

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 66 (1974)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Integrales Industrieabwasserprojekt mit Elektroflotation und Umkehrosmose  
**Autor:** Roth, Hans Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921250>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 19.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# INTEGRALES INDUSTRIEABWASSERPROJEKT MIT ELEKTROFLOTATION UND UMKEHROSMOSE

DK 628.33/34

Hans Peter Roth

## 1. Einleitung

Es war Aufgabe einer betriebsinternen Arbeitsgruppe, für den technischen Betrieb der SWISSAIR in Kloten, ein integrales Industrieabwasser-Brauchwasser-Behandlungskonzept auszuarbeiten und ein entsprechendes Projekt vorzuschlagen. Das Konzept soll den neuen Forderungen des Gewässerschutzes besser Rechnung tragen als die bestehenden, aus den fünfziger Jahren stammenden, Industrieabwasserbehandlungseinrichtungen und zudem die betrieblichen Anforderungen erfüllen.

Das von der genannten Arbeitsgruppe entwickelte Konzept, das Thema eines Vortrages, anlässlich der VSA Hauptmitgliederversammlung vom 29. März 1974, an der ETH in Zürich war, soll im folgenden anhand der einzelnen Projektierungsstufen erläutert werden.

## 2. Planungsgrundlagen

Aus Bild 1 geht die geographische Situation der stark dezentralisierten Industrieabwasseranfallstellen im technischen Betrieb der SWISSAIR hervor. Es sind dies vor allem Werkstätten, wo Oberflächenbehandlungsverfahren ausgeführt werden, wie in den beiden Galvanikbetrieben, Triebwerk- und Zentralreinigungswerkstätten, Beizerie in der Spenglerwerkstatt, Rissprüflinie, Garagebetrieben und Flugzeugwerften.

Den Industriewasserhaushalt illustriert Tabelle 1.

Industriewasserhaushalt  
Durchschnittlicher Winterwerktag

Tabelle 1

Bezeichnung	Prognose Wachstum (%)	1973 (m <sup>3</sup> /Tag)	1985 (m <sup>3</sup> /Tag)
Frischwasserbedarf total	3,5	611	958
davon für			
Spülzwecke	3,4	173	269
Luftbefeuchtung	5,2	33	63
Kühlzwecke	3,4	405	626
Brauchwasserbedarf	3,4	206	332
Industrieabwasseranfall	3,4	200	310

Aufgrund der betrieblichen Anforderungen werden rund 200 m<sup>3</sup>/Tag Brauchwasser benötigt, das heisst in irgend einer Form aufbereitetes Wasser (enthärtet, teil- bzw. vollentsalzt). Der Industrieabwasseranfall, Basis 1973, lag bei rund 200 m<sup>3</sup>/Tag. Eine Studie, basierend auf Flottenplanung, Verkaufsziele und Personalentwicklung der Unternehmung, prognostizierte eine jährliche Wachstumsrate des Wasser-

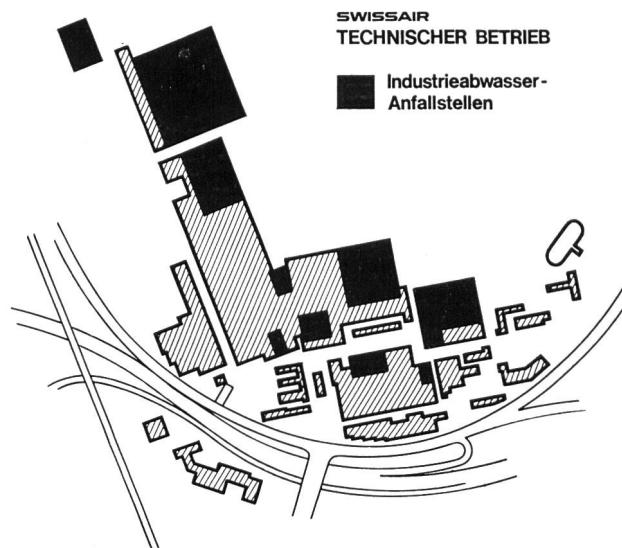


Bild 1 Industrieabwasser-Anfallstellen im technischen Betrieb der SWISSAIR.

verbrauchs und damit auch des Industrieabwasseranfalles von 3,4 %. Dies bedeutet im Jahre 1985 einen Industrieabwasseranfall von 310 m<sup>3</sup>/Tag. Alle Tabellenwerte beziehen sich auf einen durchschnittlichen Winterwerktag, weil der Abwasseranfall im technischen Betrieb, bedingt durch die vorwiegend im Winter vorgenommenen Flugzeugüberholungen, in dieser Jahreszeit grösser ist als in den anderen.

Die Zusammensetzung des Industrieabwassers veranschaulicht Tabelle 2, aufgeschlüsselt nach der Belastungsart, das heisst wie die Abwasser aus den einzelnen Werkstätten anfallen, in anorganische, organische und gemischt belastete Abwasser. Die Fracht- und Konzentrationsangaben beziehen sich immer auf das unbehandelte Industrieabwasser und wurden aufgrund von chemischen Analysen und mit Hilfe des Roh-Chemikalienbedarfs hypothetisch errechnet.

Die anorganisch belasteten Abwasser enthalten vor allem Schwermetalle, Cyanide, Säuren, Basen und Salze und stammen praktisch ausschliesslich aus den beiden Galvanikbetrieben. Die organisch belasteten Abwasser enthalten hauptsächlich Detergentien, Oele (Kohlenwasserstoffe), Lösungsmittel, Hydraulik-Oele und vor allem die, sich aus den einzelnen Komponenten bildenden, Waschemulsionen. Diese Art von Abwasser stammt praktisch ausschliesslich aus den Flugzeug-Werften (Flugzeug waschen). Die ge-

Industrieabwasser-Zusammensetzung  
unbehandeltes Industrieabwasser Winterwerktag Basis 1973

Tabelle 2

Art	Chemische Zusammensetzung	Fracht (kg/Tag)	Konz. (ppm)	Anteil (%)
anorganisch	Schwermetalle, Cyanide, Säuren, Basen, Salze, Chrom (VI)	46	620	37
organisch	Detergentien, Oele (KW) Emulsionen, Lösungsmittel, Hydrauliköle	60	1700	18
gemischt org./anorganisch	Säuren, Basen, Salze, Detergentien, Chelate, Emulgatoren, Oele (KW), Lösungsmittel	64	710	45
Durchschnitt		170	850	100

mischte belasteten Industrieabwasser bilden die Hauptmenge; sie fallen hauptsächlich aus den beiden grossen Reinigungswerkstätten Triebwerk- und Zentralreinigung an und enthalten praktisch, außer den typischen Galvanikchemikalien, sämtliche vorher erwähnten Stoffgruppen. Die durchschnittliche tägliche Stofffracht beträgt, bei Annahme eines unbehandelten Industrieabwassers, ca. 170 kg, was eine Durchschnittskonzentration von 850 ppm ergibt.

### 3. Behandlungskonzept

Von den diskutierten Behandlungskonzepten erweist sich eine zentrale Abwasserbehandlung infolge der Vielfältigkeit und der starken Dezentralisation der Anfallstellen einerseits, und der an das Projekt gestellten Anforderungen des Umweltschutzes und Betriebes anderseits, als optimale Lösung. Dezentrale Lösungen zeigten vor allem in bezug auf Wartung, Anlagekosten und Effizienz mehr Nach- als Vorteile. Das vorgesehene Behandlungskonzept (Bild 2) sieht lediglich für die Entgiftung der chrom- und cyanidhaltigen Abwasser aus der Galvanik eine dezentrale, an Ort und Stelle des Anfalles durchgeführte Behandlung vor, wobei sich diese lediglich auf den Entgiftungsprozess, nicht aber auf die Schlammbehandlung bezieht.

Aus Gründen der bestehenden Infrastruktur und der parallel durchgeföhrten Kühlwassersanierung muss ein geringer Kühlwasseranteil mit ins Industrieabwasser übernommen werden.

Die Behandlungszentrale teilt sich auf (1) in die eigentliche Abwasserbehandlung, bestehend aus den Stufen Klärung, Neutralisation und Schlammbehandlung, und (2) in eine Brauchwasseraufbereitung, bestehend aus Entsalzung, Brauchwasserkonditionierung und Reservoir. Letzteres speist ein separates Brauchwassernetz.

4. Verfahrenstechnik

Die für die Realisierung der Projektleitidee evaluierten Verfahren — Elektroflotation und Umkehrosmose — sind technologisch gesehen junge Verfahren, die beide Mitte der sechziger Jahre entwickelt und zur technischen Reife gebracht wurden.

Bild 2 Behandlungskonzept.

## Kreislauf: Abwasserbehandlung – Brauchwasseraufbereitung

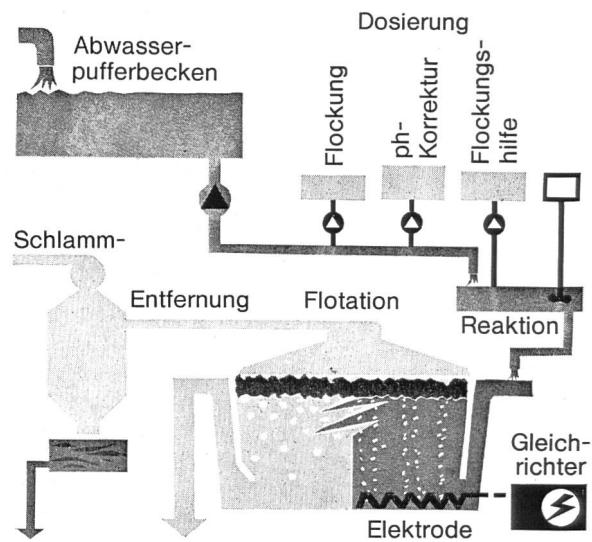
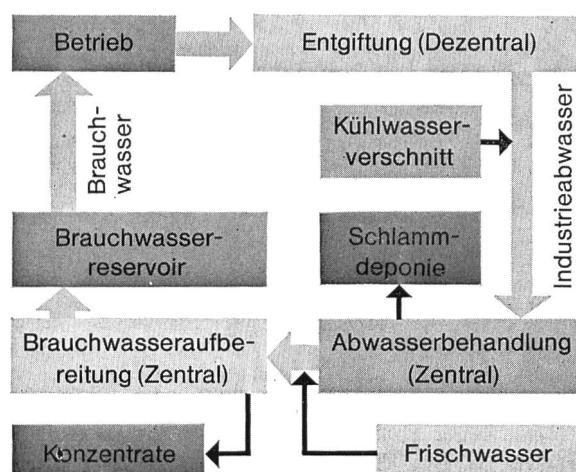


Bild 3 Elektroflotation-Einrichtung.

## ELEKTROFLOTATIONSVERFAHREN

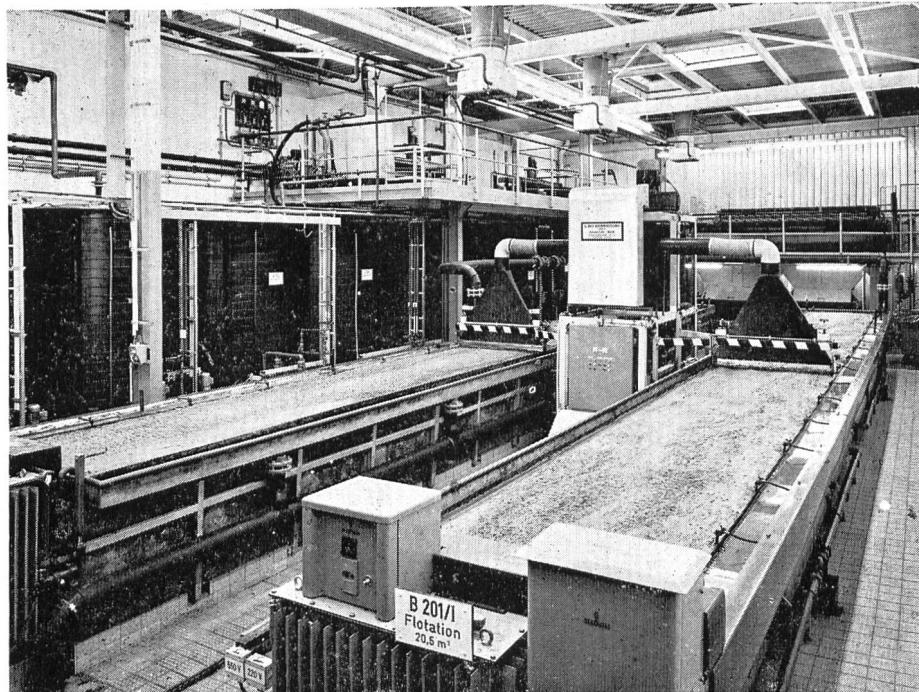
Das Elektroflotationsverfahren, oder kurz ELFLOT-Verfahren genannt, nach E. H. Baer und K. Xylander [Ref. 1], ist in der Industrieabwassertechnik, vor allem in Deutschland, gut eingeführt. Es eignet sich grundsätzlich überall dort, wo trübes, emulsion- und schlammhaltiges Abwasser geklärt, neutralisiert und entschlämmt werden muss. Die notwendigen Einrichtungen und Verfahrensschritte sind in Bild 3 schematisch dargestellt. Das ELFLOT-Verfahren arbeitet grundsätzlich immer mit einer vorgegebenen, im Bereich der Anlagekapazität liegenden, konstanten Abwasserleistung. Es ist daher notwendig, den unregelmässigen Anfall von Abwasser in einem Pufferbecken auszugleichen. Mittels einer volumenkonstanten Förderpumpe wird das zu behandelnde Abwasser durch eine Dosierstrecke mit definierten Aufenthaltszeiten gepumpt. Hier erfolgt die Flockung mittels Metallsalzen, beispielsweise Eisenchlorid oder Aluminiumsulfat und die pH-Wert-Konditionierung, in bekannter Weise, vergleichbar mit der 3. Stufe einer Kläranlage. Im leicht gerührten Reaktionsgefäß erfolgt die optimale Fällung der gebildeten Metallhydroxyde durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln (Polyelektrolyte). Durch diesen Flockungsprozess wird infolge der absorbierenden Wirkung der Metallhydroxyde das Abwasser geklärt und gleichzeitig je nach Fällungs-pH-Wert neutralisiert. Der nächste Verfahrensschritt hat die Aufgabe, das geklärte und neutralisierte Wasser von der Schlammpause zu trennen.

Dieser Schritt geschieht mittels Flotation, oder auch Schwimmaufbereitung genannt. Als Flotationsmittel, dem die Aufgabe zufällt, die Flocken schwimmfähig bzw. flotierbar zu machen, werden im Elektroflotationsverfahren — daher der Name — elektrolytisch erzeugte, kleinste Gasbläschen benutzt. Der gesamte Flotationsvorgang erfolgt in einer, im Schnitt leicht trapezförmigen, ca. 1,50 m breiten und je nach Leistung bis zu 20 m langen Flotationswanne. Einlaufseitig befindet sich die eigentliche Flotations- und auslaufseitig die Nachflotationszone, wobei diese durch eine ca. halbhöhe Wand voneinander getrennt werden.

In der Flotationszone befindet sich eine rostähnliche Elektrode, bestehend aus abwechselnd dünnen Anoden- und Kathodenstäben, die mit einem Gleichrichter gespeist wird. Die Anoden werden zur Verhinderung der Elektroden-

[ ] Referenzen am Ende dieses Berichtes

Bild 4  
Zweistrassige Grossanlage  
mit einer nominalen  
Leistung von 60 m<sup>3</sup>/h.



überspannungsprobleme platiniert, womit gleichzeitig ein energieärmer Betrieb gewährleistet wird. Die Elektrode erzeugt durch elektrolytische Wasserzerersetzung feine Gasbläschen von Sauer- und Wasserstoff. Es findet eine Be-gasung der Flocken (Metallhydroxyde) statt, wobei die Gasbläschen, durch ihre Anlagerung an die einzelnen Flocken, dieselben schwimmfähig bzw. flotierbar machen. In der Nachflotationszone bildet sich, bedingt durch die Wasserströmung in Richtung Auslauf, eine aus den feinsten Gasbläschen bestehende begaste Zone. In dieser Zone, und hier liegt der hohe Reinigungseffekt des Elektroflotationsverfahrens begründet, findet auch die Flotation der kleinen und kleinsten Flocken oder anderer Schwebestoffe noch statt. Der sich mit der Zeit bildende bis zu 10 cm dicke Schlammteppich wird von Zeit zu Zeit mit einem in Längsrichtung der Wanne laufenden Räumsystemen pneumatisch abgesogen. Der flotierte gashaltige Schlamm ragt wenige Zentimeter über die Wasserlinie und wird dadurch bereits teilentwässert. Das geklärte, gereinigte Abwasser verlässt nach einer Behandlungszeit von 20 bis 30 Minuten via ein Trennwandsystem die Flotationswanne.

Das Elektroflotationsverfahren zeichnet sich vor allem aus durch

- optimale Reinigungswirkung
- geringen Chemikalien- und Energiebedarf
- kurze Behandlungszeit
- raumsparende kompakte Bauweise
- Anfall von teilentwässertem Schlamm
- flexible Betriebsweise.

Bild 4 zeigt eine zweistrassige Grossanlage mit einer nominalen Leistung von 60 m<sup>3</sup>/h. Die Anlage wird von einem grossen deutschen Automobilhersteller für die Reinigung der schneideölhaltigen Abwasser aus den mechanischen Werkstätten eingesetzt.

#### UMKEHROSMOSE-VERFAHREN

Das Umkehrosmose-Verfahren ist eine neue Technik zum Trennen und Konzentrieren anorganischer und organischer Stoffe in wässrigen Lösungen auf physikalischem Wege. Das Verfahren kann als die technisch genutzte Umkehrung

der natürlich ablaufenden Osmose bezeichnet werden. Das osmotische Phänomen in der Pflanzen- und Tierwelt ist schon seit über 200 Jahren bekannt. Dabei treten durch eine «halbdurchlässige» Membrane zwei Lösungen in Wechselbeziehungen, siehe Bild 5. Diese halbdurchlässige Membrane, von der die Natur viele Beispiele kennt, nämlich sämtliche tierischen und pflanzlichen Zellwände, hat die physikalische Eigenschaft, für Wasser sehr gut, für Salze oder andere gelöste Stoffe schlecht oder gar nicht durchlässig zu sein.

Trennt eine solche Membran zwei Lösungen verschiedener Konzentration, wandert das Wasser durch die Membran aus der Lösung niederer in die Lösung höherer Konzentration, ein Austausch von gelösten Stoffen findet dagegen nicht statt. Diesen Vorgang nennt man Osmose. Durch die Volumenzunahme der höher konzentrierten bzw. Volumenabnahme der weniger konzentrierten Lösung bildet sich ein hydrostatischer Druck aus.

Der hydrostatische Druck  $p$ , der der Höhendifferenz der beiden Flüssigkeitsniveaus im Gleichgewicht entspricht, ist der osmotische Druck  $\pi$ . Wird nun auf die konzentriertere Lösung ein Druck ausgeübt, der grösser ist als der osmotische Druck, lässt sich der Vorgang der Osmose umkehren. Es wandert somit Wasser aus der konzentrierten in die verdünnte Lösung. Damit ist die Umkehrosmose gegeben, das heisst man kann auf diese Weise reines Wasser durch mechanische Arbeit aus einer wässrigen Lösung austreiben.

Obwohl diese theoretischen Grundlagen der Umkehrosmose schon länger bekannt sind, fand man vorerst keine technische Lösung, dieses Verfahren zu realisieren, und zwar lag dies am Fehlen einer geeigneten Membrane, die unter den erforderlichen Druckbedingungen arbeiten konnte. Die massgebenden Grundlagen dazu schufen in den sechziger Jahren die beiden Amerikaner Sourirajan und Loeb an der UCLA in Kalifornien, indem sie eine geeignete Membrane in Form eines modifizierten Zelluloseazetatmaterials und die dazu notwendigen Engineering Grundlagen entwickelten. Bis heute fand man außer einem Nylonmaterial kein anderes gleichwertiges Membranenmaterial. Das Engineering des Umkehrosmoseverfahrens

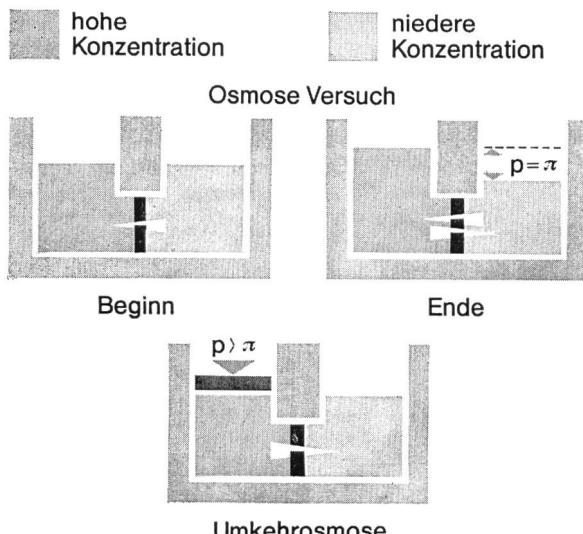


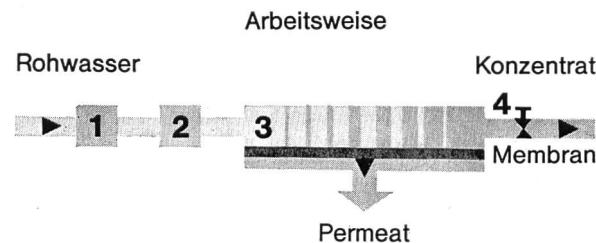
Bild 5 Grundlagen für Umkehrosmose.

beruht auf der schematischen Arbeitsweise, wie sie aus Bild 6 hervorgeht.

Das zu behandelnde Rohwasser erfährt bei (1) meistens eine Vorbehandlung; sie richtet sich nach der Art des Wassers und dem benutzten Umkehrosmosesystem. Die Vorbehandlung kann bestehen aus einer mechanischen Filtration, pH- und Kalk-Konditionierung des Rohwassers. Bei (2) erfolgt die notwendige Druckerhöhung mittels einer Hochdruckpumpe. Die Druckeinstellung erfolgt mit dem Druckeinstellventil (4). Bei (3) erfolgt die eigentliche Umkehrosmose im sogenannten Modul, das von einem Druckrohr ummantelt ist. Infolge des Arbeitsdruckes permeiert das Rohwasser durch die Membrane, letztere muss gegen den Systemdruck zweckmäßig gestützt werden. Das als Permeat bezeichnete Reinwasser wird gesammelt und verlässt drucklos das Modul. Durch den fortschreitenden Entsalzungsvorgang längs der Membrane wird der Rohwasserstrom immer konzentrierter und wird schliesslich über das Druckeinstellventil (4) als Konzentratstrom abgeleitet.

Das Herz jeder Umkehrosmoseanlage bildet das Modul. An das Modul werden technische Anforderungen in bezug auf Leistung, Reinigungseffekt und Raumbedarf gestellt,

Bild 6 Engineering-Umkehrosmose.



- 1 Vorbehandlung (Filtration, pH-Kond.)
- 2 Druckerhöhungsstufe
- 3 Umkehrosmose im Modul
- 4 Druckeinstellventil

die von der Modulkonzeption erfüllt werden müssen. Es sind dies vor allem:

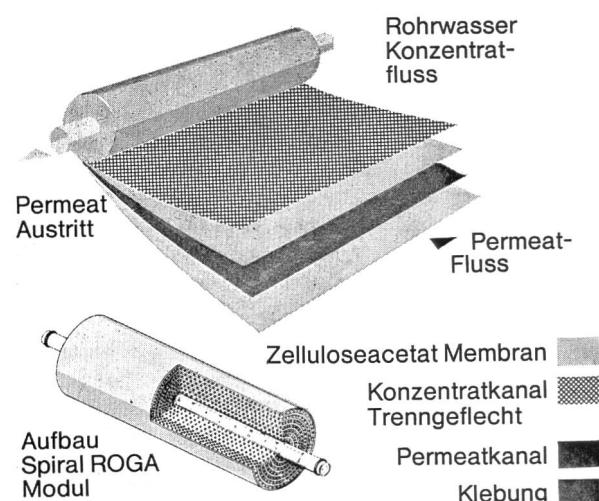
- grosse Membranoberflächen
- hohe Salzrückhaltefähigkeiten
- hohe Systemdrücke
- lange Lebensdauer
- kompakte Bauweise
- leichte Modulwartung.

Die verschiedenen Modulkonzepte unterscheiden sich im wesentlichen (1) in der Wahl des Membranmaterials (Zelluloseacetat oder Nylon) und (2) in ihrer räumlichen Konzeption, um ein möglichst günstiges Verhältnis von Permeatleistung zu Modulvolumen zu erreichen. Dies lässt sich zum Beispiel durch platten-, röhren-, hohlfaser- oder spiralförmige Anordnung der Membrane erreichen.

Von den verschiedenen auf dem Markt angebotenen Modulkonzepten sei hier lediglich das für das beschriebene Projekt evaluierte erläutert. Es ist das von Gulf [Ref. 2] entwickelte Spiralmodulkonzept mit einer Zelluloseacetatmembrane. Die Module sind unter der Bezeichnung ROGA-Module im Handel. Das Spiralmodulkonzept ermöglicht eine einfache, robuste Anwendung der Umkehrosmose und ist auch ein System, das gute Aussichten hat, sich grosstechnisch durchzusetzen. Das System eignet sich wegen der leichten Modulwartung und robusten Ausführung besonders gut für Abwasserapplikationen. Durch die Spiralwicklung wird eine grosse Membranoberfläche in einem kleinen Volumen untergebracht. Das Modul, wie es Bild 7 zeigt, besteht aus zwei Zelluloseacetat-Membranen, die durch den Permeatkanal voneinander getrennt sind. Der Permeatkanal, bestehend aus einem schwammigen Gewebe, wirkt als Abstützung der Membrane gegen den Systemdruck und bildet gleichzeitig die Fliessbahn für das Reinwasser. Ein Trenngeflecht bildet den Konzentrat- bzw. Rohwasserkanal. Die gesamte Sandwichbauweise wird um ein perforiertes Kunststoffrohr gerollt und mit einem Deckblatt versehen. Das Rohwasser bzw. der Konzentratstrom durchfliest das Modul in axialer Richtung.

Das unter Druck durch die Membran in den Permeatkanal permeierende Reinwasser fliesst spiralförmig nach innen, sammelt sich im perforierten Rohr und fliesst dann ebenfalls in axialer Richtung aus dem Modul. Damit die Module unter dem erforderlichen Systemdruck arbeiten können, werden diese in ein Druckrohr eingeschoben. Je nach der Leistung einer Umkehrosmose-Anlage werden bis

Bild 7 Engineering-Umkehrosmose, Spiralmodulkonzept.



zu sechs Modulen in Serie, und die weiteren parallel bzw. in einer abnehmenden Parallelschaltung, wie Bild 8 zeigt, angeordnet. Diese Modulanordnung muss gewählt werden, damit erstens die vorgeschriebenen hydraulischen maximalen und minimalen Modulbelastungen eingehalten werden können und zweitens das System mit einer guten Reinwasserausbeute betrieben werden kann.

Die beiden wichtigsten Kenngrößen, nach denen ein Umkehrosmosesystem beurteilt werden kann, sind die Salzrückhaltefähigkeit und Permeatausbeute, siehe Bild 9. Die Salzrückhaltefähigkeit ( $S$ ) eines Umkehrosmosesystems ist der Anteil, der von der Membrane zurückgehaltenen Salzkonzentration bezogen auf die Konzentration des Rohwassers in Prozenten. Typische Salzrückhaltefähigkeiten von Kationen, Anionen und organischen Molekülen für eine Zelluloseazetat-Membrane illustriert Tabelle 3.

Betriebseinflussgrößen Umkehrosmose  
Salzrückhaltefähigkeit von gelösten Stoffen Tabelle 3

		S (%)
Kationen	Natrium	94,9
	Calzium	99,1
	Magnesium	99,9
	Aluminium	100
Anionen	Chlorid	96,6
	Fluorid	88,0
	Sulfat	100
	Phosphat	99,3
Moleküle	MG > 150	~ 100

Man beachte vor allem, dass mehrwertige Ionen wie zum Beispiel Aluminium und Phosphat, von der Membrane besser zurückgehalten werden als einwertige Ionen wie Natrium und Chlorid. Typische Salzrückhaltefähigkeiten von Umkehrosmoseanlagen liegen im Bereich von 92 bis 98 Prozent.

Die Permeatausbeute ( $A$ ) ist definiert als der Anteil des Reinwassers bezogen auf die Rohwassermenge in Prozenten. Typische Permeatausbeuten von Umkehrosmose-Anlagen liegen im Bereich von 75 bis 90 Prozent.

Bild 10 zeigt eine grosse Umkehrosmoseanlage mit einer Reinwasserleistung von 850 m<sup>3</sup>/Tag. Die Anlage wurde nach dem System und Engineering von Gulf [Ref. 2] für

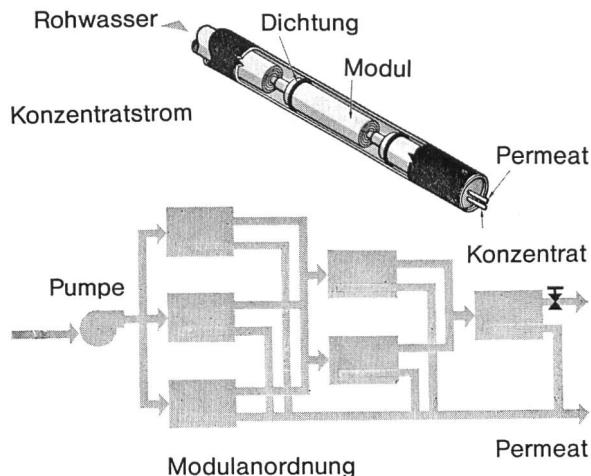
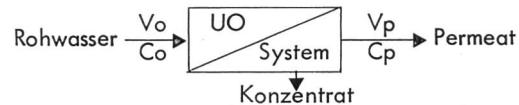


Bild 8 Engineering-Umkehrosmose, Spiralmultikonzept.

Bild 9

#### Begriffe, Definitionen



$$\text{Salzrückhaltefähigkeit } S : S = \frac{(C_o - C_p) \cdot 100}{C_o} [\%]$$

$$\text{Permeatausbeute } A : A = \frac{V_p \cdot 100}{V_o} [\%]$$

$C_o$  : konz. Rohwasser

$C_p$  : konz. Permeat

$V_o$  : Rohwasserleistung

$V_p$  : Permeatleistung

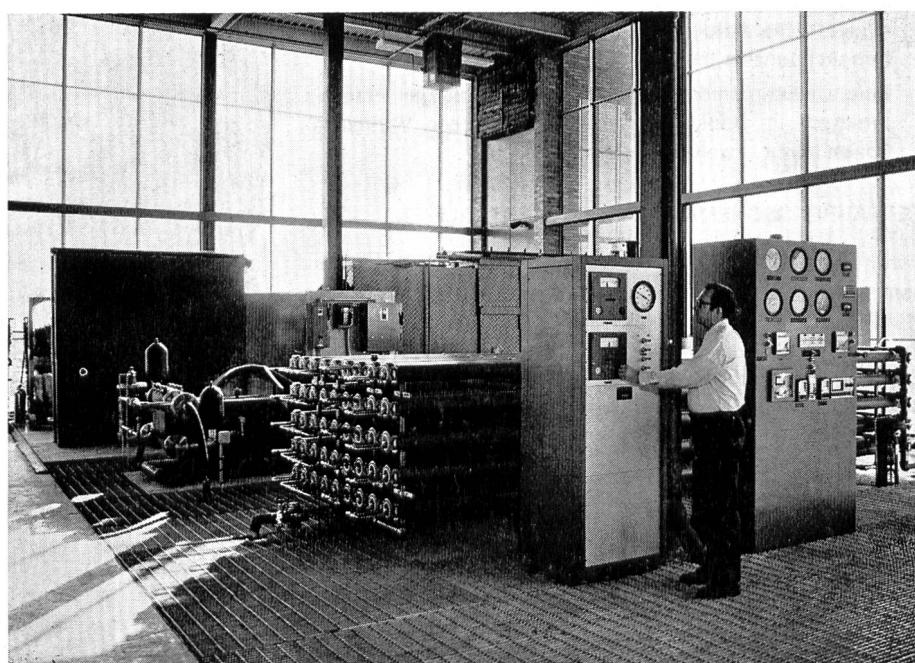


Bild 10  
Grosse Umkehrosmoseanlage  
mit einer Reinwasserleistung  
von 850 m<sup>3</sup>/Tag.

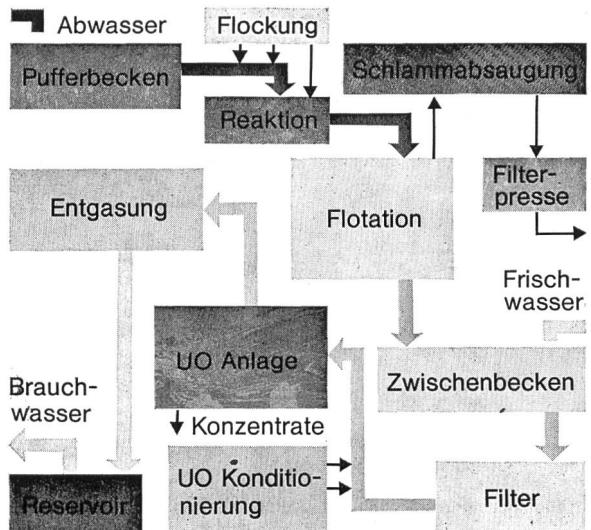


Bild 11 Verfahrensschema für Abwasserzentrale.

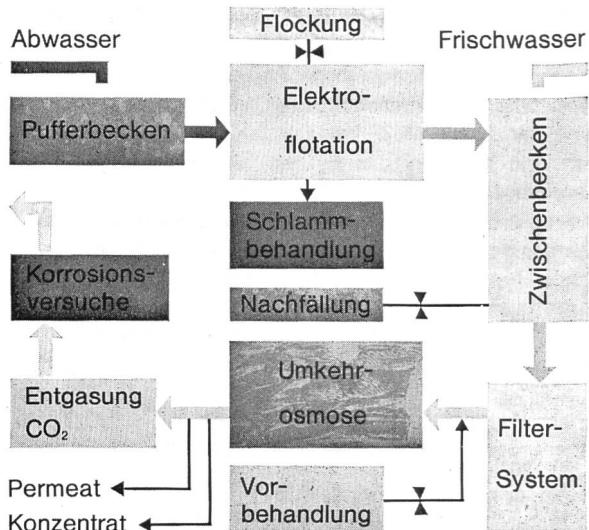


Bild 12 Pilot-Versuche, Versuchsanordnung.

einen amerikanischen Elektronikkonzern gebaut und wird als erste Stufe zur Herstellung von Reinstwasser eingesetzt.

Nachstehend sind einige Beurteilungskriterien genannt, die das Umkehrosmoseverfahren vor allem auszeichnen:

- Das Verfahren ist wegen seiner physikalischen Arbeitsweise umweltfreundlich, da es die Gewässer nicht mit zusätzlichen verfahrensbedingten Eluat und Regeneriermittelüberschussmengen belastet;
- Das Verfahren ist universell anwendbar, das heisst es können sowohl anorganisch als auch organisch oder gemischt belastete Wasser gereinigt bzw. konzentriert werden. Dieser Aspekt macht es beispielsweise erst möglich, gemischt belastete Abwasser, wie im vorliegenden Falle, zu Brauchwasser aufzubereiten;
- Es zeigt sich in vielen Fällen, dass das Umkehrosmoseverfahren, besonders für grosse Systeme, infolge des geringen Chemikalien- und Energiebedarfs wirtschaftlicher arbeitet, als andere in Frage kommende Wasser-aufbereitungsverfahren;
- Die Wartung gestaltet sich durch die bestechend einfache Bauweise einer Umkehrosmoseanlage einfach und minimal. Die Anlage braucht keine aufwendige und unterhaltsintensive Instrumentierung und Automatik;
- Eine Umkehrosmoseanlage kann bei richtiger Planung praktisch im Baukastensystem ohne grosse Vorinvestitionen leicht erweitert werden.

#### VERFAHRENSSCHEMA ABWASSERZENTRALE

Durch die Kombination von Elektroflotation und Umkehrosmose hat sich für das vorgesehene Abwasserprojekt das in Bild 11 ersichtliche Verfahrensschema ergeben. Es beinhaltet im wesentlichen die beiden Verfahren Elektroflotation und Umkehrosmose plus die dazu notwendigen Vor-, Zwischen- und Nachbehandlungseinrichtungen.

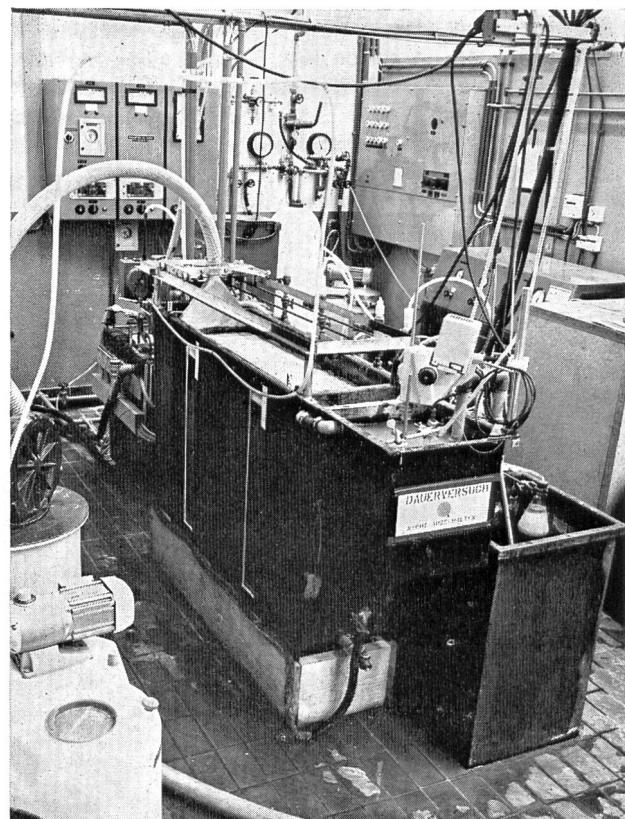
Das aus der Elektroflotation anfallende gereinigte Abwasser wird in einem Zwischenbecken aufgefangen, das Einrichtungen für Frischwassernachspeisung, Wärmekonditionierung und Zwischenbehandlung enthält. Die Vorbehandlung des Rohwassers für die Umkehrosmose besteht aus einem Sandfilter, Sicherheitsfilter und einer Chemikalienkonditionierung für pH-Wert und Fällungsmaskierung. Das Permeat wird aus Korrosionsgründen anschliessend in

einem Riesler entgast und pH-konditioniert, bevor es in das Brauchwasserreservoir gelangt. Der Konzentratstrom aus der Umkehrosmose wird vorläufig noch in die Kanalisation abgeleitet.

#### 5. Pilot-Versuche

Die kombinierte Anwendung von Elektroflotation und Umkehrosmose stellt in diesem Sinne eine neue Verfahrenstechnologie dar. Die Tauglichkeit dieser Verfahrenskombination wurde daher vorerst in einer Pilotanlage im Dauerversuch getestet. Es war vor allem wichtig zu erfahren, wie die Module, die das Kernstück jeder Umkehrosmoseanlage darstellen und deren Lebensdauer die Wirtschaftlichkeit des

Bild 13 Gesamtübersicht einer Pilotanlage.



Verfahrens massgeblich beeinflussen, sich im Dauerbetrieb mit Abwasser verhalten. Die Versuchsanordnung bestand im wesentlichen aus den im Blockschema, Bild 12, gezeigten Einrichtungen. Eine Gesamtübersicht der Pilotanlage illustriert Bild 13. Ein dazugehöriges 50 m<sup>3</sup> fassendes Abwasserpufferbecken gestattet die Herstellung von repräsentativen Abwassermischungen.

Die Pilot-ELFLOT-Anlage mit einer Leistung von 600 bis 800 l/h enthält alle notwendigen Einrichtungen für Steuerung, Dosierung und Schlammbehandlung. Eine permanente Durchflusstrübungsmessung, System Sigrist, wurde zur Überwachung der Anlage und der Reinigungswirkung benutzt. Das Zwischenbecken bzw. Speisebecken, ausgerüstet mit Heizung, Dosierstellen und Frischwasseranschluss, erlaubt die Durchführung von Nachfällungs-Versuchen zur Rohwasservorbehandlung für die anschliessende Umkehr- osmose.

Eine Vordruckpumpe speist aus dem Zwischenbecken über das aus einem Sandfilter und einem Sicherheitsfilter bestehende Filtersystem in die Umkehrosmose-Pilotanlage. Letztere hat eine Permeateleistung von ca. 600 l/h und besitzt sechs in Serie geschaltete Spiralmodule. Ein Teilstrom des Permeats wird in einem Modellriesler entgast, pH-konditioniert und durch eine Korrosionsversuchsstrecke gepumpt, damit das Verhalten des Permeates in einem bestehenden Leitungsnetz studiert werden kann.

Die Vorversuche mit der Elektroflotations-Pilotanlage bzw. die erreichten optimalen Betriebsbedingungen sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Pilot-Versuche  
Elektroflotation Betriebsbedingungen

Abwasserleistung	600–800 l/h
Flockungsmittel-Dosierung	60–80 ppm Al
Fällungs-pH-Wert	7,2–7,5
Flockungshilfe-Dosierung	10–15 ppm Polyelektrolyt A <sub>3</sub>
Durchlaufzeit	25–35 Minuten
Elektrodenbedingungen	20 A / 6 V
spez. Energiebedarf Elektrode	0,170 kWh/m <sup>3</sup> Abwasser

Als Primärflockungsmittel kam von Anfang an nur Aluminiumsulfat in Frage, weil das Sulfat als mehrwertiges Ion in der anschliessenden Umkehrosmose wesentlich besser zurückgehalten wird, als beispielsweise das Chloridion bei Verwendung von Eisen-III-Chlorid. Die vollständige Klärung des Industrieabwassers benötigt 60 bis 80 ppm Al (als Metall berechnet). Obwohl eigentlich das Aluminium im schwach sauren pH-Bereich gefällt werden sollte, muss auch auf die vorhandenen Schwermetalle, vor allem Chrom und Cadmium, Rücksicht genommen werden. Ein Kompromiss pH-Wert von 7,2 bis 7,5 erweist sich als akzeptabel. Von den verschiedenen Flockungshilfsmitteltypen eignen sich anionenaktive Polyelektrolyte am besten. Die Elektrode arbeitet konstant bei 20 A / 6 V bzw. mit einer Leistung von 120 W, was eine ausreichende Begasung der Flocken für den Flotationsvorgang ergibt.

Den Reinigungseffekt des Elektroflotationsverfahrens illustrieren die erreichten Abwasseranalysen, Tabelle 5.

Die total im unbehandelten Abwasser enthaltenen Stoffe betragen während der sechsmonatigen Versuchsperiode durchschnittlich 650 ppm. Dieser Wert stieg durch die Flockungsbehandlung, bzw. durch die Sulfat-Aufsalzung in der Summe auf 1000 ppm nach der ELFLOT-Behandlung an. Das Verfahren garantiert in bezug auf petrolätherlösliche Bestandteile bzw. nicht polare organische Verbindungen einen Wert von < 10 ppm. Die Analysen zeigen, dass in

Tabelle 5  
Abwasseranalysen (Durchschnittswerte über 6 Monate Betrieb)

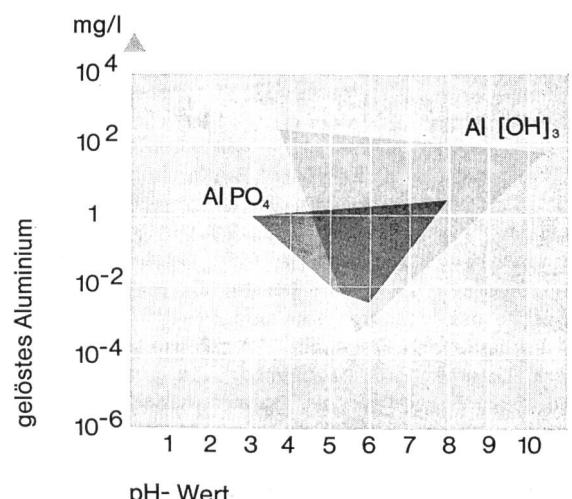
Analyse	unbehandelt (ppm)	nach ELFLOT (ppm)
Total gelöste Stoffe	650	1000
Total organische Stoffe	240	2,5
Total nicht polare org. Stoffe	190	<1,0
Total filtrierbare Stoffe (Milipore 1 µ)	—	15
Schwermetalle Cr gesamt	—	0,15
Fe	—	1,0
Mn	—	0,13
Cu	—	0,1
Ni	—	0,2
Zn	—	0,28
Cd	—	0,05
Al	—	1,1
Trübung (Kieselgur-Einheiten SiO <sub>2</sub> )	—	3—4

bezüg auf die organischen Stoffe (polare als auch nicht-polare) keine Werte von grösser 2,5 ppm gemessen wurden. Es ist vor allem überraschend, dass ein Grossteil der polaren organischen Verbindungen, die im Industrieabwasser hauptsächlich in Form von Detergentien (zum Beispiel Flugzeugwaschmittel) vorliegen, ebenfalls eliminiert werden. In bezug auf die total filtrierbaren, bzw. absetzbaren Stoffe garantiert das Verfahren Werte von kleiner 50 ppm. Auch diese Werte wurden mit 15 ppm weit unterboten. Die durchgeföhrten Schwermetallanalysen liegen ebenfalls alle unterhalb den gesetzlichen Richtlinien.

Die Vorbehandlung des Rohwassers für die Umkehr- osmose bereitete anfänglich am meisten Schwierigkeiten und bedurf noch einer weiteren Optimierung. Das Hauptproblem besteht darin, dass jede noch so optimal gefällte Metalflockung bei gegebenem pH-Wert in bezug auf den gelösten Restmetallgehalt eine gesättigte Lösung darstellt. Dieses Verhalten geht aus den Fällungsdiagrammen von Aluminiumhydroxid und Aluminiumphosphat, die in dieser Beziehung am meisten stören, hervor (Bild 14).

Wird eine solche Lösung in ein Umkehrosmosesystem eingespiesen, wird bekanntlich der Rohwasserstrom längs der Module aufkonzentriert. Bei einer grossen Anlage macht dies, je nach Ausbeute, einen Faktor von 8 bis 9,5 aus, das heisst auch der Restmetallgehalt wird um diesen

Bild 14 Pilot-Versuche. Fällungskurve von Al(OH)<sub>3</sub> und Al PO<sub>4</sub>.



Faktor aufkonzentriert. Bei gleichbleibendem pH-Wert bedeutet dies, gemäss dem Fällungsdiagramm, immer eine Nachfällung des entsprechenden Metalles. Da sich dieser Vorgang jedoch in den Modulen der Umkehrosmose abspielt, werden diese mit der Zeit verstopft, was zu einer Verminderung des Permeatflusses und zur Erhöhung des Druckabfalles über den Modulen führt. Diese Verstopfung ist allerdings reversibel und kann relativ leicht wieder entfernt werden. Trotzdem ist dieser Effekt unerwünscht, weil die Reinigung der Module immer mit einem Betriebsunterbruch verbunden ist. Diesem Problem konnte einigermaßen erfolgreich mit folgendem Vorgehen begegnet werden:

In einem ersten Schritt wurde im Zwischenbecken bewusst eine Nachfällung unter optimalen Fällungsbedingungen bei einem pH-Wert von 4,5 bis 5,0 erzeugt. Dadurch wurde gleichzeitig ein erwünschter Anschwemmfekt im nachgeschalteten Sandfilter erreicht, der darnach einen besseren Reinigungseffekt zeigte und sich besser regenerieren liess. Unmittelbar vor der Umkehrsmose erfolgte die zweite und letzte Vorbehandlung, wobei hier zwei Varianten ausprobiert wurden. Die erste sieht eine Änderung des pH-Wertes vor, der vom optimalen Fällungs-pH verschieden ist. pH-Werte über dem optimalen Wert, zum Beispiel 5,5 bis 6,0, zeigten bessere Resultate als entsprechend tiefere (zum Beispiel 3,5 bis 4,0). Die zweite Variante strebt eine totale Komplexierung der Restmetalle an. Versuche mit 3 bis 5 ppm Komplexondosierung ergaben gute Resultate.

Nach der Evaluation von akzeptablen Betriebsbedingungen für die Verfahrenskombination wurden Dauerversuche gefahren. Die mit der Pilot-Umkehrsmoseanlage durchschnittlich erzielten Wasseranalysen zeigt Tabelle 6. Es ist dazu zu bemerken, dass die Pilot-Anlage hydraulisch analog den Bedingungen der geplanten Grossanlage gefahren wurde. Daher konnte die Anlage lediglich mit 40 % Ausbeute betrieben werden, das heisst die erhaltenen Permeatqualitäten werden bei der Grossanlage entsprechend der höheren Ausbeute schlechter ausfallen.

## Pilot-Versuche Dauerversuche UO-Anlag

Tabelle 6

## Wasseranalysen

Ausbeute 40 %; Systemdruck 30 atü; Temperatur 25 °C.

Analysen	Rohwasser (ELFFLOT) (ppm)	Permeat (ppm)	Konzentrat (ppm)	S (%)
Total gelöste Stoffe	1000	37	1900	97,5
Total org. gelöste Stoffe	2,5	1,0	4,0	71
Total nicht polare org. Stoffe	< 1.0	—	< 1.0	—
Leitwert	1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	54 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	—

In bezug auf die total gelösten Stoffe wurde eine mittlere Salzrückhaltefähigkeit von 97,5 % erreicht, was eine Permeatqualität von 37 ppm ergab. Die Rückhaltefähigkeit von organischen Stoffen fiel mit 71 % enttäuschend aus. Die Untersuchung des Permeates auf die restorganischen Stoffe ergab neben Spuren von niedermolekularen organischen Verbindungen (Alkohole, Amine) vor allem nicht-ionogene Detergentien, die offenbar von der Membranen nicht zurückgehalten werden. Da andererseits die Restkonzentration dieser Stoffe im Permeat gering war und die sich noch bemerkbar machende Schaumbildung im anschliessenden Entgasungsprozess praktisch eliminiert

werden konnte, wurde dieser Aspekt vorläufig nicht weiter verfolgt.

Bild 15 zeigt den Verlauf des Permeatflusses in Funktion der absolvierten Betriebsstunden. Am gezackten Kurvenverlauf sind die reversiblen, und am asymptotischen Trend der gesamten Kurve die irreversiblen Membranbeeinträchtigungen zu erkennen, die sich beide in einer Änderung des Permeatflusses bemerkbar machen. Die reversiblen Membranbeeinträchtigungen, allgemein als «Membran fouling» bezeichnet, können verschiedene Ursachen haben. Es kann sich beispielsweise um Verstopfungserscheinungen, Membranaktivierungen, biologisches Algenwachstum oder Quellung der Membrane durch Chemikalien handeln.

Diese «Fouling-Erscheinungen» sind besonders bei Abwasserapplikationen zu berücksichtigen; es ist daher äußerst wichtig, ein Modulkonzept auszuwählen, welches eine leichte Modulwartung erlaubt. Die einfachste Reinigungsmethode besteht darin, die Anlage einige Stunden mit Frischwasser zu betreiben. Das Resultat dieser Behandlung ist in Bild 15 mit «W» bezeichnet. Diese Betriebsart ergibt sich bei der geplanten Grossanlage ohnehin automatisch durch die Frischwassernachspeisung in den Kreislauf. Genügt die Frischwasserreinigung nicht mehr, werden mit Hilfe von verschiedenen Chemikalien sehr gute Resultate erzielt. Sehr gut bewährt hat sich gegen die allgemeine Membranverschmutzung bzw. Inaktivierung eine 0,1- bis 0,2prozentige Lösung eines biologisch aktiven, enzymhaltigen Waschmittels. Zu diesem Zwecke wird die auf schwach sauer bis neutral eingestellte Waschmittellösung in die Anlage gespeist und hernach einige Stunden, am besten über Nacht oder Wochenende, bei abgeschalteter Anlage, wirken gelassen. Dann erfolgt die Rückspülung mit Frischwasser.

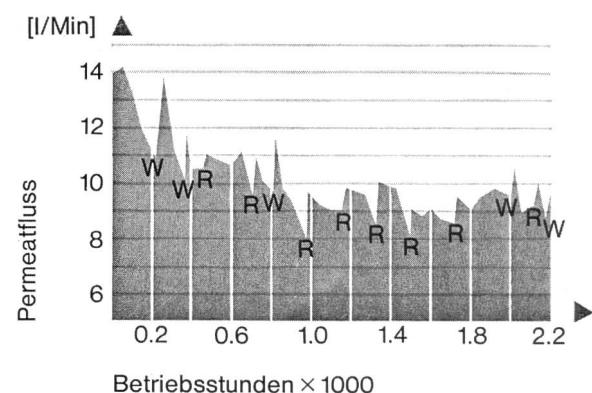
Bei der Modulreinigung ist es vorteilhaft, wenn die Umkehrsmoseanlage durch Rückwärtsspülung gereinigt werden kann, weil nämlich die grösste Verschmutzung immer an den einlaufseitigen Modulen auftritt.

Der Erfolg dieser Reinigungsmethode ist in Bild 15 mit «R» bezeichnet. In der Versuchsperiode musste die Umkehrsmoseanlage durchschnittlich alle 200 Betriebsstunden gereinigt werden. Bei der Grossanlage wird mit einem Reinigungszyklus von rund 14 Tagen gerechnet. Andere Reinigungsmittel wie Natriumperborat, Komplexon, Ammoniumbifluorid oder kurzzeitige Behandlungen bei tiefem pH-Wert zeigten ebenfalls gute Resultate.

Bild 15 Pilot-Versuche: Permeatfluss, Betriebsstunden, Verlauf.

Ps = 30 atü  
V<sub>k</sub> = 13,5 l/Min  
T = 25°C  
pH = 4,5 – 5,5

R = Modulreinigung  
W = Frischwasser-  
betrieb



An Hand der messbaren irreversiblen Membranschädigungen kann der kumulative auf die Membrane wirkende Umgebungseinfluss von Druck, Wasserart, Temperatur und pH-Bedingungen verfolgt und prognostiziert werden. Dieses Verhalten geht aus dem, in doppelt Logarithmisch-Massstab aufgetragenen, Permeatfluss-Betriebsstunden-Diagramm (Bild 16) hervor.

Aufgrund der bis heute vorliegenden Erfahrungswerte mit Frischwasser ergibt eine Extrapolation von solchen Lebensdauerkurven auf ein Moduldesign Leben von 25 000 Betriebsstunden eher zu konservative Werte. So ist der, auf der Basis von 2700 Stunden auf 25 000 Betriebsstunden extrapolierte Permeatfluss pro Modul von 2,0 m<sup>3</sup>/Tag, mit dem für das Modul vergleichbar spezifizierten Frischwasserwert von 2,5 m<sup>3</sup>/Tag, durchaus annehmbar. Es kann in jedem Falle mit einer Modullebensdauer von mindestens zwei Jahren gerechnet werden.

## 6. Dimensionierung

Das Hauptproblem der Dimensionierung einer Abwasseranlage besteht darin, die einzelnen Anlageteile optimal zu dimensionieren, damit diese einerseits einem Spitzenbetrieb genügen können, anderseits die Anlageteile aus Kostengründen nicht unnötig überdimensioniert werden. In Zusammenarbeit mit der Swissair-Operation-Research-Abteilung [Ref. 3] wurde dieses Problem mit Hilfe einer neuen Planungstechnik mit Computersimulationen gelöst. Das heisst, die geplante Anlage wurde in einem Modell abgebildet und der Betrieb der Anlage modellmäßig imitiert. Die erhaltenen Resultate des Modells wurden beurteilt und, falls Unzulänglichkeiten auftauchten, wurden die Pläne so lange modifiziert und in weiteren Simulationen getestet, bis das Betriebsverhalten den Anforderungen entsprach.

Das Operation-Research-Modell enthielt im wesentlichen eine Beschreibung der Anlagekonfiguration, Funktion von Einrichtungen, Wasserleistungen, Steuerbedingungen für Pumpen und Ventile und die Betriebsweise. Die Simulation bzw. die Dimensionierung wurde mit zwei Computerprogrammen, die in verschiedenen Sprachen geschrieben wurden, durchgeführt.

Mit der MIMIC-Simulation wurde die Abwasseranlage ohne Pufferbecken und Reservoir dimensioniert. Das Modell bestand aus einem Computerprogramm, das in MIMIC, einer speziellen Computersprache geschrieben ist. Die Beschreibung erfolgte mit Makro-Anweisungen, die selbstständig die Entwicklung der Systemparameter (Becken-Inhalte, Schaltzustände usw.) in Abhängigkeit der Zeit berechneten und computergraphisch darstellten, siehe Bilder 17 und 18. Die Dimensionierung der Anlage, das heisst das Wechselspiel von Simulationen und Korrekturen, erfolgte im Dialog zwischen Arbeitsgruppe und Computer.

Die MONTE-CARLO-Simulation befasste sich mit der Dimensionierung des Abwasserpufferbeckens und des Brauchwasserreservoirs. Das Ziel war hier, dass das Pufferbecken nie überfliesst und das Reservoir nie leer wird. Die Beckeninhalte verändern sich zufällig, weil Abwasseranfall und Frischwasserbedarf Zufallsgrössen sind, die in einem bekannten Bereich streuen. Die MONTE-CARLO-Simulation benutzt den Computer als Glücksspielautomaten. Das Programm, das in Fortran geschrieben wurde, gab dem Computer die Anweisung, eine zufällige tägliche Wassermenge zu bestimmen, die als Abwasser dem Pufferbecken zufliest resp. als Brauchwasser dem Reservoir entzogen wird. Dies wurde für eine grosse Anzahl von Tagen wiederholt, ständig wurde kontrolliert, ob das Pufferbecken nicht überfliesst und das Reservoir nicht leer wird. Mehrere

$P_s = 30 \text{ atü}$   
 $T = 25^\circ\text{C}$   
 $V_k = 13,5 \text{ l/Min.}$

Extrapolation (25 000 h):  
 $V_p = 2,0 \text{ m}^3/\text{Tag Modul}$   
(Spezifikation 2,5 m<sup>3</sup>/Tag)

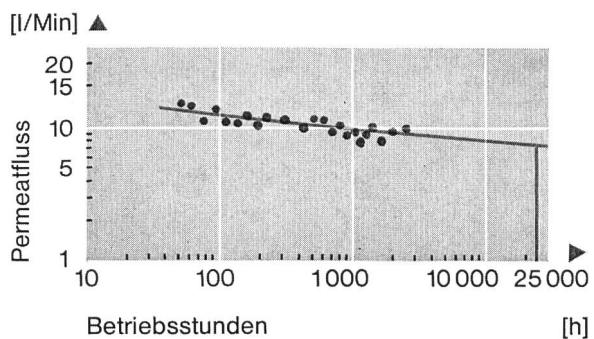


Bild 16 Pilot-Versuche; Prognose der Modullebensdauer nach 25 000 Betriebsstunden.

Simulationsspiele führten schliesslich zu den zweckmässigsten Dimensionen. Bild 19 zeigt an Hand der Entwicklung des Abwasserpufferbeckeninhaltes über vier Wochen ein Beispiel aus dieser Simulation.

Die Resultate der durchgeföhrten Operation-Research-Simulation erwiesen sich bei der Projektierung als sehr wertvoll. Es konnten insbesondere die folgenden Fragenkomplexe abgeklärt werden:

- Spezifikation und Leistung der Abwasserbehandlungseinrichtungen;
- Dimensionierung von Puffer-Behandlungs- und Stapelbehältern;
- Festlegung von Steuerbedingungen für Pumpen und Ventile;
- Abklärung von Betriebsunterbrüchen und Änderungen in der Betriebsweise;
- Wahrscheinlichkeit von Abwasserunfällen.

Für das geplante Projekt ist eine zweistrassige Elektroflotationsanlage mit einer Leistung von 40 m<sup>3</sup>/h vorgesehen. Die Umkehrosmose-Anlage ist in einer ersten Stufe für eine Reinwasserleistung von 300 m<sup>3</sup>/Tag ausgelegt. Die Anlage kann infolge ihrer Grösse mit ca. 90 % Reinwasser ausbeute betrieben werden. Die Anlage wird in Reinwasser mit 50 bis 70 ppm total gelösten Stoffen produzieren, das für die meisten betrieblichen Anforderungen vollauf genügt.

## 7. Kosten

Die Investitionskosten des geplanten Industrieabwasserprojektes für den technischen Betrieb der SWISSAIR werden sich inkl. der dazu notwendigen Infrastruktur auf ca. 20 Mio Fr. belaufen. Aus der nachfolgend dargestellten Kostenaufstellung (Tabelle 7) resultieren die zu erwartenden anfallenden Betriebskosten (Basis 1973) pro m<sup>3</sup> Industriebrauchwasser bei einer Kreislaufführung des Wassers wie sie das Projekt vorsieht. Die Kapitalkosten (Verzinsung und Amortisation) wurden nicht in die Rechnung einbezogen, da es sich weitgehend um eine vom Umweltschutz geforderte Mussinvestition handelt.

## 8. Zusammenfassung

Der Werdegang des geplanten Industrieabwasserprojektes wurde anhand der einzelnen Projektierungsstufen skizziert. Die zur Realisierung der Projektleitidee evaluierten Verfahren Elektroflotation und Umkehrosmose wurden in bezug

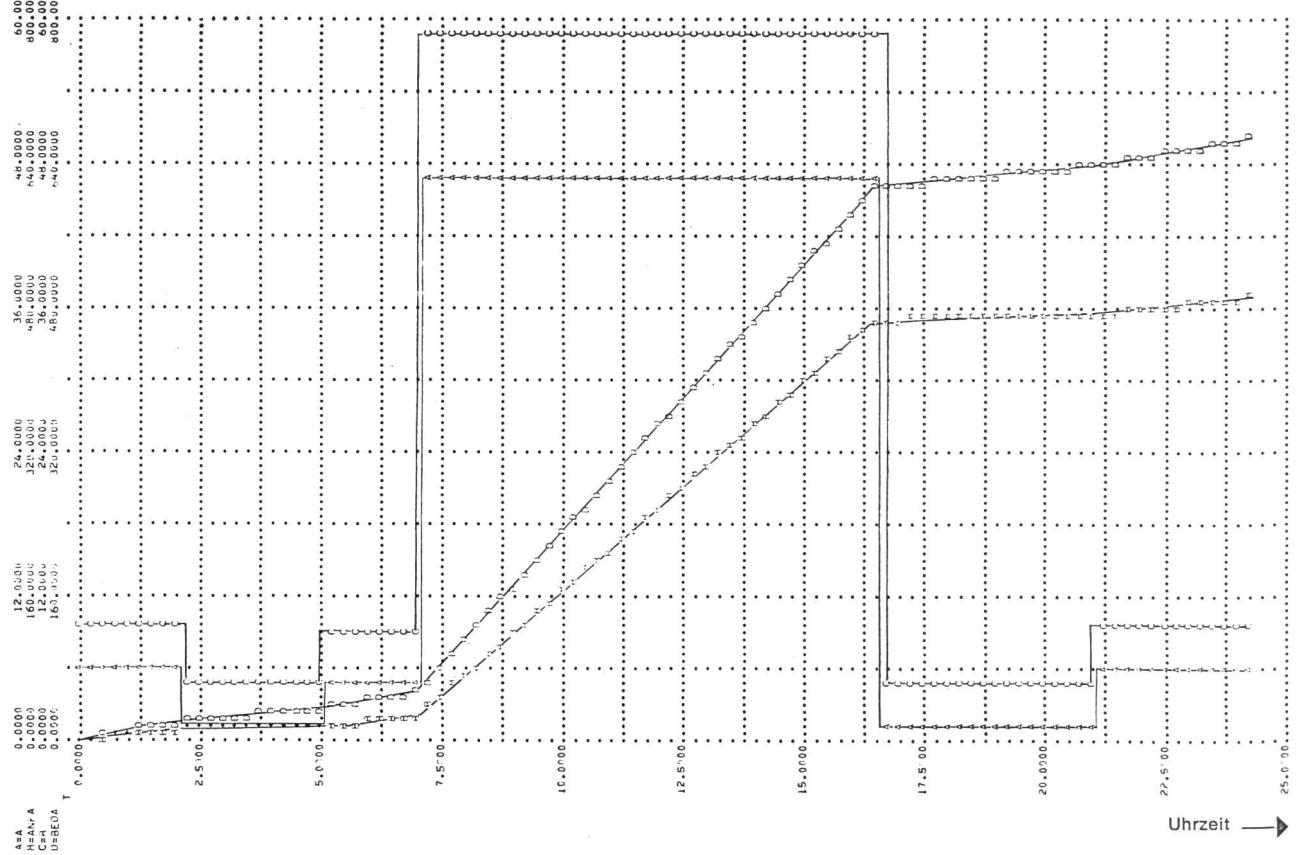


Bild 17 MIMIC-Simulation. Abwasseranfall und Brauchwasserbedarf.

A = Abwasseranfall C = Brauchwasserbedarf

B = Kumulativer Abwasseranfall D = Kumulativer Brauchwasserbedarf

Bild 18 MIMIC-Simulation. Schaltzustände von Pumpen und Ventilen.

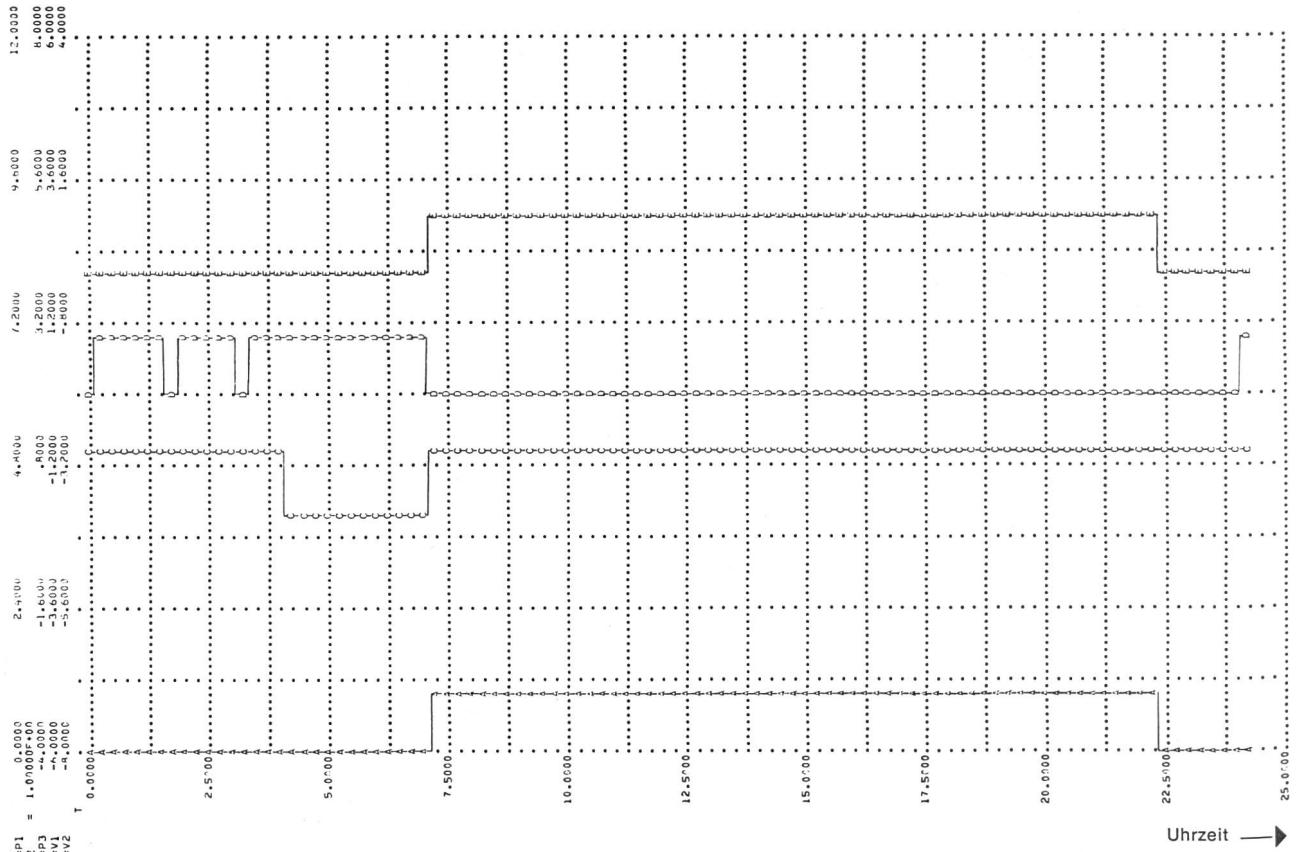


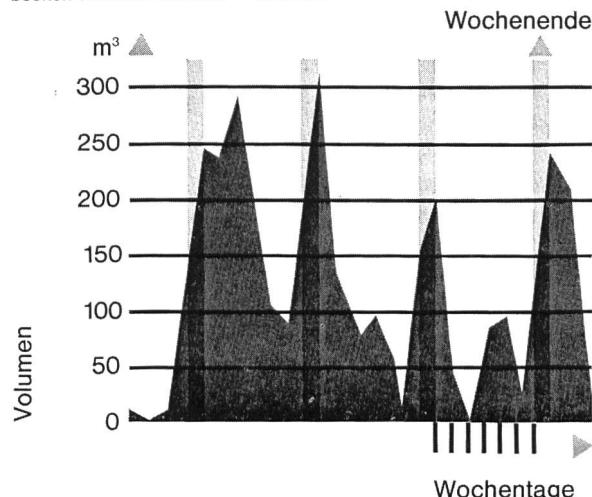
Tabelle 7

Elektroflotation	
Chemikalienkosten	0.63 Fr./m <sup>3</sup>
Energiekosten	0.07
Bedienungs- und Wartungskosten	0.15
Betriebskosten für Abwasserbehandlung	0.85 Fr./m <sup>3</sup>
Umkehrsmose	
Chemikalien-, Energie- und Modulamortisationskosten	0.38 Fr./m <sup>3</sup>
Bedienungs- und Wartungskosten	0.15
Betriebskosten für Brauchwasseraufbereitung	0.53 Fr./m <sup>3</sup>
Verfahrenskombination	
Summe der Behandlungskosten von Elektroflotation und Umkehrsmose	1.38 Fr./m <sup>3</sup>
Frischwaternachspeisung	0.07
Summe der Betriebskosten	1.45 Fr./m <sup>3</sup>

auf Grundlagen, Funktion, Applikation und Beurteilungskriterien erläutert. Die Tauglichkeit der kombinierten Anwendung der Verfahren, die in diesem Sinne eine neue Verfahrenstechnologie darstellt, ist in einer Pilotanlage im Dauerversuch erprobt worden. Diese stellt eine modellgetreue Abbildung der geplanten Grossanlage dar. Es war vor allem wichtig zu erfahren, wie sich die Module, die das Kernstück jeder Umkehrsmoseanlage darstellen und deren Lebensdauer massgeblich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens beeinflussen, im Dauerbetrieb mit Abwasser verhalten. Die erhaltenen Resultate, die auf einem Versuchsbetrieb von total 2700 Stunden basieren, entsprechen den Erwartungen. Sicher sind noch einige Optimierungen und Änderungen bei der Spezifikation der Detail-Verfahrenstechnik notwendig. Es betrifft dies vor allem die weitere Optimierung der Rohwasservorbehandlung für die Umkehrsmose, mit der eine weitere Erhöhung des Modulreinigungsintervales erhofft wird. Auch an der Elektroflotation ist besonders an der Elektrode, zur Verbesserung des Reinigungsintervales ein mechanisches Reinigungssystem vorzuschlagen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einerseits beide Verfahren einzeln bereits seit einigen Jahren erfolgreich im Einsatz stehen und andererseits die Tauglichkeit der beschriebenen Verfahrenskombination mit einer Pilot-

Bild 19 MONTE CARLO-Simulation Entwicklung des Abwasserpufferbecken-Inhaltes während 4 Wochen.



anlage im Dauerversuch erhärtet wurde. Der Bau einer Grossanlage, wie sie das Projekt vorsieht, ist deshalb zu verantworten.

Das Projekt ist mit den zuständigen Behörden vorbesprochen und wurde grundsätzlich akzeptiert. Die Realisierung ist für Mitte der siebziger Jahre vorgesehen. Das Projekt steht zur Zeit in der Bewilligungsphase unserer Unternehmung.

#### REFERENZEN

- Ref. 1:  
Dr. Baer Verfahrenstechnik GmbH.  
Stroofstrasse 50, 623 Frankfurt/Main  
Schweizer Vertretung AGWA AG, Stampfenbachstrasse 103, Zürich
- Ref. 2:  
Gulf Environmental System Div., San Diego, Calif., USA  
Anschrift: AJAX International Corporation, P. O. Box 4007,  
Santa Barbara, Calif. 93103, USA
- Ref. 3:  
SWISSAIR AG, Operation Research CVT, Postfach,  
8058 Zürich-Flughafen

Adresse des Verfassers:  
H. P. Roth, Dipl. Chemiker HTL  
Swissair Engineering, Materialtechnologie, Postfach  
8058 Zürich-Flughafen

## ZUKUNFTWEISENDE AUFGABEN BEI GEWÄSSERSCHUTZ UND LUFTHYGIENE

Hermann Emil Vogel

DK 628.394 + 614.71

Überlegungen und Angaben betreffend Atomkraftwerke basieren weitgehend auf der zweibändigen Publikation der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zum Internationalen Symposium «Die Radioökologie angewendet auf den Schutz des Menschen und seiner Umwelt», vom 7. bis 10. September 1971 in Rom. (Red.).

Probleme des Umweltschutzes sind heute wohl zu einem der zentralsten und dringlichst zu lösenden Anliegen der menschlichen Gesellschaft geworden.

Schon Ende der 60er Jahre schlossen sich die in verschiedenen Sparten des Umweltschutzes, vor allem in den Sektoren des Gewässerschutzes und der Lufthygiene tätigen Organisationen zusammen, um im Rahmen der PRO

AQUA am Sitz der Mustermesse in Basel internationale Fachmessen und Fachtagungen über einschlägige Problemkomplexe zu veranstalten.

Anlässlich der «PRO AQUA/PRO VITA 1974» stehen während der Fachtagung vom 10. bis 14. Juni 1974 folgende Themenkreise zur Diskussion:

- Die Oelfeuerungskontrolle
- FernwärmeverSORGUNGEN
- Kontroll- und Überwachungsaufgaben auf dem Gebiet der Luftreinhaltung
- Thermische Belastung von Gewässern und Beseitigung radioaktiver Abfälle