



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 01 411 T2 2004.01.15**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 185 356 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 01 411.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/NL00/00366**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 937 369.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/72947**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.05.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **07.12.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.03.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.02.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.01.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B01D 61/36**

B01D 63/04, C02F 1/04, C02F 1/44

(30) Unionspriorität:

1012167 27.05.1999 NL

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

**Nederlandse Organisatie voor
Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TNO, Delft, NL**

(72) Erfinder:

**HAANEMAAIJER, Hendrik, Jan, NL-6862 AB
Oosterbeek, NL; VAN HEUVEN, Willem, Jan,
NL-7314 HE Apeldoorn, NL**

(74) Vertreter:

Uexküll & Stolberg, 22607 Hamburg

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR REINIGUNG VON FLÜSSIGKEITEN DURCH MEMBRANDESTILLATION, INSBE-
SONDERE ZUR GEWINNUNG VON ENSALZTEM WASSER AUS MEERWASSER ODER BRACKWASSER ODER
PROZESSWASSER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reinigung einer Flüssigkeit durch Membrandestillation, insbesondere zur Erzeugung von entsalztem Wasser aus Meerwasser oder Brackwasser oder Prozesswasser, umfassend:

- Leiten eines relativ warmen verdampfenden Flüssigkeitsstromes (Retentat-Strom) über eine poröse Membran, wobei Dampf durch die Poren der Membran zu der anderen Seite der Membran strömt,
- Kondensieren des Dampfes an einer relativ kalten Kondensatoroberfläche, um einen Destillatstrom zu erzeugen, wobei die Kondensatoroberfläche die nicht poröse Trennung zwischen einem zu reinigenden Zulaufstrom und dem Destillatstrom bildet, wobei sich der Zulaufstrom im Gegenstrom zum Retentat-Strom befindet, so dass ein beträchtlicher Anteil der latenten Wärme über Dampf zum Zulaufstrom übertragen wird,
- wobei sich ein Gasspalt mit der Breite von weniger als 5 mm zwischen der porösen Membran und der Kondensatoroberfläche befindet,
- wobei in dem Gasspalt ein Druck aufrechterhalten wird, welcher niedriger als der Atmosphärendruck und größer als der Dampfdruck des Zulaufstromes ist.

[0002] Solch ein Verfahren ist in JP-A-11.010.147 offenbart.

[0003] Membrandestillation unterscheidet sich von bekannten Destillationsverfahren wie etwa vielstufige Entspannung, Mehrfachdestillation und Dampfkompression dadurch, dass eine nichtselektive poröse Membran verwendet wird. Diese Membran bildet eine Trennung zwischen dem warmen, verdampfenden Retentat-Strom und dem kondensierten Produkt, dem Destillatstrom. Als eine Konsequenz einer geeigneten Materialwahl (gewöhnlich Polypropylen, Polyethylen oder Polytetrafluorethylen) werden die Poren (Durchmesser von zwischen 0,00001 und 0,005 mm, gewöhnlich zwischen 0,0001 und 0,0005 mm) nicht durch die Flüssigkeit benetzt; nur Dampf gelangt durch die Membran.

[0004] Membrandestillation wurde zuerst im US-Patent 3 340 186 von 1967 beschrieben. Die Absicht war, die Effizienz von Meerwasserentsalzung durch die Verwendung einer luftgefüllten porösen hydrophoben Membran zu verbessern. Das Verfahren, um das es hier ging, war die sogenannte Direktkontakt-Membrandestillation: Der warme Meerwasserstrom und der kalte Destillatstrom sind in direktem Kontakt mit der Membran.

[0005] Ein beträchtliches Interesse an Membrandestillation erwuchs Mitte der 1980er Jahre, als eine neue Generation hydrophober, hochporöser Membranen verfügbar wurde. Die Forschung zeigte jedoch, dass Membrandestillation nicht weniger teuer als konkurrierende Verfahren ist, und daher gab es keine kommerzielle Anwendung.

[0006] Es kann eine Unterscheidung zwischen vier Arten von Membrandestillation gemacht werden:

1. Direktkontakt-Membrandestillation (DCMD), bei der sowohl der warme, verdampfende Strom als auch der kalte Kondensatstrom (Destillatstrom) in direktem Kontakt mit der Membran sind.
2. Luftspalt-Membrandestillation (AGMD), bei der die Kondensatoroberfläche von der Membran durch einen Luftspalt getrennt ist.
3. Spülgas-Membrandestillation, bei der das Destillat in Dampfform durch ein inertes Gas entfernt wird.
4. Vakuum-Membrandestillation, bei der das Destillat in Dampfform durch ein Vakuum entfernt wird. Dieses Verfahren wird nur für die Entfernung flüchtiger Komponenten aus wässrigen Strömen beschrieben, und der Punkt, auf den es ankommt, ist nicht die Erzeugung eines flüssigen Destillates.

[0007] Bisher hat die Direktkontakt-Membrandestillation die meiste Aufmerksamkeit auf sich gezogen.

[0008] US-Patent 4 545 862 beschreibt ein spiralförmig gewickeltes Modul (mit flachen Membranen). Dieses wurde für Meerwasserentsalzungen getestet. Für diese Versuche war der Destillatstrom von dem im Gegenstrom zu dem verdampfenden Retentat geleiteten Meerwasserstrom getrennt, und der Meerwasserstrom absorbierte somit effektiv die Kondensationswärme. In diesem Patent wird ein Beispiel beschrieben, in welchem ein relativ hoher Durchfluss von 5,3 Litern pro m^2 pro Stunde mit einer Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem warmen Retentat und dem Meerwasser von 4°C mit einem Energieverbrauch von nur 212 kJ pro kg erzeugtes Destillat erreicht wird.

[0009] Zusätzlich zu der Verwendung flacher Membranen sind die Vorteile von Hohlfaser-Membranen für Direktkontakt-Membrandestillation bekannt. Als ein Ergebnis der kompakten Packung von Membranfasern kann eine Oberfläche von bis zu 500 m^2 pro m^3 erreicht werden, was niedrigere Vorrichtungskosten möglich macht. Ferner ist vorgeschlagen worden (siehe K. Schneider, T. J. van Gassel, Membrandestillation, Chem. Ing. Tech. 56 (1984) 514–521), ein Direktkontakt-Membrandestillations-Modul mit einem Wärmetauschermodul in einem Kreislauf zu koppeln und somit Kondensationswärme rückzugewinnen. Es hat sich herausgestellt, dass für Meerwasserentsalzung ein Destillatdurchfluss von ungefähr 8,5 Litern pro m^2 pro Stunde für ein ΔT von 14–16°C und einen spezifischen Energieverbrauch von über 1.000 kJ pro kg Wasser erreicht wird. Seit 1984 gibt es wenig erkennbaren Fortschritt im Stand der Technik in Bezug auf DCMD.

[0010] Luftspalt-Membrandestillation wurde zuerst in 1971 in der Britischen Patentanmeldung GB 1 225 254 A (Henderyckx) beschrieben. Zusätzlich zu der Verwendung eines Luftspaltes wird bereits Strömung im Gegenstrom von Zulauf und Retentat (und somit Rückgewinnung latenter Wärme) vorgeschlagen. Darüber hinaus wurde AGMD 1982 in der deutschen

Patentanmeldung 3 123 409 (Siemens) beschrieben. Diese Anmeldung betrifft die Verwendung eines Spaltes (mit einer Dicke von 3 mm), der mit Luft oder optional einem leichteren Gas wie etwa Wasserstoff gefüllt ist, zwischen einer flachen porösen Membran und einer kalten Kondensationsoberfläche. Das Ziel bestand darin, den Transport fühlbarer Wärme durch Leitung durch die Membran zu verringern. Es wurde experimentell festgestellt, dass Wärmetransport durch Leitung ungefähr gleich dem durch Verdampfung war. Außerdem wurde vorgeschlagen, an kommendes Meerwasser im Gegenstrom zu dem verdampfenden Strom zu leiten und somit Wärme rückzugewinnen. Die Verwendung von Solarwärme als eine Wärmequelle wurde auch beansprucht. Ein theoretischer Fall wurde beschrieben, in welchem ein Destillatdurchfluss von 3,36 kg pro m² pro Stunde mit einer Temperaturdifferenz ΔT von 5°C mit einer Rückgewinnung von ungefähr 4,9% und einem Energieverbrauch von über 850 kJ pro kg erzeugtes Wasser erreicht wurde.

[0011] Die Europäische Patentanmeldung 0 164 326 beschreibt die Verwendung eines Luftspaltes bei der Membrandestillation, wobei die verschiedenen Merkmale in der Form konzentrischer Rohre konstruiert sind. Eine Variante davon, bei welcher Pakete flacher Membranen verwendet wurden, ist in dem Artikel Design and filed tests of a new membrane distillation desalination process (Desalination 56 (1985), S. 345–354) beschrieben. Es ist bemerkenswert, dass das Prinzip der Strömung im Gegenstrom von Meerwasser und Retentat aufgegeben wird, wobei als Ergebnis davon keine Rückgewinnung von Verdampfungswärme möglich ist. Energieverbrauchszahlen werden dabei auch nicht angegeben.

[0012] Die Internationale Patentanmeldung WO 8607585 A (1986) basiert auf denselben Modelldaten aber folgert aus diesen, dass eine Luftspaltdicke von 0,2 bis 1,0 mm erforderlich ist, um sowohl einen hohen Durchfluss als auch einen niedrigen Verlust fühlbarer Wärme (300 bis 800 kJ/kg Wasser) zu erreichen. In dem Modell werden Temperaturgefälle an und in der heißen und kalten Wand nicht berücksichtigt, wobei als Ergebnis davon ein viel zu optimistisches Bild gezeichnet wird.

[0013] Im US-Patent 4 879 041 wird Luftspalt-Membrandestillation speziell für die Erzeugung hochreinen Wassers für die Halbleiterindustrie beschrieben. Hier wurde die Auswirkung der Dicke des Luftspaltes bei der Verwendung flacher Membranlagen auf Massentransport und Wärmetransport im Bereich zwischen 3 und 10 mm untersucht. Es wurde aus diesen Untersuchungen geschlossen, dass der Transport bei Dicken von weniger als 5 mm durch Diffusion und bei Dicken von mehr als 5 mm durch freie Konvektion bestimmt wird. Die gemessenen Leistungsmerkmale waren mäßig: Maximale Destillatdurchflüsse von 3,6 kg pro m² pro Stunde für eine Dampfdruckdifferenz von ungefähr 20 kPa. Hier wird wieder keine Kondensationswärme rückgewonnen, und es ist daher nicht

überraschend, dass wenige Jahre später eine Rückkehr zu konventioneller mehrstufiger Verdampfung ohne Membranen stattfand.

[0014] Die der Membrandestillation geschenkte Aufmerksamkeit nahm in den 1990er Jahren ab und beschränkte sich in der Hauptsache auf Direktkontakt-Membrandestillation und auf die Erforschung von Spülgas-Membrandestillation und Vakuum-Membrandestillation zur Entfernung und Extraktion flüchtiger Komponenten aus wässrigen Strömen.

[0015] Auf Basis der Literatur ist ein System ohne einen Luftspalt für Membrandestillationssysteme mit einem niedrigen Energieverbrauch erforderlich. Auf Basis des Standes der Technik ist es nicht möglich, einen Energieverbrauch von weniger als 850 kJ pro kg zu erreichen, wenn ein Luftspalt verwendet oder Wärme-Rückgewinnung eingesetzt wird. Dies hängt mit hohen Temperaturdifferenzen (ΔT häufig größer als 40 °C) und dementsprechend hohen Triebkräften (Dampfdruckdifferenz als eine Regel beträchtlich über 15 kPa) zusammen.

[0016] Direktkontakt-Membrandestillations-Systeme sind von einfacherer Ausgestaltung und Konstruktion und sind im Prinzip weniger teuer als Luftspalt-Membrandestillations-Systeme, und es ist aus dem Stand der Technik ersichtlich, dass der Energieverbrauch niedriger ist. Somit ist im Licht des Standes der Technik wie Wahl der Luftspalt-Membrandestillation zur kostengünstigen Erzeugung destillierten Wassers aus Meerwasser über Brackwasser nicht offensichtlich.

[0017] JP-A-11.010.147 gibt keine spezifischen Daten über die Beziehung zwischen der Porosität der porösen Membran, dem Verhältnis zwischen Kondensatoroberfläche und Membranoberfläche, der lokalen Dampfdruckdifferenz zwischen einem Retentat und Zulauf, der Breite des Gasspaltes und dem Verhältnis zwischen dem absoluten Druck in dem Gasspalt und dem lokalen Wasserdampfdruck des Retentates an. Ferner gibt dieses Japanische Dokument nicht Daten über den Austausch fühlbarer Wärme von dem Destillatstrom mit Zulauf oder Retentat an. Daher lässt die Leistung dieses bekannten Verfahrens viel zu wünschen übrig.

[0018] Das Ziel der Erfindung besteht darin, einen Durchbruch in der Leistung (Destillatdurchfluss pro Einheits-Triebkraft) der Luftspalt-Membrandestillation zu erreichen und auf diese Weise sowohl die Kosten als auch den Energieverbrauch von Membrandestillationssystemen beträchtlich zu verringern.

[0019] Um dieses Ziel zu erreichen, ist das im Oberbegriff erwähnte Verfahren dadurch gekennzeichnet, – dass die Porosität ϵ der porösen Membran größer als 0,7 ist, wobei Porosität als das Verhältnis des offenen volumens zum Gesamtvolumen der porösen Membran verstanden wird,
– dass die Oberfläche der Kondensatoroberfläche 1,2 bis 6 mal, bevorzugt 2 bis 3 mal so groß ist wie die Oberfläche der porösen Membran,
– dass die effektive lokale Dampfdruckdifferenz zwi-

schen dem Retentat-Strom und dem Kondensationsstrom weniger als 10 kPa (0,1 bar), bevorzugt weniger als 5 kPa (0,05 bar) beträgt,

- dass die fühlbare Wärme des Destillatstromes durch Wärmeaustausch an den Zulaufstrom und/oder den Retentat-Strom, mit Bevorzugung des Retentat-Stromes, abgegeben wird,
- dass die Beziehung zwischen der Porosität ϵ der porösen Membran, dem Verhältnis S zwischen Kondensatoroberfläche und Membranoberfläche, der lokalen Dampfdruckdifferenz D zwischen Retentat und Zulauf in kPa, der Breite L des Gasspaltes in cm und dem Verhältnis P zwischen dem absoluten Druck in dem Gasspalt und dem lokalen Wasserdampfdruck des Retentates folgendermaßen ist:

$$\frac{\epsilon \cdot S^6}{D \cdot L \cdot P^2} > 1 \quad (\text{bevorzugt} > 2)$$

- und dass der Verlust fühlbarer Wärme des Retentat-Stromes weniger als 300 kJ/kg Kondensat beträgt (weniger als 12% der latenten Wärme) und der spezifische Durchfluss größer als 0,5 kg (bevorzugt größer als 1,0 kg) Kondensat/m² Membran/Stunde/kPa Differenz im Wasserdampfdruck ist.

[0020] WO-A-86.07585 offenbart eine Destillationsvorrichtung, die zum Destillieren von Flüssigkeit vorgesehen ist, wobei die Vorrichtung eine Destillateinheit umfasst, welche eine poröse, hydrophobe Membran, welche für Wasserdampf oder Dampf durchlässig aber für Flüssigkeit undurchlässig ist, und eine Kondensationsoberfläche aufweist, die so in einem Abstand von der Membran angeordnet ist, dass ein Luftspalt zwischen der Membran und der Kondensationsoberfläche gebildet wird, und ferner Einheiten zum Leiten der zu destillierenden Flüssigkeit an der von dem Luftspalt entfernten Oberfläche der Membran umfasst, und wobei die Einheit angeordnet ist, um Flüssigkeit, welche kälter als die zuerst erwähnte Flüssigkeit ist, an dem von dem Luftspalt entfernten Ort der Kondensationsoberfläche zu leiten. Die Breite des Luftspaltes kann weniger als 5 mm betragen.

[0021] Wenn das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt wird, kann vorteilhaft von einer Anzahl von Modulsegmenten Gebrauch gemacht werden, die miteinander verbunden sind und jeweils durch eine Anzahl in Parallelanordnung verbundener poröser Retentat-Kanäle gebildet werden, welche durch einen Gasspalt und eine nicht-poröse Membran von Zulaufstrom-Kanälen getrennt sind, welche in einem Winkel in Bezug auf die Retentat-Kanäle angeordnet sind.

[0022] Der Winkel zwischen den Retentat- und den Zulaufstrom-Kanälen beträgt zwischen 10 und 170°.

[0023] Die Retentat-Kanäle werden gewöhnlich durch poröse hydrophobe Membranen (Porosität größer als 70% und bevorzugt größer als 80% und Porengröße größer als 0,1 µm, bevorzugt zwischen

0,3 und 1,0 µm) begrenzt. Die fraglichen Membranen können kommerziell verfügbare, aus Materialien wie etwa PTFE, PVDF, PP und PE und dergleichen hergestellte Membranen sein. Aus Materialien wie etwa Polyethersulfon, Polysulfon, Polyacrylnitril, Polyamiden, usw. hergestellte sogenannte asymmetrische Mikrofiltrations-Membranen können auch verwendet werden. In diesem Zusammenhang ist es bevorzugt, die Oberfläche dieser Membranen vollständig oder teilweise, z. B. mittels einer Beschichtung oder einer anderen Oberflächenmodifikation, zusätzlich hydrophob zu machen. In der einfachsten Ausführungsform bestehen die Retentat-Kanäle aus parallel angeordneten Hohlfasern oder Kapillarmembranen. Das Retentat strömt durch das Lumen dieser Fasern. Wenn asymmetrische Membranen verwendet werden, ist die aktive Schicht der Membran mit den engsten Poren auf der Retentatseite.

[0024] Zusätzlich zu Hohlfasern können die Retentat-Kanäle jedoch auch durch Membranen in Form flacher Platten oder Membranlagen, optional in einer spiralförmig gewickelten Ausgestaltung, gebildet werden. Im Prinzip ist es auch möglich, die Retentat-Kanäle aus hydrophilem Material wie etwa Fäden oder Gewebe zu bilden oder nicht-poröse (aber höchst dampfdurchlässige) Membranen zu verwenden.

[0025] Die Kondensator-Kanäle, durch welche der Zulaufstrom verläuft, werden gleichfalls bevorzugt durch parallel angeordnete, aus hydrophobem Material hergestellte Hohlfasern/Kapillaren gebildet. Diese Kanäle sind nun nicht-porös, das bedeutet, sie sind nicht dampfdurchlässig oder kaum dampfdurchlässig. Die Abgabe von Kondensat-Destillat kann über hydrophiles Material (wie etwa ein Gewebe) stattfinden, das auf oder um diese Fasern aufgebracht worden ist. Es ist auch möglich, die Kondensator-Kanäle aus hydrophilem Material herzustellen, um welche sich eine Destillatschicht bildet, welche z. B. durch Gravitation abgegeben werden kann.

[0026] Gemäß der Erfindung muss die Kondensatoroberfläche größer als die Oberfläche der Retentat-Kanäle sein (1,2 bis 6 mal, bevorzugt 2 bis 3 mal größer). Dies kann erreicht werden, indem die Kapillaren dicht beieinander angeordnet und/oder indem mehrere Reihen (als eine Regel zwei oder drei) verwendet werden.

[0027] Die Breite des Spaltes zwischen den Retentat-Kanälen und den Kondensator-Kanälen, der sogenannte Gasspalt, kann durch die Verwendung eines geeigneten, bevorzugt aus hydrophobem Kunststoff hergestellten Abstandhalters bestimmt werden. Um den Verlust fühlbarer Wärme von dem Retentat an den Zulauf durch Leitung durch dieses Material zu begrenzen, muss das Material hochporös sein (Porosität bevorzugt größer als 90%). Die Dicke des Materials bestimmt die Breite des Gasspaltes: Weniger als 5 mm, bevorzugt zwischen 0,5 und 2 mm.

[0028] Bevorzugt wird der Gasspalt insbesondere mit Wasserdampf gefüllt, indem ein Vakuum in dem

Gasspalt erzeugt wird, so dass dieses Vakuum ungefähr gleich dem Dampfdruck des Retentat-Stromes vor Ort in dem betreffenden Modulsegment ist. Dies ergibt die beste Leistung in Bezug auf den Massen-transport (Wasserdampftransport vom Retentat zum Kondensator) und die Begrenzung des Verlustes fühlbarer Wärme. Dieses Vakuum kann durch Verwendung einer Vakuumpumpe erzeugt werden, welche am untersten und somit kältesten Modulsegment betrieben wird, wo der niedrigste Druck vorherrscht, und durch Einbringen von Strömungswiderständen, welche regelbar sein können oder nicht, zwischen alle oder einige der Modulsegmente. Es ist auch möglich, dass das Kondensat, das möglicherweise Gase enthält, mittels einer Saugpumpe pro Modulsegment abgegeben wird. Der Gasspalt kann sich jedoch auch bei oder ungefähr bei Atmosphärendruck befinden und mit einem inerten Gas wie etwa Luft oder bevorzugt (in Zusammenhang mit dem Massen-transport und dem Wärmetransport) Wasserstoff oder Helium gefüllt sein. Kohlendioxid, Stickstoff und ähnliche Gase können auch verwendet werden.

[0029] Das Verfahren gemäß der Erfindung kann in einer Anzahl von Ausführungsformen verwirklicht werden. Gewöhnlich wird von Querstrom-Modulsegmenten Gebrauch gemacht werden, die mit Hohlfasern für sowohl den Zulaufstrom als auch den Retentat-Strom ausgerüstet sind. Jedoch können auch flache Membranlagen oder -platten, optional in einer spiralförmig gewickelten Ausgestaltung, oder plattenähnliche Strukturen, die aus mehreren kapillarähnlichen Kanälen bestehen, um die Strömungskanäle zu begrenzen, für den Retentat-Strom verwendet werden.

[0030] In einer ersten Ausführungsform des Verfahrens strömt der zu erwärmende Zulaufstrom in nahezu idealem Gegenstrom zu dem verdampfenden Retentat-Strom, und der Kondensat-Destillat-Strom strömt im Gleichstrom mit dem Retentat-Strom und/oder im Gegenstrom zu dem Zulaufstrom, wodurch auch die fühlbare Wärme rückgewonnen wird.

[0031] In einer Variante davon befindet sich der Retentat-Strom wechselweise im Wärmeaustausch mit einem Restwärmestrom und dem Zulaufstrom. Diese Variante hat den Vorteil, dass von der Restwärme voller Gebrauch gemacht wird und dass die Triebkraft an der Einlassseite des zulaufstromes durch eine ansteigende Temperaturdifferenz aufrechterhalten wird. Die hierfür geeigneten Module können von einer besonders kompakten und kostengünstigen Konstruktion sein.

[0032] Mit dieser alternativen Ausführungsform ist es möglich, dass der Retentat-Strom auch in Wärmeaustausch mit einem Strom von Kühlwasser gemäß dem Prinzip der ersten Ausführungsform des Verfahrens gebracht wird, wobei ein zusätzlicher Destillatstrom gebildet wird.

[0033] In einer zweiten Variante wird der Retentat-Strom, nachdem er durch Abgabe von Verdampfungswärme an den Zulaufstrom gekühlt worden ist,

als ein Kondensator verwendet, indem dieser Retentat-Strom zum Kühlen im Querstrom mit demselben Retentat-Strom durch dampfdichte Kanäle geleitet wird. Der Destillatstrom wird somit sowohl durch Kühlen mittels des Zulaufstromes als auch durch Kühlen mittels des Retentat-Stromes gebildet.

[0034] Die Erfindung betrifft auch ein Modul, das zur Verwendung bei dem oben beschriebenen Verfahren geeignet ist. Solch ein Modul ist aus einer Anzahl miteinander verbundener Segmente hergestellt, wobei jedes Segment aus Schichten im Wesentlichen paralleler nicht-poröser Fasermembranen für den Zulaufstrom und Schichten im Wesentlichen paralleler poröser Fasermembranen für den Retentat-Strom besteht, wobei sich die porösen Fasermembranen in einem Winkel von zwischen 10° und 170° zu den nicht-porösen Fasermembranen befinden, wobei zwischen jeden zwei aufeinanderfolgenden Schichten nicht-poröser Fasermembranen eine Schicht poröser Fasermembranen angeordnet ist, welche mittels Abstandshaltern in einem Abstand entfernt von den Schichten nicht-poröser Fasermembranen gehalten wird, wobei der Abstand weniger als 5 mm beträgt. Jedes Segment hat eine Verteilkammer für zuführende Zulaufflüssigkeit, eine sich gegenüber der letzteren befindende Verteilkammer für abzugebende Zulaufflüssigkeit, eine Verteilkammer für zuführendes Retentat und eine Verteilkammer gegenüber der letzteren für abzugebendes Retentat.

[0035] Die Erfindung wird nun detaillierter unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben:

[0036] **Fig. 1** zeigt schematisch eine erste Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung.

[0037] **Fig. 2** zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform (erste Variante) des Verfahrens gemäß der Erfindung.

[0038] **Fig. 3** zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform (zweite Variante) des Verfahrens gemäß der Erfindung.

[0039] **Fig. 4** zeigt die mögliche Konstruktion eines zu verwendenden Modulsegmentes.

[0040] **Fig. 5** zeigt einen Schnitt entlang der Linie V-V in **Fig. 4**.

[0041] **Fig. 6** zeigt schematisch ein Modul, mit welchem die erste Ausführungsform des Verfahrens ausgeführt werden kann.

[0042] **Fig. 7** zeigt schematisch ein Modul, mit welchem die zweite Ausführungsform des Verfahrens ausgeführt werden kann.

[0043] **Fig. 8** zeigt schematisch ein Modul, mit welchem die dritte Ausführungsform des Verfahrens ausgeführt werden kann.

[0044] In den Figuren ist der Zulaufstrom (z. B. Meerwasser) durch einen Pfeil mit einer einzelnen Pfeilspitze, der Retentat-Strom durch einen Pfeil mit einer doppelten Pfeilspitze, der Dampfstrom durch einen gestrichelten Pfeil und der Destillatstrom (welcher der Kondensatstrom ist und gewöhnlich der Produktstrom, z. B. entsalztes Wasser, ist) durch einen Pfeil mit einer dreifachen Pfeilspitze gekennzeichnet.

Eine poröse Membranoberfläche ist als eine gestrichelte Linie gezeigt und eine Kondensatoroberfläche als eine durchgezogene Linie.

[0045] In **Fig. 1** ist ein Zulaufstrom (z. B. Meerwasser), der durch eine nicht-poröse Membran **2** begrenzt ist, durch **1** gekennzeichnet und ein Retentat-Strom, der durch eine poröse Membran **4** begrenzt ist, ist durch **3** gekennzeichnet, **5** ist ein gasgefüllter Spalt zwischen der nicht-porösen Membran **2** und der porösen Membran **4**; **6** ist ein Wärmetauscher und **7** ist eine Leitung zum Zuleiten des Zulaufstromes, welcher in einem gewissen Ausmaß erwärmt worden ist, zu dem Wärmetauscher **6**. Der Retentat-Strom, welcher in der nicht-porösen Membran **2** und in dem Wärmetauscher erwärmt worden ist, wird mittels einer Leitung **8** der durch die poröse Membran **4** begrenzten Kammer zugeleitet. **9** ist ein Dampfstrom, der durch die Poren der Membran **4** geströmt ist, und **10** ist ein Strom von Flüssigkeit (z. B. entsalztes Wasser), die auf der relativ kalten Membran **2** kondensiert ist. Der Zulaufstrom **1** und der Retentat-Strom **2** strömen im Gegenstrom zueinander. Dasselbe trifft auf den Fall des Zulaufstromes **1** und des Destillat-/Kondensat-/Produkt-Stromes **10** zu. Diese letztere Strömung im Gegenstrom führt zu der Rückgewinnung sogenannter fühlbarer Wärme. Dies kann auch (bevorzugt) bewirkt werden, indem Strom **10** über Wärmetauscher im Gegenstrom mit dem Retentat-Strom und dann optional mit Strom **1** geleitet wird. Die Breite des Gasspaltes beträgt weniger als 5 mm.

[0046] Die minimale Energiemenge, die thermodynamisch erforderlich ist, um flüssiges reines Wasser von Meerwasser (35 g/Liter Salz) zu trennen, beträgt ungefähr 3 bis 15 MJ/m³ für eine Rückgewinnung, die zwischen 0 und 100% beträgt. Dies impliziert, dass der Energieverbrauch von Entsalzungsverfahren, die auf Destillation basieren, durch die Anzahl von Modulen, die, und den Energieverlust, mit welchem die Verdampfungswärme von Wasser (ungefähr 2326 MJ/m³) rückgewonnen werden kann. Dies wird durch den Verfahrenskreislauf und durch die erforderliche Triebkraft zum Verdampfen/Massentransport bestimmt.

[0047] Der spezifische Energieverbrauch eines solchen Verfahrens wird hauptsächlich durch die erforderliche Triebkraft (Erwärmen des zu verdampfenden Stromes), die Wärmeabsorptionsvermögen des zu verdampfenden Stromes und den Verlust fühlbarer Wärme vom Retentat-Strom an den zu verdampfenden Strom bestimmt. Somit sind es insbesondere der Massentransport (dieser bestimmte die erforderliche Triebkraft), der Wärmetransport (besonders fühlbarer Wärme) und die Verfahrenskreis-/Modul-Ausgestaltung, welche wichtig sind.

[0048] Es hat sich herausgestellt, dass zumindest ein Minimum von zehn Modulsegmenten eine nahezu ideale Strömung im Gegenstrom ergeben. Durch Verwendung des Luftspaltes (unter Berücksichtigung des Transportes über den Abstandhalter) kann der

Gesamt-Wärmeverlust (d. h. der Transport fühlbarer Wärme) auf weniger als 10% von dem der latenten Wärme (über Massentransport) begrenzt werden. Für einen Gesamt-Massentransportkoeffizienten von 0,06 m/s (Werte von bis zu 0,12 m/s sind für Permeationen von Wasserdampf durch hohle Polypropylenfasern gemessen worden) sind Destillat-Durchflüsse von bis zu 7 1/m²·h mit Temperaturdifferenzen von weniger als oder gleich 2°C möglich. Für ein gemäß der Erfindung konstruiertes Modul mit 10% Verlust fühlbarer Wärme ergibt ein Wärmegleichgewicht für eine Temperaturdifferenz von 2°C eine Wärme-Rückgewinnung von 10,6% und einen spezifischen Energieverbrauch von 82 MJ/m³ (Wärmekapazität von Meerwasser 4,2 MJ/m³K; Verdampfungsenthalpie 2326 MJ/m³). Es ist in diesem Zusammenhang extrem wichtig, dass fühlbare Wärme ebenfalls aus dem Destillatstrom rückgewonnen wird; die Modulausgestaltung macht es möglich, dass das Destillat das Modul bei einer Temperatur verlässt, die gleich oder niedriger als die des Retentat-Stromes ist. Der Massentransport kann auch beträchtlich erhöht und der relative Verlust fühlbarer Wärme weiter reduziert werden, indem Vakuum in den Modulsegmenten verwendet wird. Dies macht es möglich, die Module gemäß der Erfindung bei einer sehr niedrigen Triebkraft (Temperaturdifferenz) und somit mit einem niedrigen Energieverbrauch zu betreiben.

[0049] **Fig. 2** zeigt eine Variante des oben beschriebenen Verfahrens, mit welcher Restwärme (möglicherweise nach Kondensation) als abzugebende Flüssigkeit verfügbar ist. Die Wärme wird nicht nur zum Erreichen der Spitzentemperatur verwendet, sondern die Flüssigkeit wird im Wärmeaustausch mit dem Retentat-Strom auf eine Temperatur gekühlt, bei welcher sie abgegeben werden kann. Ein beträchtlicher Vorteil besteht darin, dass von der Restwärme (Energie) vollerer Gebrauch gemacht wird und dass die Triebkraft am Boden des Modules durch eine ansteigende Temperaturdifferenz aufrechterhalten wird, wobei als ein Ergebnis davon Module dieser Art von einer besonders kompakten und preisgünstigen Konstruktion sein können. Die Ausführungsformen gemäß **Fig. 1** ergänzend ist ein Strömungskanal **11** vorgesehen, in welchem eine relativ warme, über die Leitung **12a** zugeführte Flüssigkeit sich im Wärmeaustausch mit dem Retentat-Strom **3** befindet. Wie im Fall der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** bringt dieses einen Kondensatstrom **10** hervor. Eine Anzahl von Modulen, die in dieser Weise konstruiert sind, kann in Reihe angeordnet werden, und der Retentat-Strom von dem einen Modul **3** wird, nachdem er mittels eines Kühlwasserstromes **12b**, der im Gegenstrom in einem separaten Modul **13** mit einer porösen Membran **14** und einem engen Gasspalt **15** strömt, gekühlt worden ist, als Zulaufstrom **1** einem nachfolgenden Modul zugeleitet, in welchem Restwärme verwendet wird, um den Retentat-Strom **3** zu erwärmen. Der Gasspalt **15** beträgt weniger als 5 mm. In diesem Fall wird auch ein separater Kondensatstrom **10** in dem

Modul erzeugt, in welchem Kühlwasser als Wärmeaustauschmedium verwendet wird.

[0050] **Fig. 3** zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform, in welcher sich Stücke poröser Retentat-Membranen **4a** mit Stücken nicht-poröser Retentat-Membranen **4b** abwechseln und bei welcher Kondensat sowohl nahe der nicht-porösen Membranen **2**, welche den Zulaufstrom **1** begrenzen, als auch an den nicht-porösen Teilen **4b** der Retentat-Membranen gebildet, welche den Retentat-Strom begrenzen. Auch hier ist es vorteilhaft, Vakuum in dem Modul zu erzeugen.

[0051] Die **Fig. 4** und **5** zeigen eine Ausführungsform eines möglichen, in der Ausführungsform gemäß den **Fig. 1**, **2** und **3** zu verwenden Modulsegmentes. Das Segment besteht in diesem Fall aus einem Vierkantröhr, dessen Wände aus mit einer Öffnung **16** versehenen Kammern bestehen, d. h. einer Zulauf-Verteilkammer **17** für den relativ kalten Zulaufstrom **1**, eine Abgabe-Verteilkammer **18**, die sich gegenüber der letzteren befindet, für den Zulaufstrom **1**, der in gewissem Maße erwärmt worden ist, eine Zulauf-Verteilkammer **19** für einen warmen Retentat-Strom **3** und eine Abgabe-Verteilkammer **20** für den Retentat-Strom **3**, der in gewissem Maße gekühlt worden ist. Schichten nicht-poröser Hohlfasern **21**, in welchen der Zulaufstrom **1** aus der Kammer **17** zu der Kammer **18** strömt, verlaufen zwischen den Kammern **17** und **18**. Die Oberfläche dieser Fasern ist größer (1,2 bis 6. mal und bevorzugt 2 bis 3 mal größer) als die der porösen Fasern oder Lagen **22**. Übrigens können auch mehrere Schichten (z. B. 2 bis 4) vorgesehen sein, um eine noch größere Kondensationsoberfläche zu erzeugen. Eine Schicht hohler poröser Fasern **22**, in welchen sich der Retentat-Strom **3** aus der Kammer **19** zur Kammer **20** bewegt, verläuft zwischen jeder aufeinanderfolgenden Schicht (oder Schichten) von Hohlfasern **21**. In der Figur befinden sich die hohlen porösen Fasern **22** in einem Winkel von 90° zu den Hohlfasern **21**, aber dieser Winkel kann zwischen 10 und 170° betragen. Übrigens kann eine Schicht **22** auch durch eine Hülle einer flachen Membran, mit einem geeigneten Abstandhalter darin, um den Strömungskanal offen zu halten, gebildet werden. Die Fasern **21** und **22** werden durch eine hochporöse Abstandhalterschicht oder einen hochporösen Abstandhalterstreifen (Porosität höher als 70%, bevorzugt höher als 90%) auseinandergehalten, die bzw. der mit Gas (z. B. Wasserdampf oder Inertgas) gefüllt ist.

[0052] Jedes Modulsegment ist mit Verbindungsmiteln (z. B. Schnappverbindungs-Elemente oder eine Harzverbindung) versehen, welche nicht gezeigt sind, mittels welcher es mit einem angrenzenden Segment verbunden werden kann, so dass der Zulaufstrom aus der Kammer **18** des Segmentes in eine Kammer **17** eines nachfolgenden Segmentes strömen kann und der Retentat-Strom aus einer Kammer **20** eines Segmentes in eine Kammer **19** eines vorhergehenden Segmentes strömen kann (siehe auch

Fig. 6).

[0053] Abhängig von der Modulsegment-Ausgestaltung können die Verbindungsöffnungen **16** an anderen Stellen als den in **Fig. 4** gezeigten erzeugt werden. Eine Anzahl miteinander verbundener Modulsegmente (typischerweise 5 bis 20) bilden ein Modul. [0054] **Fig. 6** zeigt schematisch die verschiedenen Strömungswege des Zulaufstromes **1**, des Retentat-Stromes **3** und des Kondensatstromes **10**, wenn die erste Ausführungsform gemäß **Fig. 1** verwendet wird. Die vier Modulsegmente, welche aus Gründen der Klarheit in **Fig. 6** voneinander getrennt dargestellt sind, sind in Wirklichkeit aneinander befestigt. Der Zulaufstrom (z. B. Meerwasser) durchströmt die nicht-porösen Hohlfasern **21**, der Retentat-Strom **3** (z. B. Sole) durchströmt die Hohlfasern **22** und der Kondensat-/Destillat-/Produkt-Strom (z. B. entsalztes Wasser) rinnt durch die Modulsegmente nach unten. Über das Modul als Ganzes gesehen befinden sich der Zulaufstrom **1** und der Retentat-Strom **3** im Gegenstrom zueinander (in der Zeichnung bewegt sich der Strom **1** von unten nach oben und der Strom **3** von oben nach unten). Außerdem befindet sich in diesem Fall der Kondensat-/Destillat-Strom **10** im Gegenstrom zu dem Zulaufstrom **1**, und innerhalb jedes Modulsegmentes befindet sich der Zulaufstrom **1** und der Retentat-Strom **3** im Querstrom (Winkel bevorzugt 90°, kann zwischen 10 und 170° sein) zueinander. Eine Vakuumpumpe **24** ist mit dem untersten Modulsegment verbunden, mit dem Ziel, den Energieverbrauch durch Reduzieren des relativen Verlustes fühlbarer Wärme zu verringern, den Massentransport zu erhöhen und eine Möglichkeit für einen Betrieb bei einer sehr niedrigen Triebkraft (ΔT) bereitzustellen.

[0055] **Fig. 7** unterscheidet sich von **Fig. 6** dadurch, dass der Retentat-Strom auch in Wärmeaustausch mit einem Strom von Restwärme **12** in Modulsegmentteilen **25** gebracht wird. Tatsächlich geht es hier um die weitere Entwicklung eines in der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** verwendeten Moduls. In den Segmentteilen **25** kreuzen sich nicht-poröse Membranfasern zum Transport von Restwärme und Retentat-Strom. Ein Modulsegmentteil **25** kann ein integrales Ganzes mit einem Modulsegment bilden, in welchem der Zulaufstrom **1** und der Retentat-Strom **3** im Gegenstrom zueinander geleitet werden.

[0056] **Fig. 8** ist eine weitere Entwicklung des Strömungsschemas gemäß **Fig. 3**. Der Retentat-Strom befindet sich im Gegenstrom mit sowohl dem Zulaufstrom als auch mit sich selbst (nachdem er durch Wärmeaustausch mit dem Zulaufstrom gekühlt worden ist). Aus Gründen der Klarheit sind mögliche Temperaturen des Retentats in dieser Figur angegeben. Ein Kondensat-/Destillat-/Produkt-Strom **10**, z. B. entsalztes Wasser, wird sowohl in dem Modul, in welchem ein Retentat-Strom und ein Zulaufstrom im Querstrom zueinander strömen, als auch in dem Modul erhalten, in welchem Retentat-Strom und Retentat-Strom in Querströmung zueinander strömen.

[0057] Es hat sich herausgestellt, dass durch Verwendung der Erfindung bei kleinen Dampfdruckdifferenzen zwischen verdampfendem und kondensierendem Strom, z. B. weniger als 0,1 bar, Frischwasser aus Meerwasser mit einem spezifischen Energieverbrauch von weniger als 200 kJ/kg erzeugt werden kann, d. h. ungefähr 4 bis 8 mal niedriger als bekannte Membrandestillationsverfahren.

[0058] Die Erfindung ist besonders für die Entsalzung von Meerwasser geeignet. Existierende Techniken hierfür, wie etwa Destillation mit mehrstufiger Entspannung und Umkehrosmose, sind in nahezu maximalem Ausmaße optimiert worden und sind aufgrund eines zu hohen Energieverbrauches und einer zu hohen Investitionshöhe pro Produkteinheit verglichen mit Festland-Reinigungs-Herstellungsverfahren zu teuer. Durch Verwendung der Erfindung werden spektakuläre Ergebnisse in Bezug auf einen hohen Durchfluss, einen niedrigen Wärmeverlust, einen sehr niedrigen Energieverbrauch, eine hohe Wasser-rückgewinnung, eine gute Wasserqualität und einen Durchbruch bei Wasserproduktionskosten erzielt. Das Verfahren ist zur Verwendung bei relativ niedriger Temperatur (minderwertige Wärme, Abwärme, Sonnenwärmekollektoren usw.) geeignet. Eine beträchtliche Verbesserung der Energieeffizienz wird erwartet, insbesondere im Fall von Kleinanwendungen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reinigung einer Flüssigkeit durch Membrandestillation, insbesondere zur Erzeugung von entsalztem Wasser aus Meerwasser oder Brackwasser oder Prozeßwasser, umfassend:
 – Leiten eines relativ warmen verdampfenden Flüssigkeitsstromes (Retentat-Strom (3)) über eine poröse Membran (4), wobei Dampf durch die Poren der Membran zu der anderen Seite der Membran strömt,
 – Kondensieren des Dampfes an einer relativ kalten Kondensatoroberfläche (2), um einen Destillatstrom (10) zu erzeugen, wobei die Kondensatoroberfläche die nicht poröse Trennung zwischen einem zu reinigenden Zulaufstrom (1) und dem Destillatstrom (10) bildet, wobei sich der Zulaufstrom (1) im Gegenstrom zum Retentat-Strom (3) befindet, so daß ein beträchtlicher Anteil der latenten Wärme über Dampf zum Zulaufstrom (1) übertragen wird,
 – wobei sich ein Gasspalt (5) mit der Breite von weniger als 5 mm zwischen der porösen Membran (4) und der Kondensatoroberfläche (2) befindet,
 – wobei in dem Gasspalt (5) ein Druck aufrechterhalten wird, welcher niedriger als der Atmosphärendruck und größer als der Dampfdruck des Zulaufstromes ist,

dadurch gekennzeichnet,

– daß die Porosität ϵ der porösen Membran (4) größer als 0,7 ist, wobei Porosität als das Verhältnis des offenen Volumens zum Gesamtvolumen der porösen Membran (4) verstanden wird,

– daß die Oberfläche der Kondensatoroberfläche (2) 1,2 bis 6 mal, bevorzugt 2 bis 3 mal so groß ist wie die Oberfläche der porösen Membran (4),
 – daß die effektive lokale Dampfdruckdifferenz zwischen dem Retentat-Strom (3) und dem Kondensationsstrom (10) weniger als 10 kPa (0,1 bar), bevorzugt weniger als 5 kPa (0,05 bar) beträgt,
 – daß die fühlbare Wärme des Destillatstromes (10) durch Wärmeaustausch an den Zulaufstrom (1) und/oder den Retentat-Strom (3), mit Bevorzugung des Retentat-Stromes (3), abgegeben wird,
 – daß die Beziehung zwischen der Porosität ϵ der porösen Membran (4), dem Verhältnis S zwischen Kondensatoroberfläche und Membranoberfläche, der lokalen Dampfdruckdifferenz D zwischen Retentat und Zulauf in kPa, der Breite L des Gasspaltes in cm und dem Verhältnis P zwischen dem absoluten Druck in dem Gasspalt und dem lokalen Wasser-dampfdruck des Retentates folgendermaßen ist:

$$\frac{\epsilon \cdot S^6}{D \cdot L \cdot P^2} > 1 \quad (\text{bevorzugt } > 2)$$

– und daß der Verlust fühlbarer Wärme des Retentat-Stromes (3) weniger als 300 KJ/kg Kondensat beträgt (weniger als 12% der latenten Wärme) und der spezifische Durchfluß größer als 0,5 kg (bevorzugt größer als 1,0 kg) Kondensat/m² Membran/Stunde/kPa Differenz im Wasser-Dampfdruck ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß von einer Anzahl von Modulsegmenten Gebrauch gemacht wird, die miteinander verbunden sind und durch eine Anzahl parallel angeordneter poröser Retentat-Kanäle (22) gebildet werden, welche durch den Gasspalt und die nicht-poröse Membran von den Zulaufstrom-Kanälen (21) getrennt sind, welche in einem Winkel in Bezug auf die Retentat-Kanäle angeordnet sind.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel zwischen dem Retentat-Strom und den Zulaufstrom-Kanälen (22 bzw. 21) zwischen 10 und 170° beträgt.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Poren der Membran (4, 22) größer als 0,1 µm sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Retentat-Kanäle (22) aus einem hydrophoben porösen Membranmaterial hergestellt sind.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zulaufstrom-Kanäle (21) aus einem hydrophoben Material hergestellt sind, das auf der Kondensat-Destillat-Abgabeseite durch hydrophiles Material bedeckt oder

von diesem umgeben ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zulaufstrom-Kanäle (21) aus hydrophilem Material hergestellt sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite des Gasspaltes (5) zwischen Retentat-Strom (3) und Zulaufstrom-Kanälen durch die Verwendung eines hydrophoben Abstandhalters von schlechter thermischer Leitfähigkeit mit einer Porosität von mehr als 70%, bevorzugt mehr als 90% bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gas- palt (5) mit inertem Gas, wie etwa H₂, CO₂, N₂, vor- zugsweise He gefüllt ist:

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine externe Energiequelle, die fossilen Brennstoffen, Solar- wärme, Erdwärme, Rest-/Abwärme aus einer großen Vielzahl von Prozessen, usw. entstammt, in flüssiger, dampfförmiger/gasförmiger oder fester Form ver- wendet wird, um die Triebkraft für den Prozeß bereit- zustellen.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch ge- kennzeichnet, daß die externe Energiequelle auch zum Erwärmen des durch Verdampfung gekühlten Retentat-Stromes (13) verwendet wird, wobei der Retentat-Strom (13) wechselweise im Wärmeaus- tausch mit einem, Restwärmestrom (12a) und dem Zulaufstrom geleitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch ge- kennzeichnet, daß der Retentat-Strom auch in Wär- meaustausch mit einem Strom (12b) aus Kühlwasser gebracht wird, wobei ein zusätzlicher Destillatstrom gebildet wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Reten- tat-Strom (3), nachdem er durch Abgabe von Ver- dampfungswärme an den Zulaufstrom gekühlt wor- den ist, als Kondensator verwendet wird, indem die- ser Retentat-Strom (3) zum Kühlen im Querstrom mit demselben Retentat-Strom (3) durch dampfdichte Kanäle geleitet wird, wobei das Destillat sowohl durch Kühlen mittels des Zulaufstromes als auch durch Kühlen mittels des Retentat-Stromes gebildet wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Fig 1

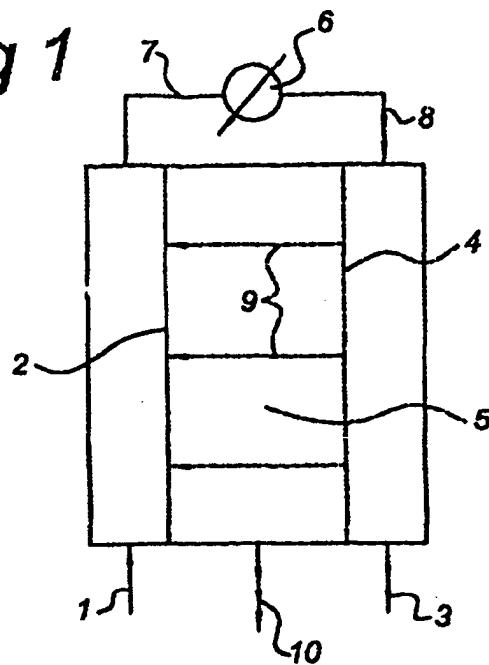


Fig 2

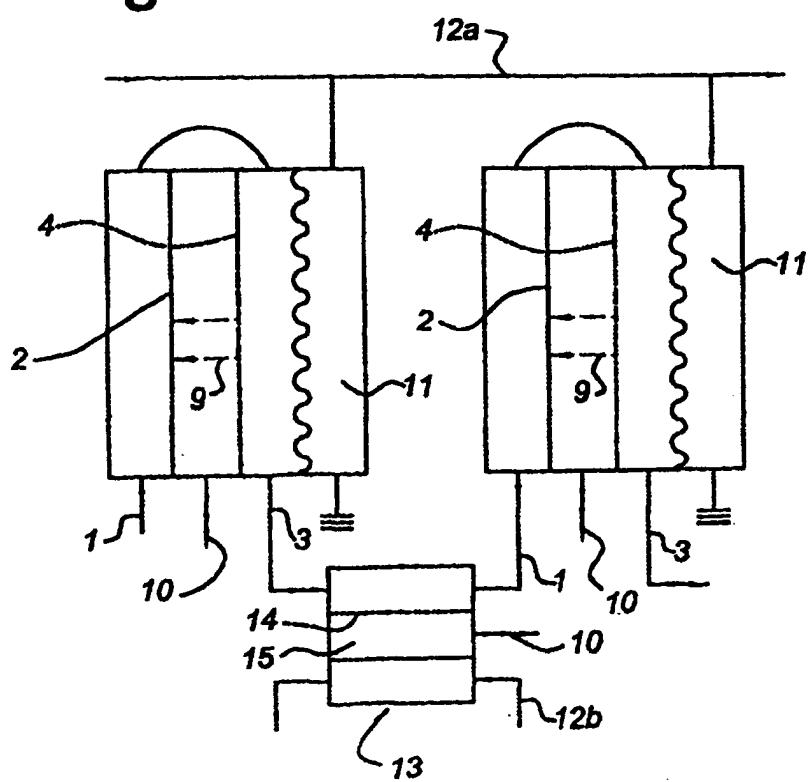


Fig 3

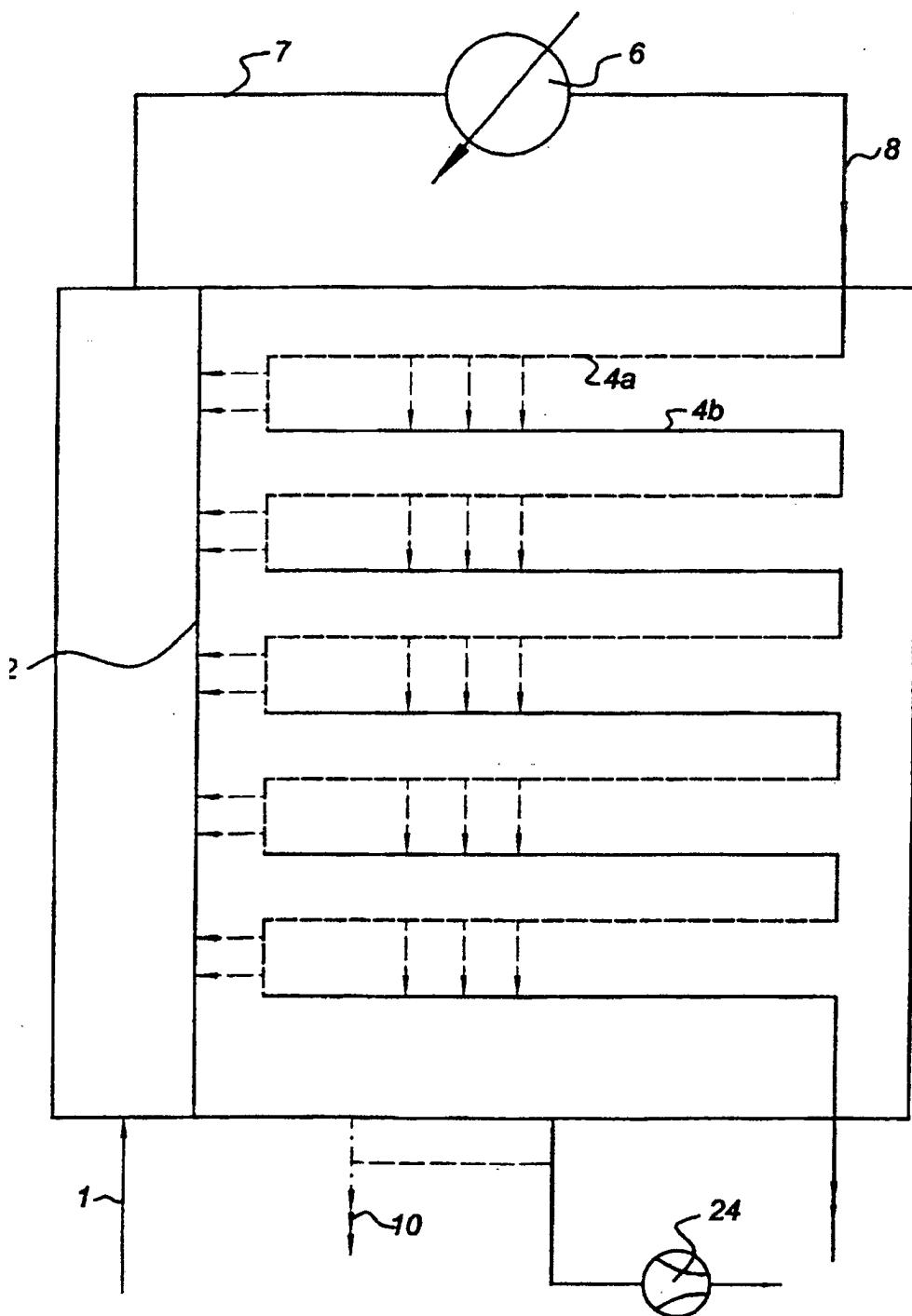


Fig 4

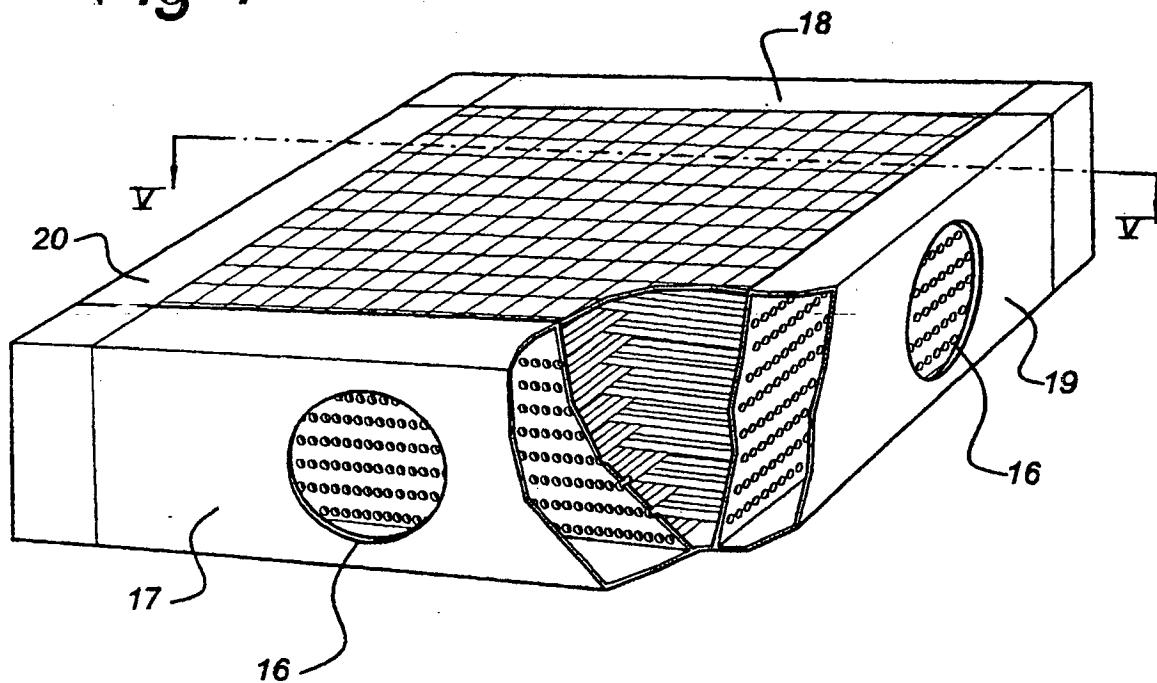


Fig 5

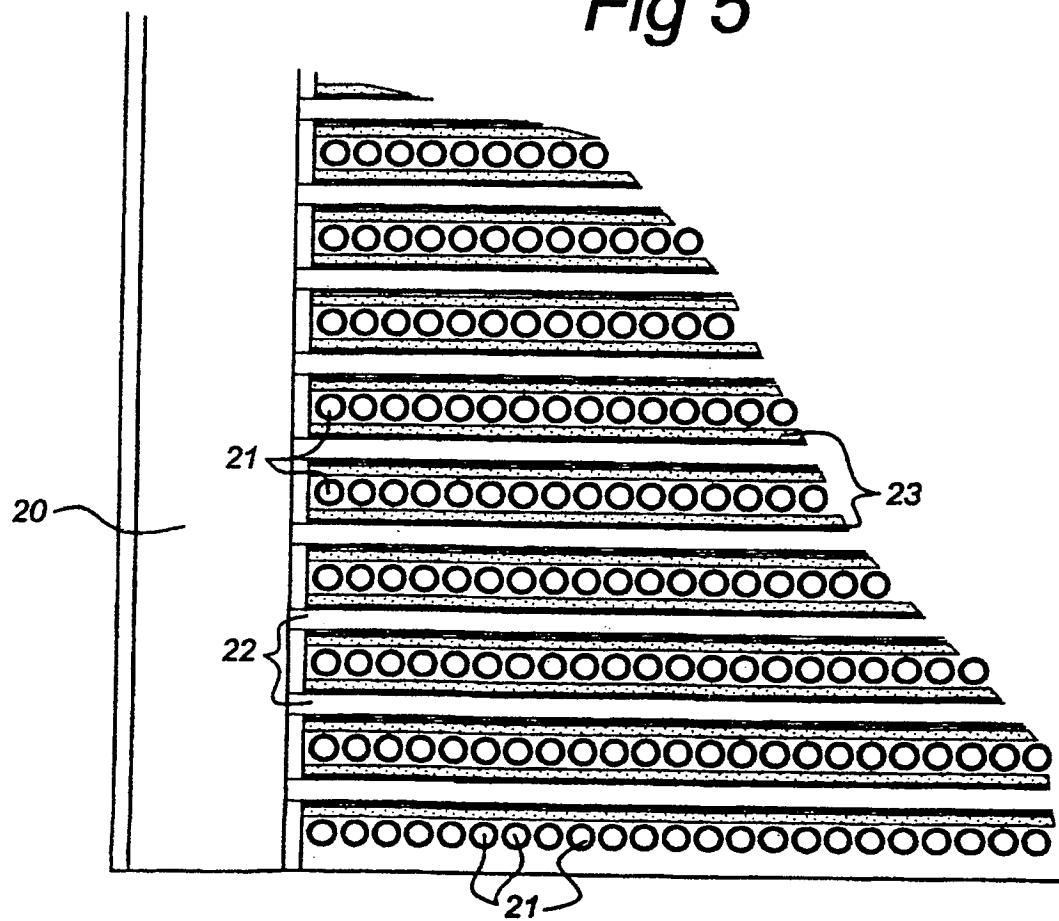


Fig 6

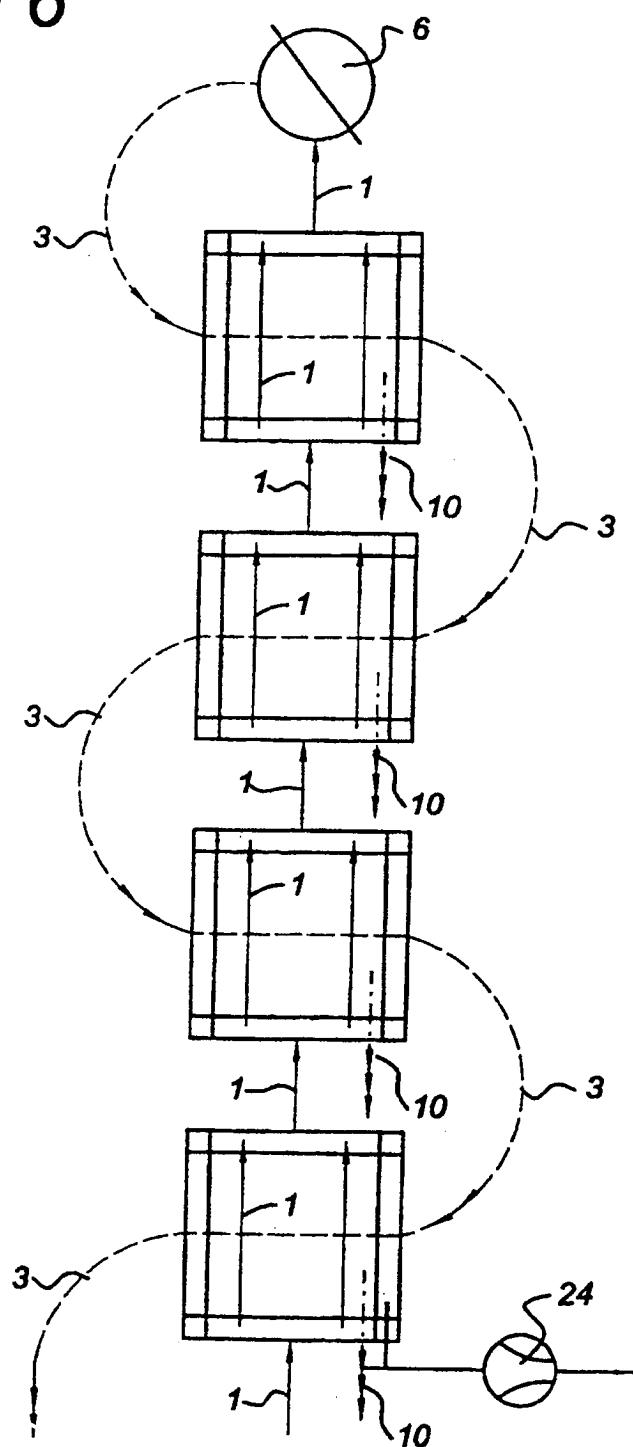


Fig 7

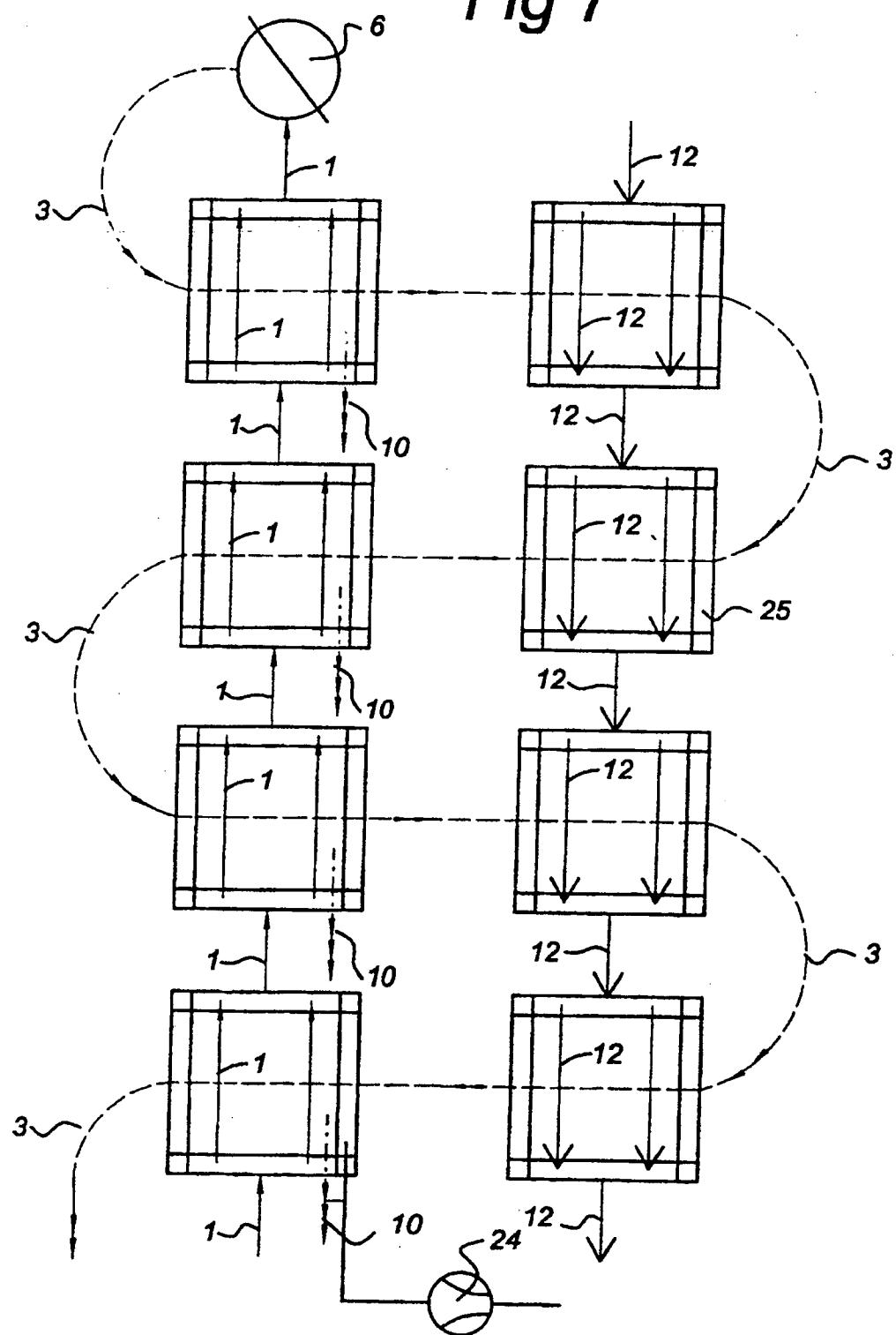


Fig 8

