



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 660 852 A5

⑤① Int. Cl.⁴: B 01 D 59/14
C 08 J 5/22
C 02 F 1/42

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 6828/82

㉗ Inhaber:
Aligena AG, Basel

㉔ Anmeldungsdatum: 23.11.1982

㉔ Erfinder:
Perry, Mordechai, Dr., Petach Tikvah (IL)
Kotlaro, Reuven, Rehovot (IL)
Linder, Charles, Dr., Rehovot (IL)
Aviv, Gershon, Dr., Tel Aviv (IL)

㉔ Patent erteilt: 29.05.1987

㉔ Patentschrift
veröffentlicht: 29.05.1987

㉔ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Dynamische Membranen, die sich als dünne Polymerschichten auf porösen, polymeren Trägermaterialien befinden.**

⑤⑦ Dynamische Membranen werden erhalten, indem man auf einem porösen, polymeren Trägermaterial ein hydrophiles Polymer aus einer verdünnten wässrigen Lösung abscheidet und den entstandenen dünnen Membranfilm mit einer polyfunktionellen niedermolekularen Verbindung vernetzt. Dieser Membranfilm ist ausserdem chemisch mit dem porösen Trägermaterial verbunden, da sowohl das Trägermaterial als auch das hydrophile Polymer reaktive Gruppen enthalten, die miteinander reagieren können.

Diese Membranen zeigen ein sehr gutes Durchflussverhalten (Flux), neben einem guten Rückhaltevermögen. Chemische Resistenz sowie mechanische Stabilität sind gut. Die Membranen können in Membrantrennverfahren eingesetzt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Dynamische Membran, die sich als dünne Polymer-schicht auf einem porösen, polymeren Trägermaterial befindet, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial und die Membran chemisch miteinander verbunden sind und die Membran mit polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen vernetzt ist.

2. Membran nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse, polymere Trägermaterial aus mit reaktiven Gruppen chemisch modifizierter Cellulose, Polymeren auf Basis von Polyvinylalkoholen, Polyacrylnitrilen, Polystyrolen oder Polysulfonen besteht, wobei diese Polymeren gegebenenfalls vorvernetzt sind.

3. Membran nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen ionisch sind.

4. Verfahren zur Herstellung von dynamischen Membranen auf porösen, polymeren Trägermaterialien nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man

(a) auf den Trägermaterialien Polymere aus verdünnten wässrigen Lösungen unter Druck abscheidet, wobei die Trägermaterialien und die Polymeren reaktive Gruppen enthalten, die miteinander zur Reaktion gebracht werden, und

(b) die schichtförmig auf den Trägermaterialien abgeschiedenen Polymeren mit polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen vernetzt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass man

(a) die Polymeren, gegebenenfalls zusammen mit polyfunktionellen niedermolekularen, vorzugsweise nichtionischen Verbindungen aus den verdünnten Lösungen unter Druck abscheidet, und

(b) die abgeschiedenen Polymeren vernetzt.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass man die Vernetzung in Stufe (b) mit ionischen polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen durchführt.

7. Verwendung der Membran nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zur Trennung von ionogenen Substanzen von nichtionogenen Substanzen.

Die vorliegende Erfindung macht Gebrauch von dem Phänomen der Konzentrationspolarisation unter Druck, um einen dünnen Film eines hydrophilen Polymers auf einem Membranträger aus einem insbesondere modifizierten Polymer abzuscheiden, wobei dieser dünne Film einerseits chemisch mit dem Träger verbunden und andererseits selbst vernetzt wird.

Die Konzentrationspolarisation ist ein bekanntes Phänomen bei der Ultrafiltration (UF), Umkehrosmose (UO) und in der Elektrochemie. Dieses Phänomen beschreibt die Konzentration von gelösten, von der Membran zurückgehaltenen Molekülen auf der Konzentratseite einer Membran bei einem Osmose-/Filtrationsvorgang.

In den allermeisten Fällen ist diese Konzentrationspolarisation unerwünscht, da sie die Effizienz der Trennung (Flux/Rückhalt) beeinträchtigt. (W.F. Blatt et al. in *Membrane Science and Technology*, Herausgeber: J.E. Flinn, Seiten 47–97, Plenum Press, 1970).

In einigen Fällen ist es jedoch möglich dieses Phänomen zur Herstellung von Membranen zu verwenden, die einzigartige Eigenschaften aufweisen. Als geeignetes Beispiel sei die Bildung von sogenannten dynamischen Membranen genannt, wobei eine dünne Trennschicht auf einem Trägerma-

terial ausgebildet wird, indem man aus einer verdünnten Polymerlösung das Polymer als dünnen Film abscheidet. (D.G. Thomas, *Reverse osmosis and synthetic membranes*, Herausgeber: S. Sourirajan Seiten 295–312, NRCC Publications, (1977)). Als Beispiel für ein solches Verfahren ist die Beschichtung eines porösen Kunststoffträgers mit Polyacrylsäure beschrieben (Johnson, Minturn und Wadia in *J. of Electro-analytical Chem.*, 37, 267, 1972).

In einem anderen Beispiel wurden Polyamine mit Hilfe der Druckfiltration auf Kollodium abgeschieden, wobei eine 3,6%ige Lösung von Polyvinylamin-Hydrochlorid, die ausserdem 1 molar an Kochsalz und auf einen pH-Wert von 8,7 abgepuffert war, durch eine aktivierte Kollodiummembran filtriert und so das Polymer an das Trägermaterial gebunden wurde (E. Hoffer, O. Kedem, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop.*, Vol. 11, No. 2, 1972). Gemäss diesem Beispiel wurde das Eindringen des Polyvinylamins in die Poren des Trägermaterials nicht verhindert; ferner wurde die Polyvinylaminschicht auch nicht vernetzt (zur Verbesserung der Stabilität der Membran ist eine solche Vernetzung jedoch angebracht).

Im Gegensatz zu diesen literaturbekannten Massnahmen, Polymere unter Druck auf Trägermaterialien abzuscheiden, um so die Eigenschaften von Membranen und/oder Trägermaterialien zu verändern, wird in der vorliegenden Erfindung der Druck dazu benutzt, die Bildung eines Films, der aus verdünnter Lösung auf einem Trägermaterial abgeschieden wird, sowie an dieses Material chemisch gebunden und vernetzt wird, zu kontrollieren, um Membranen mit gutem Flux und hohem Rückhalt herzustellen.

Membranen aus modifizierten Polymeren, zu deren Herstellung u.a. auch die Beschichtung einer Reaktivgruppen enthaltenden Polymermembran mit einem hydrophilen Polymer gehört, sind z. B. aus den publizierten europäischen Patentanmeldungen Nrn. 25 973, 26 319, 47 953 und 61 424 bekannt. Das Ausgangsmaterial für Membranen, die so modifiziert sind, sind cellulosische Polymere, wie z. B. Celluloseacetate, (Co)polymere auf Basis von Acrylnitril, Polyvinylalkohole oder Polysulfone.

Das Polymer wird auf die Membranen in der Regel so aufgebracht, dass man diese in die Polymerlösung eintaucht, wobei naturgemäss nur eine unzureichende Kontrolle bezüglich der Dicke des gebildeten (abgeschiedenen) Films oder der Penetration des Polymers in die Poren der Membran ausgeübt werden kann.

Um einen besonders hohen Rückhalt (z. B. 99% für den Farbstoff der Formel (108) zu erreichen, ist eine relativ hochkonzentrierte Polymerlösung (5 bis 20 Gew.-%) notwendig. Obwohl dieser hohe Rückhalt erreicht werden kann, sind diese Membranen nicht optimal, da die notwendige dicke Polymerschicht (notwendig um den guten Rückhalt zu erreichen) und insbesondere auch die Penetration des Polymers in die Poren der Membran, nur einen relativ geringen Durchfluss (Flux) gestatten.

Es wurde nun gefunden, dass man mit Hilfe der Konzentrationspolarisation unter Druck die Penetration der Polymeren (z. B. von Polyäthylenimin – PEI) in die Poren einer Membran kontrollieren und insbesondere so vermindern kann, dass die Membranen neben einem guten Rückhalt auch einen hervorragenden Durchfluss aufweisen. Die erfindungsgemässen Membranen enthalten aufgrund dieser Massnahmen nur sehr dünne Oberflächenfilme; diese sind ausserdem chemisch mit dem Membranträger verbunden.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist daher eine dynamische Membran, die sich als dünne Polymerschicht auf einem porösen, polymeren Träger befindet, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial und die Membran chemisch miteinander verbunden sind und die Membran mit

polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen vernetzt ist.

Weitere Gegenstände der vorliegenden Erfindung sind Verfahren zur Herstellung der dynamischen Membran bzw. der Kompositmembran aus dynamischer Membran und porösem Trägermaterial (Trägermembran), sowie auch die Verwendung dieser Membranen in Ultrafiltrations/Umkehrosmoseverfahren zur Trennung von ionogenen von nichtionogenen Substanzen, z. B. bei der Reinigung und Konzentrierung von Flüssigkeiten, etwa bei der Trennung von (anorganischen) Salzen von organischen Verbindungen oder bei der Reinigung von Abwässern.

Das erfindungsgemässe Verfahren kann dazu verwendet werden, Ultrafiltrationsmembranen oder mikroporöse Membranen (Trägermembranen) beispielsweise mit durchschnittlichen Porengrössen von 1 bis 500 nm, vorzugsweise 2 bis 20 nm, so zu modifizieren, dass man Membranen mit gutem Rückhaltevermögen und ausgezeichnetem Durchfluss erhält. Die Porengrösse der erfindungsgemässen (erfindungsgemäss modifizierten) Membranen kann mit etwa 0,1 bis 20 nm, insbesondere 0,5 bis 5 nm, angegeben werden.

Bei den erfindungsgemässen Membranen handelt es sich um dynamische (dynamisch hergestellte) (Komposit)Membranen, aus gegebenenfalls chemisch modifizierten Polymeren und porösen Trägermaterialien, auf die eine dünne feinporeige Membranschicht aufgebracht ist, die chemisch mit dem Träger verbunden ist.

Die erfindungsgemässen Membranen setzen sich also zusammen aus einem dünnen, vernetzten, insbesondere hydrophilen Film, der über chemische Bindungen an eine dickere Membran gebunden ist, die Poren mit grösseren Öffnungen aufweist. Die dünne hydrophile Schicht verbessert die Rückhalteigenschaften der Membran und erhöht die Trennkapazität bei der Trennung von z. B. einwertigen niedermolekularen Salzen von mehrwertigen Salzen oder höhermolekularen Verbindungen. So zeigen die erfindungsgemässen Membranen z. B. einen Flux, der 2–3mal grösser ist, als bei Membranen mit vergleichbarem Rückhalt.

Die Vernetzung der einzelnen Bestandteile der Membran sowie auch ihre Vernetzung untereinander verleiht der Membran die angegebene Stabilität, insbesondere gegen Lösungsmittel und mechanischen Druck und verhindert ausserdem ein Abtrennen einzelner Schichten innerhalb der Membran.

Die erfindungsgemässen dynamischen Membranen sind

(a) durch Beschichtung eines porösen, polymeren Trägermaterials, mit einem Polymer aus einer verdünnten wässrigen Lösung unter Druck, wobei das Trägermaterial und das Polymer reaktive Gruppen enthalten, die untereinander reagieren können, und

(b) Vernetzung des schichtförmig auf dem Trägermaterial vorliegenden Polymers mit polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen erhältlich.

Das Herstellungsverfahren für die Herstellung der erfindungsgemässen Membranen ist also dadurch gekennzeichnet, dass man

(a) auf den Trägermaterialien Polymere aus verdünnten wässrigen Lösungen unter Druck abscheidet, wobei die Trägermaterialien und die Polymeren reaktive Gruppen enthalten, die miteinander zur Reaktion gebracht werden, und

(b) die schichtförmig auf den Trägermaterialien abgeschiedenen Polymeren mit polyfunktionellen niedermolekularen Verbindungen vernetzt.

Die Bildung des Membranfilms kann auch mit verdünnten wässrigen Lösungen durchgeführt werden, die das Polymer und die polyfunktionellen niedermolekularen, vorzugsweise nichtionischen Verbindungen enthalten.

Durch das erfindungsgemässe Verfahren zur Herstellung der Membranen wird

– die Abscheidung eines dünnen (Membran)-Films aus einem Polyelektrolyten oder aus einem hydrophilen, reaktiven Polymer erreicht, ohne dass diese (in störender Menge) in die Poren des Trägermaterials eindringen;

– die Herstellung gleichmässiger Membranfilme von geringerer Dicke erreicht, als bisher möglich;

– eine gute und gleichmässige Vernetzung des Polyelektrolyten des hydrophilen Polymers und damit eine verbesserte chemische/mechanische Stabilität erreicht.

Die (kontrollierte) Abscheidung des Membranfilms erfolgt aus verdünnten Polymer/Polyelektrolytlösungen unter Druck, wodurch die Dicke des Films, seine Gleichmässigkeit und die (mögliche) Penetration in das Trägermaterial überwacht werden. Parameter, die für diese Variablen verantwortlich sind, sind z. B. die Konzentration der Polymerlösung, der angewandte Druck, die Zeit und die Grössenrelation Polymerpartikel/Porengrösse des Trägermaterials und der sich daraus ergebende Rückhalt des Polymers (Abweisung des hydrophilen Polymers durch das poröse Trägermaterial).

Einige Bedingungen, die für die Herstellung der erfindungsgemässen Membranen von Bedeutung sein können, sind die folgenden:

1. Die Porengrösse der Trägermembran wird vorzugsweise so gewählt, dass die Membran das Polymer, das zur Beschichtung (Filmbildung) (z. B. PEI) verwendet wird, zu etwa 98% zurückhält.

2. Das Molgewicht des Polymers soll gross genug sein, um nicht in die Poren des Trägers eindringen zu können (folgt aus (1.)).

3. Die Polymerlösung soll nur eine geringe Konzentration (z. B. weniger als 1%) aufweisen.

4. Das Vernetzungsmittel kann teilweise oder ganz zusammen mit dem Polymer (in der Polymerlösung) eingesetzt werden, wobei ein nachträglicher getrennter Vernetzungsschritt gegebenenfalls nicht nötig ist. Für die Anwendung des Vernetzungsmittels zusammen mit dem Polymer werden vorzugsweise nichtionische polyfunktionelle Verbindungen eingesetzt. Der Vernetzungsschritt (b) kann zusätzlich zu dieser sogenannte Vorvernetzung erfolgen (mit vorzugsweise ionischen polyfunktionellen Verbindungen) oder auch unterbleiben.

Gemäss diesem Verfahren können Membranen hergestellt werden, die einen ausgezeichneten Flux im Bereich der molekularen Ausschlussgrenzen (Trenngrenzen) von 300 bis 2000 aufweisen. Beispielsweise sei erwähnt, dass mit bekannten Membranen für den Farbstoff der Formel (108) ein Rückhalt bis 99% bei einem Flux von 500 bis 1400 l/m² · d bei 20 bar erreicht werden kann, während mit den erfindungsgemässen Membranen Fluxwerte von 2000 bis 3500 l/m² · d und den gleichen Bedingungen möglich sind.

In den bekannten Verfahren zur Herstellung von modifizierten Membranen werden die Polymeren (z. B. PEI) aus relativ konzentrierten Lösungen (z. B. 10%ig) durch Selbstdiffusion auf die porösen Träger aufgebracht. Die Membranen zeigen hohen Rückhalt, jedoch relativ geringen Flux (800–1000 l/m² · d). Verwendet man verdünnte Polymerlösungen (weniger als 1%ig), so erhält man durch Selbstdiffusion Membranen mit nur ungenügendem Rückhalt. Erfolgt die Anwendung der verdünnten Polymerlösungen jedoch unter Druck (mindestens 2 bar, vorzugsweise 10 bis 100 bar, und insbesondere 10 bis 20 bar), so baut sich wegen der Konzentrationspolarisation auf der Oberfläche des Trägers eine Schicht auf, deren Dicke z. B. von der Zeit der Druckeinwirkung, dem Druck selbst, der Konzentration der Polymerlösung und der Porengrösse des Trägers (Zurückhaltung des Polymers) abhängt. Für diese Variablen gibt es jeweils ein Optimum, jenseits dessen ein Fluxabfall auftreten kann.

Die Dicke des dynamisch hergestellten Membranfilms auf dem porösen Trägermaterial kann von der Dicke einer monomolekularen Schicht bis zu etwa 500 nm, vorzugsweise bis etwa 100 nm reichen.

Die Rahmenbedingungen für die Polymerkonzentrationen können z. B. wie folgt festgestellt werden:

(i) obere Grenze: die höchste Konzentration, bei der kein Fluxabfall eintritt, wenn man eine nichtmodifizierte Membran in die Polymerlösung an angegebenen Konzentration eintaucht,

(ii) untere Grenze: die niedrigste Konzentration, mit der man unter Druck noch einen Anstieg des Rückhalts auf etwa 98% erreicht.

Die einzusetzende Menge des Polymers (z. B. PEI) hängt von der Porengrösse des Trägermaterials, der Verteilung der Poren und dem Molekulargewicht des Polymers ab. Wenn z. B. eine Polyacrylnitril-UF-Membran mit einem Rückhalt von 50% für den Farbstoff der Formel (108) mit Hydroxylamin und Cyanurchlorid chemisch modifiziert wird (Einführung reaktiver Gruppen in die Membran), so wird durch Behandeln dieser Membran mit einer verdünnten PEI-Lösung eine deutliche Verschlechterung der Durchflusseigenschaften (Flux) nicht eintreten. Wie in Tabelle 1 gezeigt wird, sind die Fluxänderungen von Membranen, die mit PEI-Lösungen behandelt werden, die weniger als 1% Polymer enthalten, nur gering.

Tabelle 1

Flux/Rückhaltevermögen von modifizierten Polyacrylnitrilmembranen

Nr.	Konzentration PEI %	Flux l/m ² · d	Rückhaltevermögen %
1	10	1600	98,1
2	1	5860	45,3
3	0,1	6200	54,7
4	0,01	6200	52,0
5	ohne	6600	50,0

Vor der Behandlung mit den PEI-Lösungen, wurden die Polyacrylnitrilmembranen 5 Minuten bei 60 °C mit Cyanurchlorid und danach 5 Minuten bei 0 °C und einem pH-Wert von 9,0 mit Cyanurchlorid umgesetzt. Testbedingungen: 6%ige wässrige Lösungen des Farbstoffs der Formel (108), 25 bar, 50 °C; Verwendung von 10 cm langen röhrenförmigen Membranen.

Als Trägermembranen, die erfindungsgemäss verwendet werden können, kommen u. a. solche aus cellulosischen Materialien, wie Celluloseacetaten, Polyvinylalkoholaten, (aromatischen) Polysulfonen oder Polyepoxyden oder Polyacrylnitrilen, sowie auch aus entsprechenden Co-, Ter-, Tetra-, Block- oder Pfropfpolymeren in Betracht.

Die Modifikation dieser Trägermembranen vor der eigentlichen Konzentrationspolarisation mit verdünnten Polymerlösungen kann mit polyfunktionellen Verbindungen (wie sie nachfolgend genannt werden) und einem Polymer erfolgen, das über die polyfunktionellen Verbindungen chemisch mit dem Träger verbunden ist; diese Art der Modifikation ist z. B. für cellulosische Membranen und Polyvinylalkoholmembranen geeignet (EP 26 399, EP 47 953).

Membranen aus aromatischen Polysulfonen/Polyepoxyden können analog modifiziert werden, wenn sich reaktionsfähige Gruppen (Substituenten) in den Basispolymeren (Basismembranen) befinden. Sind sie nicht vorhanden, so können sie in übliche Weise, z. B. durch Haloalkylierung (Chlor-

methylierung) oder Kupplung mit einer Azoverbindung (Einführung von z. B. einer Azoarylamino-Gruppe), gegebenenfalls kombiniert mit weiteren chemischen Reaktions(Modifikations)schritten, in die Basismembran eingeführt werden. Weitere, dem Fachmann bekannte Arten der chemischen Modifikation sind ebenfalls möglich (EP 61 424).

Werden Membranen aus Polyacrylnitril oder Copolymeren auf Basis von Acrylnitril zur Herstellung von Membranen verwendet, so kann man diese z. B. durch Umsetzung mit Hydroxylamin, einem polyfunktionellen Verbindung und einem Polymer modifizieren und die so erhaltene Membran dann durch Konzentrationspolarisation erfindungsgemäss weiter modifizieren. (EP 25 973).

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung näher erläutert, wobei man als Träger(Basis)-Membran eine Polyacrylnitrilmembran verwendet. Eine Beschränkung der Erfindung auf diesen Typ von Membranen bedeutet das jedoch nicht.

Geeignete Trägermembranen bestehen also z. B. aus Polyacrylnitril oder Copolymeren auf Basis von Acrylnitril, wobei diese in der Regel mindestens 5%, vorzugsweise mindestens 20% und besonders bevorzugt mindestens 50% (bezogen auf das Gewicht) Acrylnitrileinheiten enthalten.

Weitere geeignete Polymere (neben Polyacrylnitril) sind solche aus Alkyl(C₁ – C₆)-Acrylnitrilen, z. B. Methacrylnitril oder Hexylacrylnitril, Arylacrylnitrilen, z. B. Phenylacrylnitril, Halogenacrylnitrile, worin Halogen Fluor, Chlor oder Brom ist, z. B. α-Fluoracrylnitril oder α-Chloracrylnitril, und Thioacrylnitrilen.

Geeignete Comonomere, die mit Acrylnitril copolymerisiert werden können, sind Monomere mit z. B. hydrophoben, hydrophilen, polaren oder ionischen Gruppen, insbesondere z. B. Vinylester mit 2 bis 18 Kohlenstoffatomen im Säureteil, insbesondere Vinylacetat, Vinyläther mit 3 bis 12 Kohlenstoffatomen, Vinylpyridin, Vinylchlorid, Styrol, Butadien, Acryl- oder Methacrylsäure oder (Meth)acrylate, z. B. solche mit 1 bis 4 Kohlenstoffatomen im Esteranteil. Ferner Maleinsäureanhydrid, 2-Aminoäthylmethacrylat und Allylverbindungen, wie z. B. Allylalkohol, Allyl- oder Methallylsulfonsäure und ihre Salze (Alkalimetallsalze), Allyl- oder Methallylhalogenide, Allylamine oder Allyl-p-Toluolsulfonate. Ebenfalls geeignet sind Terpolymere, z. B. aus Acrylnitril, Styrol und Butadien (ABS-Polymere), Acrylnitril/Vinylacetat/Methacrylat oder Acrylnitril/Methylmethacrylat/Natriumallyl-sulfonat oder Tetrapolymere auf Acrylnitrilbasis.

Die Membranen können auch aus Gemischen der genannten (Co)polymeren bestehen.

Weitere Membranen, die erfindungsgemäss modifiziert werden können, sind solche, in denen mindestens einige der Nitrilgruppen der Acrylnitrileinheiten zu Carboxylgruppen hydrolysiert oder zu Aminogruppen reduziert worden sind. Ferner sind auch solche Membranen geeignet, in denen die zur Herstellung verwendeten Comonomeren (neben Acrylnitril) chemisch modifiziert sind. Die erfindungsgemässen Membranen sollten mindestens 5% Acrylnitril enthalten, so dass die chemische Modifikation überhaupt ausgeführt werden kann. Die zur erfindungsgemässen Modifikation benötigten Ausgangsmembranen sind kommerzielle Produkte oder sie können vom Fachmann leicht selber hergestellt werden. Entsprechende Giesslösungen und Herstellungsverfahren sind aus der technischen Literatur, insbesondere auch aus der Patentliteratur (vgl. z. B. GB-PS 1 327 990 und GB-PS 2 016 301) bekannt.

Die poröse Basis-(Träger)-membran (aus Polyacrylnitril oder Copolymeren aus Acrylnitril und äthylenisch ungesättigten Comonomeren) wird mit einer wässrigen Lösung von Hydroxylamin (2 bis 15%ig), die einen pH-Wert von 2 bis 11, vorzugsweise 6 bis 7 (z. B. eingestellt mit Natriumcarbo-

nat) hat, bei Temperaturen von etwa 55 bis 75 °C während 3 bis 60 Minuten behandelt.

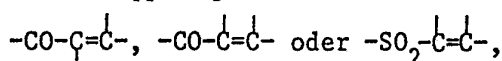
Der Grad der Bildung von Amidoximgruppen aus Nitrilgruppen kann im Bereich von 0,5 bis 30%, vorzugsweise im Bereich von 5 bis 10% liegen, wenn z. B. Polymermaterial verwendet wird, das 80% und mehr Acrylnitrileinheiten enthält.

Die polyfunktionellen Verbindungen können einerseits vor der Konzentrationspolarisation zur weiteren Modifikation der Trägermembran und andererseits auch mit dem Polymer während der Konzentrationspolarisation eingesetzt werden. In beiden Fällen dienen sie dazu, das Polymer an die Amidoximfunktionen und/oder andere Polymere zu binden, mit denen die Trägermembran vorbehandelt wurde.

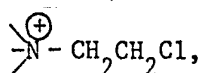
Ein typischer Reaktionsablauf für eine Umsetzung einer polyfunktionellen Verbindung, z. B. Cyanurchlorid, vor der Konzentrationspolarisation ergibt sich wie folgt:

Die mit Hydroxylamin umgesetzte Polyacrylnitrilmembran wird aus der Reaktionslösung entfernt und in eine wässrige Lösung (Suspension) der (multifunktionellen) organischen Verbindung gebracht, die z. B. 0,5 bis 5 Teile Cyanurchlorid pro einem Teil Membran enthalten kann. Die Reaktionstemperatur soll unter 4 °C, z. B. bei 0 °C, gehalten werden, um eine Hydrolyse des Cyanurchlorid zu vermeiden, der pH-Wert Bereich ist etwa zwischen 8 und 11 und die Reaktionszeit kann 1 Minute bis 5 Stunden, vorzugsweise 5 bis 30 Minuten betragen.

Als polyfunktionelle Verbindungen geeignet sind monomere Verbindungen mit vernetzenden Eigenschaften, die sowohl mit der (modifizierten) Trägermembran als auch mit dem Polymer eine chemische Bindung eingehen können. Ihre Reaktivität verdanken diese mindestens zwei funktionelle Gruppen aufweisenden Verbindungen additionsfähigen Mehrfachbindungen, Epoxidgruppen, Aziridingruppen, Aldehydgruppen, Imidatgruppen, Isocyanat- oder Isothiocyanatgruppen, ferner Hydroxylgruppen, Anhydridgruppen, Acylhalogenidgruppen sowie N-Methylolgruppen, oder als tertiäres Amin oder vorzugsweise einem als Anion, insbesondere als Halogenid abspaltbaren Substituenten, wobei diese Gruppierungen und Substituenten auch in Kombination vorkommen können und gegebenenfalls weiter substituiert sind. Als addierende Mehrfachbindungen enthalten sie beispielsweise die Gruppierungen



die gegebenenfalls weiter substituiert sind. Auch die Isocyanat- oder Isothiocyanatgruppe kann zu diesen Gruppen gezählt werden. Als abspaltbare Gruppen können die Verbindungen quaternäre Ammoniumgruppen, die als tert. Amine abgespalten werden, wie zum Beispiel die Trimethylammonium- oder Pyridiniumgruppe, oder auch die Sulfoniumgruppe aufweisen. Als bevorzugte reaktionsfähige Gruppe enthalten sie jedoch Substituenten mit einem als Anion abspaltbaren Rest, vorzugsweise mit reaktiven Halogenatomen. Derartige als Anion abspaltbare Reste verdanken ihre Reaktivität zum Beispiel dem Einfluss elektrophiler Gruppe, wie der -CO- oder -SO₂-Gruppe in gesättigten, aliphatischen Resten. Sie verdanken ihre Reaktivität auch dem Einfluss eines quaternären Stickstoffatoms, wie in der Gruppe



oder in aromatischen Resten dem Einfluss von in o- und p-Stellung stehenden elektrophilen Gruppen, beispielsweise Nitro, Kohlenwasserstoffsulfonyl- oder Kohlenwasserstoffcarbonylgruppen, oder aber der Bindung an ein Ringkohlenstoffatom, welches einem tertiären Ringstickstoffatom be-

nachbart ist, wie in Halogentriazin- oder Halogenpyrimidinresten.

Als besonders vorteilhaft haben sich cyclische Kohlen-säureimidhalogenide und vor allem mindestens zwei reaktive Substituenten enthaltende Halogendi- oder -triazinverbindungen sowie Isocyanate und Isothiocyanate erwiesen. Tetrachlorpyrimidin und vor allem Cyanurchlorid sind dabei besonders vorteilhaft.

Bei den cyclischen Kohlen-säureimidhalogeniden handelt es sich vorteilhafterweise um

(A) s-Triazinverbindungen mit mindestens zwei an Kohlenstoffatome gebundenen gleiche oder verschiedene Halogenatome, wie z. B. Cyanurchlorid, Cyanurfluorid, Cyanurbromid sowie um primäre Kondensationsprodukte aus Cyanurfluorid bzw. Cyanurchlorid bzw. Cyanurbromid mit z. B. Wasser, Ammoniak, Aminen, Alkanolen, Alkylmercaptanen, Phenolen oder Thiophenolen;

(B) Pyrimidine mit mindestens zwei reaktionsfähigen gleichen oder verschiedenen Halogenatomen, wie 2,4,6-Trichlor-, 2,4,6-Trifluor- oder 2,4,6-Tribrompyridin, die in 5-Stellung beispielsweise durch eine Alkyl-, Alkenyl-, Phenyl-, Carboxyl-, Cyan-, Nitro-, Chlormethyl-, Chlorvinyl-, Carbalkoxy-, Carboxymethyl-, Alkylsulfonyl-, Carbonsäureamid- oder Sulfonsäureamidgruppe, vorzugsweise jedoch durch Halogen, wie z. B. Chlor, Brom oder Fluor weitersubstituiert sein können. Besonders geeignete Halogenpyrimidine sind 2,4,6-Tri-chlor- und 2,4,5,6-Tetrachlorpyrimidin;

(C) Halogenpyrimidincarbonsäurehalogenide, wie z. B. Dichlorpyrimidin-5- oder -5-carbonsäurechlorid;

(D) 2,3-Dihalogen-chinoxalin-, -chinazolin- oder -phthalazin-carbonsäure- oder -sulfonsäurehalogenide, wie 2,3-Dichlorchinoxalin-6-carbonsäurechlorid bzw. -6-sulfonsäurechlorid, 2,6-Dichlorchinazolin-6- oder -7-carbonsäurechlorid, 1,4-Dichlorphthalazin-6-carbonsäurechlorid oder -bromid;

(E) 2-Halogen-benzo-thiazol- bzw. -oxazolcarbonsäure- oder -sulfonsäurehalogenide, wie 2-Chlorbenzothiazol- bzw. -oxazol-5- oder -6-carbonsäurechlorid bzw. -5- oder -6-sulfonsäurechlorid;

(F) Halogen-6-pyridazonyl-1-alkanoylhalogenide oder -1-benzoylhalogenide, wie z. B. 4,5-Dichlor-6-pyridazonyl-1-propionylchlorid bzw. -1-benzoylchlorid.

Weitere mindestens zwei reaktive Substituenten aufweisende Verbindungen, sind beispielsweise

(G) Anhydride oder Halogenide aliphatischer, α,β -ungesättigter Mono- oder Dicarbonsäuren mit vorzugsweise 3 bis 5 Kohlenstoffatomen, wie Maleinsäureanhydrid, Acrylsäurechlorid, Methacrylsäurechlorid und Propionsäurechlorid;

(H) Anhydride oder Halogenide von beweglichen Halogenatomen enthaltenden, aliphatischen Mono- oder Dicarbonsäuren mit vorzugsweise 3 bis 10 Kohlenstoffatomen oder aromatischen Carbonsäuren, wie z. B. Chloracetylchlorid, β -Chlorpropionsäurechlorid, α,β -Dibrompropionsäurechlorid, α -Chlor- oder β -Chloracrylsäurechlorid, Chlor-maleinsäureanhydrid, β -Chlorcrotonsäurechlorid bzw. Fluor-nitro- oder Chlor-nitrobenzoesäurehalogenide oder -sulfonsäurehalogenide, in welchen das Fluor- bzw. das Chloratom in o- und/oder p-Stellung zu der Nitrogruppe steht;

(I) Carbonsäure-N-methylolamide oder reaktionsfähige, funktionelle Derivate dieser Methylolverbindungen. Als Carbonsäure-N-methylolamide kommen vor allem N-Methylolchloracetamid, N-Methylol-bromacetamid, N-Methylol- α,β -dichlor- oder dibrompropionamid, N-Methylol-acrylamid, N-methylol- α -chlor- oder - α -bromacrylamid in Betracht. Als reaktionsfähige Derivate der Carbonsäure-N-methylolamide kommen beispielsweise die entsprechenden N-Chlormethyl- oder N-Brommethylamide in Frage;

(J) gegebenenfalls verätherte N-Methylolharnstoffe oder N-Methylolmelamine, wie z. B. N,N-Dimethylolharnstoff, N,N-Dimethylolharnstoff-dimethyläther, N,N'-Dimethyloläthylen- oder propylenharnstoff, 4,5-Dihydroxy-N,N'-dimethyloläthylenharnstoff oder -dimethyläther bzw. Di- bis Hexamethylolmelamine, Trimethylolmelamin-dimethyläther, Pentamethylolmelamin-di- bis -trimethyläther, Hexamethylolmelamin-penta- oder -hexamethyläther;

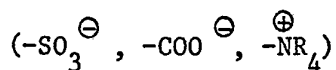
(K) Kondensationsprodukte von mindestens eine phenolische Hydroxylgruppe aufweisenden Diarylalkanen mit Halogenhydrinen, z. B. das Diepoxid aus 2,2-Bis(4'-hydroxyphenyl)-propan und Epichlorhydrin, sowie auch Glycerintriglycidäther und ferner entsprechende Di-aziridine;

(L) Di-aldehyde, wie z. B. Glutar- oder Adipinaldehyd;

(M) Diisocyanate oder Diisothiocyanate, wie z. B. Alkyl(C₂-C₄)Diisocyanate, insbesondere Äthylendiisocyanat, Phenyl- oder Alkyl(C₂-C₄)-substituierte Phenylendiisocyanate, wie z. B. Phenyl-1,4-Diisocyanat oder Toluol-2,4-diisocyanat, ferner Phenylendiisothiocyanate, wie z. B. Phenyl-1,4-diisothiocyanat;

(N) Weitere reaktive Verbindungen, wie Trisacrylolyhexahydro-s-triazin, Epoxide oder Aziridine.

Hydrophile Polymere, die in verdünnten Lösungen während der Konzentrationspolarisation oder gegebenenfalls vor diesem Schnitt eingesetzt werden, um die Träger(Basis)-Membran zu modifizieren, sind z. B. solche Polymere, die aliphatische oder aromatische Aminogruppen enthalten, wobei diese primär, sekundär oder tertiär sein können; ferner können diese Polymeren auch Hydroxy- oder Thiogruppen aufweisen. Beispiele solcher Polymerer sind Polyäthylenimin (M.G. 150 bis 1 000 000), teilweise alkylt (z. B. mit Methyljodid) oder andersweitig modifiziert, Polyvinylalkohol gegebenenfalls teilweise verestert, (M.G. 2000—200 000), Cellulosederivate, wie Äthylcellulose, Carboxymethylcellulose, Hydroxymethylcellulose, Hydroxyäthylcellulose, ferner Polyvinylanilin (M.G. 200—2 000 000), Polybenzylamin, Polyvinylamin (M.G. 1000—2 000 000), Polyvinylmerkaptan, Polyvinylimidazolin, aminomodifizierte Polyepihalogenhydride (US-PS 1 558 807), Polydiallylaminderivate und Piperidinringe enthaltende Polymere (GB-PS 2 027 614), Kondensationsprodukte aus Dicyandiamid, Formaldehyd und Ammoniumchlorid (US-PS 3 290 310), Aminopolysulfone, Aminopolyarylenoxide (aminomethyliertes Polyphenylenoxid) und Polymere mit hydrophilen Aminogruppen (EP 8940), Polymere aus 2-Hydroxyäthyl- oder 2-Aminoäthylmethacrylat, Polyamido-polyaminepichlorhydrin-Umsetzungsprodukte, Co-, Block- oder Pfropfpolymerisate aus diesen Monomeren und/oder Polymeren sowie weiteren, insbesondere ionische Gruppen



enthaltenden Monomeren und/oder Polymeren. Beispiele hierfür sind die Copolymeren aus Styrolsulfonat (Natriumsalz)/Vinylanilin, 2-Aminoäthylmethacrylat/Acrylsäure, Vinylanilin/Vinylbenzyltrimethylammoniumchlorid oder Vinylamin/Vinylsulfonat.

Bevorzugte Komponenten (b) sind Polyvinylalkohole, Cellulosederivate, Polyvinylamine oder Polyvinylaniline und insbesondere die polyaliphatischen (acyclischen oder cyclischen) Polyalkylenimine (Polyäthylenimine) sowie auch die zuvor beispielhaft genannten Copolymeren.

Die Molgewichte der Polyäthylenimine (PEI) können wie angegeben im Bereich von 150 bis 2 000 000 liegen. Vorzugsweise beträgt ihr Molekulargewicht 1000 bis 200 000 und insbesondere 50 000 bis 200 000.

Wasser ist das bevorzugte Lösungsmittel für die hydro-

philen Polymeren, jedoch können durch niedere Alkohole oder Ketone, gegebenenfalls im Gemisch mit Wasser eingesetzt werden. Die Polymerkonzentration in diesen Lösungsmitteln liegt zum Beispiel im Bereich von 0,01 bis 5 Gew.-%, wobei als bevorzugte Bereiche 0,01 bis 2% bzw. 0,01 bis 1% zu nennen sind. Diese Angaben beziehen sich auf den Konzentrationspolarisationsschritt. Für die gegebenenfalls davor liegende Beschichtung der Trägermembran (um z. B. die Trenngrenzen zu verkleinern) mit den gleichen Polymeren sind Polymerkonzentrationen von etwa 2 bis 10 Gew.-% geeignet.

Der Temperaturbereich hängt von der Reaktivität der Reaktanten ab; er liegt zwischen etwa -20 und +80 °C, vorzugsweise zwischen 0 und 25 °C.

Der pH-Wert kann im Bereich von 7 bis 12 und vorzugsweise im Bereich von 8 bis 10 liegen.

Geeignete Membranen auf Basis von modifizierten Polyacrylnitrilen, auf die unter Druck ein dünne Membranfilm aufgebracht werden kann, sind z. B.

(A) Polyacrylnitrilmembranen die mit Hydroxylamin, Cyanurchlorid und PEI umgesetzt sind und anschliessend ausgiebig gewaschen worden sind.

(B) Polyacrylnitrilmembranen, die mit Hydroxylamin umgesetzt worden sind.

(C) Polyacrylnitrilmembranen, die mit Hydroxylamin und Cyanurchlorid umgesetzt worden sind.

Andere Trägermembranen mit reaktiven Gruppen sind die weiter obengenannten, wobei insbesondere chlormethylierte und aminomethylierte Polysulfone zu erwähnen sind.

Die Polymerlösungen können gegebenenfalls die polyfunktionellen Verbindungen enthalten; dies ist z. B. von der Reaktivität der Membranen abhängig. So können z. B. die Polymerlösungen für die Behandlung der Membranen (A) und (B) polyfunktionelle Verbindungen enthalten, z. B. Cyanurchlorid, und zwar in einer Konzentration von 0,5 bis 2,0 mMol/l, vorzugsweise von 0,1 bis 0,9 mMol/l.

Die polyfunktionellen Verbindungen dienen dazu das Polymer an die (modifizierte) Trägermembran zu binden und auch (durch Vernetzung) das Molekulargewicht des Polymers zu erhöhen.

Die Membran (C) enthält andererseits ausreichend reaktive Gruppen, so dass eine Verwendung von polyfunktionellen Verbindungen gleichzeitig mit der Bildung des dünnen Membranfilms nicht nötig ist, wobei es jedoch auch in diesem Fall empfehlenswert sein kann, eine polyfunktionelle Verbindung, z. B. zur Vergrößerung des Molekulargewichts des Polymers, mitzuverwenden.

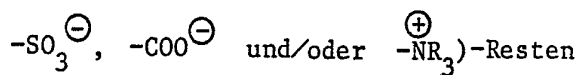
Anschliessend an die Polymerabscheidung durch Konzentrationspolarisation erfolgt eine Vernetzung des Membranfilms mit z. B. vorzugsweise anionischen Vernetzern, insbesondere anionischen Reaktivfarbstoffen.

Der während der Konzentrationspolarisation anzuwendende Druck kann in einem weiten Bereich schwanken und liegt in der Regel im Bereich von 2 bis 100 bar. Membranen mit sehr guten Eigenschaften (Rückhalt, Flux) werden erhalten, wenn man im Druckbereich über 10 bar arbeitet, während unter 10 bar die Membranen in der Regel ein nicht ausreichendes Rückhaltevermögen aufweisen. Der Druck ist natürlich auch von der Polymerkonzentration und der Reaktionszeit abhängig. So wendet man bei PEI-Konzentrationen von weniger als 1% und Reaktionszeiten von weniger als 30 Minuten, vorteilhaft einen Druck von mehr als 10 bar an, wobei bei höheren Drücken die Reaktionszeit verkürzt werden kann. Die bevorzugten Druckbereiche können mit 10 bis 100 bzw. 10 bis 30 bar angegeben werden. Geringere Drücke können dann angewendet werden, wenn die Polymerkonzentration höher ist und längere Reaktionszeiten vorgesehen sind.

Die Reaktionszeit kann im Bereich von 10 Sekunden bis zu 4 Stunden liegen, wobei der Bereich von 10 bis 60 Minuten bevorzugt ist.

Der dünne, auf der porösen Trägermembran abgeschiedene Membranfilm wird anschliessend mit polyfunktionellen nichtionischen (bereits genannt) oder vorzugsweise ionischen Verbindungen vernetzt und/oder beladen.

Handelt es sich bei den polyfunktionellen Verbindungen um ionische Verbindungen, so wird der Membranfilm z. B. mit



beladen.

Besteht der Membranfilm aus einer monomolekularen Schicht, so ist eine Vernetzung nicht wichtig, vielmehr steht die Beladung mit ionischen Gruppen im Vordergrund.

Bevorzugt ist die Verwendung von ionischen polyfunktionellen Verbindungen, die in der Regel zu Membranen mit gutem Durchfluss und gutem Rückhaltevermögen führen.

Andererseits kann man die polyfunktionellen Verbindungen, wenn sie z. B. hydrophil oder teilweise wasserlöslich sind, auch nur zur Vernetzung einsetzen.

Der Vernetzungs- und (Beladungs)-schritt mit ionischen Gruppen enthaltenden Verbindungen kann vorzugsweise in wässrigem Medium ausgeführt werden und unterscheidet sich daher von den üblichen Vernetzungen bei Kompositmembranen (UF/RO-Membranen).

Bevorzugte polyfunktionelle Verbindungen sind ionische Triazinyl- oder Pyrimidyl-derivate, wie z. B. reaktive Azofarbstoffe mit diesen Resten als Reaktivgruppierung sowie mit Sulfo- $(\text{SO}_3^{\ominus})$, Carboxyl- $(\text{COO}^{\ominus})$ und/oder Ammoniumgruppen. Farblose Verbindungen mit den gleichen Reaktivgruppierungen sind ebenfalls geeignet.

Die Vernetzung kann durch Bildung von chemischen Bindungen, elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen ionischen Gruppen oder durch Komplexierung polymerer Funktionen mit Metallionen erfolgen. Alle drei Möglichkeiten der Vernetzung können nebeneinander vorliegen. Bevorzugt ist die Vernetzung unter Bildung chemischer Bindungen. Eine oder auch mehrere Komponenten, z. B. ein Reaktivfarbstoff und ein Metallsalz (Kupfersulfat) können zur Vernetzung eingesetzt werden.

Hydrophile polyfunktionelle (nichtionische und farblose) Verbindungen, sind z. B. Diepoxide, Aziridine, Anhydride und vorzugsweise cyclische Kohlensäureimidhalogenide (Cyanurchlorid, Tetrachlorpyrimidin), Dihalogenide von Dicarbonsäuren oder Dialdehyde. Die Säurehalogenide werden aus aprotischen Lösungsmitteln appliziert, während die übrigen polyfunktionellen Verbindungen aus wässrigen Medium unter Einhaltung bestimmter pH-Wert- und Temperaturbereiche appliziert werden können.

Die reaktiven Farbstoffe können verschiedenen Klassen angehören und sind z. B. Anthrachinon-, Formazan- oder Azofarbstoffe. Azofarbstoffe sind bevorzugt. Sie können gegebenenfalls auch als Metallkomplexe vorliegen.

Als Reaktivgruppen (z. B. in den Farbstoffen) seien die folgenden genannt: Carbonsäurehalogenidgruppen, Sulfonsäurehalogenidgruppen, Reste von α, β -ungesättigten Carbonsäuren oder Amiden, z. B. der Acryl-, Methacryl-, α -Chloracryl- oder α -Bromacrylsäure, Acrylamidreste, Reste vorzugsweise niedriger Halogenalkylcarbonsäuren, z. B. der Chloressigsäure, α, β -Dichlorpropionsäure oder α, β -Dibrompropionsäure; Reste von Fluorocyclobutancarbonsäuren, z. B. der Tri- oder Tetrafluorocyclobutancarbonsäure; Reste mit Vinalacylgruppen, z. B. Vinylsulfongruppen oder Carboxyvinylgruppen; Reste, die Äthylsulfonyl- $(-\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-\text{SO}_2\text{OH}, -\text{SO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})$ oder Äthylaminosulfonylgruppen

$(-\text{SO}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{OSO}_2\text{OH})$ enthalten und halogenierte heterocyclische Reste, wie z. B. Reste von Dihalogenchinonoxalinen, Dihalogenpyridazonen, Dihalogenphthalazinen, Halogenbenzthiazolen oder vorzugsweise halogenierte Pyrimidinen oder 1,3,5-Triazininen, wie z. B. von Monohalogenotriazininen, Dihalogenotriazininen, 2,4-Dihalogenpyrimidinen oder 2,5,6-Trihalogenpyrimidinen. Geeignete Halogenatome in den vorgenannten Resten sind Fluor-, Brom- und insbesondere Chloratome.

Beispielhaft seien die folgenden reaktiven Gruppen, aufgezählt: Monochlortriazinyl, Dichlortriazinyl, 2,4-Dichlorpyrimidyl, 2,3-Dichlorchinoxalin-6-carbonyl, 4,5-Dichlorpyridazonpropionyl, 1,4-Dichlorphthalazin-6-carbonyl, Chlorbenzthiazol, das mit einem Farbstoffmolekül über $-\text{CONH}-$, $-\text{SO}_2\text{NH}-$, $-\text{NH}-\text{Ar}-\text{N}=\text{N}-$ (Ar = Phenylen oder Naphthylen), verbunden ist, 5-Chlor-4-methyl-2-methylsulfonyl-pyrimidyl, Vinylsulfonyl, β -Sulfatoäthylsulfonyl, 4-Sulfatoäthylaminosulfonyl, β -Chloräthylsulfonyl oder β -Sulfatopropionamido.

Besonders bevorzugt als polyfunktionelle Verbindungen für die Vernetzung des auf dem Trägermaterial abgeschiedenen Membranfilms sind reaktive Azofarbstoffe, die Sulfonsäuregruppen $(-\text{SO}_3\text{H})$ oder Carboxylgruppen $(-\text{COOH})$ enthalten, wobei diese auch in Salzform, z. B. in Form eines Alkalimetallsalzes (Natriumsalz) vorliegen können, und die als Reaktivgruppierungen Monochlortriazin-, Dichlortriazin-, 2,4-Dichlorpyrimidin-, Vinylsulfonyl-, β -Sulfatoäthylsulfonyl-, β -Chloräthylsulfonyl- oder β -Sulfatoäthylaminosulfonylreste enthalten.

Besonders wertvoll und vielseitig sind die Membranen, in denen das Polymer mit einem sulfonsäuregruppenhaltigen Azofarbstoff vernetzt/beladen ist. Der Azofarbstoff kann auch komplexgebundenes Metall, z. B. Kupfer, enthalten.

Ferner ist es auch möglich, die geladenen Gruppen durch Umsatz von Reagenzien, wie Alkyl- oder Benzylhalogeniden, mit einer Aminofunktion der Polymerkette in die Membran einzuführen. Auf diese Weise kann z. B. der Polyäthyleniminrest mit Methyljodid oder Dimethylsulfat modifiziert werden. Andererseits kann auch mit Chlorsulfonsäure selber modifiziert werden.

Die Vernetzung/Beladung mit den polyfunktionellen Verbindung dient z. B. der Einführung von positiven oder negativen Ladungen (ionischen Gruppierungen) in die Membranoberfläche und/oder die Poren und erfolgt ein- oder

zweistufig. Einstufig bedeutet, dass die die Ladungen tragende Verbindung und sogenannte Fixiermittel (z. B. Alkali) in einem Bad angewendet werden.

Im zweistufigen Verfahren hat man zunächst den Adsorptionsschritt der die Ladung tragenden Verbindung und dann in einer separaten Reaktionslösung den Fixierschritt (chemische Reaktion zwischen der Komponente (d) und der (modifizierten Membran). Das zweistufige Verfahren ist bevorzugt, da einerseits die Konzentration der Komponente (d) in der Adsorptionslösung niedriger gehalten werden und eine solche Lösung gegebenenfalls mehrfach verwendet werden kann und andererseits die Gesamtreaktionszeit kürzer ist als im einstufigen Verfahren.

Im zweistufigen Verfahren kann die Konzentration eines Reaktivfarbstoffs (Komponente (d)) in wässriger Lösung etwa 0,5 bis 3% betragen; die Adsorption wird z. B. bei Temperaturen von 20 bis 35 °C während 2 bis 60 Minuten durchgeführt; der pH-Wert kann 4 bis 8 betragen. Die Fixierung kann dann in einer wässrigen, auf einen pH-Wert von 9 bis 12 eingestellten Lösung durchgeführt werden, wobei die Reaktionszeit etwa 30 Minuten betragen kann. Die Einstellung des pH-Wertes erfolgt mit beliebigen anorganischen (Natriumcarbonat) oder organischen Basen.

Die Membranen können, je nach Verwendungszweck verschiedene Formen aufweisen, z. B. plattenförmig, blattförmig, röhrenförmig, in Form einer Tasche, eines Sacks, eines Konus oder als Hohlfasern vorliegen. Bei starker Druckbelastung können die Membranen natürlich durch Nonwoven-Träger, Träger aus textilen Geweben oder Papier, Drahtsiebe oder Lochplatten (Module) geschützt (verstärkt) werden. Innerhalb des weiter oben angegebenen Bereiches kann die Porengrösse durch verschiedene Temperaturen variiert und ebenfalls dem jeweiligen Verwendungszweck angepasst werden. So kann z. B. durch Tempern der Membranen vor oder nach ihrer chemischen Modifikation (50 bis 150 °C) die Porengrösse und damit der Durchfluss und das Rückhaltevermögen der Membranen verändern.

Die erfindungsgemässen Membranen zeigen ein gutes Rückhaltevermögen im Bereich der angegebenen Temperaturen verbunden mit einem ausgezeichneten Durchfluss (Flux).

Zu erwähnen ist auch die gute Stabilität gegen Lösungsmittel, Temperatur (z. B. bis 70 °C), Druck (z. B. im Bereich von 2 bis 100 bar, vorzugsweise im Bereich von 2 bis 50 bzw. 2 bis 30 bar) sowie gegen pH-Wert-Einflüsse (Bereich etwa 2 bis 12).

Insbesondere für die folgenden Anwendungen sind die erfindungsgemässen Membranen vorteilhaft, wobei es sich im Prinzip stets um Trennungen einwertiger Ionen niedrigen Ionengewichts von mehrwertigen Ionen mit niedrigem oder höherem Ionengewicht und einwertigen Ionen mit höherem Ionengewicht, um Trennungen ionogener von nichtionogenen Substanzen oder von ionogenen Verbindungen unterschiedlichen Molekulargewichts oder entgegengesetzter Ladung handelt. Die Trennung erfolgt nach üblichen Methoden, z. B. indem man die zu trennende Flüssigkeit/Lösung auf einer Seite der Membran vorlegt und unter Anwendung eines hydraulischen Drucks, der grösser ist als der osmotische Druck der Lösungen, die Lösung filtriert.

1. Die Trennung von organischen und auch metallorganischen ionogenen Substanzen von Nebenprodukten aus einer Reaktionsmischung und anderen Substanzen, welche darin enthalten sind, z. B. von Salzen, wie Natriumchlorid, Natriumsulfat oder Natriumacetat oder Säuren.

2. Die Trennung von Schwermetallkomplexen von solchen Salzen, welche keine Komplexe bilden (Behandlung von Abwässern).

3. Die Reinigung von Abwässern, welche bei der Produktion und Anwendung von Farbstoffen und optischen Aufhellern anfallen.

4. Die Trennung von ionogenen Molekülen von Wasser, d. h. die Konzentrierung von wässrigen Lösungen, welche Metallkomplexe, Tenside, Farbstoffe oder Proteine enthalten, wobei bessere Ergebnisse bezüglich des Wirkungsgrades (Durchfluss pro Zeiteinheit) und des Trenneffektes im Vergleich zu bekannten Membranen erzielt werden.

5. Die Trennung von geladenen und ungeladenen Verbindungen.

Der Trenneffekt (das Rückhaltevermögen) der Membranen kann wie folgt gemessen werden: eine kreisförmige Membran von 13 cm² Fläche wird, auf einer Sinterscheibe aus rostfreiem Stahl ruhend, in eine zylindrische Zelle aus rostfreiem Stahl eingesetzt. 150 ml der (zu prüfenden) Lösung, die die zu prüfende Substanz in der Konzentration c_1 (g Substanz in g Lösung) enthält, wird auf die Membran im Stahlzylinder gegeben und mit Stickstoff einem Druck von 14 bar ausgesetzt. Die Lösung wird magnetisch gerührt. Die auf der Austrittsseite der Membran anfallende Flüssigkeit wird auf ihren Gehalt (Konzentration) c_2 an zu prüfender Substanz untersucht, indem ab Start des Experimentes 3 Muster von je 5 ml gezogen werden. Im allgemeinen ist die Durchflussmenge durch die Membran und die Zusammensetzung der 3 Muster konstant. Hieraus lässt sich das Rückhaltevermögen als

$$R = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \cdot 100 (\%)$$

berechnen. Als Durchflussmenge pro Flächen- und Zeiteinheit ergibt sich

$$D = V \cdot F^{-1} \cdot t^{-1}$$

V: Volumen
F: Membranfläche
t: Zeit

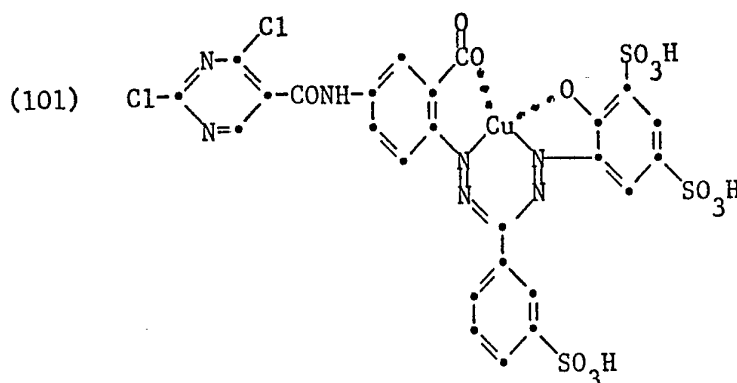
D ist zweckmässig ausgedrückt in m³·m⁻²·d⁻¹, d. h. Anzahl Kubikmeter je Quadratmeter Membranfläche und Tag oder in l·m⁻²·h⁻¹, d. h. Liter pro Quadratmeter Membranfläche und Stunde.

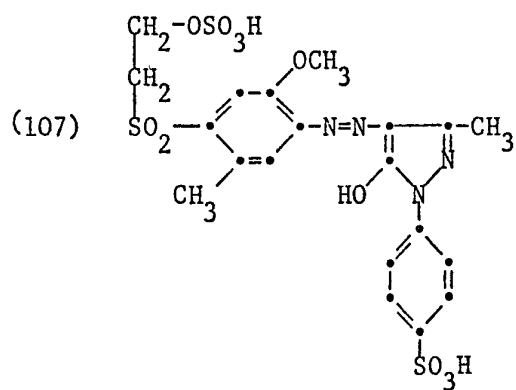
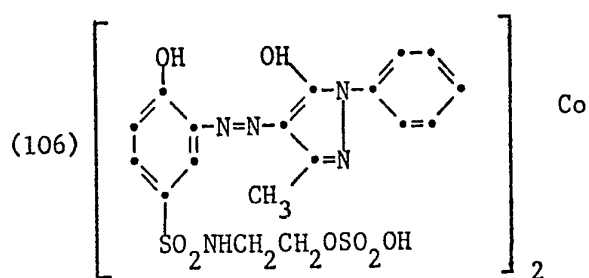
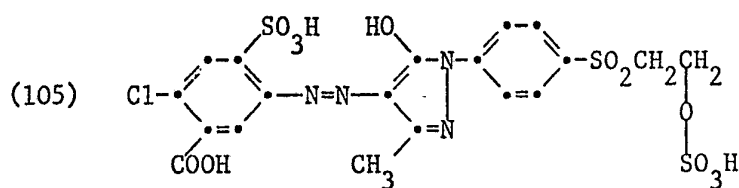
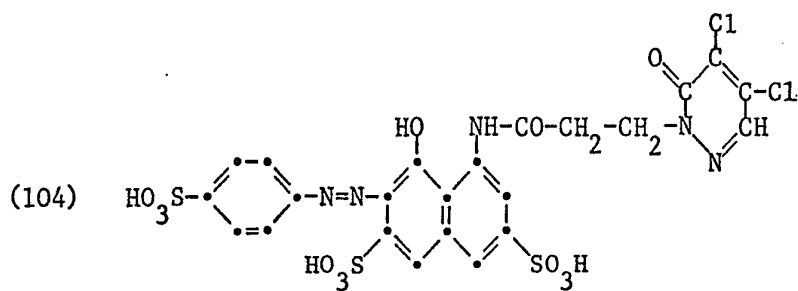
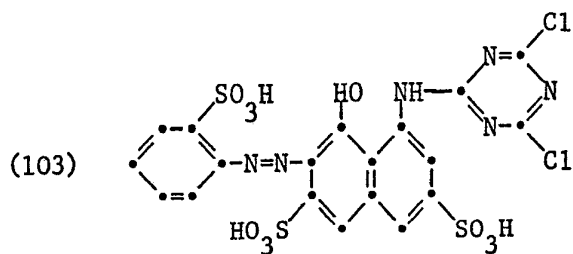
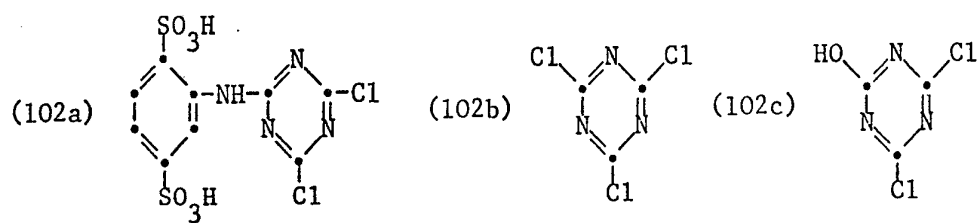
Zusätzlich zu den Messungen an Flachmembranen werden auch Messungen mit röhrenförmigen Membranen von 60 cm Länge und einem äusseren Durchmesser von 1,4 cm durchgeführt. Diese röhrenförmigen Membranen werden dazu in eine perforierte Röhre aus rostfreiem Stahl gebracht.

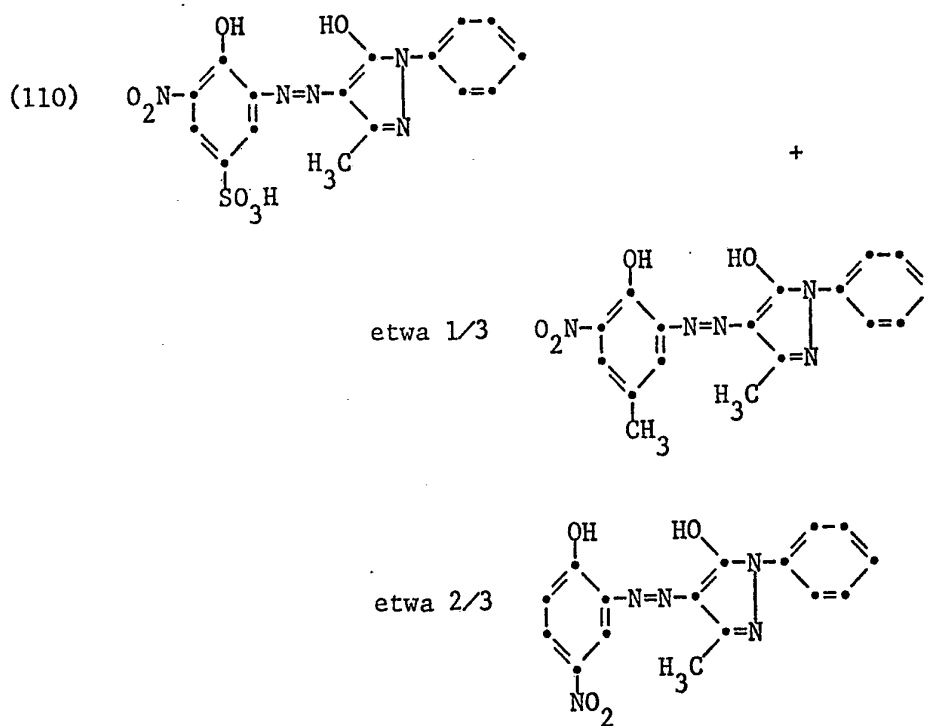
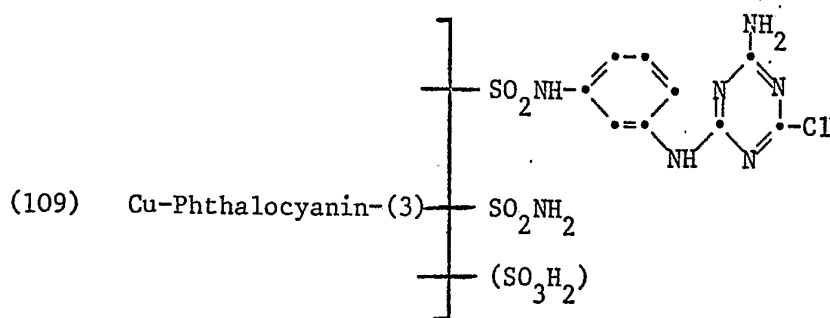
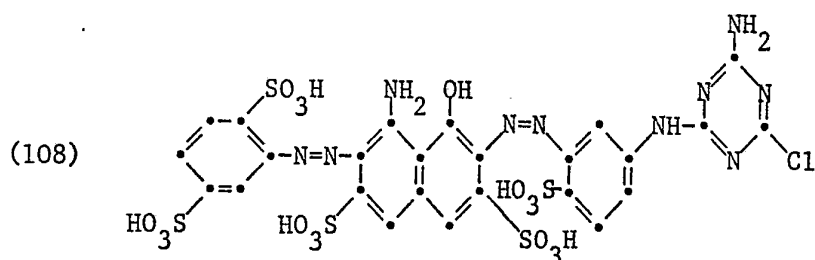
Das Ganze wird in eine Röhre aus Polycarbonat gebracht. Der Ausfluss der Membrane befindet sich zwischen dieser äusseren Polycarbonatröhre und der Stahlröhre. Die Flüssigkeitszugabe erfolgt als turbulent fliessender Strom der Lösung unter Druck (30 bar). Die Fliessgeschwindigkeit wird konstant bei etwa 10–15 Litern pro Minute gehalten. Die Berechnung des Rückhaltevermögens und des Durchflusses erfolgt auf die gleiche Weise wie für die Flachmembranen.

In den folgenden Beispielen werden die Farbstoffe und farblose Verbindungen der Formeln (101) bis (107) als polyfunktionelle Verbindungen zur Vernetzung der Komponente (b) und zur Einführung ionischer Gruppen verwendet. Die Farbstoffe der Formeln (108) bis (110) werden in Testlösungen verwendet.

Teile und Prozente in den nachfolgenden Beispielen beziehen sich – sofern nicht anders angegeben – auf das Gewicht.







(2:1 Chromkomplex)

Beispiel A

Vor der Konzentrationspolarisation wird eine Polyacrylnitrilmembran wie folgt chemisch modifiziert:

(1) Behandlung der Membran während 5 Minuten bei 60 °C in einer wässrigen Lösung, die 10% Hydroxylamin-Hydrochlorid ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) und 7,5% Natriumcarbonat (Na_2CO_3) enthält.

(2) 15 Minuten Waschen bei Raumtemperatur.

(3) Reaktion der Membran während 10 Minuten bei 0 bis 4 °C in einer 2%igen wässrigen Suspension von Cyanurchlo-

rid (hergestellt durch Auflösen von 2 g Cyanurchlorid in 20 ml Aceton und Hinzufügen von 80 ml Wasser).

60 (4) Waschen in Eiswasser während 15 Minuten.

(5) Behandlung der Membran in einer 10%igen wässrigen Polyäthyleniminlösung (PEI) (M.G. 30 000) während 10 Minuten bei einem pH-Wert von 8,5; anschließend Waschen der so modifizierten Membran während 10 Minuten mit Leitungswasser.

65 (6) Auswaschen des überflüssigen Polyäthylenimins in einer Druckzelle, wobei 100 ml Wasser bei 20 bar durch die Membran gedrückt werden.

Beispiel 1:

Durch eine Membran gemäss Beispiel (A) werden bei 5 °C in einer Druckzelle 20 ml einer wässrigen Lösung, die 0,1% PEI (M.G. 30 000) und 0,3 mM/l Cyanurchlorid enthält, bei einem Druck von 20 bar gepresst. Anschliessend wird die Membran in einer wässrigen Lösung, die 1% des Farbstoffs der Formel (101) und 10% Kochsalz während 15 Minuten und dann in einer 5%igen Natriumcarbonatlösung während 20 Minuten behandelt.

Die so erhaltene Membran wird dann in einer Druckzelle getestet. Die Ergebnisse sind in Tabelle II angegeben.

Beispiel 2:

Man wiederholt Beispiel 1 mit dem Unterschied, dass die PEI-Lösung 0,02%ig ist und 0,3 mM/l Cyanurchlorid enthält und bei Raumtemperatur gearbeitet wird.

Die Ergebnisse sind in Tabelle II angegeben.

Beispiel 3:

Man wiederholt Beispiel 1 mit dem Unterschied, dass die PEI-Lösung 0,01%ig ist und 0,3 mM/l Cyanurchlorid enthält und bei 40 °C gearbeitet wird.

Die Ergebnisse sind in Tabelle II angegeben.

Tabelle II

Beispiel	Vor der Modifikation Durchfluss (H ₂ O) l/m · d	Nach der Modifikation Durchfluss		Rückhaltevermögen	
		in Wasser l/m ² · d	in Farbstoff- lösung	Farbstoff (108) %	NaCl %
1	9600	7490	3360	99,4	— 12,5
2	3500	—	2700	99,9	— 21,0
3	5760	5100	2880	99,6	— 5,1

Testbedingungen: Flachmembranen, 20 bar, Raumtemperatur; Farbstoff der Formel (108), Lösungen und einem Farbstoffgehalt von 15 000 ppm und 2% NaCl.

Beispiel 4:

Eine Membran gemäss Beispiel (A), die nur gemäss Stufe (1) modifiziert ist, wird in einer Druckzelle gemäss Beispiel 1 modifiziert. Es wird eine 1%ige PEI-Lösung, die zusätzlich 0,3 mM/l Cyanurchlorid enthält verwendet. Es wird bei einem Druck von 10 bar gearbeitet und die Modifikation abgebrochen wenn 20 ml, 30 ml bzw. 40 ml Permeat durch die Membran durchgepresst sind (Verwendung von 3 verschiedenen Ausgangsmembranen).

Die Ergebnisse sind in Tabelle III angegeben.

Tabelle III

Permeat (ml)	Durchfluss in H ₂ O l/m ² · D	Durchfluss in Farbstofflösung l/m ² · d	Rückhaltevermögen	
			Farbstoff (%)	NaCl (%)
20	13 800	2700	98,1	— 4,2
30	9 000	2000	98,5	— 20,0
40	9 800	2940	99,2	— 4,7

Testbedingungen wie in Tabelle II angegeben.

Beispiel 5:

Beispiel 1 wird mit 60 cm langen röhrenförmigen Membranen wiederholt, wobei verschiedene Modifikationszeiten eingehalten werden. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle IV angegeben.

Tabelle IV

Mem- bran Nr.	Zeit für die Modifikation (Minuten)	Durchfluss (l/m ² · d)	Rückhaltevermögen	
			Farbstoff %	NaCl %
1	15	2800	98,9	— 31,0
2	30	2300	99,3	— 15,0
3	45	2100	98,6	— 17,0
4	60	2100	98,3	— 21,0

Testbedingungen wie in Tabelle III angegeben; die Farbstofflösung enthält jedoch 6% Farbstoff.