

Experimentelle Nutzung von Abwasser zur WC - Spülung

F 2087

F 2087

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

Forschungsbericht 8/87

EXPERIMENTELLE NUTZUNG VON ABWASSER ZUR WC-SPÜLUNG

o. Prof. Dr.-Ing. Berthold Gockell

Dr.-Ing. Detlef Hügin

Der Bundesminister für Wohnungsbau

Abschließ-Zeichen - 1 ficht
zum Lösungs-Beleg

Az. BLS-800184-105 Eing. 3.12.87

Nachname des
Erfinders
des Erfinders

No. 2087

Vorwort

Die Forschungsarbeit "Experimentelle Nutzung von Abwasser zur WC-Spülung" wurde im Auftrage des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau durchgeführt.

BMBau AZ.: B I 6 - 80 01 84 - 105

Die begleitende Arbeitsgruppe setzte sich zusammen aus:

Dr.-Ing. D. Bahrs, Institut für Siedlungswasserwirtschaft
der Technischen Universität Braunschweig

Dr.-Ing. W. Breuer, Stadtwerke AG Wolfsburg

wiss. Oberrat C.-D. Clodius, Institut für Wasser-, Boden-
und Lufthygiene des Bundesgesundheits-
amtes, Berlin (zeitweise)

Dipl.-Ing. H. Halbes, Nibelungen-Wohnbau GmbH, Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. H. Irmer, Institut für Wasser-, Boden- und
Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes,
Berlin (zeitweise)

Prof. Dr.-Ing. R. Kayser, Institut für Siedlungswasserwirt-
schaft der Technischen Universität Braun-
schweig

Dipl.-Ing. H.-M. Körlin, Bundesministerium für Raumordnung,
Bauwesen und Städtebau (zeitweise)

Rechtsanwalt Frhr. v. Steinaecker, Wasserverbandstag Nieder-
sachsen, Hannover

Baudirektor H. Vogel, Bundesministerium für Raumordnung, Bau-
wesen und Städtebau

Den Arbeitsgruppenmitgliedern sei an dieser Stelle für die konstruktive Zusammenarbeit vielmals gedankt.

Der gemeinnützigen Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft mbH "Neu-land" in Wolfsburg sei gedankt für die Bereitstellung des Mehrfamilienhauses in dem die experimentellen Untersuchungen durchgeführt wurden.

Für die tatkräftige Unterstützung bei der Beschaffung der Aggregate und den Aufbau der Versuchsanlage sei den Firmen

Berkefeld-Filter Anlagenbau GmbH, 3100 Celle

Deutsche Geräte Bau GmbH, 4796 Salzkostten

Geberit GmbH, 7798 Pfullendorf

Dr. Bruno Lange GmbH, 4000 Düsseldorf

und für die umfangreichen Wasseranalysen dem

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig
und dem

Staatlichen Medizinaluntersuchungsamt, Braunschweig

ebenfalls gedankt.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mitarbeiter Dr.-Ing. Detlef Hügin, der die Versuchsanlage maßgeblich entwickelte und die Untersuchungen zur experimentellen Abwassernutzung durchführte.

Braunschweig, im November 1987

Berthold Gockell

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|-------|
| 1 Einleitung und Aufgabenstellung | 1 |
| 2 Abwasseranfall nach Menge und Beschaffenheit | 3 |
| 2.1 Abwassermenge | 6 |
| 2.2 Abwasserbeschaffenheit | 7 |
| 3 Versuchsanlage zur experimentellen Abwassernutzung ... | 14 |
| 4 Entfernung von ungelösten Abwasserinhaltsstoffen | 19 |
| 4.1 Mechanische Abwasserklärung mit Siebeinrichtungen und Absetzbehälter | 21 |
| 4.2 Filtration des Wasch- und Badeabwassers | 25 |
| 4.2.1 Anschwemmfilter | 25 |
| 4.2.2 Membranmikrofilter | 28 |
| 4.2.3 Ultrafilter | 33 |
| 5 Beseitigung des Abwassergeruches und Haltbarmachung des Abwassers | 35 |
| 5.1 Möglichkeiten der Geruchsbeseitigung | 35 |
| 5.2 Versuche mit einer Belebungsanlage | 39 |
| 5.3 Versuche mit Wasserstoffperoxyd | 46 |
| 6 Ergebnisse und Empfehlungen | 47 |
| 7 Zusammenfassung | 52 |
| Literaturverzeichnis | 55 |

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Von den durchschnittlich 100 - 160 Litern Wasser mit Trinkwasserqualität, die in der Bundesrepublik Deutschland pro Person und Tag in Wohnbauten verbraucht werden, entfallen etwa 20 - 35 % auf die WC-Spülung. Wasser mit höchster Qualität dient hier ausschließlich als Transportmittel. Das Wasser kommt nicht in Berührung mit dem menschlichen Körper und Trinkwasserentnahmen sind nicht zu erwarten.

Der Gedanke an die Verwendung von Wasser mit geringerer Qualität liegt hier nahe, wofür sich Abwasser aus Badewanne, Dusche, Waschtisch und Waschmaschine anbietet. So reicht die Abwassermenge aus, um den WC-Spülwasserbedarf zu decken. Auch steht Wasch- und Badeabwasser vor Einleitung in das öffentliche Abwassersystem kostenlos zur Verfügung und fällt in jedem Wohnhaus an. Schließlich ist auf den ersten Blick zu vermuten, daß die Beschaffenheit des Wasch- und Badeabwassers den Qualitätsanforderungen an WC-Spülwasser genügt.

Genauer betrachtet zeigt sich jedoch, daß häusliches Wasch- und Badeabwasser eine Reihe von Eigenschaften besitzt, die einer direkten Weiterverwendung zur WC-Spülung entgegenstehen. So enthält das Abwasser grobdisperse Verunreinigungen, wie Haare, Textilfuseln, Fasern und dergleichen mehr. Sie würden zur Funktionsbeeinträchtigung von Pumpen, Absperrventilen und WC-Spüleinrichtungen führen. Weiterhin würden sie schleimartige Ablagerungen und Flecken im WC-Becken und im Spülkasten bilden, die durch einfaches Abspülen nicht zu beseitigen sind. Hinzu kommt, daß Wasch- und Badeabwasser trübe und grau ist, ganz abgesehen von dem unangenehmen Geruch, der sich nach der Abwasserstandzeit von einigen Stunden einstellt.

Wasser dieser Beschaffenheit direkt in die Hauswasserversorgung einzubeziehen, scheidet unter hygienischen, technischen und ästhetischen Gesichtspunkten aus. Vielmehr muß die Abwas-

serbeschaffenheit verändert werden und zwar im Hinblick auf eine Entfernung bzw. Verringerung von

- grobdispersen Abwasserinhaltsstoffen (Haaren, Fuseln, Textilfasern, Sand etc.),
- schleim- und fleckenbildenden Abwasserinhaltsstoffen,
- Geruchsstoffen und
- pathogenen Verunreinigungen.

Auf unterschiedliche Weise wurde bislang versucht, die notwendige Qualitätsverbesserung zu erzielen. Die in der Literatur vorgestellten Wege reichen vom Sieben des Wasch- und Badeabwassers über das Belüften und das Filtern mit Sand-, Aktivkohle-, Kartuschen- und Kieselgurfiltern bis hin zur Ultrafiltration und zur chemisch-physikalischen Abwasserreinigung. *)

Insgesamt betrachtet überzeugt keiner der bislang vorgestellten Wege. Entweder werden die Qualitätsanforderungen an WC-Spülwasser nicht erfüllt, wie z.B. bei der Abwasserreinigung mit Siebeinrichtungen, oder aber das Reinigungsverfahren ist viel zu aufwendig, um für einen Einsatz in Wohnbauten erfolg-

*) Daniel, W., Kragl, W., Rhein, Ch.: Wasser und Wärmerecycling im Haushalt, Forschungsbericht T 80-068 des Bundesministerium für Forschung und Technologie, Robert Bosch GmbH, Technisches Zentrum Forschung, Stuttgart 1980

Bennett, E.R., Linstedt, K.D.: Individual home wastewater characterisation and Treatment, Colorado State University, Fort Collins, Government Report, PB 245259, 1975

Cohen, S., Wallman, H.: Demonstration of waste flow reduction from households, US. Environmental Protection Agency, Government Report PB 236904, Cincinnati Ohio, 1974

Bhattacharyya, D. et. al.: Ultrafiltration of complex wastewaters: recycling for nonpotable use, Journ. WPCF, 50, No. 5, 1978, p. 846-861

N.N.: Schmutzwasser ist nicht nutzlos, Wohnbau, Nr. 6, 1978, S.23-26

versprechend zu sein, wie beispielsweise die chemisch-physikalische Abwasserreinigung mit nachfolgender Filtration.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es daher, weitere Wege zur Qualitätsverbesserung von Wasch- und Badeabwasser experimentell zu untersuchen. Aufbauend auf Ergebnissen aus früheren Untersuchungen *) soll mit Hilfe einer Versuchsanlage geklärt werden, ob sich häusliches Wasch- und Badeabwasser in Wohnbauten ohne funktionelle und hygienische Beeinträchtigungen unter vertretbarem technischen und wirtschaftlichen Aufwand reinigen und verwenden läßt.

2 Abwasseranfall nach Menge und Beschaffenheit

Von entscheidendem Einfluß auf die erforderliche Abwasserbehandlung ist der Wasch- und Badeabwasseranfall in seiner Menge und seiner Zusammensetzung. Um hierzu praxisgerechte Ergebnisse zu bekommen, wurde der Abwasseranfall aus einem Mehrfamilienwohnhaus untersucht.

Das Wohnhaus mit sechs 3-Zimmerwohnungen und drei 2-Zimmerwohnungen (Abb. 1 und Abb. 2) befindet sich in Wolfsburg-Westhagen in der Neubrandenburger Straße . **) Zur Zeit der experimentellen Untersuchungen wurde es insgesamt von 21 Personen bewohnt, wovon 13 berufstätig und 5 Kinder waren (Tabelle 1).

*) Gockell, B.: Trinkwassereinsparung in Wohnbauten durch Mehrfachnutzung und Einbeziehung des Regenwassers, Forschungsbericht F 6/82, Technische Universität Braunschweig, 1982

Hügin, D.: Untersuchungen zur Verringerung des Trinkwasserverbrauchs privater Haushalte, Dissertation, Braunschweig, 1986

**) Wohnhaus der gemeinnützigen Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft mbH "Neuland", Erfurter Ring 15, 3180 Wolfsburg 1

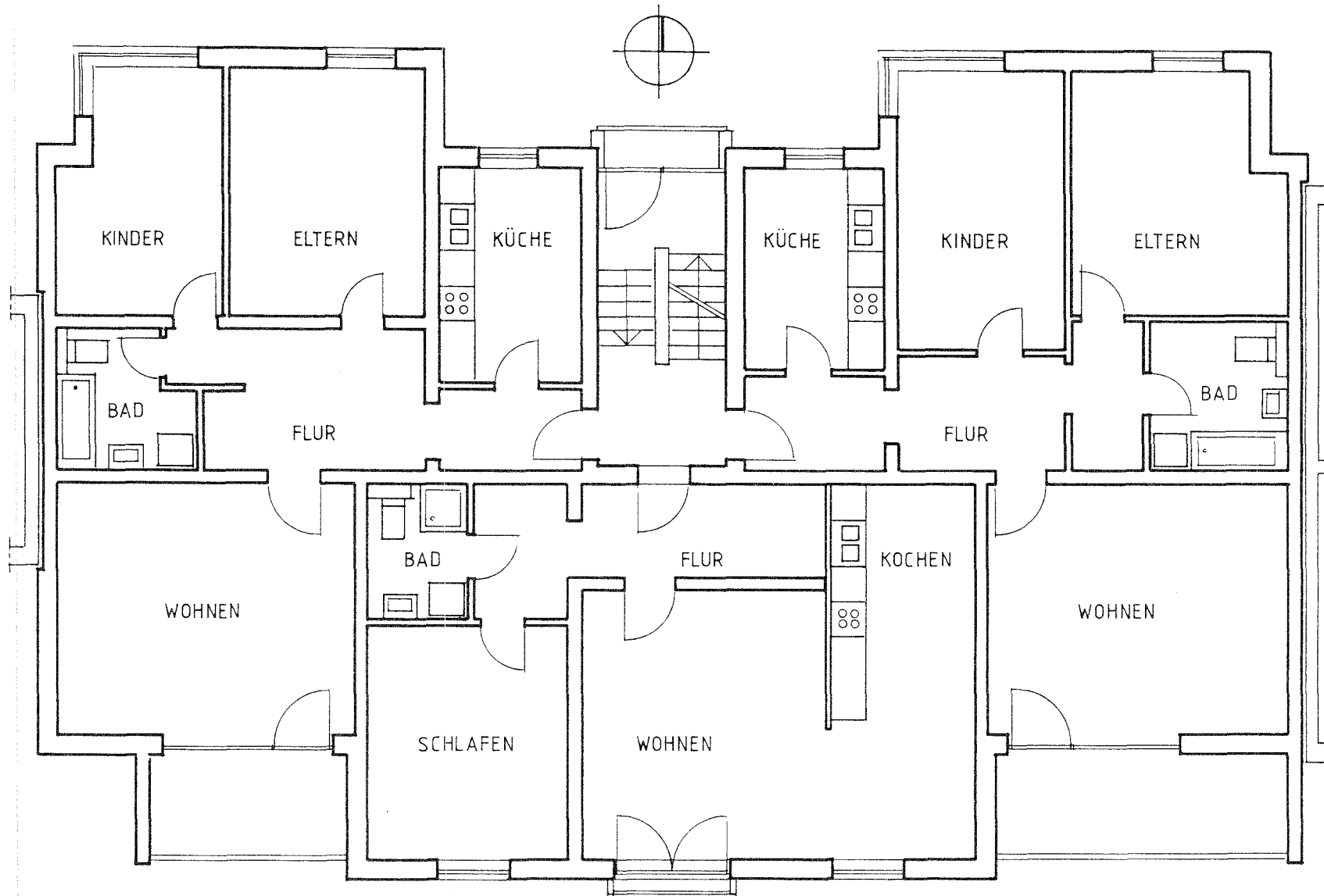


Abb. 1:

Wohnhaus zur experimentellen Abwassernutzung, Grundriß EG, 1. OG, 2. OG

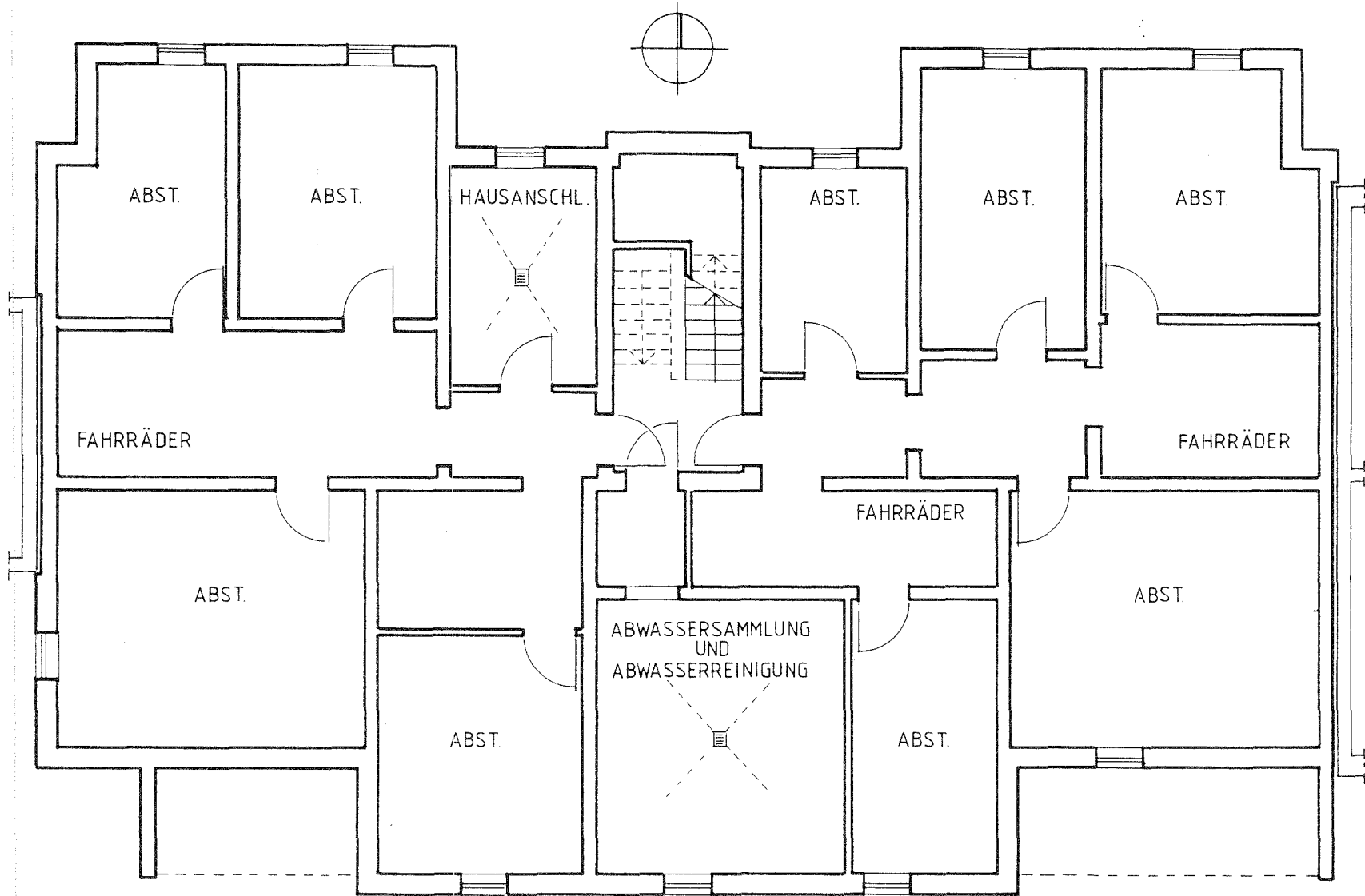


Abb. 2:

Wohnhaus zur experimentellen Abwassernutzung, Grundriß Kellergeschoß

| Wohnung | Größe m ² | Bewohner | | | Ausstattung | | | |
|-------------|-------------------------|----------|----------|------|-----------------|--------|----------------|------------------|
| | | Anzahl | Berufst. | Kind | Wasch- tisch | Dusche | Bade- wanne | Wasch- masch. |
| EG rechts | 77,6 | 3 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| EG mitte | 64,6 | 2 | 2 | - | 1 | 1 | - | 1 |
| EG links | 83,8 | 3 | 2 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| 1.OG rechts | 77,6 | 2 | 1 | - | 1 | - | 1 | 1 |
| 1.OG mitte | 64,6 | 1 | - | - | 1 | 1 | - | - |
| 1.OG links | 83,8 | 3 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| 2.OG rechts | 77,6 | 3 | 2 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |
| 2.OG mitte | 64,6 | 1 | 1 | - | 1 | 1 | - | 1 |
| 2.OG links | 83,8 | 3 | 2 | 1 | 1 | - | 1 | 1 |

Tabelle 1:

Angaben zu den Bewohnern und zur Sanitärausstattung des Wolfsburger Versuchshauses zur experimentellen Abwassernutzung

2.1 Abwassermenge

Beim Verlauf des mengenmäßigen Abwasseranfalls zeigte sich, daß der niedrigste Abflußwert in der Zeit zwischen Mitternacht und fünf Uhr lag. Ab acht Uhr stieg der Abwasseranfall durch das Wäschewaschen zumeist an, fiel in den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden ab, um dann am Spätnachmittag und in den frühen Abendstunden wieder langsam anzusteigen.

Wurden die Abflußwerte an den einzelnen Wochentagen betrachtet, so unterlagen sie keinen großen Schwankungen. Die zum Wochenbeginn erwarteten Tage der Haushaltswäsche konnten nicht festgestellt werden. Eine Umfrage unter den Hausbewohnern ergab vielmehr, daß über die ganze Woche etwa gleichmäßig verteilt gewaschen wurde. Lediglich am Wochenende wurde ein leicht erhöhter Abwasseranfall registriert.

Auch das traditionelle Benutzen der Badewanne am Wochenende konnte nicht festgestellt werden. Vielmehr wurde die Badewanne jeweils etwa nach 3 oder 4 Tagen benutzt. Die Duschen wurden im Durchschnitt jeden zweiten Tag frequentiert.

Die Menge des Abwassers aus Badewannen, Duschen, Waschmaschinen und Waschtischen lag in dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus zumeist zwischen 1 und 1,5 Kubikmeter pro Tag. Auf die 21 Hausbewohner bezogen, ergab sich damit ein bewohnerspezifischer Abwasseranfall für die Haushaltswäsche und für die Körperpflege einschließlich dem Baden und Duschen von 50 - 75 Liter pro Person und Tag. Der bewohnerspezifische Wasserverbrauch für die WC-Spülung wurde mit 25 - 40 Liter pro Tag und Person festgestellt.

Insgesamt wurden von den 21 Bewohnern täglich zwischen 2,2 und 3,2 m³ Wasser benötigt. Dies entsprach einem spezifischen Wasserverbrauch von 105 - 150 Litern pro Tag und Person.

2.2 Abwasserbeschaffenheit

Die Untersuchung der Abwasserbeschaffenheit zeigte zunächst, daß das gesammelte frische Abwasser aus den Badewannen, Duschen, Waschmaschinen und Waschtischen eine milchig-trübe, weiß bis grau verfärbte Flüssigkeit darstellte, die mit Sand, Hautpartikelchen, Fuseln etc. sowie mit Haaren und Flusen durchsetzt war.

Das frische Abwasser roch nicht unangenehm nach den Geruchsstoffen der Waschmittel. Infolge der Zersetzlichkeit und der sauerstoffzehrenden Wirkungen vieler Bestandteile enthielt das Wasch- und Badeabwasser nur sehr geringe Mengen bzw. überhaupt keinen Sauerstoff. Im Sammelbehälter kam es nach wenigen Stunden zu Fäulniserscheinungen und zu unangenehmem Geruch, wobei sich das Abwasser durch die Bildung von Schwefeleisen mehr oder weniger dunkel färbte.

Nach kurzer Standzeit des Wasch- und Badeabwassers im Absetztrichter setzten sich Feststoffe ab, die mit Hilfe eines Imhofftrichters in Milliliter ml gemessen wurden. Nach 2 Stunden Absetzzeit waren es durchschnittlich 2 - 3 ml/l, jedoch selten mehr als 5 ml/l.

Als nächstes wurde der pH-Wert untersucht. Während das Trinkwasser aus dem Netz der öffentlichen Wasserversorgung der Stadt Wolfsburg meist einen pH-Wert von 8,0 aufwies, lag der pH-Wert des häuslichen Wasch- und Badeabwassers, gemessen als 24 Stunden Mischprobe im Durchschnitt zwischen 8,2 und 8,4.

Die vielseitige Verschmutzung des Wasch- und Badeabwassers machte es praktisch unmöglich, die Beschaffenheit nach dem Vorhandensein bestimmter Einzelstoffe zu charakterisieren. Zur Beurteilung mußte daher die mengenmäßige Erfassung gewisser Stoffgruppen dienen, wobei einerseits deren physikalisches Verhalten und andererseits die chemisch-biologische Eigenart der Inhaltsstoffe von Interesse waren.

Aus physikalischer Sicht konnte zunächst zwischen gelöster und ungelöster Verschmutzung unterschieden werden. Die ungelösten Stoffe ließen sich in absetzbare Stoffe, die schwerer als das Abwasser sind und in echte Schwebestoffe, deren spezifisches Gewicht annähernd dem des Wassers entspricht, aufteilen. Außerdem waren Schmutzstoffe mit unter 1,0 liegendem Gewicht vorhanden, die zum Aufschwimmen neigten.

Alle Stoffgruppen setzten sich aus organischen Substanzen zusammen, die beim Ausglühen verbrannten und aus mineralischen Bestandteilen, die bei der Verbrennung Asche hinterließen.

In Tabelle 2 sind Werte zum durchschnittlichen Schmutzgehalt des Wasch- und Badeabwassers aus dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus wiedergegeben.

| | gesamt mg/l | organisch mg/l | mineralisch mg/l |
|--------------------------------------|----------------|-------------------|---------------------|
| Gesamtschmutzmenge | 800-1300 | 500-800 | 300-500 |
| davon gelöste Stoffe: | 450- 00 | 350-500 | 100-200 |
| davon ungelöste Stoffe: | 350- 600 | 150-300 | 200-300 |
| davon absetzbare Schwebestoffe | 200- 350 | - | - |
| davon nicht absetzbare Schwebestoffe | 150- 250 | - | - |

Tabelle 2:

Werte zum Schmutzgehalt des Wasch- und Badeabwassers

Rechnet man mit dem durchschnittlich gemessenen Wasserverbrauch von 75 Litern pro Tag für die Haushaltswäsche und die Körperpflege einschließlich dem Duschen und Baden, so ergibt sich die in Tabelle 2 ausgeführte, täglich von 1 Bewohner verursachte Verschmutzung.

| | gesamt g/E/T | organisch g/E/T | mineralisch g/E/T |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| Gesamtschmutzmenge | 60-97 | 37-60 | 23-37 |
| davon gelöste Stoffe: | 34-52 | 26-37 | 8-15 |
| davon ungelöste Stoffe: | 26-45 | 11-23 | 15-22 |
| davon absetzbare Schwebestoffe | 15-26 | - | - |
| davon nicht absetzbare Schwebestoffe | 11-19 | - | - |

Tabelle 3:

Mittlere tägliche Schmutzmenge des Wasch- und Badeabwassers eines Bewohners

Wie aus einer Betrachtung, der in den Tabellen angegebenen Werte hervorgeht, ist die Menge der gelösten Stoffe im Wasch- und Badeabwasser etwas größer als die der ungelösten Stoffe.

Die gelösten Stoffe und die Kolloide gingen durch die Proben der Papierfilter hindurch. Die Kolloide machten sich optisch als Trübung bemerkbar. Zusammen mit den feinen, nicht absetzbaren Schwebstoffen trugen sie zur Schlamm- bildung bei, da sie zur Flockung neigten, wenn das Abwasser stand.

Aus den Tabellen ist weiter zu entnehmen, daß weniger als 1/3 der Schmutzmenge des Wasch- und Badeabwassers in Form ungelöster, absetzbarer Stoffe vorhanden war. Darüber hinaus zeigte sich ein Überwiegen der organischen Schmutzstoffe. Sie machten fast 2/3 der gesamten Verschmutzung aus und stammten in der Hauptsache aus dem Abwasser der Waschmaschinen. Die wichtigsten Untersuchungen zur Verschmutzung des Wasch- und Badeabwassers waren deshalb Analysen zum Gehalt an organischen Stoffen, wozu der CSB und der BSB₅ bestimmt wurde.

CSB ist die Abkürzung für den chemischen Sauerstoffbedarf. Es handelt sich dabei um eine chemische Analyse, die aussagt, wieviel Dichromat das Abwasser beim Kochen in schwefelsaurer Lösung verbraucht, vergleichbar mit einer Art Naßverbrennung. Fast alle organisch-chemischen Substanzen werden dadurch erfaßt. Der Verbrauch an Dichromat wird gemessen und stöchiometrisch in mg Sauerstoff pro Liter umgerechnet.

Der BSB₅ ist die Abkürzung für den biochemischen Sauerstoffbedarf. Er gilt als Maß für die Konzentration an mikrobiologisch abbaubaren organischen Substanzen. Es wird dabei festgestellt, welchen Sauerstoffverbrauch 1 Liter des Wasch- und Badeabwassers aufweist, wenn die in der Probe enthaltenen organischen Stoffe durch Mikroorganismen innerhalb von 5 Tagen weitgehend abgebaut werden.

In Tabelle 4 sind verschiedene Konzentrationsbereiche der organischen Verschmutzung sowie weiterer Verschmutzungsparameter des Wasch- und Badeabwassers aus dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus wiedergegeben.

| Abwasserart | Konzentration | pH-Wert | Absetzbare Stoffe n · 2h ml/l | Abfiltrierbare Stoffe (Filterrückstand) mg/l | Abdampfrückstand (Filterdurchlauf = gelöste Stoffe) mg/l | CSB | BSB ₅ ges. |
|---------------------------------------|---------------|---------|---|--|--|------|--------------------------|
| Häusliches Wasch- und Badeabwasser *) | 1.gering | 8.0 | 1 | 50 | 80 | 300 | 100 |
| | 2.mittel | 8.3 | 2-3 | 100 | 150 | 600 | 250 |
| | 3.groß | 8.6 | 4-6 | 150 | 200 | 900 | 400 |
| Kommunales Schmutzwasser **) | 1.gering | 6,6 | 2 | 200 | 400 | 300 | 150 |
| | 2.mittel | 7,6 | 6 | 500 | 800 | 600 | 300 |
| | 3.groß | 8,6 | 12 | 900 | 1200 | 1000 | 500 |

Tab. 4:

Konzentrationsbereiche zur Zusammensetzung von häuslichem Wasch- und Badeabwasser sowie von kommunalem Schmutzwasser

*) 24-h-Mischproben, 21 Bewohner, Mehrfamilienwohnhaus Wolfsburg

**) Abwassertechnische Vereinigung: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III, Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserkläranlagen und mechanische Klärverfahren, Berlin, München, 1983, S. 33

Es zeigt sich, daß das Wasch- und Badeabwasser eine organische Belastung aufwies, die mit kommunalem Schmutzwasser vergleichbar war. Die organische Verschmutzung stammte dabei in der Hauptsache aus dem Abwasser der Waschmaschinen.

| Analyse | Waschabwasser | | häusliches Abwasser |
|-----------------------------------|---------------|-----------|---------------------|
| | Wäscherien | Haushalte | |
| absetzbare Stoffe (ml/l) | 3 | 4 | 5 |
| CSB der abgesetzten Proben (mg/l) | 966 | 1300 | 355 |
| Giftigkeit (Verdünnungsfaktor) | | | |
| gegen Bakterien | 10 | 20 | 0 |
| gegen Fische | 16 | 20 | 0 |

Tabelle 5:

Analysewerte zur Verschmutzung von Waschabwasser und häuslichem Abwasser *)

Betrachtet man das Abwasser aus der Waschmaschine getrennt, so ist festzustellen, daß der CSB und der BSB₅ eine doppelt bis dreimal so hohe Verschmutzung aufweist wie häusliches Abwasser, das kein Abwasser aus Waschmaschinen enthält (Tabelle 5).

Analysewerte zur bakteriologischen Beschaffenheit des Wasch- und Badeabwassers aus dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus sind in Tabelle 6 wiedergegeben. Im Ergebnis ist festzustellen, daß das Abwasser aufgrund des hohen Keimgehaltes aus hygienischer Sicht als bedenklich zu beurteilen ist.

*) Schulze-Rettmer, R.: Die Auswirkungen von Waschprozeß auf die Umwelt, Seifen-Öle-Fette-Wachs, 102.Jg., Nr.15, 1976, S. 428

| | | |
|-----------|-------|-------------------|
| Colititer | | 10^{-4} |
| Keimzahl | 20 °C | $1,5 \times 10^7$ |
| | 37 °C | $1,8 \times 10^7$ |

Tabelle 6:

Analysewerte zur bakteriologischen Beschaffenheit des Wasch- und Badeabwassers

Es überraschten die bei jeder Analyse festgestellten, aus der menschlichen Darmflora herrührenden, an sich unschädlichen Kolibakterien, die als Indikator für fäkalische Verschmutzungen gelten.

Es wurde hierzu der Colititer bestimmt, d.h. die kleinste Wassermenge, aus der sich E-Coli noch züchten ließ. Im Mittel lag der Colititer des Wasch- und Badeabwassers zwischen 10^{-4} und 10^{-3} . Beim Zählverfahren entspricht dies 1.000 - 10.000 Koli in einem Kubikzentimeter Abwasser.

3 Versuchsanlage zur experimentellen Abwassernutzung

Die Untersuchungen zur experimentellen Abwassernutzung wurden mit der in Abb. 3 bis Abb. 5 dargestellten Versuchsanlage durchgeführt. Das von dem übrigen Haushaltsabwasser getrennte Abwasser aus Badewannen, Duschen, Waschmaschinen und Waschtischen wurde zunächst mit Hilfe von Absetz- und Siebeinrichtungen vorgereinigt. Im vorgereinigten Zustand gelangte das Wasch- und Badeabwasser dann in einen Abwassersammelbehälter, der als sog. Pufferbehälter diente. Das Abwasser wurde hier kurzzeitig aufgenommen und dann zur weiteren Abwasserreinigung kontinuierlich abgegeben.

Zur weiteren Abwasserreinigung waren folgende zu testende Reinigungseinrichtungen installiert:

- Anschwemmfilter,
- Membranmikrofilter,
- Ultrafiltrationsanlage,
- biologische Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren.

Hinzu kam eine Chlorungseinrichtung um das gereinigte Wasch- und Badeabwasser ggf. desinfizieren zu können.

Nach der Abwasserbehandlung wurde das Wasch- und Badeabwasser in einen sog. Reinwasserbehälter geleitet, der zeitliche Unterschiede zwischen WC-Spülwasserbedarf und Abwasseranfall ausglich. Die Speichergröße des Reinwasserbehälters ergab sich in Abhängigkeit vom zeitlichen und mengenmäßigen Verlauf des Abwasseranfalls und des WC-Spülwasserbedarfs. *) Gleiches galt für die Größe des Pufferbehälters.

*) Fewkes, A., Ferries, S.A.: The recycling of domestic waste water. A study of the factors influencing the storage capacity and the simulation of the usage patterns, Building and Environment, Vol. 17, No. 3, Nottingham, 1982, p. 209-216

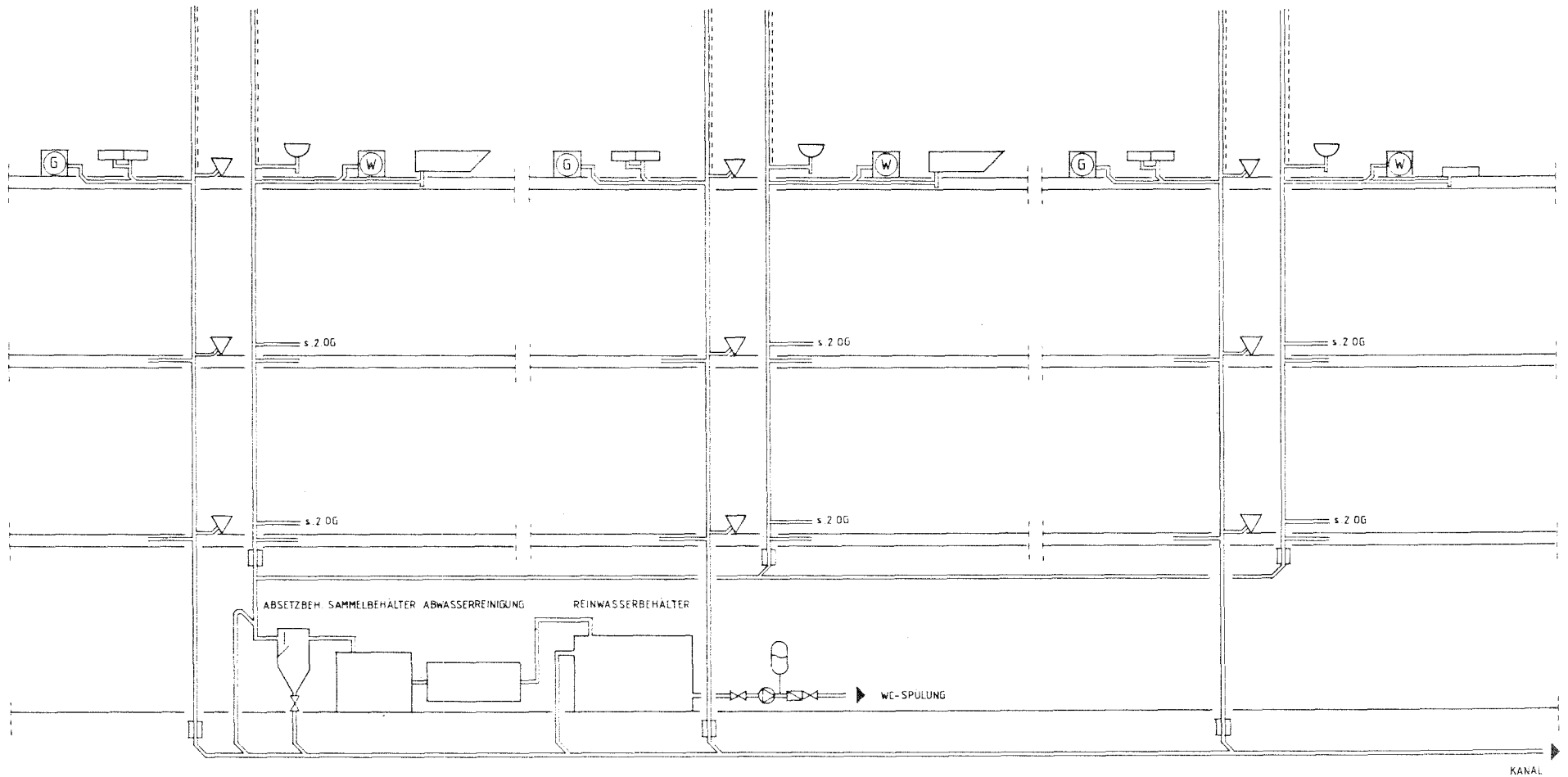


Abb. 3:
Versuchsanlage zur experimentellen Abwassernutzung, Strangschema Entwässerung

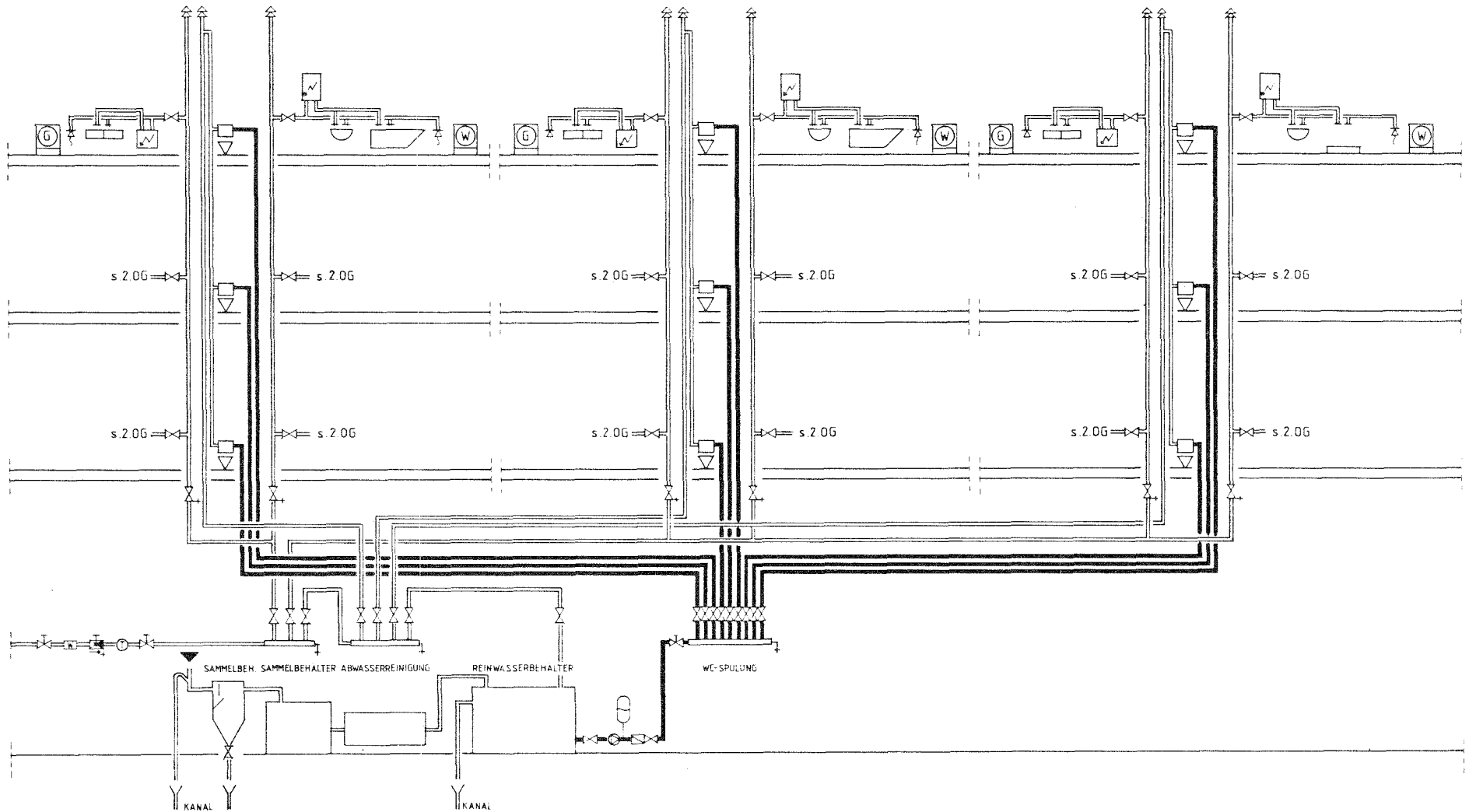


Abb. 4:
Versuchsanlage zur experimentellen Abwassernutzung, Strangschemata Wasserversorgung

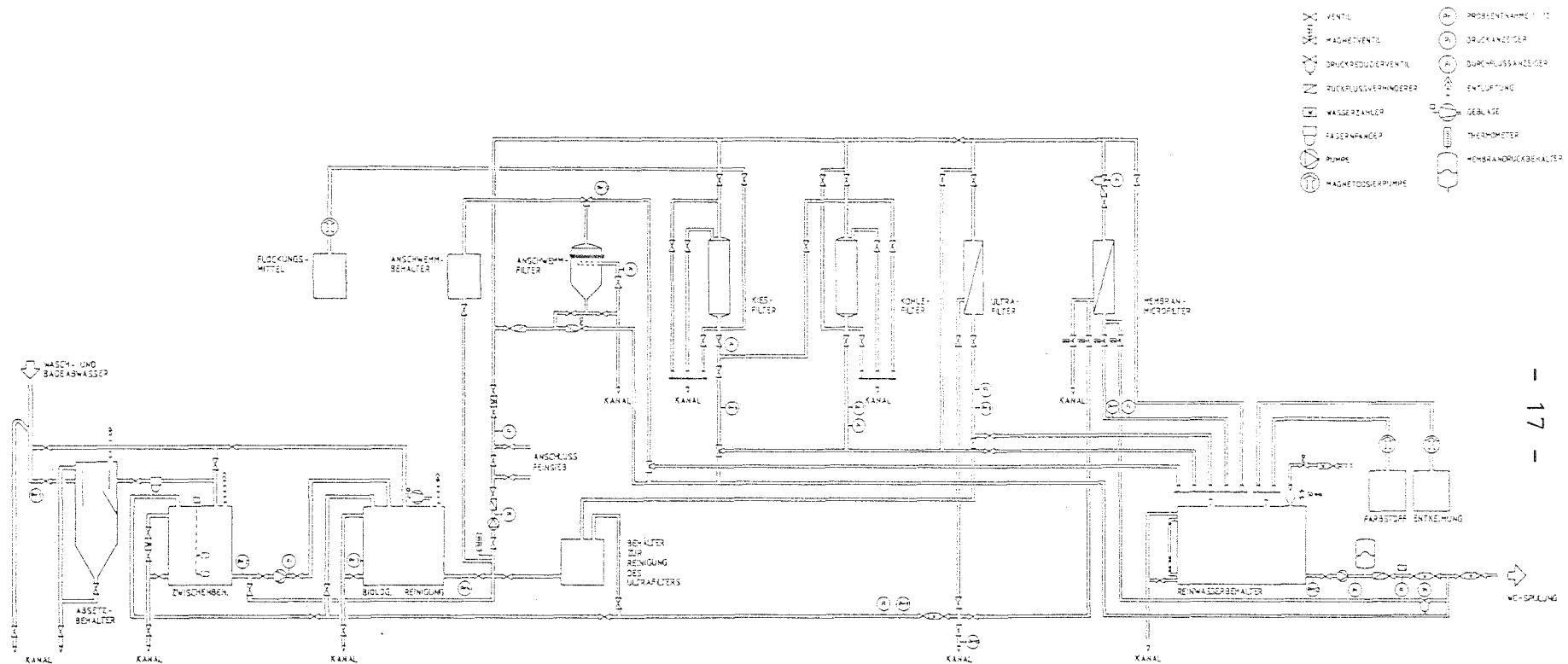


Abb. 5:
 Versuchsanlage zur experimentellen Abwassernutzung, Fließschema Abwasserbehandlung

Der Pufferbehälter wurde danach mit 1000 Litern und der Reinwasserbehälter mit 2000 Litern Fassungsvermögen ausgelegt. Bei 21 Hausbewohnern ergab sich damit eine Speicherkapazität von 50 bzw. 100 Litern pro Person.

Um Versorgungsengpässe bei unzureichender Abwassermenge auszuschließen, war der Reinwasserbehälter über eine Niveausteu-
erung und ein Magnetventil mit dem öffentlichen Wasserversorgungssystem verbunden. Ein freier Auslauf verhinderte dabei das Rückfließen von gereinigtem Wasch- und Badeabwasser in das Trinkwasserversorgungsnetz.

Für den Fall, daß die Versorgung der WC-Anlagen mit gereinigtem Wasch- und Badeabwasser unterbrochen war, z.B. bei Ausfall der Druckerhöhungsanlage, erfolgte die WC-Spülwasserversorgung über eine Druck- und Magnetventilregelung direkt aus dem öffentlichen Wasserversorgungssystem.

Die Spülkästen in der Versuchsanlage waren deshalb an das Wasseraufbereitungssystem und an das öffentliche Wasserversorgungssystem angeschlossen.

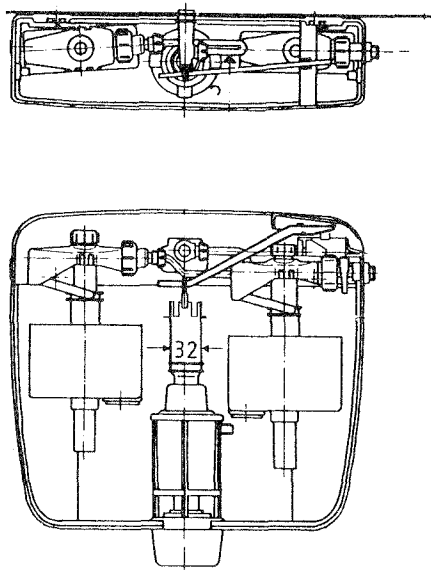


Abb. 6:

WC-Spülkasten mit zwei Schwimmerventilen

Es wurden handelsübliche WC-Spülkästen verwendet, die lediglich mit einem zweiten Schwimmerventil ausgestattet waren (Abb. 6). Das gereinigte Wasch- und Badeabwasser floß dabei über einen freien Auslauf in den Spülkasten, um Rückflüsse in das Trinkwassernetz auszuschließen.

4 Entfernung von ungelösten Abwasserinhaltsstoffen

Wie die Tabellen 7 und 8 zeigen, stehen zur Qualitätsverbesserung von Wasser sogenannte mechanische, chemische, physikalische, physikalisch-chemische und biologische Verfahren zur Verfügung. Unerwünschte Wasserinhaltsstoffe jeder Art und Größe lassen sich mit Hilfe dieser Verfahren beseitigen und es ist somit grundsätzlich möglich, aus Wasch- und Badeabwasser Wasser der gewünschten Güte zu gewinnen.

Die Problematik besteht in der Minimierung des technischen und wirtschaftlichen Aufwandes unter Einhaltung folgender Rahmenbedingungen:

- sichere Entfernung unerwünschter Abwasserinhaltsstoffe,
- geringe Anfälligkeit des Abwasserreinigungsverfahrens gegenüber Schwankungen der Abwasserbeschaffenheit und der Abwassermenge,
- einfache Handhabung des Abwasserreinigungsverfahrens,
- Vermeidung von umweltgefährdenden Abwasseraufbereitungsrückständen wie z.B. organischen Chlorverbindungen.

Wendet man sich dem ersten Punkt dieser Rahmenbedingungen zu, so sind es zunächst die ungelösten Stoffe, die bei der Wiederverwendung des Wasch- und Badeabwassers stören und die aus dem Abwasser entfernt werden müssen.

| | | | | |
|--|---|-------------------|---|----------------------------|
| Mechanische Verfahren | } | Sieben | } | Suspendierte Feststoffe |
| | | Sedimentation | | |
| | | Flotation | | |
| | | Filtration | | |
| Chemische, physikalisch- chem. u. biol. Verfahren | } | Flockung | } | Kolloidale Stoffe |
| | | Fällung | | |
| | | Ionenaustausch | } | Gelöste anorg. Stoffe |
| | | Adsorption | | |
| | | Oxidation | } | Gelöste org. Stoffe |
| | | Bio. Aufbereitung | | |

Tabelle 7:

Verfahren zur Entfernung von Wasserverunreinigungen *)

| | | |
|-------------------|---|--|
| Physik. Verfahren | } | Sterilisation durch Temperaturerhöhung |
| | | Katalytische Behandlung (Silberung) |
| | | Bestrahlung |
| | | Filtration |
| | | Adsorption |
| Chem. Verfahren | } | Anwendung von Oxidationsmitteln me Cl ₂ , Cl O ₂ , O ₃ |
| | | |
| Biol. Verfahren | } | Langsamfilter, |
| | | Versickerung |

Tabelle 8:

Verfahren zur Wasserentkeimung *)

*) Sontheimer, H.: Wasserchemie für Ingenieure, Frankfurt/M., 1980, S. 423 und 424

4.1 Mechanische Abwasserklärung mit Siebeinrichtungen und Absetzbehälter

Die ungelösten Stoffe lassen sich nach ihrem Dispersitätsgrad, d.h. nach dem mittleren Durchmesser der ungelösten Partikel, unterteilen (Tabelle 9). Der Dispersitätsgrad überstreicht sieben Größenordnungen. Er reicht vom kolloidalen Zustand (10^{-7} cm) bis zum makroskopischen Teilchendurchmesser (ca. 1 cm).

Durchmesser der ungelösten Partikel in nm

| | 10^0 | 10^1 | 10^2 | 10^3 | 10^4 | 10^5 | 10^6 | 10^7 |
|---------------|-----------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|----------|-----------|
| | | | | | | | Sandfang | Rechengut |
| | kolloidal | | feindispers | | grobdispers | | | |
| | Hyperfiltration | | Membranfiltration | | Papierfiltration | | Siebung | |
| Schwimmstoffe | | | | | | | | |
| Schwebstoffe | | | | | | | | |
| Sinkstoffe | | | | | absetzbare Stoffe | | | |

Tabelle 9:
Unterteilung der ungelösten Stoffe *)

Von den ungelösten Stoffen sind als erstes die grobdispersen Schwimm-, Schweb- und Sinkstoffe zu entfernen, wozu in der

*) Abwassertechnische Vereinigung, a.a.O., Band III, S. 30

Versuchsanlage folgende Einrichtungen installiert waren:

- Jutesack, bzw. Sack aus Kunststoffgeflecht ("Kartoffelsack"),
- Schmutzfänger mit Siebeinsätzen von ... unterschiedlicher Maschenweite
- Absetzbehälter.

Die Einrichtungen zur mechanischen Abwasserklärung wurden einzeln und in Kombination auf ihre Wirksamkeit und Handhabungsfreundlichkeit getestet. Ziel war es dabei, festzustellen, auf welche Weise Haare, Flusen, Sand etc. aus dem Abwasser unter geringem Aufwand und unter zumutbaren Bedienungsbedingungen entfernt werden können.

Zunächst wurde untersucht, ob sich einfache Schmutzfänger mit Siebeinsätzen anbieten, um grobe Inhaltsstoffe, wie Haare, Fasern, Flusen etc. aus dem Abwasser zu entfernen.

Im Ergebnis zeigte sich, daß das Sieb - unabhängig von der Maschenweite - nach wenigen Stunden verstopft war. Insbesondere waren es Haare, die die Verstopfung verursachten. Sie setzen sich in den Sieblöchern fest und bildeten nach kurzer Zeit mit Textilflusen, Hautpartikelchen, Bartstoppeln etc. ein knäuelartiges Gebilde, wodurch der Durchfluß blockiert wurde. Da sich die Haare in den Sieblöchern festsetzen, war es nicht möglich, sie durch Rückspülen zu entfernen. Das Sieb mußte herausgenommen und die Verunreinigungen mechanisch entfernt werden.

Bessere Ergebnisse als mit Siebeinsätzen wurden mit Jutesäcken im Einlauf zum Sammelbehälter erzielt bzw. mit Säcken mit grobmaschigem Kunststoffgeflecht. Haare und Flusen setzten sich hier fest, ohne den Durchfluß zu blockieren. Auf dem Boden der Säcke bildete sich ein Knäuel von Fasern, Flusen und

Haaren, in dem sich Hautpartikelchen und andere ungelöste Schwebstoffe von schlammartiger Konsistenz angereichert hatten.

Das Volumen, der mit dem Jutesack festgehaltenen ungelösten Stoffe betrug etwa 7 - 10 Liter bei einem Abwasseranfall von 25 - 40 m³. Nur ein Viertel davon setzten sich am Boden des Sackes mit Kunststoffgeflecht ab, da die Struktur des Geflechtes viel grobmaschiger als beim Jutesack war.

Die Säcke wurden unter dem Gesichtspunkt des einmaligen Gebrauches als Wegwerfeinrichtung ausgewählt. Bei Kosten von weniger als 2 DM pro Stück und einer Gebrauchsdauer von 3 - 4 Wochen bei 21 Bewohnern stellten sie unter zumutbaren Bedienungsbedingungen eine kostengünstige Lösung zur Entfernung von grobdispersen Schwefstoffen dar.

Weitgehend unverändert durch Jute- bzw. "Kartoffelsäcke" blieb die organische Belastung des Abwassers. Erst durch einen vorgeschalteten Absetzbehälter (Abb. 7) ließ sie sich um 20-30 % verringern.

Der zylindrische Absetzbehälter hatte einen Durchmesser von 800 mm und einen Trichter mit einer Neigung von 60 °. Der Behälter wurde nach einer Flächenbeschickung von 2 m/Std bei einem Abwasserzufluß von 900 l/Std ausgelegt. Dies entsprach der Entleerung einer Badewanne mit 150 Litern Inhalt in 6 Minuten.

Am Einlauf erhielt der Absetzbehälter eine Tauchwand von 30 cm Tiefe, um Abwasserstöße aufzunehmen. Vor dem Auslauf war eine 40 cm lange Schrägwand mit Löchern angebracht, um aufgewirbelte Schwebstoffe zurückzuhalten. Das Abwasser floß dabei über einen

Schlitz in eine sogenannte Nachkammer und gelangte von dort in den Sammelbehälter. Hier war im Einlauf der Jutesack bzw. der Sack mit Kunststoffgeflecht angebracht, um Schwebstoffe wie Haare, Fasern etc. zurückzuhalten.

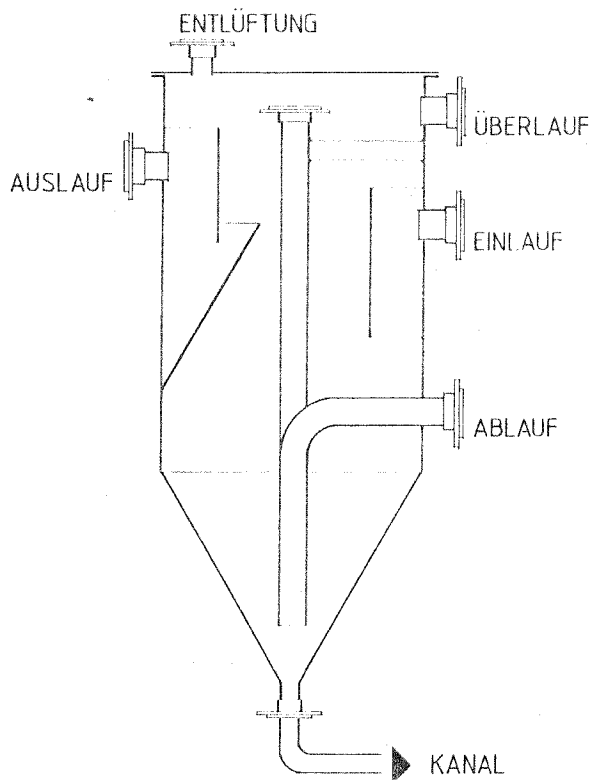


Abb. 7:
Absetzbehälter

Nach zwei bis drei Tagen wurde der Schlamm aus dem Absetzbehälter entfernt. Damit wurde ein Anfaulen weitgehend vermieden. Der Schlammaustrag erfolgte über ein Schlammablaßrohr. Durch den darüber liegenden Wasserdruck wurde der Schlamm in die Kanalisation geleitet, so daß der Behälter nicht vollständig entleert werden mußte.

Faßt man die Untersuchungsergebnisse zur mechanischen Abwasserklärung zusammen, so ist festzuhalten, daß die Beschaffenheit des Wasch- und Badeabwassers mit Hilfe eines Absetzbehälters auf einfache Weise spürbar verbessert werden konnte. Der Gehalt an ungelösten Stoffen nahm ab und die organische Schmutzfracht konnte um 20 - 30 % vermindert werden.

Der Einsatz von Absetzeinrichtungen bei der Wasch- und Badeabwassernutzung ist deshalb als erster Schritt der Abwasserreinigung angeraten. Die weitere Abwasserbehandlung erleichtert sich dadurch und nachfolgende Anlageteile werden nicht unnötig belastet.

4.2 Filtration des Wasch- und Badeabwassers

Als nächstes wurde untersucht, ob eine weitergehende mechanische Abwasserreinigung bei der Wasch- und Badeabwassernutzung zur WC-Spülung sinnvoll ist und ob hierzu der Einsatz von Filteranlagen mit hoher Trennschärfe, wie z.B. Anschwemmfilter- und Membranfilteranlagen erfolgversprechend ist, wie aus den USA und Japan berichtet wird. *)

4.2.1 Anschwemmfilter

Bei der Anschwemmfiltration wird das zu reinigende Wasser durch eine auf Stützelemente angeschwemmte, sehr feinkörnige Filtermasse geleitet, worauf sich Wasserverunreinigungen ab-

*) Cohen, S., Wallmann, H.: a.a.O.

Hypes, W.D.: Laboratory and family live - in experiences with domestic grey reuse system, NASA Langley Research Center, pres. at Natl. Sanitation Foundation Individual Onsite Wastewater Systems, 5th Conf., Ann Arbor, Mich., Act. 1978, p. 209-228

Milne, M.: Residential water reuse, California Univ., Davis, Government Report PB 155377, Washington 1979, p. 379 ff.

Mc Laughlin, E.R.: A recycle system for conservation of water in residences, water and sewage works, April 1968, p. 175-176

Bhattacharyya, D. et al.: a.a.O., u.a.

setzen. Als Filtermasse wurde ein Kieselgur-Aktivkohlegemisch verwendet. Die Trennschärfe des Anschwemmfilters lag im Bereich von 0,5 - 1 μm (0,0005 - 0,001 mm) und war damit um 20 - 100 mal höher als z.B. bei einem Sandfilter mit feinstem Filtersand.

Bei dem getesteten Anschwemmfilter fiel die Anschwemmschicht ab, wenn nicht gefiltert wurde. Bei erneutem Filterdurchlauf kam es dann zu einer gemeinsamen Anschwemmung von Anschwemmmaterial und vorher ausgefilterten Wasserverunreinigungen. Dabei bildeten sich "Lücken im Filterkuchen", die mit einer verminderten Filtrationswirkung verbunden waren. Um dies zu vermeiden, mußte ständig gefiltert werden (Abb. 8).

Bei Abwasseranfall wurde über den Kreislauf

"... Abwassersammelbehälter - Anschwemmfilter - Abwassersammelbehälter ..."

gefiltert. Bei fehlendem Abwasseranfall durchlief das Abwasser folgenden Filtrationskreislauf:

"... Reinwasserbehälter - Anschwemmfilter - Reinwasserbehälter ...".

Die Steuerung erfolgte über Magnetventile.

Zur Beschaffenheit des mit dem Anschwemmfilter gefilterten Wasch- und Badeabwassers konnte festgestellt werden, daß die ungelösten Abwasserinhaltsstoffe fast vollständig zurückgehalten wurden.

Kolloide und gelöste Stoffe verblieben dagegen im Abwasser. Sie machten sich als Trübung bemerkbar und verhinderten, daß das gefilterte Abwasser zur WC-Spülung herangezogen werden konnte, da es nach kurzer Zeit zu faulen begann. Dementsprechend führten die Haltbarkeitstests mit Methylenblau und Bleiazetatpapier *) innerhalb eines Tages zu einer Entfärbung.

*) Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Prüfung auf Fäulnisfähigkeit, Bd. II, H. 22, S. 1-3

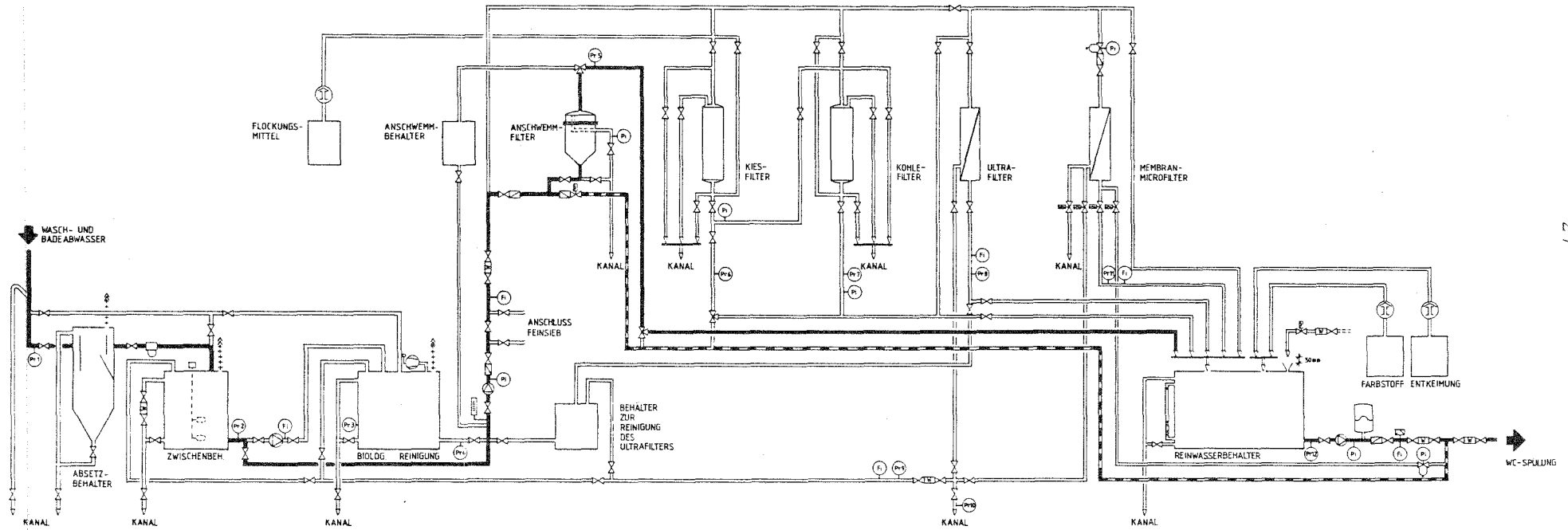


Abb. 8:
Fließschema zur Anschwemmfiltration

Auch ging von dem gefilterten Abwasser unter Luftabschluß schnell ein unangenehmer Geruch aus, da die biologisch abbaubare organische Belastung noch zu hoch war. Es wurden BSB₅ Werte zwischen 100 und 200 mg/l gemessen, so daß auf weitere Wasseranalysen verzichtet und die Anschwemmfiltration nicht weiter verfolgt wurde.

4.2.2 Membranmikrofilter

Bessere Ergebnisse als bei der Anschwemmfiltration wurden bei der Mikrofiltration und bei der Ultrafiltration mit mikroporösen Membranen aus Polypropylen erzielt (Abb. 9)

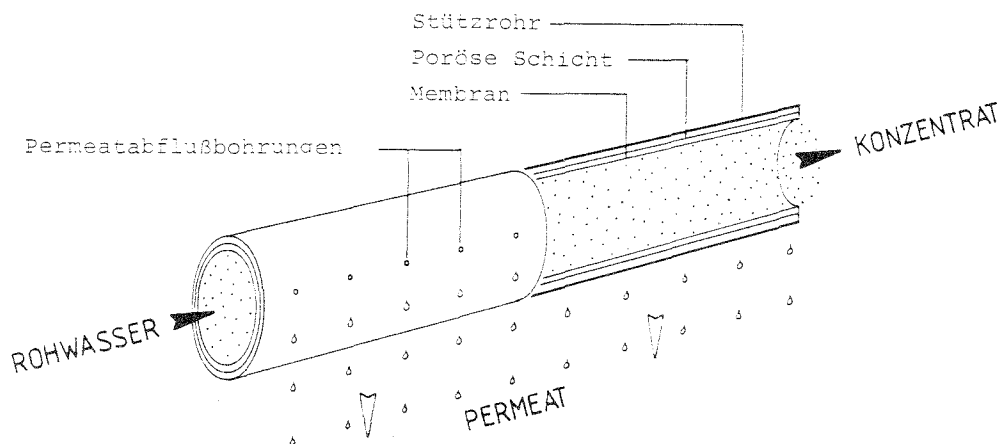


Abb. 9:

Schematische Darstellung einer Membran-Mikrofiltrations- bzw. Ultrafiltrationseinheit *)

*) Kriegel, E. u.a.: Stofftrennung durch umgekehrte Osmose und Ultrafiltration; Grundlagen, Versuche und Betriebsergebnisse; Techn. Mitt. Krupp, Werksberichte, Band 34, H. 1, 1976, S. 26

Das Wasch- und Badeabwasser strömte hierbei an einer semipermeablen Membran entlang, die für Wasser durchlässig war, während Wasserverunreinigungen zurückgehalten wurden. Die Größe der zurückgehaltenen Verunreinigungen ergab sich aus der Porengröße der Membran.

Bei der in der Versuchsanlage verwendeten Mikrofiltrationsmembran betrug die Porengröße $0,2 \mu\text{m}$, so daß Schmutzpartikel im Mikron und im Submikronbereich zurückgehalten wurden.

Wie aus dem Fließschema zur Membranmikrofiltration (Abb. 10) zu entnehmen ist, wurde das mechanisch vorgeklärte Wasch- und Badeabwasser zunächst durch ein Mikrosieb bzw. durch einen Kiesfilter geleitet, bevor es in die Membranmikrofiltrationseinheit gelangte. Damit wurde ein Verstopfen der Membranfiltrationseinheit in Fließrichtung des Konzentrats verhindert.

In der Membranmikrofiltrationseinheit erfolgte die Trennung in Permeat (Filtrat) und Konzentrat. Der Filtratfluß durch die Membran ergab sich wesentlich geringer als der Konzentratstrom parallel zur Membran, da sich nur mit hohen tangentialen Strömungsgeschwindigkeiten verhindern ließ, daß sich auf der Membranoberfläche eine Deckschicht bildete, die den Filtratfluß behinderte.

Der Filtratfluß lag bei etwa 100 Liter pro Stunde und pro m^2 Membranfläche. Die Abwasserumwälzmenge betrug das 50-fache des Filtratflusses.

Rückgespült bzw. gereinigt wurde die Membranfiltrationseinheit durch intervallmäßige Umkehrung der Strömungsrichtung des Filtrats (Abb. 11). Die Dauer des Rückspülintervalls ergab sich in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Wasch- und Badeabwassers. Sie lag zwischen einer Minute und fünf Minuten. Die Rückspülzeit betrug 2 - 5 Sekunden.

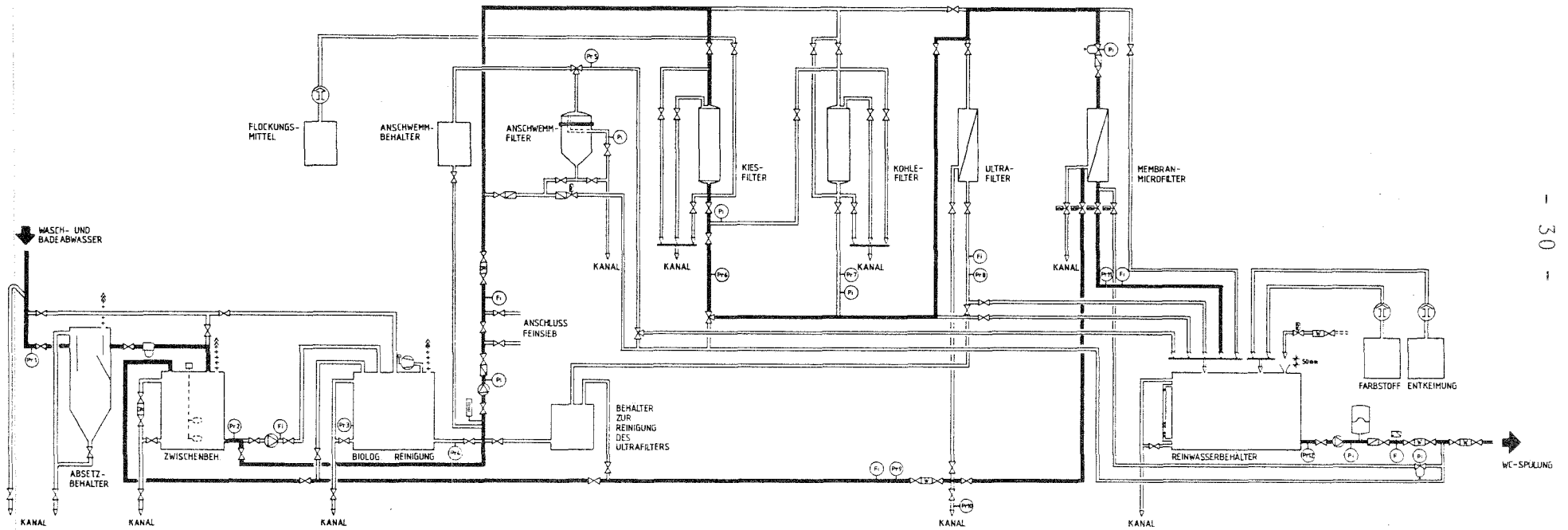


Abb. 10:

Fließschema zur Membranmikrofiltration des Wasch- und Badeabwassers

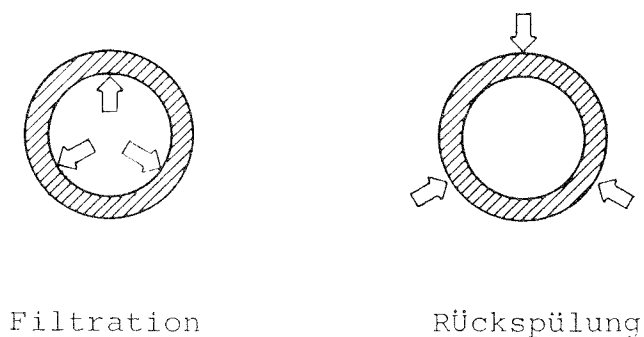


Abb. 11:

Filtration und Rückspülung bei Mikrofiltrations- und Ultrafiltrationsmembranen in Einrohr- bzw. Kapillarrohrmodulbauweise *)

Um Partikel aus der Membranstruktur zu lösen, die sich durch Filtratrückspülung nicht entfernen lassen, mußte darüber hinaus eine Spülung mit einem detergentienhaltigen Spülmittel vorgenommen werden (Abb. 12).

Zur Beschaffenheit des gefilterten Wasch- und Badeabwassers konnte festgestellt werden, daß das Filtrat frei von ungelösten Abwasserinhaltsstoffen war. Es hatte ein klares Aussehen mit leichter gelblicher Tönung. Eine organische Verschmutzung mit einem CSB von 150 - 200 mg/l und einem BSB₅ von > 80 mg/l verblieb jedoch im gefilterten Abwasser. Dies hatte zur Folge, daß es unter Luftabschluß schnell zu einem unangenehmen Geruch kam.

Der durchgeführte Test mit Methylenblau führte innerhalb eines Tages zu einer Entfärbung. Das gefilterte Abwasser war somit nicht haltbar und für eine Verwendung zur WC-Spülung unbrauchbar. Auf weitere Untersuchungen der Membranmikrofiltration wurde deshalb verzichtet, zumal auch die Betriebskosten mit mehr als 3 DM pro m³ gefiltertes Wasch- und Badeabwasser in einem unverträglich hohen Kostenrahmen lagen.

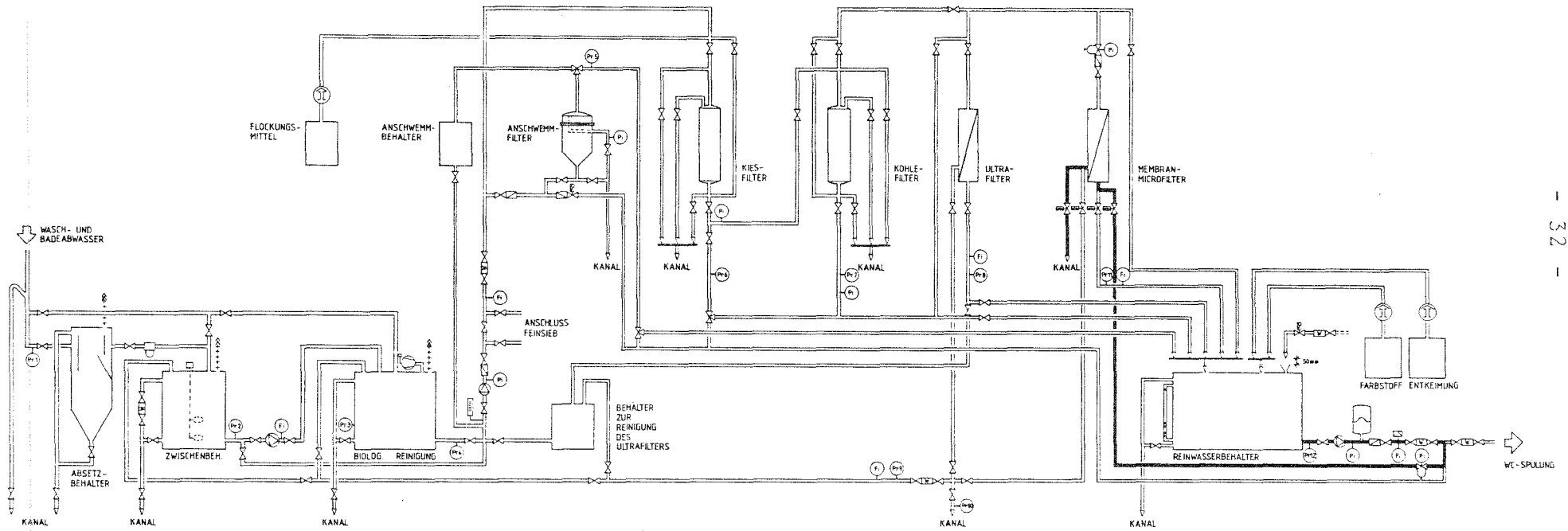


Abb. 12:
Fließschema zur Rückspülung des Membranfilters

4.2.3 Ultrafilter

Im Gegensatz zur Membranmikrofiltration konnte bei der Ultrafiltration (Abb. 13) aus Wasch- und Badeabwasser ein Wasser gewonnen werden, das sich zur WC-Spülung verwenden ließ. Anders als mit der Mikrofiltrationsmembran wurden hierbei nicht nur Abwasserinhaltsstoffe im Mikron- und Submikronbereich zurückgehalten, sondern auch makromolekulare Verbindungen, von denen die Geruchsbelästigung zum größten Teil ausging.

Äußerlich war das ultrafiltrierte Wasch- und Badeabwasser nicht von Wasser mit Trinkwasserqualität zu unterscheiden. Es hatte lediglich noch einen leichten seifenartigen Geruch, der bei einer Verwendung zur WC-Spülung jedoch nicht störte. Gemessen wurden BSB₅- bzw. CSB-Werte von weniger als 40 mg/l bzw. 120 mg/l. Durch einen nachgeschalteten Aktivkohlefilter ließen sie sich auf unter 5 mg/l bzw. auf unter 15 mg/l weiter verringern.

Die Kosten der Ultrafiltration bewegten sich jedoch in einem finanziell nicht vertretbaren Rahmen. Der Grund lag in der geringen Filtratausbeute und dem hohen Energiebedarf für die Erzeugung und Aufrechterhaltung des Betriebsdruckes.

So ergab sich ein Filtratfluß von etwa 50 Liter pro Stunde und pro m² Membranfläche bei Membrankosten von ca. 1000 DM pro m². Der dabei im Kreislauf geführte Abwasservolumenstrom betrug 3,5 bis 4,5 m³/h, also das 70 bis 90-fache des Filtratflusses. Erforderlich hierzu war ein Betriebsdruck von 4 bar, womit für 50 Liter Filtrat etwa eine Kilowattstunde an Stromkosten anfielen.

Unter Berücksichtigung von Membranerneuerungskosten und Stromkosten ergaben sich damit Betriebskosten in Höhe von mehr als 6 DM pro m³ ultrafiltriertem Wasch- und Badeabwasser, so daß sich eine praktische Anwendung in Wohnbauten ausschließt und die Ultrafiltration hier nicht weiter verfolgt wurde.

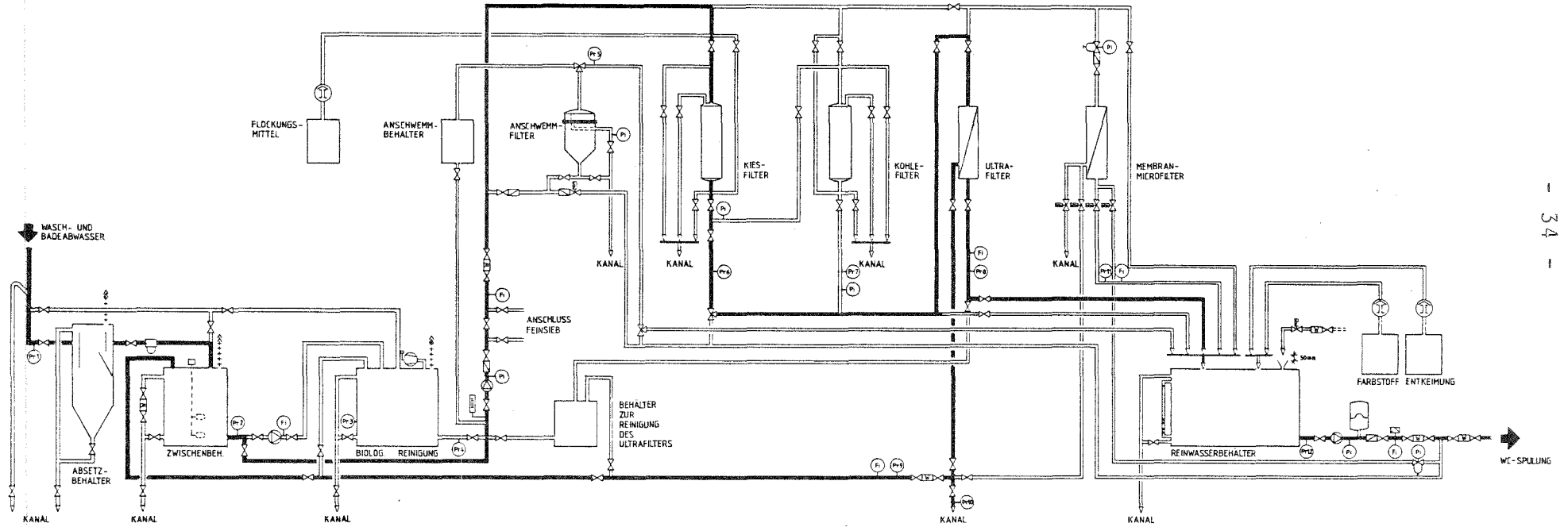


Abb. 13:
Fließschema zur Ultrafiltration

5 Beseitigung des Abwassergeruches und Haltbarmachung des Abwassers

Eine wesentliche Anforderung an die Beschaffenheit von WC-Spülwasser ist, daß von dem Wasser auch bei längeren Standzeiten unter Luftabschluß, wie es z.B. in Rohrleitungen und im Spülkasten vorkommt, keine Geruchsbelästigung ausgeht. Unge-reinigtes und auch mechanisch gereinigtes häusliches Wasch- und Badeabwasser erfüllt diese Anforderung nicht, da das Abwasser noch gelöste organische Inhaltsstoffe enthält, die ohne Anwesenheit von freiem Sauerstoff durch mikrobielle Tätigkeit zerfallen und zu faulen beginnen.

Beim Zerfall bzw. beim Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe werden die organischen Stoffe zu organischen Säuren umgeformt, wobei die organischen Säuren zu einem Teil durch sog. Methanbakterien in die geruchslosen Gase Methan und Kohlensäure überführt werden. Zum anderen Teil endet der Prozeß bei der Bildung der organischen Säuren, von denen ein unangenehmer Geruch ausgeht. Parallel dazu wird von anderen Mikroorganismen Sulfat zu Sulfid reduziert. Das Sulfid geht dabei schnell in Schwefelwasserstoff über, der nach faulen Eiern stinkt.

5.1 Möglichkeiten der Geruchsbeseitigung

Zur Beseitigung bzw. zur Vermeidung des unangenehmen Abwassergeruches gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, von denen nachfolgend die

- Maskierung,
- Aktivkohle-Adsorbtion,
- Belüftung,
- chemische Oxidation und die
- biologische Abwasserreinigung

kurz vorgestellt und analysiert werden sollen. *)

Bei der Maskierung handelt es sich um eine Methode, ein Anti-odorant - meistens in der Form eines Aerosols - der geruchsverpesteten Luft zuzusetzen. Ziel ist es dabei, den Geruchssinn des Betroffenen so zu verwirren, daß er den ursprünglichen Geruch nicht mehr wahrnimmt. **) Eine Vernichtung des Geruches findet somit nicht statt. Hinzu kommt, daß die Wirkung des Maskierungsmittels von den Umweltbedingungen, wie z.B. Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie von der aktuellen Zusammensetzung des Ursprungsgeruches stark beeinflußt wird und schwer zu steuern ist.

Die Geruchsbeseitigung durch Aktivkohle basiert auf der Adsorption von gelösten organischen Stoffen an der großen inneren Oberfläche (ca. 800 - 1200 m²/g) der Aktivkohle. Maßgebend für die Adsorptionsfähigkeit ist das Molekulargewicht und die Hydrofilität der einzelnen organischen Moleküle. Bis zur Erschöpfung der Adsorptionsfähigkeit und dem Erreichen der Sättigungsbeladung der Aktivkohle ist bei mehrstufiger Verfahrensweise und bei Wechselbetrieb von Werten zwischen 0,3 und 0,9 kg CSB pro kg Aktivkohle auszugehen. ***) Bei einem durchschnittlichen CSB des Wasch- und Badeabwassers von 400 - 600 mg/l würden damit etwa 1 kg Aktivkohle für 0,5 - 2 m³ Abwasser benötigt, um die organischen Abwassersubstanzen zu adsorbieren.

Wie die biologischen Reinigungsverfahren belegen, wird die Beschaffenheit jedes Abwassers durch Zuführen von Luft verbessert. Das Belüften allein führt jedoch nicht zum gewünschten

*) Kayser, R., Ehrig, H.J.: Untersuchungen zur Verminderung der bei der Abwasserverregnung auftretenden Geruchsemissionen durch Vorbehandlung des Abwassers, Forschungsbericht aus dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig 1976

**) Summer, W.: Geruchslosmachung von Luft und Abwasser, München, Wien 1970, S. 129 f

***) Abwassertechnische Vereinigung e.V.: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, a.a.O., Band 2, S. 616

Erfolg. Zwar wird damit das Abwasser aufgefrischt und es wird Schwefelwasserstoff ausgetrieben. Auch scheint das Abwasser nach einer kurzzeitigen Belüftung zunächst geruchsfrei zu sein. Ein Abbau der organischen Verunreinigung findet jedoch in vertretbarer Belüftungszeit nicht statt. Durch Faulung werden daher wieder Geruchsstoffe freigesetzt, wenn das Abwasser ohne ständige Luftzufuhr steht.

Ein weiteres Mittel zur Geruchsbeseitigung stellt die chemische Oxidation mit Chlor bzw. mit Wasserstoffperoxid dar. Das Chlor muß dabei je nach der organischen Verunreinigung des Wasch- und Badeabwassers in einer Dosis von 15 bis 30 mg/l zugegeben werden, um nach einer Einwirkungszeit von einer halben Stunde einen Restchlorgehalt von 0,3 mg/l zu erzielen, wobei das Chlor selbst keine geruchszerstörende Wirkung ausübt. Die Wirkung des Chlors beruht vielmehr auf der Abtötung von pflanzlichem und tierischem Leben sowie auf der Oxidation, die allerdings teuer erkaufte ist. Es müssen zwei Atome Chlor verwendet werden, um ein Atom Sauerstoff freizusetzen. Zusätzlich entstehen für jedes Chlorgasmolekül 2 Moleküle Salzsäure, wobei die Gefahr der Korrosion an den damit in Berührung kommenden Bauteilen bei weichem Wasser ohne Puffervermögen besteht. Weiterhin entstehen bei der Abwasserchlorung sog. Organochlorverbindungen, die Folgeprobleme für kommunale Kläranlagen und Trinkwasseraufbereitungsanlagen aufwerfen.

Weniger problematisch ist die chemische Oxidation mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2). Bei der Zugabe von Wasserstoffperoxid zerfällt dieses in Wasser und freien Sauerstoff. Der freie Sauerstoff führt zu einer Oxidation, die mit einer Geruchsverminderung verbunden ist, da ein großer Teil der im Abwasser vorhandenen Geruchsstoffe durch Reduktionsvorgänge entstanden ist. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß keine Oxidationsrückstände im Abwasser verbleiben, sondern als Restprodukt Wasser entsteht.

Bei der biologischen Abwasserbehandlung erfolgt die Beseitigung der Geruchsstoffe durch Mikroorganismen unter Anwesenheit

von freiem Sauerstoff im Abwasser. Die Mikroorganismen überführen dabei organische Abwasserinhaltsstoffe aus der gelösten und kolloiden Form in eine körperliche Form. Durch Absetzen lassen sie sich dann aus dem Abwasser beseitigen und im Abwasser befinden sich nur noch biologisch resistente Stoffe, von denen keine Geruchsbelästigung ausgeht.

Insgesamt betrachtet bleibt zu den vorstehenden Möglichkeiten der Geruchsbeseitigung festzuhalten:

- die Maskierung stellt keine Verminderung der Geruchsstoffe dar. Von dem Abwasser kann nach der Behandlung noch eine Geruchsgefahr ausgehen.
- Um eine Geruchsbeseitigung durch Aktivkohle-Adsorption zu erreichen, wird etwa 1 kg Aktivkohle für 0,5 bis 2 m³ Wasch- und Badeabwasser benötigt. Bei einem Preis von ca. 5 DM pro kg Aktivkohle würden die Abwasserreinigungskosten damit in einem unverträglich hohen Rahmen liegen, ganz abgesehen von dem hohen Aufwand, der mit der Erneuerung der Aktivkohle und dem periodischen Rückspülen der Aktivkohlefüllung einherginge.
- Durch Belüften von Wasch- und Badeabwasser wird das Abwasser zwar aufgefrischt und der Schwefelwasserstoff wird ausgetrieben, zum ausreichenden Abbau organischer Substanzen und zur Geruchsbeseitigung wären jedoch mehrere Tage erforderlich, so daß sich eine praktische Anwendung ausschließt.
- Bei der chemischen Oxidation mit Chlor wird Salzsäure frei. Dies hat eine Korrosionsgefahr zur Folge. Des weiteren entstehen bei der Abwasserchlorung Organochlorverbindungen, die sich nur schwierig aus dem Wasser entfernen lassen und deren Toxizität erwiesen ist. Organische Ausgangsprodukte sollten vor einer Chlorung möglichst weitgehend aus dem Abwasser entfernt sein und eine Oxidation durch andere Verfahren herbeigeführt werden.

Aus den vorgenannten Gründen wurden die Maskierung, die Aktivkohle-Adsorption, das Belüften und das Ausblasen sowie die chemische Oxidation mit Chlor nicht weiter untersucht. Die weiteren Untersuchungen beschränkten sich daher auf die biologische Behandlung des Wasch- und Badeabwassers und auf die chemische Oxidation mittels Wasserstoffperoxid.

5.2 Versuche mit einer Belebungsanlage

Die Untersuchungen zur biologischen Behandlung des Wasch- und Badeabwassers wurden mit einer Anlage durchgeführt, die nach dem Belebungsverfahren arbeitete. Unter dem Belebungsverfahren versteht man die Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm. Das Verfahren stellt eine künstlich verstärkte Selbstreinigung dar. Die dabei ablaufenden Vorgänge sind genau die gleichen wie in Flüssen oder Seen. Anders als hier ist lediglich die Anzahl der Lebewesen, die die Reinigung besorgen. Sie ist um ein Vielfaches größer als in natürlichen Gewässern und die Oberfläche der Mikroorganismen beträgt etwa 2000 - 10000 m² je m³ Belüftungsraum. *)

In Abb. 14 ist das Belebtschlammverfahren schematisch dargestellt. Im Belüftungsraum wird durch Zufuhr von Luft dafür gesorgt, daß die Lebewesen trotz ihrer Anhäufung genügend Sauerstoff vorfinden. Dabei wird das Abwasser in Bewegung versetzt, so daß der belebte Schlamm, d.h. die flockenartigen Gebilde, die mit Mikroorganismen (hauptsächlich Bakterien) bevölkert sind, intensiv mit dem Abwasser gemischt wird. Hierdurch kommen die Mikroorganismen sowohl mit den organischen Verunreinigungen des Abwassers wie auch mit dem Sauerstoff ständig in Kontakt und werden in der Schwebelage gehalten.

*) Imhoff, K. u. Imhoff, K.R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung, München, Wien, 1979, S. 170

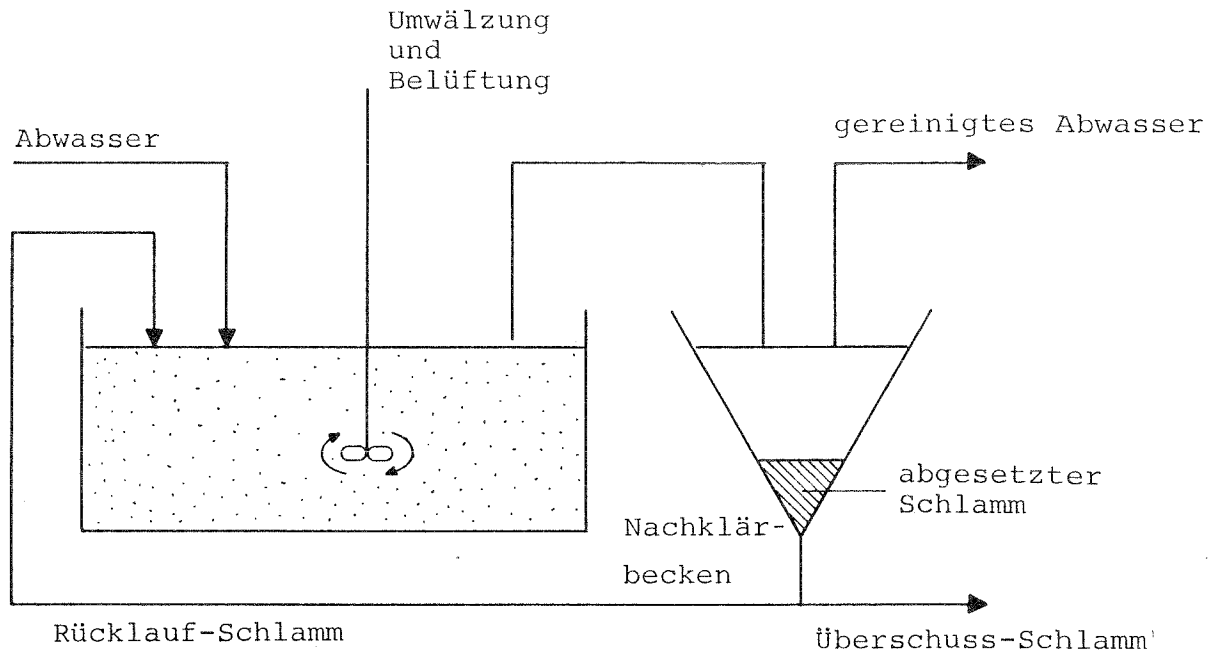


Abb. 14:

Schematische Darstellung des Belebtschlammverfahrens *)

Gereinigt wird das Abwasser dann dadurch, daß die organischen Stoffe von den Lebewesen aufgenommen und in die lebende Masse der Flocken verwandelt werden. Dabei wird ein Teil der organischen Schmutzstoffe oxidiert und gleichzeitig neue Zellsubstanz gebildet, wobei sich die Bakterien in einer zweiten Phase zu absetzbaren Flocken zusammenballen und eine mechanische Abwasserklärung ermöglichen.

Die in dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus benutzte Belebungsanlage ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt. Es handelt sich um das Verfahrensschema einer Schiffskläranlage in 3-Behälter-Bauweise, die für die Versuche zur biologischen Reinigung des Wasch- und Badeabwassers von der Deutschen Geräte Bau GmbH aus Salzkotten zur Verfügung gestellt wurde. **)

*) Hartmann, L.: Biologische Abwasserreinigung, Berlin, Heidelberg, New York, 1983, S. 136

***) Deutsche Geräte Bau GmbH, 4796 Salzkotten, Postfach 1140

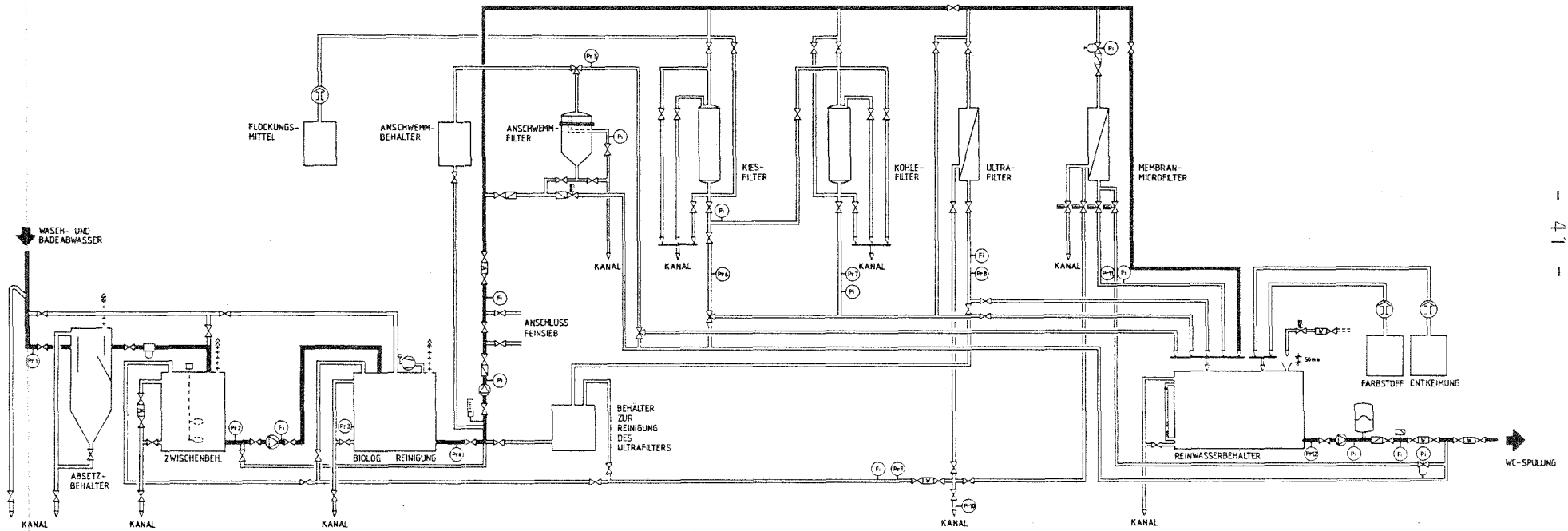


Abb. 15:

Funktionsschema zur biologischen Reinigung des Wasch- und Badeabwassers

Das Wasch- und Badeabwasser wurde zunächst mechanisch geklärt und dann in den Abwassersammelbehälter geleitet. Der Abwassersammelbehälter diente als Pufferbehälter. Mengenmäßige Abwasserstöße wurden damit ausgeglichen und die Belebungsanlage konnte kontinuierlich beschickt werden. Dies geschah mit 80 bis 130 Litern pro Stunde. Höhere Werte führten im Nachklärbecken zu Turbulenzen und zu unkontrolliertem Schlammaustrag.

In den zwei Belebungsbecken mit jeweils 800 Liter Fassungsvermögen wurde mit Hilfe eines Gebläses und Schlauchbelüftern für einen feinblasigen Eintrag von Luft gesorgt. Dadurch erfolgte eine Sauerstoffanreicherung und eine Durchmischung des Abwassers, so daß das Abwasser keine Faulprozesse durchlief, sondern einer aeroben biologischen Behandlung unterlag.

Der biologische Verschmutzungsabbau vollzog sich in dem Belebungsbecken soweit, daß im nachfolgenden Klärbecken eine Trennung des gereinigten Abwassers vom Belebtschlamm eintrat. Dies geschah ohne Anlaufschwierigkeiten sofort nach Inbetriebnahme der Anlage, da die Belebungsanlage mit ca. 300 Liter Rücklaufschlamm aus einer kommunalen Kläranlage geimpft wurde.

Der sich absetzende bzw. aufschwimmende Belebtschlamm wurde mit Hilfe einer sogenannten Mammutpumpe in das erste Belebungsbecken zurückgeführt. Das biologisch gereinigte Wasch- und Badeabwasser gelangte über einen Überlauf in einen Sammelbehälter. Hier wurden Wasserproben entnommen und analysiert.

Die Analysen führten zu dem Ergebnis, daß das biologisch gereinigte Wasch- und Badeabwasser bis auf Belastungsstöße mit Hemm- und Giftstoffen bzw. mit hoher organischer Verschmutzung (CSB > 1000 mg/l) den Qualitätsanforderungen an WC-Spülwasser genügte.

Das biologisch gereinigte Abwasser besaß ein klares Aussehen mit schwach gelblicher Färbung. Es roch nicht mehr nach Wasser, sondern hatte einen erdigen Geruch. Der Gehalt an organischen Verunreinigungen war sehr weit zurückgegangen und

zwar auf einen BSB_5 von 5 - 30 mg/l und einen CSB von 25 - 70 mg/l, was sich in den Haltbarkeitstests mit Methylenblau und Bleiazetath-Papier ausdrückte.

Innerhalb von 5 Tagen trat keine Entfärbung der Methylenblau-Probe ein und im gleichen Zeitraum entwickelte sich auch kein Schwefelwasserstoff, da das Bleiazetat-Papier sich nicht verfärbte. Das biologisch gereinigte Wasch- und Badeabwasser konnte somit als haltbar bezeichnet werden.

In dem biologisch gereinigten Wasch- und Badeabwasser störten lediglich feinsuspendierte Flockenbestandteile. Sie ließen sich im Nachklärbecken nicht zurückhalten und wurden in einer Menge von 10 - 30 mg/l festgestellt. Die Flockenreste setzen sich im Reinwasserbehälter ab und verschleimten hier mit der Zeit die Wandungen. Um dies zu verhindern und einem Verschleimen der Wandungen von WC-Spülkästen und WC-Becken entgegenzuwirken, wurde der Ablauf der Belebungsanlage deshalb noch gefiltert (Abb. 16).

Zum Einsatz kam ein Kiesfilter mit einer Filterfüllmenge von etwa 70 Liter, der regelmäßig nach etwa 4 Wochen bei einer gefilterten Wassermenge von 40 - 60 m³ mit etwa 1 m³ biologisch gereinigtem Abwasser rückgespült wurde.

Auf Wunsch der Wohnungsbaugesellschaft und der Hausbewohner wurde das biologisch gereinigte Wasser auch desinfiziert, wenn es zur WC-Spülung zum Einsatz kam. Hierzu wurde Chlorbleichlauge in einer Dosis von 2 - 3 mg Cl₂ pro Liter Abwasser verwendet. Coliforme Keime waren danach in 100 ml nicht mehr nachweisbar. Der Restchlorgehalt betrug 0,1 bis 0,3 mg Cl₂ pro Liter. Ohne Desinfektion des biologisch gereinigten Wasch- und Badeabwassers lag der Colititer bei 10⁻¹. Die Keimzahl bewegte sich zwischen 1,2 und 1,8 · 10⁶.

Probleme beim Betrieb der Belebungsanlage traten dann auf, wenn das Wasch- und Badeabwasser toxische oder inhibierend wirkende Verbindungen enthielt. Diese Verbindungen, die aufgrund der zur Verfügung stehenden meßtechnischen Ausrüstung

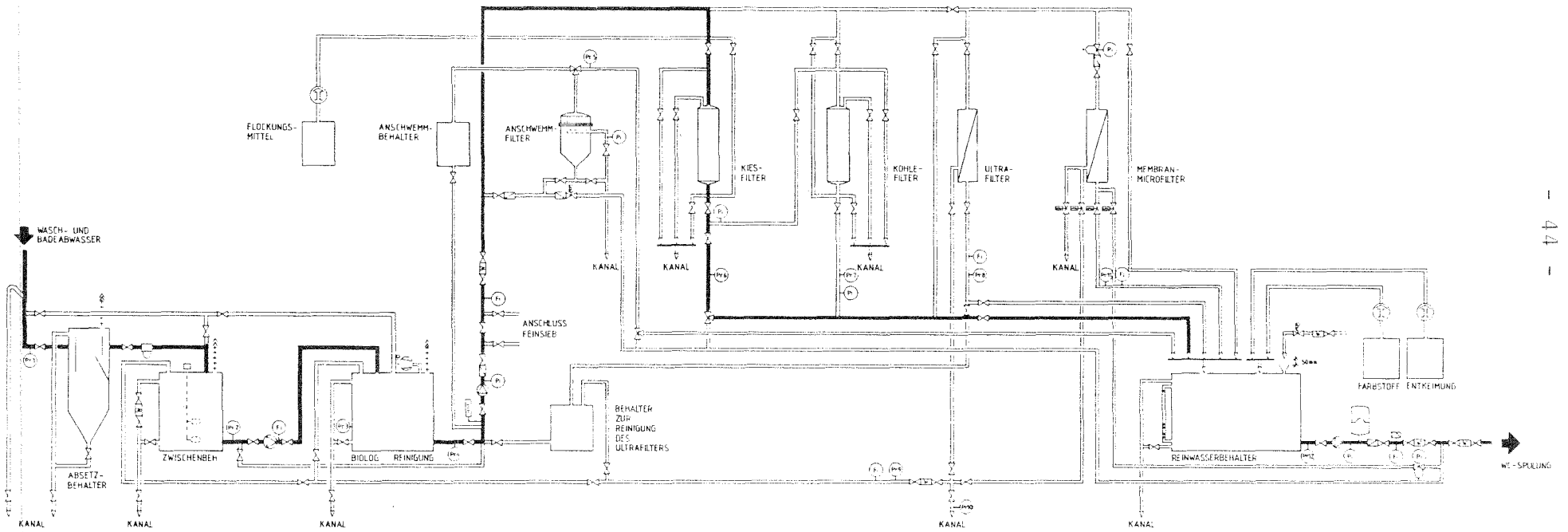


Abb. 16:
Fließschema zur biologischen Abwasserreinigung mit nachgeschalteter Kiesfilteranlage

analytisch nicht zu erfassen waren, gingen meistens mit einem hohen organischen Verschmutzungsgrad, d.h. bei einem CSB von mehr als 1000 mg/l einher.

Die biologische Aktivität und damit die Leistung der Belebungsanlage wurde durch die Belastungsstöße erheblich verringert. Teilweise kam sie vollständig zum Erliegen. Sauerstoffmangel als Grund hierfür könnte ausgeschlossen werden, da eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet war.

Nach den Belastungsstößen änderte sich die Beschaffenheit und das Absetzverhalten des belebten Schlammes. Der im Normalfall flockige, gut absetzbare Schlamm mit einem Schlammvolumenindex von 80 bis 130 mg/l ging in feine Schlammpartikel mit schlechten Absetzeigenschaften über, die im Nachklärbecken nicht zurückgehalten werden konnten und austrieben.

Die Belastungsstöße machten sich im Ablauf der Belebungsanlage sofort als Trübung bemerkbar. Die organischen Substanzen im Wasch- und Badeabwasser wurden nur noch unvollständig abgebaut und die Haltbarkeitstests mit Methylenblau und Bleiazetat-Papier führten zu einer Entfärbung, so daß das Wasser nicht zur WC-Spülung herangezogen werden konnte. In diesen Fällen, die während des 1 1/2-jährigen Betriebs der Belebungsanlage monatlich etwa einmal auftraten, mußte der Zulauf der Belebungsanlage unterbrochen und abgewartet werden, ob sich die Mikroorganismen erholten. In der Regel dauerte dies 3 - 4 Tage. Das Wasser im Nachklärbecken war dann wieder klar und die Anlage konnte neu beschickt werden.

Es gab aber auch Fälle, wo es im Anschluß an einen Belastungsstoß nicht mehr gelang, die Biologie zu stabilisieren. Die Belebungsbecken wurden dann geleert und gereinigt und mit neuem Belebtschlamm aus einer öffentlichen Kläranlage gefüllt.

Wurde nicht mit Belebtschlamm aus einer öffentlichen Kläranlage geimpft, sondern abgewartet bis sich einiger Belebtschlamm gebildet hatte, so mußte 3 - 4 Wochen gewartet werden, bis die Anlage ihre volle Reinigungsleistung wieder erreichte.

5.3 Versuche mit Wasserstoffperoxid

Um zu beurteilen, inwieweit es durch eine chemische Oxidation möglich ist, Wasch- und Badeabwasser geruchfrei und haltbar zu machen und ob dies evtl. eine Alternative zur biologischen Abwasserbehandlung darstellt, wurden Versuche mit Wasserstoffperoxid durchgeführt. Für die Versuche wurde eine 35 %-ige Wasserstoffperoxidlösung verwendet. Dosierte wurde in Konzentrationen, die einer Sauerstoffzugabe von 40 - 320 mg O₂ pro Liter mechanisch geklärtem Wasch- und Badeabwasser entsprachen. Die Abstufungen betragen 40 mg O₂/l. Die 200 ml Proben wurden gut durchmischt und nach 2 - 3 Stunden auf Geruch beurteilt.

Im Ergebnis zeigte sich, daß keine der Proben geruchfrei war. Alle Proben rochen noch nach Waschwasser.

Nach einer Standzeit der Proben von 24 Stunden ohne Zutritt von Luftsauerstoff wurden die Proben nochmals auf Geruch beurteilt. Dabei wurde festgestellt, daß von den Proben mit einer O₂-Zugabe bis 120 mg/l ein fauliger Geruch ausging. Die Proben mit einer Konzentration von > 160 mg O₂ rochen dagegen noch nach Waschwasser. Dies änderte sich jedoch nach einer Abwasserstandzeit von 3 - 5 Tagen ohne Zutritt von Luftsauerstoff. Bei allen Proben stellte sich jetzt eine sehr unangenehm riechende Mischung aus Schwefelwasserstoff und anderen Gerüchen ein. Als Grund hierfür kann angenommen werden, daß die oxidative Wirkung des Wasserstoffperoxid nicht ausreichend war, um den Schwefelwasserstoff vollständig aufzuoxidieren und die organischen Säuren in größerem Umfang anzugreifen. So verbreiteten die Schwefelwasserstoffreste und die nicht angegriffenen organischen Säuren den äußerst lästigen Geruch.

Ob höhere Wasserstoffperoxidkonzentrationen als 320 mg O₂/l zu einer Geruchfreiheit des Wasch- und Badeabwassers führen, wurde nicht untersucht, da eine Kostenrechnung für derartige Wasserstoffperoxidzugaben einen praktischen Betrieb mit diesen Dosierungen ausschließt.

6 Ergebnisse und Empfehlungen

Die in dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus zur Abwassernutzung durchgeführten Versuche zeigten im Ergebnis, daß sich häusliches Wasch- und Badeabwasser ohne größeren Reinigungsaufwand zur WC-Spülung nicht nutzen läßt. Der Grund besteht in der hohen organischen Verschmutzung des Wasch- und Badeabwassers.

Es wurden durchschnittliche BSB_5 und CSB-Werte von 150 bis 250 mg/l und 300 bis 1000 mg/l gemessen, die in etwa der organischen Belastung von kommunalem Abwasser mit mittlerer bis hoher Verschmutzungskonzentration entsprechen. Da von der organischen Abwasserbelastung ein unangenehmer Geruch ausgeht, muß dieser Geruch beseitigt und das Abwasser haltbar gemacht werden, bevor es verwendet werden kann.

Die Versuche mit einer Belebungsanlage zeigten, daß sich eine aerob-biologische Abwasserbehandlung anbietet, um den Abwassergeruch zu beseitigen und das Abwasser haltbar zu machen. Andere Verfahren zur Geruchsbeseitigung und zur Haltbarmachung des Wasch- und Badeabwassers scheiden aus. Entweder verursachen die Verfahren viel zu hohe Kosten, wie z.B. die Ultrafiltration oder aber sie werfen Folgeprobleme für kommunale Kläranlagen, Trinkwasseraufbereitungsanlagen etc. auf, wie die chemische Oxidation mit Chlor.

Die Versuche zeigten weiterhin, daß der biologischen Behandlung von Wasch- und Badeabwasser eine mechanische Klärung mit Absetzbehälter vorgeschaltet werden sollte. Die organische Abwasserbelastung läßt sich damit um fast 1/3 verringern, so daß die nachfolgende biologische Kläranlage entsprechend weniger belastet wird. Gleichfalls sollte ein Pufferbehälter vorgesehen werden, um Belastungsstöße aufzufangen und die biologische Anlage hydraulisch gleichmäßig beschicken zu können.

Sieht man von Belastungsstößen ab, so war das biologisch gereinigte und anschließend zur Entfernung von Restsuspensa gefilterte Wasch- und Badeabwasser äußerlich von Trinkwasser kaum zu unterscheiden. Dies drückte sich nicht zuletzt dadurch aus, daß es von den Hausbewohnern nicht wahrgenommen wurde, wenn die WC-Anlagen mit gereinigtem Abwasser und nicht mit Trinkwasser aus dem öffentlichen Leitungsnetz versorgt wurden.

Unbefriedigende Ergebnisse wurden bei Belastungsstößen mit hoher organischer Verschmutzung ($CSB > 1000 \text{ mg/l}$) und beim Einleiten von Hemm- und Giftstoffen festgestellt. Hierbei kam es teilweise zum vollständigen Erliegen der biologischen Aktivität. Der Kläranlagenablauf konnte dann nicht mehr zur WC-Spülung herangezogen werden, da es zur Geruchsbelästigung kam.

Weitere Untersuchungen sind hier notwendig, um zu klären, von welchen Stoffen in Wasch- und Badeabwasser die Leistungsfähigkeit der aerob-biologischen Abwasserbehandlung beeinträchtigt wird und ob diese Stoffe durch biologisch abbaubare Stoffe zu substituieren sind. Gegebenenfalls ist dabei auf einen Teil des Abwassers aus Waschmaschinen zu verzichten und lediglich das Abwasser aus Badewannen, Duschen und Waschtischen heranzuziehen, da es wesentlich geringer verschmutzt ist.

Die Versuche sollten nicht mit Belebungsanlagen durchgeführt werden. Bei den relativ kleinen Abwassermengen, wie sie in Wohnbauten vorkommen, sind Belebungsanlagen schwierig zu steuern und erfordern einen unverträglich hohen Bedienungs- und Wartungsaufwand. Für einen Einsatz im Wohngebäude empfehlen sich vielmehr Tauchtropfkörperanlagen, die sich durch einfache Handhabung, geringen Wartungsaufwand und niedrigen Energiebedarf auszeichnen.

Das Tauchtropfkörperverfahren ist in Aufbau und Wirkungsweise zwischen dem Belebtschlammverfahren und dem Tropfkörperverfahren einzuordnen. Mehrere auf einer Welle befestigte Bewuchsträger, z.B. zentrisch angeordnete kreisrunde Scheiben, tauchen dabei mit der unteren Hälfte in eine Wanne ein, die von Abwasser durchflossen wird. Auf dem Bewuchsträger, der sich mit etwa 1 bis 2 Umdrehungen pro Minute dreht, bildet sich innerhalb weniger Tage ein biologischer Rasen aus Mikroorganismen. Während des Eintauchens in der Abwasser nehmen die Mikroorganismen gelöste organische Schmutzstoffe auf, bauen sie ab und wandeln sie in neue belebte Substanz um. Der erforderliche Sauerstoff wird beim Auftauchen der Scheiben aus der Luft aufgenommen. Der Abfluß enthält Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen und überschüssigen, abgefallenen biologischen Rasen, der in einem Nachklärbecken gesammelt und entfernt wird.

Die Betriebskosten von Tauchtropfkörperanlagen sind erheblich niedriger als bei anderen biologischen Verfahren gleicher Leistungsfähigkeit. So fallen z.B. Energiekosten lediglich für die Überwindung des Reibungsverlustes der sich drehenden Bewuchsträger an und für die Überwindung der Gewichts-differenz zwischen den auftauchenden und den eintauchenden Teilen der Bewuchsträger.

Für einen Kubikmeter gereinigten Abwassers kann für Energiekosten ca. 0,25 - 1 kWh angesetzt werden. Die Wartungskosten beschränken sich auf den Ölwechsel und das Abschmieren der Antriebs-elemente. Hinzu kommen noch die Kosten für das Sauberhalten der Anlage und die Pumpkosten für die Druckerhöhung sowie ggf. Kosten für die Desinfektion des biologisch gereinigten Abwassers.

Mehr als insgesamt 1 DM pro m³ aufbereitetem Abwasser sind an Betriebskosten nicht zu erwarten, womit sich dann mit Hilfe von Abb. 17 Anhaltswerte für die Höhe der Investitions-kosten finden lassen, die für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wasserwiederverwendungsanlagen vertretbar wären.

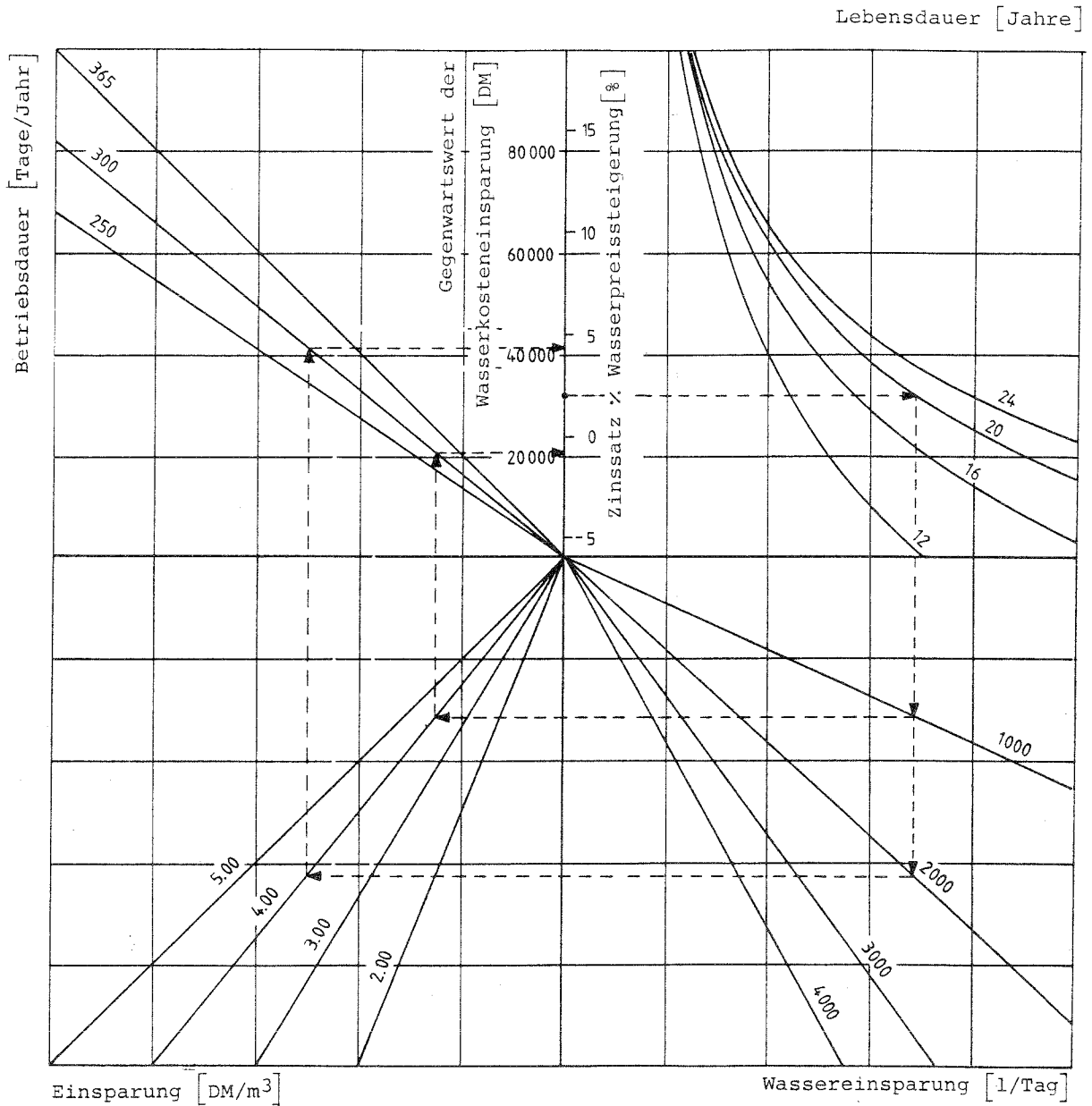


Abb. 17:

Nomogramm zur Ermittlung des Gegenwartswertes der Wasserkosteneinsparung bei der Wasch- und Badeabwassernutzung zur WC-Spülung

Die Investitionskosten ergeben sich aus Abbildung 17 über den Gegenwartswert der Wasserkosteneinsparung in Abhängigkeit von folgenden Faktoren:

- Kalkulationszinsfuß (%),
- jährliche Wasserpreissteigerung (%),
- Anlagenlebensdauer (Jahre),
- Wassereinsparung (Liter/Tag),
- Wasser- und Abwassergebühren abzgl. Betriebskosten (DM/m³),
- Benutzungsdauer (Tag/Jahr).

Im dargestellten Beispiel soll der Zinssatz 2 % über der jährlichen Wasserpreissteigerung liegen. Die Lebensdauer der Anlage wird mit 20 Jahren erwartet.

Im Durchschnitt sollen durch Wiederverwendung von Wasch- und Badeabwasser zur WC-Spülung 1 m³ bzw. 2 m³ Trink- und Abwasser pro Tag eingespart werden können. Dies entspricht dem WC-Spülwasserbedarf in einem Mehrfamilienhaus mit 30 bzw. 60 Bewohnern. Zugrunde liegt dabei ein spezifischer WC-Spülwasserbedarf von durchschnittlich 30 - 35 Litern pro Tag, wie er in dem Wolfsburger Mehrfamilienhaus gemessen und durch Wasch- und Badeabwassernutzung eingespart wurde.

Die Wasser- und Abwassergebühren sollen 5 DM/m³ betragen, abzgl. der Betriebs- und Unterhaltungskosten, die mit 1 DM/m³ angesetzt werden.

Bei einer jährlichen Anlagennutzung von 300 Tagen liegt der Gegenwartswert der Wasserkosteneinsparung dann bei etwa 20.000 DM bzw. 40.000 DM bei dem Wohnhaus mit 30 bzw. 60 Bewohnern. Die Investitionskosten müßten also geringer sein, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erzielen, was unter Berücksichtigung des derzeitigen Preisniveaus für die installations- und verfahrenstechnischen Anlagenteile für Wohnbauten ab 40 Bewohnern erreichbar erscheint.

7 Zusammenfassung

Durch Presse, Rundfunk und Fernsehen wird das Interesse der Bevölkerung für eine sparsame Wasserverwendung zunehmend geweckt. In diesem Zusammenhang wird u.a. auf die Verwendung von Wasch- und Badeabwasser zur WC-Spülung hingewiesen, wobei der Eindruck entsteht, es handele sich um eine umweltschonende Maßnahme, die leicht durchzuführen ist und vom verfahrenstechnischen Standpunkt nur wenig Probleme aufwirft.

Dies trifft jedoch nicht zu. So sind verschiedene Pilotprojekte zur Wasserwiederverwendung in Mehrfamilienhäusern am fehlenden technischen "know-how" gescheitert. Praktizierte Lösungen in Einfamilienhäusern sind unter hygienischen Gesichtspunkten umstritten und die Vorstellungen über den erforderlichen technischen Aufwand bei der Abwasserreinigung gehen weit auseinander.

Vor diesem Hintergrund wurden in einem Mehrfamilienhaus mit 21 Bewohnern über einen 1 1/2-jährigen Zeitraum experimentelle Untersuchungen zur Wasch- und Badeabwassernutzung durchgeführt. Mit Hilfe der auf Seite 15-18 dargestellten Versuchsanlage wurden eine Reihe von Möglichkeiten der Abwasserreinigung getestet. Dabei wurde festgestellt:

Unbehandeltes Wasch- und Badeabwasser ließ sich zur WC-Spülung nicht verwenden. Zum einen beeinträchtigten grobdisperse Verunreinigungen wie Textilfasern, Haare und Flusen die Funktionsfähigkeit von Pumpen, Absperrventilen etc., zum anderen standen Geruch, Trübung, Schleim und Keime den Anforderungen an WC-Spülwasser entgegen. Eine Reinigung des Wasch- und Badeabwassers war deshalb unumgänglich.

Durch eine mechanische Abwasserklärung mit Absetzeinrichtungen ließ sich die organische Verunreinigung des Wasch- und Badeabwassers auf einfache Weise um ca. 1/3 verringern. Vor der Weiterbehandlung wurde das Wasch- und Badeabwasser deshalb mechanisch geklärt. Um Haare, Fasern und dergleichen mehr aus

dem Abwasser zu entfernen, wurden einfache, preiswerte grobmaschige Siebeinrichtungen verwendet. Es bewährten sich dabei Jutesäcke und Säcke mit Kunststoffgeflecht (Kartoffelsäcke), die unter dem Gesichtspunkt des einmaligen Gebrauches ausgewählt wurden.

In der anschließenden Behandlungsstufe waren selbst Filter mit höchster Trennschärfe, wie Anschwemmfilter und Membranmikrofilter nicht in der Lage, aus mechanisch geklärtem Wasch- und Badeabwasser wiederverwendbares Wasser zu gewinnen. Das Filtrat begann nach einiger Zeit zu faulen und roch unangenehm, so daß es sich zur WC-Spülung nicht eignete. Lediglich mit Hilfe der Ultrafiltration konnte geruchsunbedenkliches und haltbares Wasser gewonnen werden, welches sich problemlos zur WC-Spülung verwenden ließ. Hier waren es jedoch die hohen Betriebskosten, die einem Dauerbetrieb und einem erfolgreichen Einsatz entgegenstanden.

Auch die chemische Oxidation des mechanisch geklärten Wasch- und Badeabwassers mit Wasserstoffperoxid führte zu keinem positiven Ergebnis. Nach der Oxidation stellte sich eine unangenehm riechende Mischung aus Schwefelwasserstoff und anderen lästigen Gerüchen ein, so daß das Wasser nicht zur WC-Spülung herangezogen werden konnte. Als unbrauchbar erwies sich auch die chemische Oxidation des Wasch- und Badeabwassers mit Chlor, wie sie z.B. in den USA angewendet wurde. Aufgrund der organischen Abwasserbelastung entstehen bei der Abwasserchlorung sogenannte Organochlorverbindungen, die Folgeprobleme für den Wasserkreislauf aufwerfen. Auf die Chlorung des organisch verschmutzten Wasch- und Badeabwassers wurde deshalb verzichtet.

Zum Erfolg führte die biologische Reinigung des Wasch- und Badeabwassers, die mit Hilfe einer Belebungsanlage getestet wurde. Das biologisch gereinigte Abwasser hatte ein klares Aussehen, roch nicht mehr nach Waschwasser, und auch nach mehreren Tagen Standzeit ohne Zufuhr von Luftsauerstoff ging von dem

gereinigten Abwasser kein Faulgeruch aus. Es wurden BSB_5 -Werte von 5 - 30 mg/l und CSB-Werte von 25 - 70 mg/l gemessen, was einem Abbau der organischen Verschmutzung um mehr als 90 % entsprach.

Probleme bei der biologischen Reinigung ergaben sich, wenn Belastungsstöße mit Hemm- und Giftstoffen bzw. mit hoher organischer Verschmutzung ($CSB > 1000$ mg/l) auftraten. Der biologische Reinigungsprozeß wurde dadurch stark beeinträchtigt bzw. zeitweilig vollständig unterbunden und die Qualität des gereinigten Abwassers entsprach nicht mehr den Anforderungen an WC-Spülwasser. Weitere Untersuchungen bieten sich hier an, um zu klären, von welchen Stoffen im Wasch- und Badeabwasser die Leistungsfähigkeit der aerob-biologischen Abwasserbehandlung beeinträchtigt wird und ob die Stoffe durch biologisch abbaubare Stoffe zu substituieren sind. Die Untersuchungen sollten in einem Mehrfamilienhaus durchgeführt werden, da hier Aussichten für einen wirtschaftlichen Betrieb bestehen.

Abschließend kann gesagt werden, daß eine einfache Abwasserreinigung nicht ausreicht, wenn Wasch- und Badeabwasser zur WC-Spülung genutzt werden soll. Vielmehr muß das Abwasser einer intensiven Reinigung unterzogen werden, damit es nicht zu einer Geruchsbelästigung kommt. Aufgrund der organischen Verschmutzung empfiehlt sich eine biologische Abwasserreinigung, die einen hygienisch unbedenklichen und in Mehrfamilienhäusern finanziell annehmbaren Betrieb gewährleistet, wenn Abwasserstößen mit hoher Verschmutzungskonzentration wirksam begegnet wird.

Literaturverzeichnis

- Abwassertechnische Vereinigung: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band II, 2. Auflage, Berlin, München, Düsseldorf, 1975
- Abwassertechnische Vereinigung: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III, 3. Auflage, Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserkläranlagen und Klärverfahren, Berlin, München, 1983
- Bennett, E.R., Linstedt, K.D.: Individual home wastewater characterization and Treatment, Colorado State University, Fort Collins, Government Report, PB 245259, 1975
- Bhattacharyya, D. et.al.: Ultrafiltration of complex wastewaters: recycling for nonpotable use, Lurn. WPCF, 50, No. 5, 1978
- Cohen, S., Wallmann, H.: Demonstration of waste flow reduction from households, US. Environmental Protection Agency, Government Report PB 236904, Cincinnati Ohio, 1974
- Daniel, W., Kragl, W., Rhein, Ch.: Wasser und Wärmerecycling im Haushalt, Forschungsbericht T 80-068 des Bundesministerium für Forschung und Technologie, Robert Bosch GmbH, Techn. Zentrum Forschung, Stuttgart, 1980
- Fewkes, A., Ferris, S.A.: The recycling of domestic waste water. A study of the factors influencing the storage capacity and the simulation of the usage patterns, Building and Environment, Vol., 17, No. 3, Nottingham, 1983
- Gockell, B.: Trinkwassereinsparung in Wohnbauten durch Mehrfachnutzung und Einbeziehung des Regenwassers, Forschungsbericht F 6/82, Technische Universität Braunschweig, 1982
- Hügin, D.: Untersuchungen zur Verringerung des Trinkwasserverbrauchs privater Haushalte, Dissertation, Braunschweig, 1986

- Hypes, W.D.: Laboratory and family live - in experiences with domestic grey reuse system, NASA Langley Research Center, pres. at Natl. Sanitation Foundation Individual Onsite Wastewater Systems, 5th Conf., Ann Arbor, Mich., 1978
- Immhoff, K.,
Imhoff, K.R.: Taschenbuch der Stadtentwässerung, München, Wien, 1979
- Kayser, R.,
Ehrig, H.J.: Untersuchungen zur Verminderung der bei der Abwasserverregnung auftretenden Geruchsemissionen durch Vorbehandlung des Abwassers, Forschungsbericht aus dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig, 1976
- Mc Laughlin, E.R.: A recycle system for conservation of water in residences, water and sewage works, April 1968
- Milne, M.: Residential water reuse, California Univ., Davis, Government Report PB 155377, Washington, 1979
- N.N.: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Prüfung auf Fäulnisfähigkeit, Band III, H. 22, S. 1-3
- Schmutzwasser ist nicht nutzlos, Wohnbau, Nr. 6, 1978
- Summer, W.: Geruchslosmachung von Luft und Abwasser, München, Wien, 1970
- Kriegel, E., u.a.: Stofftrennung durch umgekehrte Osmose und Ultrafiltration; Grundlagen, Versuche und Betriebsergebnisse; Techn. Mitt. Krupp, Werksberichte, Band 34, H.1, 1976
- Schulze-Rettmer, R.: Die Auswirkungen von Waschprozeß auf die Umwelt, Seifen-Öle-Fette-Wachse, 102. Jg., Nr. 15, 1976
- Sontheimer, H.: Wasserchemie für Ingenieure, Frankfurt/Main, 1980

m F 2084
KBT 8/88 AM 140

Research project "Experimental use of grey water for flushing
toilets"

o. Prof. Dr.-Ing. Berthold Gockell, Dr.-Ing. Detlef Hügin

Abstract

In line with the environmental protection policy of economical management of water supplies, this research project deals with the possibilities, problems and limitations of saving drinking water in residential buildings by using grey water for flushing toilets. The experimental tests carried out to this purpose led to the following result: Untreated grey water is unsuitable for flushing toilets. Coarsely dispersed soiling, for example, textile fibres, hairs, fluff and odours, slime and germs prohibits the use of grey water for flushing. Mechanical treatment with settling equipment was capable of reducing the organic soiling of the water by approximately 1/3 in a simple process. Disposable jute sacks were used to remove hairs, fibres etc.

In the following stage of the treatment, even filters of the highest selectivity, for example, aluvial filters and membrane micro filters were not capable of reclaiming re-usable water. Likewise, chemical oxidation of the mechanically processed grey water with hydrogen peroxide did not lead to a positive result. Oxidation led to an unpleasantly smelling mixture of hydrogen sulphide and other unacceptable odours. Chemical oxidation with chlorine also proved infeasible. Organochlorinated compounds resulted which later presented problems with the circulation of the water. With the aid of ultrafiltration, odourless water with good lasting qualities could be reclaimed, but the high running costs prevented permanent and successful use.

Biological purification of the grey water proved successful. The biologically treated grey water looked clear, no longer smelt of waste and had good lasting qualities. Problems arose with considerable load variations of inhibitors and toxic substances or with higher organic soiling (COD > 1000 mg/l).

In conclusion, it was observed that grey water must be subjected to intensive purification if odour problems are to be avoided. Because of the organic nature of the soiling, biological purification is to be recommended. It provides a harmless and financially acceptable operation (in blocks of flats) for dealing with grey water of high soiling concentration.