Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 81 (1989)
Heft: 4-5

Artikel: Mit Membrantechnik zu neuen Zielen in der Reinstwasserherstellung
Autor: Meuli, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940474

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: 24.08.2025

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

Mit Membrantechnik

zu neuen Zielen in der Reinstwasserherstellung

Kurt Meuli

Membrantechnik ist eine junge Technologie mit grossen Zukunftsaussichten. Immer haben solche Technologien und Systeme die besten Überlebenschancen, welche die Natur zum Vorbild haben. Sie allein hat ihre Überlegenheit während mehrerer Milliarden Jahre bewiesen und kann darum für alle technischen Entwicklungen und Prozesse die sinnvollsten Ziele mit der besten Aussicht auf Überlebensfähigkeit setzen.

Die Natur arbeitet im Pflanzen- und Tierreich mit gewaltigen Membranflächen. Mit Membranen grenzt sich jede Zelle gegen den Rest der Welt ab, ohne sich davon zu isolieren. Durch die Membran tauscht die Zelle Energie in Form von Nahrung und Strahlung mit ihrer Umgebung aus, um ihre innere Ordnung und ihr Leben zu erhalten.

Im Vergleich zu den perfekten Membranen der Natur, die praktisch ohne Reibungsverluste arbeiten, muss sich die Technik noch mit unvollendeten Nachahmungen begnügen. Künstliche, industriell hergestellte Membranen werden nie die Perfektion der lebenden Membranen erreichen. Sie müssen mechanisch, chemisch und thermisch resistenter sein als die delikaten und äusserst feinen, oft nur aus einer Moleküllage bestehenden Naturmembranen. Trotzdem: Die Membrantechnik hat bereits eine beachtliche industrielle Reife erlangt und sich schon viele grosse Anwendungsgebiete erobert und nicht nur in der Wassertechnik andere Verfahren verdrängt.

Die Vorteile der Membrantechnik zur Trennung, Konzentrierung, Extraktion und Reinigung wässriger Lösungen und Emulsionen sind bedeutend:

- Wirkung im molekularen Bereich
- isotherme Arbeitsweise mit geringem Energieaufwand
- kontinuierliche Arbeitsweise
- modularer Aufbau

Anwendungen und Einsatz der wichtigsten Membranverfahren werden durch ihre charakteristischen Merkmale bestimmt:

Gegenosmose. Eine wässrige Lösung wird unter Überwindung des osmotischen Druckes und eines nicht zu vernachlässigenden Reibungsverlustes durch eine Membran gepresst. Über 90 bis 98% aller gelösten Stoffe mit einem Molekulargewicht über 100 bis 200 sowie auch ungelöste Stoffe bleiben vor der Membran zurück und werden dabei eingedickt. Für dieses Verfahren wird elektrische Energie zur Erzeugung des treibenden Druckgefälles benötigt, jedoch höchstens geringe Mengen Chemikalien.

Ultrafiltration. Ultrafiltrationsmembranen halten nur grössere Moleküle mit Molekulargewichten über etwa 6000 und gleichzeitig Partikel zurück, beide aber mit einem ausserordentlich hohen «Reinigungsfaktor» von über 10^6.

Elektrodialyse. Im Gegensatz zu den Gegenosmose- und Ultrafiltrationsmembranen enthalten die Membranen der Elektrodialyse fixe, an das Membrangerüst gebundene, funktionelle Gruppen wie die Ionenaustauschharze. Wie bei diesen entsteht darum bei ihrem Eintauchen in Wasser ein Donnan-Effekt, und es werden kationen- und anionenaktive Membranen unterschieden.

Generell sind zur Ermittlung der besten membrantechnischen Lösung einer Trennaufgabe die folgenden Aspekte von Bedeutung:

- die Aufgabenstellung und ihr Umfeld
- der anwendbare Prozess: die zur Verfügung stehende Membran mit ihrer Infrastruktur (Permeator, Modul, Modulstapel) und der zum Betrieb erforderliche Energieaufwand
- die Realisierbarkeit: Durchführbarkeit und Kosten von Engineering, Bau, Betrieb und Unterhalt

Die Wasserbehandlung ist ein typisches Umfeld, in welchem viele Trennaufgaben zu lösen sind, und darum ein wichtiges Anwendungsgebiet der Membrantechnik. Im Rahmen der Gesamtheit aller potentiellen Aufgabenstellungen liegen diejenigen der Wassertechnik verhältnismässig eng beisammen und erlauben darum etablierte, repetitive Lösungen und oft sogar standardisierte Realisationen. Die membrantechnischen Entwicklungen und Problemlösungen der Wassertechnik können für Lösungen in anderen Umfeldern wegweisend sein, geht es doch immer um die Behandlung wässriger Lösungen. Ihre Anwendungen und Realisationen sind für jeden anderen Einsatz Vorbild.

Die Membrantechnik in der Wassertechnik

Mit der Einführung von Hohlfasermembranen Anfang der 70er Jahre wurden der Technik der Wasser- und Abwasseraufbereitung neue Perspektiven eröffnet und weltweit ein enormer Entwicklungsschub in der gesamten Membrantechnik ausgelöst. Heute steht eine Vielfalt ausgereifter Gegenosmose- und Ultrafiltrationsmembranen zur Verfügung, ohne die viele Wasser- und Abwasserprobleme, deren Lösungen zum Stand der Technik gehören, gar nicht mehr gelöst werden könnten.

Dagegen ermöglicht die Elektrodialyse – eine weitere Verfahrensgruppe der Membrantechnik – mit all ihren Varianten und Modifikationen viele neue Prozesse, denen besonders für den Umweltschutz grosse Bedeutung zukommt.

Gegenosmose

Im Vordergrund der Entwicklung stand und steht – aus Gründen der Wirtschaftlichkeit – die Forderung nach mehr Leistung und höherem Salzrückhaltevermögen bei geringerem Druck. Für Composite-Membranen ist bei einem Betriebsdruck von 16 bar ein Salzrückhaltevermögen von 98 bis 99% in einem einzigen Schritt derzeit Stand der Technik.

Aber nicht nur der Entsalzungseffekt macht die Gegenosmose zu einem unverzichtbaren Werkzeug in der Wasser- und Abwasseraufbereitungstechnik, auch die Tatsache, dass gleichzeitig organische, mikrobiologische und partikuläre Stoffe praktisch vollständig entfernt werden, ist für die Wasserqualitätsanforderungen mancher Branchen entscheidend. Ohne diese Eigenschaften wäre die Herstellung von Reinstwasser in der Qualität, wie sie die Mikroelektronik für die Herstellung ihrer stets leistungsfähiger, aber immer kleiner werdenden Komponenten fordert, nicht denkbar.

Aber auch für die traditionellen Aufgaben der Wassertechnik wird die Gegenosmose mehr und mehr eingesetzt, so zum Beispiel:

- für Wasser zur Herstellung von Fruchtsäften, Tafelgetränken, Bier (Brauwasser) und Spirituosen,
- zur Speisung von Dampferzeugern, Sterilisatoren und Destillatoren,
- zur Luftbefeuchtung,
- überall, wo entsalztes Wasser ohne Verwendung von Säure und Lauge erzeugt werden soll,
- als Vorstufe für eine Vollentsalzung bei hohem Salzgehalt des zur Verfügung stehenden Rohwassers,
- zur Trinkwassergewinnung aus Brack- und Meerwasser,
- zur Rückgewinnung von Wasser aus Industrieabwasser

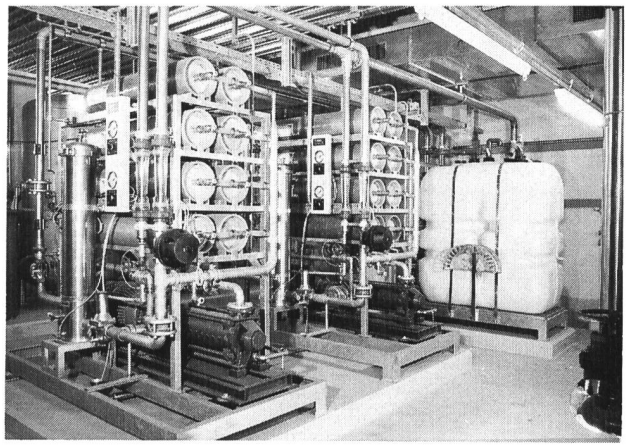

Bild 1. Christ-Osmostil-Gegenosmoseanlage für eine Leistung von etwa 20 m³/h. Solche Anlagen stehen in bewährter, standardisierter Ausführung in feiner Leistungsstufung zur Verfügung.

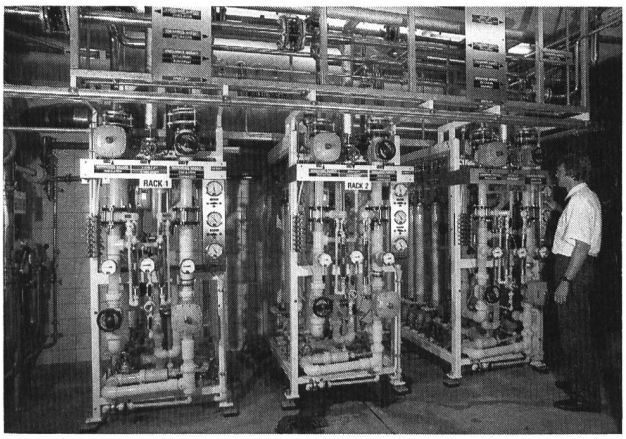

Bild 2. Christ-Ultrastil-Anlage für eine kontinuierliche Leistung von 20 m³/h apyrogenem, sterilem, salzarmem Wasser in einem pharmazeutischen Betrieb. Neben der hohen Temperaturbeständigkeit zeichnen sich die Ultrafiltrationsmodule dieser Anlagen durch hohe mechanische und chemische Beständigkeit und ihre doppelschichtige Membran aus.

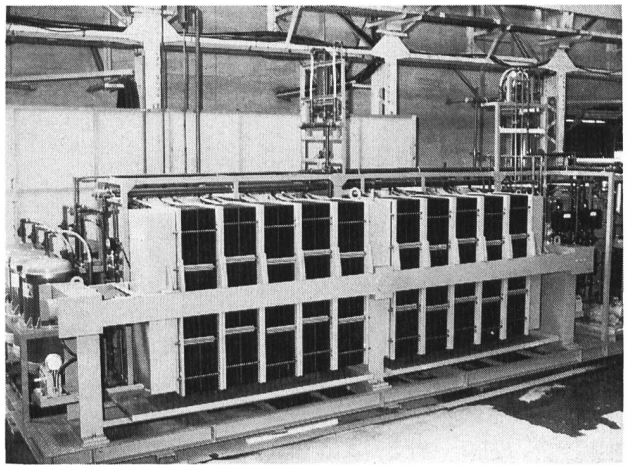

Bild 3. Elektrodialyseanlage.

und/oder

- als Konzentrierungsstufe in Abwasserentsorgungsanlagen zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abwässern.

Die beste Gegenosmose-Anlage (Bild 1) taugt jedoch nichts, wenn die zur Verfügung stehende Rohwasserqualität nicht für die Speisung der Gegenosmose vorbereitet ist. Die Rohwasservorbehandlung ist praktisch allein für die Lebensdauer der Membranen verantwortlich. Sie hat die Aufgabe, Ausfällungen von schwerlöslichen Salzen, Schwebestoffen und Kolloiden auf den Membranen (Verblockung) zu verhindern. Hierfür bietet die moderne Wasseraufbereitungstechnik viele Verfahren an. Die Wahl des geeignetsten Verfahrens hängt primär von der Rohwasserzusammensetzung ab.

Je nach Rohwasserzusammensetzung kann die Vorbehandlung sehr aufwendig sein, und deren Kosten können unter Umständen diejenigen der eigentlichen Gegenosmoseanlage übersteigen. Eine unzureichende Vorbehandlung aber kann die Lebensdauer der Membranen auf einen Bruchteil reduzieren.

Ultrafiltration

Der Einsatz der Ultrafiltration zur Aufarbeitung verbrauchter Ölbäder ist schon seit vielen Jahren Stand der Technik. Sie ermöglicht eine gewaltige Entlastung der Umwelt.

Seit über einem Jahrzehnt wird die Ultrafiltration zur Entfernung von Partikeln, Keimen und Pyrogenstoffen aus vollentsalztem Wasser eingesetzt. Damit kann «Wasser für Injektionszwecke» (aqua ad injectabilia) hergestellt werden; im Vergleich zur traditionellen Destillation zu einem Bruchteil an Investitions- und Betriebskosten. Apyrogenes Wasser kann damit ohne Zwischenlagerung in beinah beliebiger Menge und unter Druck direkt zu den Verbrauchern geführt werden. In bezug auf Keim- und Partikelfiltration ist die «Porenweite» von Ultrafiltrationsmembranen bis zu hundert Mal kleiner (0,01 bis 0,001 μm) als die besten der üblichen Sterilfilterelemente. Sterilfilter sammeln die abfiltrierten Stoffe bis zu ihrem Verstopfen. Im Gegensatz dazu führt die Ultrafiltration die abfiltrierten Stoffe mit einem kleinen Konzentratstrom aus dem System ab.

Diese Merkmale sind für die Pharma- und Elektronikindustrie von grösster Bedeutung. Doch trotz all diesen Vorzügen setzte sich die Ultrafiltration nur schwer durch. Die Gründe hierfür sind bekannt:

Die pharmazeutische Industrie fordert dampfsterilisierbare Anlagen (Ultrafiltrationssysteme konnten bis anhin nur chemisch desinfiziert werden), und die Anforderungen der Elektronikindustrie konnten bis vor kurzen auch mit Sterilfiltern in der Endstufe erfüllt werden. Dies hat sich nun grundlegend geändert. Es werden jetzt heisswasser- und dampfsterilisierbare Ultrafiltrationsanlagen angeboten, die sich auch schon in der Praxis bewährt haben (Bild 2).

Mit solchen modernen Ultrafiltrationsanlagen verfügt die Pharmaindustrie über eine echte Alternative zur Destillation. Mit minimalem Energieaufwand kann apyrogenes Wasser in beliebigen Mengen hergestellt werden.

In der Elektronikindustrie wird die Integrationsdichte der Chips durchschnittlich alle drei Jahre vervierfacht. Entsprechend steigen die Anforderungen an die Qualität des für die Hersteller dieser wichtigen Komponenten unentbehrlichen Reinstwassers. Heisswassersterilisierbare Ultrafiltrationsanlagen in der Endstufe der Reinstwasseranlage sichern diese Qualität.

Elektrodialyse

Mit dem klassischen Elektrodialyseverfahren wird eine wässrige Lösung in eine verdünntere und eine konzentriertere Lösung aufgespalten (Bild 3).

Die älteste Anwendung von kommerzieller Bedeutung ist die Eindickung von Meerwasser vor seiner Verdampfung zur Gewinnung von Speisesalz.

Für die Salzeindickung und auch für die Wasserentsalzung ab einer gewissen Leistungsgrösse ist die Elektrodialyse im Konzentrationsbereich zwischen 500 und 5000 mg/l den anderen Trennverfahren wegen ihrer geringeren Betriebskosten überlegen. Unter einem TDS (Total Dissolved Solids,

Gesamtsalzgehalt) von 500 ppm ist in der Regel der Ionenaustausch und über 5000 ppm die Gegenosmose günstiger. Beide Verfahren haben im Vergleich zur Elektrodialyse den Vorteil, neben den Salzen auch organische Stoffe und Partikel aus dem Wasser zu entfernen. Wenn diese Eigenschaft nicht von Bedeutung ist, richtet sich die Bevorzugung der Elektrodialyse allein nach dem Energieaufwand und dem Kapitaldienst der Investition. Der Bedienungsaufwand ist praktisch derselbe wie für die Gegenosmose.
Die beiden modifizierten Elektrodialyseverfahren, die Elektrohydrolyse und die Diffusionsdialyse, haben in der Abwasserbehandlung nicht nur die meisten, sondern auch die wichtigsten Anwendungen. Diese beiden jungen Verfahren zeichnen sich durch aussergewöhnliche Merkmale aus:

Diffusionsdialyse

Es werden Membranen eingesetzt, mit denen aus sauren, wässrigen, metallhaltigen Lösungen, z.B. verbrauchten Beizbädern, ohne Energie und Chemikalien die Säuren abgetrennt werden können.

Elektrohydrolyse

Diese gestattet unter Einsatz von elektrischer Energie die Auftrennung von Neutralsalzen in ihre Säuren und Laugen. Dies ist damit ein für die Realisation von Stoffkreisläufen prädestiniertes Verfahren.

Die Membrantechnik ausserhalb der Wassertechnik

Merkmale

Der Einsatz der Membrantechnik ausserhalb der eigentlichen Wassertechnik ist dadurch charakterisiert, dass das Know-how über das Umfeld der Aufgabenstellung in der Regel nicht mehr in einer Hand beim Wassertechnologen liegt. Es drängt sich eine Zusammenarbeit verschiedener Branchen auf. Darin kann die Wasseraufbereitungskomponente in der Regel den wesentlichen Anteil übernehmen. Eine Fachfirma dieser Branche, geübt und erfahren in der Membrantechnik, kann

- den geeignetsten Prozess ermitteln und vorschlagen,
- eine Pilotanlage (Bild 4) mit den der Aufgabenstellung angepassten Membranen zur Verfügung stellen, um den vorgeschlagenen Prozess zu testen und Versuchsmengen herzustellen, mit denen die Marktakzeptanz des gewonnenen Produkts geklärt werden kann,
- die Realisierbarkeit quantifizieren, das System, in welchem die Elektrodialyse die Hauptrolle spielt, planen, berechnen, bauen, in Betrieb nehmen und warten.

Potentielle Anwendungen

Ausserhalb der eigentlichen Wassertechnik, welche grundsätzlich Wasser aufbereitet, sei es zu Trinkwasser oder für die verschiedenen industriellen Zwecke in sehr unterschiedlichen, den spezifischen Ansprüchen genügenden Qualitäten, finden membrantechnische Verfahren insbesondere Anwendung

- zur Abwasserbehandlung und
- in industriellen Herstellungsprozessen.

Die Einsatzbereiche bezüglich Temperatur, pH-Wert, Druck und Konzentration sind dieselben wie in der Wassertechnik. Auch die wichtigen Voraussetzungen der Vorbehandlung sind dieselben.
Wo immer es darum geht, Stoffe in wässriger Lösung zu trennen, zu konzentrieren, zu extrahieren oder zu reinigen, können membrantechnische Verfahren in Frage kommen. Gegenosmose und Ultrafiltration müssen dort in Erwägung gezogen werden, wo Stoffgemische aufgrund ihrer Molekül- und Partikelgrösse getrennt oder gereinigt werden müssen, und Elektrodialyse dort, wo Ionenlösungen in eine konzentriertere und eine verdünntere Fraktion aufgeteilt werden müssen.
Insbesondere die Elektrodialyse mit ihren vielen Modifikationen bietet auch ausserhalb der eigentlichen Wasseraufbereitung und der Abwasserbehandlung viele interessante, umweltentlastende Anwendungen. Diese erlauben oft innerhalb der industriellen Herstellungsprozesse die Bildung geschlossener Kreisläufe, so dass gar keine Abfälle entstehen, die behandelt und entsorgt werden müssen. Dabei ist wichtig, dass mit diesen Verfahren nicht nur Konzentrationen verändert, mittels der Diffusionsdialyse Säuren aus sauren Metallösungen abgetrennt und mit der Elektrohydrolyse Neutralsalze gespalten werden können, sondern dass mit einer Variante der Elektrodialyse auch Kationen gegen andere Kationen und Anionen gegen andere Anionen ausgetauscht werden können, und zwar in viel höheren Konzentrationen als durch Ionenaustausch wirtschaftlich tragbar.
Überall, wo klare wässrige Lösungen von Stoffen, zumindest zum Teil als Ionen und vorzugsweise im Konzentrationsbereich zwischen 100 und 5000 mg/l, vorliegen, können mittels der Elektrodialyse oder eines davon abgewandelten Verfahrens die Ionenkonzentrationen verändert oder Kationen und/oder Anionen gegen andere ausgetauscht werden, ohne nichtionogene und partikuläre Lösungsbestandteile entscheidend zu beeinflussen oder um sie von diesen abzutrennen. Typische und erprobte Anwendungsbeispiele der Elektrodialyse und ihrer Modifikationen sind:

- Aufbereitung und Verwertung von Molke. Molke fällt aus der Herstellung von Käse an. Sie kann mit ihrem hohen Gehalt an organischen Stoffen die Abwasserreinigungsanlage sehr stark belasten oder überlasten. Mit der Elektrodialyse ist es möglich, die Mineralsalze der Molke von Proteinen und Laktose zu trennen und die Produkte als Nahrungsmittelzusätze zu verwenden.
- Entsalzung von Melasse und Sirup
- Trennung von Gluconsäure und Glucose
- Trennung von Aminosäuren
- Entsäuerung von Fruchtsäften
- Entsalzung von Gelatine
- Herstellung organischer Säuren
- Die Biotechnologie zum Extrahieren, Konzentrieren, Trennen und Reinigen der Mikroorganismen und ihrer Metaboliten.

Wenn auch für die Elektrodialyse die meisten profitablen und umweltfreundlichen Anwendungen ausserhalb der

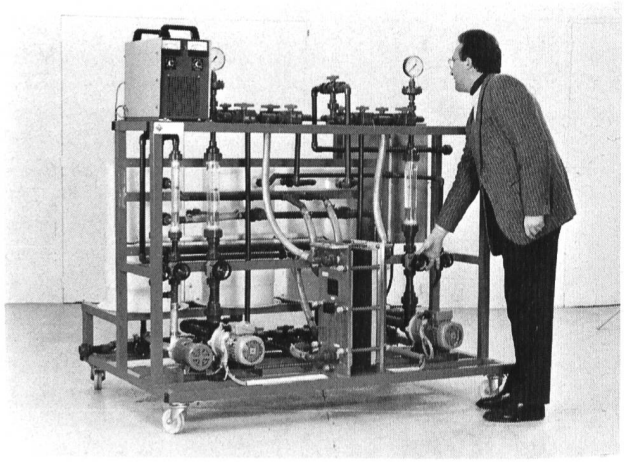

Bild 4. Elektrodialyse-Pilotanlage.

Wassertechnik gegeben sind und dieses Verfahren auch das grösste Potential zur Realisierung geschlossener Kreisläufe in sich birgt, konnten dennoch mittels Gegenosmose einige und bedeutende Anlagen realisiert werden.

Zusammenfassung

Die von der Natur abgeleiteten, technischen Membranverfahren haben trotz ihrer Jugend einen Reifegrad erreicht, der ihnen in der Technik einen wichtigen, nicht durch andere Verfahren zu ersetzenden Platz einräumt.
Zur Herstellung von Reinstwasser, wie es für den derzeitigen Stand der Technik vieler moderner Produkte, insbesondere der Pharma- und der Elektronikindustrie, notwendig ist, sind die Gegenosmose- und die Ultrafiltrationsverfahren unerlässliche Techniken.
Viele industrielle Herstellungsverfahren lassen sich mittels membrantechnischer Verfahren zu geschlossenen Kreislaufverfahren umgestalten. Speziell die Elektrodialyse mit all ihren Variationen ist dazu geeignet, umweltentlastende Recyclingprozesse zu realisieren.
Im Verband mit anderen Verfahren, insbesondere dem Ionenaustausch und der Ozontechnik, bietet die Membrantechnik der Wasserbehandlung viele Möglichkeiten, ihre Probleme besser, wirtschaftlicher und umweltschonender zu lösen.
Die Membrantechnik ist zu einem integrierenden und unverzichtbaren Bestandteil der Wassertechnik geworden.

Adresse des Verfassers: *Kurt Meuli,* Dr. sc. techn. ETHZ, SIA, Christ AG, CH-4147 Aesch.

Der Bau einer riesigen Schutzwand um die Ekofisk-Plattform

Durch die Öl- und Gasgewinnung in der Nordsee ist im Ekofisk-Feld der Meeresboden in den letzten Jahren um 4 m abgesunken, und man rechnet bis zum Jahr 2010 mit weiteren 2 m. Die Philips Petroleum Company stand deshalb vor dem Problem, dass die 1964 dort erbaute und inzwischen durch Rohrleitungen mit Emden, Grossbritannien und Norwegen verbundene Arbeits- und Speicherinsel durch Seegang bedroht werden kann. Um das zu verhindern, wird derzeit um die 85 m hohe Plattform eine 108 m hohe und rund 16 m dicke Schutzwand von 140 m Durchmesser gebaut (Bild 1), für die 20 Jahre Lebensdauer gefordert wird [1 bis 4].
Mit der Ausführung ist die Arbeitsgemeinschaft Peconor Ekofisk betraut, der drei norwegische und zwei niederländische Bauunternehmen angehören. Man rechnet mit nur 18 Monaten Bauzeit. Nach Angebotsabgabe im November 1987 wurde im Februar 1988 der Auftrag erteilt und schon im

Bild 2. Transportweg der Schutzwandteile vom Schiffsdock in Rotterdam nach Norwegen ins Alfjord und anschliessend zur Ekofisk-Plattform.

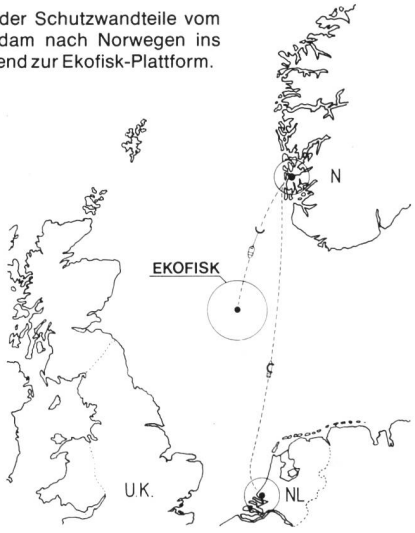

Bild 1. Ekofisk-Plattform vor (oben) und nach dem Einbau der Schutzwand (Fotomontage, unten).

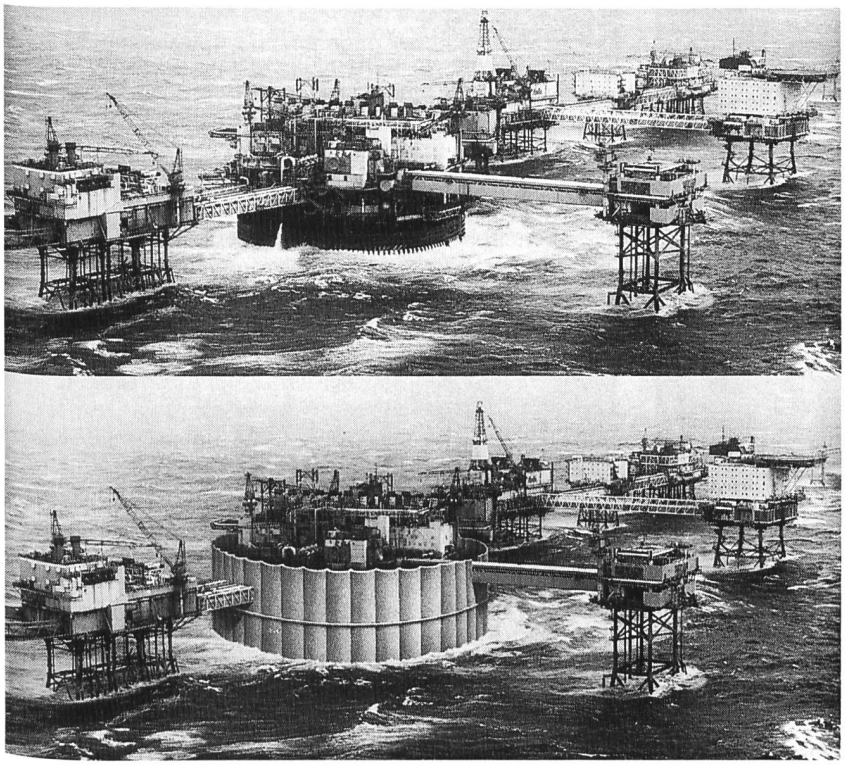

Bild 3. Querschnitt der Schutzwand mit Angaben der Bauabschnitte.

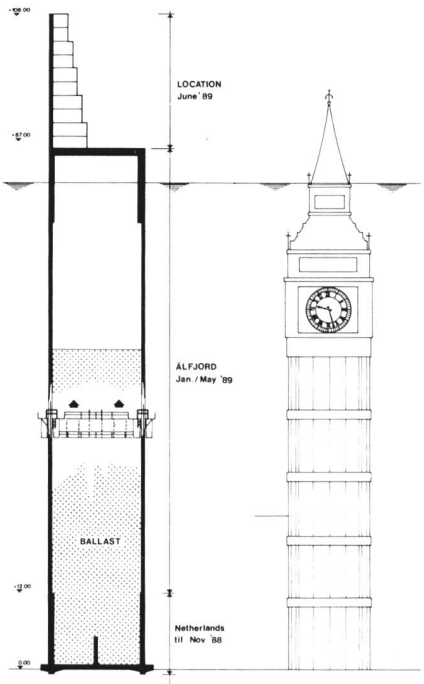

Bild 4. Betonieren des unteren Teils der beiden Wandteilstücke in einem Schiffsdock in den Niederlanden.

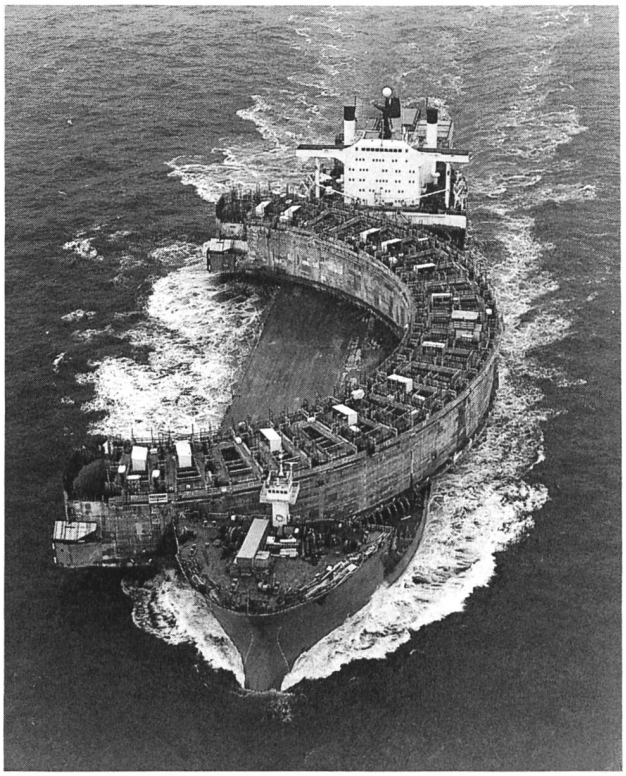

Bild 5. Transport eines der beiden Wandteilstücke mit einem Spezialschiff von Rotterdamm nach Norwegen.

April mit den Bauarbeiten begonnen. Da in Norwegen kein geeignetes Baudock vorhanden ist, wird die in zwei Hälften herzustellende Schutzwand in einem 90 m breiten Schiffsdock im Vorhafen von Rotterdam (Europoort) bis 12 m Höhe in Kletterschalung betoniert (Bild 4). Ihre Bodenplatte ist 18 m breit und 0,75 m dick und die Aussen- und Innenwände der 15,50 m starken Schutzwand 0,75 und 0,60 m dick und die Zellentrennwände 0,50 m. Sie besteht aus Spannbeton B 60 (0/16 mm, 400 kg PZ 450 und 20 kg Silica fume/m³ FB mit Verzögerer und Verflüssiger, W/Z = 0,38, a = 56 cm; 75 N/ mm² Druckfestigkeit nach 28 Tagen) mit einem Bewehrungsanteil von 250 kg Bewehrung/m³ Beton. Für diesen Bauabschnitt sind 18000 m³ Beton, 4500 t Beton- und 1100 t Spannstahl eingebaut worden. Im November 1988 sind die beiden grossen Wandteilstücke mit Spezialschiffen nach Norwegen gefahren worden (Bild 5), wo sie im Alfjord schwimmend in fünf Abschnitten auf 83 m Höhe betoniert werden. Im Juli 1989 werden die beiden Hälften zur Plattform im Ekofisk-Feld geschleppt und dort innerhalb von 72 Stunden als Ummantelung der bestehenden 85 m hohen Plattform eingebaut und miteinander verbunden. Dazu werden die Zellen der doppelwandigen Schutzwand nach dem Zusammenbau zum Stabilisieren teilweise geflutet und mit Kies gefüllt (Bild 3). Anschliessend werden unter Berücksichtigung der zahlreichen Rohrzuleitungen auf die Schutzwand grosse Stahlbetonfertigteile gesetzt (Bild 3) und so wird im Oktober 1989 noch rechtzeitig vor den Herbststürmen die geforderte Höhe von 108 m erreicht (Bild 1 unten). Der Baustoffverbrauch beträgt insgesamt 18000 m³ Beton, 4500 t Beton- und 1100 t Spannstahl. Man rechnet mit Baukosten in Höhe von 345 Mio sFr.

Literatur

[1] Cement *40* (1988) Nr. 5, S. 57
[2] Cement *40* (1988) Nr. 9, S. 8–15
[3] Niederländischer Betontag in Utrecht, 17. November 1988 (Vortrag)
[4] Cement *41* (1989) Nr. 1, S. 8–11.

Adresse des Verfassers: *Gunther Brux,* D-6000 Frankfurt am Main, Schreyerstrasse 13.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe in Abwässern

Bruno Lieberherr

Halogenorganische Verbindungen (zum Beispiel Methylenchlorid, Tetrachloräthylen usw.) gelten als Schadstoffe mit einem hohen Gefährdungspotential gegenüber der Umwelt. Die grosse chemische Stabilität und der intensive Einsatz in Industrie und Gewerbe haben ihnen eine ubiquitäre Präsenz verliehen.

Diese adsorbierbaren, organisch gebundenen Halogene (AOX) wirken bereits ab 100 Mikrogramm je Liter toxisch. Aufgrund der gesetzlichen Auflage darf deshalb dieser Wert von 0,1 mg/l (gemessen als Cl) für die Einleitung in kommunale Kläranlagen nicht überschritten werden.

AOX-Verbindungen kommen vor allem in Chemie-Abwässern, Metallreinigungs- und Sickerwässern vor und sind – da sie unterschiedliche physikalische Eigenschaften haben und oft in Kombination mit anderen Schadstoffen, wie Schwermetallen, Phenolen und emulgierten Kohlenwasserstoffen, anwesend sind – nicht mit einem einzigen Verfahren gesetzeskonform zu behandeln. Bild 1 zeigt das Prinzip des mehrstufigen Envi-Detox-Verfahrens.

Die anorganischen Schadstoffe und organische refraktäre Inhaltsstoffe gelangen zum qualitativen Ausgleich in die Pufferung und Stapelung. Im Durchlauf gelangt das Abwasser kontinuierlich über die Verfahrensstufen Koagulation/Neutralisation. Durch Fällungs-, Umkomplexierungs- und Entgiftungsreaktionen werden die anorganischen und