



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 06 722 B4** 2008.11.06

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 06 722.4**
(22) Anmeldetag: **14.02.2001**
(43) Offenlegungstag: **05.09.2002**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B01D 63/02** (2006.01)
B01D 63/04 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Gleiss Große Schrell & Partner Patentanwälte
Rechtsanwälte, 70469 Stuttgart**

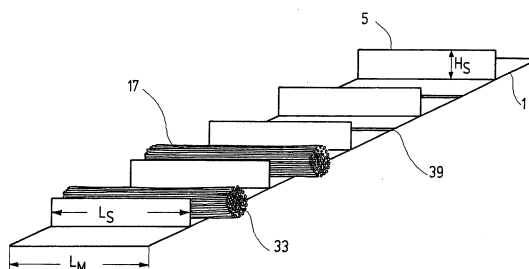
(72) Erfinder:
**Walitza, Eckehard, Dr., 73430 Aalen, DE;
Szperalski, Berthold, Dr., 82377 Penzberg, DE;
Behrendt, Ullrich, Dr., 82404 Sindelsdorf, DE;
Herres, Gerhard, 66701 Beckingen, DE; Gerner,
Franz-Josef, Dr., 66606 Sankt Wendel, DE; Weber,
Wolfram, 66583 Spiesen-Elversberg, DE; Gergen,
Reinhard, 66780 Rehlingen-Siersburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 100 45 227 C1
DE 27 00 966 B2
DE 198 11 945 A1
DE 198 06 293 A1
DE 26 50 588 A1
US 37 28 256 A
US 58 46 427 A
US 57 79 897 A
WO 98/28 066 A1
WO 00/21 890 A1
JP 08-1 08 049 A

(54) Bezeichnung: **Spezielles Hohlfaser-Membranmodul für den Einsatz in stark durch fouling beeinträchtigten Prozessen und seine Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Hohlfasermembran-Modul zur Verwendung als Tauchmodul für Filtrations-, Diafiltrations- und Dialyse-Verfahren, umfassend mindestens ein Gehäuse und eine Mehrzahl von tubulären Hohlfasermembranen mit gleichem oder unterschiedlichem Durchmesser, welche in dem und/oder um das Gehäuse in einen Packungsraum parallel zueinander angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Mantel des Gehäuses (3) mit Öffnungen (25) versehen ist, wobei das Verhältnis der Gesamtfläche der Öffnungen (25) zur Gesamtfläche des Gehäusemantels 0,2 bis 0,9 beträgt, dass die Hohlfasermembranen (33) im Modul in Form von Bündeln (17) angeordnet sind, wobei mindestens zwei Hohlfasermembranbündel durch mindestens ein am Mantel des Gehäuses (3) angebrachtes Segmentierelement (5) voneinander getrennt sind und das Volumenverhältnis von allen in dem Packungsraum (18) angeordneten Hohlfasermembranen (33) zum Packungsraum (18) weniger als 20% beträgt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Hohlfasermembran-Module zur Verwendung als sogenannte „Tauchmodule“ in Filtrations- und/oder Dialyse-Verfahren, insbesondere dann, wenn auf Grund des Einsatzes verschmutzter oder zu Ablagerungen führender Flüssigkeiten Beeinträchtigungen durch „fouling“-Effekte erwartet werden, sowie Verfahren zur Herstellung solcher Hohlfasermembran-Module.

[0002] Durch die erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Module werden die Strömungsverhältnisse im Raum zwischen den Hohlfasern, also im Außenraum der Hohlfasern beeinflusst, nicht jedoch die Strömung im Lumen der Hohlfasern.

[0003] In der Industrie werden seit einigen Jahren beispielsweise in der Abwasserreinigung oder in der Biotechnologie synthetische Membranen zur Stofftrennung eingesetzt. Dabei spielen insbesondere die Aufarbeitung wässriger Systeme, aber auch die Trennung von Gasen oder Gemischen organischer Flüssigkeiten eine Rolle. Neben Membranen aus vorwiegend organischen Materialien, beispielsweise Polysulfonen, gibt es auch Membranen, die aus anorganischen Materialien, wie zum Beispiel Aluminiumoxid, Kohlenstoff-Fasern und Zirkoniumoxid bestehen, und die mit Temperaturen bis 400°C belastet werden können.

[0004] Unter Verwendung von Druck oder Unterdruck können Membranfiltrationsverfahren sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich als Ultrafiltration oder zusammen mit einer Konzentrationsdifferenz als Diafiltration angewandt werden. Bei Filtrationsvolumina < 1000 ml werden Filterzellen oft mit Membranflachfiltern ausgestattet, während man für größere Volumina Kapillar- oder Hohlfasersysteme verwendet. Von Kapillar- beziehungsweise Rohrmembranen spricht man, wenn der Durchmesser der rohrförmigen Membranen > 1 mm ist, von Hohlfasermembranen, wenn der Durchmesser < 1 mm ist, wobei der Durchmesser einer Dialysemembran typischerweise 0,2 bis 0,5 mm beträgt.

[0005] Membranen für Filtrations- oder Dialyseverfahren stellen dünne, folienartige, entweder so genannte „dichte“ oder poröse Trennschichten dar. Die porösen Trennschichten sind je nach Porengröße nur für bestimmte Molekular- oder Partikelgrößen durchlässig, während die so genannten „dichten“ Trennschichten je nach Löslichkeit und Diffusivität der zu trennenden Stoffe im Material der Trennschichten die Stoffe schneller oder langsamer permeieren lassen und so zu einer Trennung führen. Membranen haben oft eine schaumartige Stützstruktur mit 60% bis 80% Hohlraum, welche die eigentliche Trennschicht trägt. Asymmetrisch aufgebaute Membranen bestehen aus einer hochporösen Stützschrift, bei der die Größe

der Hohlräume innerhalb der Stützstruktur zu der Seite hin, welche die eigentliche Trennschicht trägt, abnimmt.

[0006] Zur Aufarbeitung größerer Lösungsvolumina werden schlauchförmige Membranbündel aus Hohlfaser (hollow fiber)- oder Kapillarmembranen, die aufgrund einer großen Membranoberfläche einen größeren Durchlauf von Lösungen ermöglichen, direkt in die zu bearbeitende Lösung als so genannte Tauchmodule eingebracht. Zum Schutz der Membranbündel vor mechanischen Beschädigungen, die beispielsweise durch von der Flüssigkeitsströmung hervorgerufene Kräfte bewirkt werden können, werden die Membranbündel häufig in einem Gehäuse untergebracht, das den Hohlfasermembranen ausreichenden Schutz und nach außen hin Stabilität verleiht. Das Gehäuse weist dabei Öffnungen auf, die den Austausch von Lösungen zwischen dem Gehäuse-Inneren, also den Hohlfasermembranen, und dem Medium, in welches das Hohlfasermembran-Modul eingetaucht wurde, ermöglichen sollen.

[0007] Aus der DE 27 00 966 B2 ist eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Aufbereitung verunreinigter Reinigungsflüssigkeiten durch Schlauchmembranen bekannt, die in die Reinigungsflüssigkeit eingetaucht sind. Dabei werden Schlauchmembran-Bündel verwendet, die aus einer Vielzahl von Schlauchmembranen bestehen, die in einem Netz gebündelt sind und deren beide Enden in einer Halbkreisconfiguration form- oder stoffschlüssig in einen Schlauchmembranboden am oberen Ende des Tauchmoduls eingearbeitet sind.

[0008] Dieser Schlauchmembranboden dient zur Zu- und Abführung der durch das Lumen der Schlauchmembranen geleiteten Flüssigkeit, die durch Übertritt gereinigter Flüssigkeit in das Lumen der Schlauchmembranen angereichert wird.

[0009] Bei der üblicherweise verwendeten Bauart eines Membranmoduls, welches nicht als Tauchmodul bezeichnet werden kann, haben die Wände des schützenden Gehäuses keine Öffnungen, sind also undurchlässig, und das Gehäuse hat statt dessen zwei Anschlüsse, nämlich eine Zu- und eine Ableitung, durch welche das zu bearbeitende Medium den Außenflächen der Hohlfasern zu- und dann wieder von diesen weggeführt wird. Solche geschlossenen Membranmodule sind beispielsweise in der DE 26 50 588 A1, in der US 3 728 256 A in der US 5 846 427 A in der US 5 779 897 A oder in der JP 08108049 A beschrieben. Ein mögliches Herstellverfahren für solche Module ist aus der DE 198 06 293 A1 bekannt.

[0010] Bei solchen üblicherweise verwendeten Modulen wird eine möglichst hohe Packungsdichte angestrebt, was bedeutet, dass so viel Hohlfasermembranen wie möglich parallel im Gehäuseinneren un-

tergebracht sind und das Gehäuse somit eine hohe Packungsdichte aufweist. Unter dem Begriff „Packungsdichte“ wird das Verhältnis des Volumens aller Hohlfasermembranen einschließlich ihres Wandvolumens zum Volumen des Gehäuses, in dem die Hohlfasern angeordnet sind, in Prozent verstanden. Eine hohe Packungsdichte bedeutet daher ein kleines Volumen der zwischen den tubulären Membranfasern gebildeten Hohl- oder Freiräume innerhalb des Gehäuses. Eine naturgemäße obere Grenze der Packungsdichte von < 100% ergibt sich dadurch, dass innerhalb des definierten Volumens des Gehäuses nur eine solche Anzahl von tubulären Membranen parallel angeordnet werden kann, die das vorgegebene Volumen nicht ausschöpfen kann. Die Beschränkung ergibt sich dadurch, dass bei Berührung der tubulären Membranen Zwischenräume entstehen, die keine tubuläre Form aufweisen, und somit selbst bei idealster Anordnung einen Resthohlraum übrig lassen. Die Packungsdichte wird jedoch noch durch zwei weitere wichtige Faktoren begrenzt. Einerseits muss beim Vergießen der Hohlfaserenden Dichtungsmaterial zwischen die Hohlfasern eingebracht werden und andererseits sollen die Hohlfasern auch an ihrer Außenfläche von den im Einsatz befindlichen Lösungen umströmt werden, damit je nach Betriebsweise des Moduls entweder eine zu filtrierende Lösung in Kontakt mit den Membranen gebracht werden kann oder aber Filtrat abgeführt werden kann. Die Hohlaserbündel müssen an ihren Enden in ein sogenanntes Vergussmaterial eingebettet werden, damit auf diese Weise, ebenso wie bei Rohrbündelwärmeaustauschern, an jedem Ende ein im Folgenden als „Pottung“ bezeichneter Rohrboden entsteht. Dadurch entstehen zusammen mit dem Gehäuse, in welches das Bündel eingebracht wird, zwei Räume, die durch die Membran getrennt werden. Die so entstandenen, getrennten Räume, können dann jeweils mit einer Zu- und einer Abführungsleitung versehen werden, um in den einen Raum das zu behandelnde Feed zuzuführen und als Retentat daraus abzuführen und aus dem anderen Raum das aus dem Feed gewonnene Filtrat abzuführen.

[0011] Die Packungsdichte der üblicherweise verwendeten, herkömmlichen Hohlfasermembran-Module liegt daher bei etwa 25% bis 30%.

[0012] Herkömmliche Hohlfasermembran-Module sind vor allem für den Einsatz in partikelfreien Lösungen, das heißt nicht verschmutzten beziehungsweise nicht zu Ablagerungen neigenden Lösungen oder Medien, konzipiert. Solche herkömmlichen, dicht gepackten Membranmodule mit einem perforierten Modulgehäuse werden jedoch häufig ebenfalls bei technischen Prozessen eingesetzt, in denen partikelhaltige Medien, beispielsweise verschmutzte Flüssigkeiten bei der Abwasserbehandlung, eingesetzt. Insbesondere bei solchen partikelhaltigen Medien tritt im Verlauf des Filtrationsprozesses ein sogenanntes

„fouling“ auf, das heißt auf den Membranflächen bilden sich im Lauf der Zeit zunehmend Ablagerungen, die die Durchlässigkeit der Membranen für die abzutrennenden Stoffe immer stärker herabsetzen. Dies kann so weit führen, dass der konvektive Transport innerhalb des Hohlfasermembran-Moduls, das heißt zwischen den Hohlfäden, vollständig unterbunden wird und die Transportleistung des gesamten Moduls um Größenordnungen abnimmt, da nur noch ein geringer Prozentsatz der im Modul untergebrachten Gesamtmembranfläche zur Stofftrennung zur Verfügung steht. Werden beispielsweise Bündel von Hohlfasern verwendet, können insbesondere nur noch die am äußeren Umfang des Bündels angeordneten Hohlfasern am konvektiven Transport des Außenraums teilhaben. Bei den im Inneren des Moduls angeordneten Hohlfasern erfolgen im äußersten Falle nur noch Diffusionsprozesse, die jedoch aufgrund der Ablagerungen ebenfalls stark beeinträchtigt werden.

[0013] Zur Beseitigung der Ablagerungen von „fouling“-Prozessen werden üblicherweise chemische oder mechanische Reinigungsverfahren, wie Rückspülung, mechanisches Rütteln, Ultraschall-Verfahren usw. angewendet. Abgesehen davon, dass diese Reinigungsverfahren mit einem hohen energetischen Aufwand verbunden sind, bergen sie stets das Risiko einer mechanischen Beschädigung der Hohlfasermembranen in sich. Wenn diese üblichen Maßnahmen nicht mehr anwendbar sind, bleibt als einzige Maßnahme eine geeignete Anströmung der Membranoberfläche durch die Feed-Lösung.

[0014] Um „fouling“-Prozesse speziell bei Anwendungen in Belebungsbecken in Kläranlagen zu unterbinden, wurde ein Filtrationsverfahren (WO 99/29401 A1; Zenon Environmental, Inc., Burlington, Ontario, CA) entwickelt, bei dem Kapillarmembranen ohne schützendes Gehäuse direkt in das Belebungsbecken eingebracht werden. Um die Fasern von Ablagerungen frei zu halten, werden sie mit einem gleichmäßigen Strom von Luftblasen überspült. Diese Fasern weisen allerdings einen teilweise erheblich größeren Durchmesser auf als die üblicherweise verwendeten Fasern, die einen Durchmesser von weniger als 1 mm aufweisen. Darüber hinaus besitzen sie dicke Stützstrukturen. Außerdem lassen sich diese Hohlfasern nur an solchen Stellen im Belebungsbecken einsetzen, an denen die von der Strömung induzierten mechanischen Kräfte sehr klein sind beziehungsweise sehr klein gehalten werden können. Bei dieser speziellen Anwendung betragen die Abstände zwischen den einzelnen Kapillarmembranen bis zu mehreren Millimetern. Andere Verfahren sind aus der WO 00/21890 A1, aus der WO 98/28066 A1 oder aus der DE 100 45 227 C1 bekannt.

[0015] Im Stand der Technik sind auch handelsübliche Hohlaser-Systeme bekannt, bei denen in einem Gehäuse mehrere einzelne, dicht gepackte Module,

beispielsweise mit einer Packungsdichte von 20 bis 35%, in paralleler Verschaltung untergebracht sind. Auf diese Weise ergeben sich im Prinzip vereinzelt Stränge, zwischen denen ausreichend Platz vorhanden ist, um eine bessere An- beziehungsweise Durchströmung der Einzelstränge zu gewährleisten und „fouling“-Prozesse zu minimieren. Solche Systeme erfordern jedoch ein technisch sehr aufwendiges Gehäuse, dessen Herstellung entsprechend teuer ist.

[0016] Aus der DE 198 11 945 A1 ist eine Vorrichtung zur Trennung von mit Fremdstoffen belasteten flüssigen Medien, insbesondere kommunalen und gewerblichen Abwässern, mittels einer Membrantrenneinrichtung bekannt. Verstopfungen und Verblockungen werden dadurch vermieden, dass eine Mehrzahl von Membranelementen einen in Strömungsrichtung des Mediums sich teilweise ausbildenden linearen Strömungskanal einschließt. Die Membranelemente werden dabei von außen von zum filternden Medium umströmt und weisen stets einen Strömungskanal im Inneren des jeweiligen Membranelementes auf, in dem das gereinigte Filtrat abgeführt wird. Dadurch wird es möglich, dass die in der Vorrichtung angeordneten Membranelemente gleichzeitig und von allen Seiten angeströmt werden, um so eine Verblockung zu verhindern.

[0017] Darüberhinaus ist bei Flachmembranen umfassenden Wickelmodulen oder Elektrodialyse-Stacks die Verwendung so genannter Spacer bekannt. Die Spacer sollen einerseits für gleichmäßige Abstände zwischen den einzelnen Membranen sorgen und andererseits die Strömung der Lösung in den jeweiligen feed- oder permeatseitigen Kompartimenten des Membranmoduls gleichmäßig verteilen, um so eine Überströmung der gesamten Membran zu bewirken. Bei den verwendeten Spacermaterialien handelt es sich um netzartige Strukturen mit unterschiedlich großen Maschenweiten. Diese herkömmlichen Spacermaterialien führen jedoch zu einem zusätzlichen Druckabfall der Flüssigkeitsströmung, der nur durch einen zusätzlichen Energieaufwand ausgeglichen werden kann. Herkömmliche Module mit Spacern erfordern daher eine zwangsweise Durchströmung ihres Außenraums.

[0018] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Hohlfasermembran-Modul zur Verfügung zu stellen, das zur Verwendung als Tauchmodul in unterschiedlichsten Membran-Stofftrennverfahren geeignet ist und bei dem während des Trennverfahrens die Bildung von Ablagerungen auf den Membranoberflächen, die durch zu geringe Anströmung der Membranen verursacht wird, weitestgehend oder vollkommen beseitigt ist, bei dem die zu Bündeln angeordneten Hohlfasermembranen gut um- beziehungsweise angeströmt werden und bei dem der Stofftransport vom Feed- in den Permeatraum wäh-

rend des gesamten Stofftrennprozesses nahezu konstant bleibt, wobei das Hohlfasermembran-Modul sowohl in partikelfreien Medien oder Lösungen als auch in partikelhaltigen Medien oder Lösungen, insbesondere verschmutzten Medien oder zu Ablagerungen neigenden Medien, eingesetzt werden kann.

[0019] Die vorliegende Erfindung löst dieses technische Problem durch die Bereitstellung eines Hohlfasermembran-Moduls gemäß Hauptanspruch, das besonders für den Einsatz als Tauchmodul für biotechnische Prozesse, insbesondere Filtrations-, Diafiltrations- und Dialyse-Verfahren konzipiert ist und durch die folgenden wesentlichen Merkmale charakterisiert ist:

Das Hohlfasermembranmodul umfasst mindestens ein mit Öffnungen im Mantel versehenes und vorzugsweise zylinderförmiges Gehäuse und eine Mehrzahl von in dem und/oder um das Gehäuse in einem Packungsraum zueinander angeordneten tubulären Hohlfasermembranen mit einem gleichen oder unterschiedlichen Durchmesser, welche parallel zueinander, insbesondere unter Ausbildung von Freiräumen angeordnet sind, wobei das Verhältnis der Gesamtfläche der Öffnungen zur Gesamtfläche des Gehäusemantels 0,2 bis 0,9 beträgt, wobei die Hohlfasermembranen in Form von Bündeln angeordnet und wobei mindestens zwei Hohlfasermembranbündel durch mindestens ein am Mantel des Gehäuses angebrachtes Segmentierelement voneinander getrennt sind und das Verhältnis des Volumens von allen in dem Packungsraum angeordneten Hohlfasermembranen einschließlich ihrer Wände zum Volumen des Packungsraumes weniger als 20% beträgt.

[0020] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter dem Begriff Packungsraum der von dem Gehäuse des Moduls umhüllte Gehäuseinnenraum verstanden, sofern in diesem Hohlfasermembranen angeordnet sind. Sofern Hohlfasermembranen außerhalb des Gehäuses angeordnet sind, wird unter dem Begriff Packungsraum der außerhalb des Gehäuses befindliche Raum verstanden, in dem die Hohlfasermembranen angeordnet sind und der nach innen hin durch die Außenfläche des Gehäuses und nach außen hin durch eine den die Membranhohlfasern enthaltenden Raum umhüllende innere Mantelfläche eines zweiten radial außen liegenden Gehäuses oder einer entsprechenden gedachten Umhüllenden beziehungsweise Mantelfläche gebildet wird. Diese Umhüllende kontaktiert in bevorzugter Ausführung in dieser Ausführungsform vorhandene Segmentierelemente an deren peripher liegenden Kanten. Diese Mantelfläche oder Umhüllende ist die Innenfläche eines im Querschnitt gesehen ringförmigen Kanals. Der Kanal hat insbesondere einen kreisringförmigen Querschnitt. In bevorzugter Ausführung ist das innen liegende Gehäuse im Querschnitt kreisrund, wobei der dieses Gehäuse umgebende Ringkanal des äußeren Gehäuses oder der gedachten

Mantelfläche konzentrisch zum Gehäuse angeordnet ist. Sofern Membranhohlfasern sowohl innerhalb als auch außerhalb des inneren Gehäuses angeordnet sind, stellt der Packungsraum sowohl den Raum innerhalb als auch außerhalb des inneren Gehäuses dar, mithin also den Raum, der von der äußeren Umhüllenden des Gesamtraums des Moduls, also der Innenfläche des Ringkanals umfasst ist.

[0021] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter dem Begriff Packungsdichte das Verhältnis des Volumens von allen in dem Packungsraum angeordneten Hohlfasermembranen einschließlich des Volumens ihrer Wände zu dem Volumen des Packungsraums, ausgedrückt in Prozent, verstanden.

[0022] Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass die Packungsdichte des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Module gering ist und weniger, bevorzugt viel weniger als 20% beträgt.

[0023] In einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Packungsdichte auch durch das Verhältnis der Summe der Querschnitte aller Hohlfasern in dem Packungsraum zu dem Querschnitt des Packungsraums beschrieben werden. Die Packungsdichte des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Modul ist daher wesentlich kleiner als die der im Stand der Technik bekannten Hohlfasermembran-Module, deren Packungsdichte bei 25% bis 30% liegt. Erfindungsgemäß weisen die Module einen großen Anteil an Freiräumen, also an Packungsraum, in dem über die gesamte Länge des Moduls keine Hohlfasermembranen angeordnet sind, auf. Darüber hinaus ist der Mantel des Modulgehäuses mit sehr großen Öffnungen versehen, so dass zwischen den im Gehäuseinneren angeordneten Hohlfasern und der Flüssigkeit oder dem Medium, in der/dem das Modul untergebracht ist, ein ungehinderter Flüssigkeitsaustausch erfolgen kann, ohne dass die Stabilität des Gehäusemantels beeinträchtigt ist. Bedingt durch die geringe Packungsdichte und die, bezogen auf die Gesamtfläche des Gehäusemantels, sehr große Fläche der Mantelöffnungen, kann die Strömung der Flüssigkeit oder des Mediums das Modul besser durchströmen und somit die Bildung von Ablagerungen auf den Oberflächen der einzelnen Hohlfasern wirksam verhindern.

[0024] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter dem Begriff Hohlfaserbündel beziehungsweise Hohlfasermembranbündel jeweils in einem durch Segmentierelemente abgegrenzten Kompartiment angeordnete Hohlfasern beziehungsweise Hohlfasermembranen verstanden. Dabei können innerhalb der Anordnungen die Hohlfasern untereinander durch verbindende Strukturen zusammengehalten werden, beispielsweise durch radial um die Bündel herumlaufende Elemente, oder sie kön-

nen auch lose nebeneinander angeordnet sein, erfindungsgemäß jedoch mit einem Abstand, der eine gute Umströmung der Fasern zulässt.

[0025] Hohlfaserbündel erstrecken sich vorzugsweise über die gesamte Länge des Modulgehäuses.

[0026] In weiteren bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist vorgesehen, dass in oder auf dem mit Öffnungen versehenen Gehäuse mehrere beabstandete Hohlfaserbündel in relativ geringer Packungsdichte angeordnet sind, wobei die einzelnen Hohlfaserbündel durch am Gehäuse angebrachte Segmentierelemente räumlich voneinander getrennt sind. Die Längsachse der Segmentierelemente erstreckt sich parallel zur Längsachse des Gehäuses und vorzugsweise über die gesamte Länge des Gehäuses.

[0027] In einer Ausgestaltungsform sind die Segmentierelemente an der Innenfläche des mit Öffnungen versehenen Gehäusemantels angebracht und ragen somit in den Innenraum des Gehäuses hinein, wobei dadurch im Innenraum des Gehäuses Kompartimente erhalten werden, die mit Hohlfasern gefüllt werden können. In dieser Ausgestaltung sind die Hohlfaserbündel also im Innenraum des Gehäuses angeordnet.

[0028] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Segmentierelemente an der Außenfläche eines ersten, insbesondere Öffnungen im Mantel aufweisenden, Gehäusezylinders befestigt. Die vorzugsweise an den Segmentierelementen fixierten Hohlfasermembran-Bündel sind daher auf der Außenseite des Mantels des ersten Gehäusezylinders angeordnet. In dieser Ausgestaltung wird das gesamte Modul aus Stabilitätsgründen in einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung in ein zweites zylinderförmiges Gehäuse, das im Querschnitt gesehen kreisförmig ausgebildet sein kann, eingebracht. Das zweite Gehäuse bildet gleichsam die Umhüllende des außerhalb des inneren Gehäuses gelegenen Packungsraums und kann zum Beispiel als Käfig ausgestaltet sein. Zusammen mit den Segmentierelementen bilden innerer und äußerer Zylinder in bevorzugter Weise einen segmentierten Ringkanal.

[0029] Die bei diesen beiden Ausgestaltungen verwendeten erfindungsgemäßen Segmentierelemente unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Form als auch hinsichtlich ihrer Anordnung im oder auf dem Gehäuse von den im Stand der Technik beschriebenen Spacer-Elementen. Die Segmentierelemente bestehen aus einem Rahmenteil, das eine große freie Durchtrittsfläche umschließt. Durch die große Durchtrittsfläche und auch durch die spezifische Anordnung dieser Elemente im Modul, die eine spezifische Anordnung der Hohlfasermembranbündel in oder auf

dem Gehäuse nach sich zieht, wird erreicht, dass im Vergleich zu den im Stand der Technik beschriebenen Modulen das Volumen der Freiräume innerhalb der erfindungsgemäßen Module nochmals erheblich vergrößert wird und somit die Packungsdichte in den erfindungsgemäßen Modulen wesentlich verringert wird. Bezogen auf die Gesamtzahl der Hohlfasern aller Bündel eines erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls liegt die Packungsdichte innerhalb des erfindungsgemäßen Moduls unter 10%, insbesondere unter 5%. Durch die spezifische Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Segmentierelemente wird ebenfalls der Widerstand gegenüber der Strömung der Lösung oder des Mediums erheblich herabgesetzt, so dass die Strömung die im Modul angeordneten Hohlfasern besser umströmen und somit die Bildung von Ablagerungen auf den Oberflächen der einzelnen Hohlfasern wirksam verhindert werden kann.

[0030] Durch die geringe Packungsdichte der erfindungsgemäßen Hohlfasermodule innerhalb des Moduls, die Verwendung von erfindungsgemäßen Segmentierelementen mit sehr großen Durchtrittsflächen in bevorzugten Ausführungsformen und die Verwendung eines Modulgehäuses mit sehr großen Öffnungen wird erreicht, dass innerhalb des Moduls die Feed-Lösung die einzelnen Hohlfasermembranen turbulent überströmen kann. Auf diese Weise werden zwar einerseits nicht die hohen Membranflächen der bisher im Stand der Technik beschriebenen Hohlfasermodule erreicht, aber während des gesamten Trennprozesses verändern sich erfindungsgemäß die Transportkoeffizienten nur wenig, so dass im Gegensatz zu herkömmlichen Hohlfasermembran-Modulen die für den Stoffaustausch entscheidende Größe, nämlich das Produkt aus Membranfläche und Transportkoeffizient, während des gesamten Prozesses nahezu konstant bleibt. Gegenüber herkömmlichen Membranmodulen sind daher die Stofftransferaten in dem erfindungsgemäßen Hohlfasermodule am Anfang des Filtrationsprozesses kleiner, im zeitlichen Mittel sind sie jedoch wesentlich größer als bei herkömmlichen Vorrichtungen, bei denen im Verlauf der Zeit ein starkes Fouling auftritt.

[0031] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer Hohlfasermembran oder tubulärer Hohlfasermembran eine technische Membran verstanden, besonders bevorzugt eine dünne, folienartige und poröse Trennschicht. Eine derartige poröse Membran kann auch eine homogene schaumartig ausgebildete Stützschrift aufweisen, insbesondere dann, wenn sie besonders dünn ist. Erfindungsgemäß ist der Einsatz von Membranen mit einer homogen ausgebildeten Stützschrift ebenso möglich wie der Einsatz von Membranen mit einer asymmetrischen Stützschrift. Bei dem erfindungsgemäßen Membranmodul handelt es sich in bevorzugter Weise um ein Membranfilter, dessen Membran in besonders bevorzugter Weise beispielsweise

aus keramischen oder polymeren Materialien, wie zum Beispiel Cellulose-Derivaten, Polyamiden, Polyvinylchlorid, Polysulfon und/oder Teflon hergestellt sein kann und aus diesem besteht oder dieses in wesentlichen Teilen enthält, insbesondere zu mehr als 50 Gew.-%. Das zur Herstellung der Membran verwendete Material ist in besonders bevorzugter Weise mit Heißdampf sterilisierbar. In bevorzugter Weise weisen die Membranen eine Dicke von 50 bis 250 µm auf. Die erfindungsgemäß eingesetzten Membranen sind vorzugsweise als Rohrmembran oder tubuläre Membran ausgeführt.

[0032] Die Erfindung sieht in besonders bevorzugter Ausführungsform vor, dass die Rohrmembran aus einem polymeren Material besteht. Selbstverständlich können auch andere Rohrmembranen eingesetzt werden, beispielsweise eine keramische Rohrmembran, solange sie im wesentlichen tubuläre Formen sowie einen Porendurchmesser aufweisen, der entsprechend des jeweiligen Anwendungsgebietes eine entsprechende Selektionsgrenze, das heißt Trenngrenze, aufweist, so dass bestimmte Partikel, beispielsweise Bakterien, Viren, Zellen menschlicher, tierischer oder pflanzlicher Herkunft, Teile davon und/oder hochmolekulare Substanzen, zurückgehalten werden, während andere Partikel geringeren Molekulargewichts die Membran ungehindert passieren können. Es können auch Filtrationshohlfasern, insbesondere Mikrofiltrationshohlfasern, eingesetzt werden. In besonders bevorzugter Ausführungsform der vorliegenden Erfindung liegt der Innendurchmesser der tubulären Membran in einem Bereich von 0,2 bis 2 mm.

[0033] Innerhalb des Modulgehäuses können die einzelnen Hohlfasermembranen in beliebiger Anordnung vorliegen, sofern die Bewegungsfreiheit der einzelnen Hohlfasern in der Strömung soweit eingeschränkt ist, dass es nicht zum Bruch oder zum Zerreißten der Hohlfasern kommt. Die Anordnung wird im wesentlichen durch die Materialeigenschaften des zur Herstellung der Hohlfasern verwendeten Werkstoffs beziehungsweise den speziellen Verwendungszweck des fertigen Moduls bestimmt. Bestehen die Hohlfasern beispielsweise aus einem relativ flexiblen Material und soll das Hohlfasermodule in Medien bei relativ starker Strömung eingesetzt werden, ist es von Vorteil, die Hohlfasern zu einem Bündel beziehungsweise Strang zusammenzufassen und dann in dem mit Öffnungen versehenen Gehäuse zu integrieren, um so eine zusätzliche Fixierung und/oder Stabilisierung der Fasern zu erhalten.

[0034] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung bedeutet der Begriff "gleicher oder unterschiedlicher Querschnitt", dass die Querschnitte einzelner Hohlfasermembranen, das heißt also die durch einen ebenen Schnitt senkrecht zur Längsachse tubulärer Hohlfasern erhaltene Schnittflächen der

Hohlfasern, bezüglich der Form und bezüglich der Größe gleich oder unterschiedlich sein können. Beispielsweise können die Querschnitte die Form eines Kreises, die Form einer Ellipse oder eine Übergangsform zwischen Kreis und Ellipse aufweisen.

[0035] Im Zusammenhang mit der Erfindung bedeutet der Ausdruck „Hohlfasern, welche parallel zueinander unter Ausbildung von Freiräumen angeordnet sind“, dass die innerhalb oder/und außerhalb des Modulgehäuses befindlichen Hohlfasern in einer solchen Weise parallel zueinander angeordnet sind, dass nicht nur die Freiräume erhalten werden, die sich im Falle einer theoretisch dichtestmöglichen Packung vorgegebener zylinderförmiger Körper in einem größeren Gehäuse definierten Volumens also des Packungsraumes natürlicherweise zwischen diesen Körpern ergeben, sondern dass zusätzlicher Freiraum im Packungsraum, zum Beispiel zwischen den Hohlfasern, vorhanden ist. Auch ist zu berücksichtigen, dass es sich insbesondere bei Hohlfasern aus polymeren Materialien nicht um starre, ideal zylinderförmige Fasern, sondern um flexible, im Kleinen oft stark von der Zylinderform abweichende Gebilde handelt. Insofern bedeutet parallele Anordnung die parallele Ausrichtung der jeweils mittleren Richtung der Hohlfasern.

[0036] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das erste und/oder zweite Gehäuse des Moduls vorzugsweise die Form eines Zylinders oder eines so genannten Filterrohres aufweist. Das zylinderförmige Gehäuse bietet in mehrfacher Hinsicht Vorteile. Einerseits können Hohlfasern im Gehäuse so angeordnet werden, dass optimale Bedingungen für ihre Funktion, nämlich die Stofftrennung aus Lösungen, gegeben sind. Andererseits bietet es den tubulären Hohlfasern in besonderem Maße Schutz vor mechanischer Beschädigung, insbesondere vor einer zu starken mechanischen Belastung durch die Flüssigkeitsströmung, die ansonsten die in einigen Fällen äußerst empfindlichen Hohlfasern brechen oder zerreißen könnte. Der Querschnitt der Gehäuse kann beispielsweise die Form eines Kreises, einer Ellipse oder eines regelmäßigen Vielecks, beispielsweise eines Sechsecks oder eines Achtecks, aufweisen.

[0037] Damit auch ausreichend Flüssigkeit aus der Umgebung durch das erste und/oder zweite Gehäuse hindurch in das Gehäuseinnere strömen kann, ist der Mantel des Gehäusezylinders vorzugsweise mit ausreichend großen Öffnungen versehen. Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, dass die einzelnen Öffnungen charakteristische Abmessungen von mehreren Millimetern aufweisen. Handelt es sich beispielsweise in der ebenen Projektion dieser Öffnungen um Quadrate, so beträgt deren Seitenlänge in Abhängigkeit vom Durchmesser des Gehäusezylinders vorzugsweise 3 mm bis 20 mm, insbesondere 5 mm bis 15 mm, bevorzugt 7 mm bis 12 mm.

Das Verhältnis der Gesamtfläche der Öffnungen zur Zylindermantelfläche liegt vorzugsweise nicht unter 0,2. Somit ist gewährleistet, dass ausreichend Flüssigkeit durch das Gehäuse in das Innere strömen kann. Andererseits liegt das Verhältnis der Gesamtfläche der Öffnungen zur Zylindermantelfläche vorzugsweise nicht über 0,9, so dass eine ausreichende mechanische Stabilität des Gehäuses gewährleistet ist. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn durch eine Temperaturerhöhung während des Trennprozesses die üblicherweise zur Herstellung des Modulgehäuses verwendeten Kunststoffe weich werden. Die Wanddicke des Gehäusezylinders richtet sich nach der erforderlichen mechanischen Festigkeit und kann, je nach Material, zwischen 0,7 und 10 mm, vorzugsweise zwischen 1 und 4 mm liegen.

[0038] Für das erste oder zweite Modulgehäuse können beliebige Materialien verwendet werden, sofern diese Materialien dem Modul ausreichende Stabilität verleihen können. Bezüglich der physikalischen Eigenschaften kann es sich dabei sowohl um flexible als auch um starre Materialien wie zum Beispiel Edelstahl handeln. In besonders bevorzugter Weise ist das zur Herstellung des Modulgehäuses verwendete Material gegen eine Sterilisation mit Heißdampf beständig. Erfindungsgemäß ist die Verwendung von Kunststoffen, insbesondere von Polypropylen, besonders bevorzugt, weil es einerseits als Thermoplast gut zu verarbeiten ist, andererseits auch noch bei 121°C, der üblicherweise bei der Heißdampfsterilisation angewandten Temperatur, noch ausreichende mechanische Stabilität aufweist. Erfindungsgemäß kann der Mantel des Modulgehäuses einstückig hergestellt werden. Er kann jedoch auch aus mehreren Einzelteilen bestehen, die beispielsweise über Scharniere oder andere Verbindungselemente miteinander verbunden sind. Besteht das Modulgehäuse aus mehreren Einzelteilen, können diese aus dem gleichen Material oder aus unterschiedlichen Materialien bestehen. In einer bevorzugten Ausführungsform bestehen die Einzelteile aus dem gleichen Material und weisen auch die gleichen Abmessungen auf.

[0039] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Hohlfasermembran-Modul zusätzlich einen ersten Gehäuse-Anschluß aufweist, der der Zuleitung einer Lösung oder eines Mediums zu dem Faserinnenraum des Hohlfasermembran-Bündels dient und vorzugsweise an einem Ende des Gehäusezylinders angebracht ist. Das Hohlfasermembran-Modul ist darüber hinaus in einer vorteilhaften Ausgestaltung mit einem zweiten Gehäuse-Anschluss ausgestattet, der der Ableitung der Lösung oder des Mediums oder einer filtrierten Lösung aus dem Faserinnenraum, die nun durch den im Modul stattfindenden Trennprozess in ihrer stofflichen Zusammensetzung verändert ist, dient und vorzugsweise am anderen Ende des Gehäusezylinders

angebracht ist. Bei dieser Ausführungsform wird der konvektive Stofftransport außerhalb der Fasern von der Strömung der Umgebung, in welche das Modul eingetaucht ist, erbracht. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass diese erfindungsgemäße Ausführungsform des mit den zwei Gehäuseanschlüssen versehenen Hohl fasermembran-Moduls insbesondere in einem Rührkessel-Reaktor verwendet wird.

[0040] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass in einem, vorzugsweise zylinderförmigen, Gehäuse eine Mehrzahl beabstandeter Hohlaserbündel in geringer Packungsdichte angeordnet ist, wobei die Hohlaserbündel durch an der Innenfläche des Zylindermantels befestigte Segmentierelemente räumlich voneinander getrennt sind. Die erfindungsgemäßen Segmentierelemente ragen also in den Innenraum des Gehäusezylinders hinein und führen zu einer Kompartimentierung des Gehäuseinnenraums, wobei die Hohlaserbündel in den dadurch erzeugten Kompartimenten angeordnet sind. Durch den Einbau der Segmentierelemente wird dem Hohlfasermembran-Modul zusätzliche Stabilität verliehen.

[0041] Die erfindungsgemäßen Segmentierelemente bilden ein vorzugsweise rechteckiges Rahmenteil, das die äußeren Abmessungen der Segmentierelemente festlegt. Das Rahmenteil umschließt eine freie Durchtrittsfläche. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung betrifft der Begriff „Durchtrittsfläche des Rahmentails“, die von dem Rahmenteil umschlossene materialfreie Fläche(n), die einen ungehinderten Durchtritt von Flüssigkeiten zwischen zwei durch das Segmentierelement voneinander getrennten benachbarten Kompartimenten in beiden Richtungen erlaubt. Die Durchtrittsfläche kann gegebenenfalls durch innerhalb des Rahmentails angeordnete Stabilisierungselemente, wie Querstreben oder Gitterstrukturen, unterbrochen sein, die zur Stabilisierung des Rahmentails und damit des Segmentierungselementes dienen. In Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzgebiet des Hohlfasermembranmoduls können diese Stabilisierungselemente, bezogen auf die Abmessungen des Rahmentails beziehungsweise der Durchtrittsfläche, unterschiedlich breit sein, wobei die Stabilisierungselemente in bevorzugter Weise relativ schmal sind. Ebenso kann der Abstand zwischen den Stabilisierungselementen unterschiedlich sein, wobei erfindungsgemäß relativ große Abstände bevorzugt sind.

[0042] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die vom Rahmenteil umfaßte Durchtrittsfläche, bezogen auf die Gesamtfläche der Stabilisierungselemente, das heißt der Querstreben oder der Gitterstruktur, unter 20%, vorzugsweise unter 10%, besonders bevorzugt bei 2% liegt.

[0043] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die

Segmentierabschnitte aus einem beliebigen Material bestehen, sofern dieses ausreichende Stabilitätseigenschaften aufweist, so dass über längere Zeiträume hinweg die Abstände zwischen den einzelnen Hohlfasermembranbündeln gewährleistet werden können und dem Hohlfasermembran-Modul zusätzliche Stabilität verliehen wird. Vorzugsweise werden zur Herstellung der Segmentierelemente Materialien verwendet, die gegen eine Sterilisation mit Heißdampf beständig sind. Die Segmentierelemente können aus den gleichen Werkstoffen hergestellt werden wie das zur Bildung des Zylinders verwendete Material, können jedoch auch aus anderen Werkstoffen bestehen.

[0044] Die innerhalb eines Moduls verwendeten einzelnen Segmentierelemente können bezüglich ihrer Abmessungen gleich oder unterschiedlich sein. In einer bevorzugten Ausführungsform besitzen alle Segmentierelemente eine Länge, die gleich der Länge des Gehäusezylinders ist, und eine Höhe, die zum Beispiel, gleich dem Radius des Querschnitts des Gehäusezylinders oder kleiner als dieser ist. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Segmentierelemente kürzer als das Gehäuse und sind mit entsprechenden axialen Zwischenräumen über die Länge des Gehäuses verteilt, wobei innerhalb dieser axialen Zwischenräume über den vollen Azimutwinkel innerhalb des Gehäuses kein weiteres Segmentierelement angeordnet ist. In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Segmentierelemente so lang wie die an den Enden des Gehäuses vorgesehenen Pottungen und sind an den Gehäuse-Enden angeordnet, so dass diese Pottungen segmentiert werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Höhe der Segmentierelemente kleiner als der Radius des Querschnitts und die Segmentierabschnitte weisen an der der Innenseite des Gehäusezylinders abgewandten Seite zusätzliche Elemente, insbesondere Abstandhalter, auf. Diese Abstandhalter sind beispielsweise einseitig oder zweiseitig an der Gehäusewandung abgewandten Längskante des Rahmentails und im rechten Winkel zum Rahmentail der Segmentierelemente angebrachte Leisten. Die Abstandhalter aller Segmentierelemente bilden um die Längsachse des Gehäusezylinders herum einen Innenzylinder und bewirken eine zusätzliche Fixierung der Segmentierelemente. Die Abstandhalter können in bevorzugter Ausführungsform Öffnungen aufweisen.

[0045] Die spezifische Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Segmentierelemente, ebenso wie ihre spezifische Anordnung innerhalb des erfindungsgemäßen Moduls, bewirkt, dass das Gesamtvolumen der Freiräume zwischen den Hohlfasern nochmals erheblich vergrößert wird und somit deutlich größer ist als bei den im Stand der Technik beschriebenen Modulen. Das heißt, in solchen erfindungsgemäßen Modulen wird durch den Einbau der

erfindungsgemäßen Segmentierelemente die Packungsdichte nochmals erheblich verringert. In den Segmentierelemente enthaltenden erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Modulen liegt die Packungsdichte der Hohlfasermembranen, bezogen auf alle Hohlfasern eines Bündels eines erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls, bei höchstens 20%, vorzugsweise höchstens 10%, während die Packungsdichte, bezogen auf die Gesamtzahl aller Hohlfasern aller Bündel, unter 10%, bevorzugter unter 5% liegt.

[0046] Durch den Einbau der erfindungsgemäßen Segmentierelemente in die Hohlfasermodule, insbesondere durch die vom Rahmenteil umfaßte relativ große Durchtrittsfläche, wird im Unterschied zu herkömmlich verwendetem Spacermaterial dafür gesorgt, dass zwischen den einzelnen Kompartimenten des Moduls und damit zwischen den einzelnen Hohlfaserbündeln ein nahezu ungehinderter Flüssigkeitsaustausch gewährleistet ist. Da der Widerstand des Moduls auf Grund dieser Durchtrittsfläche gegenüber der Strömung der Lösung oder des Mediums erheblich herabgesetzt ist, kann die Strömung das Modul besser durchströmen und somit die Bildung von Ablagerungen auf den Oberflächen der einzelnen Hohlfasern wirksamer verhindern. Da gleichzeitig der Druckverlust der Strömung minimiert wird, ist darüberhinaus kein zusätzlicher Energieaufwand für die Durchströmung des Moduls erforderlich, wie dies bei den im Stand der Technik bekannten Modulen, bei denen herkömmliche Spacer eingesetzt werden, erforderlich ist.

[0047] In einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Segmentierelemente an der Außenfläche eines ersten Gehäusezylinders befestigt sind, dessen Mantel vorzugsweise Öffnungen aufweist. Die Hohlfasermembran-Bündel sind dabei in den durch die beabstandeten Segmentierelemente definierten Zwischenräumen oder Kompartimenten auf der Außenseite des Mantels des ersten Gehäusezylinders angeordnet, wobei sie vorzugsweise zusätzlich fixiert sind, beispielsweise durch Halteringe. Das gesamte Modul befindet sich in bevorzugter Ausgestaltung innerhalb eines zweiten zylinderförmigen Gehäuses, das vorzugsweise als Käfig ausgeführt ist, die äußere Begrenzung des Packungsraums bildet und hauptsächlich der Stabilisierung des Hohlfasermembran-Moduls dient.

[0048] Selbstverständlich können erfindungsgemäße Membranmodule auch Segmentierelemente innerhalb und außerhalb des ersten, also inneren, Gehäuses aufweisen.

[0049] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass alle Komponenten des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls, das heißt Gehäuse,

Hohlfasern und Segmentierelemente, aus solchen Werkstoffen bestehen, die gegen eine Sterilisation mit Heißdampf beständig sind.

[0050] Je nachdem, welche Membran in das Modul eingesetzt wird, das heißt, ob es sich um eine Mikrofiltrations-, Ultrafiltrations-, Nanofiltrations- oder Dialysemembran handelt, ist das erfindungsgemäße Hohlfasermembran-Modul insbesondere zur Verwendung bei der Filtration oder Dialyse von Medien geeignet, die einen starken Fouling-Effekt bewirken. Beispielsweise kann das erfindungsgemäße Hohlfasermembran-Modul als sogenanntes Reaktordialyse-Membranmodul in Fermentern für die Entfernung von Stoffwechselprodukten der fermentierten Zellen und/oder für die Zuführung von Nährstoffen verwendet werden. Eine weitere Verwendung kann in Bio-Reaktoren erfolgen, im "feed and bleed"-Betrieb, um Flüssigkeit mit Produkten aus dem Reaktor zu entfernen.

[0051] Die Erfindung betrifft auch Verfahren zur Herstellung von den vorgenannten Hohlfasermembran-Modulen, insbesondere solcher Module, die aufgrund der Verwendung von Segmentierelementen mehrere Hohlfasermembran-Bündel aufweisen, wobei ein, vorzugsweise mit Öffnungen versehenes, Formstück durch Zusammenrollen in eine Gehäuse-, insbesondere Zylinderform gebracht wird und die Hohlfasermembranen in einer Packungsdichte von weniger als 20% in dem und/oder um das Gehäuse angeordnet werden, wobei vor oder nach dem Zusammenrollen des Formstücks Segmentierelemente in Abständen auf dem Formstück angebracht werden, oder wobei die Segmentierelemente fester Bestandteil des zusammenrollbaren Formstücks sind. In einer bevorzugten Ausführungsform wird dabei ein in der räumlichen Projektion flaches, ebenes Material oder Formstück, das den späteren Mantel des ersten beziehungsweise einzigen, vorzugsweise zylinderförmigen Gehäuses bilden soll, mit Segmentierelementen versehen. Die Segmentierelemente können zum Beispiel am ebenen Mantelmaterial mit Hilfe speziell dafür vorgesehener Elemente, beispielsweise Noppen, aufgesteckt oder angeklipt werden. Anschließend wird das Mantelmaterial zu einem kreisförmig oder anders geformten, zum Beispiel im Querschnitt rechteckigen Zylinder zusammen- oder aufgerollt. Dabei kann das Mantelmaterial so aufgerollt werden, dass sich die Segmentierelemente an der Innenfläche des Zylinders befinden. Das Mantelmaterial kann jedoch auch so aufgerollt werden, dass sich die Segmentierelemente auf der Außenfläche des Zylinders befinden. In einer Ausführungsform können die Hohlfasern vor dem Aufrollen des Gehäusezylinders in die durch die befestigten Segmentierelemente vorgegebenen Zwischenräume oder Kompartimente in gewünschter Anordnung und entsprechend der vorgesehenen Packungsdichte eingefüllt werden, wobei die Hohlfasern gegebenenfalls vor dem Aufroll-

len fixiert werden können. In diesem Fall wird der Gehäusezylinder nach dem Aufrollen anschließend in üblicher Weise an den Zylinderenden verschlossen und abgedichtet. In einer anderen Ausführungsform können die Hohlfasern jedoch auch nach dem Aufrollen des Gehäusezylinders in die durch die Segmentierabschnitte definierten Kompartimente eingefüllt werden. Das Modul kann vorzugsweise in einen zweiten Gehäusezylinder eingeführt werden, der in bevorzugter Form als Käfig ausgeführt ist.

[0052] Die Erfindung betrifft also einfach und kostengünstig durchzuführende Verfahren zur Herstellung von Hohlfasermembran-Modulen. Das Verfahren ist unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass ein mit Öffnungen versehenes, ebenes Formstück, das den späteren Mantel des zylinderförmigen Gehäuses bilden soll, durch Aufrollen in eine Zylinderform gebracht wird und Hohlfasermembranen in und/oder um das Gehäuse angeordnet werden. Je nachdem, welche Eigenschaften in der räumlichen Projektion das aufzurollende Material aufweist, beispielsweise ob es flexibel oder relativ starr ist, ob es einstückig ausgebildet ist und zum Beispiel Einkerbungen, an denen das Material biegsam ist, enthält oder nicht, oder ob es aus mehreren, vorzugsweise bezüglich der Abmessungen identischen Teilen besteht, die zum Beispiel über Scharniere oder ähnliche Elemente miteinander verbunden sind, kann der Querschnitt des dadurch erhaltenen Zylinders kreisförmig oder vieleckig sein. Das Gehäusematerial kann als flexible Matte, flexibles Gitter, Matte mit scharnierähnlichem Teil etc. ausgeführt sein. In den so erhaltenen Gehäusezylinder können auch danach die vorgesehenen Hohlfasern in gewünschter Anordnung und in gewünschter Packungsdichte eingebracht werden.

[0053] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass auf dem zur Bildung des Gehäusezylinders verwendeten ebenen Formstück weitere Teile, insbesondere Segmentierelemente, angebracht sind oder werden, die geeignet sind, in dem späteren Gehäusezylinder einzelne Hohlfaserbündel räumlich voneinander zu trennen und/oder dem Gehäusezylinder zusätzliche Stabilität zu verleihen. Diese Segmentierelemente können beispielsweise in einem Arbeitsgang mit dem zur Bildung des Gehäusezylinders verwendeten Material zusammen hergestellt worden sein, beispielsweise in einem Spritz- oder Gußverfahren. Das heißt, das zur Zylinderform aufzurollende, mit Segmentierelementen versehene Material kann einstückig ausgebildet sein. Die Segmentierelemente können aber auch separat hergestellt worden sein und nachträglich am oder im Gehäusemantel an dafür vorgesehenen Elementen, beispielsweise Noppen, aufgesteckt oder angeklipst oder in ähnlicher Weise befestigt werden.

[0054] Anschließend wird das Mantelmaterial zu einem Zylinder aufgerollt. Dabei kann das Mantelmaterial so aufgerollt werden, dass sich die Segmentierelemente an der Innenfläche des Zylinders befinden, so dass ein erfindungsgemäßes Hohlfasermembran-Modul erhalten wird, dessen Gehäuse-Innenraum durch die Segmentierelemente in Kompartimente unterteilt ist. Das Mantelmaterial kann jedoch auch so aufgerollt werden, dass sich die Segmentierelemente auf der Außenfläche des Zylinders befinden. In diesem Fall besteht jedoch insbesondere auch die Möglichkeit, zunächst das Zylindermaterial zusammenzurollen und dann die Segmentierelemente außen auf den so gebildeten Zylinder aufzuklipsen oder in geeigneter Weise zu befestigen.

[0055] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können die Hohlfasern vor dem Aufrollen des Gehäusezylinders in die durch die befestigten Segmentierelemente vorgegebenen Zwischenräume oder Kompartimente in gewünschter Anordnung und entsprechend der vorgesehenen Packungsdichte eingefüllt werden. Vorzugsweise werden die Hohlfasern vor dem Aufrollen des Gehäusezylinders an den Segmentierelementen fixiert, wobei insbesondere dünne Netze, Kabelbinder oder ähnliche Elemente verwendet werden. In diesem Fall wird der Gehäusezylinder nach dem Aufrollen anschließend in üblicher Weise an den Zylinderenden verschlossen und abgedichtet, indem die Faserenden auf übliche Weise vergossen werden. In einer anderen Ausführungsform können die Hohlfasern jedoch auch nach dem Aufrollen des Gehäusezylinders in die durch die Segmentierabschnitte definierten Kompartimente eingefüllt und in geeigneter Weise innerhalb der Kompartimente fixiert werden. Nach Befüllen des so erhaltenen Moduls mit den Hohlfaserbündeln wird der Gehäusezylinder anschließend in üblicher Weise an den Zylinderenden verschlossen und abgedichtet, indem die Faserenden auf übliche Weise vergossen werden. Danach wird das mit den Hohlfasermembranbündeln bestückte Modul in einen zweiten Gehäusezylinder eingeführt, der vorzugsweise als Käfig ausgeführt ist, und wird damit stabilisiert.

[0056] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0057] Die Erfindung wird durch die folgenden Figuren und Beispiele näher erläutert.

[0058] Die Figuren zeigen:

[0059] Fig. 1 in schematischer Art und Weise einen Zwischenschritt bei der Herstellung des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls,

[0060] Fig. 2 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls in perspektivischer Ansicht und im Querschnitt sowie eine andere

Ausführungsform im Querschnitt,

[0061] Fig. 3 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls in perspektivischer Ansicht mit verschiedenen Ausführungsbeispielen von Segmentierelementen,

[0062] Fig. 4 die Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls aus der Fig. 3, gefüllt mit Hohlfaserbündeln in perspektivischer Ansicht,

[0063] Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls, welches aus Edelstahldraht ausgeführt wurde, in seiner Abwicklung und im Querschnitt, und

[0064] Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls, aufbauend auf dem Ausführungsbeispiel in Fig. 2 mit Segmentierelementen, die kürzer sind als die Modulänge, in perspektivischer Ansicht.

[0065] Gleiche Bezugsziffern verweisen auf bauperfunktionsgleiche Vorrichtungen oder Elemente davon.

[0066] Fig. 1a) zeigt in schematischer Form den Gehäusemantel oder die Wandung 1 eines erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls 100, die durch Aufrollen in die beispielsweise in Fig. 2a) dargestellte im Querschnitt sechseckige Form eines Gehäuses 3 gebracht werden kann. An der Wandung 1 sind gleichmäßig beabstandete rechteckige Segmentierelemente 5 mit der Länge L_S und der Höhe H_S angebracht. Die Länge L_S der Segmentierelemente entspricht der Länge L_M des Gehäuses 3. Die Höhe H_S entspricht in etwa 90 bis 95% der halben Höhe des Gehäuses 3. In dem Gehäusemantel 1 sind gleichmäßig beabstandet und alternierend zu den Segmentierelementen 5 Schwächungslinien 39 ausgebildet, die das Umfalten des Gehäusemantels 1 in die endgültige Form des Gehäuses 3 erleichtern und die in der endgültigen Form die Kanten des im Querschnitt sechseckigen Gehäuses 3 der Fig. 2 bilden.

[0067] In Fig. 1b), c) und d) sind verschiedene Ausführungsformen von Segmentierelementen 5 gezeigt. Die Segmentierelemente 5 umfassen jeweils ein rechteckiges Rahmenteil 7, das die Durchtrittsfläche 9 umschließt. Die Durchtrittsfläche 9 wird durch die als Stege oder Gitter ausgeführten Stabilisierungselemente 11 in kleinere Einzelflächen unterteilt. Die Segmentierelemente 5 weisen darüber hinaus an einer Längsseite jeweils endständig zwei fortsatzartige Befestigungselemente 13 auf, die der Befestigung der Segmentierelemente 5 an der Wandung 1 dienen. Die Befestigungselemente 13 weisen zwei Schenkel 35 und 37 auf, die einen rechten Winkel einschließen. Der Schenkel 35 sitzt an der Längssei-

te des Segmentierelementes 5 an, während der zweite Schenkel 37 vom Segmentierelement 5 wegweist.

[0068] Fig. 1a) zeigt darüber hinaus in schematischer Form die Anordnung von Hohlfasern 33 zwischen zwei benachbarten Segmentierelementen 5 und Hohlfaser-Bündel 17 in Kompartimenten 21.

[0069] Fig. 2a) zeigt in perspektivischer Darstellung die im Querschnitt gesehen sechseckige Form des Gehäuses 3. Ausgehend von der Darstellung der Wandung 1 in Fig. 1a) erfolgt das Aufrollen der Wandung 1 zur Herstellung des Moduls 100 so, dass die Segmentierelemente 5 in den Innenraum 18 des Zylinders 3 hineinragen und diesen in die Kompartimente 21 unterteilen. Die Höhe H_S der Segmentierelemente 5 entspricht in etwa der halben Höhe des Gehäuses 3 des erfindungsgemäßen Moduls, so dass bei der dargestellten im Querschnitt gesehenen sechseckigen Form mit jeweils zwei parallel zueinander angeordneten gegenüberliegenden gleichlangen Seiten 70 die mittig senkrecht auf den Seiten 70 angeordneten Segmentierelemente 5 einander im Zentrum des Gehäuses 3 nahezu berühren. Der Innenraum oder Packungsraum 18 des Gehäuses 3, also das Innenvolumen des Gehäuses 3 wird daher nahezu vollständig kompartimentiert. Dargestellt sind auch die Befestigungsmittel 13 zur Befestigung der Segmentierelemente 5 am Mantel des Gehäuses 3. Der Querschnitt des erfindungsgemäßen Moduls nach Fig. 2a) ist in Fig. 2c) dargestellt. Zu erkennen ist deutlich, dass die Kanten 41 der von der Gehäuseinnenfläche 22 abgewandten Längsseiten der Segmentierelemente 5 im Zentrum des Packungsraumes 18 nahezu aneinander stoßen und demgemäß voneinander oder nahezu voneinander abgeschlossene Kompartimente 21 bilden. Die Abmessungen der Segmentierungselemente können dabei so bemessen werden, dass sich alle Kanten in der Mitte berühren oder nahezu berühren, wodurch sie dann, wenn nötig, durch geeignete Elemente leicht aneinander fixiert werden können, um die Stabilität des gesamten Moduls zu erhöhen. Die Querschnitte Fig. 2b) und Fig. 2c) zeigen weitere unterschiedliche Ausführungsformen des Moduls 100. Die beiden Ausführungsformen unterscheiden sich dadurch, dass in Querschnitt Fig. 2b) Segmentierelemente 5 verwendet werden, die an der Innenfläche 22 des Gehäuses 3 abgewandten Kante 41 der von der Innenfläche 22 abgewandten Längsseite der Segmentierelemente 5 angeordnete Abstandshalter 29 aufweisen. Die Abstandshalter 29 können als Materialverstärkung der Längsseitenkante 41 des Segmentierelementes 5 ausgeführt sein. Es kann auch vorgeesehen sein, dass die zum Zentrum des Packungsraums 18 gewandte Längsseitenkante 41 des Segmentierelementes 5 beidseitig jeweils im rechten Winkel eine Umbiegung, Verstärkung, einen Fortsatz oder ähnliches aufweist. Die Abstandshalter 29 der Segmentierelemente 5 umschließen dabei über die

Gesamtlänge des Gehäuses **3** einen zweiten Innenraum **31**. Im Querschnitt gesehen weisen die Abstandshalter **29** als Verlängerung des Segmentierelementes **5** ein T-förmiges Profil auf, wobei die Schenkel **50**, **51** des T im rechten Winkel vom Segmentierelement **5** abstehen, an die Schenkel eines benachbarten Abstandshalters **29** stoßen und so einen im Querschnitt gesehen sechseckigen Innenraum **31** bilden. Die Abstandshalter **29** können hier nicht dargestellte Öffnungen aufweisen. In einigen Kompartimenten **21** sind lose aneinander liegende Hohlfasern **33** dargestellt. Dargestellt ist auch der Freiraum **43** des Packungsraums **18**.

[0070] Die [Fig. 3a](#)) zeigt in perspektivischer Darstellung eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hohlfasermembran-Moduls **100**. Dargestellt ist ein zylindrisches Gehäuse **3**, dessen Mantel **1** von zahlreichen Perforationen beziehungsweise Öffnungen durchbrochen ist. Die Segmentierelemente **5** sind auf der nach außen gewandten Fläche des Gehäuses **3** angeordnet, zum Beispiel aufgesteckt. Dar gestellt sind auch die als Querstege ausgeführten Stabilisierungselemente **11** in den Segmentierelementen **5**. Schließlich zeigt die [Fig. 3a](#)) Halteringe **27**, die konzentrisch um das Gehäuse **3** und um die radial nach außen weisenden Segmentierelemente **5** sowie diese kontaktierend angeordnet sind und zur Fixierung von hier nicht dargestellten in die Kompartimente **21** einzubringenden Hohlfasermembranen dienen. Dargestellt ist ferner der Packungsraum **18**, der nach innen hin durch die Außenfläche des Gehäuses **3** und nach außen hin durch eine gedachte die Segmentierelemente **5** umfassende und an deren Außenkanten **60** kontaktierende sowie den Verlauf der Halteringe **27** folgende Mantelfläche **47** gebildet wird. Diese gedachte Mantelfläche **47** ist konzentrisch im Abstand der Höhe H_s um das innere Gehäuse **3** angeordnet.

[0071] Die [Fig. 3b](#)), [Fig. 3c](#)) und [Fig. 3d](#)) zeigen verschiedene Ausführungsformen erfindungsgemäß eingesetzter Segmentierelemente **5**, wobei sich die [Fig. 3b](#)) und [Fig. 3c](#)) durch die Anzahl der Querstege **11** und die Anzahl der dadurch gebildeten einzelnen Durchtrittsflächen **45** unterscheiden. In der [Fig. 3d](#)) sind als Matrix oder Gitter ausgeführte Stabilisierungselemente **11** dargestellt.

[0072] Die [Fig. 4](#) zeigt in perspektivischer Ansicht ein ähnliches Hohlfasermembran-Modul wie in [Fig. 3a](#)). Dargestellt ist hier, dass in den einzelnen Kompartimenten **21** Hohlfasermembran-Bündel **17** angeordnet sind, deren Länge gleich der Länge des Moduls **100** ist. Auch hier definiert sich der Packungsraum **18** als das Volumen, das zwischen der Außenfläche des Gehäuses **3** und der Innenfläche der gedachten die Segmentierelemente **5** umfassenden und an deren Außenkanten **60** kontaktierenden Mantelfläche **47** gebildet wird, deren Verlauf durch

den Verlauf der Halteringe **27** vorgegeben ist. Die umhüllende Mantelfläche **47** ist die Fläche, die sich ergibt, wenn die nach außen weisenden Längskanten **60** der Segmentierelemente **5** um den Umfang des Moduls **100** herum miteinander verbunden werden, so dass die umhüllende Mantelfläche **47** konzentrisch um das innere Gehäuse **3** angeordnet ist.

[0073] [Fig. 5](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Moduls, welches aus Edelstahldraht ausgeführt wurde. Bei dieser Ausführungsform bilden je ein Segmentierelement und ein Teil der Mantelfläche eine fest miteinander verbundene Einheit, die mit Ösen aneinander gebunden und somit gegeneinander beweglich ist, so dass sie entsprechend der schematischen [Abb. 1](#) hintereinander liegend in eine Ebene abgewickelt werden können. Die Fläche des Segmentierelements ist gegen die Mantelfläche um einen Winkel von circa 45 Grad geneigt. [Fig. 5.a](#) zeigt eine Abwicklung des Modulgehäuses, [Fig. 5.b](#) zeigt den Querschnitt des zusammengefalteten Moduls, ohne die in die Kompartimente einzulegenden Hohlfasern.

[0074] [Fig. 6](#) zeigt eine Variante des in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsbeispiels. Bei dieser Variante sind die Segmentierelemente nur so lang wie die Pottingung und sie sind jeweils in der Mitte und an beiden Enden des Moduls angeordnet.

Patentansprüche

1. Hohlfasermembran-Modul zur Verwendung als Tauchmodul für Filtrations-, Diafiltrations- und Dialyse-Verfahren, umfassend mindestens ein Gehäuse und eine Mehrzahl von tubulären Hohlfasermembranen mit gleichem oder unterschiedlichem Durchmesser, welche in dem und/oder um das Gehäuse in einen Packungsraum parallel zueinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantel des Gehäuses (**3**) mit Öffnungen (**25**) versehen ist, wobei das Verhältnis der Gesamtfläche der Öffnungen (**25**) zur Gesamtfläche des Gehäusemantels 0,2 bis 0,9 beträgt, dass die Hohlfasermembranen (**33**) im Modul in Form von Bündeln (**17**) angeordnet sind, wobei mindestens zwei Hohlfasermembranbündel durch mindestens ein am Mantel des Gehäuses (**3**) angebrachtes Segmentierelement (**5**) voneinander getrennt sind und das Volumenverhältnis von allen in dem Packungsraum (**18**) angeordneten Hohlfasermembranen (**33**) zum Packungsraum (**18**) weniger als 20% beträgt.

2. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 1, wobei das Gehäuse (**3**) eine Zylinderform aufweist.

3. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Öffnungen (**25**) in ebener Projektion Quadrate, Rechtecke, Kreise oder andere symmetrische oder asymmetrische Formen sein können.

4. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 3, wobei die Öffnungen (25) Abmessungen von 3 bis 20 mm aufweisen.

5. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Hohlfasermembranen (33) aus einem keramischen und/oder polymeren Material bestehen oder dieses in wesentlichen Anteilen enthalten.

6. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 5, wobei die Hohlfasermembranen (33) einschließlich der Stützstruktur eine Dicke von 5 µm bis 300 µm aufweisen.

7. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Hohlfasermembranen (33) einen Innendurchmesser von maximal 2 mm, insbesondere 0,15 bis 0,8 mm aufweisen.

8. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Hohlfasern in Form von Matten mit einem weiten Faserabstand als Bündel aufgerollt werden, wobei vorzugsweise weniger als 10 Fasern pro cm vorliegen und wobei im Bereich der Pottungen durch das Einwickeln herkömmlichen Spacermaterials die Fasern auf einen der Packungsdichte angepassten Abstand gebracht werden.

9. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das mindestens eine Segmentierelement (5) aus einem Rahmenteil (7) mit einer durch das Rahmenteil (7) umfassten freien Durchtrittsfläche (9) besteht.

10. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 9, wobei die freie Durchtrittsfläche (9) des Rahmenteils (7) durch Stabilisierungselemente (11) unterteilt wird.

11. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gesamtfläche der Stabilisierungselemente (11) bezogen auf die vom Rahmenteil (7) umfasste freie Durchtrittsfläche (9) 2% bis 20% beträgt.

12. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das mindestens eine Segmentierelement (5) auf der Innenfläche des Gehäuses (3) angebracht ist und dessen Innenraum (18) in Kompartimente (21) unterteilt.

13. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das mindestens eine Segmentierelement (5) auf der Außenfläche des Gehäuses (3) angebracht ist und den über der Außenfläche des Mantels befindlichen Raum (18) in Kompartimente (21) unterteilt.

14. Hohlfasermembran-Modul nach einem der

vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gehäuse (3) mit dem mindestens einen, auf der Außenfläche des Mantels angebrachten Segmentierelement (5) in einem zweiten käfigartigen Gehäuse untergebracht ist.

15. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Länge der Segmentierelemente der Länge des Gehäuses entspricht.

16. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Segmentierelemente kürzer als das Gehäuse sind und mit entsprechenden axialen Zwischenräumen über die Länge des Gehäuses verteilt sind, wobei innerhalb dieser axialen Zwischenräume über den vollen Azimutwinkel innerhalb des Gehäuses kein weiteres Segmentierelement angeordnet ist.

17. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Segmentierelemente so lang sind wie die an den Enden vorgesehenen Pottungen und an den Enden des Gehäuses angeordnet sind, so dass die Pottungen segmentiert werden.

18. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in den durch das mindestens eine Segmentierelement (5) erzeugten Kompartimenten (21) Hohlfasermembranen (33) angeordnet sind.

19. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 18, wobei die in den Kompartimenten (21) angeordneten Hohlfasermembranen (33) an dem mindestens einen Segmentierelement (5) fixiert sind.

20. Hohlfasermembran-Modul nach Anspruch 19, wobei die Packungsdichte aller Hohlfasermembranen (33) kleiner als 20% ist.

21. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das einen Gehäuseanschluß für die Zuleitung einer Flüssigkeit in das Faserinnere der Hohlfasermembranen (33) und einen Gehäuseanschluß für die Ableitung einer Flüssigkeit aus dem Faserinnern aufweist.

22. Hohlfasermembran-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei alle Bestandteile aus einem gegen Wasserdampf-Sterilisation bei 121°C beständigen Material hergestellt sind.

23. Verfahren zur Herstellung eines Hohlfasermembran-Moduls nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein, vorzugsweise mit Öffnungen versehenes, Formstück durch Zusammenrollen in eine Gehäuse-, insbesondere Zylinderform gebracht wird und die Hohlfasermembranen in einer Packungsdichte von weniger als 20% in dem und/oder

um das Gehäuse angeordnet werden, wobei vor oder nach dem Zusammenrollen des Formstücks Segmentierelemente in Abständen auf dem Formstück angebracht werden, oder wobei die Segmentierelemente fester Bestandteil des zusammenrollbaren Formstücks sind.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das ebene Material so zusammengerollt wird, dass sich die Segmentierelemente nach dem Zusammenrollen des Formstücks auf dessen Innenfläche befinden.

25. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Formstück so zusammengerollt wird, dass sich die Segmentierelemente nach dem Zusammenrollen des Zylinders auf dessen Außenfläche befinden.

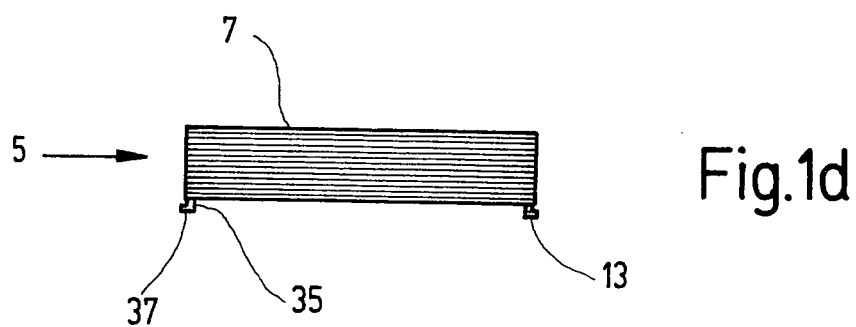
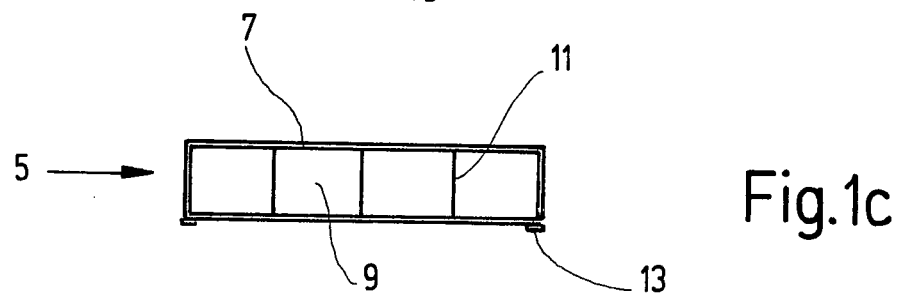
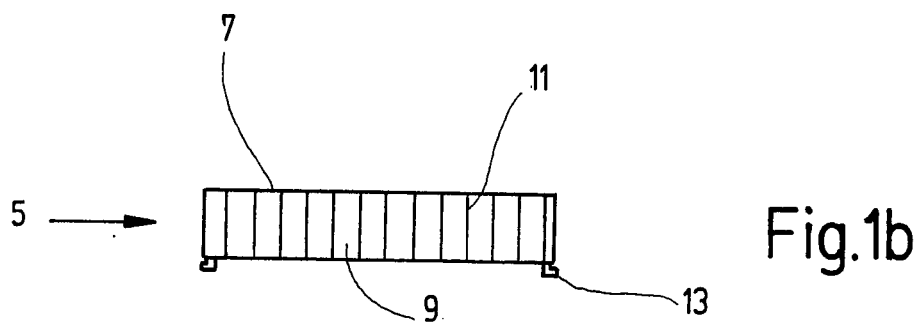
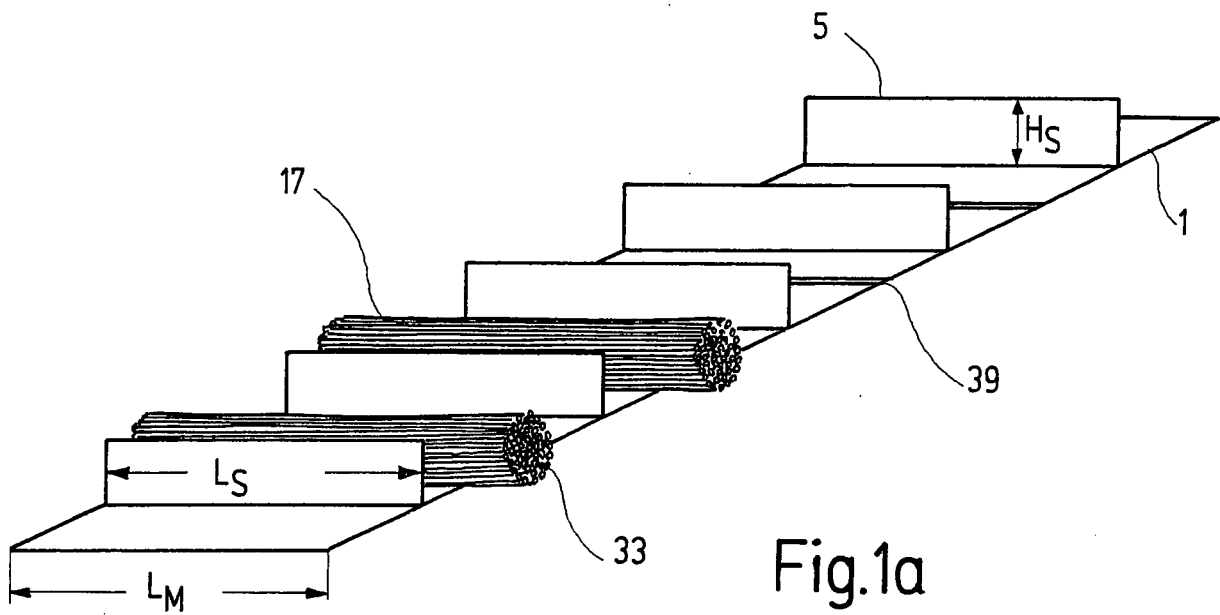
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 25, wobei vor dem Zusammenrollen des Formstücks mindestens ein Hohlfasermembran-Bündel auf dem Formstück, gegebenenfalls in dem Kompartiment zwischen zwei benachbarten Segmentierelementen, angeordnet und gegebenenfalls fixiert wird.

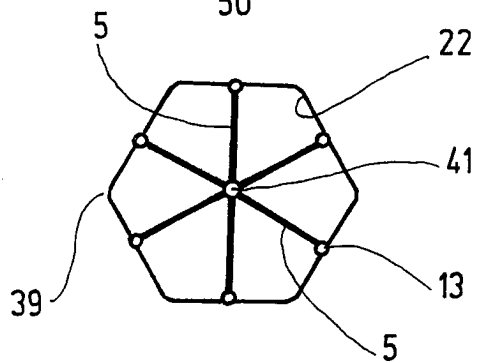
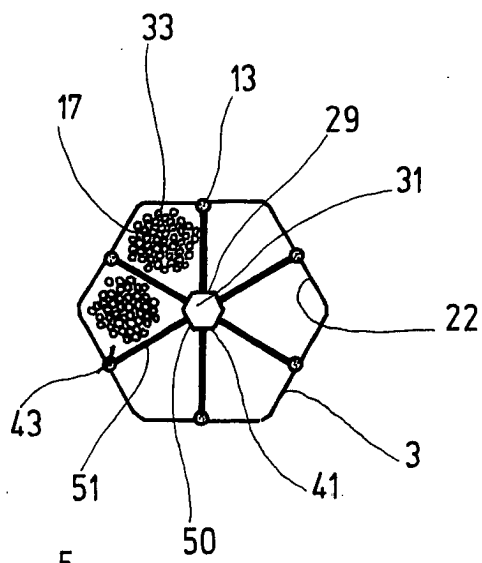
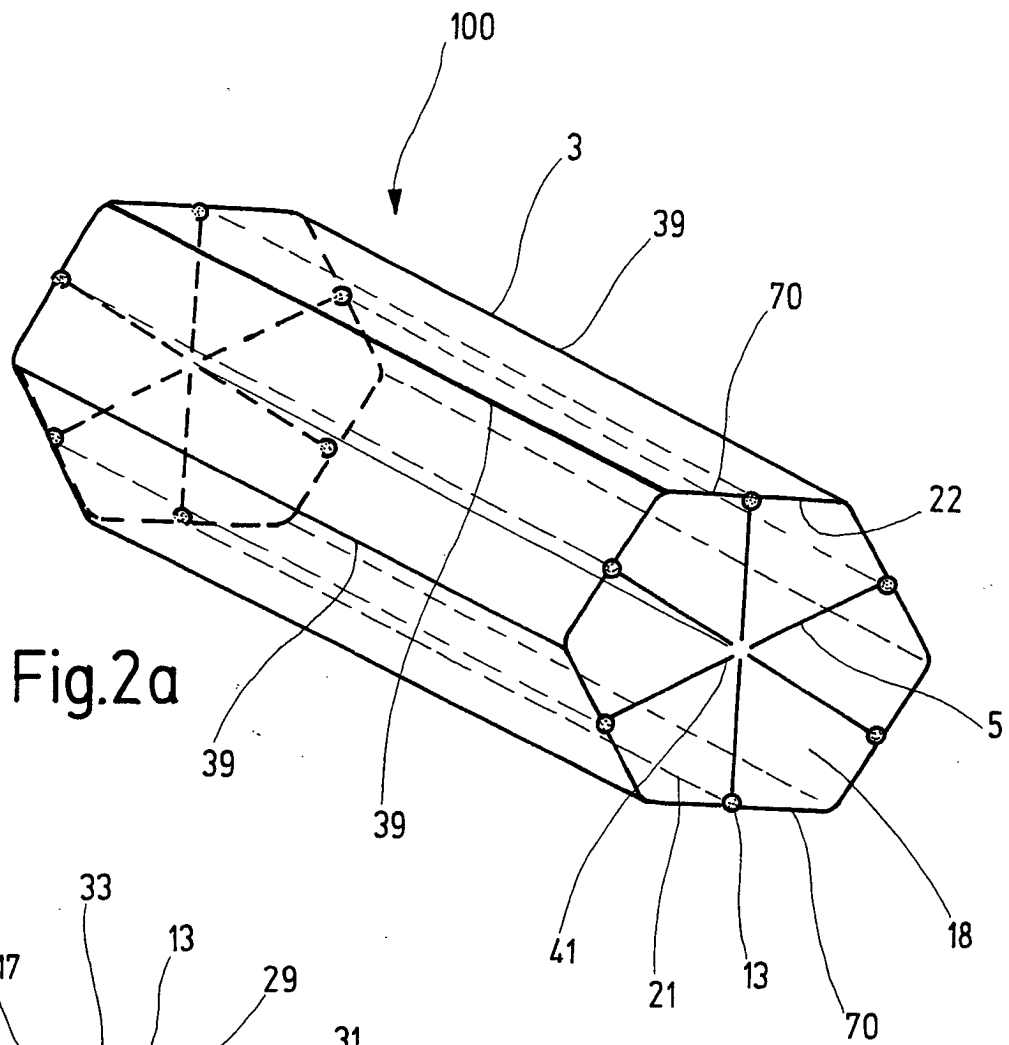
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, wobei nach dem Zusammenrollen des Zylinders mindestens ein Hohlfasermembran-Bündel in dem Gehäuse, gegebenenfalls in dem von zwei benachbarten Segmentierelementen begrenzten Kompartiment, angeordnet und gegebenenfalls fixiert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, wobei die Enden der Hohlfasermembranen vergossen werden und das Gehäuse an seinen Enden abgedichtet wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, wobei das Gehäuse in ein zweites, insbesondere käfigartiges, Gehäuse eingeführt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen





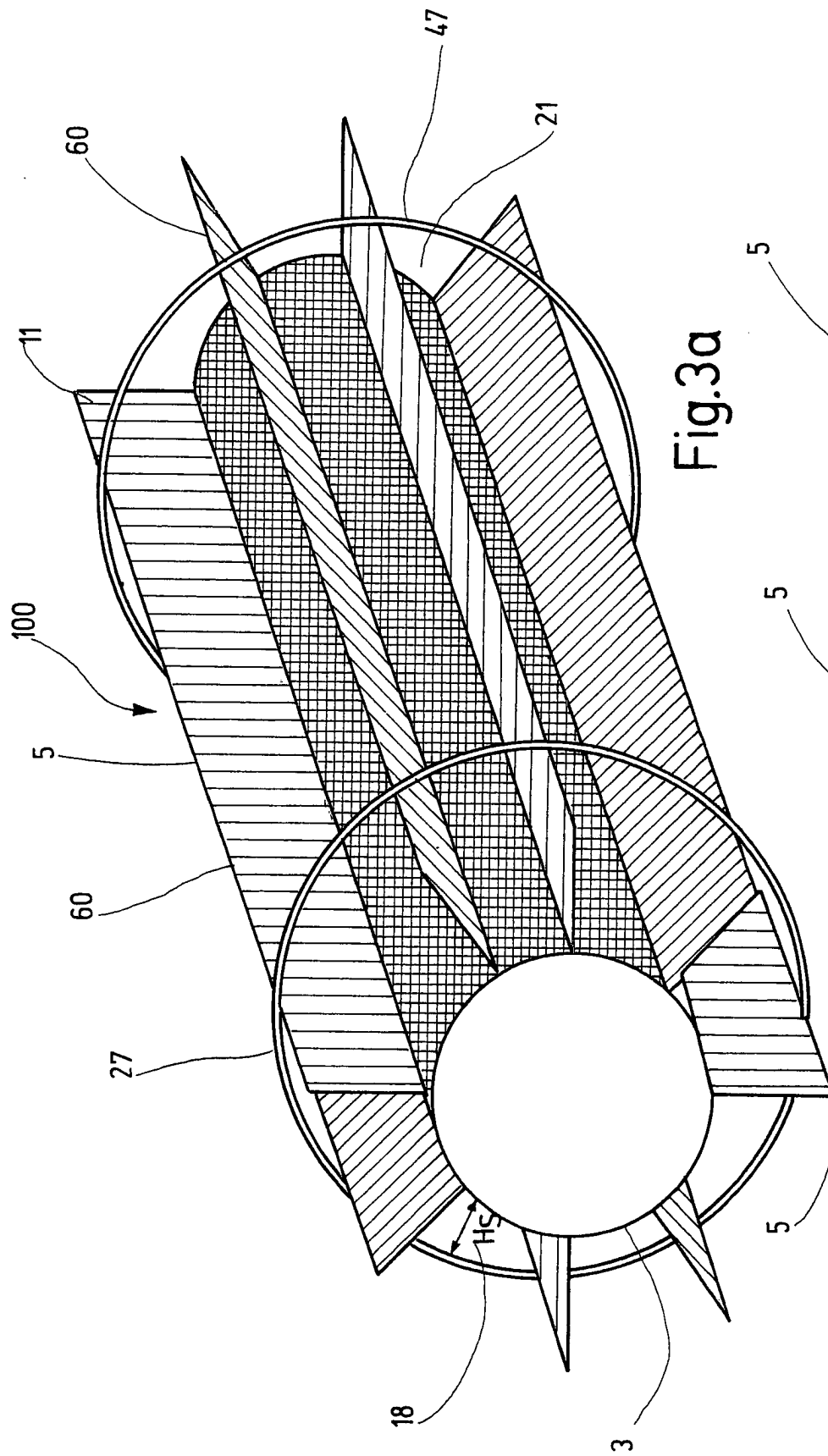


Fig. 3a

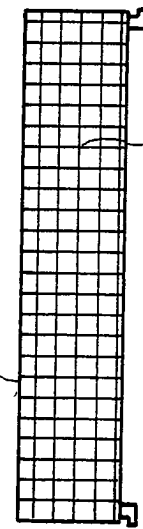


Fig. 3d

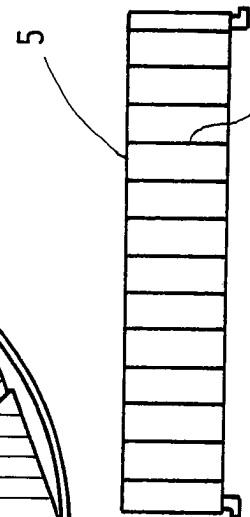


Fig. 3c

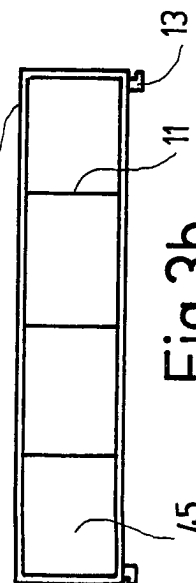


Fig. 3b

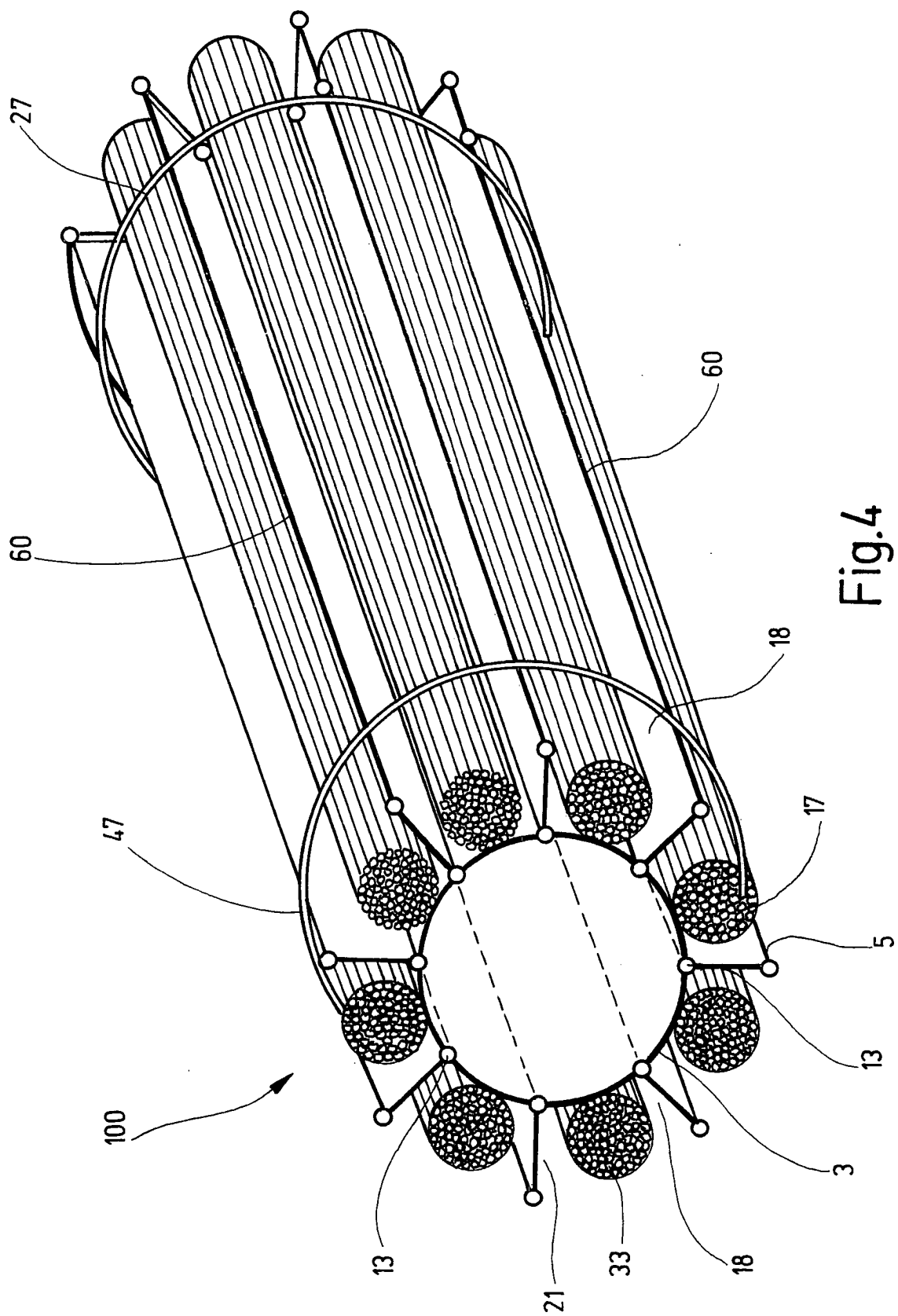


Fig. 4

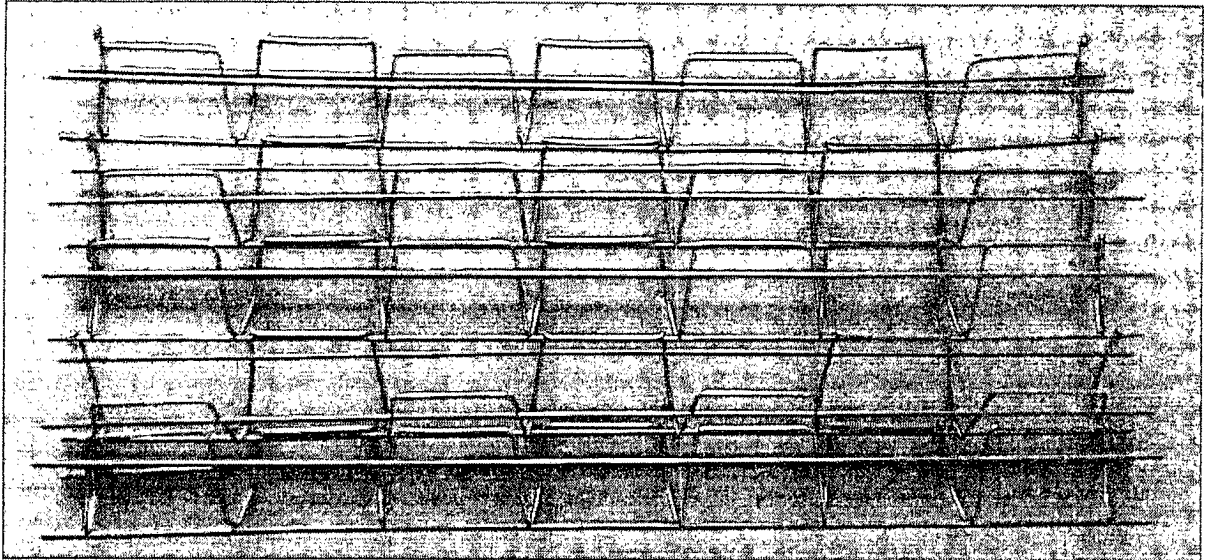


Fig. 5 a)

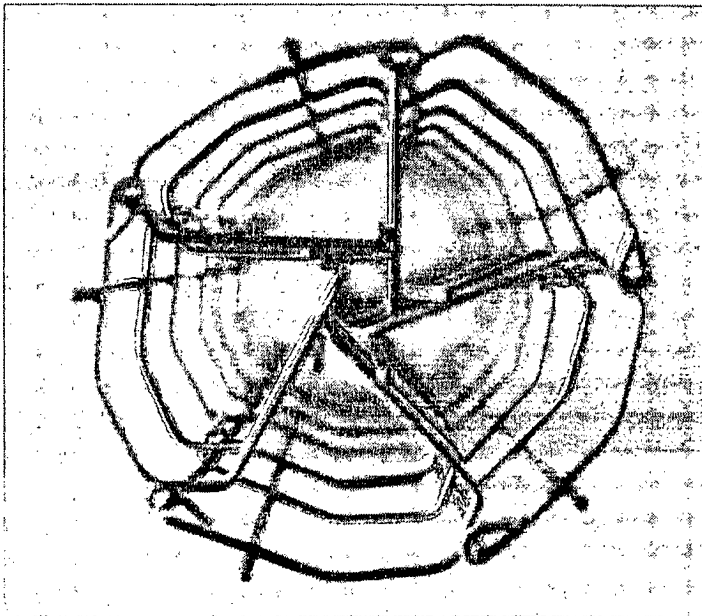


Fig. 5 b)

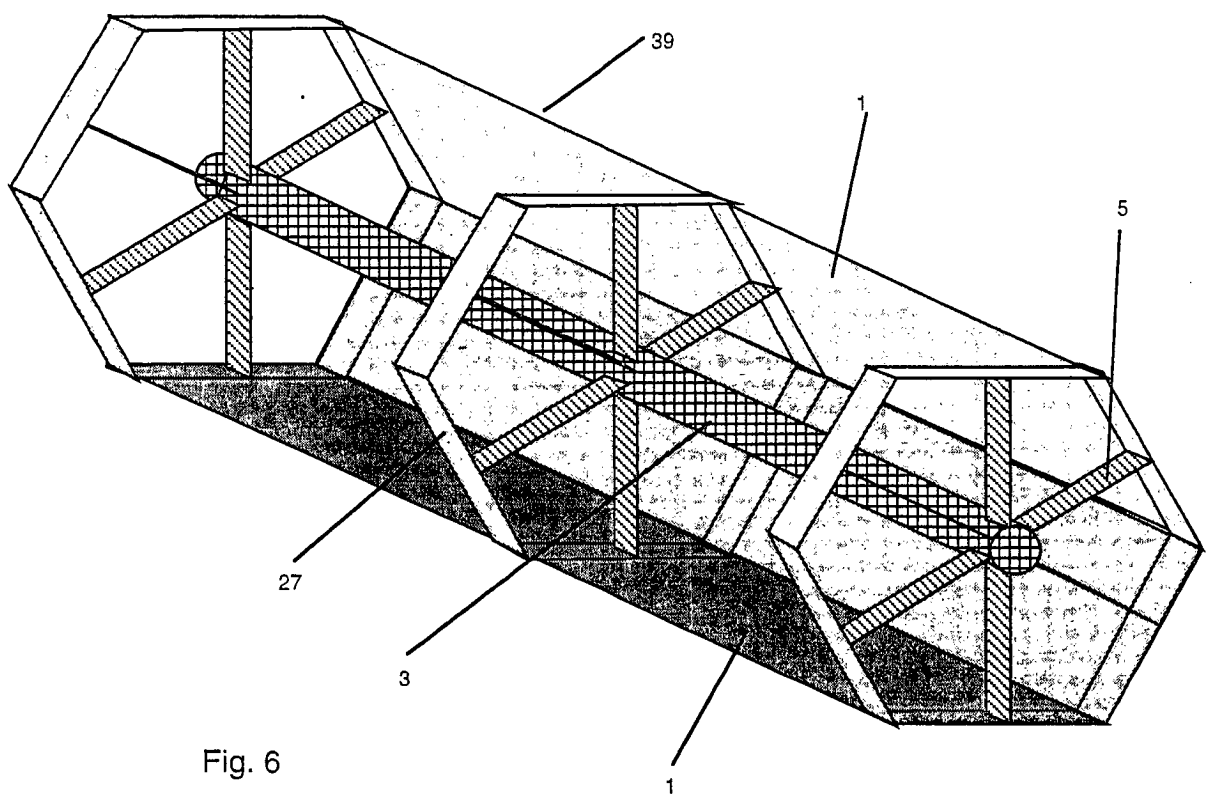


Fig. 6