

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Anmeldenummer: GM 302/2016 (51) Int. Cl.: **B01D 53/22** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 09.12.2016 **B01D 63/06** (2006.01)
 (24) Beginn der Schutzdauer: 15.02.2018 **B01D 69/04** (2006.01)
 (45) Veröffentlicht am: 15.03.2018

(56) Entgegenhaltungen: AT 12132 U1 DE 10029882 A1 GB 1292025 A EP 0732139 A2 US 6152987 A GB 944333 A	(73) Gebrauchsmusterinhaber: PLANSEE SE 6600 REUTTE (AT)
	(72) Erfinder: Haydn Markus 6600 Breitenwang (AT) Kögl Markus 6682 Vils (AT) Rüttinger Matthias 6600 Reutte (AT)

(54) **Membranrohr**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Membranrohr (20, 20') zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen. Das Membranrohr weist mindestens zwei Membranrohrabschnitte (11, 11'), die jeweils ein poröses, gasdurchlässiges, metallisches, rohrförmiges Trägersubstrat (12) und eine auf dem Trägersubstrat umlaufend aufgebrachte, selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran (13) aufweisen, mindestens ein zumindest oberflächlich gasdichter Ankopplungsabschnitt (21), durch den zwei benachbarte Membranrohrabschnitte (11, 11') verbunden sind, und mindestens einen Abstandshalter (15, 15') im Bereich des Ankopplungsabschnitts (21) auf. Der Abstandshalter (15, 15') steht in radialer Richtung über die Membran (13) vor.

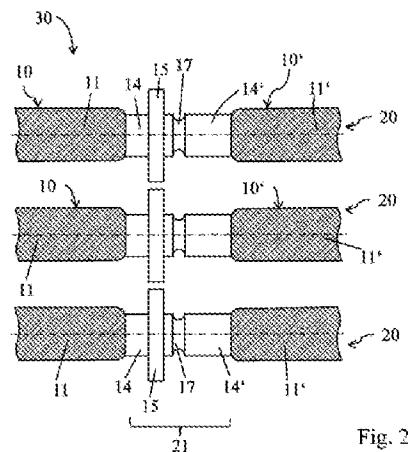


Fig. 2

Beschreibung

MEMBRANROHR

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Membranrohrelement gemäß Anspruch 1, ein Membranrohr gemäß Anspruch 2 und ein Membranrohrsystem gemäß Anspruch 13 zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen.

[0002] Membranrohrsysteme dieser Art werden allgemein zur selektiven Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen, insbesondere zur Abtrennung von Wasserstoff (H_2) aus Wasserstoff enthaltenden Gasgemischen (z.B. aus dampfreformiertem Erdgas) eingesetzt. Dabei wird bekanntlich die Eigenschaft bestimmter Materialien, dass sie nur selektiv für bestimmte Atome bzw. Moleküle (z.B. H_2) permeabel sind, ausgenutzt, indem sie als dünne Lage („Membran“), wie z.B. als Schicht auf einem Träger oder als eigenstabile Folie, zur Unterteilung eines Gasraums für das Gasgemisch von einem Gasraum für das abzutrennende Gas, eingesetzt werden. Bringt man zum Beispiel ein Gasgemisch mit einem bestimmten Partialdruck des abzutrennenden Gases, wie z.B. mit einem bestimmten H_2 -Partialdruck, auf die eine Seite der Membran, so sind die Atome/Moleküle des abzutrennenden Gases bestrebt, durch die Membran auf die andere Seite zu gelangen, bis auf beiden Seiten der gleiche Partialdruck des abzutrennenden Gases besteht. Wichtige Parameter, die die Leistungsfähigkeit eines Trennsystems bestimmen, sind u.a. Betriebstemperatur und Membranschichtdicke. Es gilt dabei in der Regel, dass - zumindest bei metallischen Membranen - je höher die Betriebstemperatur ist und je dünner die Membran ist, umso größer ist der spezifische Gasfluss des abzutrennenden Gases (z.B. H_2). Anlagen zur Abtrennung von Wasserstoff werden typischerweise bei einer Betriebstemperatur von 450-900°C betrieben. Die Schichtdicke der Membran zur Abtrennung von Wasserstoff liegt typischerweise im Bereich mehrerer Mikrometer (μm) und weist daher eine sehr geringe Formstabilität und Steifigkeit auf, weshalb sie häufig als Schicht auf einem porösen, gasdurchlässigen, rohrförmigen Trägersubstrat, welches eine Gaszufuhr zu und/oder Gasabfuhr von der Membran gewährleistet und eine flächige Oberfläche zur Aufbringung der Membran bereitstellt, ausgebildet sind. Bevorzugt kommen dabei metallische Materialien für das rohrförmige Trägersubstrat zum Einsatz, da sie im Vergleich zu keramischen Materialien niedrigere Herstellungskosten haben und relativ einfach mit einem zumindest oberflächlich gasdichten und metallischen Ankopplungsteil, wie z.B. durch Schweißen oder Löten, verbindbar sind. Über dieses Ankopplungsteil kann die Integration des Membranrohrs in ein Modul (mit mehreren Membranrohren dieser Art, auch Membranrohrsystem genannt) oder allgemeiner in eine Anlage, innerhalb der die Gastrennung durchgeführt wird, erfolgen. Typischerweise ist dabei eine Mehrzahl dieser Membranrohre in einem Bündel angeordnet.

[0003] Neben der Betriebstemperatur und der Membranschichtdicke hat die Membranfläche einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit einer derartigen Anlage. Um die Membranfläche in einer Anlage zu maximieren, werden die Membranrohre in der Regel mit im Vergleich zu ihrer Länge geringem Durchmesser ausgeführt (beispielsweise kann die Länge eines Membranrohrs in der Größenordnung von Meter sein, während der Durchmesser in der Größenordnung von cm ist) und zu einem Bündel zusammengefasst, bei dem die einzelnen zueinander parallel verlaufenden Elemente einen möglichst geringem Abstand zueinander aufweisen. In der Praxis treten dabei verschiedene Herausforderungen auf: Bedingt durch die vergleichsweise große Länge und geringe Eigenstabilität kann es bei Transport, bei Inbetriebnahme (aufgrund temperaturinduzierter Materialausdehnung beim Aufheizen) oder im Einsatz (aufgrund unregelmäßiger Gasströmungen) zu Vibrationen bzw. Durchbiegungen kommen, welche zu Berührungen zwischen den Membranrohren führen können. Diese mechanischen Kontakte zwischen benachbarten Membranelementen können Beschädigungen der auf der Außenseite der Membranelemente angeordneten Membran hervorrufen, wodurch ihre Gasdichtheit gefährdet ist. Für eine zuverlässige Funktionsweise ist es aber unerlässlich, dass eine gasdichte Trennung der beiden Gasräume, zumindest soweit die weiteren, in dem Gasgemisch neben dem abzutrennenden Gas enthaltenen Gase betroffen sind, über die gesamte Betriebs-

dauer der Anlage gewährleistet ist. Das System muss zudem insbesondere für die Abtrennung von H₂ sehr hohen Temperaturen im Bereich von bis zu 900°C und außerdem hohen Druckdifferenzen von mehreren 10 bar standhalten können.

[0004] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Membranrohrelement, Membranrohr und ein Membranrohrsystem der oben angegebenen Art bereitzustellen, bei welcher die Membranrohre in einem Bündel anordbar sind und im Betrieb über lange Einsatzdauern hinweg und bei hohen Betriebstemperaturen eine zuverlässige Gasdichtheit der beiden Gasräume gewährleistet ist.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Membranrohrelement gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Membranrohr gemäß Anspruch 2 und ein Membranrohrsystem gemäß Anspruch 13. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0006] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Membranrohrelement zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen (z.B. H₂ aus H₂ enthaltenden Gasgemischen) bereitgestellt. Das Membranrohrelement weist dabei mindestens einen Membranrohrabschnitt und mindestens zwei zumindest oberflächlich gasdichte Ankopplungsteile auf, wobei der Membranrohrabschnitt stirnseitig jeweils mit einem Ankopplungsteil verbunden ist. Der Membranrohrabschnitt weist ein poröses, gasdurchlässiges, metallisches, rohrförmiges Trägersubstrat auf, auf das eine selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran auf der Außenseite umlaufend aufgebracht ist. Erfindungsgemäß ist mindestens ein Abstandshalter im Bereich mindestens eines Ankopplungsteils angeordnet, der in radialer Richtung über die Membran vorsteht. Mit radial vorsteht ist dabei gemeint, dass der Abstandshalter einen größeren maximalen Abstand zum Mittelpunkt des rohrförmigen Membranrohrelements aufweist als die Membran oder in anderen Worten ausgedrückt, dass der maximale Außendurchmesser des Abstandhalters größer ist als der maximale Außendurchmesser des Membranrohrabschnitts mit der Membran.

[0007] Weiters wird gemäß der vorliegenden Erfindung ein Membranrohr zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen vorgeschlagen. Das Membranrohr weist dabei mindestens zwei Membranrohrabschnitte auf, welche jeweils ein poröses, gasdurchlässiges, metallisches, rohrförmiges Trägersubstrat aufweisen, auf das eine selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran auf der Außenseite umlaufend aufgebracht ist. Zwischen zwei benachbarten Membranrohrabschnitten ist mindestens ein zumindest oberflächlich gasdichter Ankopplungsabschnitt vorgesehen, durch den zwei benachbarte Membranrohrabschnitte verbunden sind. Erfindungsgemäß weist das Membranrohr im Bereich des Ankopplungsabschnitts mindestens einen Abstandshalter auf, der in radialer Richtung über die Membran vorsteht. In bevorzugten Ausführungsformen kann jeweils ein Abstandshalter pro Ankopplungsabschnitt vorgesehen sein.

[0008] Zur Bildung eines Membranrohrs kann also eine Mehrzahl von Membranrohrelementen hintereinander in Serie angeordnet und verbunden sein, wobei zwei benachbarte, miteinander verbundene Ankopplungsteile einen Ankopplungsabschnitt bilden. Bevorzugt sind benachbarte Ankopplungsteile dabei stoffschlüssig (bspw. mittels einer Schweiß-, Löt- oder Klebeverbindung) und/oder formschlüssig (bspw. mittels einer Schraubverbindung) miteinander verbunden. Bei einer bevorzugten Variante weisen zu verbindende Ankopplungsteile randseitig ein zueinander kompatibles Gewinde auf, sodass sie durch Verdrehen miteinander verschraubt werden können. Insbesondere kann dabei das Ankopplungsteil eines Membranrohrelements randseitig ein Innengewinde aufweisen, während das damit zu verbindende Ankopplungsteil des angrenzenden Membranrohrelements randseitig ein korrespondierendes Außengewinde aufweist. Zwecks Gasdichtheit können die verschraubten Ankopplungsteile anschließend an den Stoßstellen der beiden Ankopplungsteile durch eine umlaufende Schweißnaht verschweißt werden.

[0009] Als Membran wird eine dünne, selektiv für bestimmte Gassorten (insbesondere für H₂), permeable Lage eines Materials verstanden. Die Membran (bzw. deren Material) wird entsprechend dem abzutrennenden Gas (z.B. H₂) gewählt. Die weiteren, in dem jeweiligen Gasgemisch enthaltenen Gase sind ggf. bei der Auslegung und Materialauswahl der Komponenten des

Membranrohrs bzw. Membranrohrelements mit zu berücksichtigen, insbesondere wenn eine Komponente für sämtliche dieser Gase des Gasgemisches gasdicht ausgeführt sein soll.

[0010] Für die Wasserstoffabtrennung sind als Materialien für die Membran grundsätzlich reine Metalle, die eine gewisse Permeabilität für Wasserstoff aufweisen, jedoch für andere Atome/Moleküle eine Barriere darstellen, gut geeignet. Im Hinblick auf die Vermeidung der Ausbildung einer Oxidschicht, welche diese selektive Permeabilität beeinträchtigen würde, werden zur Wasserstoffabtrennung (H_2) vorzugsweise edle Metalle, insbesondere Palladium, Palladium enthaltende Legierungen (insb. mit mehr als 50 Gew.% Palladium), wie z.B. Palladium-Vanadium, Palladium-Gold, Palladium- Silber, Palladium-Kupfer, Palladium-Ruthenium oder auch Palladium-enthaltende Verbundmembranen, wie z.B. mit der Schichtabfolge Palladium, Vanadium, Palladium, eingesetzt. Gemäß einer Weiterbildung ist die Membran dementsprechend aus Palladium oder einem Palladium-basierten, metallischen Material (z.B. Legierung, Verbund, etc.) gebildet. Der Pd-Gehalt solcher Membranen beträgt dabei insbesondere mindestens 50 Gew.%, vorzugsweise mindestens 80 Gew.%.

[0011] Die Membran kann allgemein grundsätzlich als eigenstabile Folie wie auch als (mindestens) eine Schicht auf einem Trägersubstrat ausgebildet sein. Das Trägersubstrat hat eine rohrförmige Grundform und erfüllt eine mechanische Stützfunktion. Sein Querschnitt ist vorzugsweise kreisförmig mit konstantem Durchmesser entlang der axialen Richtung. Alternativ können aber auch ein anderweitig geschlossener Querschnitt, wie beispielsweise ein ovaler Querschnitt, sowie ein sich entlang der axialen Richtung aufweitender Querschnitt vorgesehen sein. Das Trägersubstrat ist porös und gasdurchlässig, um je nach Gasflussrichtung die Gaszufuhr zu bzw. Gasabfuhr von der Membran zu ermöglichen. Für das Trägersubstrat kommt bevorzugt ein metallisches Material zum Einsatz, wobei sich ein metallisches Trägersubstrat gegenüber keramischen Trägersubstraten dadurch auszeichnet, dass es kostengünstiger in der Herstellung, im Übergangsbereich zum Ankopplungsschnitt bzw. Ankopplungsteil leichter abzudichten und relativ einfach mit dem Ankopplungsschnitt bzw. Ankopplungsteil, wie beispielsweise über ein schweißtechnisches Verfahren, insbesondere stoffschlüssig verbindbar ist. Die Herstellung solch poröser, gasdurchlässigiger, metallischer Trägersubstrate erfolgt insbesondere über ein pulvermetallurgisches Herstellungsverfahren, das die Schritte des Formgebens (z.B. Pressens) und Sinterns von metallischen Ausgangspulvern umfasst, wodurch poröse Trägersubstrate mit einer für die pulvermetallurgische Herstellung typischen Mikrostruktur erhalten werden. Als Materialien für das Trägersubstrat eignen sich insbesondere auf Eisen (Fe) basierte (d.h. mindestens 50 Gew.%, insbesondere mindestens 70 Gew.% Fe enthaltende), einen hohen Chromanteil (Chrom: Cr) enthaltende Legierungen (z.B. mindestens 16 Gew.% Cr), denen weitere Zusätze, wie z.B. Yttriumoxid (Y_2O_3) (zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit), Titan (Ti) und Molybdän (Mo) zugesetzt sein können, wobei der Anteil dieser Zusätze insgesamt vorzugsweise kleiner als 3 Gew.% ist (vgl. z.B. den als ITM bezeichneten Werkstoff der Firma Plansee SE enthaltend 71,2 Gew.% Fe, 26 Gew.% Cr sowie in Summe weniger als 3 Gew.% von Ti, Y_2O_3 und Mo). Ferner treten bei den hohen Betriebstemperaturen (typischerweise Betriebstemperaturen bei der Gasabtrennung im Bereich von 450- 900°C) Interdiffusionseffekte zwischen dem metallischen Trägersubstrat und der (für die H_2 -Abtrennung regelmäßig ebenfalls metallischen) Membran auf, die über die Zeit zu einer Degradierung bzw. Zerstörung der Membran führen würden. Zur Vermeidung dieser Nachteile kann zwischen dem Trägersubstrat und der Membran mindestens eine keramische, gasdurchlässige, poröse Zwischenschicht (z.B. aus 8YSZ, d.h. aus einem mit 8 Mol% Yttriumoxid (Y_2O_3) vollstabilisiertem Zirkonoxid) vorgesehen sein. Sie unterdrückt Interdiffusionseffekte zwischen dem Trägersubstrat und der Membran. Ferner kann über sie, ggf. auch stufenweise (insbesondere über die Aufbringung mehrerer Zwischenschichten, d.h. über einen „graduierten Schichtaufbau“), die Porengröße reduziert werden und eine glattere Oberfläche für die Auflage der Membran zur Verfügung gestellt werden.

[0012] Die Membran erstreckt sich über die gesamte zylindrische Außenfläche des porösen Trägersubstrats. Die Abdichtung (abgesehen von der Durchlässigkeit für das abzutrennende Gas) erfolgt im Bereich des Trägersubstrats durch die Membran. Zur vollständig gasdichten

Anbindung an entsprechende Anschlussleitungen der Anlage (z.B. Reaktor) bzw. zur Anbindung an weitere Membranrohrelemente ist unmittelbar angrenzend an das Trägersubstrat ein zumindest oberflächlich aus einem gasdichten Material bestehender Ankopplungsabschnitt bzw. ein Ankopplungsteil vorgesehen. Der gasdichte Bereich des Ankopplungsabschnitts bzw. Ankopplungsteils ist außenseitig, er befindet sich also auf der gleichen Seite wie die Membran an dem angrenzenden Trägersubstrat. Bevorzugt handelt es sich beim Ankopplungsteil bzw. Ankopplungsabschnitt um ein im Vollmaterial metallisches Bauteil. Die Grundform ist ebenfalls rohrförmig. Der Ankopplungsabschnitt bzw. das Ankopplungsteil können weitere Funktionen, wie z.B. die Zusammenführung bzw. Aufteilung mehrerer Anschlussleitungen, erfüllen. Hierzu können entsprechend funktionalisierte Abschnitte an den Ankopplungsabschnitt bzw. das Ankopplungsteil angeformt und/oder mit diesen verbunden sein.

[0013] Bevorzugt ist das Ankopplungsabschnitt bzw. der Ankopplungsteil zumindest an einer Stirnseite stoffschlüssig (wie z.B. über eine Schweißverbindung oder eine Lötverbindung) mit dem rohrförmigen Trägersubstrat verbunden, wobei sich die stoffschlüssige Verbindung insbesondere um den gesamten Umfang der aneinander angrenzenden Bauteile erstreckt. Eine Schweißverbindung ist dabei kostengünstig und prozesssicher herstellbar. Die stoffschlüssige Verbindung kann auch durch eine integrale Ausführung des Ankopplungsabschnitts (bzw. Ankopplungsteils) und des Trägersubstrats aus einem Bauteil hergestellt sein.

[0014] Zur Abdichtung des Übergangsbereich zwischen dem Ankopplungsteil bzw. Ankopplungsabschnitt und dem Trägersubstrat kann insbesondere die Membran selbst oder eine Schicht, die für sämtliche Gase des Gasgemisches oder für die weiteren, neben dem abzutrennenden Gas enthaltenen Gase gasdicht ist, in axialer Richtung geringfügig über das poröse Trägersubstrat hinaus bis über das Ankopplungsteil bzw. den Ankopplungsabschnitt hinausgezogen werden, um dann auf dem Ankopplungsabschnitt bzw. Ankopplungsteil abzuschließen.

[0015] Kerngedanke der Erfindung ist, dass im Bereich des Ankopplungsabschnitts bzw. Ankopplungsteils mindestens ein Abstandshalter vorgesehen ist, der in radialer Richtung über die Membran hinausragt. Das hat große Vorteile, wenn eine Mehrzahl von Membranrohren in einem Membranrohrsystem zu einem Bündel zusammengefasst wird. In einem solchen Membranrohrsystem ist eine Mehrzahl von Membranrohren in zueinander paralleler Ausrichtung angeordnet, wobei Ankopplungsabschnitte bzw. Abstandshalter benachbarter Membranrohre zueinander korrespondieren, d.h. auf gleicher Höhe angeordnet sind. Damit ist sichergestellt, dass ein Abstandshalter nur mit einem etwaigen Abstandshalter eines benachbarten Membranrohrs oder mit einem korrespondierenden Ankopplungsabschnitt eines benachbarten Membranrohrs (z.B. wenn im Bereich der Ankopplungsabschnitte nur an jedem zweiten Membranrohr ein Abstandshalter vorgesehen ist) in mechanischen Kontakt treten kann und Berührungen, Reibungskontakte, etc. zwischen Abstandshalter und Membran vermieden werden. Der hervorstehende Abstandshalter ist also derart positioniert und dimensioniert, dass bei den Beanspruchungen, wie sie gewöhnlich beim Transport, bei Inbetriebnahme (Hochheizen der Anlage mit einer hergehender Längenausdehnung der Membranrohre) oder während des Betriebs (durch Gasströmungen hervorgerufenen Vibrationen) auftreten können, ein etwaiger mechanischer Kontakt zwischen benachbarten Membranrohren ausschließlich über Abstandshalter erfolgt. Membranrohrabschnitte benachbarter Membranrohre werden daher daran behindert, einander zu berühren und die Gefahr einer Beschädigung der an der Außenseite der Membranrohrabschnitte umlaufenden Membran ist signifikant reduziert.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Abstandhalter unmittelbar benachbarter Membranrohre auf gleicher Höhe angeordnet. Im Kontaktfall trifft in diesem Fall der Abstandshalter auf den Abstandshalter des benachbarten Membranrohrs und nicht auf den Ankopplungsabschnitt des benachbarten Membranrohrs.

[0017] Benachbarte Membranrohre können im eingebauten Zustand sehr eng angeordnet sein und in mechanischem Kontakt stehen (durch den Abstandshalter), aber auch beabstandet in kontaktlosen Zustand zueinander angeordnet sein, wodurch ein Spalt zwischen Abstandshalter und benachbartem Membranrohrabschnitt bzw. Abstandshalter des benachbarten Membran-

rohrs bleibt. Letztgenannte Anordnung kann die Strömung der Prozessgase im Außenbereich erleichtern.

[0018] Bevorzugt sind die Membranrohre bei der erstgenannten Anordnung über die Abstandshalter nicht fix mit den benachbarten Membranrohren verbunden, d.h. benachbarte Membranrohre weisen im Bereich der Ankopplungsabschnitte mit benachbarten Membranrohren keine stoff-, form- oder kraftschlüssige Verbindung wie bspw. eine Schweißverbindung auf. Dadurch sind in einem gewissen Ausmaß zwischen benachbarten Membranrohren relative, axiale Verschiebungen möglich, wodurch Spannungen beispielsweise aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnung ausgleichbar sind und nicht zu Verbiegungen führen.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Bündel von Membranrohren zumindest an einem Rand mechanisch fixiert, wo Anschlussmöglichkeiten zur Zu- und/oder Ableitung der Prozessgase bestehen. Die Membranrohre können auch am anderen Ende mechanisch fixiert sein und weitere Anschlussmöglichkeiten zur Zu- und/oder Ableitung der Prozessgase aufweisen. Es ist aber auch möglich, dass die Membranrohre am anderen Ende frei sind und beispielsweise mittels eines Ankopplungsteils mit einer Randkappe gasdicht abgeschlossen sind. Es erweist sich als vorteilhaft, wenn auch dieses Ankopplungsteil mit Randkappe mit einem Abstandshalter versehen ist, um Berührungen der Membranen auch an den Enden zu vermeiden.

[0020] Bevorzugt sind die einzelnen Membranrohre innerhalb eines einhüllenden Außenrohrs angeordnet, welches einen Abschluss des äußeren Prozessgasraums bildet. In diesem Fall dienen die Abstandshalter der äußeren Membranrohre auch als Abstandshalter gegenüber dem einhüllenden Außenrohr.

[0021] In einer vorteilhaften Ausführungsform steht der Abstandshalter radial umlaufend über den Ankopplungsabschnitt vor, besonders bevorzugt ist der Abstandshalter ringförmig ausgebildet. Es ergibt sich dadurch eine Distanzhaltefunktion in jede beliebige radiale Richtung (360°).

[0022] Bevorzugt ist der Abstandshalter aus einem Material, das auch noch bei einer Temperatur von 900°C beständig ist. Vorteilhafter Weise ist der Abstandshalter aus einem metallischem Material gebildet und besteht aus dem gleichen Material wie der Ankopplungsabschnitt bzw. das Ankopplungsteil. Dadurch sind die Temperaturausdehnungseigenschaften ident und die Gefahr von thermisch induzierten Spannungen bei Inbetriebnahme ist reduziert.

[0023] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Abstandshalter stoffschlüssig und/oder formschlüssig mit dem Ankopplungsabschnitt verbunden und garantiert so eine zuverlässige Verbindung mit dem Ankopplungsabschnitt auch bei hohen Temperaturen und/oder hohen Druckdifferenzen. Die stoffschlüssige Verbindung kann bspw. durch eine Lötverbindung, Klebeverbindung und/oder eine Schweißverbindung gebildet sein, die formschlüssige Verbindung bspw. durch eine Schraubverbindung. Eine stoffschlüssige Verbindung kann auch durch eine integrale Ausführung des Ankopplungsabschnitts (bzw. Ankopplungsteils) und dem Abstandhalter aus einem Bauteil gegeben sein.

[0024] Es sind verschiedene Ausführungsvarianten des Abstandshalters denkbar. Häufig wird zur Bildung eines Membranrohrs eine Mehrzahl von Membranrohrelementen in Serie gasdicht miteinander verbunden. In Hinblick auf eine kostengünstige Herstellung kann die Ausführung des Abstandshalters mit der Ausführung der Verbindung zwischen den beiden Ankopplungsteilen mitberücksichtigt bzw. kombiniert werden.

[0025] In einer vorteilhaften Ausführungsform wird der Abstandshalter durch Auftragsschweißen im Ankopplungsabschnitt bzw. Ankopplungsteil angeformt. Dabei kann beispielsweise die umlaufende Schweißnaht, mit welcher die beiden Ankopplungsteile verbunden werden, zur Ausbildung eines Abstandshalters verstärkt ausgeführt sein. In diesem Fall ist also nur ein Prozessschritt nötig, um sowohl die Verbindung zwischen den Membranrohrelementen als auch den Abstandshalter zu realisieren.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform kann der Abstandshalter durch eine Distanzscheibe gebildet sein, die form- und/oder stoffschlüssig mit dem Ankopplungsabschnitt verbunden ist. Bevorzugt wird die Distanzscheibe zwischen den beiden Ankopplungsteilen eingeschweißt.

[0027] In einer weiteren Variante kann der Ankopplungsabschnitt einen Bund aufweisen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise von den zwei angrenzenden Ankopplungsteilen des Ankopplungsabschnitts ein Ankopplungsteil als Rohrabschnitt mit einem Bund ausgeführt sein.

[0028] Der Abstandshalter kann auch mit Hilfe eines Zwischenstücks realisiert sein, das zwischen den beiden Ankopplungsteilen angeordnet ist. Das Zwischenstück kann beispielsweise als eine Hülse mit (mittigem) Bund ausgeführt sein, welche zwischen den beiden Ankopplungsteilen angrenzender Membranrohrelemente eingeschweißt wird. Aufgrund dieses Zwischenstücks ist bei den einzelnen Membranrohrelementen kein Bund oder ein anderer Abstandshalter mehr nötig, wodurch eine Automatisierung der Fertigung der Membranrohrelemente erleichtert wird.

[0029] Vorzugsweise weist das Membranrohr eine Länge von mindestens 0,5 m, insbesondere von mindestens 0,8 m auf. Vorzugsweise weist das Membranrohr im Bereich der Membranrohrrabschnitte einen Durchmesser d von $0,3 \text{ cm} \leq d \leq 1,2 \text{ cm}$, insbesondere von $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 0,8 \text{ cm}$ auf.

[0030] Weitere Vorteile und Zweckmäßigkeitkeiten der Erfindung ergeben sich anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren.

[0031] Von den Figuren zeigen:

[0032] Fig. 1a: eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Membranrohrelements;

[0033] Fig. 1b: einen vergrößerten Ausschnitt des in Fig. 1 mit I skizzierten Bereichs im Übergangsbereich zwischen Membranrohrabschnitt und Ankopplungsteil in einer schematischen Querschnittsansicht;

[0034] Fig. 2: eine schematische Ansicht eines Membranrohrsystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0035] Fig. 3: eine schematische Ansicht eines Membranrohrsystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0036] Fig. 4: eine schematische Ansicht eines Membranrohrsystems gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

[0037] Fig. 5a: eine schematische Ansicht eines Membranrohrsystems gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

[0038] Fig. 5b: einen vergrößerten Ausschnitt des in Fig. 5a mit II skizzierten Bereichs um den Abstandshalter in einer Querschnittsansicht.

[0039] In der Fig. 1a ist ein Beispiel für Membranrohrelement zur permeativen Abtrennung eines abzutrennenden Gases (z.B. H_2) aus einem Gasgemisch (z.B. dampfreformiertes Erdgas, enthaltend CH_4 , H_2O , CO_2 , CO , H_2 , etc.) dargestellt, wobei in Fig. 1b der in Fig. 1a mit I skizzierte Bereich im Übergangsbereich zwischen Membranrohrabschnitt und Ankopplungsteil vergrößert dargestellt ist. Das Membranrohrelement 10 weist einen rohrförmigen Membranrohrabschnitt 11 und an den Stirnseiten jeweils an rohrförmiges Ankopplungsteil 14, 14' auf. Die beiden Ankopplungsteile 14, 14' dienen zur gasdichten Ankopplung an Zu- bzw. Ableitungsrohre der Gastrennanlage bzw. zur Anbindung an ein weiteres Membranrohrelement, um wie in nachfolgender Fig. 2 angedeutet aus einer Mehrzahl von hintereinander verbundenen Membranrohrelementen ein Membranrohr zu bilden. Wie in Fig. 1b dargestellt ist der Membranrohrabschnitt 11 aus einem rohrförmigen, porösen, gasdurchlässigen, metallischen Trägersubstrat 12 (z.B. aus ITM) aufgebaut, entlang dessen (kreisförmiger) Stirnseite über eine stoffschlüssige Verbindung, beispielsweise eine Schweißverbindung, das rohrförmige, im Vollmaterial aus einem Metall (z.B. Stahl) ausgebildete Ankopplungsteil 14' verbunden ist. Das Trägersubstrat

12 und die Ankopplungsteile 14,14' können auch als integraler bzw. monolithischer Bauteil z.B. aus einem porösen, gasdurchlässigen Grundmaterial ausgeführt sein, wobei bei den Ankopplungsteilen die außenseitige Oberfläche anschließend gasdicht gemacht werden muss. Gasdichtheit an der Oberfläche kann beispielsweise durch Aufbringen einer Beschichtung oder einer Dichtungsmasse oder durch oberflächliches Aufschmelzen des porösen Grundmaterials des Ankopplungsteils 14,14' erzielt werden.

[0040] Über die gesamte zylindrische Außenfläche des porösen Trägersubstrats erstreckt sich eine selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran 13 (z.B. aus Pd), die (abgesehen von der Durchlässigkeit für das abzutrennende Gas) eine Abdichtung im Bereich des Trägersubstrats bewerkstellt. Zur Unterdrückung von Interdiffusionseffekte, die bei hohen Betriebstemperaturen zwischen dem metallischen Trägersubstrat 12 und der (für die H₂-Abtrennung regelmäßig ebenfalls metallischen) Membran 13 auftreten, sind zwischen dem Trägersubstrat 12 und der Membran 13 zwei keramische, gasdurchlässige, poröse Zwischenschichten 16,16' (z.B. aus gesintertem 8YSZ) angeordnet, welche sich über die gesamte gasdurchlässige Oberfläche des Trägersubstrats erstrecken. Diese zweite Zwischenschicht 16' erstreckt sich dabei geringfügig über die erste Zwischenschicht 16 hinaus und läuft unmittelbar auf dem Ankopplungsteil 14 aus. Die erste Zwischenschicht 16 weist eine kleinere, mittlere Porengröße als das Trägersubstrat 12 auf und die zweite Zwischenschicht 16' weist eine gegenüber der ersten Zwischenschicht 16 noch kleinere mittlere Porengröße auf. Die zweite Zwischenschicht 16' dient auch dazu, eine ausreichend glatte Unterlage für die nachfolgende Membran 13 bereitzustellen. Diese nachfolgende Membran 13 erstreckt sich über die zwei Zwischenschichten 16 und 16' hinaus und läuft unmittelbar auf dem Ankopplungsteil 14 aus, wodurch auch im Übergangsbereich zwischen Trägersubstrat 12 und Ankopplungsteil 14 eine zuverlässige Abdichtung gewährleistet wird. Die Abdichtung zwischen Trägersubstrat 12 und Ankopplungsteil 14' erfolgt analog.

[0041] Beim vorliegenden Membranrohrelement 10 ist an einem Ankopplungsteil 14 ein Abstandshalter 15 in Form eines Bunds vorgesehen. Im vorliegenden Beispiel ist das Ankopplungsteil 14 aus einem dickwandigen Rohr hergestellt, aus dem ein Rohrabschnitt mit Bund 15 gedreht wurde.

[0042] Aus den nachfolgenden Fig. 2 bis Fig. 5 sind weitere Ausführungsformen des Abstandhalters zu entnehmen. In diesen Abbildungen sind jeweils Ausschnitte aus einem Membranrohrsystem (Modul) 30 mit drei Membranrohren 20 dargestellt. Die Abbildungen stellen dabei nur einen Ausschnitt dar, sowohl hinsichtlich der Anzahl der Membranrohre in einem Modul (üblicherweise sind eine Vielzahl von Membranrohren, typischerweise bis zu mehreren hundert Membranrohre, parallel zueinander bündelförmig innerhalb eines Außenrohrs in einem Modul verbaut) als auch hinsichtlich eines einzelnen Membranrohrs (es ist nur jener Ausschnitt eines Membranrohrs dargestellt, wo zwei Membranrohrelemente aneinanderstoßen). Ein einzelnes Membranrohr besteht dabei aus mehreren hintereinander angeordneten Membranrohrelementen, die stirnseitig an den Ankopplungsteilen stoffschlüssig verbunden werden. In den dargestellten Ausführungsformen sind sie stirnseitig mittels eines Lasers verschweißt, die Schweißnaht ist in den Figuren mit 17 bezeichnet. Die Membranrohre werden zumindest an einer Seite mechanisch fixiert (nicht dargestellt) und sind dort mit Anschlussleitungen der Anlage verbindbar (nicht dargestellt). Zur Abgrenzung des äußeren Prozessgasraums werden die einzelnen Membranrohre meist innerhalb eines einhüllenden Außenrohrs angeordnet (nicht dargestellt).

[0043] In den Fig. 2 bis 5 sind jeweils drei Membranrohrabschnitte 20 dargestellt, die aus der Aneinanderreihung von Membranrohrelementen 10, 10' gebildet sind. Die beiden Ankopplungsteile 14, 14' benachbarter Membranrohrelemente 10, 10' bilden die Ankopplungsabschnitte 21. Es ist jeweils ein Abstandshalter 15; 15'; 15" pro Ankopplungsabschnitt vorsehen, der in radialer Richtung über die Membran hinausragt. Die Ankopplungsabschnitte 21 benachbarter Membranrohre korrespondieren zueinander, d.h. sind auf gleicher Höhe angeordnet, in den gezeigten Ausführungsbeispielen sind auch die Abstandshalter auf gleicher Höhe angeordnet. Die Abstandhalter sind dabei derart dimensioniert, dass bei den Beanspruchungen, wie sie gewöhnlich beim Transport, bei Inbetriebnahme oder während des Betriebs auftreten, ein etwaiger mecha-

nischer Kontakt zwischen benachbarten Membranrohren ausschließlich über Abstandshalter erfolgt und sich die Membranen benachbarter Membranrohre nicht berühren können. Die Abstandhalter 15; 15'; 15" wirken auch als Abstandhalter gegenüber dem einhüllenden Außenrohr.

[0044] Bei den Membranrohren 20 in Fig. 2 bis Fig. 4 sind die Membranrohre im eingebauten Zustand zwar eng, aber beabstandet mit einem kleinen Spalt zwischen den Abstandshalter benachbarter Membranrohre angeordnet. Dadurch wird die Strömung der Prozessgase im Außenbereich erleichtert. In der in Fig. 5 dargestellten Variante sind die Abstandshalter bereits in der Normalpositionierung in mechanischen Kontakt, wodurch eine noch kompaktere Bauweise des Moduls ermöglicht wird. Die Abstandshalter benachbarter Membranrohre sind aber nicht miteinander verbunden, sondern erlauben insbesondere axiale Verschiebungen, um mechanische Spannungen hervorgerufen beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Temperaturoausdehnung, wie sie beispielsweise bei Inbetriebnahme der Anlage auftreten können, ausgleichen zu können.

[0045] Fig. 2 zeigt ein Membranrohrsystem basierend auf Membranrohrelementen vom Ausführungsbeispiel in Fig. 1. Der Ankopplungsabschnitt 21 besteht aus einem rohrförmigen Ankopplungsteil 14', der mit einem Ankopplungsteil 14 mit einem Bund des anschließenden Membranrohrelements 10 verschweißt ist. Der Abstandshalter kann auch wie im Ausführungsbeispiel von Fig. 3 mit Hilfe eines Zwischenstücks 18 realisiert sein, das zwischen den beiden Ankopplungsteilen 14, 14' eingeschweißt wird. Das Zwischenstück ist aus einem dickwandigen Rohrabschnitt gefertigt, aus dem eine Hülse mit mittigem Bund gedreht worden ist. Dieses Ausführungsbeispiel hat Vorteile bei der Fertigung der einzelnen Membranrohrelemente, da diese dann keinen Bund haben und daher leichter gefertigt werden können.

[0046] Im Ausführungsbeispiel von Fig. 4 ist der Abstandshalter 15" als ringförmige Schweißnaht ausgeführt, indem die umlaufende Schweißnaht, mit welcher die beiden Ankopplungsteile verbunden werden, verstärkt ausgebildet ist. Bei dieser Variante ist nur ein Schweißvorgang nötig, um sowohl die Membranrohrelemente zu verbinden als auch den Abstandshalter zu realisieren.

[0047] Fig. 5a zeigt in Seitenansicht eine Ausführungsform, bei der der Abstandshalter 15" mittels einer Distanzscheibe realisiert wird. Wie in der vergrößerten Darstellung Fig. 5b dargestellt weist ein Ankopplungsteil 14' randseitig ein Außengewinde auf, in das das andere Ankopplungsteil 14 mit einem entsprechenden randseitigen Innengewinde und einer dazwischen eingefädelten Distanzscheibe 15 verschraubt worden ist. Die Distanzscheibe wird beidseitig mit den Ankopplungsteilen an den umlaufenden Schweißnähten 17 verschweißt.

[0048] In folgenden wird kurz auf die Herstellung der Membranrohrelemente eingegangen, wie sie für das zuvor vorgestellte Membranrohrsystem aber auch für die anderen Ausführungsbeispiele Verwendung findet. Ein Trägersubstrat in Form eines porösen Rohres aus ITM mit einem Außendurchmesser von 10 mm, einer Länge von 100 mm, einer Porosität von ca. 40% und einer mittleren Porengröße von < 50 µm wird an beiden Stirnseiten jeweils mit einem im Vollmaterial aus Stahl ausgebildeten, rohrförmigen Ankopplungsteil mit gleichem Außendurchmesser durch Laserschweißen verschweißt. Zur Homogenisierung der Schweißübergänge wird das erhaltene Bauteil unter Wasserstoff-Atmosphäre bei einer Temperatur von 1.200 °C geglüht. Nach Glättung der Oberfläche mit Hilfe von Sandstrahlen wird für die erste Zwischenschicht ein 8YSZ- Pulver mit einem d80-Wert von ca. 2 µm in einer für ein nasschemisches Beschichtungsverfahren geeigneten Suspension, beispielsweise unter Hinzugabe von Dispergiermittel, Lösungsmittel (z.B. BCA [2-(2-Butoxyethoxy)-ethyl]-acetat, erhältlich von Merck KGaA Darmstadt) und Binder, vorbereitet. Anschließend werden die Ankopplungsteile bis zur Schweißnaht abgedeckt und die erste Zwischenschicht durch Dip-Coating bis zum Anfang der Schweißnaht aufgebracht. Nach dem Trocknen wird die Abdeckung der gasdichtenen Oberfläche der Ankopplungsteile entfernt und das erhaltene Bauteil wird anschließend unter Wasserstoff-Atmosphäre bei einer Temperatur von 1.300 °C gesintert, wodurch die organischen Bestandteile ausgebrannt werden, eine Sinterung der keramischen Schicht stattfindet und die poröse, gesinterte, keramische erste Zwischenschicht 16' erhalten wird. Die Herstellung der zweiten Zwischen-

schicht 16“ erfolgt analog, wobei insgesamt ein feineres 8YSZ-Pulver eingesetzt wird und eine etwas geringere Viskosität der Suspension als bei der ersten Zwischenschicht eingestellt wird. Die zweite Zwischenschicht wird ebenfalls durch Dip-Coating aufgebracht. Die zweite Zwischenschicht überdeckt dabei die erste Zwischenschicht vollständig und läuft unmittelbar auf den Ankopplungsteilen aus. Das erhaltene Bauteil wird unter Wasserstoff-Atmosphäre bei einer Temperatur von 1.200°C gesintert, wodurch die organischen Bestandteile ausgebrannt werden, eine Sinterung der keramischen Schicht stattfindet und die poröse, gesinterte, keramische zweite Zwischenschicht erhalten wird. Anschließend wird eine Pd-Membran über einen Sputter-Prozess aufgebracht. Sie überdeckt die zweite Zwischenschicht sowie die darunterliegende erste Zwischenschicht vollständig. Schließlich wird über ein Galvanik-Verfahren noch eine weitere Pd-Lage auf die Pd-Sputter-Schicht aufgebracht, um letztere zu versiegeln und die erforderliche Gasdichtigkeit zu erzielen.

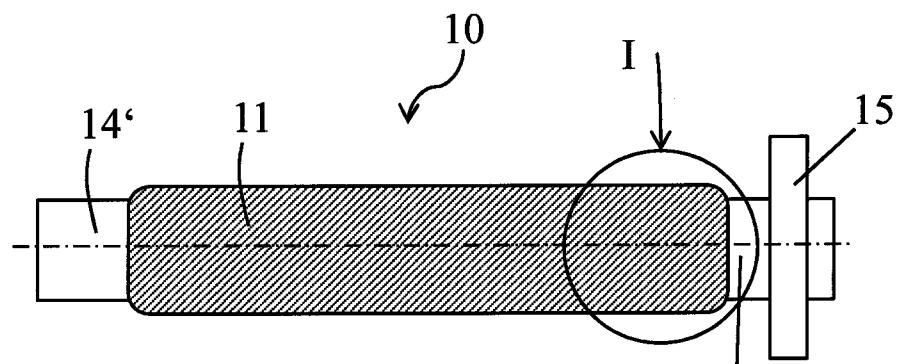
[0049] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Der beschriebene Aufbau ist nicht nur für die H₂-Abtrennung, sondern auch für die Abtrennung anderer Gase (z.B. CO₂, O₂, etc.) geeignet. Ferner sind alternative Membranen einsetzbar, wie z.B. mikroporöse, keramische Membrane (Al₂O₃, ZrO₂, SiCO₂, TiCO₂, Zeolithe, etc.) oder dichte, protonleitende Keramiken (SrCeO_{3-δ}, BaCeO_{3-δ}, etc.). Weiterhin kann innerhalb eines Membranrohrsystems auf Höhe zueinander benachbarter Ankopplungsabschnitte mehrerer Membranrohre nur an jeweils jedem zweiten Ankopplungsabschnitt ein Abstandhalter vorgesehen sein, so dass die Abstandhalter jeweils den Abstand zu dem benachbarten Ankopplungsabschnitt (und nicht zu einem benachbarten Abstandhalter) sicherstellen. Auch bezogen auf die axiale Richtung eines Membranrohres kann z.B. auch nur an jedem zweiten oder dritten Ankopplungsabschnitt ein Abstandhalter vorgesehen sein.

Ansprüche

1. Membranrohrelement (10, 10') zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen, aufweisend einen Membranrohrabschnitt (11) mit einem porösen, gasdurchlässigen, metallischen, rohrförmigen Trägersubstrat (12), auf das umlaufend eine selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran (13) aufgebracht ist, mindestens zwei zumindest oberflächlich gasdichte Ankopplungsteile (14,14'), wobei das rohrförmige Trägersubstrat (12) stirnseitig jeweils mit einem Ankopplungsteil (14,14') verbunden ist, wobei mindestens ein Abstandshalter (15; 15'; 15'') im Bereich mindestens eines Ankopplungsteils (14,14') angeordnet ist, der in radialer Richtung über die Membran (13) vorsteht.
2. Membranrohr (20) zur permeativen Abtrennung eines Gases aus Gasgemischen, aufweisend mindestens zwei Membranrohrabschnitte (11, 11'), die jeweils ein poröses, gasdurchlässiges, metallisches, rohrförmiges Trägersubstrat (12) und eine auf dem Trägersubstrat umlaufend aufgebrachte, selektiv für das abzutrennende Gas durchlässige Membran (13) aufweisen, mindestens ein zumindest oberflächlich gasdichter Ankopplungsabschnitt (21), durch den zwei benachbarte Membranrohrabschnitte (11,11') verbunden sind, und mindestens einen Abstandshalter (15;15';15'') im Bereich mindestens eines Ankopplungsabschnitts (21), der in radialer Richtung über die Membran (13) vorsteht.
3. Membranrohr (20) gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (15; 15'; 15'') radial umlaufend über den Ankopplungsabschnitt (21) vorsteht.
4. Membranrohr gemäß einem der Ansprüche 2 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (15; 15'; 15'') ringförmig ausgebildet ist.
5. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (15; 15'; 15'') stoffschlüssig und/oder formschlüssig mit dem Ankopplungsabschnitt (21) verbunden ist.
6. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ankopplungsabschnitt (21) stoffschlüssig mit dem Trägersubstrat (12) verbunden ist.
7. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (15; 15'; 15'') aus einem metallischen Material gebildet ist.
8. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass pro Ankopplungsabschnitt (21) genau ein Abstandshalter (15; 15', 15'') vorgesehen ist.
9. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ankopplungsabschnitt (21) durch zwei, jeweils mit einem Membranrohrabschnitt verbundenen Ankopplungsteile (14, 14') gebildet ist.
10. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den beiden Ankopplungsteilen (14, 14') ein Zwischenstück (18) angeordnet ist, auf dem der Abstandshalter (15; 15', 15'') angebracht ist.
11. Membranrohr (20) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (15; 15', 15'') durch Auftragsschweißen gebildet ist.
12. Membranrohr (20) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Membranrohr durch eine zumindest oberflächlich gasdichte Endkappe abgeschlossen ist, die mit dem Trägersubstrat bzw. Ankopplungsabschnitt verbunden ist.
13. Membranrohrsystem (30) aufweisend mindestens zwei zueinander parallel verlaufende Membranrohre (20) nach einem der Ansprüche 2 bis 12, wobei die Abstandshalter (15; 15', 15'') jeweils in Höhe des Ankopplungsabschnitts (21) benachbarter Membranrohre angeordnet sind.

14. Membranrohrsystem (30) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei Abstandshalter (15; 15', 15'') direkt benachbarter Membranrohre auf gleicher Höhe angeordnet sind.
15. Membranrohrsystem (30) nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Membranrohre innerhalb eines Außenrohrs angeordnet sind.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen



14

Fig. 1a

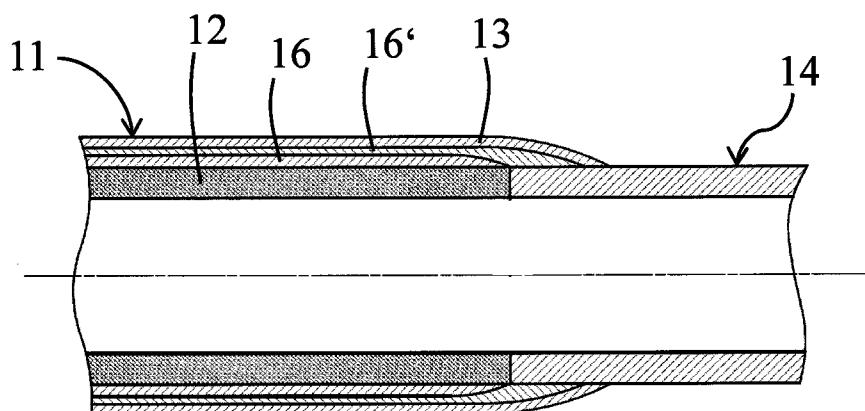


Fig. 1b

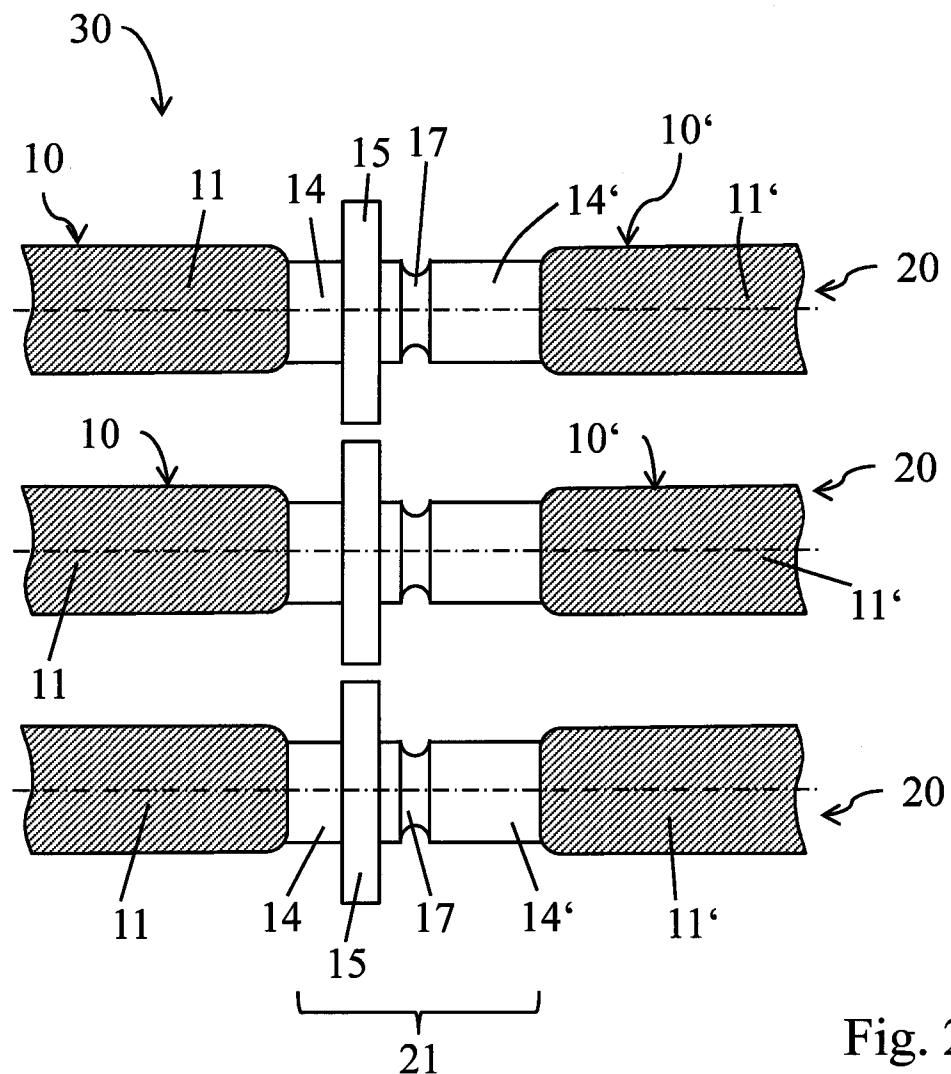


Fig. 2

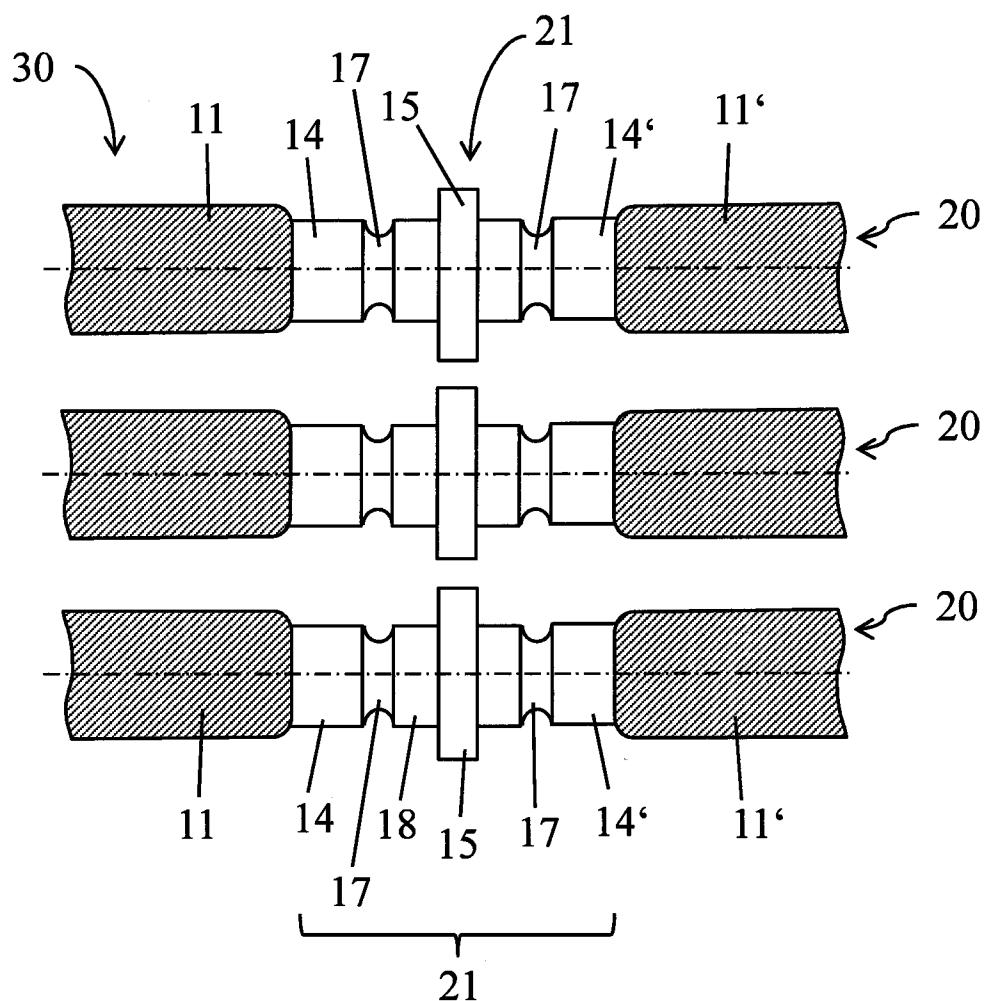


Fig. 3

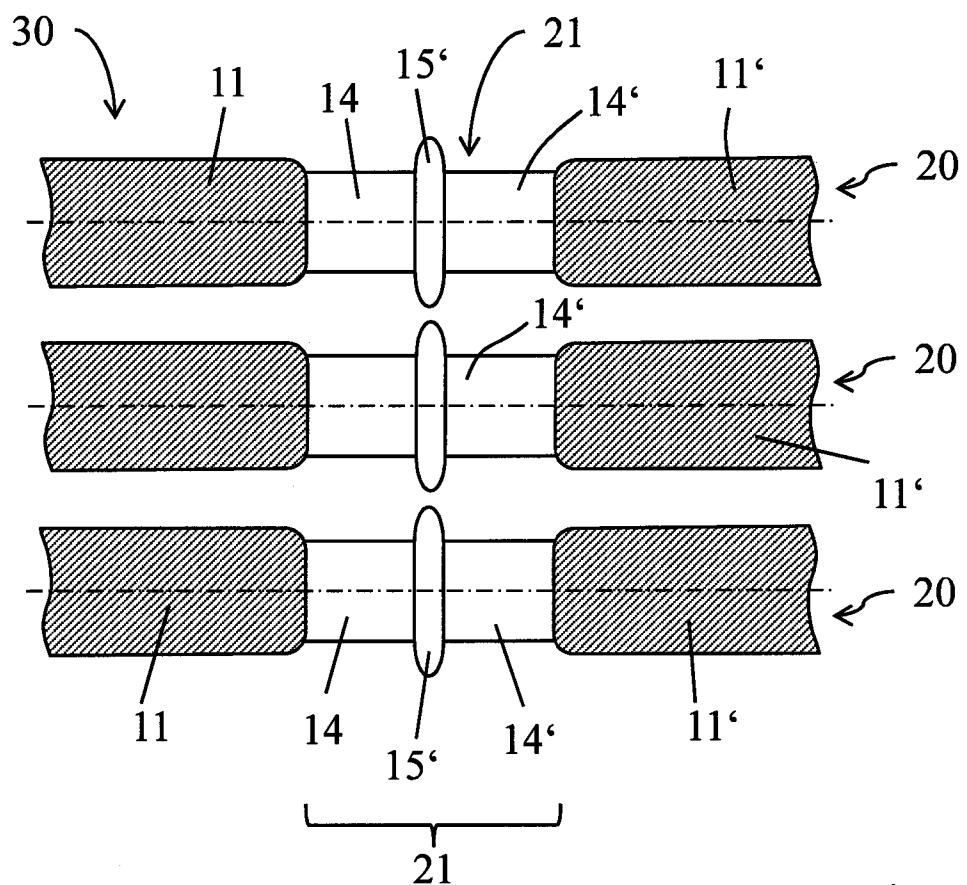


Fig. 4

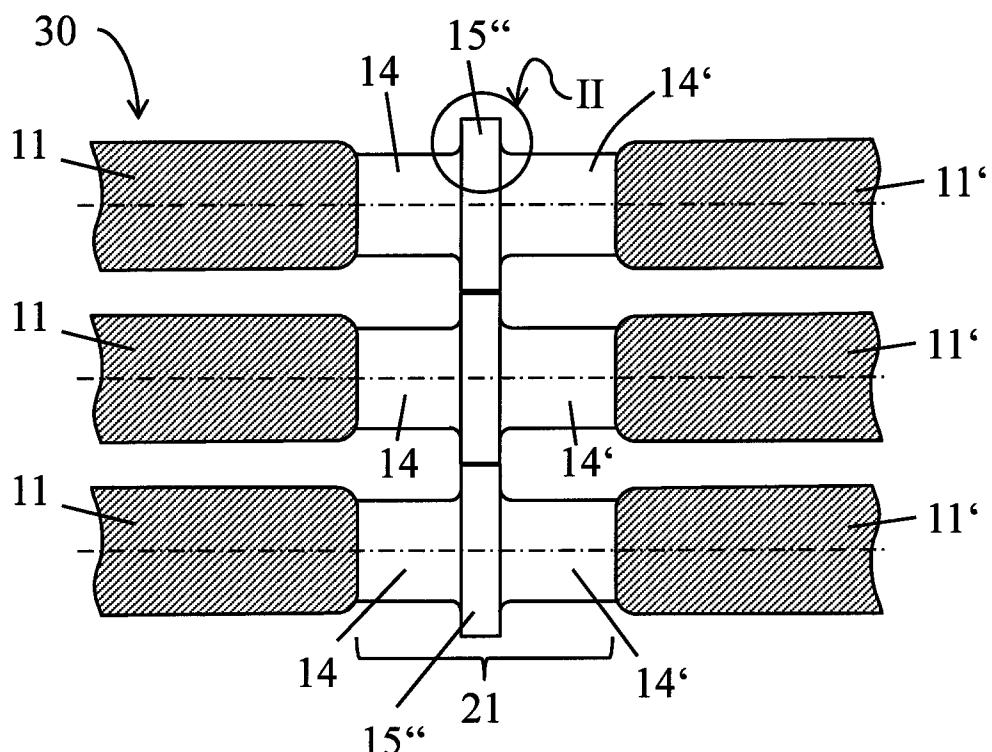


Fig. 5a

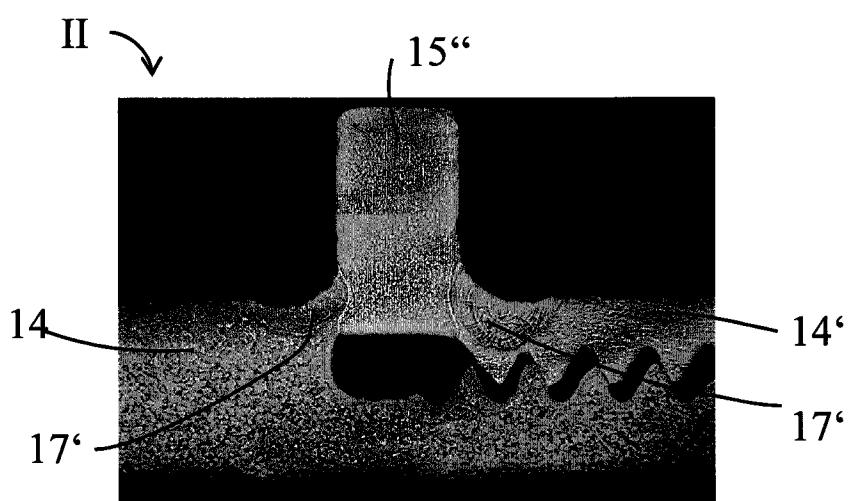


Fig. 5b

Recherchenbericht zu GM 302/2016

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC: B01D 53/22 (2006.01); B01D 63/06 (2006.01); B01D 69/04 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC: B01D 53/223 (2013.01); B01D 63/065 (2013.01); B01D 69/04 (2013.01);		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): B01D		
Konsultierte Online-Datenbank: WPIAP, EPODOC, PAJ, PATDEW, Espacenet		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 09.12.2016 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.		
Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	AT 12132 U1 (PLANSEE SE) 15. November 2011 (15.11.2011) ganzes Dokument	1-15
A	DE 10029882 A1 (LINDE AG) 20. Dezember 2001 (20.12.2001) Ansprüche 1 und 2, Figur	1-15
A	GB 1292025 A (JOHNSON MATTHEY CO LTD) 11. Oktober 1972 (11.10.1972) Ansprüche	1-15
A	EP 0732139 A2 (AIR PROD & CHEM) 18. September 1996 (18.09.1996) Ansprüche 1 und 2, Figur 1	1-15
A	US 6152987 A (MA et al.) 28. November 2000 (28.11.2000) ganzes Dokument	1-15
A	GB 944333 A (UNIVERSAL OIL PROD CO) 11. Dezember 1963 (11.12.1963) Anspruch 1, Figur 3	1-15
Datum der Beendigung der Recherche: 27.06.2017		Seite 1 von 1 Prüfer(in): STEPANOVSKY Martin
^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.		
A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmelde datum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		