so daß Befürchtungen im Hinblick auf unzureichende Durchspülung vorhandener Schmutzwasserleitungen nicht zu bestehen brauchen. Dies bedeutet gegenüber heute üblichen Spülwassermengen mehr als eine Halbierung des Verbrauchs und würde sich merklich auf den Gesamtwasserverbrauch privater Haushalte niederschlagen.

Nicht nur deutsche Untersuchungsergebnisse, sondern auch ausländische *) deuten darauf hin, daß der Grad der zu erzielenden Spülwasserreduktion im wesentlichen von den hydraulischen Eigenschaften des Klosettkörpers abhängt.

Diese Thematik sollte weiter erforscht werden, um damit Ansatzpunkte für die wassersparende WC-Gestaltung aufzuzeigen. Zu erwarten ist, daß damit die Grundvoraussetzung für eine einfache und wirtschaftlich praktikable Lösung zur nennenswerten Trinkwassereinsparung in Wohnbauten zu schaffen ist.

3 Einflußgrößen auf die Nutzbarmachung häuslicher Abwässer

Um beurteilen zu können, ob sich häusliche Abwässer unter vertretbarem Aufwand für den geplanten Verwendungszweck nutzbar machen lassen und welche Abwasserarten sich dafür am besten anbieten, ist es Grundvoraussetzung, zu wissen, wie sich der häusliche Abwasseranfall entsorgungstechnisch so wie mengen- und gütemäßig präsentiert. Dabei ist vorab zu differenzieren zwischen Regenwasser und verbrauchtem, d. h.

*) Winter, E.: The performance of W. C. bowls of the wash-down-type, laboratory tests and performance in actual use, Standard Inst. of Israel, 7. progress report, 1977, u. a. O.

einmal genutztem Versorgungswasser. Unabhängig vom Verschmutzungsgrad und damit einhergehend vom Ort des Anfalls wird letzteres allgemein als Schmutzwasser bezeichnet.

Regen- und Schmutzwasser werden in Wohnbauten in genormten Entwässerungssystemen abgeleitet und bis auf Ausnahmen (örtliche Abwasserbeseitigung) außerhalb des Gebäudes dem öffentlichen Abwasserbeseitigungssystem zugeführt *). Dieses kann entweder als Mischsystem, d. h. Schmutz- und Regenwasser werden in einem gemeinsamen Abwasserkanalnetz abtransportiert oder aber als Trennsystem ausgeführt sein. Mit Einleitung des häuslichen Abwassers in die Misch- oder Trennkanalisation verändert sich naturgemäß der Ursprungscharakter, da auch andere Abwasserarten, wie beispielsweise gewerbliche und industrielle Abwässer bzw. Regenwasserabflüsse von Straßen, Höfen etc. hineingelangen.

Unterschieden werden können somit weiterhin "reine" häusliche Abwässer, die dezentral, also in Wohnbauten anfallen, und "gemischte" Abwässer, die zentral in Sammelkläranlagen anfallen, dort einer Behandlung unterzogen werden und danach in der Regel dem natürlichen Wasserkreislauf zurückgegeben werden.

Anhand der zur Verfügung stehenden Literatur werden die Charakteristika von örtlich und zentral anfallenden Abwässern unter dem Gesichtspunkt der Weiterverwendung als nichttrinkbares Wasser, nachfolgend Betriebswasser genannt **), beschrieben.

-
- *) DIN 1986: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, September 1978
- ***) DIN 4046: Fachausdrücke und Begriffserklärungen, Wasserversorgung, April 1960 und Entwurf Oktober 1980

3.1 Menge und Beschaffenheit des Schmutzwassers

Zunächst soll kurz auf zentral anfallende Schmutzwässer eingegangen werden. Mengenmäßige Aspekte sind dabei weniger von Interesse, denn bei der zu untersuchenden Trinkwasser-Ersatzstrategie ist nur ein Teil des häuslichen Wasserbedarfs auf Schmutzwasserbasis zu ersetzen. Demgegenüber tritt jedoch fast das gesamte, einmal genutzte Versorgungswasser in Sammelkläranlagen wieder auf. Größenvorstellungen darüber vermittelt Tabelle 7. Häusliche Schmutzwasser-Anfallmengen sind aus Tabelle 8 zu entnehmen.

Gemeindegröße in 1000 E	angeschl. Einw. in 1000 E	städtisches Schmutzwasser	
		in 1000 m ³ /d	in l/Ed
>100	16 076,2	3 166,4	197
50 ./ 100	3 430,0	653,2	190
20 ./ 50	5 654,6	1 009,2	178
10 ./ 20	3 545,6	646,4	182
5 ./ 10	3 518,0	593,2	169
2 ./ 5	3 053,0	473,8	155
< 2	2 354,5	317,8	135
Bundesgebiet 1969	37 631,9	6 860,0	182

Tabelle 7:

Abwasseranfall von Haushalt und Kleingewerbe (städt. Schmutzwasser) in öffentlichen Kläranlagen *)

*) Abwassertechnische Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band I, Vereinigung: a. a. O.

	Gebäudetyp/Baujahr/Wohnlage	Schmutzwasser (l/dP)
1968/69 *)	Ein- und zweigeschossige Bauten/ vor 1900/Vorortkern	63
	Mehrfamilienhäuser/1919-1948	84
	Mehrfamilienhäuser/vor 1918/ verschiedene Lagen	91
	Mehrgeschossige Wohnhäuser/ vor 1900/Nähe Innenstadt	100
	Mehrgeschossige Wohnhäuser/ 1961-1966/Nordweststadt	115
	Mehrgeschossige Sozialbauten/ 1949-1957/verschiedene Lagen	116
	Mehrgeschossige Wohnhäuser/ 1949-1957/Innenstadt	124
	Wohnhochhäuser/1961-1966	127
	Appartementhäuser mit 1-2 Zim- mer-Wohnungen/überwiegend 1961-1966	161
	Wohnhäuser mit Komfortwohnun- gen/67 % 1919-1957; 33 % 1961- 1966/bevorzugte Wohnlage	170
1972-76 **)	Mehrfamilienhäuser mit Kom- fortwohnungen/bevorzugte Wohn- lage	155
1975 ***)	Mehrfamilienhaus	143

Tabelle 8: Schmutzwasseranfall nach Gebäudetypen

- *) Asemann, K.; Wirth, H.: Der Wasserverbrauch Frankfurter Privathaushalte in Gegenwart und Zukunft; Hrsg. Stadtwerke und Statistisches Amt der Stadt Frankfurt/Main, 2. ergänzte Auflage 1974, Frankfurt/Main 1974
- ***) Tessendorf, H.: Ermittlung des Wasserbedarfs als Planungsgrundlage zur Bemessung von Wasserversorgungsanlagen, Teil 1, Mehrfamilienhäuser mit Komfortwohnungen in bevorzugter Wohnlage, DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 19, ZfGW-Verlag, Frankfurt 1978
- ***) Ebersbach, K.F.: a.a.O.

Bei der Zusammensetzung von zentral anfallenden Schmutzwässern kann zwischen gelösten und ungelösten Substanzen unterschieden werden. Sie setzen sich im wesentlichen aus den mineralischen Stoffen zusammen, die bereits im Versorgungswasser enthalten sind und aus den Substanzen, die durch den einmaligen Gebrauch in das Wasser hineingelangen und dadurch den Charakter des gebrauchten Wassers als Schmutzwasser bestimmen.

Naturgemäß haben zentral anfallende Schmutzwässer eine breite Verunreinigungspalette, deren wesentliche Charakterisierung in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflußparameter in der Literatur vorliegt *).

Im Hinblick auf die Nutzbarmachung von zentral anfallenden Schmutzwässern ist jedoch deren Verunreinigung weniger vor, sondern vielmehr nach der Reinigung in Kläranlagen von Bedeutung. Dabei werden physikalische, chemische und biologische Reinigungsverfahren unterschieden.

Typische Analysedaten zur Wasserbeschaffenheit nach einer biologischen Klärung (Mittelwerte) sind in Tabelle 9 beispielhaft dargestellt. Sie stammen von RÜFFER **) und sind einem denkbaren Qualitätsstandard für industrielles Versorgungswasser sowie den bestehenden Anforderungen an Trinkwasser gegenübergestellt.

Die Gegenüberstellung zeigt, daß eine direkte Verwendung von biologisch gereinigtem Schmutzwasser als industrielles Brauchwasser aufgrund unzureichender Qualität nicht möglich ist. Gleiches würde auch für WC-Spülwasser gelten. Eine weitere Behandlung wäre somit unumgänglich.

Verfahrenstechniken dafür sind in der Literatur ausreichend

*) Abwassertechnische Vereinigung, Bonn: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band I-III, W. Ernst u. Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1973, 1975, 1978

**) Ruffer, H.: Industriebrauchwasser aus biologisch gereinigtem Abwasser, Chemische Rundschau, 42, 1979
Griesing, K.H.; Slomka, T.

	Biologisch gereinigtes Abwasser	Industrie- brauchwasser	Trinkwasser
KMnO ₄ -V [mg/l]	< 80	< 30	< 15
BSB ₅ [mg/l]	< 20	< 5	< 1
CSB [mg/l]	< 80	< 35	< 20
TOC [mg/l]	< 30	< 15	< 5
N [mg/l]	< 40	< 25	(0)
Fe [mg/l]	< 0,5	< 0,1	< 0,1
Mn [mg/l]	0,2	< 0,1	< 0,05
P [mg/l]	10	< 1	0,5
pH	7	ca. 7	7-8
ges. Schwebstoff [mg/l]	10	0	0
UV-Extinktion (260 mm)	0,4	< 0,1	0
Trübung TE(F)	25	< 5	0

Tabelle 9:

Typische Analysedaten von biologisch gereinigtem Abwasser, Industrie-
brauchwasser (hier vorgeschlagene Qualität) und Trinkwasser *)

beschrieben *). Grundsätzlich ist dazu festzustellen, daß mit ihnen Wasser
höchster Qualität zurückgewonnen werden kann. Die erfolgreiche Aufberei-
tung von kommunalem Abwasser zu Trinkwasser beweist dies ***).

-
- *) Ruffer, H.: a. a. O.
- **) Kuiper, D.: Domestic waste water re-use-aspects of the treat-
ment system, Water Research, Nr. 7, S. 655-675,
Elmsford N. Y., 1975
- Niemitz, W. Amerikanische Erfahrungen mit der weitergehen-
den Abwasserreinigung aus deutscher Sicht, GWF
112, 556-561, 1971
- Tsuge, H.: Reclamation of municipal sewage by reverse
Mori, K. osmosis, Desalination 23, S. 123-132 u. a., Am-
sterdam 1977, u. a. O.
- ***) Clayton, R. J.: The water reclamation work at Windhoek (South
Afrika), Aqua, Nr. 3, S. 14-17, 1972
- Stander, G. J.: The reclamation of potable water from wastewater.
Vuuren, K. R. J. van J. WPCF, H. 3, S. 355-367, 1969

Festzuhalten bleibt, daß die Nutzbarmachung von zentral anfallendem Schmutzwasser unter aufbereitungstechnischen Gesichtspunkten keine unüberwindliche Barriere darstellt.

Auch scheinen die Wassergewinnungskosten im vertretbaren Rahmen zu liegen. So wird von RÜFFER für die Aufbereitung von biologisch gereinigtem Abwasser zu industriellem Brauchwasser in Abhängigkeit unterschiedlicher Verfahren unter Einbeziehung von Investitionskosten bzw. des Kapitaldienstes der Betriebs- und Personalkosten für einen Kubikmeter gereinigtes und entkeimtes Brauchwasser eine Preisbandbreite von 0,092 DM bis 0,015 DM angegeben. Vorstehende Kosten sollen als grobe Richtwerte gelten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sie infolge fehlender Substantiierung nicht nachvollziehbar sind und sich darüberhinaus aufgrund divergierender Rahmenbedingungen auch anders darstellen können.

Verläßt man den Bereich des zentralen Schmutzwasseranfalls und sucht unter dem Aspekt der Minimierung des Aufbereitungsaufwandes nach gering verunreinigten Schmutzwässern, so ist der dezentrale Schmutzwasseranfall an den einzelnen Wasserverbrauchsstellen von Bedeutung. Dabei handelt es sich vornehmlich um die Abwässer aus Badewannen, Duschen und Waschmaschinen, die für eine innerhäusliche Weiterverwendung am geeignetsten sind *). Neben der Wasserbeschaffenheit sprechen dafür auch die anfallenden Wassermengen. Sie entsprechen ungefähr dem WC-Spülwasserbedarf.

Letzteres ist jedoch nur tendenziell bekannt. In der Bundesrepublik Deutschland fehlen detaillierte Untersuchungen über den zeitlichen und mengenmäßi-

*) Robert Bosch GmbH: a. a. O.

Hypes, W. D., et. al.: Chemical Physical and Microbiological Characteristics of Typical Bath and Laundry Waste Water. NASA Tech. Note, NASA TN D-7566, Chem. Abs., 81, u. a., 1974

gen Abwasseranfall aus Badewannen, Duschen und Waschmaschinen. Es lassen sich lediglich häusliche Wasserverbrauchsprofile finden, die im Zusammenhang mit der Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwässern entstanden sind *). Dabei werden Badewannen-, Dusch- und Waschmaschinenabwässer nicht getrennt erfasst, sondern stehen immer in Verbindung mit Küchen-Abwässern. Abbildung 1 zeigt dies exemplarisch.

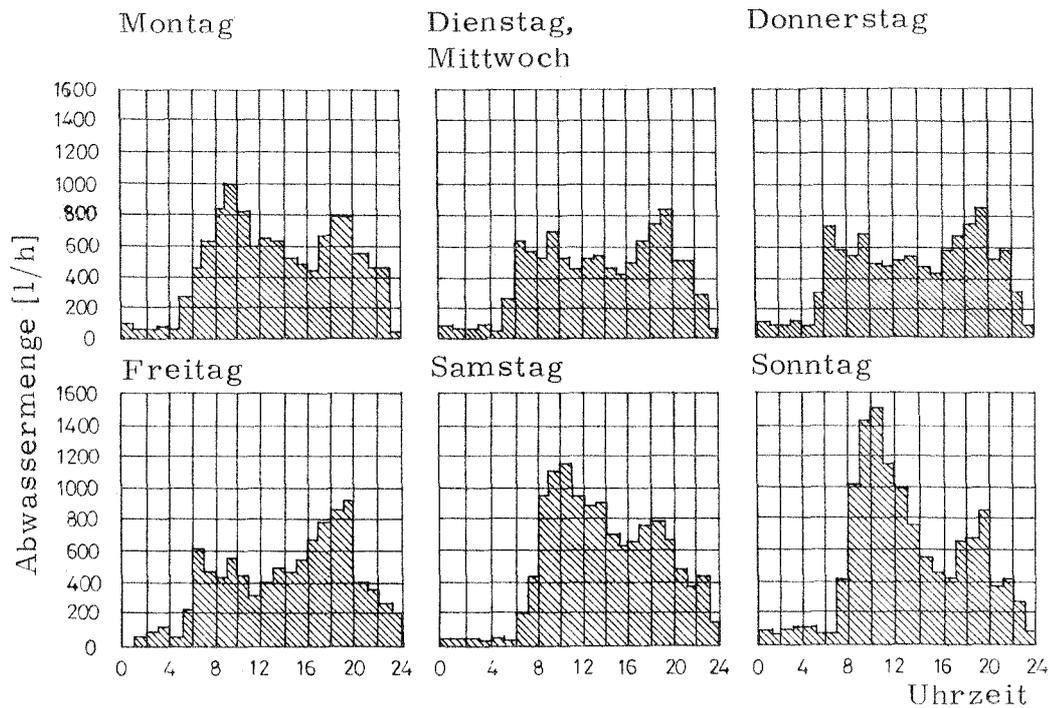


Abb. 1:

Tagesgang der mittleren Abwassermenge zur Wärmerückgewinnung, Waschmaschine, Küchenspüle, Badewannen und Waschbecken, 45 Wohneinheiten, 106 Personen nach EBERSBACH

-
- *) Bouillon, H. : Kennzeichnung des Verbraucherverhaltens durch Analyse des Leistungsgangs, Schriftenreihe der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Band 15, S. 121-130, Springer Verlag 1982
- Ebersbach, K.F. u. a. : a. a. O.
- Ebersbach, K.F. : Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwasser; Grundlagen und Systeme, VDI-Berichte Nr. 337, VDI-Verlag, Düsseldorf 1979
- Schöffel, H. : Energieeinsparende Warmwasserbereitung durch Wärmerückgewinnung, BBC-Nachrichten, Jahrgang 57, Heft 8/9, S. 497-502 u. a.

In Abbildung 1 ist der Verbrauchsanteil für die WC-Spülung nicht mit enthalten. Er wurde getrennt ermittelt (Abb. 2). Da jedoch keine separaten Verbrauchsangaben über Waschmaschinen- und Badewannenabwässer vorliegen, können keine verwertbaren Angaben gewonnen werden.

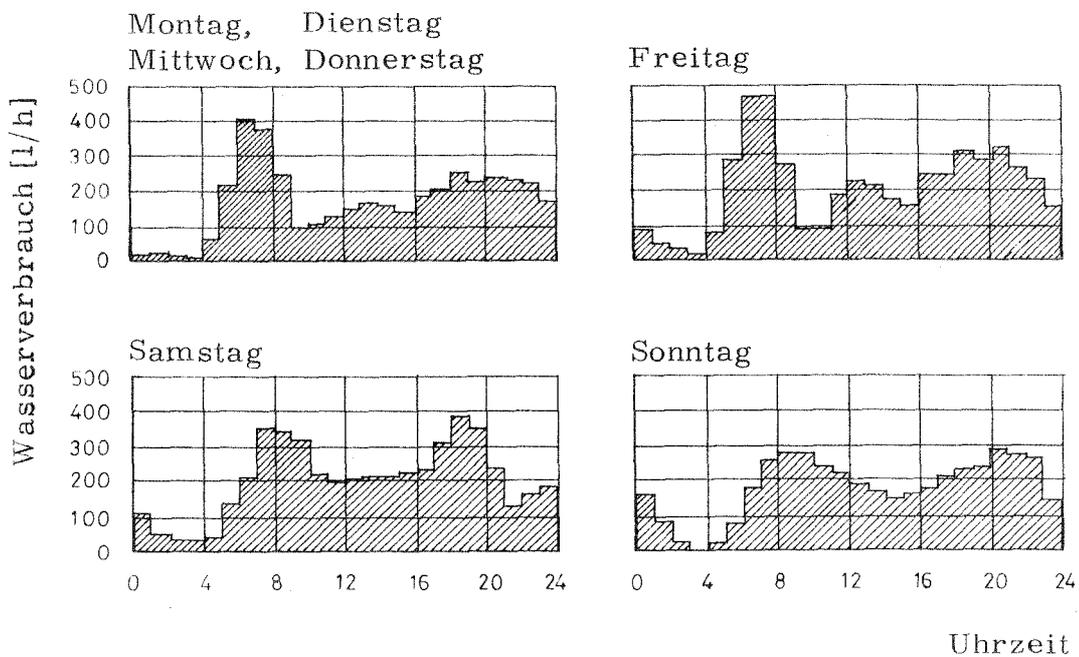


Abb. 2:

Tagesgang Kaltwasserverbrauch für Toiletten, 45 Wohneinheiten, 106 Personen nach EBERSBACH

Auch über die Beschaffenheit einzelner, häuslicher Abwässer liegen in der Bundesrepublik nur wenig veröffentlichte Erkenntnisse vor. Zwar wird in der Untersuchung von BOSCH diese Thematik behandelt, dabei jedoch lediglich festgestellt, daß Abwässer aus der Badewanne, der Dusche und der Waschmaschine durch Seife, Badezusätze und Waschmittel sowie andere Rei-

nigungsmittel trübe und leicht parfümiert sind. Daraus wird gefolgert, daß diese Eigenschaften sich keineswegs nachteilig auf eine Weiterverwendung als WC-Spülwasser auswirken dürften. Spezielle Angaben über die chemische, physikalische und bakteriologische Beschaffenheit dieser Abwässer werden jedoch nicht gemacht *).

Konkrete Hinweise darüber geben eine Reihe ausländischer Untersuchungen **), deren Ergebnisse in den Tabellen 10 - 12 zusammengestellt sind. Es zeigt sich, daß die vielseitige Verschmutzung des häuslichen Abwassers un-

-
- *) Robert Bosch GmbH: a. a. O.
- ***) Withee, C. C. ; : Segregation and reclamation of household wastewater at an individual residence, Master-Thesis, Colorado State University, 1975
- Felton, R.
- Olsson, E., et. al. : Household Waste Water. The National Swedish Institute for Building Research, Report 24, UDC 628.31, 1968
- Ligmann, K., et. al. : Household Wastewater Characterization. Jour Environ. Eng. Div., EE1, 201, Feb. 1974
- Winneberger, J. H. T. : Manual of grey water treatment practice (Leitfaden der Praxis der "Grau"-Wasserbehandlung) Ann Arbor Science Publishere Inc., Ann Arbor, Mich. 1976
- Bennett, E. R. ; : Individual Home Wastewater Characterisation and Treatment. Report OWRT Project Nr. A021-COLO, Environmental Resources Centre, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 1975
Linstedt, K. D.
- Siegrist, R. ; et. al. : Characteristics of Rural Household Wastewater. Jour. Environ Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engr., 102, EE8, 533, Juni 1976
- Hypes, W. D. ; et. al. : The Chemical/Physical and Microbiological Characteristics of Typical Bath and Laundry Wastewaters. National Aeronautics and Space Administration, NASA TN D-7566, Washington, 1974
- Hypes, W. D. : Characterisation of Typical Household Grey Water. In "Manual of Grey Water Treatment Practice. J. H. T. Winneberger, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich. 1974

Inhaltstoffe	Olsson	Ligman	Felton	Bennett	Laak	Siegrist
BOD ₅	81	186,7	100	100	192	170
COD	-	-	238	220	282	-
KM _n O ₄	113	-	-	-	-	-
Tot. -P	9,7	-	0,2	0	1	2
Tot. -N	4,8	-	0	0	2	17
TS	355	445,2	339	339	-	250
TVS	161	158,0	20	20	-	190
TSS	48	119,7	128	27	-	120
TVSS	32	23,9	128	27	-	85
TOC	-	-	-	21	-	100

Tabelle 10: Angaben zur Beschaffenheit von Badewannenabwasser [mg/l]

Inhaltstoffe	Olsson	Ligman	Felton	Bennett	Laak	Siegrist
BOD ₅	353	254,3	202	200	282	150-380
COD	-	-	628	550	725	-
KM _n O ₄	824	-	-	-	-	-
Tot. -P	153	59,8	14,3	14	171	21-57
Tot. -N	23,5	-	4	5	12	6-21
TS	2235	1056,2	813	760	-	410-1340
TVS	823	380	141	122	-	180-520
TSS	235	194,5	78	78	-	120-280
TVSS	118	107,7	78	74	-	69-170
TOC	-	-	-	82	-	100-280

Tabelle 11: Angaben zur Beschaffenheit von Waschmaschinenabwasser [mg/l]

Inhaltstoffe	Olsson	Ligman	Felton	Bennett	Laak	Siegrist
BOD ₅	333	-	1082	1082	676	1460
COD	-	-	1657	1652	1380	-
KM _n O ₄	667	-	-	-	-	-
Tot. -P	5,9	-	0,8	1	11,7	74
Tot. -N	11,8	-	114	114	6	74
TS	706	-	1328	1328	-	2410
TVS	530	-	943	943	-	1710
TSS	255	-	209	209	-	720
TVSS	235	-	209	209	-	670
TOC	-	-	-	-	-	880

Tabelle 12: Angaben zur Beschaffenheit von Küchenabwasser [mg/l]

BOD ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf (biochemical oxygen demand) in 5 Tagen, als Maß für den Gehalt an biologisch leicht abbaubaren, organischen Stoffen
COD	Chemischer Sauerstoffbedarf (chemical oxygen demand) als Maß für den Gehalt an biologisch leicht und schwer oder nicht abbaubaren, organischen Stoffen
KM _n O ₄	Kaliumpermanganatverbrauch, anderes Verfahren für den chemischen Sauerstoffbedarf. Da durch KM _n O ₄ nur einige organische Verbindungen oxydiert werden, ist es nicht so weitgehend wie COD
Tot. -P	Gehalt an Phosphor, analytisch bestimmt als Phosphorsäure
Tot. -N	Gehalt an Stickstoff, Ammonium (NH ₄), organischem Stickstoff (in Bindung mit Kohlenstoff, z. B. Harnstoff), Nitrit (NO ₂) und Nitrat (NO ₃)
TS	Gesamtmenge der Feststoffe (total solids), Menge an Schwebstoffen und gelösten organischen Stoffen, sowie Salzen, die nach einer Verdunstung des Wassers zurückbleiben.
TSS	Gesamtmenge der gelösten Feststoffe (total suspended solids), Teilmenge von TS
TVS	Gesamtmenge der organischen Feststoffe (total volatile solids), die sich verflüchtigen, wenn die Gesamtmenge der Feststoffe bei 550 -600° C geglüht wird. Der Rückstand besteht aus anorganischen Stoffen.
TVSS	Gesamtmenge der organischen gelösten Feststoffe (total volatile suspended solids). Teilmenge von TVS.
TOC	Gesamtmenge des organischen Kohlenstoffs (total organic carbon)

möglich nach dem Vorhandensein bestimmter Einzelstoffe charakterisiert werden kann. Zur Beurteilung sind vielmehr Stoffgruppen zugrunde zu legen, mit denen physikalische und chemisch-biologische Eigenschaften des verschmutzten Wassers charakterisierbar sind. Da die Stoffgruppen in den einzelnen Untersuchungen unterschiedlich ausgewählt wurden, sind Vergleiche nur bedingt möglich. Im Falle der Vergleichsmöglichkeiten zeigen sich erhebliche Schwankungsbreiten. Sie sind einerseits auf unterschiedliche Seifen, Waschmittel etc. zurückzuführen und resultieren andererseits aus mengenmäßigen Unterschieden der untersuchten Proben.

Allgemeingülte Aussagen über die Eigenschaften gemischter Abwässer aus Badewannen, Duschen und Waschmaschinen können somit nur ihrer Tendenz nach getroffen werden. Gegenüber dem unverbrauchten Versorgungswasser ergeben sich dabei nennenswerte Abweichungen in Bezug auf Stickstoffverbindungen, Phosphaten und Sulfaten etc. Auch divergiert der organische Kohlenstoffgehalt, die Farbe, die Trübung und der Anteil der Feststoffe. Wie von PHYPES *) im einzelnen nachgewiesen, ergeben sich auch erhebliche Schwankungen bei Verwendung unterschiedlicher Waschmittel.

Ferner zeigen Keimzahlbestimmungen **) (Bacterium Coli: $1,6 \cdot 10^6$ - $2,4 \cdot 10^6$ je 100 ml) sehr große Abweichungen zum Wasser mit Trinkwasserqualität. Festgestellt wird in diesem Zusammenhang eine erhebliche Keimzahlerhöhung bei Sammlung von Abwässern aus Waschmaschinen, Badewannen in den ersten drei Tagen.

Weiterhin kann bei Sammlung dieser Wässer beobachtet werden, daß ein anfänglicher waschküchenähnlicher Geruch nach sechs Tagen einem unan-

*) Hypes, W. : a. a. O.
**) Robert Bosch GmbH: a. a. O.
Bennett, E. R. ; a. a. O.
Siegrist, R. :
Hypes, W.: a. a. O. u. a.

genehmen Geruch weicht, der zur Belästigung führt.

Festzuhalten ist aus vorstehenden Ausführungen, daß unbehandeltes Abwasser aus dem Badezimmer und der Waschmaschine sich nicht für eine direkte Weiterverwendung anbietet. Eine vorhergehende Aufbereitung ist unter ästhetischen und bakteriologischen Gesichtspunkten unumgänglich. Neben einer Verbesserung der physikalischen Eigenschaften (Feststoffgehalt, Klarheit, Geruch etc.) sollte dazu aufgrund der festgestellten hohen Keimzahlen auch eine Desinfektion gehören. Obwohl in der Literatur *) vereinzelt argumentiert wird, daß eine Desinfektion aufgrund des fehlenden Körperkontaktes im Fall der Verwendung von Wasch- und Badeabwasser als WC-Spülwasser nicht notwendig ist, wird diese aus Sicherheitsgründen doch in der Mehrzahl angeraten.

Welche Chemikalien in welchen Dosen sich dafür am besten anbieten und wie apparative Einrichtungen zur Sammlung aussehen könnten, die Bade- und Waschmaschinenwasser von ungewünschten Substanzen befreien, wird an anderer Stelle dargestellt.

3.2 Menge und Beschaffenheit des Regenwassers

Überlegungen zur Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung müssen sich zunächst daran orientieren, mit welchen abfließendem Regenwassermengen zu rechnen ist und ob sich diese unter wasser-gütemäßigen Aspekten für den vorgesehenen Verwendungszweck unter vertretbarem Aufwand nutzbar machen lassen.

Zu unterscheiden ist:

- Regenwasser, das einer zentralen Sammelstelle (am Ende der Regenwasserkanalisation) und
- Regenwasser, das einer örtlichen Sammelstelle (im Haus oder auf dem Grundstück)

zugeführt wird.

*) Robert Bosch GmbH: a. a. O.

Hinsichtlich zum Abfluß gelangender Niederschläge ist festzustellen, daß diese Thematik in der Literatur bislang nur vereinzelt unter dem Gesichtspunkt der Nutzbarmachung als häusliches Betriebswasser behandelt wurde. Im Gegensatz dazu liegen eine Fülle von Untersuchungen vor, die sich mit Fragen des maßgebenden Abflusses für die Dimensionierung der Regenwasserkanalisation beschäftigen *). Die dort aufzufindenden Abflußbeiwerte (Verhältnis des abfließenden Regenwassers zum niedergefallenen)(Tabelle 13) sind jedoch nur im Hinblick auf den grundsätzlichen Einfluß unterschiedlicher Sammelflächen auf den abflußfähigen Niederschlag von Interesse, lassen jedoch keine Aussagen über spezifische Regenwassermengen zu, die über längere Zeiträume zum Abfluß gelangen.

Metall- und Schieferdächer	$\eta = 0,95$
Gewöhnliche Dachziegel und Dachpappe	$\eta = 0,90$
Holzzement-, Flachdächer	$\eta = 0,50-0,70$
Asphaltstraßen, Fußwege (dichte Oberfläche)	$\eta = 0,85-0,90$
Pflaster	$\eta = 0,75-0,85$
Reihenpflaster (offen)	$\eta = 0,25-0,60$
Schotterstraßen und Kleinpflaster	$\eta = 0,25-0,60$
Kieswege	$\eta = 0,15-0,30$
unbefestigte Flächen, Bahnhöfe	$\eta = 0,10-0,20$
Park- und Gartenflächen	$\eta = 0,05-0,10$

Tabelle 13:

Abflußbeiwerte von verschiedenen Flächen bei Regen mit gleichbleibender Stärke *)

*) Abwassertechnische a. a. O.
Vereinigung:

Angaben über mittlere, auf ein Jahr bezogene Abflußbeiwerte sind in den Untersuchungen von DORNIER *) und LAMBERS **) zu finden. DORNIER schätzt dabei, daß der auf ein Jahr bezogene, durchschnittlich in die Trennkanalesation gelangende, somit von allen entwässerten Flächen abfließende Teil des Gesamtniederschlags aufgrund von Benetzungsverlusten, Verdunstung, Zugrichtung des Regens etc. etwa 65 % beträgt, d. h. ein mittlerer Abflußbeiwert von 0,65 anzusetzen ist. Dabei versteht sich von selbst, daß dieser Wert nur einen groben Anhalt bieten kann und mit anderen Werten zu rechnen ist, wenn andere Niederschlags- und Flächencharakteristika zugrundegelegt werden.

Mit einer theoretischen Bandbreite des Abflußbeiwertes von 0,40 bis 0,80 dürfte das Spektrum potentieller Möglichkeiten erfaßt sein.

Im unteren Bereich liegen darin die von LAMBERS für bekieste und unbekierte Dächer angegebenen Abflußwerte (0,40 und 0,50).

Zum Entstehen der von DORNIER und LAMBERS angegebenen Werte ist festzustellen, daß sie einerseits auf theoretischen Überlegungen für das Trockenjahr 1959 basieren *) bzw. durch experimentelle Untersuchungen an Dachmodellen und bestehenden Dächern für das Jahr 1977 **) in Westfalen (Burgsteinfurt) gewonnen werden konnten.

*) Dornier System a. a. O.
GmbH:

**) Lambers, J. : Ausreichend für WC und Waschmaschine, Regenwassererfassung mit Eigengewinnungsanlage, Sanitär- und Heizungstechnik, 11, 1981

Die geringe Differenz zwischen den mittleren jährlichen Abflußbeiwerten für bekieste Flachdächer (0,40) und unbekiesten Schrägdächern (0,50) wird mit Erstaunen betrachtet. Eine Beurteilung dieser Daten kann aufgrund fehlender Vergleichsmöglichkeiten jedoch nicht durchgeführt werden. In noch stärkerem Umfang gilt das auch für die vermeintliche Unvereinbarkeit der Größenordnung der von DORNIER und LAMBERS angegebenen Werte. Dabei verwundert, daß ein mittlerer, spezifischer Abflußbeiwert, in einem Trockenjahr ermittelt und auf eine gesamt zu entwässernde Fläche bezogen, größer sein soll, als ein durchschnittlicher Abflußbeiwert aus einem Normal-Niederschlagsjahr von Dächern.

Obwohl die vorliegenden Angaben nicht genügen, um gesicherte Aussagen über Abflußbeiwerte zu treffen, kann angenommen werden, daß zwischen anfallendem und abfließendem Niederschlag eine erhebliche Differenz besteht.

Um so überraschender ist, daß in jüngster Zeit erschienene Veröffentlichungen zur privaten Regenwassernutzung auf diese Problematik nicht eingegangen und als selbstverständlich vorausgesetzt wird, daß die anfallende Niederschlagsmenge annähernd gleich der Abfließenden ist *).

Um auf theoretischem Weg ein breites Spektrum potentieller Werte für gewinnbare Regenwassermengen zu ermitteln, erscheint es angebracht, sowohl Abflußbeiwerte als auch jährliche Gebietsniederschläge bandbreitenmäßig zu erfassen. Gleiches gilt auch für spezifische Regenwasser-Auffanggesamtflächen (Dachflächen, Verkehrsflächen etc.) auf kommunaler Ebene, um damit unterschiedliche Regenwassermengen in den Regenwasserkanalisationen zu bestimmen.

*) Bredow, W.: Regenwasser-Sammelanlage - Eine Bauanleitung -, Öko-Buchverlag, Kassel 1981

Vorstehende Zusammenhänge im Hinblick auf gewinnbare Regenwassermengen aus der Trennkanalisation und von Dachflächen von Wohngebäuden grafisch verarbeitet, zeigen die nachfolgenden zwei Abbildungen (Abbildung 3 und 4).

Aus Abbildung 3 ist zu ersehen, daß es bei bestimmten Flächencharakteristika und jährlichen Gebietsniederschlägen möglich ist, ein Drittel des häuslichen Wasserbedarfs zu decken, wenn pro Person eine bestimmte Sammelfläche vorhanden ist. Diese ist aus Abbildung 4 zu entnehmen. Folgt man in diesem Zusammenhang der Festlegung von

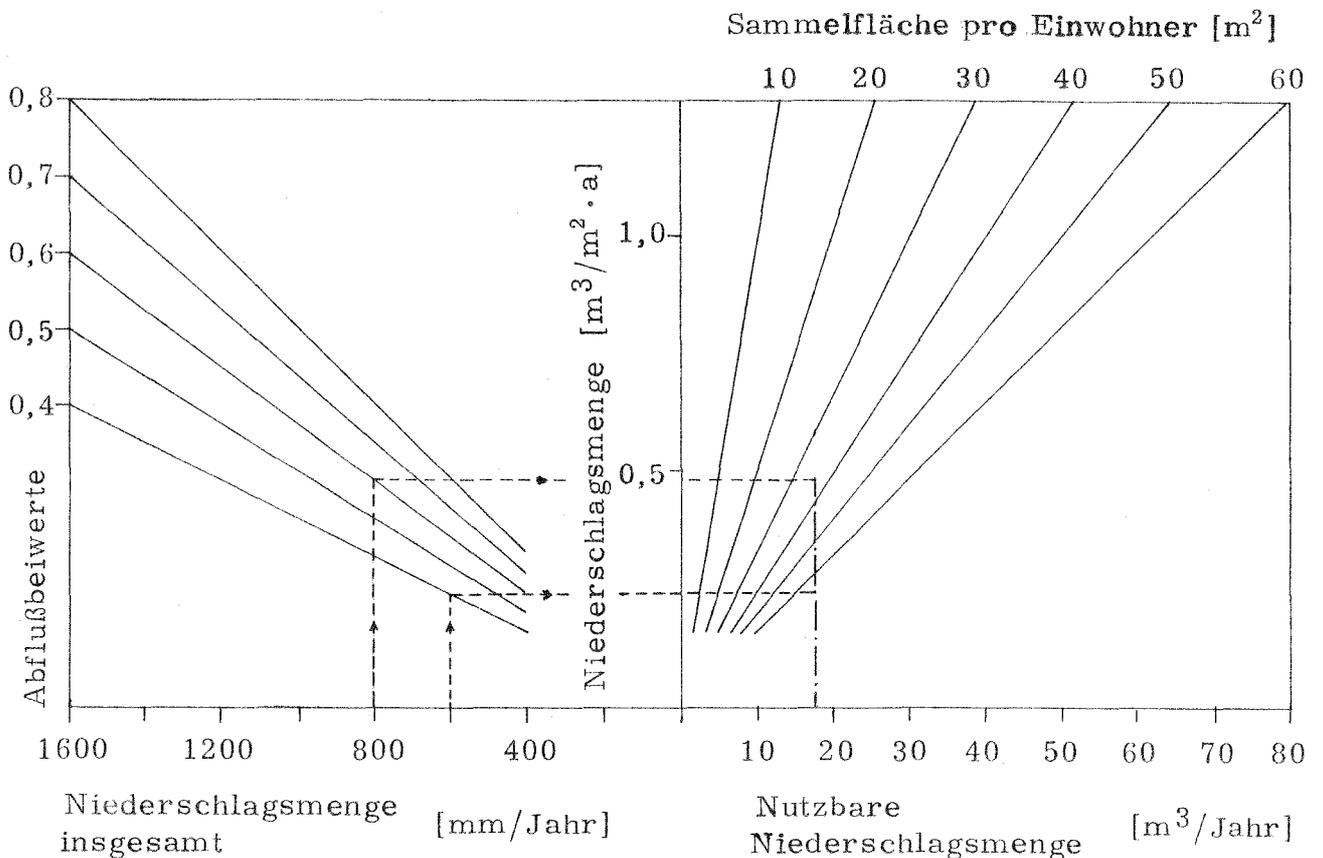


Abb. 3:

Nutzbare Niederschlagsmengen in [m³/Jahr] in Abhängigkeit von Abflußbeiwerten und spezifischen Regensammelflächen (Dachflächen, Verkehrsflächen etc.)

MÜLLER *), daß die Jahresabflußmengen eines besiedelten Entwässerungsgebietes etwa 30 - 60 % des häuslichen Schmutzwasseranfalls ausmachen, lassen sich relevante Sammelflächengrößen ableiten.

Im Fall der örtlichen Regenwassersammlung zeigt sich (Abb. 4), daß mit Hilfe der anfallenden Regenwassermengen nur in eingeschossigen ggf. auch in zwei- bis dreigeschossigen Wohngebäuden ein Drittel des häuslichen Wasserbedarfs unter quantitativen Gesichtspunkten gedeckt werden könnte. Mehrgeschossige Wohnbauten entfallen aufgrund ungenügend großer, spezifischer Dachflächen pro Einwohner.

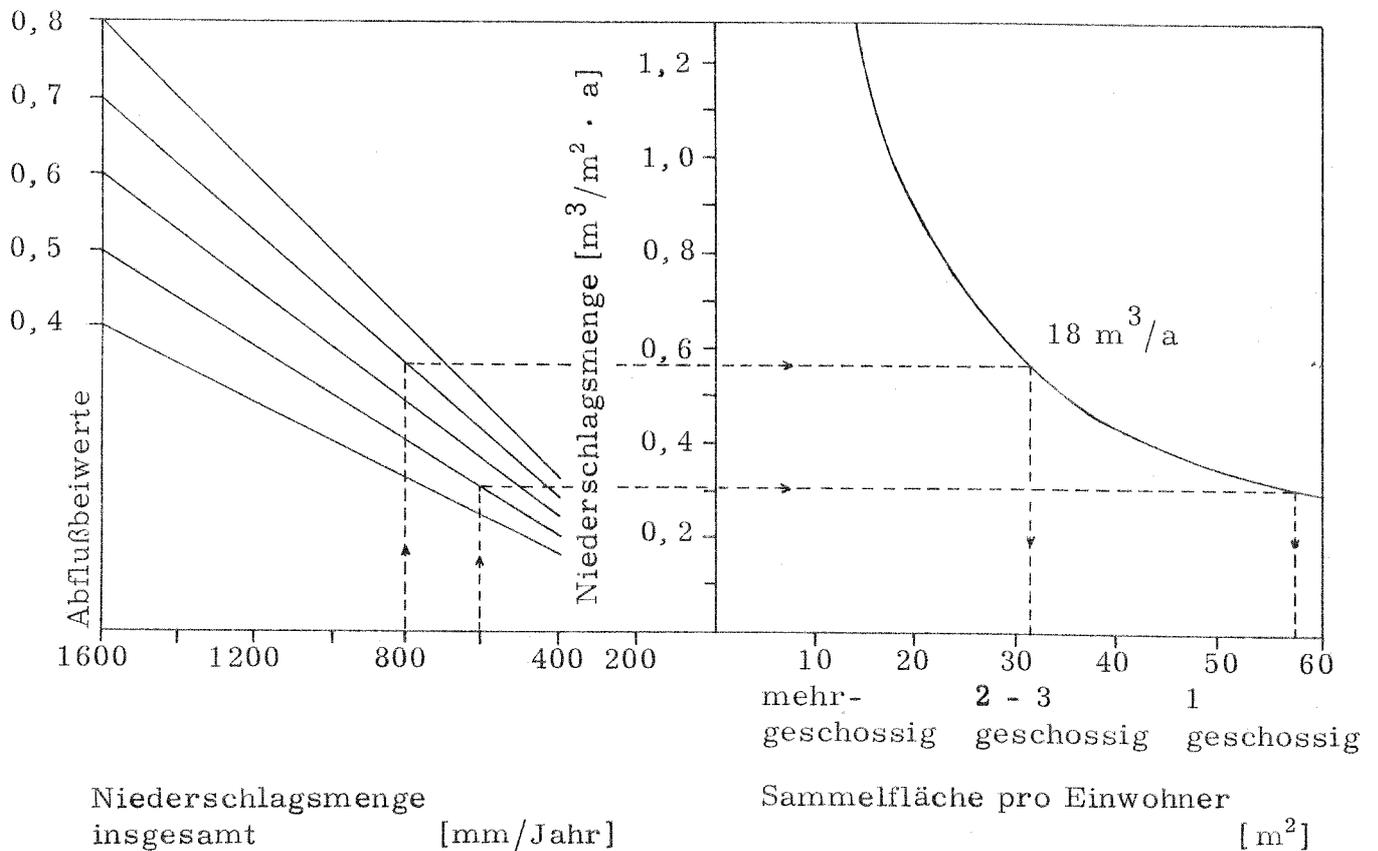


Abb. 4:

Bedarfsdeckung durch Regenwasser von spezifischen Sammelflächen

*) Müller, W. J.: a. a. O.

Nachdem Anhaltswerte über gewinnbare Regenwassermengen vorliegen, soll im folgenden der Regenwasseranfall unter wassergütemäßigen Aspekten betrachtet werden.

Art und Menge von Inhaltsstoffen, die im abfließenden Regenwasser enthalten sind, werden einerseits von den Stoffen im Niederschlag selbst und andererseits von den Verunreinigungen der Auffangflächen bestimmt. Zum ersten Anteil ist festzustellen, daß Niederschlagswasser auf dem Weg zur Erdoberfläche Gase aus der Atmosphäre aufnimmt, wie Stickstoff, Sauerstoff etc., weiterhin auch organischen und mineralischen Staub und andere Beimengungen der Luft. In Abhängigkeit des jeweiligen Siedlungsgebietes ist Niederschlagswasser ferner mit anderen Gasen und Stoffen in unterschiedlicher Konzentration belastet, zum Beispiel Kohlendioxyd, Kohlenmonoxyd, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Ruß, Metallverbindungen u. a. . Regenwasser kann somit insbesondere in hochindustrialisierten und flächenmäßig stark genutzten Gebieten nicht mehr als Wasser mit hoher Qualität bezeichnet werden.

Zur zweiten im abfließenden Niederschlagswasser enthaltenen Stoffgruppe, kann festgestellt werden, daß es sich dabei um abspülbare Bestandteile der bebauten und zu entwässernden Gelände- und Dachflächen handeln kann, wie Staub, Schmutz, Laub, Tierkot, Abriebstoffe etc.

Die meisten vorliegenden Veröffentlichungen beschäftigen sich mit Schmutzstoffen in der Regenwasserkanalisation im Hinblick auf eine nachfolgende Behandlung zum Schutz der Vorfluter *).

*) Abwasst. Vereinigung: a. a. O.

Hässelbarth, U. : Einfluß von Regenwasser und von Regenwasserableitungen auf das Grundwasser. In: Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen. Inst. f. Bauingenieurwesen V, TU München, Nr. 24, S. 133-146, München 1978, u. a.

Andere Untersuchungen geben Auskunft über die Beschaffenheit des Niederschlagswassers vor Erreichen der Auffangfläche. Inhaltsstoffe wie Schwermetalle, Pestizide und polyzyklische Kohlenwasserstoffe sind dabei von Interesse *). Auch werden Hinweise über die Regenwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit von Staubbiederschlägen gegeben **).

Sucht man in der Literatur nach Aussagen über Inhaltsstoffe des abfließenden Regenwassers in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf des Niederschlagsereignisses, so findet man ohne Wertigkeit bei AXT und DORNIER, daß zu Beginn eines Niederschlagsereignisses jeweils ein Konzentrationsanstieg von Schmutzstoffen zu beobachten ist (Spülstoßeffekt), der nach einiger Zeit wieder abfällt. Genaue Angaben über Konzentrationsänderungen in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität, von Verunreinigungen der Atmosphäre und den Auffangflächen liegen zur Zeit noch nicht vor, sind jedoch nach Abschluß eines Forschungsvorhabens zu erwarten ***).

Mit differenzierter Kenntnis des "Spülstoffeffektes" ließe sich dann feststellen, inwieweit es sinnvoll ist, zur Verringerung des Reinigungsaufwandes auf

-
- *) Dornier System a. a. O.
GmbH:
Nürnberg, H. W. : Ein neuer Weg zur Messung toxischer Metalle im
Valenta, P. ; Regen. Jahresbericht 1978/79 der Kernforschungs-
Nguyen, V. D. anlage Jülich GmbH u. a.
- ***) Kress, C. F. : Economic recovery of urban storm runoff for
water supply purposes, M. S. thesis, Dep. of
Civil Eng., Univers. of Kans., Lawrence, 1966
- Gascoyne, M. : Design and operation of a simple, sequential pre-
cipitation sampler with some preliminary results.
Atmospheric Environment 11, S. 397-400, 1977, u. a.
- ***) Axt, G. : Forschungsprojekt "Einsparung von Trinkwasser",
Institut für Technischen Umweltschutz, Technische
Universität Berlin

den ersten stark belasteten Teil des Regenwasseranfalls bei der Nutzbar-
machung zu verzeichnen. Zwangsläufig stünde dem geringen Reinigungs-
aufwand eine verminderte Regenwassermenge entgegen. Nach DORNIER
kann diese bis zu 40 % betragen (ohne Nachweis). Weiterhin wäre ein hoher
apparativer Aufwand für die Ableitungseinrichtungen erforderlich.

In der Literatur beschriebene, örtliche Regenwassernutzungsanlagen, auf
die an anderer Stelle noch ausführlich einzugehen ist, verwerten das ge-
samte anfallende Regenwasser, d. h. auch der erste, höher verschmutzte
Spülstoß wird dem Regenwassernutzungssystem zugeführt, ohne daß von
Problemen berichtet wurde. Dazu kann gesagt werden, daß nur unvoll-
ständige Aussagen über die Beschaffenheit von nutzbar gemachtem Regen-
wasser vorliegen. So gibt LAMBERS *) an, daß Regenwasser farblos, ge-
schmacks- und geruchsfrei ist, jedoch nicht das kristallklare Aussehen
von Trinkwasser hat. Über die Art der Reinigung wird nichts ausgesagt.
BREDOW **) bemerkt, daß es "Probleme mit dem Schmutz gab, der aus
der Dachrinne kam", und daß der Boden des Regenwassersammelbeckens
trotz feiner Filter in kurzer Zeit völlig schwarz war. Auch wurden Algen
beobachtet, die das Wasser grünlich färbten.

Wenngleich auch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse über die Be-
schaffenheit von Niederschlagswasser viele Fragen offen lassen, so kann
dennoch davon ausgegangen werden, daß eine direkte Verwendung des Re-
genwassers aufgrund unerwünschter Inhaltsstoffe zumeist unmöglich ist.
Dies bestätigt auch eine Übersicht von DORNIER über die Zuordnung von
Aufbereitungsmethoden und Regenwasserverwendungszwecken (siehe Ta-
belle 14).

*) Lambers, J.: a. a. O.

**) Bredow, W.: a. a. O.

Herkunft des Regenwassers	Aufbereitungsmethode natürliche Prozesse/technische Verfahren			Verwendung	Versorgungsart
	physikal.	chem.	biolog.		
Künstlich angelegte Sammelflächen	-	-	-	Bewässerung	Zentral/ Dezentral
	x	-	-	Brauchwas.	
	x	x		Trinkwasser	
Dächer	x	-	-	Brauchwas.	Dezentral
	x	x	-	Trinkwasser	
Städtisches Einzugsgebiet (Dächer, Verkehrsflächen)	x	-	-	Löschwasser Kanalspülung	Zentral
	x	-	-	Brauchwas.	
	x	x	x	Trinkwasser	

Tabelle 14:

Zuordnung von Regenwasserherkunft, Aufbereitungsverfahren und Verwendungszweck nach DORNIER

4 Trinkwassereinsparende Wasserversorgungssysteme und Möglichkeiten der Integration

Die vorstehenden, grundsätzlichen Betrachtungen zur Nutzbarmachung von Abwasser als häusliches Versorgungswasser mit geringerer Qualität als Trinkwasser zeigen, daß es denkbar ist, einen Teil des bislang in privaten Haushalten verbrauchten Trinkwassers auf dieser Basis zu ersetzen. Nunmehr stellt sich die Frage nach den Verfahrenstechniken und ihren Realisierungschancen.

Vorab ist wichtig zu wissen, daß die Wasserversorgung in der Bundesrepublik im wesentlichen ein Problem des Ausgleichs zwischen Wassermangel- und Wasserüberschußgebieten ist. Wasser ist in ausreichenden Mengen und in genügender Qualität grundsätzlich vorhanden. Es bestehen jedoch Diskrepanzen zwischen dem Ort des Verbrauchs und dem Ort des Wasservorkommens. Ferner ist es heute verfahrenstechnisch ohne weiteres möglich, aus beinahe jedem Rohwasser, also auch aus Abwasser, Wasser mit höchster Qualität zu gewinnen. Die praktische Anwendung der Trinkwassersubstitution auf Abwasserbasis wird somit bis auf Notfälle weitgehend von wirtschaftlichen Zwängen bestimmt.

In diesem Zusammenhang ist jedoch die Feststellung von RAUTENBACH *) bemerkenswert, daß für alternative, trinkwassereinsparende Systeme keine Wirtschaftlichkeitsberechnungen im üblichen Sinne, d. h. Rechnungen mit dem Ziel der Maximierung von "return on investment" durchführbar sind. Darüberhinaus wäre auch eine Minimierung der Wasserbereitstellungskosten unter einem zu engen Blickwinkel fehl am Platz. Vielmehr sind auch übergeordnete und wertmäßig schwer zu quantifizierende Gesichtspunkte wie "Schutz natürlicher hochwertiger Wasservorkommen", "Entlastung des Vorfluters" etc. zu berücksichtigen. Dennoch bleibt festzuhalten, daß die Kosten finanzierbar sein müssen und nicht unzumutbar werden.

*) Rautenbach, R.: Aufarbeitung kommunaler Abwässer zu Trink-
Hoeck, H. oder Brauchwasser. Chem.-Ing. Techn. 4, H. 9,
S. 355-360, 1975

4.1 Verwendung von zentral anfallendem Abwasser

Vorstehende Rahmenbedingung dürfte im Fall der zweiseitigen, zentralen, d. h. von öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen durchzuführenden Wasserversorgung mit Trink- und Betriebswasser nur in wenigen Einzelfällen erfüllt werden.

Argumente dafür werden zunächst für die zentrale Nutzarmachung von Regenwasser aus der Regenwasserkanalisation genannt.

Bei der Regenwasserkanalisation sind mehrere Endpunkte vorhanden, die entweder an verschiedenen Orten in einen Vorfluter oder auf versickerungsfähige Bodenflächen münden. Die abfließende Regenwassermenge fällt somit nicht an einem, sondern an mehreren Orten an. Um eine sinnvolle Auslastung einer Regenwasseraufbereitungsanlage zu gewährleisten, müssten diese Teilmengen zusammengefaßt werden. Zusätzliche Kanäle mit größer werdenden Querschnitten wären unumgänglich.

Die Nutzarmachung ist naturgemäß mit dem Ausbau von Regenwasserspeichern verbunden. Wesentliche Charakteristika sind durch die Forderung nach kontinuierlicher Abgabe (Ausgleich des in unregelmäßigen Intervallen und unterschiedlich großen Mengen anfallenden Regens) vorgegeben.

Von DORNIER wird in diesem Zusammenhang ein theoretisches Modell vorgestellt. Danach wären an den Endpunkten der Kanalisation die über das Einzugsgebiet verteilten Tagesspeicher anzuordnen. Ihnen schließt sich ein verbindendes Rohrnetz zu den Wochen- bzw. Monatsspeichern und zur Wasseraufbereitungsanlage an.

Zum Realisierungsaufwand des Modells wird von DORNIER festgestellt

... "die erforderlichen Aufwendungen um das Regenwasser der Trennkanalisation abzuleiten und zu speichern, dürften so groß sein, daß der

finanzielle Unterschied zwischen unterschiedlichen Aufbereitungsstufen *) nicht mehr ins Gewicht fällt, d. h. erst die Aufbesserung von Wasser zu Trinkwasser im Verbund mit einer Aufbereitungsanlage der Trinkwasserversorgung kann eine, auch wirtschaftliche Rechtfertigung der Verwendung von Regenwasser aus der Trennkanalisation bringen. Hinzu kommt, daß für die Lieferung von Brauchwasser **) an den Abnehmer zusätzliche Versorgungsleitungen erforderlich wären ..."

Nach DORNIER bietet sich eine zentrale Regenwassernutzung somit nicht für Betriebswasser an, sondern ggf. für Trinkwasserzwecke. Dieser Ansicht wird hier gefolgt.

Anders verhält es sich bei der Schmutzwassernutzung, da Schmutzwasser nur in Ausnahmesituationen in geschlossenen Kreisläufen (ohne natürliche Selbstreinigungskräfte und unverdünnt) für die Trinkwasserversorgung verwendet werden sollte. Für die damit noch infrage kommende Verwendung des gereinigten Schmutzwassers aus Sammelkläranlagen als häusliches Betriebswasser sprechen einige Argumente:

- Wassermengenprobleme könnten leichter beherrscht werden, sowohl aus der Sicht der Trinkwasserversorgung, als auch von der Entsorgungsseite (mengenmäßige Entlastung des Vorfluters)
- Betriebswasser ließe sich unter vertretbarem Aufwand aus Schmutzwasser gewinnen, nicht zuletzt dadurch, daß die Nutzbarmachung in Verbindung mit einer ohnehin verbesserten Abwasserreinigung zu sehen wäre.

Dagegen spricht jedoch der Aufwand für den Bau und die Unterhaltung des erforderlichen Betriebswasser-Versorgungsnetzes. Leicht läßt sich fest-

*) Trinkwasser ./ Betriebswasser

**) Brauchwasser = Betriebswasser

stellen, daß neben unzumutbaren Kosten

- Schwierigkeiten in der Unterbringung des Betriebswasser-Rohrnetzes im städtischen Gesamtversorgungsnetz,
- Straßenaufbrüche, Verkehrsstörungen, lange Bauzeiten etc.,
- nachträgliche Installations-, Maurer-, Fliesenlegerarbeiten etc. in Wohnbauten,

zu erwarten bzw. notwendig sind. Im Fall bestehender Wasserversorgungssysteme stellt eine zweiseitige Wasserversorgung deshalb keine realistische Lösung dar. Selbst bei andauernder Trinkwasserknappheit ist davon auszugehen, daß keine zusätzlichen Betriebswasser-Versorgungsnetze gebaut werden. Vielmehr dürfte das vorhandene Trinkwasser-Versorgungssystem auf Betriebswasser umgestellt werden. Der erforderliche Trinkwasserbedarf der privaten Haushalte würde dann sicherlich nicht mehr über die öffentliche Wasserversorgung gedeckt, sondern durch andere Bereitstellungsarten (Verkauf von Trinkwasser in Flaschen etc.) erfolgen.

Scheitert im Fall bereits bestehender Wasserversorgungssysteme eine Weiterverwendung von zentral anfallendem Schmutzwasser als Betriebswasser, so sind noch Neubauvorhaben zu betrachten. Für derartige Fälle sind eine Reihe von Kosten-Nutzen-Überlegungen veröffentlicht worden *). Darauf aufbauend stellt RUDOLPH Randbedingungen vor, deren Erfüllung auf ein zweites Rohrnetz abzielt **). Ohne auf Einzelheiten einzugehen, läßt sich hieraus ersehen, daß eine doppelschienige Wasserver-

-
- *) Haney, P.D. : Dual Water Systems-Design, Jour. Americ. Water Works Assoc., Nr. 7, S. 389-398, New York, 1977
Beatty, F.K.
Möhle, K. A. : Theorie und Praxis doppelter Wasserversorgungsnetze, Umweltbundesamt, Berlin, 1980
Schnappauff, J. : a. a. O.
- ***) Rudolph, K.U. : Trennsysteme für die Wasserversorgung - ein altes Thema unter neuen Gesichtspunkten -, gwf - Wasser/Abwasser, Heft 5, S. 207-211, 1979

sorgung mit Trink- und Betriebswasser in der Bundesrepublik Deutschland nur in Ausnahmefällen sinnvoll ist. Beispiele für derartige Fälle sind bei SCHNAPPAUFF aufgeführt *). Dabei handelt es sich um wenig bedeutsame Situationen, nicht zuletzt, weil in der Bundesrepublik vollständig neue Wasserversorgungsnetze für ganze Stadtteile kaum noch erwartet werden dürften, da die Bevölkerungszahl stagniert.

Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, daß bei einer doppelschichtigen öffentlichen Wasserversorgung für den Verbraucher keine Preissenkungen zu erwarten sind. Ursächlich sind insbesondere die hohen Fixkosten, die im Zusammenhang mit den Wasserversorgungsnetzen stehen. Um eine prozentuale Größenvorstellung darüber zu bekommen, dürfte interessant sein, daß der Investitionsetat der Wasserversorgungsunternehmen für den "Netzbereich" seit 1960 zwischen 56 und 67 % des Gesamtetats einnimmt **). Nähme beispielsweise die Trinkwasserabgabe in Folge eines anteiligen Ersatzes durch Betriebswasser ab, würde der Trinkwasserpreis bei geringer werdenden Abgaben anteilmäßig steigen. Da darüberhinaus auch noch zusätzliche, feste Kosten für das Betriebswasserversorgungsnetz entstehen, dürfte auch im Fall äußerst günstiger Betriebswasser-Gewinnungsverhältnisse ein Preisausgleich kaum erwartet werden.

Neben wirtschaftlichen Realisierungshemmnissen der Betriebswasserverwendung in Wohnbauten, werden in der Literatur auch hygienische genannt ***). Unter der Voraussetzung einer strikten Trennung von Betriebs- und Trinkwassernetz kann diesem Gesichtspunkt hier jedoch nicht gefolgt

*) Schnappauff, J.: a. a. O.

***) Rammer, P.: a. a. O.

***) Battelle-Institut e.V.: Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Mehrfachnutzung von Wasser in Haushalt und Kleingewerbe, Frankfurt 1975

werden. Denkbare Rohrverwechslungen und nichtfachgerechte Installationen mit möglichen Folgeproblemen sind zwar nicht auszuschließen, lassen sich jedoch durch strengste Überwachung und gegebenenfalls auch durch Einfärben des Betriebswassers auf ein Minimum reduzieren. Da außerdem nur Betriebswasser in Haushalten verwendet werden sollte, das frei von pathogenen Keimen zu sein hat, wären auch negative Erfahrungen mit einem zweiten Rohrnetz, bei dem diese Rahmenbedingung unerfüllt blieb, nicht übertragbar *).

Dennoch bleibt der wirtschaftliche Gesichtspunkt dominierend, nach dem eine doppelschienige, öffentliche Wasserversorgung mit Trink- und Betriebswasser unabhängig vom Betriebswassergewinnungspotential in der Bundesrepublik Deutschland zukünftig nicht zu erwarten ist.

4.2 Verwendung von örtlich anfallendem Abwasser

Ob letztere Feststellung auch für Eigenversorgungssysteme mit Betriebswasser in neu zu erstellenden Wohnbauten gilt, ist in der Bundesrepublik Deutschland wenig bekannt. Ursächlich sind die hier bislang nur vereinzelt beantworteten Fragen zur Technik, Wirtschaftlichkeit und Durchführbarkeit von derartigen Systemen.

Das bestehende Wissensdefizit soll nachfolgend verringert werden.

Dazu werden eine Reihe von Systemkonzeptionen und Ausführungsbeispielen zur innerhäuslichen Schmutz- und Regenwassernutzung vorgestellt und analysiert. Mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen lassen sich grundsätzliche Aussagen zur Verwendbarkeit und zum Entwicklungsstand örtlicher Abwassernutzungssysteme treffen. Ebenso läßt sich beurteilen, ob und in welcher Form weitere Untersuchungen angebracht sind. Es ver-

*) Rammer, P.: a. a. O.

4.2.1 Systeme zur Schmutzwassernutzung

Bei der Vorstellung und der Diskussion von Systemen zur innerhäuslichen Schmutzwassernutzung wird nach folgendem Schema vorgegangen.

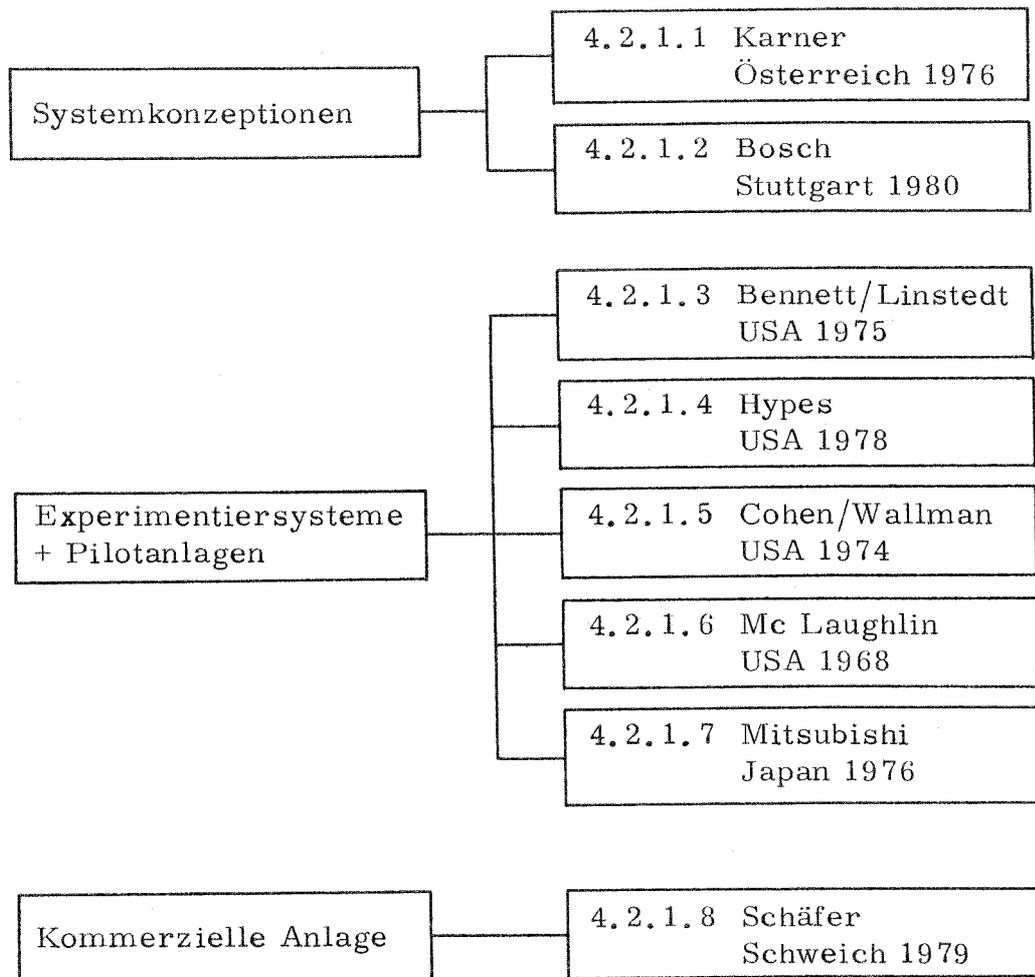


Abb. 5:

Systeme zur Schmutzwassernutzung

Aus Abb. 5 ist ersichtlich, daß es sich bei den Systemen überwiegend um Experimentiersysteme und Pilotanlagen handelt. Eine Kostenerfassung nach Abb. 6 und damit einhergehend eine ökonomische Bewertung ist deshalb wenig sinnvoll. Für den Bauherrn wäre sie ohne Bedeutung. Bei marktreifen und in Serie gefertigten Anlagen ist mit erheblich anderen Kosten zu rechnen, deren Erfassung zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich ist, da noch zu viele Unsicherheitsfaktoren vorhanden sind.

Fragen der Wirtschaftlichkeit werden somit nur ansatzweise beantwortet, obwohl bewußt ist, daß dies gerade für den privaten Investor von entscheidendem Interesse ist.

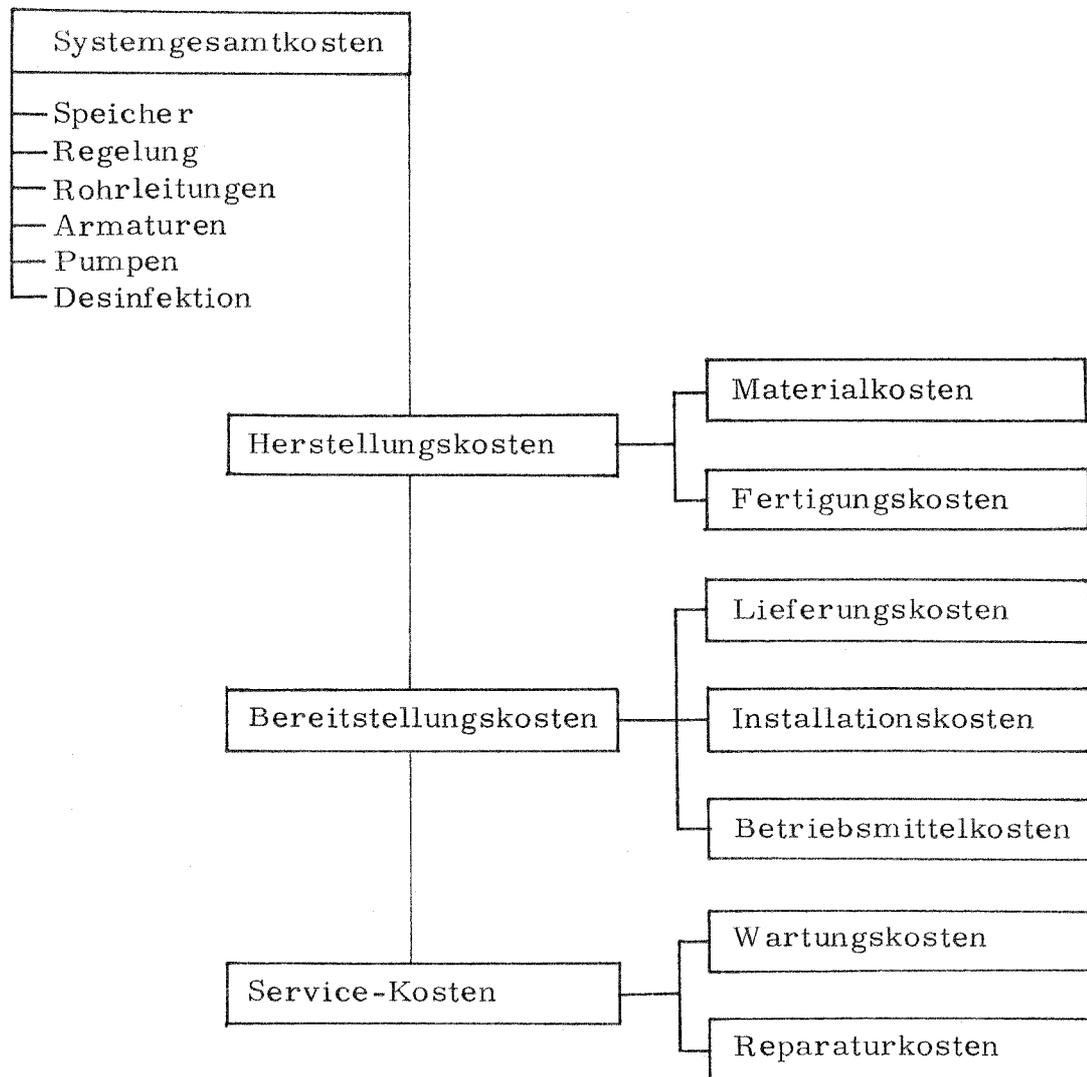


Abb. 6:

Kostengruppen für örtliche Betriebswasserversorgungsanlagen

4.2.1.1 Wasser-Wiederverwendung, System KARNER, Oberwart, Österreich 1976 *)

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bauten und Technik in Wien geförderten Demonstrativbauvorhabens wurde der Versuch unternommen, Abwässer der Wiederverwendung zuzuführen **). Für Wohngebäude mit 19 Wohnungen war der Einbau einer Wasser-Wiederverwendungsanlage geplant, mit der meßbare Erkenntnisse zur Durchführbarkeit gewonnen werden sollten.

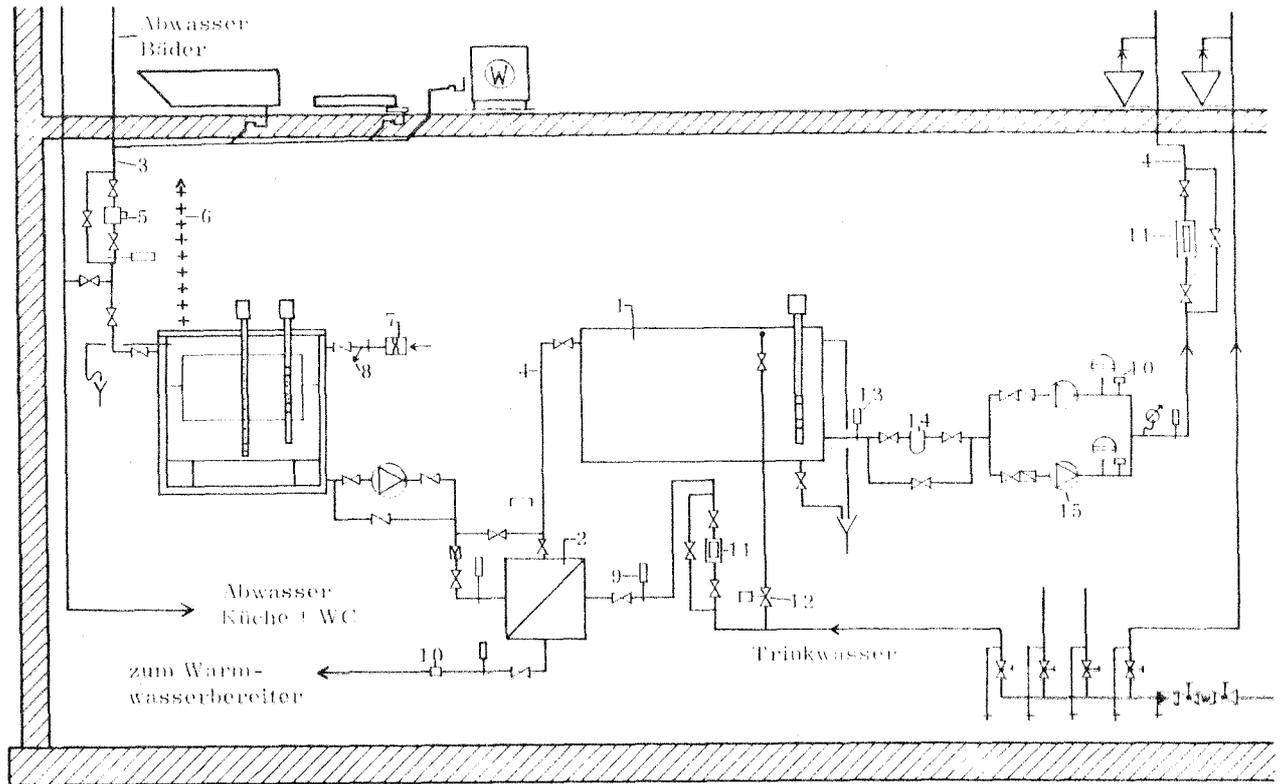
Als nicht zu überschreitende Kosten wurden vorgegeben, 45000 ÖS für die Planung dieser Anlage und 492000 ÖS für die Erstellung (ca. 4000 DM pro Wohneinheit). Trotz dieser hoch erscheinenden Kostenvorgabe, scheiterte das Projekt aus finanziellen Gründen.

Nicht zuletzt mag dies an dem projektierten Systemaufbau gelegen haben auf den näher eingegangen werden soll (Abb. 7).

Zur Wiederverwendung waren die Abwässer aus Badewannen, Brausen, Handwaschbecken und Waschmaschinen vorgesehen. Anhand von Vorüberlegungen ging KARNER von einem nutzbaren Abwasseranfall von $2,64 \text{ m}^3$ pro Tag (Gesamt-Abwasseranfall $5,67 \text{ m}^3$ pro Tag) aus. Bei der zugrundegelegten Bewohneranzahl von 58 Personen entspricht dies einem spezifischen Abwasseranfall von 45 bzw. 98 Liter pro Tag und Person. Wenngleich auch die nutzbare Menge als sehr niedrig angesetzt ist, reicht sie unter der Voraussetzung einer ausreichenden Speichergröße aus, um den durchschnittlichen Wasserbedarf für die WC-Spülung zu decken.

*) KARNER, : Technoterm Planungsgesellschaft, Wien, Innsbruck, Oberwart

***) N.N. : "Schmutzwasser ist nicht nutzlos", Wohnbau (1978) Nr. 6, Österreich



- 1 Behandlungswanne
- 2 Plattenwärmeaustauscher
- 3 Rohrleitungen aus PE
- 4 Rohrleitungen aus PVC-hart geklebt
- 5 induktives Durchflußmeßgerät
- 6 Entlüftung
- 7 Belüftungsventilator
- 8 Kontrollventil
- 9 Temperatursonde
- 10 Druckwächter
- 11 Schwebekörperdurchflußmesser
- 12 Magnetventil
- 13 Wassermangelsicherung
- 14 Filter
- 15 Pumpe

Abb. 7:

Wasserwiederverwendung, System KARNER

Als ausreichende Speichergröße war ursprünglich geplant *):

... "Sein Kubikmeterinhalt unter Berücksichtigung der Verweilzeit ist so zu bemessen, daß er die tägliche Badeabwassermenge bei gleichzeitiger Entleerung von 40 Badewannen **) aufnehmen kann ..."

Bei gebräuchlichen Körperformwannen mit einem Nutzwasserinhalt von ca. 100 - 120 Liter bedeutet das einen ungefähren Speicherinhalt von 5 m^3 .

In dem Leistungsverzeichnis von TECHNOTERM wird von dieser Größe abgerückt und ein wesentlich größerer Speicherinhalt gefordert. Gründe für diese Maßnahme blieben auch bei einem persönlichen Gespräch im Architekturbüro Marchart /Möbius und Partner ***) unentdeckt.

Festzuhalten von diesem Informationsgespräch ist, daß sämtliche Firmen, denen das Leistungsverzeichnis als funktionale Leistungsbeschreibung übersandt wurde, sich nicht in der Lage sahen, Verfahrenstechniken für ein derartiges Projekt unter den vorgegebenen kostenmäßigen Randbedingungen vorzuschlagen. Es handelte sich dabei um 8 österreichische Firmen, die als fähige Fachfirmen gelten.

Nachdem von TECHNOTERM geplanten Funktionsprinzip soll der Abwasserspeicher gleichzeitig auch als Stoffabscheider fungieren. Das grob gereinigte Abwasser wird danach über einen Plattenwärmetauscher - es handelt sich hier um eine kombinierte Wasser- und Wärmerückgewinnungsanlage - in die Behandlungswanne geleitet. Zur Abwasserbehandlung wird in den Planungsgrundlagen von TECHNOTERM angegeben:

*) Technoterm: Techn. Beschreibung, Planungsgrundlagen, Bl. 16

**) mit geplanter Erweiterung

***) Marchart/Möbius: Architekturbüro, Wien, Genzgasse 129

... "aufgrund der Tatsache, daß die im Wärmespeicher durchgeführte Vorfiltrierung hinsichtlich des Reinheitsgrades nicht eindeutig bestimmbar ist, sind in der Behandlungswanne selbst weitere Umlenkungen einzubauen, um noch vorhandene Reststoffe spezifisch größeren und kleineren Gewichtes als das des Wassers, abscheiden zu können. Da der Anteil der organisch gelösten Stoffe relativ gering im Verhältnis zu Fäkalwässern ist, wird wegen des gering zu erwartenden Nutzungseffektes auf eine biologische Behandlung verzichtet. Die pH-Wert-Regelanlage ist so auf die Behandlungswanne konstruktiv abzustimmen, daß diese auch nachträglich, ohne Umrüstungsarbeiten des Beckens, eingebaut werden kann ..."

Weitere Beschreibungen liegen nicht vor, mit der Begründung, daß die chemische Behandlung nicht zu präzisieren sei, da auf keinerlei Erfahrungen zurückgeblickt werden kann. An anderer Stelle wird sich zeigen, daß dies nicht der Fall ist.

Hier sollten die erforderlichen Maßnahmen erst beim Betrieb der Anlage bestimmt werden. Hypothetisch wurde jedoch erwartet

... "Aufgrund der großen Temperaturschwankungen des anfallenden Abwassers, d. h., zwecks Vermeidung von Thermoschocks und damit verbundener pH-Wertbeeinflussung und Chemikalienmehrverbrauch, ist der Einbau eines Wärmetauschers nicht nur aus Gründen der Wärmerückgewinnung erforderlich. ..." *)

Anzumerken ist dazu, daß derartige Thermoschocks von anderen Anlagen-Betreibern nicht erwähnt werden.

*) Technoterm:

Protokoll vom 30. 12. 1976

Bei der erwarteten Standzeit in der Behandlungswanne von etwa 4 Tagen, deren Zustandekommen nicht nachvollziehbar ist, werden Ammoniak-, Schwefelwasserstoff- und Methangase erwartet. Die Anlage muß daher nach Meinung der Planer über das Dach entlüftet werden. Unter der Voraussetzung so langer Standzeiten und ungeklärter Behandlungsverhältnisse ist dies eine zweifellos notwendige Maßnahme.

Zu der sanitärtechnischen Anlage ist festzustellen, daß als Rohrmaterialien PVC-Hartrohre für die Betriebswasser-Versorgungsleitungen verwendet werden sollten und für die Abflußleitungen von Wasch- und Badeabwässern PE-Rohre. Diese Rohrmaterialien dürften sich für derartige Einsatzgebiete gut eignen.

Neben der Forderung, aus hygienischen Gründen Tiefspülklosetts zu verwenden, schrieben die österreichischen Behörden vor, daß es an keiner Stelle zu einer Verbindung zwischen dem Trinkwasser und dem Betriebswassernetz kommen dürfe. Eine Forderung, die bei jeder Betriebswasser-Versorgungsart strikt einzuhalten und strengstens zu überwachen wäre.

Zur Erfüllung dieser Forderung entschied sich TECHNOTERM zu einer recht umständlichen Maßnahme. An jedem WC sollten zwei Druckspüler installiert werden, einer für Betriebs- und einer für Trinkwasser. Vor dem Druckspüler im Trinkwasserversorgungsnetz sollte außerdem jeweils ein Absperrventil eingesetzt werden, um den Bewohnern die Möglichkeit zu geben, bei Ausfall der Betriebswasser-Versorgung auf Trinkwasser umzuschalten. Mit dieser Maßnahme wäre jedoch der Wirkungsgrad der Rückgewinnungsanlage der Willkür der Bewohner ausgesetzt gewesen, so daß darauf verzichtet wurde.

Neu geplant wurde stattdessen ein zentraler Absperrschieber im Keller. In diesem Zusammenhang wurde die Forderung nach der Anwesenheit eines speziell ausgebildeten Hauswartes erhoben, der die Anlage betreuen sollte.

Die Forderung nach einem doppelten Versorgungsnetz zu den WC's, und die ständige Betreuung der Anlage durch einen Hauswart scheinen nicht zuletzt das Scheitern des Projektes bewirkt zu haben.

4.2.1.2 Wasser-Wärmerecycling, System Bosch, Stuttgart 1980 *)

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Vorhabens beschäftigte sich die Bosch GmbH in Stuttgart mit der Möglichkeit des Wasser- und Wärmerecyclings in Wohnbauten.

Durch Umfragen bei verschiedenen Testhaushalten über typische Wasserverbrauchsgewohnheiten wurde festgestellt, daß sich für eine Wasser-Wiederverwendung die Abwässer aus Badewannen, Dusche und Waschmaschine vorteilhaft anbieten, da sie in ihrer Menge in etwa dem Bedarf der WC-Spülung entsprechen.

Recherchen ergaben, daß gegenwärtig in der Bundesrepublik keine Vorschriften, Richtlinien oder Empfehlungen über Reinheitsanforderungen an WC-Spülwasser bestehen. Nach Gesprächen mit Fachleuten erarbeitete Bosch derartige Anforderungen. Sie werden wie folgt charakterisiert:

- ... "Das Toilettenspülwasser braucht selbstredend keine Trinkwasserqualität zu besitzen. Es darf allerdings
- nicht durch unzulässige Konzentration an pathogenen Keimen gesundheitsgefährdend sein,
 - keinen stark unangenehmen Eigengeruch haben und soll
 - frei von festen Verunreinigungen wie z. B. Haaren, Fusseln, Textilfasern, Sand und dergleichen sein, um einen sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten.

*) Robert Bosch GmbH: a. a. O.

Alle anderen Verunreinigungen in gelöster, fein disperser oder kolloidaler Form oder als Klebstoffe können vernachlässigt werden, sofern die vorgenannten Anforderungen an das Toilettenspülwasser eingehalten werden ..."

Zur Aufbereitung des Abwassers zu WC-Spülwasser werden "apparative" und chemische Verfahren kurz vorgestellt und auf ihre Anwendbarkeiten analysiert. Bei den apparativen Verfahren handelt es sich um Belüftung, Temperaturregelung, Ozonbehandlung, anodische Oxydation und Filtration. Behandlungsmöglichkeiten mit Chlor, Aldehyden, Nitraten, Alkalisierung, Persäuren und Schwermetallionen werden neben der Alkalisierung auf pH 9-10 als chemische Verfahren gegen Bakterienwachstum beschrieben. In die engere Wahl davon werden insbesondere Chlorungsmittel und Bakterizide auf Aldehydbasis gezogen. Als notwendige Dosierung werden 20 ppm Chlorofix T 76, entspricht 10 ppm Aktivchlor oder 80 ppm Bakterizid genannt.

Nach Behandlung grundsätzlicher Möglichkeiten der häuslichen Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwässern stellt Bosch eine praktische Ausführung einer Wasser-Wärmerecycling-Anlage vor, deren Aufbau aus Abbildung 8 zu ersehen ist.

Die zu verwendenden Abwässer aus Bad, Dusche und Waschmaschine werden über einer Abwasser-Sammelleitung durch einen Reinigungsfilter in den Abwasserspeicher geführt. Genaue Angaben über die Auslegung von Speichern fehlen. Festgestellt wird lediglich, daß der Abwasserspeicher sowohl den zeitlich unterschiedlichen Anfall von Abwasserzufluß und WC-Spülwasserentnahmen ausgleichen und eine gewisse Vorratshaltung für Spitzenentnahmen übernehmen soll. Gleichzeitig muß auch eine effektive Wärmeübertragung gewährleistet sein. Aufgabe des Reinigungsfilters ist, nachgeschaltete Funktionsorgane, wie Pumpen, Ventile etc. vor Verschmutzungen und damit Störungen zu schonen. Der Filter ist mit einem engmaschigen Einsatz zu versehen, der das Abwasser mechanisch vorreinigt. Außerdem ist er so konzipiert, daß er sich durch Nachspülen leicht säubern läßt.

Zu den Rohrwerkstoffen wird festgestellt, daß Kunststoffrohre sowohl für die Abwasserleitungen als auch für die WC-Versorgungsleitungen anbieten, da keine Korrosionsgefahr besteht.

Abbildung 8 zeigt, daß das Abwasser nach dem Wärmeentzug im Abwasserspeicher über eine Druckerhöhungsanlage der Versorgungsleitung für die WC-Spülung zugeführt wird. Die Druckerhöhungsanlage besteht aus einer Pumpe, einem Membran-Druckkessel und einem Rückflußverhinderer für die Druckerhaltung. Über eine druckabhängige elektrische Steuerung wird die Förderpumpe geschaltet. Ferner ist ein Anschluß der Wasser-Wärme-Rückgewinnungsanlage an das Trinkwasserversorgungsnetz vorhanden. Einerseits dient dieser zur Warmwasserversorgung über den Wärmetauscher im Abwasserspeicher und andererseits werden damit Versorgungslücken bei nicht ausreichendem Abwasseranfall gedeckt. Der Sammelbehälter erhält dabei über eine Luftbrücke Trinkwasser, dessen Zufluß über einen Niveauregler und ein Magnetventil gesteuert wird. Den ungehinderten Abwasserabfluß übernehmen eingebaute Überlaufleitungen. Sie haben die Aufgabe, das anfallende Abwasser im Falle einer Außerbetriebsetzung der Recyclinganlage (Reparaturarbeiten) in das öffentliche Entwässerungssystem einzuleiten. Auch leiten sie das Abwasser dann ab, wenn der Sammelbehälter voll ist.

Zu den erzielbaren Wassereinsparungen wird von BOSCH festgestellt, daß für einen 4-Personen-Haushalt ca. 66 m^3 pro Jahr an (ca. 45 l/Tag und Person) Trinkwasser eingespart werden könnte. In Verbindung mit einer Abwasser-Wärmenutzung werden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt, sie zeigen, daß akzeptable Amortisationszeiten für Wasser-Wärmerecyclinganlagen möglich sind, wenn von den heutigen Energiepreisen und Höchstwerten bei den Wassertarifen ($4,80 \text{ DM/m}^3$ Trink- und Abwasser) ausgegangen wird. Dabei handelt es sich um Anlagen für neu zu erstellende Gebäude mit mehr als 10 Wohneinheiten. BOSCH vermutet, daß die errechneten Amortisationszeiten von weniger als 10 Jahren, je nach

Anlagentyp und unterschiedlichen Wasser- und Energiekosten, sich zukünftig noch erheblich verbessern. Neben der zu erwartenden Verteuerung von Energie und Trinkwasser werden dabei die verringerten Herstellungskosten bei Serienproduktion als Gründe angegeben. Überraschenderweise wirken sich Kosteneinsparungen durch die Wasserwiederverwendung wesentlich stärker aus als durch die Wärmerückgewinnung.

Zur Untersuchung von BOSCH ist festzuhalten, daß verfahrenstechnische Fragen zur häuslichen Abwassernutzung nur ansatzweise beantwortet werden konnten, da zum einen keine experimentellen Untersuchungen durchgeführt und zum anderen bestehende ausländische Untersuchungsergebnisse nicht einbezogen wurden. Dies wäre auch über den Rahmen der als Vorstudie durchgeführten Forschungsarbeit hinausgegangen. Hier galt es lediglich, grundsätzliche Möglichkeiten aufzuzeigen. Darauf aufbauend war geplant, eine Demonstrationsanlage zu erstellen und sie in einem Wohngebäude zu erproben.

Dieses Vorhaben konnte nicht realisiert werden, so daß die Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit ohne praktische Überprüfung nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzen.

4.2.1.3 Wasser-Wiederverwendung, System BENNETT/LINSTEDT, Colorado, USA, 1975 *)

Nach umfangreichen Untersuchungen über Menge und Beschaffenheit häuslicher Abwässer befaßten sich BENNETT/LINSTEDT mit Möglichkeiten ihrer Wiederverwendung. Dabei wurde untersucht, inwieweit die in Abbildung 9 dargestellten Wasserbehandlungsmethoden geeignet sind, Abwässer aus dem Badezimmer, der Küche und der Waschmaschine als WC-Spülwasser und zur Gartenbewässerung nutzbar zu machen.

*) Bennett, E.R./Linstedt, K.D.: a. a. O.

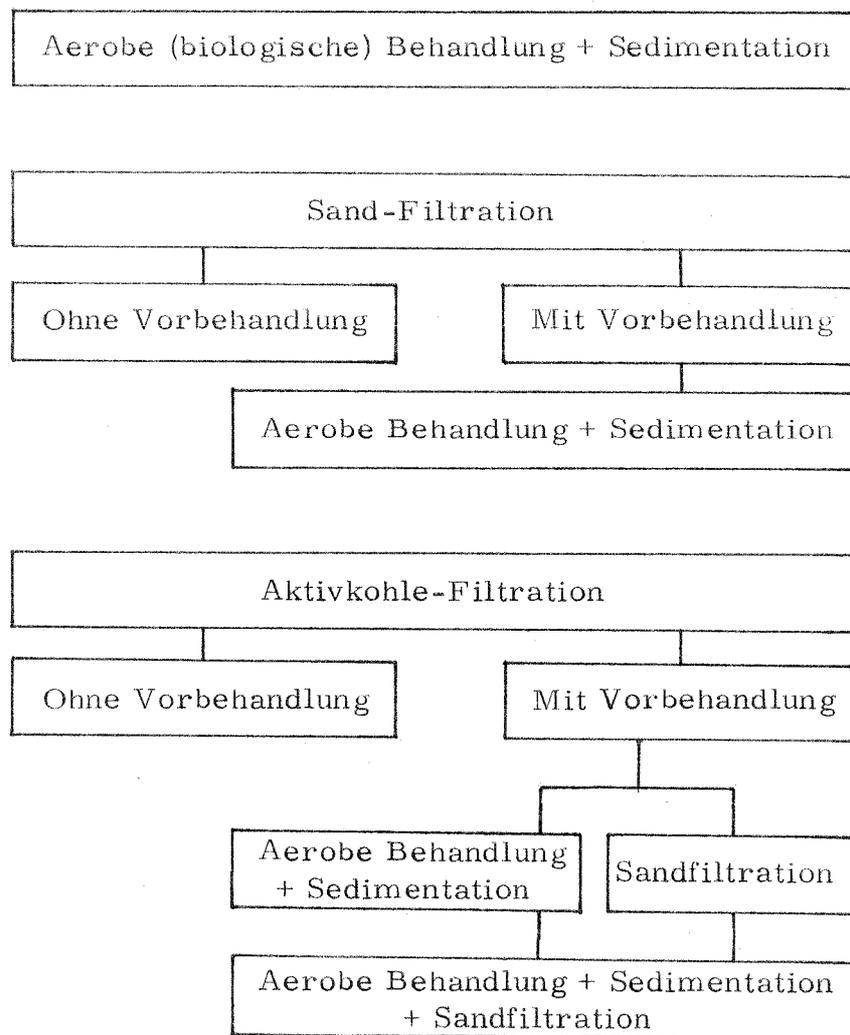


Abb. 9:

Von BENNETT/LINSTEDT untersuchte Abwasserbehandlungs-Methoden

Als Qualitätsmerkmale für das WC-Spülwasser sollten nach BENNETT/LINSTEDT gelten:

- minimale Geruchsbelästigung, keine Rückstände im WC-Becken und keine gesundheitliche Gefährdung.

Charakteristika dafür waren:

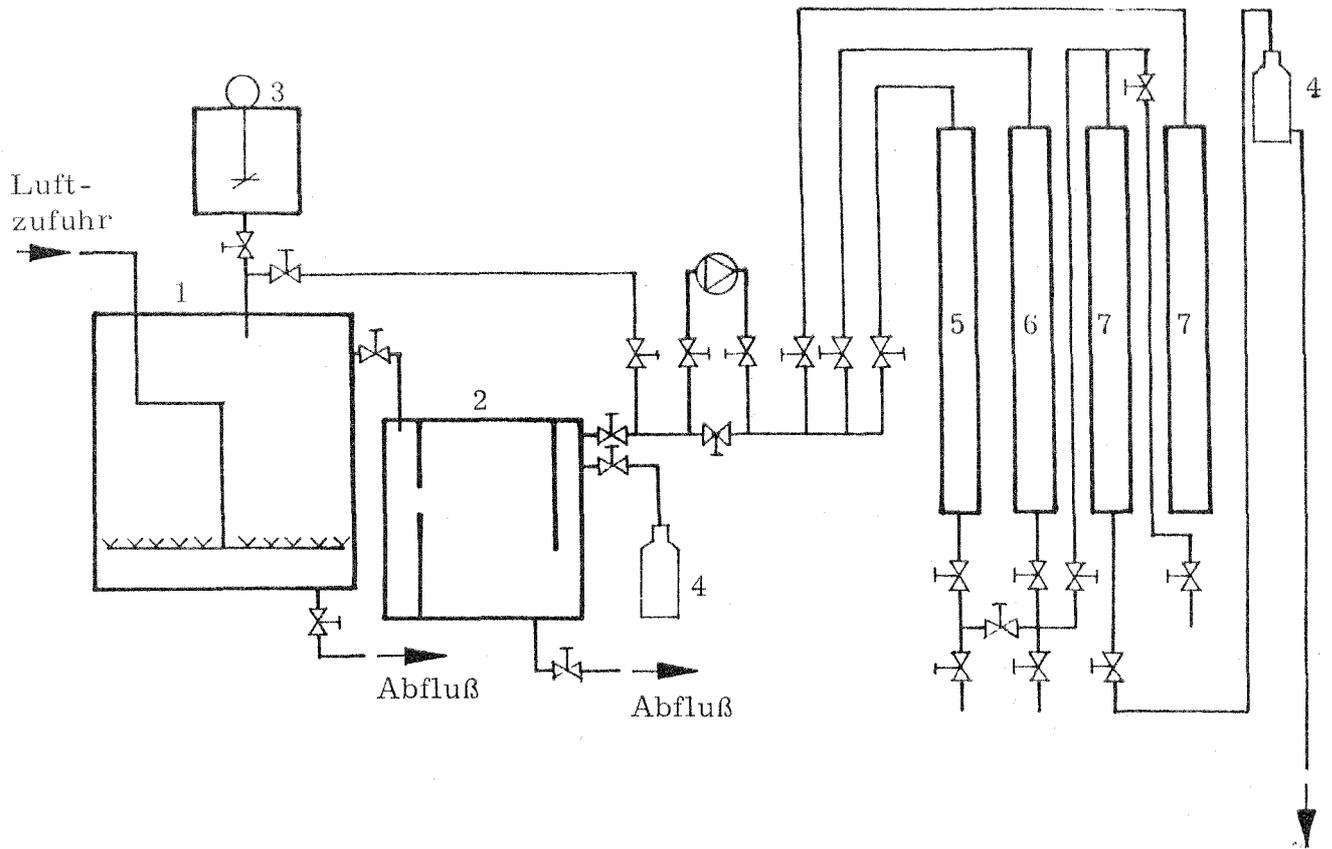
- BOD₅ 25 mg/l, COD 85 mg/l, TSS 30 mg/l (Schwebstoffe), JTU 20 mg/l (Klarheit), Koliformkonzentration 2/100 mg/l.

Vorstehende Werte basierten teilweise auf den Standards, die von der Gesundheitsbehörde von Colorado für Wasser herausgegeben wurden, das in Oberflächengewässer eingeleitet wird.

Zunächst wurden die Abwässer aus dem Badezimmer, der Küche und der Waschmaschine im Labor im Hinblick auf ihre biologische Zersetzbarkeit untersucht. Die Abwasserproben wurden so belüftet, daß die gelöste Sauerstoffkonzentration im Wasser ständig größer als 1 mg/l ist. Andere Wasserproben wurden ohne Sauerstoffzufuhr untersucht, wobei festgestellt werden konnte, daß innerhalb eines Tages der gelöste Sauerstoffgehalt aufgebraucht war und eine aktive aerobe Zersetzung ausblieb. Im Fall der Belüftung zeigte sich, daß der Verunreinigungsgrad innerhalb von 4 Tagen bis zu 60 % reduziert werden konnte. Ausnahmen bildeten die Verschmutzer in Geschirrspülabwässern, die kaum zersetzt wurden und als resistent erschienen. Küchenabwässer wurden deshalb in weitere Untersuchungen nicht mehr einbezogen.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Abwasserbehandlungsanlage gebaut und ihre Leistungsfähigkeit in Bezug auf die biologische Oxydation, Sedimentation, Filtration sowie Kohle-Adsorption beurteilt. Abbildung 10 zeigt die Anlage, bei der durch unterschiedliches Schließen der Absperrventile einzelne und kombinierte Stufen der Abwasserbehandlung analysierbar wurden.

Die Durchflußkapazität der Versuchsanlage betrug 10 Galonen pro Tag. Dieser Wert ergab sich einerseits aus Platzgründen und andererseits aufgrund begrenzter Transportmöglichkeiten der Wasserproben von den einzelnen Testhäusern zur Behandlungsanlage. Der Maßstab für die als Prototypmodell konzipierte Anlage lag bei 1:10.



- 1 Belüftungsbehälter
- 2 Sedimentationsbehälter
- 3 Mischer
- 4 Gefäß für Wasserproben
- 5 Ersatzfilter
- 6 Sand- Filter
- 7 Aktivkohle- Filter

Abb. 10:

Abwasseraufbereitung, System BENNETT/LINSTEDT

Zum Aufbau der Aufbereitungsanlage ist festzuhalten, daß die biologische Behandlung mit einem aeroben Belüftungsbehälter (Festhaltezeit: 4 Tage, Temperatur 13 - 17 °C, ständige Sauerstoffzufuhr: 7,2 - 7,8 mg/l, Durchmischung) und einem Sedimentationsbehälter (Rückhaltezeit: 2 Tage) erfolgte. Zur Filtration wurden Sandschnellfilter verwendet. Als Filtergeschwindigkeit läßt sich ca. 8 m/h errechnen. Die Filtermasse bestand von oben nach unten aus Anthrazit(11 inches/Lage), Quarzsand (11 inches/Lage) und einer dünnen Lage Kies darunter. Angaben über die verwendeten Korngrößenbereiche liegen nicht vor. Zur Aktivkohle-Filtration ist festzustellen, daß sie durch zwei Experimentierfilter erfolgte (Durchmesser: 2,5 inches, Gesamtlänge: 5 feet (ca. 1,5 m), Länge der Aktiv-Kohlesäule: 3,75 feet). Die Kohle stammte aus handelsüblichen Schwimmbadfiltern. Die Kontaktzeit des Abwassers aus Badewannen und der Waschmaschine mit der Aktivkohle betrug je Filter, die entweder allein oder in Reihe betrieben wurden, jeweils 20 Minuten. Zusätzlich hatten die Filterröhren noch Öffnungen, so daß es möglich war, in den verschiedensten Tiefen des Kohlebetts Proben zu entnehmen, woraus Aussagen über die Filterleistung in Abhängigkeit unterschiedlicher Kontaktzeiten gewonnen werden konnten.

Faßt man die Untersuchungsergebnisse über die Leistungsfähigkeit der aeroben Behandlungsmethode und der Sedimentation zusammen, zeigt sich, daß sie nicht ausreicht, um brauchbares Wasser für die WC-Spülung zu erhalten. Zwar läßt sich eine Konzentrationsabnahme an COD, BOD, Schwebstoffen und bei der Trübung feststellen, die Konzentrationen von Phosphat- und Stickstoffverbindungen konnten jedoch nicht verringert werden. Auch kam es zu keiner Reduktion der Koliformkonzentration. Bemerkenswert bei der aeroben Behandlung ist, daß trotz großer Schwankungsbreiten der Eingangverschmutzung des Abwassers, konstante Ausflußwerte festgestellt wurden. Dies bedeutet eine Erleichterung für eine sich daran anschließende Behandlungsstufe.

Zur Leistungsfähigkeit der Sandfiltration ist festzustellen, daß auch sie allein nicht ausreicht, um Abwasser aus Badezimmern und Waschmaschinen

als WC-Spülwasser nutzbar zu machen. Die COD-, BOD- und Schwebstoff-Konzentrationen nach Verlassen des Filters überschreiten um mehr als 50 % den geforderten Qualitätsstandard. Ebenso liegen auch die gemessenen Werte der Wassertrübung über den zulässigen. Festzuhalten ist, daß sich Feststoffe mit Hilfe des Filters schwer entfernen ließen, da sie in dem einfließenden Wasser überwiegend in gelöster Form auftraten. Wurde eine Reduktion erreicht, so resultierte sie aus der Filterwirkung der ersten Filterschicht (Anthrazitkohle). Jene Feststoffe, die in der Lage waren, durch die Anthrazitkohlefilterschicht zu gelangen, waren auch klein genug, um die Poren zwischen den Quarzsandkörnern zu durchdringen. Während des Betriebes des Filters bildete sich eine Matte von Feststoffen an der Oberfläche des Filterbetts (Seifen- und Waschmittelrückstände, Haare, Kleidungsfasern etc.). Erwartungsgemäß führte dies einerseits zu einer Verbesserung der Filtration und andererseits zu Geschwindigkeitsverlusten im Filter, die nur durch Druckerhöhung ausgeglichen werden konnten. Um sie zu vermeiden, mußte daher ständig rückgespült werden. Dies war sehr aufwendig (Zweiphasenspülung mit Luftverwirbelung mit anschließendem Wasserrückfluß) und machte einen Ersatzfilter notwendig. Zur Koliformkonzentration bei der Sandfiltration ist anzumerken, daß sie unverändert blieb.

Die anschließend durchgeführte Sandfiltration in Verbindung mit einer vorgeschalteten aeroben Behandlung und Sedimentation verbessert zwar die Qualität des aufbereiteten Wassers, insbesondere im Hinblick auf die Klarheit, dennoch reicht auch sie nicht aus, um die geforderten Qualitätsanforderungen an WC-Spülwasser zu erfüllen.

Bessere Ergebnisse bei der Wasseraufbereitung erzielten BENNETT/LINSTEDT bei der Filtration mit Aktivkohle. Die Adsorptionsleistung der Aktivkohle genügt jedoch nicht, um eine Wiederverwendung des Wassers zu ermöglichen. Zwar wurden mitgeführte Feststoffe besser herausgefiltert als bei der Sandfiltration, gleiches galt auch für die gelösten organischen Verbindungen, dennoch erfüllten die BOD-Gehalte und damit korrelierend

die Trübung nicht die gewünschten Anforderungen. Auch längere Kontaktzeiten mit der Aktivkohle änderten diesen Umstand nicht.

Ebenso wurde festgestellt, daß eine Sandfiltration als Vorbehandlung zur Kohle-Adsorption nur kürzere Kontaktzeiten im Aktivkohlebett zuläßt, jedoch eine Qualitätsverbesserung des aufbereiteten Wassers nicht eintrat.

Gute Aufbereitungsergebnisse wurden erzielt, wenn der Aktiv-Kohle-Filtration eine aerobe Behandlung mit Belüftung und Sedimentation vorausging. Eine weitere Verbesserung ergibt sich dann, wenn zusätzlich noch die Sandfiltration vorgeschaltet wird. Die angegebenen Ausflußwerte des aufbereiteten Wassers liegen weit unter den erforderlichen und werden wie folgt angegeben:

- BOD 3,5 - 6 mg/l, COD 19 - 27 mg/l und JTU 4,1 - 6,1 mg/l.

Einer Verwendung als WC-Spülwasser stand nunmehr nur noch die Koli-form-Konzentration entgegen, die auch durch die Behandlung mit Aktivkohle unverändert blieb. Dieses hochporöse Filtermaterial adsorbiert nicht nur viele Wasserinhaltsstoffe, sondern bietet auch Bakterien gute Voraussetzungen für eine Vermehrung. BENNETT/LINSTEDT gehen zwar auf diese Problematik nicht ein, stellen aber fest, daß das aufbereitete Wasser nur im Zusammenhang mit einer Desinfektion wieder verwendet werden sollte.

Die Untersuchungsergebnisse von BENNETT/LINSTEDT machen deutlich, daß Abwässer aus Badezimmern und Waschmaschinen weder durch aerobe Behandlung mit Belüftung und Sedimentation, noch mit Hilfe von Sandfiltern allein nutzbar zu machen sind. Auch läßt eine alleinige Aktiv-Kohle-Filtration unabhängig von der Kontaktzeit eine Wiederverwendung des aufbereiteten Wassers nicht zu.

Wenngleich BENNETT/LINSTEDT keine konkreten Hinweise darüber geben, wie ein Abwasserbehandlungssystem im praktischen Betrieb aussehen könnte, und wichtige Fragen zur Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit der innerhäuslichen Abwasserwiederverwendung unbeantwortet lassen, so zeigen sie dennoch Verfahrenskombinationen auf, mit denen eine Nutzbarmachung von gering verschmutztem häuslichen Abwasser möglich wären. Weiterhin lassen sich mit ihren Ergebnissen andere Systemkonzeptionen besser beurteilen.

4.2.1.4 Wasser-Wiederverwendung, System HYPES, V.A., NASA,
Langley Research Center, Hampton USA, 1978 *)

Aufbauend auf Erkenntnissen über Wasser-Wiederverwendungssysteme für die bemannte Raumfahrt sollte festgestellt werden, ob sich diese Systeme auch für den privaten Einsatz eignen. Hierzu wurden in einer Voruntersuchung zunächst die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Charakteristika von Abwässern aus Waschmaschinen, Badewannen, Küchenspülen und Waschbecken analysiert **). Simuliert wurden dabei die Wasserverbrauchsgewohnheiten einer vierköpfigen Familie. Festgestellt wurde, daß nur Abwässer aus Badewannen, Duschen und Waschmaschinen für eine innerhäusliche Wiederverwendung als WC-Spülwasser in Frage kommen.

Untersucht wurde weiterhin, ob unbehandeltes Badezimmer- und Waschmaschinenwasser für die WC-Spülung zu verwenden ist. Das dafür notwendige System beinhaltete eine Badewanne, eine Dusche und eine Waschmaschine, deren Abwässer in einen Polyäthylentank geleitet wurden und von dort über eine Pumpe einen WC-Spülkasten versorgten. Dieses System war 12 Tage

*) Hypes, W. D. : Laboratory and Family Live in Experiences with Domestic Greywater Reuse Systems. NASA Langley Research Center, V. A. , Presented at Nat. Sanitation Foundation Individual Onsite Wastewater Systems. 5th Conf. Ann Arbor. Oct. 1978

***) Hypes, W. D. , u. a. : a. a. O.

in Betrieb, wobei der normale Gewohnheitszyklus einer vierköpfigen Familie simuliert wurde. Es zeigte sich, daß das unbehandelte Abwasser im Behälter zu Schlamm und Schaumbildung neigt und nach einiger Zeit einen unangenehmen Geruch hatte. Dieser Geruch war jedoch im WC-Spülkasten und im WC-Becken nicht feststellbar. Ebenso wurde auch keine Schaumbildung im Spülkasten bemerkt. Da das unbehandelte Abwasser jedoch sichtbare Partikel enthielt, zu trüb war, und darüberhinaus, unzulässige Koliformkonzentrationen aufwies, wurde das Wasser-Wiederverwendungssystem durch Aufbereitungseinrichtungen erweitert.

Zur Verbesserung der chemisch-physikalischen Eigenschaften wurde eine Filtration über Diatomeen-Erde (Kieselgur) ausgewählt. Es handelt sich dabei um eine Oberflächenfiltration. Als Diatomeen werden die Skelette der Kieselalgen bezeichnet, die chemisch aus Siliziumdioxid bestehen, und Durchbrechungen von nur etwa $1 \mu\text{m}$ haben, woraus sich eine Trennschärfe von $0,5$ und $1 \mu\text{m}$ ergibt.

HYPES verwendete zur Diatomeen-Filtration einen Filter, wie er in Schwimmbädern anzutreffen ist. Die Anschwemmfläche betrug ca. $0,7 \text{ m}^2$, auf die $0,75 \text{ kg}$ Diatomeen-Erde verteilt wurde. Die Ergebnisse über die Filtrationswirkung bei einem Durchfluß von 618 Galonen kombinierten Badezimmer- und Waschmaschinenabwässern zeigt Tabelle 15.

Dabei wurde das Abwasser durch Rezirkulation 90 Minuten gefiltert. Es zeigte sich, daß bei der gefilterten Abwassermenge von ca. $2,5 \text{ m}^3$ nur noch ein Feststoffanteil von $1,0 \text{ g}$ enthalten war. Die differenzierten Angaben in Tabelle 14 waren möglich, da Vergleichsmessungen über den Feststoffgehalt des unbehandelten Abwassers mit Hilfe von Baumwollfaserfiltern unterschiedlicher Durchlässigkeit durchgeführt wurden.

Nach Behandlung der Filtration des Abwassers mußte noch die mikrobiologische Beschaffenheit des aufbereiteten Wassers verändert werden. HYPES

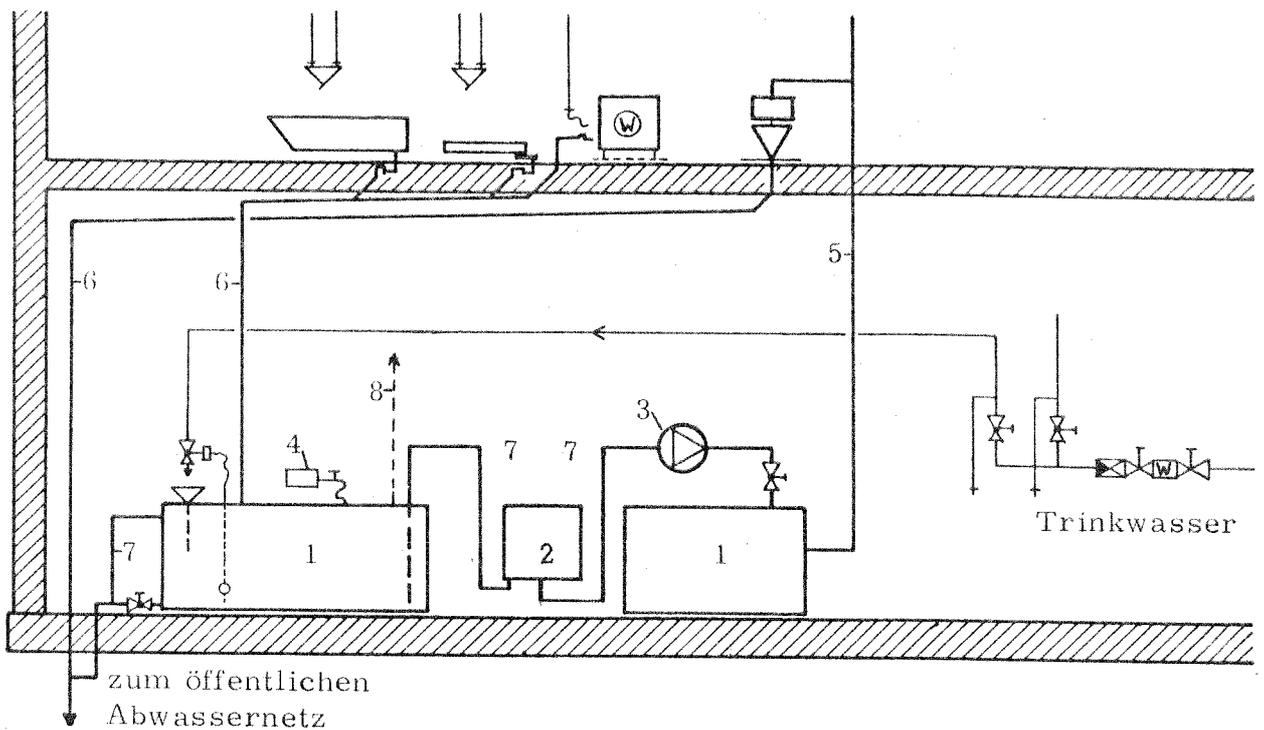
Trennschärfe der Baumwoll- faserfilter [µm]	Ohne Filtration über Diatomeen-Erde		Mit Filtration über Diatomeen-Erde	
	Wasser- durchfluß [gal]	Gewicht ausgefilteter Feststoffe [g]	Wasser- durchfluß [gal]	Gewicht ausgefilteter Feststoffe [g]
50		32		0
25		47		0.5
10	606	46	618	0
5		109		0.5
1		64		0
Summe	606	298	618	1.0

Tabelle 15:

Wirkung der Diatomeen-Filtration (Kieselgur-Filtration)

diskutiert in diesem Zusammenhang zwei Möglichkeiten, einerseits die Abtötung von Bakterien durch Erwärmung und andererseits durch Chlorierung. Aus Kostengründen bot sich die Chlorierung an, die er in Konzentrationsbandbreiten von 15 - 25 mg/l auf ihre Wirksamkeit untersuchte.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine Chlorierung mit einer Konzentration von 15 mg/l zum Abtöten der Koliform-Organismen nur im Sammelbehälter ausreicht. Dagegen sind sie im Spülkasten bei dieser Menge noch anzutreffen, so daß sich als notwendige Chlorkonzentration 20 mg/l ergab. Anhand der Ergebnisse aus den Vorversuchen wurde eine Pilotanlage zur Wasser-Wiederverwendung für ein 1-Familienhaus konzipiert und eingebaut. Abbildung 11 zeigt die schematische Darstellung des Systems.



- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1 Sammelbehälter | 5 Rohrleitung aus Kupfer |
| 2 Kieselgur-Filter | 6 Rohrleitung aus Gußeisen |
| 3 Pumpe | 7 Rohrleitung aus PVC |
| 4 Desinfektion | 8 Entlüftung |

Abb. 11:

Wasserwiederverwendung System HYPES

Das System besteht aus einem 110 Galonen-Polyäthylen-Sammeltank, einem Kieselgur-Filter, einem Windkessel (17 Galonen-Drucktank), Überlaufeinrichtungen und Anlageteilen, die zur Versorgungssicherheit dienen (Trinkwasserzufuhr bei nicht ausreichendem Abwasseranfall). Zur Füllung des WC-Spülkastens wurde das Wasser aus dem Drucktank herangeführt, der so geschaltet war, daß bei Druckabfall unter einem bestimmten Wert eine Pumpe automatisch in Betrieb gesetzt wurde, die das Wasser aus dem Sammelbehälter und durch den Filter zog. Das aufzubereitende Abwasser durchlief den Filter nur einmal. Angaben über die Filtergeschwindigkeit liegen nicht vor. Über den Sammelbehälter befand sich eine Chlorierungseinrichtung mit Wäschebleiche. Über das Gewicht des zufließenden Wassers wurde dabei

eine Pumpe gesteuert, die die Bleiche in den Sammelbehälter beförderte.

War die Vorratsmenge im Behälter zu gering, wurde der Trinkwasserzufluß über einen Schwimmer und Magnetventil gesteuert. Das Trinkwasser floß dabei über eine Luftbrücke in den Sammelbehälter, um auf diese Weise jegliche Verunreinigungen des Trinkwassernetzes auszuschalten.

Während des einjährigen Betriebs in der Pilotanlage konnte der Wasserverbrauch einer 4-köpfigen Familie um 27 % reduziert werden. Dieser Wert resultiert aus folgenden Meßergebnissen:

Gesamtverbrauch:	68 742 Galonen
Aufbereitetes Wasser für die WC-Spülung:	18 787 Galonen
Gesamtmenge des in den Sammelbehälter fließenden Abwassers:	24 814 Galonen
Wassergesamtbedarf für die WC-Spülung:	22 987 Galonen

Zum Betrieb der Anlage ist festzustellen, daß sie über ein Jahr weitgehend reibungslos arbeitete. Ständige Kontrollen der Koliformkonzentration ergaben, daß die gewählte Chlorierungsmenge mit 20 mg/l ausreichte. Angaben über den Reinigungs- und Reparaturaufwand einzelner Anlageteile gibt Tabelle 16.

Es zeigte sich, daß der Filter 8 x gereinigt werden mußte, dabei war jedesmal 0,7 kg Kieselgur neu anzuschwemmen. Zur Reinigung des Sammelbehälters ist festzustellen, daß ein einfaches Leerlaufenlassen nicht ausreichte, sondern es notwendig war, den Behälter unter Wasserdruck auszuspülen. Aber auch damit wurde eine vollständige Reinigung nicht erzielt. HYPES merkt an, daß es wünschenswert wäre, die Wände des Tanks von innen abzuseifen, aber dies nicht möglich war, da die Tanköffnungen zu klein war, um in den Tank zu gelangen.

Date	Event	Maintenance(M) or Repair(R)	Cause
September 9, 1977	Cleaned-filter	M	Filter expended
September 15, 1977	Opened hole/chlorin.cup	R	Hole plugged
September 23, 1977	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
October 7, 1977	Cleaned pump jet	R	Je clogged
October 19, 1977	Pump switch failure	R	Switch clogged
	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
November 10, 1977	Cleaned filter	M	Filter expended
November 28, 1977	Chlorinator failure	R	Tension cord break
November 30, 1977	Cleaned filter	M	Filter expended
December 19, 1977	Cleaned filter	M	Filter expended
	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
January 24, 1978	Cleaned filter	M	Filter expended
February 10, 1978	Cleaned filter	M	Filter expended
March 6, 1978	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
April 28, 1978	Cleaned filter	M	Filter expended
May 16, 1978	Pump failure	R	Loose fitting
June 16, 1978	Cleaned filter	M	Filter expended
	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
July 28, 1978	Cleaned collection tank	M	Residue buildup
	Cleaned water closets	M	Residue buildup

Tabelle 16:

Instandsetzungs- und Reparaturarbeiten

Die aus Tab. 16 zu ersehenden Reparaturarbeiten an der Chlorierungseinrichtung und an der Pumpe werden mit Konstruktionsmängeln erklärt, die abgestellt werden konnten.

Die Untersuchung von HYPES ergab, daß es mit relativ geringem apparativen Aufwand möglich ist, Abwasser aus Badezimmer und Waschmaschine zur WC-Spülung wiederzuverwenden. Deutlich zeigt sich auch hier, daß unbehandeltes Abwasser für eine Weiterverwendung nicht in Frage kommt. Auf Grund der guten Filtrationswirkung von Kieselgur scheint eine derartige Aufbereitung des Abwassers zu WC-Spülwasser erfolgversprechend zu sein. Dennoch ist festzuhalten, daß in der Untersuchung von HYPES wichtige Angaben über BOD-COD und Schwebstoffkonzentrationen im aufbereiteten Wasser fehlen. Genauere Untersuchungen wären daher angebracht.

4.2.1.5 Wasser-Wiederverwendung System COHEN/WALLMAN, Cincinnati, USA, 1974 *)

COHEN/WALLMAN stellten anhand empirischer Untersuchungen fest, daß 30 - 40 % des Wasserverbrauchs in privaten Haushalten zur Toilettenspülung verwendet wird. Um den Trinkwasserverbrauch dafür zu senken, sollen die Abwässer aus Badezimmern und Waschmaschinen nutzbar gemacht werden. Die Anforderungen bei der Nutzbarmachung waren:

- minimale Geruchsbelästigung,
- das Wasser soll klar und sauber sein,
- es soll keine Fleckenbildung im WC verursachen und
- keine Gesundheitsgefährdung darstellen.

Neben der Notwendigkeit der Versorgungssicherheit waren weitere Kriterien zu erfüllen:

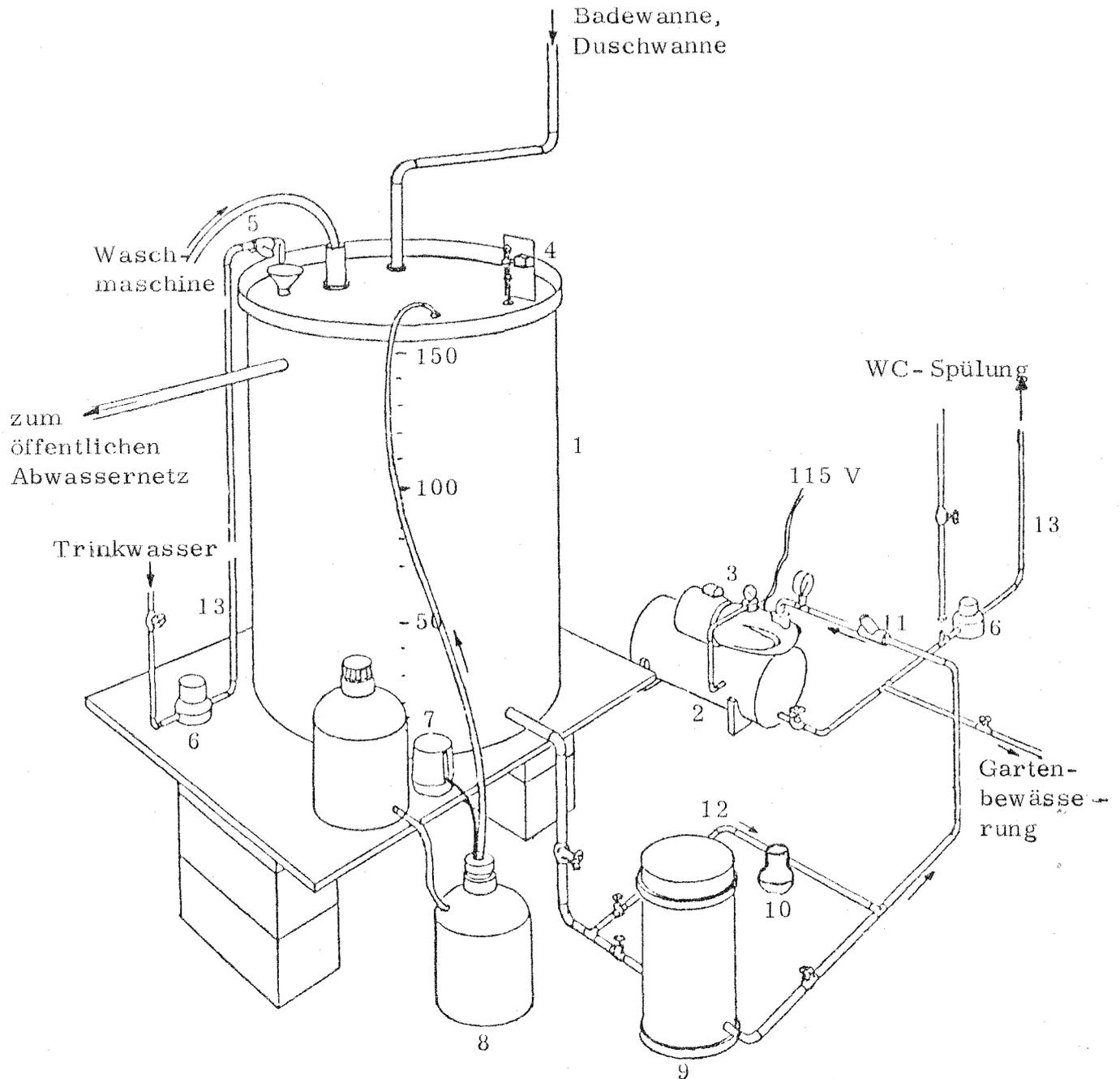
- akzeptable Kosten,
- geringer Service und
- ein begrenzter Platzbedarf.

Anhand dieser Rahmenbedingungen wurden Wasserwiederverwendungssysteme für 1-Familienhäuser entwickelt und über einen 2-jährigen Zeitraum im praktischen Betrieb getestet.

Die dabei eingesetzten Wasser-Aufbereitungssysteme sind aus den isometrischen Darstellungen der Abbildungen 12 und 13 zu ersehen.

Aus Korrosions- und Kostengründen diente zur Abwassersammlung ein belüfteter Polyäthylen-Behälter, mit einem Fassungsvermögen von 380 bzw. 570 Litern, das dem jeweils vermuteten Verbrauch entsprach. Den Wasserstand des Behälters kontrollierte ein Schwimmer, so daß bei vollem Be-

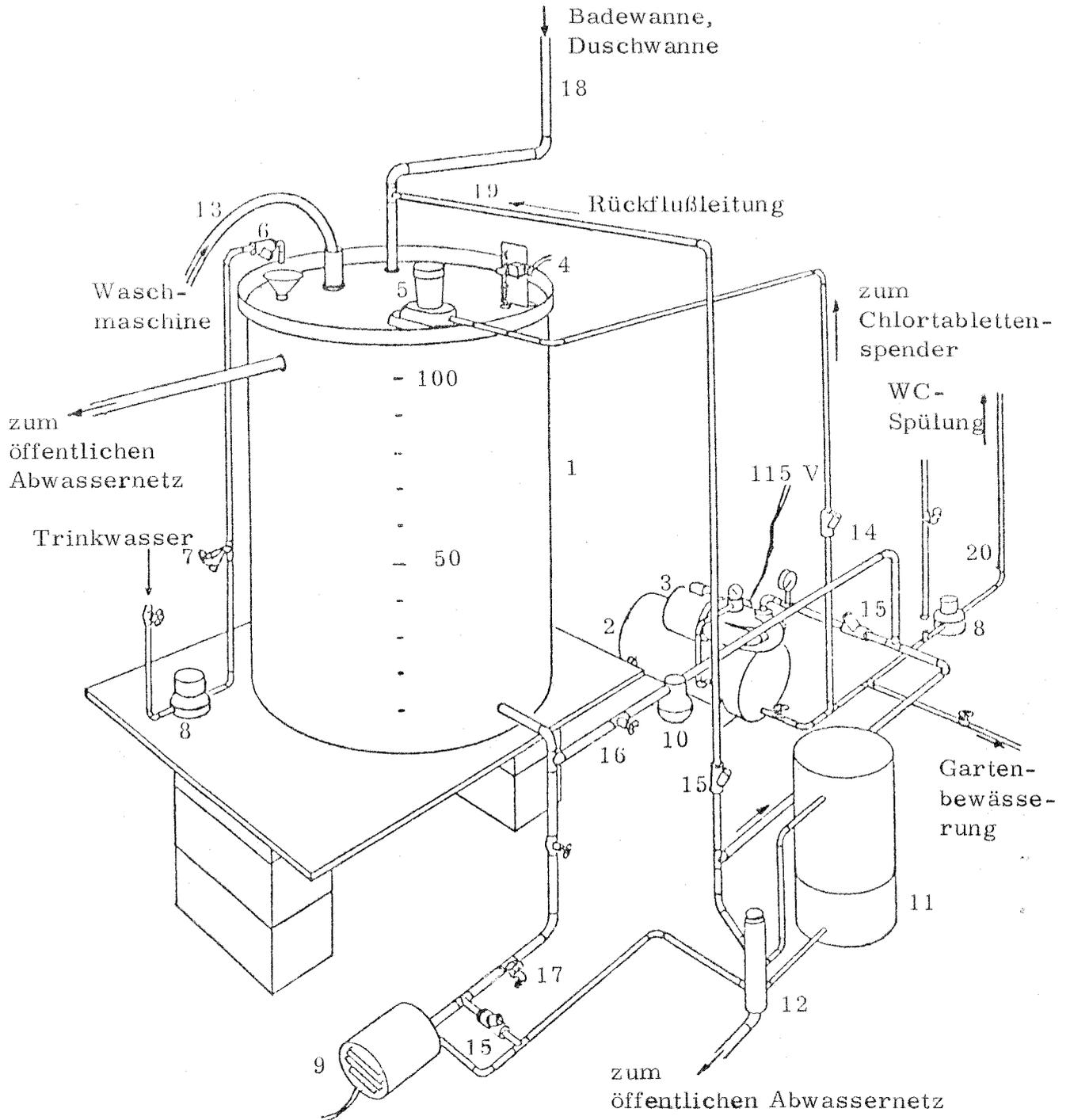
*) COHEN/WALLMAN: a. a. O.



- | | |
|---------------------------------------------------|------------------|
| 1 Sammelbehälter (Polyäthylen) | 8 Wäschebleiche |
| 2 Druckbehälter (45l) | 9 Patronenfilter |
| 3 Druckerhöhungspumpe (0,33 PS \approx 0,24 KW) | 10 Siebfilter |
| 4 Schwimmerventil | 11 Absperrventil |
| 5 Trinkwasserzufuhr - über Luftbrücke | 12 Bypass |
| 6 Wasserzähler | 13 Kupferleitung |
| 7 Pumpe (Wäschebleiche) | |

Abb. 12:

Wasserwiederverwendung, System COHEN/WALLMAN



- | | | | |
|----|-------------------------------------------------|----|----------------------|
| 1 | Sammelbehälter (Polyäthylen) | 11 | Kieselgurfilter |
| 2 | Druckbehälter (45 l) | 12 | Rückspüleinrichtung |
| 3 | Druckerhöhungspumpe (0,33 PS \approx 0,24 KW) | 13 | Flexibler Schlauch |
| 4 | Schwimmerventil | 14 | Magnetventil |
| 5 | Chlortablettenspender | 15 | Absperrventil |
| 6 | Trinkwasserzufuhr - über Luftbrücke | 16 | Bypass |
| 7 | Rückflußverhinderer | 17 | Schlauchanschluß |
| 8 | Wasserzähler | 18 | PVC- oder Kupferltg. |
| 9 | Zirkulationspumpe (1/30 PS \approx 24 W) | 19 | PVC |
| 10 | Siebfilter | 20 | Kupferleitung |

Abb. 13:

Wasserwiederverwendung, System COHEN/WALLMAN

hälter das ankommende Abwasser sofort in das Abwassersystem geleitet wurde. Bei zu niedrigem Wasserstand im Behälter wurde über eine Luftbrücke Trinkwasser bis zur Mindesthöhe nachgefüllt.

Basierend auf Untersuchungsergebnissen über unzulässige Koliformkonzentrationen und einer Geruchsbildung des unbehandelten Abwassers bei längerer Standzeit, entschied man sich für eine Desinfektion mit Chlor, die am kostengünstigsten war. Zwei Arten der Chlorierung wurden angewandt: tropfenweise Zugabe von Wäschebleiche über eine Pumpe bzw. Chlorzugabe über einen Chlortablettenspender (HTH-Tabletten). Die Chlorkonzentration im Lagertank betrug dabei ständig zwischen 20 und 30 mg/l. Koliformzählungen blieben dabei negativ. Für den Jahresverbrauch wurden angegeben: 42 Liter 5 % iges Hypochlorid (Wäschebleiche) bzw. 3,7 kg Chlortabletten.

Bei der Filtration verwendeten COHEN/WALLMAN drei verschiedene Filterarten. Dabei handelte es sich um einen Kieselgurfilter (Anschwemmfilter mit 0,7 kg Diatomeen-Erde, Filterkapazität bis zur Erneuerung: 17000 Liter) und um zwei Patronen-Filter unterschiedlicher Bauart. Festzuhalten zu den Patronen-Filtern ist ihre zwischen 10 und 15 μm liegende nominale Feststoffentfernung und ihre Filterkapazität bis zur Erneuerung des Filtermaterials von 12600 bis 15000 Liter. Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse über die Leistungsfähigkeit der einzelnen Filter im Zusammenhang mit der Trübung des Ausflusses und der Menge ungelöster Schwebstoffe.

Es zeigte sich, daß der Kieselgurfilter bei weitem das effizienteste System in Bezug auf die Trübung sowie auch auf die Schwebstoffreduktion darstellt. Außerdem war dieser Filter am preiswertesten zu betreiben. Die COD-Konzentrationen für das in diesem System behandelte Wasser reichten von 53 - 85 mg/l.

Aus den isometrischen Darstellungen ist noch zu ersehen, daß der Transport des aufbereiteten Wassers zu den WC-Spülkästen über eine 45 Liter

Filter	Wasser- durchfluß [l/Zyklus]	Trübung nach Filtration [ppm]	Feststoffge- halt nach Filtration [mg/l]	Betriebs- kosten [\$./Jahr]
Kieselgur- filter	17 000	23	21	16
Patronen- filter; 15 µm	12 600	60	31	43
Patronen- filter; 10 µm	15 000	62	43	40

Tabelle 17:

Leistungsfähigkeit und Betriebskosten der Filtration nach COHEN/WALL-
MAN

großen Windkessel erfolgt. Die dazu notwendige Energie wird mit 1/3 PS
angegeben.

Betrachtet man abschließend die von COHEN/WALLMAN durchgeführten
Kostenschätzungen für häusliche Wasser-Wiederverwendungssysteme (Ta-
belle 18), so ist zu entnehmen, daß die Filtration über Diatomeen-Erde die
wirtschaftlich günstigste Lösung der Abwasseraufbereitung darstellt. Zu
den einzelnen Kosten ist anzumerken, daß sie auf heutige Verhältnisse kaum
noch zutreffen dürften und auch damals sehr gering angesetzt erscheinen.
Greift man z.B. die Lohnkosten heraus, die mit 50 Dollar für die Installa-
tion einer in Serienproduktion gefertigten Anlage geschätzt werden und setzt
sie in Beziehung zu üblichen Stundensätzen, so ist es unrealistisch zu glau-
ben, daß in 3 - 4 Stunden eine derart umfangreiche Anlage installiert werden
kann.

Die Untersuchung von COHEN/WALLMAN zeigt, daß es praktikabel ist, auf-
bereitetes Waschmaschinen- und Badezimmerabwasser zum WC-Spülen zu
benutzen. Während der zweijährigen Testzeit wurde kein Schaden an der

	Prototyp Recycle Systems		Projection for mass produced recycle system (Diatomite filter)
	Diatomite filter	Cartridge filter	
A. Initial Cost			
Storage sys.	\$ 175	\$ 175	\$ 70
Filter sys.	135	60	100
Pressurization sys.	115	115	85
Disinfectant feeder	20	20	20
Valves, pipe, fittings	95	80	75
Total Mat'l Cost	540	450	350
Labor Cost	100	90	50
Total Installed Cost	640	540	400
B. Annual operating Cost			
Filter media	3.50	38.80	3.50
	12.00	1.20	7.00
	5.50	5.50	5.50
	21.00	45.50	16.00
C. Total annual Cost			
Expected life years	15	15	15
Total Cost per years	63.50	81.50	43.00

Tabelle 18:

Kosten des Wasser-Wiederverwendungssystems nach COHEN/WALLMAN

sanitärtechnischen Anlage festgestellt und die Chlorierung erwies sich wirkungsvoll im Hinblick auf die Vermeidung gesundheitlicher Gefahren. Auch traten keine unangenehmen Gerüche bei der WC-Spülung und in den WC-Räumen auf. Wenngleich auch genaue Angaben über die Leistungsfähigkeit der Diatoomeen-Filtration, ausgedrückt in typischen Analysewerten fehlen, so ist doch dieser Behandlungsmethode besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

4.2.1.6 Wasser-Wiederverwendung System Mc LAUGHLIN, Pennsylvania, USA, 1968 *)

Das von Mc LAUGHLIN im Jahre 1967 konzipierte System, das in Abbildung 14 schematisch dargestellt ist, wurde über ein Jahr lang in einem Einfamilienhaus getestet, das von 3 Personen bewohnt wurde. Die einfache Anlage bestand aus 2 Behältern mit insgesamt 100 Galonen Wasserinhalt, einem Schwimmbadfilter auf Kieselgur-Basis und einem kleinen Druckbehälter mit einer einfachen Gartenpumpe. Die Filteroberfläche wird mit $1,8 \text{ m}^2$ angegeben. Mc LAUGHLIN berichtet dazu an anderer Stelle, daß sich die Filtergröße für die Menge des aufbereiteten Wassers (ca. $100 \text{ m}^3/\text{Jahr}$) als zu groß erwies und auch kleiner gewählt hätte sein können **).

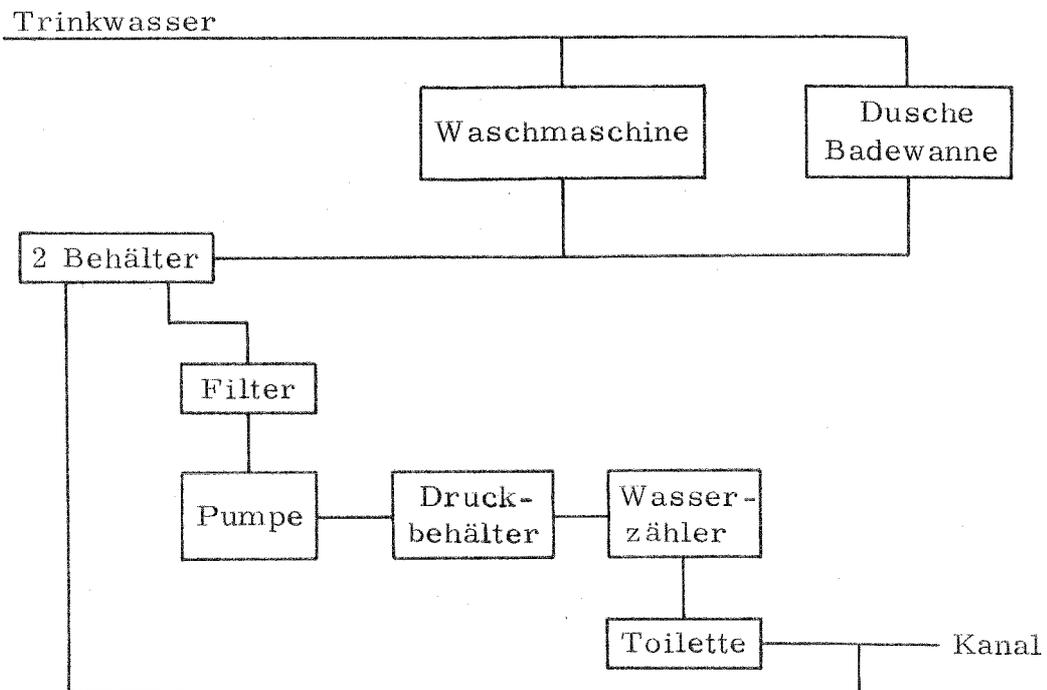


Abb. 14: Schematische Darstellung der Anlage Mc LAUGHLIN's

*) Mc Laughlin, E.R.: A Recycle System for Conservation of Water in Residences. Water + Sewage Works 115:4, S. 175-177 April 1968

***) Milne, M.: Residential Water Reuse, Technical Completion Rept., California Univers., Davis, 1979

Beim praktischen Betrieb erwiesen sich die Speicherbehälter als zu klein. Kontrolluntersuchungen an den bitumenbeschichteten Stahlbehältern ließen eine starke Rostbildung an den Stellen erkennen, an denen die Bitumenbeschichtung nicht einwandfrei angebracht war. Außerdem bildete sich innerhalb eines Jahres eine ca. 10 cm dicke Schlammschicht mit hohem spezifischen Gewicht. Beim Reinigen und Entleeren der Behälter war diese ohne vorherige Verdünnung nicht mehr abzusaugen. Mc LAUGHLIN hält daher bei innerhäuslichen Wasser-Wiederverwendungssystemen einen zusätzlichen Absetztank mit einer kontinuierlichen Absaugemöglichkeit für sinnvoll.

Über die Beschaffenheit des aufbereiteten Wassers wurden keine detaillierten Aussagen getroffen. Festgestellt wurde lediglich, daß sich das leicht grau gefärbte Wasser gegenüber den weißen WC-Becken kaum abhob und daß keine Geruchsbelästigungen auftraten. Zwar wurde von einem leichten Geruch berichtet, wie er typisch für Wäschereiwässer ist, dieser erregte jedoch keinen Anstoß. Die WC-Spüleinrichtung arbeitete während des gesamten Jahres zufriedenstellend. Obwohl Mc LAUGHLIN auf eine Chlorierung verzichtete, vermerkte er, daß eine derartige Maßnahme angebracht wäre.

Mc LAUGHLIN hält eine halbjährliche Reinigung der Anlage für ausreichend und vermerkt ferner, daß auf eine Filtration ganz verzichtet werden könnte, da diese den Betrieb der Anlage nur wenig zu beeinflussen schien. Verglichen mit den Erkenntnissen aus anderen Untersuchungen erscheint dies jedoch zweifelhaft.

Die Systemkosten werden mit 500 Dollar (Preisbasis 1967) angegeben. Sie setzen sich wie folgt zusammen: Sammelbehälter 40, Filter 150, Pumpe 60, Druckbehälter 50, Rohrleitungssystem 50, Installationslohnkosten 150 Dollar. Eingspart wurden mit der Anlage nur etwa 20,8 Dollar pro

Jahr an Wasser- und Abwassergebühren. Mc LAUGHLIN stellt dazu richtig fest, daß sich ein solches System unter diesen Bedingungen wirtschaftlich nicht rechtfertigen läßt. Zwar liegen heute die Trinkwasserkosten und Abwassergebühren in der Bundesrepublik um ein Vielfaches höher, dennoch versteht sich, daß eine derartige Anlage nicht für 500 Dollar erstellt werden kann.

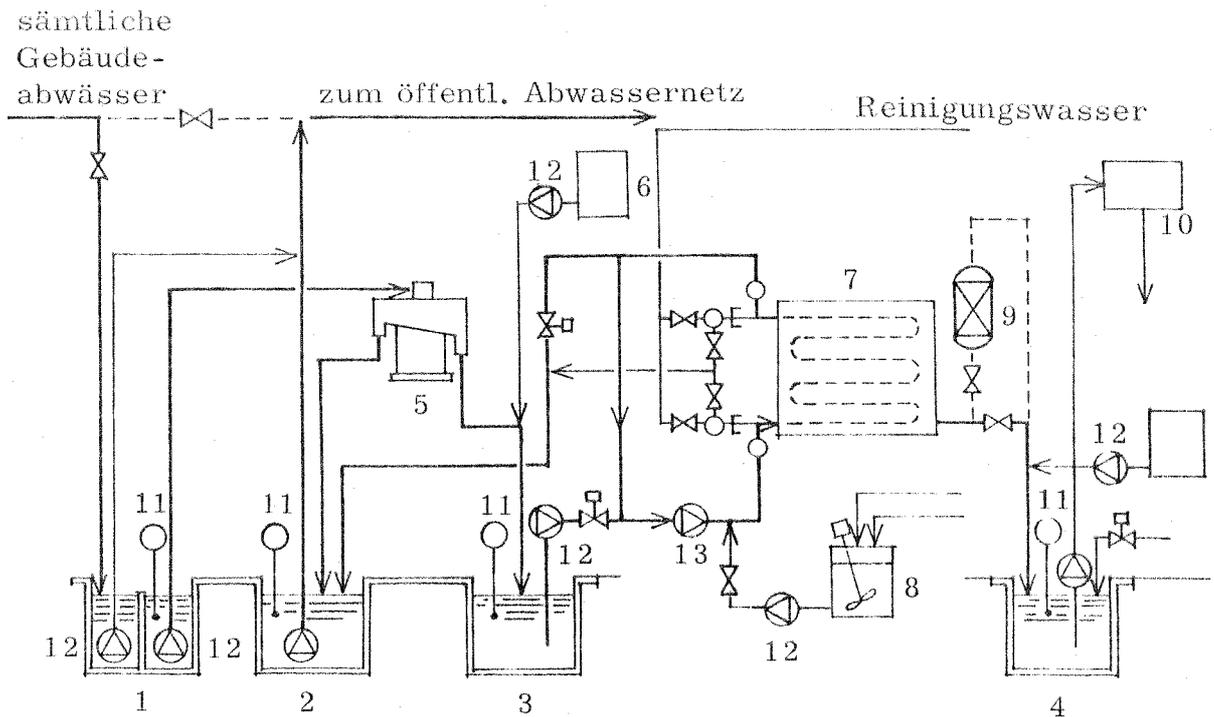
Auf das von Mc LAUGHLIN konzipierte System kann nicht weiter eingegangen werden, da detaillierte Angaben über die Leistungsfähigkeit der Anlage fehlen.

4.2.1.7 Wasser-Wiederverwendung, System MITSUBISHI, Japan 1976 *)

Während in der Bundesrepublik die Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser als Betriebswasser für die WC-Spülung kaum anzutreffen ist, wird diese trinkwassereinsparende Maßnahme in Japan häufig praktiziert. Insbesondere gilt dies für Tokio, wo das öffentliche Trinkwasserver- und Abwasserentsorgungssystem hoffnungslos überlastet ist. Baugenehmigungen werden dort teilweise nur dann erteilt, wenn der Einsatz eines Wasserwiederverwendungssystems geplant ist. Haupteinsatzbereiche für Wasserwiederverwendungssysteme stellen gewerblich genutzte Gebäude, wie Bürohochhäuser, Hotels, Restaurants usw. dar. Je nach Systemaufbau werden dabei entweder die gesamten Abwässer oder aber nur nichtfäkal ver-

*) Mitsubishi; : Water re-use by ultra-filtration in individual
Saito, J.; building. Desalination 23, Amsterdamm 1977
Fujii, S.

schmutzte Abwässer nutzbar gemacht. Unterschiedliche Systemaufbauten werden in der Literatur beschrieben *), von denen die Anlage des MITSUBISHI-Konzerns näher betrachtet werden soll. (Abbildung 15)



- | | |
|------------------------------|-------------------------------------------|
| 1 Schmutzwasserbehälter | 8 Behälter für die chem. Reinigungslösung |
| 2 Kondensatbehälter | 9 Aktivkohleeinheit |
| 3 Zwischenbehälter | 10 Hochbehälter |
| 4 Lagerbehälter | 11 Wasserstandsmesser |
| 5 vibrierendes Sieb | 12 Pumpe |
| 6 Desinfektionsmittelspender | 13 Zirkulationspumpe |
| 7 Ultrafiltrierungseinheit | |

Abb. 15:

Wasseraufbereitungsanlage nach dem Ultrafiltrationsprinzip, System MITSUBISHI

- *) Iwai, S.; u. a. : Reuse of drainage from an office building (Wiederverwendung von Abwasser aus einem Bürogebäude). Desalination 23, S. 171-181, 1977
- Bhattacharyya, D.; : Ultrafiltration of complex wastewaters: recycling for nonpotable use (Ultrafiltration von komplexem Abwasser: Recycling zur Wiederverwendung, nicht als Trinkwasser). Jour. WPCF, 50, Nr. 5, S. 846-861, 1978 , u. a.

Die Anlage verwendete die gesamten im Gebäude anfallenden Abwässer: insgesamt 60 m^3 , die aus zwei kleinen Restaurants und den Sanitärbereichen stammten. Im Ultrafiltrationsprozeß wurden aus diesen 60 m^3 etwa 30 m^3 herausgefiltert und der Wiederverwendung zugeführt, während die restlichen, nun stark konzentrierten Abwässer in den Abwasserkanal gepumpt wurden. Man entschied sich zur Ultrafiltration, da eine solche Anlage sehr wirtschaftlich arbeitet, leicht zu bedienen ist und vor allem, da sie keinen Schlamm produziert, dessen Abtransport man in der Innenstadt Tokios als sehr störend empfunden hätte. Ein biologischer Prozeß schied von vornherein aus, da er nicht flexibel genug ist (während des Wochenendes fällt kein Abwasser an), wohingegen die Ultrafiltration ein rein physikalischer Prozeß ist und mit schwankenden Wassermengen leicht fertig wird.

Das Abwasserleitungssystem des gesamten Gebäudes mündete in einem großen Sammelbehälter, in dem ein eingebautes Sieb die gröberen Feststoffe zurückhielt. Von Zeit zu Zeit förderte eine Pumpe diese Feststoffe in den Kanal, während eine zweite Pumpe das grob gereinigte Abwasser durch ein vibrierendes Sieb drückte, wodurch Feststoffe bis zu einer Größe von $100 \mu\text{m}$ herausgefiltert wurden. Im anschließenden Zwischenlagerbehälter wurden dem Wasser geringe Mengen an Desinfektionsmittel zugesetzt. Eine weitere Pumpe beförderte das Wasser vom Zwischenlager in einen Zirkulationskreislauf, in dem eine Zirkulationspumpe das Abwasser ständig an den halbdurchlässigen Membranen vorbeiströmen ließ. Im Ultrafiltrierungsteil wurde das vorbehandelte Abwasser in das saubere wiederverwendbare Wasser und den konzentrierten Ausschuß getrennt. Während des Betriebes wurde das Abwasser mit großer Geschwindigkeit parallel zur Membranoberfläche rezirkuliert, um zu verhindern, daß sich Abfälle an der Membranoberfläche absetzen. Da es unmöglich war, das Absetzen von Partikeln gänzlich zu verhindern, wurde ein Säuberungsgerät eingebaut, um die Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Im anschließenden Lagerbehälter wurde erneut desinfiziert, bevor das Wasser in einen

Hochbehälter gepumpt wurde, von wo es in die WC-Anlagen gelangte. Falls erforderlich, war es zusätzlich möglich, organische Substanzen mit geringem molekularem Gewicht durch einen Aktivkohlefilter zu entziehen. Diese Einheit war jedoch in der Regel nicht in Betrieb.

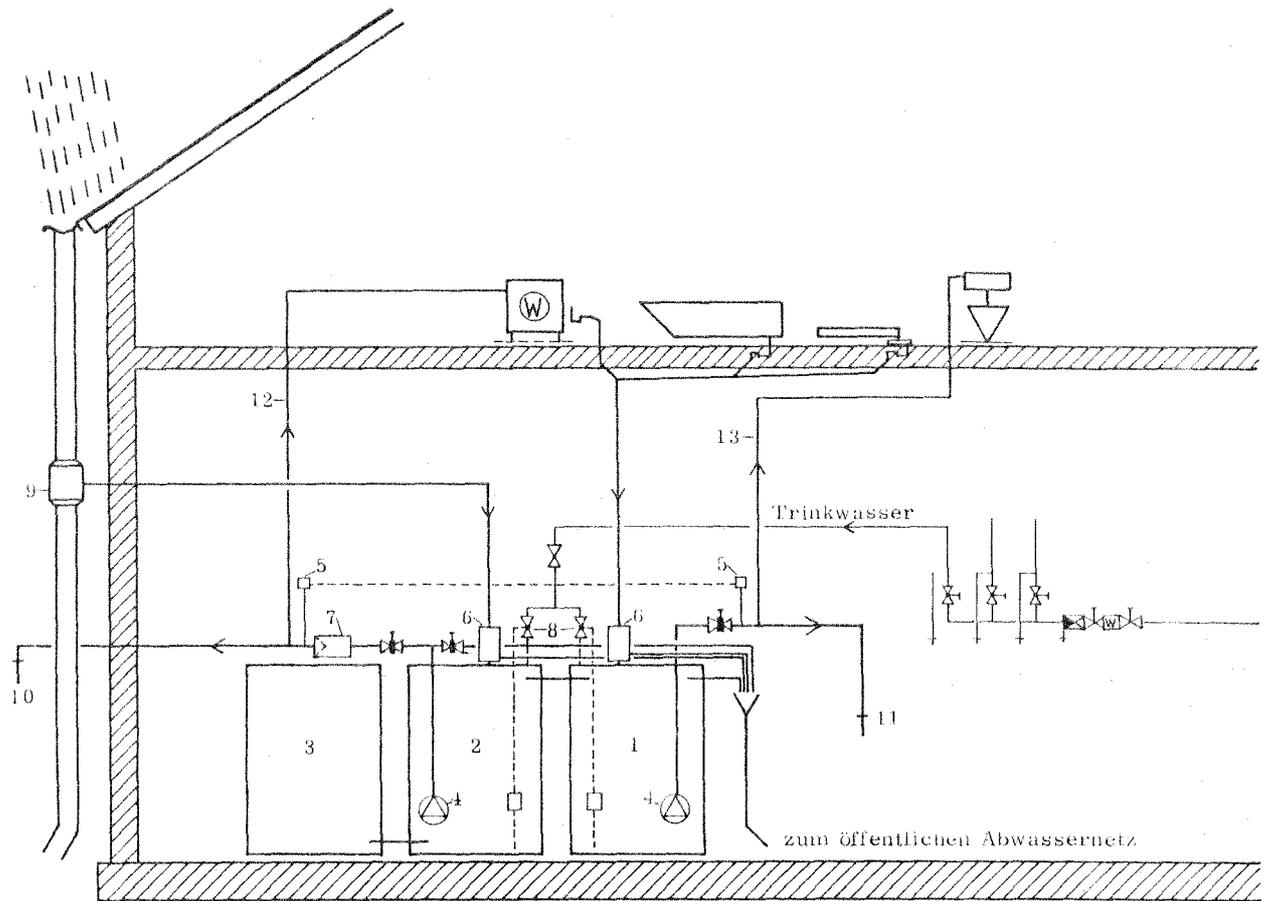
Es war sehr wichtig, eine geeignete Membrane zu finden. So war zum Beispiel eine Membrane auf Zelluloseacetatbasis ungeeignet, da sie von korrosionsfördernden Stoffen, sowie den Bakterien aus den sanitären Abwässern stark angegriffen wurde. Im Test bewährte sich eine Membrane aus Polyacrylith am besten. Ihre Haltbarkeit betrug ein Jahr. Das Zusetzen der Membrane mußte durch ständige Reinigung verhindert werden: der weiche Ansatz aus organischen Stoffen wurde durch das tägliche Abreiben mit weichen Schwammbällen entfernt, während der harte Ansatz aus organischen Substanzen einmal wöchentlich chemisch entfernt werden mußte.

Während eines Probejahres wurde die Anlage erfolgreich betrieben. Mitgeführte Feststoffe, Bakterien, Viren und organische Substanzen mit hohem molekularem Gewicht konnte man dem Wasser durch die Ultrafiltration erfolgreich entziehen. Keinen Erfolg erzielte man mit löslichen anorganischen Substanzen und organischen Substanzen mit geringem molekularem Gewicht.

Allerdings fielen diese Verschmutzer äußerst selten an und konnten dann durch Hinzuschaltung eines Aktivkohlefilters erfolgreich entfernt werden.

Die jährlichen Betriebskosten für die Anlage betrugen 4.808.000 Yen (1976/1977) (100 Yen = 1 DM). Sie spalten sich wie folgt auf:

- 44 % elektrische Energie
- 36 % Wiederbeschaffungskosten für die Membranen
- 7 % Wartungskosten
- 6 % Desinfektionsmittel
- 5 % Aktivkohle
- 2 % Reinigungschemikalien.



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1 Schmutzwasserbehälter | 9 Regenwasser- |
| 2 Regenwasserbehälter | anschluß |
| 3 Regenwasserzusatzbehälter | 10 Zapfventil Garten |
| 4 Tauchpumpe | 11 Zapfventil Autowäsche |
| 5 Druckgesteuerte- | 12 Betriebswasserleitung zur |
| Pumpenschaltung | Waschmaschine |
| 6 Filter | 13 Betriebswasserleitung zur |
| 7 Sieb | WC- Spülung |
| 8 Schwimmerventil | |

Abb. 16:

Wasserwiederverwendung, System SCHÄFER

Gleiches gilt auch für den Regenwasser-Filter, der die gleichen Eigenschaften wie der "Brauchwasser-Filter" besitzen soll, im Unterschied dazu jedoch als "feiner Filter" bezeichnet wird.

Das in den Sammelbehältern befindliche Wasser wird mit Hilfe von druckgesteuerten Tauchpumpen der Verwendung zugeführt. Im Fall des Regenwassers handelt es sich dabei in erster Linie um die Waschmaschinen-Versorgung, darüberhinaus ist es auch möglich, mit dem Regenwasser den Garten zu sprengen. Haupteinsatzgebiet für die Verwendung der Wasch- und Badeabwässer stellt die WC-Spülung dar. Festzuhalten ist dabei, daß speziell konstruierte WC-Spülventile zum Einsatz kommen müssen. Neben der WC-Spülung wird als weiterer Einsatzzweck für Abwässer aus Badewannen, Duschen und Waschmaschinen auch die Autowäsche vermerkt.

Zur Reinigung des Regenwassers ist anzumerken, daß in der Regenwasser-Versorgungsleitung noch ein "Nachfilter" angeordnet ist, der "die KleinfILTER der Waschmaschine" ersetzen soll. Vermutlich handelt es sich hierbei um einen feinmaschigen Kunststoff-Filter.

Dem Abwassersammelbehälter soll alle 3 Tage ein Teelöffel Entkeimungsgranulat (Jahresbedarf ca. 1 kg) zugegeben werden, das nach Auflösen in den Badewannenabfluß zu gießen ist. Dies kann entfallen, wenn der Behälter alle 2 Wochen entleert und ausgespritzt wird. Bei Zugabe des Entkeimungsmittels braucht die Reinigung nur 1 x monatlich vorgenommen zu werden.

Bei der Regenwasserverwendung ist eine Zugabe von Entkeimungsmitteln nicht erforderlich. Es wird jedoch angeraten, die Sammelbehälter mit einer lichtundurchlässigen Farbe zu streichen, um das Bakterienwachstum einzudämmen. Eine einmalige Reinigung pro Jahr wird dann als ausreichend angesehen.

Nach SCHÄFER läßt sich mit dieser Anlage eine Trinkwassereinsparung von 66 % erzielen. Angenommen wird dabei als durchschnittlicher Jahreswasserverbrauch eines 4-Personen-Haushaltes mit Gartenanlage und einem PKW eine Menge von 290 m^3 pro Jahr (199 Liter pro Tag/Person). Bei einem Wasserpreis von 3,50 DM je m^3 (Trink- und Abwassergebühren) ergäbe sich eine Einsparung von ca. 670 DM/Jahr. Zusätzliche Einsparungen durch geringeren Waschmittelverbrauch aufgrund von Regenwasserverwendung (164 DM), Verlängerung der Lebensdauer der Wäsche (80 DM), weniger Reparaturen der Waschmaschinen und Stromeinsparung (170 DM), Einsparung von Autowasch- und Pflegemitteln durch Verwendung von waschmittelhaltigem, warmem Abwasser (200 DM) und noch andere, wenig substantiiert dargestellte Einsparungen können zu einer Gesamteinsparung von mehr als 1700 DM pro Jahr führen. Bei den mit 5000 - 6000 DM angegebenen Anschaffungskosten lassen sich danach äußerst günstige Amortisationszeiten errechnen.

Festzuhalten ist zu diesen nach SCHÄFER "ungeahnten Sparmöglichkeiten", daß sie wenig realistisch sind. Betrachtet man nur die eingesparten Wasserkosten von 670 DM/Jahr, so bedeutet das unter Vernachlässigung der verbrauchsunabhängigen Festkosten, daß pro Person und Tag eine durchschnittliche Trinkwassermenge von 131 Liter weniger verbraucht wird. Das ist annähernd die Menge, die wasserstatistisch als spezifischer, jährlicher Gesamtverbrauch pro Kopf und Tag der Bevölkerung ausgewiesen wird. Schon aus dieser Sicht wird die eingeschränkte Aussagekraft der angenommenen Verbrauchsdaten offensichtlich.

Setzt man hypothetisch an, daß tatsächlich 131 Liter Regen- und Abwasser pro Tag und Person verbraucht werden, stellt sich die Frage, wo diese Menge im einzelnen herkommen soll. Im Fall der Abwasserweiterverwendung kann angenommen werden, daß günstigstenfalls etwa 60 Liter an nutzbaren Abwässern anfallen und weiter verwendet werden. Übrig bliebe

dann noch eine tägliche Verbrauchsmenge von 71 Liter an Regenwasser. Unter den Voraussetzungen eines jährlichen Niederschlagsanfalls von 730 mm, einem Abflußbeiwert von 0,7 und einer spezifischen Dachfläche von 50 m^2 pro Hausbewohner könnte diese Menge auch bereitgestellt werden, wenn die Regenwasserspeichereinrichtungen richtig ausgelegt sind. Unter Annahme einer Trockenzeit von einem Monat wäre dabei ein Speicherinhalt von mehr als 8 m^3 für einen 4-Personenhaushalt anzusetzen. SCHÄFER's Sammelbehälter haben dagegen nur jeweils 1100 Liter Fassungsvermögen.

Es erscheint unnötig, weiter auf SCHÄFER's kaum realisierbare Einsparungen einzugehen, festzuhalten ist lediglich, daß der finanzielle Nutzen seiner Anlage um ein Vielfaches geringer ist, als von ihm angegeben. Zu den apparativen Anlagenteilen bleibt anzumerken, daß ein Eignungsnachweis in gesicherter Form bislang fehlt.

Der von SCHÄFER aufgezeigte Weg zur Schmutz- und Regenwassernutzung zeigt zwar Möglichkeiten der Trinkwassereinsparung auf, bedarf aber noch wesentlicher Verbesserungen, um ihn aus hygienischer Sicht praktikabel zu machen, wie sich aus den amerikanischen Untersuchungen ableiten läßt.

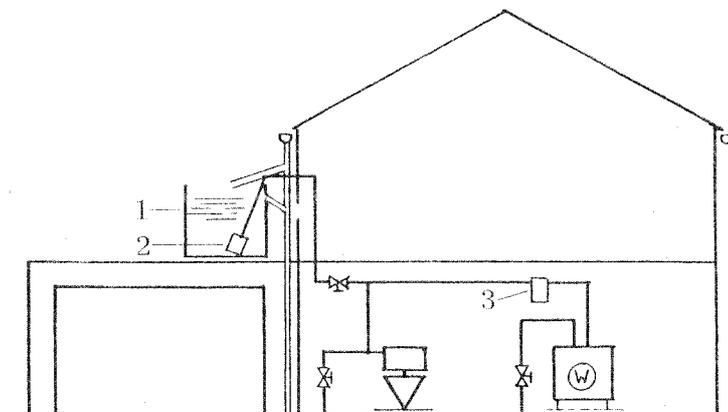
4.2.2 Systeme zur Regenwassernutzung

Während die Nutzung von örtlich anfallendem Regenwasser als Trinkwasser mit Hilfe von Zisternen eine lange Tradition aufweist, gewinnt die innerhäusliche Regenwasserverwendung zum Wäschewaschen und für die WC-Spülung erst in jüngster Zeit an Bedeutung. Neben den gestiegenen Wasserkosten ist als wesentliche Ursache einerseits das zunehmende Umweltbewußtsein anzuführen und andererseits die "Verordnung über allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser" vom 20. 6. 1980. Danach haben öffentliche Wasserversorgungsunternehmen den Bau und Betrieb von Wasser-Eigengewinnungsanlagen zuzulassen, d. h. dem Abnehmer ist unter rechtlichen Gesichtspunkten die Möglichkeit eingeräumt, den Trinkwasserbezug auf den von ihm gewünschten Verbrauchszweck zu beschränken. Parallel zur öffentlichen Trinkwasserversorgung dürfen somit private Regenwassernutzungssysteme betrieben werden.

Dieser Umstand wurde schnell aufgegriffen und Anleitungen zum Eigenbau von Regenwassernutzungsanlagen veröffentlicht *). Prinzipiell werden dabei zwei verschiedene Nutzungssysteme unterschieden, zum einen das "Schwerkraftsystem" und zum anderen das "Pumpensystem".

Die von WAGNER dazu angegebenen Systemskizzen (Abbildungen 17 und 18) stellen das Nutzungsprinzip zwar allgemeinverständlich dar, die Gefahr derartiger Darstellungen und der dazugehörigen Systembeschreiben besteht jedoch in der Simplifizierung. Wichtige technische Details (Speicherdimensionierung, Einrichtungen zur Trennung zwischen Trink- und Regenwasser etc.) werden nur unzureichend dargestellt bzw. erläutert. Fragen der Betriebssicherheit und der Qualität des verwendeten Wassers bleiben unbeantwortet. Probleme der Wirtschaftlichkeit werden wissentlich oder auch unwissentlich verschwiegen oder an unrealistischen Beispielen dargestellt.

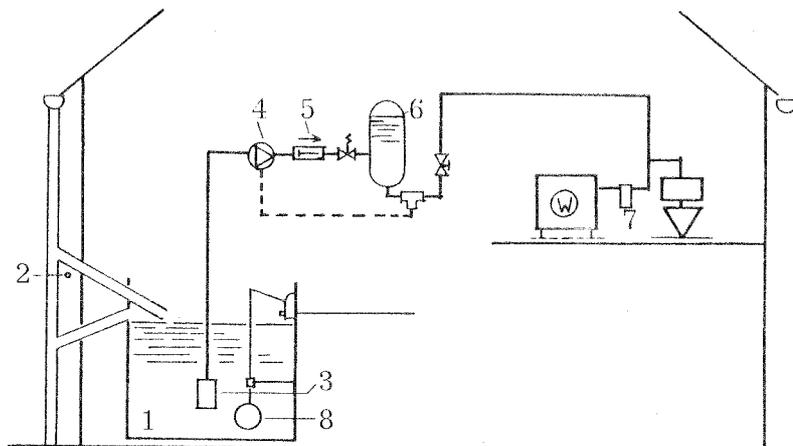
*) Wagner u. Co GmbH: Regenwassernutzung, Ein Beitrag zur Einsparung von Trinkwasser, Solar-Energie-Technik, Marburg
Bredwo, W. : a. a. O.



- 1 Regenwasserspeicher
- 2 Grobfilter
- 3 Feinfilter

Abb. 17:

Schwerkraftsystem nach WAGNER



- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1 Regenwasserspeicher | 5 Rückschlagventil |
| 2 Absperrschieber | 6 Ausdehnungsgefäß |
| 3 Grobfilter | 7 Feinfilter |
| 4 Pumpe | 8 Schwimmerventil |

Abb. 18:

Pumpensystem nach WAGNER

Festzuhalten bleibt, daß mit den erhältlichen Anleitungen zum Eigenbau von Regenwassernutzungsanlagen der Bauherr überfordert ist.

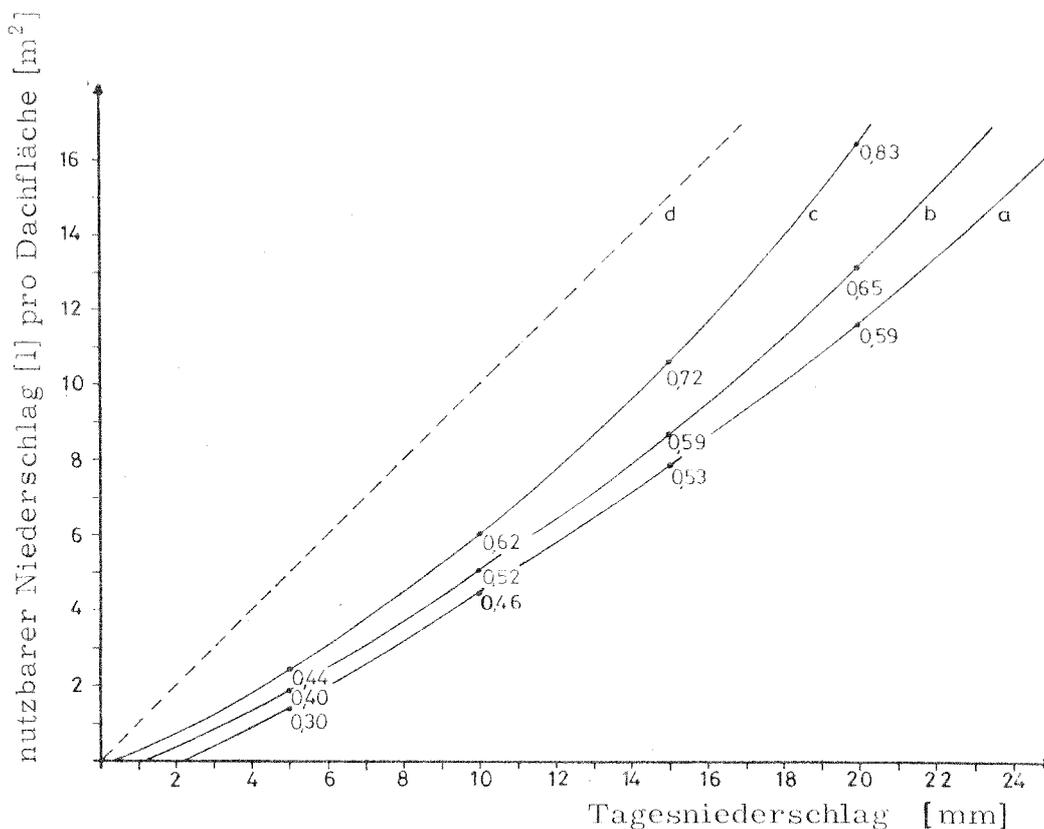
Differenzierter wird die Problematik der Regenwassernutzung von LAMBERS behandelt *). LAMBERS stellt zunächst richtig fest, daß

"... die Literatur mit verlässlichen Daten über Anfall und Qualitätsverhalten von Regenwasser zurückhält ..."

Aus diesem Grund führt er zunächst Versuche mit Miniatur-Dachmodellen durch, um dabei "Wirkungsgrade" verschiedener Dachformen und Neigungen zu ermitteln. Als Wirkungsgrad bzw. Abflußbeiwert wird dabei das Verhältnis von dem Anfall des dem Speicher zulaufenden, zu dem auf das Dach fallende Wasser verstanden. Festgestellt wird zunächst qualitativ, daß bei Regen oder Schneeanfall ein großer Teil durch Verdunstung, Benetzung und Dachunebenheiten nicht zum Abfluß gelangt. Quantitative Aussagen über das Tagesverhalten von Dächern (unbekiestes Flach und Satteldach; trockenes, bekiestes Dach; benetztes, bekiestes Dach) trifft LAMBERS in Abbildung 19. Es zeigt sich, daß zunächst bestimmte Schwellenwerte überschritten werden müssen, damit der Niederschlag zum Abfluß gelangt. Im Extremfall handelt es sich dabei um 2 mm Niederschlag (trockenes, bekiestes Dach). Deutlich wird ferner das Ansteigen der Wirkungsgrade bei zunehmendem Niederschlag. Als interessant wird von LAMBERS noch angemerkt, daß sich Schneeniederschläge ziemlich gleich wie Sommerregen verhalten.

Wenngleich auch die von LAMBERS ermittelten Kurven auf ihre repräsentative Aussagekraft nicht beurteilt werden können, da Vergleichsuntersuchungen fehlen, so bleibt festzuhalten, daß nur mit Hilfe derartiger Darstellungen, die Problematik der Regenwassernutzung von Grund auf zu beherrschen ist. Es versteht sich von selbst, daß dabei ein breites Spektrum

*) Lambers, J. : a. a. O.



- a: trockenes, bekiestes Dach
- b: benetztes, bekiestes Dach
- c: unbekiestes Flachdach und Satteldach
- d: anfallender Niederschlag

Abb. 19:

Tageswirkungsgrade von Dächern (Wirkungsgrad: nutzbarer Niederschlag/ anfallender Niederschlag) nach LAMBERS

repräsentativer Dachflächen, Neigungen, Materialien etc. im Hinblick auf den zum Abfluß gelangenden Niederschlag zu untersuchen wäre. Unterschiedliche Niederschlagsereignisse sind dabei auszuwerten. Mit Hilfe statistischer Untersuchungen über langjährige Niederschlagscharakteristika ließe sich ein Instrumentarium erarbeiten, mit dem gewinnbare Niederschläge ermittelt werden können.

Aufbauend auf diesen Untersuchungen wäre es auch möglich, die erforderlichen Regenwasserspeichereinrichtungen optimal auszulegen. Vorerst besteht über diese Thematik, die in erster Linie unter dem Gesichtspunkt örtlicher Gegebenheiten zu behandeln ist, wenig Klarheit. So

werden einerseits Behältergrößen von weniger als $2,5 \text{ m}^3$ für Einfamilienhäuser empfohlen, um ein Drittel des Wassergesamtverbrauchs durch Regenwasser zu decken *). Andererseits wird eine Behältergröße von $6,3 \text{ m}^3$ angegeben, mit der $50,4 \text{ m}^3$ Regenwasser pro Jahr bei einer Jahresniederschlagsspende von 700 mm und einer Dachfläche von 180 m^2 genutzt wurden **). Auf einen 4-Personenhaushalt bezogen mit einem täglichen Wasserverbrauch von ca. 140 l/Person entspricht dies noch nicht einmal einem Drittel des Gesamtverbrauchs.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit können vorstehende Angaben über Regenwasserspeichergrößen nicht beurteilt werden. Damit einhergehend und aufgrund des bestehenden Untersuchungsdefizits über Regenwasserqualitäten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Reinigungsverfahren ist es unmöglich, an dieser Stelle gesicherte Vorschläge zu machen, wie innerhäusliche Regenwassernutzungssysteme sinnvoll zu konzipieren wären. Erst mit Hilfe experimenteller Untersuchungen und dem Bau von Pilotanlagen wären diese zu erwarten. Gleichfalls könnten dann auch Fragen der Wirtschaftlichkeit beantwortet werden.

-
- *) Schäfer GmbH: a. a. O.
Wagner u. Co GmbH: a. a. O.
Bredow, W. a. a. O.
**) Lambers, J.: a. a. O.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Geologische und klimatische Gegebenheiten in der Bundesrepublik Deutschland bieten günstige Voraussetzungen für eine ausreichende Trinkwasserversorgung. Dennoch entspricht die regionale Verteilung der nutzbaren Wasservorkommen nicht immer dem örtlichen Bedarf. Ein überregionaler Ausgleich ist deshalb in vielen Fällen nötig. Auch müssen gütemäßig geringwertigere Wasserressourcen für die Trinkwasserversorgung in stärkerem Maße herangezogen werden. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, daß eine schlechte Rohwasserqualität durch Trinkwasseraufbereitungsverfahren jedoch nur bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden kann. Vereinzelt mußten daher bereits gefährdete Wassergewinnungsanlagen aufgegeben und entferntere, bessere Wasservorkommen neu erschlossen werden.

Während in der Vergangenheit große Anstrengungen zur Erschließung neuer Wasserressourcen und zur Wasseraufbereitung unternommen worden sind, werden erst in jüngster Zeit im Rahmen des gestiegenen Umweltbewußtseins Möglichkeiten zur Verringerung des Trinkwasserverbrauchs diskutiert. Dabei wird bewußt gemacht, daß Wasser nicht in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht und ein rationeller Umgang sowohl ökologisch geboten ist, als auch ökonomisch vernünftig sein kann.

Nach den Prognosen wird der Wasserverbrauch dennoch in allen Bereichen erheblich steigen, wenn nicht wirksam gegengesteuert wird. Bei der Vorlage des Wasserversorgungsberichts durch den Bundesinnenminister am 14. 6. 1982 in Bonn, wurde deshalb in verstärktem Maße auf die Notwendigkeit hingewiesen, den Trinkwasserverbrauch auf dem jetzigen Niveau zu stabilisieren. Speziell wurden dabei die privaten Haushalte zu einem sparsameren Trinkwasserumgang aufgefordert. Ursächlich ist, daß von diesem Verbrauchsbereich der Hauptanteil des bereitgestellten Trinkwassers (71 %) benötigt wird und der spezifische Trinkwasserverbrauch im

statistischen Mittel bereits mehr als 139 Liter pro Tag und Person beträgt.

Im Gegensatz zu dem ständig gestiegenen Trinkwasserverbrauch privater Haushalte, sank die Nachfrage der Industrie aus öffentlichen Versorgungsnetzen in den letzten Jahren. Bemerkenswert dabei ist sowohl das kontinuierliche, prozentuale Absinken am Trinkwassergesamtverbrauch als auch der absolute Mengenrückgang. Gründe dafür sind Kreislaufsysteme, Mehrfachnutzung von Trinkwasser, wassersparende Technologieumstellungen etc.

Häufig angezweifelt wird, daß Aufforderungen zum sparsameren Umgang mit Trinkwasser genügen, um den Verbrauch in privaten Haushalten auf dem jetzigen Niveau zu halten. Dagegen wird erwartet, daß parallel zur Entwicklung im industriellen Bereich auch für den häuslichen Bereich nur trinkwassersparende, technologische Maßnahmen erfolgversprechend sind, sieht man von restriktiven Maßnahmen ab.

In diesem Zusammenhang ist zunehmend in die öffentliche Diskussion gelangt, ob nicht Trinkwasser in einigen häuslichen Verwendungsbereichen durch Wasser minderer Qualität ersetzt werden sollte.

Da diese Frage unter dem Gesichtspunkt der Mehrfachnutzung von Wasser und der Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung bislang nur wenig untersucht wurde, ist sie Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Zunächst wird sich daran orientiert, bei welchen häuslichen Wassernutzungsarten Trinkwasser durch ein Wasser minderer Qualität ersetzt werden kann, wenn es auf der Basis von bereits genutztem Wasser bzw. von Regenwasser gewonnen wird und wie sich ein derartiger Ersatz mengenmäßig auswirkt.

Notwendig ist in diesem Zusammenhang eine Untersuchung über Anforderungen an Wasserqualitäten in Wohnbauten. Festgestellt werden konnte dabei, daß aufgrund der in der Bundesrepublik bestehenden einschienigen Trinkwasserversorgung gesetzliche Regelungen über Anforderungen an die gütemäßige Beschaffenheit davon abweichender häuslicher Versorgungswässer fehlen. Da darüberhinaus auch in deutschsprachigen Veröffentlichungen, die sich mit Möglichkeiten der Trinkwassersubstitution in Wohnbauten beschäftigten, keine konkreten Richtwerte über denkbare Wasserqualitätsstandards vorliegen, ist es notwendig, auf ausländische Untersuchungsergebnisse zurückzugreifen. Tabellarisch wurden diese Ergebnisse zusammengestellt und diskutiert.

Festzustellen ist zunächst, daß es nicht praktikabel ist, mehr als zwei unterschiedliche Wasserqualitäten in Wohngebäuden zu verwenden. Im Hinblick auf die Nutzung des Regenwassers und/oder einer Wiederverwendung von bereits gebrauchttem Wasser kommen den Wasserqualitätsanforderungen beim Wäschewaschen und für die WC-Spülung besondere Bedeutung zu. Zusammenfassend lassen sich die dabei zu erfüllenden Mindestanforderungen in drei Gruppen unterteilen:

- die erste Gruppe enthält die hygienischen Anforderungen. Sie beruhen auf der Jahrhunderte langen Erfahrung, daß Wasser Überträger von Krankheiten sein kann. Die bedeutsamste hygienische Anforderung ist deshalb, daß jegliches häusliche Versorgungswasser frei von pathogenen Keimen sein muß.
- die zweite Gruppe der Anforderungen ist allgemeiner Art. Sie beschreibt Eigenschaften, die auf ästhetischen Gesichtspunkten basieren. Dazu gehören: minimaler Geruch, möglichst klar, wenig Feststoffe, keine Neigung zur Schaumbildung etc.
- die dritte Gruppe enthält diejenigen Anforderungen, die nötig sind, um schädliche Wechselwirkungen (Korrosion, Ablagerungen etc.) zwischen dem Wasser und seiner begrenzenden Umgebung (Rohrleitungen, Armaturen etc.) zu vermeiden.

Anhand einer Analyse der Struktur des häuslichen Wasserverbrauchs kann festgestellt werden, daß die häuslichen Wassernutzungsarten mit geringen Qualitätsanforderungen mehr als ein Drittel des Wassergesamtverbrauchs ausmachen.

Danach sind Kenntnisse über diejenigen Faktoren zu gewinnen, die die häuslichen Abwässer charakterisieren. Dies erfordert Untersuchungen über Menge und Beschaffenheit von Schmutz- und Regenwasser, das in öffentlichen Entwässerungssystemen anzutreffen ist bzw. örtlich anfällt. Im Fall der Abwässer aus der Kanalisation bleibt festzuhalten, daß sie unter quantitativen Gesichtspunkten ausreichend sind, um den Wasserbedarf privater Haushalte mit geringen Güteanforderungen zu decken. Einer direkten Verwendung nach ihrer Behandlung in vorhandenen Kläranlagen steht jedoch die unzureichende Qualität entgegen. Eine weitergehende Reinigung wäre somit unumgänglich. Diese stellt keine unüberwindlichen Barrieren dar und dürfte finanziell tragbar sein.

Unter dem Aspekt der Minimierung des Aufbereitungsaufwandes vom bereits genutzten Wasser und Regenwasser ist ihr örtlicher Anfall von besonderer Bedeutung. Dabei zeigt sich, daß unter quantitativen und qualitativen Aspekten neben dem Regenwasser nur Abwässer aus Badewannen, Duschwannen, Waschmaschinen und ggf. Waschbecken für die innerhäusliche Verwendung geeignet sind. Auf die Einbeziehung sonstiger Schmutzwässer aus dem Haushaltsbereich ist zu verzichten, da der erforderliche Aufwand für die Aufbereitung zu groß ist.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß nur unvollständige Erkenntnisse über Menge und Beschaffenheit von örtlich anfallendem Abwasser vorliegen. So werden zwar die durchschnittlich in Wohngebäuden anfallenden Abwassermengen in der Literatur hinreichend genau quantifiziert, gesicherte Angaben über den Abwasseranfall an den einzelnen häuslichen Verbrauchsstellen liegen jedoch nicht vor. Auch stehen Gesetzmäßig-

keiten über örtlich abfließende Niederschlagsmengen, ausgedrückt als Funktionen von niederschlagscharakterisierende Größen und geografischen, topografischen sowie bautechnischen Parametern nicht zur Verfügung. Die sich aus diesem Umstand ergebende Problematik im Hinblick auf die Dimensionierung von örtlichen Abwassersammeleinrichtungen liegt auf der Hand. Gleiches gilt auch für die Auswahl von Abwasseraufbereitungsverfahren, da über die Inhaltsstoffe von örtlich abfließendem Regenwasser bzw. über die gütemäßigen Charakteristika von Wasch- und Badeabwässern ein Untersuchungsdefizit besteht.

Unabhängig davon kann festgestellt werden, daß sowohl die Nutzbarmachung von Schmutzwasser als auch von Regenwasser aus öffentlichen Entwässerungssystemen und die Bereitstellung als häusliches Betriebswasser keinen praktikablen Beitrag zur Trinkwassereinsparung leistet. Ursachen dafür sind weniger Probleme der Wasseraufbereitung als vielmehr der Wasserverteilung. Die zentrale Betriebswasserversorgung der Haushalte setzt ein zweites, dem Trinkwassernetz paralleles Versorgungsnetz voraus. Der Ausbau von doppelten Wasserversorgungsnetzen in bestehenden Städten und Wohnsiedlungen würde sich über Jahrzehnte hinziehen, schwerwiegende Verkehrsprobleme aufwerfen, unzumutbare Kosten verursachen, nachträgliche Installationsarbeiten in Wohnbauten erfordern etc. Auch in neuen Siedlungsgebieten, die in der Bundesrepublik aufgrund stagnierender Bevölkerungszahlen kaum zu erwarten sind, stellt eine zweischienige öffentliche Wasserversorgung keine realistische Lösung dar.

Im Gegensatz dazu steht die innerhäusliche Wiederverwendung von Abwasser aus Badewannen, Duschwannen und Waschmaschinen sowie die Einbeziehung von Regenwasser. In Neubauten kann dies eine brauchbare Lösung darstellen, um den Trinkwasserverbrauch zu senken. Anlaß zu dieser Feststellung geben die durchgeführten Systemanalysen zur örtlichen Schmutz- und Regenwassernutzung.

Bei den vorgestellten Anlagen ließ sich der Trinkwasserverbrauch in der Regel um 30 - 40 % verringern. Bemerkenswert ist, daß es sich dabei überwiegend um Experimentiersysteme handelt, die für Einfamilienhäuser konzipiert sind.

Während der Einsatzbereich von Regenwassernutzungsanlagen aufgrund der zur Verfügung stehenden Sammelflächen naturgemäß auf kleinere Wohnobjekte beschränkt ist, gilt dies nicht für die innerhäusliche Schmutzwassernutzung. Überraschenderweise ist dazu festzustellen, daß in der Literatur über Anlagenaufbauten und anlagentechnische Erfahrungen zur Mehrfachnutzung von Wasser in Mehrfamilienhäusern nicht berichtet wird. Zwar sind Ausführungsbeispiele aus Japan bekannt, dabei handelt es sich jedoch um Systeme für Großwohnanlagen, die für die Mehrzahl üblicher Mehrfamilienhäuser zu aufwendig sind.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß bereits im Jahre 1979 in der Bundesrepublik Deutschland der Versuch unternommen wurde, gering verschmutzte Abwässer aus dem häuslichen Bereich in einem Mehrfamilienhaus der Wiederverwendung zuzuführen. Die Anlage befindet sich in einem Wohngebäude für Bedienstete der Landesjustizvollzugsanstalt in Nürnberg. Wie von den Bewohnern mitgeteilt wurde, war die Anlage nur vorübergehend in Betrieb. Gründe dafür konnten nicht in Erfahrung gebracht werden. Ebenso liegen veröffentlichte Angaben über den Systemaufbau nicht vor.

Zurückgegriffen werden konnte deshalb nur auf die Experimentiersysteme für Einfamilienhäuser. Dabei zeigte sich, daß die Anlagen nur aus sehr wenigen Bauelementen bestehen. Als Wesentliche sind zu nennen: der Sammelbehälter, die Aufbereitungseinrichtungen und die Pumpe, die das Betriebswasser direkt oder über einen Drucktank zu den Betriebswasserverbrauchsstellen fördert. Es versteht sich, daß im Gegensatz zur

konventionellen Trinkwasserversorgung zusätzliche Rohrinstallationen notwendig sind, und daß eine sichere Trennung zwischen Betriebs- und Trinkwassernetz vorliegen muß.

Festzuhalten ist, daß die Aufbereitung von Waschmaschinen, Badewannen- und Duschabwässern mit Hilfe eines Kieselgurfilters eine zufriedenstellende Wasserqualität für die WC-Spülung liefert. Derartige Filter und auch die Einrichtungen zur notwendigen Desinfektion des bereits genutzten Wassers werden in der Schwimmbadtechnik seit langem verwendet und lassen sich ohne große technische Änderungen auch für häusliche Schmutzwassernutzungsanlagen einsetzen. Andere Filtrationsverfahren, wie beispielsweise Sandfiltration bzw. Aktivkohlefiltration erwiesen sich als nicht so effizient.

Allgemeingültig zeigt sich, daß eine direkte Wiederverwendung von unbehandelten Wasch- und Badeabwässern unter hygienischen und ästhetischen Gesichtspunkten nicht vertretbar ist. Ebenso ist eine Desinfektion erforderlich, um gesundheitliche Gefahren vollständig auszuschalten.

Abschließend ist festzustellen, daß trotz der vorliegenden Forschungsergebnisse eine Reihe von Fragen zur innerhäuslichen Schmutz- und Regenwassernutzung unbeantwortet bleiben müssen.

So sind beispielsweise die Auswirkungen der Wassereinsparung auf die öffentlichen Entwässerungssysteme zu nennen. Wasser dient hier als Transportmittel. Die bestehenden Rohrquerschnitte sind nicht auf reduzierten Abwasseranfall ausgelegt. Ungeklärt ist bislang, ob mit ihnen unter der Voraussetzung des fehlenden Anfalls von Wasch- und Badeabwässern ein einwandfreier Abtransport der Schmutzstoffe gewährleistet ist.

Auch lassen sich mögliche Rückwirkungen der örtlichen Schmutzwassernutzung auf die kommunalen Entsorgungssysteme aufgrund der erhöhten Schmutzkonzentrationen sowie der zusätzlichen Belastung durch notwendige

Aufbereitungskemikalien derzeit nicht beurteilen. Gesichert ist nur, daß private Regenwassersammelanlagen die öffentliche Kanalisation entlasten, da Spitzenbelastungen aufgefangen werden.

Als Folgeproblem der Trinkwassereinsparung sei auch auf die wirtschaftlichen Konsequenzen hingewiesen. Unerforscht ist, wie sich Trinkwasser und Abwassergebühren entwickeln, wenn der Wasserverbrauch nennenswert gesenkt wird.

Auch unter rein verfahrenstechnischen Gesichtspunkten zeigt sich, daß bei der Mehrfachnutzung von Wasser und Einbeziehung von Regenwasser in die häusliche Wasserversorgung noch einige Fragen offen bleiben. Zwar sind prinzipielle Entwicklungsrichtungen erkennbar, praxisgerechte Hinweise zur Anlagenplanung können jedoch noch nicht gegeben werden. Dies ist erst mit noch ausstehenden Erfahrungen aus Pilotanlagen möglich. Der Bau von Versuchsanlagen ist daher anzustreben. Sinnvolle Einsatzbereiche (z. B. Hotels, Wohnhäuser mit Schwimmbädern) ließen sich damit auffinden und ein technisches Know-How erwerben, das über die Bundesrepublik Deutschland hinaus von Nutzen sein dürfte.

Grundlagen für die Konzeption derartiger Anlagen sind mit den Ergebnissen der vorliegenden Forschungsarbeit gegeben. Sie sind zu erweitern, in dem repräsentative häusliche Wasserverbrauchsstrukturen aufgefunden werden, um über Menge und zeitlichen Gang des Schmutzwasseranfalls und des Betriebswasserbedarfs verwertbare Aussagen zu bekommen. Auch müssen örtlich auffangbare und abfließende Niederschlagsmengen in charakteristischen Bandbreiten ermittelt werden. Erst dann lassen sich Sammelbehälter optimal auslegen. Ebenso sind Verfahren zur Aufbereitung von Schmutz- und Regenwasser zu Betriebswasser zu untersuchen. Zielsetzung muß dabei das Auffinden von wirtschaftlich vertretbaren und wassergütemäßig befriedigenden Konzeptionen sein. Die Problematik besteht dabei in der Minimierung des technischen Aufwandes, wobei das Abwassernutzungssystem gerade noch funktionell zuverlässig und betriebssicher arbeiten soll. Dabei könnte unter-

sucht werden, inwieweit der Zusatz von Fällmitteln bei der Schmutzwasser-
aufbereitung sinnvoll ist.

Die Thematik der Trinkwassereinsparung sollte weiter verfolgt werden.
Neben der Klärung verfahrenstechnischer Fragen zur innerhäuslichen Ver-
wendung von Schmutz- und Regenwasser sowie zur Wassereinsparung
durch WC-Anlagen, Armaturen etc. sollten die Rückwirkungen auf bestehen-
de Wasserver- und -entsorgungssysteme in Einzeluntersuchungen genaue-
stens analysiert werden. Gleiches gilt für die ökonomischen und ökologischen
Auswirkungen. Dabei sind regionale Unterschiede zu berücksichtigen. Liegen
diese Erkenntnisse vor, kann eine Gesamtbilanz der Trinkwassereinsparung
aufgestellt und die daraus resultierenden Konsequenzen zuverlässig beur-
teilt werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Beitrag zur Klärung einiger Probleme
der Trinkwassereinsparung geleistet, der als Grundlage für weitere Unter-
suchungen dienen kann.

6 Literaturverzeichnis

- Abwassertechnische Vereinigung, Bonn: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band I-III, W. Ernst u. Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1973, 1975, 1978
- Archibald, G. ;
Cocker, V. ;
Thackray, J. E. : The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Part 1, S. 37-61, 1978
- Asemann, K. ;
Wirth, H. : Der Wasserverbrauch Frankfurter Privathaushalte in Gegenwart und Zukunft, Hrsg. Stadtwerke und Statistisches Amt der Stadt Frankfurt/Main, 2. ergänzte Auflage 1974, Frankfurt/Main 1974
- Asplund, L. ;
Holmberg, St. ;
Olsson, E. : Water consumption and design requirements, The National Swedish Institute for Building Research, Water Supply and Drainage, Stockholm, 1979
- Axt, G. : Forschungsprojekt "Einsparung von Trinkwasser", Institut für Technischen Umweltschutz, Technische Universität Berlin
- Battelle-Institut e. V. : Wasserbedarfsentwicklung in Industrie, Haushalten, Gewerbe, öffentlichen Einrichtungen und Landwirtschaft, Prognose des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2000, Frankfurt 1972
- Battelle-Institut e. V. : Analyse der Einflußfaktoren des Trinkwasserbedarfs der privaten Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland und Prognose bis zum Jahre 2000, Frankfurt 1976
- Battelle -Institut e. V. : Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Mehrfachnutzung von Wasser in Haushalt und Kleingewerbe, Frankfurt 1975
- Bailey, J. R., u. a. : A study of flow reduction and treatment of waste water from households, Water Pollut. Control Research Ser. US Department of the interior, Federal Water Quality Administration 11050 FKE 12/69, 1969

- Bennett, E. R. ;
Linstedt, K. D. : "Individual Home Wastewater Characterization and Treatment", Report OWRT Project No. A-021-COLO, Environmental Resources Centre, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1975, Government Report: PB 245 259
- BMBau: Das Problem kommt schleichend, Staatssekretär Dr. Sperling diskutiert mit Experten der Wasserversorgung, Pressemitteilung 46/81
- Bouillon, H. : Kennzeichnung des Verbraucherverhaltens durch Analyse des Leistungsgangs, Schriftreihen der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Band 15, S. 121-130, Springer Verlag 1982
- Bosch GmbH: Wasser- und Wärmerecycling im Haushalt (Vorstudie), ROBERT BOSCH GmbH, Technisches Zentrum Forschung, Daniel, W. u. a., BMFT Forschungsbericht T 80-068, August 1980
- Bredow, W. : Regenwasser-Sammelanlage - Eine Bauanleitung-, Öko-Buchverlag, Kassel 1981
- Brög, W. ;
Mettler-Meibom, B. : Einfluß des Verbraucherverhaltens auf den Energiebedarf privater Haushalte, Schriftreihe der Forschungsreihe für Energiewirtschaft, Band 15, Springer Verlag 1982
- Burgdorff, S. : Trinkwasser - bald so knapp wie Öl?, DER SPIEGEL, Titelgeschichte 33, 1981, S. 50-65
- Bhattacharyya, D. ; Ultrafiltration of complex wastewaters: recycling for nonpotable use, Jour. WPCF, 50, Nr. 5, S. 846-861, 1978
- Clayton, R. J. : The water reclamation work at Windhoek (South Africa), Aqua, Nr. 3, S. 14-17, 1972
- Cohen, S. ;
Wallman, H. : Demonstrations of Waste Flow Reduction from Households, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, 1974
1. Deutsches Fernsehen: Was wäre wenn ... Trinkwasser knapp wird?, Sendung am 8. April 1982, 20.15-21.00 Uhr
- DIN 1986: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, September 1978
- DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser - Planung, Bau und Betrieb der Anlagen, November 1973

- DIN 4046: Wasserversorgung, Fachausdrücke und Begriffserklärungen, April 1960 und Entwurf Oktober 1980
- Dornier System GmbH: Regenwasser- Nutzung, Möglichkeiten und Grenzen, im Auftrag des BMFT, Friedrichshafen 1979
- DVGW: Wasserbedarfszahlen - DVGW Regelwerk Wasserversorgung, Merkblatt W 410, ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt, April 1972
- Ebersbach, K. F.: Grundsätzliche Untersuchung über die Möglichkeit der Abwärmenutzung im Haushalt, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Forschungsbericht BMFT-T 79-92, München 1979
- Ebersbach, K. F.: Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwasser, Grundlagen und Systeme, VDI-Berichte Nr. 337, VDI-Verlag, Düsseldorf 1979
- Feurich, H.: Überlegungen zur Einsparung von Trinkwasser, Sanitär- + Heizungstechnik, 7/1972, S. 448-456
- Gascoyne, M.: Design and operation of simple, sequential precipitation sampler with some preliminary results, Atmospheric Environment 11, S. 397-400, 1977
- Gockell, B.: Spüleigenschaften von Klosettanlagen, Forschungsbericht F 5/78, Technische Universität Braunschweig, 1979
- Golani, Z.;
Ginzburg, P.: Advanced means and methods for savings in domestic water consumptions - Summary of field observations, Hrsg. Israel Centre of Waterworks Appliances (ICWA), 1975
- Grasmeier, K.: Einschränkung des Wasserverbrauchs (Spülwasserverbrauch von Klosettanlagen), Forschungsbericht F 1652, BMBau, Bonn 1980
- Haney, P. D.;
Beatty, F. K.: Dual Water Systems-Design, Jour. Americ. Water Works Association, Nr. 7, S. 389-398, New York, 1977
- Hässelbarth, U.: Einfluß von Regenwasser und von Regenabwasserleitungen auf das Grundwasser, In: Bericht aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Inst. f. Bauingenieurwesen V, TU München, Nr. 24, S. 133-146, München 1978

- HEA: Überlegungen zur künftigen Entwicklung der elektrischen Warmwasserversorgung in den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland, Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung, Verf.: Müller, W.; Schulz, E.; Frankfurt 1979
- Hypes, W. D.: Characterization of Typical Household Grey Water, In "Manual of Grey Water Treatment Practice, J. H. T. Winneberger, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan 1974
- Hypes, W. D.: Chemical Physical and Microbiological Characteristics of Typical Bath and Laundry Waste Water, NASA Tech. Note, NASA TN D- 7566 Chem. Abs., 81, u. a., 1974
- Hypes, W. D.: Laboratory and Family Live in Experiences with Domestic Greywater Reuse Systems, NASA Langley Research Center, V. A., Presented at National Sanitation Foundation Individual Onsite Wastewater Systems, 5th Conf. Ann Arbor, October 1978
- Ilberg, H. u. a.: Water conservation measures in plumbing, Standard Institution of Israel, mechanical department, 1. progress report 1971
- Iwai, S. u. a.: Reuse of drainage from an office building, Desalination 23, S. 171-181, 1977
- Karner, : Technoterm Planungsgesellschaft, Wien, Innsbruck, Oberwart 1976
- Knoblauch, H. J.: Klosettanlagen, Neue Kriterien für die Spülwirkung, Technische Fachhochschule Berlin, 1980
- Kress, C. F.: Economic recovery of urban storm runoff for water supply purposes, M. S. thesis, Dep. of Civil Eng., University of Kansas, Lawrence 1966
- Krüssmann, H. u. a.: Versuche zur Reduktion der Haushaltswäsche, Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West, Wäschereiforschung, Krefeld 1981
- Kuiper, D.: Domestic waste water re-use-aspects of the treatment system, Water Research, Nr. 7, S. 655-675, Elmsford N. J., 1975
- Lahl, V.;
Zeschmar, B.: Wie krank ist unser Wasser? Die Gefährdung des Trinkwassers: Sachstand und Gegenstrategien, Freiburg 1981

- Lambers, J.: Ausreichend für WC und Waschmaschine, Regenwassererfassung mit Eigengewinnungsanlage, Sanitär- und Heizungstechnik, 11, 1981
- Ligman, K., et.al.: Household Wastewater Characterization, Jour. Environ. Eng. Div., EE1, 201, Februar 1974
- Marchart/Möbius: Pers. Mittlg., Demonstrativbauvorhaben, Oberwarf
- Mc Laughlin, E.R.: A Recycle System for Conservation of Water in Residences, Water + Sewage Works, S. 175-177, April 1968
- Milne, M.: Residential Water Rense, Technical Completion Dept., California University, Davis, 1979
- Mitsubishi;
Saito, J.;
Fujii, S.: Water re-use by ultra-filtration in individual building, Desalination 23, Amsterdam 1977
- Möhle, K.A.: Theorie und Praxis doppelter Wasserversorgungsnetze, Umweltbundesamt, Berlin, 1980
- Müller, W.J.: Nutzung und Wiederverwendung von Abwässern, E. Schmidt Verlag, Bielefeld 1976
- Niemitz, W.: Amerikanische Erfahrungen mit der weitergehenden Abwasserreinigung aus deutscher Sicht, GWF 112, 556-561, 1971
- Noelle-Neumann, E.: Sauberkeitsnormen 1964-1975, Zentralblatt für Bakteriologie, Hygiene, I. Abt. Orig. B, Institut für Publizistik, Universität Mainz, Band 163, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1976
- Nürnberg, W.H.;
Valenta, P.;
Nguyen, V.D.: Ein neuer Weg zur Messung toxischer Metalle im Regen, Jahresbericht 1978/79 der Kernforschungsanlage Jülich GmbH u. a.
- N.N. Schmutzwasser ist nicht nutzlos, Wohnbau (Österreich), Nr. 6, S. 23-26, 1978
- Olsson, E., et.al.: Household Waste Water, The National Swedish Institute for Building Research, Report 24, UDC 628.31, 1968
- Rammer, P.: Investitionsetat der Wasserversorgung mit Rekordzuwachs, ifo-Schnelldienst 33/81, S. 25-33

- Rautenbach, R. ;
Hoeck, H. : Aufarbeitung kommunaler Abwässer zu Trink-
oder Brauchwasser, Chem. -Ing. Techn. 4, H. 9,
S. 355-360, 1975
- Rudolph, K. U. : Trennsysteme für die Wasserversorgung -
ein altes Thema unter neuen Gesichtspunkten -,
gwf - Wasser/Abwasser, Heft 5, S. 207-211,
1979
- Rüffer, H. ;
Griesing, K. H. ;
Slomka, T. : Industriebrauchwasser aus biologisch gereinig-
tem Abwasser, Chemische Rundschau, 42,
1979
- Schäfer, H. : -wat.ther. stop- Schäfer GmbH, 5558 Schweich
- Schnapauff, J. : "Zweierlei Wasser im Haushalt ?" Wasserfach-
liche Aussprachetagung DVGW, 1967, Der Sani-
tär- und Gas-Installateur, 4/1968, S. 78-85
- Schöffel, H. : Energieeinsparende Warmwasserbereitung durch
Wärmerückgewinnung, BBC-Nachrichten, Jahr-
gang 57, Heft 8/9, S. 497-502
- Siegrist, R., et. al. : Characteristics of Rural Household Wastewater,
Jour. Environ. Eng. Div., Proc. Amer. Soc.
Civil Engr., 102, EE8, 533, Juni 1976
- Socialdata: Socialdata Institut für empirische Sozialfor-
schung GmbH, München, Februar 1982
- Stander, G. J. ;
Vuuren, K. R. J. van: The reclamation of potable water from waste-
water, J.WPCF, H. 3, S. 355-367, 1969
- Technoterm: Technoterm Planungsgesellschaft, Wien, Inns-
bruck, Oberwart. Protokoll vom 30.12.1976,
Technische Beschreibungen, Planungsgrund-
lagen
- Tessendorf, H. : Ermittlung des Wasserbedarfs als Planungs-
grundlage zur Bemessung von Wasserversor-
gungsanlagen, Teil 1, Mehrfamilienhäuser mit
Komfortwohnungen in bevorzugter Wohnlage,
DVGW- Schriftreihe Wasser Nr. 19, ZfGW-
Verlag, Frankfurt 1978
- Trinkwasser-
verordnung: Verordnung über Trinkwasser und über Brauch-
wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-
verordnung vom 31. 1. 1975, BGBl. I, S. 453,
zuletzt geändert durch VO. v. 25. 6. 1980,
BGBl. I, S. 764)

- Tsuge, H. ;
Mori, K. : Reclamation of municipal sewage by reverse osmosis, Desalination 23, S. 123-132 u. a. , Amsterdam 1977
- Wagner u. Co GmbH: Regenwassernutzung, Ein Beitrag zur Einsparung von Trinkwasser, Solar-Energie-Technik, Marburg 1981
- Webster, C.J.D. : An investigation of the use of wateroutlets in multi-story flats, Building Service Engr. 39, BRS Current Paper, S. 215-233, 1972
- Wijntes, W. C. : Different qualities in water supply, 1974, zit. Kosten-Nutzen-Überlegungen zur Mehrfachnutzung von Wasser in Haushalt und Kleingewerbe, Batelle-Institut e. V. , Frankfurt 1975
- Winje, D. ;
Zwicker, E. : Erstellung eines Prognosemodells zur Vorhersage des Wasserbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung alternativer Entwicklungen (1. Stufe), Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Berlin, Forschungsbericht 10202023, Berlin 1978
- Winneberger, J. H. T. : Manual of grey water treatment practice, Ann Arbor Science Publishere Inc. , Ann Arbor, Michigan 1976
- Winter, E. : The performance of WCbowls of the wash-down-type labaratory tests and performance in actual use, Standard Institution of Israel, 7. progress report, 1977
- Withee, C. C. : Segregation and reclamation of household wastewater at an individual residence, Master-Thesis, Colorado State University, Colorado 1975

7 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Verbrauchsstruktur der Wasserabgabe aus dem Netz der öffentlichen Wasserversorgung nach BGW
- Tabelle 2: Denkbare Wasserqualitäten im Haushalt nach BAILEY
- Tabelle 3: Wasserqualitätsstandard für WC-Spülwasser nach IWA1
- Tabelle 4: Aufteilung des Wasserverbrauchs privater Haushalte
- Tabelle 5: Anzahl der Wannen- und Duscbäder nach Haushaltsgröße
- Tabelle 6: Bedarfszahlen von Waschprogrammen, 4-Personen-Haushalt, 3,5 kg Wäsche/Person - Woche
- Tabelle 7: Abwasseranfall von Haushalt und Kleingewerbe (städt. Schmutzwasser) in öffentlichen Kläranlagen
- Tabelle 8: Schmutzwasseranfall nach Gebäudetypen
- Tabelle 9: Typische Analysedaten von biologisch gereinigtem Abwasser, Industriebrauchwasser (hier vorgeschlagene Qualität) und Trinkwasser
- Tabelle 10: Angaben zur Beschaffenheit von Badewannenabwasser
- Tabelle 11: Angaben zur Beschaffenheit von Waschmaschinenabwasser
- Tabelle 12: Angaben zur Beschaffenheit von Küchenabwasser
- Tabelle 13: Abflußbeiwerte von verschiedenen Flächen bei Regen mit gleichbleibender Stärke
- Tabelle 14: Zuordnung von Regenwasserherkunft, Aufbereitungsverfahren und Verwendungszweck nach DORNIER
- Tabelle 15: Wirkung der Diatomeen-Filtration (Kieselgur-Filtration)
- Tabelle 16: Instandsetzungs- und Reparaturarbeiten
- Tabelle 17: Leistungsfähigkeit und Betriebskosten der Filtration nach COHEN/WALLMAN
- Tabelle 18: Kosten des Wasserwiederverwendungssystems nach COHEN/WALLMAN

8 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Tagesgang der mittleren Abwassermenge zur Wärmerückgewinnung, Waschmaschine, Küchenspüle, Badewannen und Waschbecken, 45 Wohneinheiten, 106 Personen nach EBERSBACH
- Abb. 2: Tagesgang Kaltwasserverbrauch für Toiletten, 45 Wohneinheiten, 106 Personen nach EBERSBACH
- Abb. 3: Nutzbare Niederschlagsmengen in m^3 /Jahr in Abhängigkeit von Abflußbeiwerten und spezifischen Regensammelflächen (Dachflächen, Verkehrsflächen etc.)
- Abb. 4: Bedarfsdeckung durch Regenwasser von spezifischen Sammelflächen
- Abb. 5: Systeme zur Schmutzwassernutzung
- Abb. 6: Kostengruppen für örtliche Betriebswasserversorgungsanlagen
- Abb. 7: Wasserwiederverwendung, System KARNER
- Abb. 8: Wasser-Wärmerecycling, System BOSCH
- Abb. 9: Von BENNETT/LINSTEDT untersuchte Abwasserbehandlungsmethoden
- Abb. 10: Abwasseraufbereitung, System BENNETT/LINSTEDT
- Abb. 11: Wasserwiederverwendung, System HYPES
- Abb. 12: Wasserwiederverwendung, System COHEN/WALLMAN
- Abb. 13: Wasserwiederverwendung, System COHEN/WALLMAN
- Abb. 14: Schematische Darstellung der Anlage Mc LAUGHLIN' s
- Abb. 15: Wasseraufbereitungsanlage nach dem Ultrafiltrationsprinzip, System MITSUBISHI
- Abb. 16: Wasserwiederverwendung, System SCHÄFER
- Abb. 17: Schwerkraftsystem nach WAGNER
- Abb. 18: Pumpensystem nach WAGNER
- Abb. 19: Tageswirkungsgrade von Dächern nach LAMBERS