

Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membran- verfahren und Membranbelebungs- verfahren

November 2007



Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) ist in Deutschland Sprecher für alle übergreifenden Wasserfragen und setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Normung, beruflicher Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten liegt auf der Erarbeitung und Aktualisierung eines einheitlichen technischen Regelwerkes sowie der Mitarbeit bei der Aufstellung fachspezifischer Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Hierzu gehören nicht nur die technisch-wissenschaftlichen Themen, sondern auch die wirtschaftlichen und rechtlichen Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

DCM • Druckcenter Meckenheim

ISBN-13: 978-3-940173-28-7

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2007

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Der vorliegende Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe IG-5.5 „Membrantechnik“ im DWA-Fachausschuss IG-5 „Industrieabwasserreinigung“ erstellt. Der Themenband besteht aus mehreren Teilen.

Teil 1 befasst sich mit den **Membranverfahren** an sich, d. h. dem Einsatz dieser Verfahrensstufe zur Abtrennung von ungelösten, kolloidalen oder gelösten Stoffen.

In **Teil 2** wird auf das **Membranbelebungsverfahren** eingegangen. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Verfahrenseinheit, bestehend aus dem biologischen Abbau im Belebungsbecken und der Abtrennung der Biomasse durch Membranen. Es wird insbesondere auf die Anforderungen und Besonderheiten der Membranbelebungen im Unterschied zum konventionellen Belebungsverfahren eingegangen.

Die Berichtsteile 3 (Membranverfahren) und 4 (Membranbelebungsverfahren) stellen **Praxisbeispiele, Betriebserfahrungen** und **Bemessungshinweise** zusammen.

Verfasser

Der DWA-Arbeitsgruppe gehören folgende Mitglieder an:

BROCKMANN, Martin	Dr.-Ing., Ratingen
BRÜß, Ulrich	Dipl.-Biol., Hertlen
CORNEL, Peter	Prof. Dr.-Ing., Darmstadt (Sprecher)
DEBUS, Oliver	Dr.-Ing., Hamburg
KIEFER, Michael	Dipl.-Ing., Stuttgart
KRAUSE, Stefan	Dr.-Ing., Wiesbaden
KUNZ, Peter M.	Prof. Dr., Mannheim
NEUHAUS, Otto	Dr.-Ing., Bergkamen
PETERS, Thomas	Dr.-Ing., Neuss Prof.
ROSENWINKEL, Karl-Heinz	Dr.-Ing., Hannover (stellvertr. Sprecher)
SCHMIDT, Winfried	Prof. Dr., Gelsenkirchen
THEILEN, Ulf	Prof. Dr.-Ing., Gießen
WAGNER, Frieder	Dr.-Ing., Heuweiler

Unter Mitarbeit von:

ACHTABOWSKI, Annette	Dipl.-Biol., Bergkamen
BRINKMEYER, Jörg	Dipl.-Ing., Oldenburg
KLEGRAF, Ferdinand	Dipl.-Ing., A-Wien
OLES, Volker	Dr.-Ing., Rosdorf
PAULITSCHKEK, Markus	Erkrath
WOZNIAK, Thomas	Dipl.-Ing., Reutlingen

Projektbetreuerin in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

GRABOWSKI, Iris	Dipl.-Ing., Hennef
-----------------	--------------------

Abteilung Abwasser und Gewässerschutz

Inhalt Teil I: Membranverfahren

Vorwort	3
Verfasser	3
Bilderverzeichnis Teil I	5
Tabellenverzeichnis Teil I	5
1 Einleitung	8
2 Bestimmung des Membranverfahrens	10
2.1 Bestimmung der erforderlichen Trenngrenzen.....	10
2.2 Bestimmung des Membranmaterials.....	11
2.3 Bestimmung des Membranmoduls.....	13
2.4 Bestimmung der Betriebsweise von Membrananlagen.....	15
3 Einsatzbeispiele	17
4 Projektierung von Membrananlagen	18
4.1 Grundlagenermittlung.....	18
4.2 Projektierung und Bemessung	18
4.2.1 Vorversuche im Labormaßstab	18
4.2.2 Pilotversuche vor Ort.....	18
4.2.3 Anlagenplanung	19
5 Bewertungskriterien zur Auswahl einer Membrananlage	20
5.1 Technische Bewertung eines Membranverfahrens hinsichtlich Einsatz und Vollständigkeit... ..	20
5.1.1 Definition der Aufgabenstellung	20
5.1.2 Material- und Stoffströme beim Betrieb einer Membrananlage	20
5.1.3 Verwendung bzw. Entsorgung der entstehenden Produkte.....	21
5.1.4 Vorreinigung	21
5.1.5 Technische Ausführung.....	21
5.1.6 Redundanzen	21
5.1.7 Referenzen/Ähnliche Anwendungen.....	21
5.2 Betriebskosten.....	22
5.2.1 Betriebsmittel.....	22
5.2.2 Betriebshilfsmittel	22
5.2.3 Personalkosten.....	22
5.2.4 Lebensdauer und Membranersatz	22
5.3 Änderungen der Bedingungen bei Betrieb der Anlage	23
5.4 Sonstige Punkte	23
5.4.1 Störungen.....	23
5.4.2 Vorversuche	23
6 Fragebogen Prozessdatenerhebung	24
6.1 Beschreibung der Trennaufgabe, die mit einem Membranverfahren gelöst werden soll	24
6.2 Zur Bewertung bzw. zur Integration eines Membranverfahrens in ein Gesamtbehandlungskonzept	25
6.3 Fragen zur Anlagenauslegung	26
6.4 Anforderungen an Ausführung und Bau der Membrananlage	26
Anhang	27
7 Weitergehende Literatur	28

Bilderverzeichnis Teil I

Bild 1:	Schematische Darstellung des Grundprinzips eines Membranverfahrens.....	8
Bild 2:	Zuordnung der Membran- und Filtrationsverfahren	8
Bild 3:	Querschnitt durch eine Phaseninversionsmembran am Beispiel einer UF – Hohlfasermembran	11
Bild 4:	Prinzipieller Aufbau (links) einer Kompositmembran und Schnitt (rechts) durch eine Kompositmembran	12
Bild 5:	Stirnseitige Ansicht eines Rohrmoduls mit 5,5 mm – Rohrmembranen (Foto: X-Flow)	14
Bild 6:	Abbildung eines Kissenmoduls (Typ Rochem FM).....	14
Bild 7:	Prinzipieller Aufbau eines Spiral – Wickelmoduls.....	15
Bild 8:	Abhängigkeiten bei der Membran- und Modulauswahl.....	16
Bild 9:	Material- und Stoffströme beim Betrieb einer Membrananlage	20

Tabellenverzeichnis Teil I

Tabelle 2.1:	Membranverfahren und deren Einsatzbereiche.....	10
Tabelle 2.2:	Übersicht der gängigsten Membranmaterialien für die verschiedenen Membranverfahren	12
Tabelle 2.3:	Eigenschaften und Anwendungsgebiete verschiedener Modulformen	13

Inhalt Teil II: Membranbelebungsverfahren

Bilderverzeichnis Teil II.....	6
1 Allgemeines	30
2 Konstruktiver Aufbau	31
2.1 Anordnung.....	31
2.1.1 Getauchte Membranmodule	31
2.1.2 Trocken aufgestellte Membranmodule.....	32
2.2 Deckschichtkontrolle	32
2.2.1 Deckschichtkontrolle bei getauchten Systemen	32
2.2.2 Deckschichtkontrolle bei trocken aufgestellten Systemen.....	32
2.2.3 Generell.....	33
2.3 Reinigungsstrategien	33
2.4 Konstruktiver Hinweis.....	36
3 Anforderungen an den Zulauf.....	37
3.1 Allgemeines.....	37
3.2 Mechanische Vorbehandlung	37
3.3 Misch- und Ausgleichsbecken	37
3.4 Calcium-Gehalt	38
3.5 Eisen- und Aluminiumgehalt	38
4 Bemessungshinweise für Membranbelebungsanlagen.....	38
4.1 Allgemeines.....	38
4.2 Flächenbedarf	39

Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser

4.3	Eliminationsraten.....	39
4.4	Belüftung	40
4.5	Hydraulik.....	41
4.5.1	Flexibilität.....	41
4.5.2	Rezirkulation.....	41
4.6	Temperatureinfluss.....	41
5	Besonderheiten von Membranbelebungsanlagen.....	42
5.1	Schlammigenschaften	42
5.1.1	Schlammcharakterisierung.....	42
5.1.2	Rheologische Eigenschaften.....	42
5.1.3	Abrasivstoffe	43
5.1.4	Überschussschlammproduktion	44
5.1.5	Schlammbehandlung.....	44
5.1.6	Schaumbildung.....	44
6	Wirtschaftlichkeit	45
6.1	Definition der Wirtschaftlichkeit	45
6.2	Investition/Kapitalkosten.....	45
6.3	Betriebskosten.....	45
6.4	Kostenrelevante Faktoren im Vergleich	46
	Verwendete und weiterführende Literatur	47

Bilderverzeichnis Teil II

Bild 1:	Schematischer Vergleich des konventionellen Belevungsverfahrens mit dem Membranbelevungsverfahren	30
Bild 2:	Anordnung der getauchten Membranmodule im aeroben Teil des Belevungsbeckens	31
Bild 3:	Anordnung der getauchten Membranmodule in einem externen Filtrationsbecken	31
Bild 4:	Anordnung der trocken aufgestellten Membranmodule	32
Bild 5:	Qualitativer Zusammenhang zwischen erforderlicher Membranfläche, Energiebedarf und Fluss	33
Bild 6:	Abhängigkeit des α -Wertes vom Feststoffgehalt	40
Bild 7:	TS-Gehalt vs. Viskosität bei einem Schergefälle von 40 s^{-1}	43

DWA- Themen

Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membranverfahren und Membranbelebungsverfahren Teil 1: Membranverfahren

November 2007



Herausgeber und Vertrieb:
Deutscher Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Teil I: Membranverfahren

1 Einleitung

Membranverfahren sind rein physikalisch arbeitende Verfahren zur Stofftrennung, bei denen das zu behandelnde Abwasser oder Prozesswasser in gereinigtes Wasser (Filtrat- bzw. Permeat) und eine aufkonzentrierte Phase (Konzentrat) getrennt wird. Die Triebkraft für die Trennoperationen ist die transmembrane Druckdifferenz. Diese druckgetriebenen Verfahren unterscheiden sich in der Höhe der Druckdifferenz. Membranverfahren mit anderen Triebkräften, wie z. B. einem elektrischen Feld oder einer Konzentrationsdifferenz, sollen hier nicht diskutiert werden.

Im Gegensatz zu der konventionellen Filtrationstechnik erlauben druckgetriebene Membranverfahren eine Trennung bis in den molekularen Bereich.

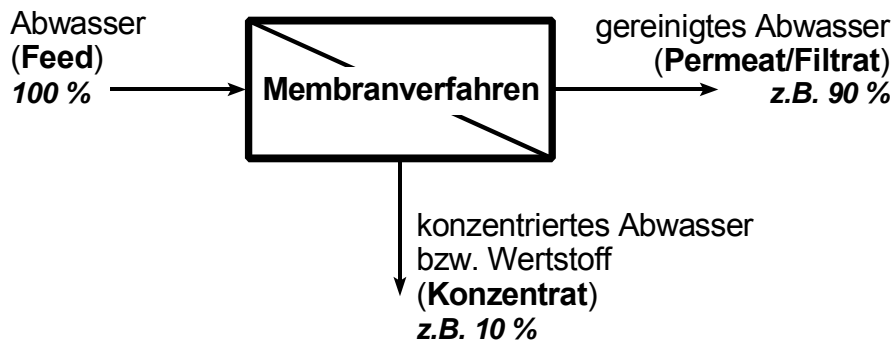


Bild 1: Schematische Darstellung des Grundprinzips eines Membranverfahrens

Für den Erfolg eines Membranverfahrens sind zwei Eigenschaften von zentraler Bedeutung:

- Die **Selektivität** der Membranen, d. h. ihre Fähigkeit, zwischen den Komponenten einer Mischung zu unterscheiden (z. B. zwischen Öl und Wasser oder zwischen Ionen und Wasser). Die Membran setzt dabei dem Transport verschiedener Komponenten unterschiedliche Widerstände entgegen.
- Die **Leistungsfähigkeit** der Membranen (oft Membranflux genannt), d. h. der zu erzielende Permeat- bzw. Filtratfluss (üblicherweise in $L/(m^2 \cdot h)$) angegeben) unter bestimmten Betriebsbedingungen.

Bild 2 zeigt die Einordnung der Membranverfahren als Funktion der Partikel- bzw. Molekülgröße und der Druckdifferenz.

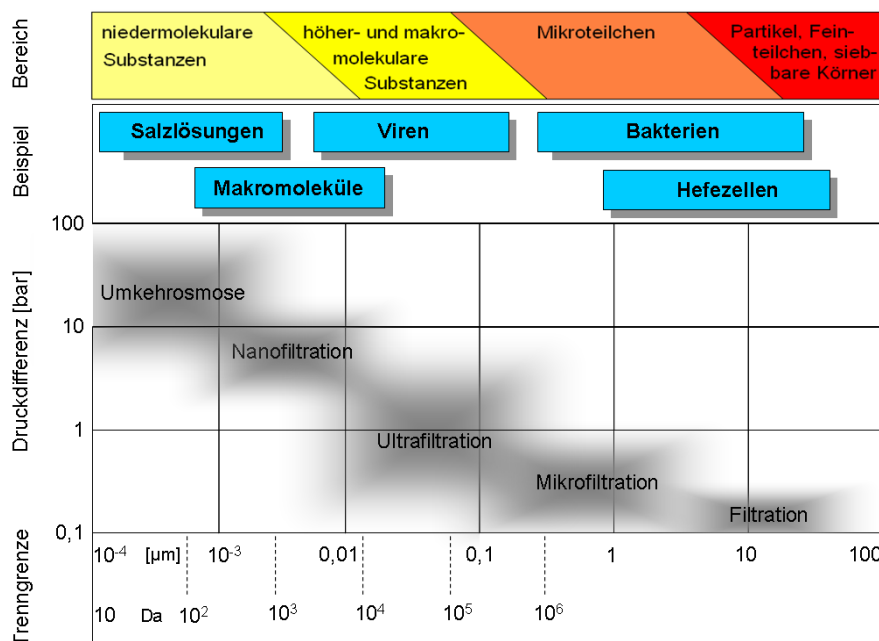


Bild 2: Zuordnung der Membran- und Filtrationsverfahren

Mit Membranverfahren können Inhaltsstoffe wie z. B.

- Feststoffe,
- gelöste Stoffe,
- kolloidale Stoffe und
- Flüssigkeiten einer zweiten Phase

abgetrennt werden.

Unabhängig vom Verfahren bzw. der Trennaufgabe können mit Hilfe der Membrantechnik unterschiedliche Behandlungsziele verfolgt werden, die wirtschaftlich interessant sind.

Diese können sein:

- 1) Reinigung des Wassers, z. B. zur
 - Einhaltung von Einleitgrenzwerten
 - Wiederverwendung
- 2) Konzentrierung der Inhaltsstoffe, z. B. zur
 - Wertstoffrückgewinnung
 - Reduzierung der Entsorgungskosten

Zum Verständnis der Selektivität von Membranen wurden Modelle entwickelt, die sich für einen groben Überblick auf zwei Grenzfälle verdichten lassen. Man unterscheidet die sogenannten Lösungs-Diffusions-Membranen (Umkehrosmose, Nanofiltration) und die Porenmembranen (Mikro- und Ultrafiltration).

- Die **Lösungs-Diffusions-Membranen** besitzen eine homogene, mit einem Gel vergleichbare Trennschicht. Um die Membran passieren zu können, muss der Stoff sich im Membranmaterial lösen. Die Selektivität beruht demzufolge auf der unterschiedlichen Löslichkeit und der unterschiedlichen Durchtrittsgeschwindigkeit der zu trennenden Substanzen durch das Membranmaterial. Der Stofftransport durch die Membran erfolgt nach den Gesetzen der Diffusion (Fick'sches Gesetz). Triebkraft für die gelösten Stoffe bei allen diffusionskontrollierten Membranprozessen ist die Differenz des chemischen bzw. elektrochemischen Potentials zu beiden Seiten der Membran, während die Triebkraft für das Lösungsmittel, d. h. das Wasser die Druckdifferenz ist. Dieses Modell beschreibt die Trennwirkung von **Umkehrosmosemembranen**. Für die Beschreibung der Trenneigenschaften von **Nanofiltrationsmembranen** sind zusätzlich elektrochemische Wechselwirkungen mit der in der Regel negativ geladenen Membranoberfläche zu berücksichtigen.
- Die **Porenmembranen** besitzen eine poröse Struktur mit Kanälen. Die Selektivität beruht auf einem Siebeffekt, der durch die Porengrößenverteilung der Membranen bestimmt wird. Der Stofftransport erfolgt rein konvektiv nach den Gesetzen der laminaren Kapillarrohrströmung (Hagen-Poiseuille-Gesetz) als Resultat der Druckdifferenz zwischen beiden Seiten der Membran. Dieses Modell beschreibt theoretisch die Trennwirkung von **Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen**. In der Praxis werden diese Prozesse jedoch in aller Regel von einer Deckschicht kontrolliert. Diese Deckschicht („Sekundärmembran“) bildet sich aus den vor der Membran aufkonzentrierten Inhaltsstoffen.

Bedingt durch die sich beim Betrieb rohwasserseitig vor der Membran einstellende Aufkonzentrierung der von der Membran zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe können auf der Membranoberfläche und an den Komponenten der Membran-Elemente bzw. des Membran-Moduls folgende Effekte auftreten, die sich negativ auf die Leistungsfähigkeit einer Membrananlage auswirken:

- Scaling** = Ablagerung anorganischer Wasserinhaltsstoffe nach deren Ausfällung durch Übersättigung, Kristallbildung
- Fouling** = Deckschichtbildung durch organische Wasserinhaltsstoffe
- Biofouling** = Ausbildung eines Biofilms der u. a. durch Mikroorganismen gebildet wird