



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.02.2016 Patentblatt 2016/05

(51) Int Cl.:
E21B 43/08^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14179128.5**

(22) Anmeldetag: **30.07.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **3M Innovative Properties Company**
St. Paul, MN 55133-3427 (US)

(72) Erfinder:
• **Lange, Dietrich**
87480 Weithau (DE)

• **Krecker, Alexander**
87435 Kempten (DE)
• **Lesniak, Christoph**
87474 Buchenberg (DE)

(74) Vertreter: **Mössner, Brigitte**
3M Deutschland GmbH
Office of Intellectual Property Counsel
(PC 072P)
Carl-Schurz-Strasse 1
41453 Neuss (DE)

(54) **Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeits- und Gasströmungen für hohe Differenzdrücke**

(57) Gegenstand der Erfindung ist eine Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen in Förderbohrungen, umfassend a) einen Ringstapel (7) aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben (8), wobei die Oberseite (9) der ringförmigen Scheiben (8) mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter (10) aufweist, deren Kontaktfläche (11) eben ist, so dass die Abstandshalter (10) einen flächenförmigen Kontakt zur Unterseite einer benachbarten ringförmigen Scheibe (8) haben, und wobei die ringförmigen Scheiben (8) so gestapelt und fixiert sind, dass zwischen den einzelnen Scheiben (8) jeweils ein Trennspalt (14) zur Abtrennung von Feststoffpartikeln vorhanden ist, und wobei die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben (8) am inneren und äußeren Umfang kreisförmig ist, und wobei der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben (8) gewählt ist aus oxidischen und nicht oxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von ke-

ramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen, b) ein im Inneren des Ringstapels (7) befindliches perforiertes Rohr (1), auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben (8) gestapelt sind, c) wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche (21) des im Inneren des Ringstapels (7) befindlichen perforierten Rohres (1) achsparell angebrachte Bänder (15), auf die die ringförmigen Scheiben (8) aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben (8) auf dem perforierten Rohr (1) zentriert werden, und d) eine Endkappe (5) am oberen Ende und eine Endkappe (6) am unteren Ende des Ringstapels (7), wobei die Endkappen (5, 6) fest mit dem perforierten Rohr (1) verbunden sind.

Gegenstand der Erfindung ist ebenfalls die Verwendung einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen bei einem Verfahren zur Förderung von Flüssigkeiten und/oder Gasen aus Förderbohrungen.

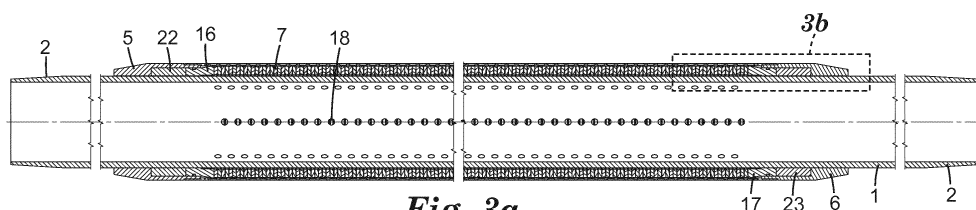


Fig. 3a

BeschreibungTechnisches Gebiet

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine neuartige Trennvorrichtung für hohe Differenzdrücke, mit der unerwünschte Feststoffpartikel aus einem Volumenfluss von Öl, Gas und Wasser oder Mischungen davon abgetrennt werden können.

Hintergrund

10

[0002] Derartige Trennvorrichtungen werden in vielen Öl- und Gasförderbohrungen benötigt. Erdöl und Erdgas sind in natürlichen unterirdischen Vorkommen gespeichert, wobei das Öl oder Gas in mehr oder weniger porösen und durchlässigen mineralischen Schichten verteilt ist. Das Ziel einer jeden Öl- oder Gasbohrung ist, das Vorkommen zu erreichen und so auszubeuten, dass möglichst nur verkaufsfähige Produkte wie Öl und Gas gefördert werden, unerwünschte Nebenprodukte aber minimiert oder sogar vollständig vermieden werden. Zu den unerwünschten Nebenprodukten bei der Öl- und Gasförderung gehören Feststoffpartikel wie Sande und andere mineralische Partikel, die durch die Flüssigkeits- oder Gasströmung aus dem Vorkommen hin zum Bohrloch mitgerissen werden. Je nach Durchlässigkeit der geologischen Schicht und des Lagerstättendrucks können die Strömungsgeschwindigkeiten der feststoffbeladenen Flüssigkeits- und Gasströmung sehr hoch werden, bis zu 15 m/sec und in Einzelfällen auch höher.

15 **[0003]** Da die mineralischen Sande oft abrasiv sind, bewirkt das Einströmen solcher Feststoffe in die Förderleitung und Pumpe einen erheblichen unerwünschten abrasiven und erosiven Verschleiß an allen technischen Bohrlocheinbauten. Es wird daher angestrebt, den Förderstrom unmittelbar nach Verlassen der Lagerstätte, also noch im Bohrloch, durch Filtersysteme von unerwünschten Sanden zu befreien.

20 **[0004]** Abrasions- und Erosionsprobleme bei der Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeits- und Gasströmungen sind nicht auf die Öl- und Gasindustrie beschränkt, sondern können auch bei der Wasserförderung auftreten. Wasser kann zum Zwecke der Trinkwassergewinnung oder auch der Gewinnung geothermischer Energie gefördert werden. Die porösen, oft locker geschichteten Lagerstätten von Wasser neigen dazu, eine erhebliche Menge abrasiver Partikel mit in das Fördergut einzuschleusen. Auch in diesen Anwendungen besteht der Bedarf nach abrasions- und erosionsbeständigen Filtern.

25 **[0005]** Bei der Öl- und Gasförderung werden heute zur Abtrennung von unerwünschten Partikeln vorwiegend Filter eingesetzt, die durch spiralförmiges Wickeln und Verschweißen von stählernen Formdrähten auf ein perforiertes Basisrohr erzeugt werden. Derartige Filter werden als "wire wrap filter" bezeichnet. Eine weitere übliche Bauweise für Filter bei der Öl- und Gasförderung ist die Umwicklung eines perforierten Basisrohres mit stählernen Siebgeflechten. Diese Filter werden als "metal mesh screen" bezeichnet. Bei beiden Verfahren entstehen Filter mit wirksamen Sieböffnungen von 75 µm bis 350 µm. Je nach Bauart und geplantem Einsatzzweck dieser beiden Filtertypen werden die Filterelemente zusätzlich durch einen außen angebrachten, grobmaschigen Käfig vor mechanischer Beschädigung beim Transport und Einführen in das Bohrloch geschützt. Nachteilig bei diesen Filtertypen ist, dass stählerne Strukturen unter der Wirkung von schnellströmenden abrasiven Partikeln einem raschen Abrasionsverschleiß unterliegen, der schnell zu Zerstörung der filigranen Siebstrukturen führt. Derartige schnelle abrasive Strömungen treten oft in Öl- und / oder Gasförderbohrungen auf, was zu einem hohen technischen und finanziellen Wartungsaufwand beim Wechsel der Filter führt. Es gibt sogar Förderbohrungen, die aus Gründen dieser Strömungen mit der konventionellen Filtertechnik nicht beherrschbar sind und daher wirtschaftlich nicht ausgebeutet werden können. Herkömmliche metallische Filter unterliegen dem Abrasions- und Erosionsverschleiß, da Stähle, auch wenn sie gehärtet sind, weicher als die teilweise quarzhaltigen Partikel in den Förderbohrungen sind.

30 **[0006]** Es gibt daher einen großen Bedarf, den abrasiven Sandströmen mit abrasionsbeständigen Siebkonstruktionen zu begegnen.

[0007] In DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 werden Filterkonstruktionen vorgeschlagen, bei der die Filterspalte, also die Funktionsöffnungen des Filters, durch Stapeln speziell geformter dichtgesinterter ringförmiger Scheiben aus einem sprödharten Material, vorzugsweise aus einem keramischen Material erzeugt werden. Dabei werden auf der Oberseite von ringförmigen Scheiben mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter angeordnet und die Scheiben werden so aufeinander gestapelt, dass die Abstandshalter jeweils übereinander liegen.

35 **[0008]** Die Abstandshalter haben die Form von Kugelabschnitten. Die Ausbildung der Abstandshalter in Form von Kugelabschnitten ist jedoch darin nachteilig, dass die gegen Abrasion und Erosion sehr gut beständigen keramischen Werkstoffe wie beispielsweise dichtgesinterter Siliziumcarbid gegen punktförmige Druckbelastung empfindlich sind und bei Überbeanspruchung infolge der punktförmigen Druckbelastung durch Bruch versagen. Hohe punktförmige Kontaktbelastungen werden als Hertzsche Pressung bezeichnet. Im Werkstoffvolumen unterhalb der unter Pressung stehenden Stelle kommt es infolge der punktförmigen Druckbelastung zum Auftreten hoher Zugspannungen, die zum Bruch der

Keramikringe führen können.

[0009] Im normalen Betriebszustand erfährt die Trennvorrichtung nur unwesentliche Druckdifferenzen zwischen der Eintritts- und Austrittsseite des Filters. Das gilt, solange die Trennvorrichtung nicht zugesetzt, d. h. verstopft ist und mehr oder weniger frei durchströmt werden kann. Die Druckdifferenzen bzw. Druckverluste in der Trennvorrichtung sind unter normalen Betriebsbedingungen gering. Wenn aber die Filterspalte zugesetzt sind, können die Druckdifferenzen sehr stark ansteigen.

[0010] Das Zusetzen oder Verstopfen der Trennvorrichtung kann zum einen durch unerwünschtes Festsetzen von mineralischen Partikeln an der Eintrittsöffnung des Filters, also an den Ringspalten an der äußeren Umfangsfläche des Ringstapels, verursacht werden. Die Gefahr des Zusetzens hängt unter anderem von der Partikelgrößenverteilung des Mineralpartikel-Flüssigkeitsgemisches und der Strömungsgeschwindigkeit am Ort des Filters ab.

[0011] Das Zusetzen oder Verstopfen der Trennvorrichtung kann zum anderen durch beabsichtigtes Einfüllen von hochviskosen feststoffbeladenen Flüssigkeiten in das Bohrloch hervorgerufen werden. Eine derartige Flüssigkeit wird als "fluid loss control pill" bezeichnet.

[0012] Ein zugesetzter oder verstopfter Filter kann nun je nach den Betriebsbedingungen im Bohrloch sehr hohen Druckdifferenzen ausgesetzt sein, welche in der Größenordnung von 2500 psi (entsprechend 172 bar bzw. 17,2 MPa) Außendruck, also bei Druckbeaufschlagung von außen, und 1000 psi (entsprechend 69 bar bzw. 6,9 MPa) Innendruck, also bei Druckbeaufschlagung von innen, liegen.

[0013] Zur Außendruckbelastung kommt es beispielsweise beim Zusetzen des Filters durch unerwünschtes Festsetzen von mineralischen Partikeln an der Eintrittsöffnung des Filters, zur Innendruckbelastung kommt es beispielsweise beim Reinigungsspülen des zugesetzten Filters.

[0014] Die Anwender von Filtern haben daher ein berechtigtes Interesse, die Druckfestigkeit von Filtern bei der Auslegung zu berücksichtigen und nach einem einheitlichen Verfahren zu messen.

[0015] Aus diesen Gegebenheiten hat sich die Messvorschrift ISO 17824, First Edition, 2009-08-15, zur Ermittlung der Druckfestigkeit derartiger Filter entwickelt. Der Filter wird dabei in zwei Prüfanordnungen unter Verwendung einer viskosen und feststoffbeladenen Flüssigkeit mit Innendruck (burst pressure test) oder Außendruck (collapse pressure test) beaufschlagt. Der Druck wird dabei so lange erhöht, bis der Filter infolge von Druckeinwirkung gröbere Partikel durchlässt als sie der Filterweite entsprechen, was sich anhand eines Druckabfalls im Filter oder in der Zuführleitung der Messflüssigkeit bemerkbar macht. Dieses Ereignis wird in der Fachsprache auch als "loss of sand control", kurz LSC, bezeichnet.

[0016] Die Konstruktion der Filter gemäß DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 bringt es mit sich, dass bei den Versuchen gemäß ISO 17824 beim Druckaufbau lokale Druckdurchbrüche in Abschnitten einzelner Filterspaltöffnungen auftreten. Diese Druckdurchbrüche sind dadurch zu erklären, dass die brückenbildenden Feststoffpartikel der Messflüssigkeit infolge zu hohen Drucks durch den Filterspalt gepresst werden, was wiederum im Filterspalt einen Druckanstieg verursacht. Die durch die Feststoffpartikel gebildeten Brücken brechen unter der Druckbelastung zusammen. Der nun im Filterspalt vorübergehend herrschende Flüssigkeitsdruck hat hohe Axialkräfte zur Folge, die die beidseitig des durchgebrochenen Filterspalt liegenden ringförmigen Scheibensegmente axial belasten und auch stark auf Biegung beanspruchen, so dass die Gefahr des Bruchs der Ringe besteht.

[0017] Beim Test der in DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 vorgeschlagenen Filter auf Innen- und Außendruck-belastbarkeit (burst pressure test, collapse pressure test) gemäß ISO 17824 und auch im Produktionseinsatz können Druckverhältnisse auftreten, die zu sehr hohen Axialkräften in den keramischen Ringstapeln führen. Schon bei vergleichsweise geringen isostatischen Drücken können die Axialkräfte so ansteigen, dass es durch die Hertzsche Pressung aufgrund des punktförmigen Kontakts an den Kugelabschnitten zum Bruch der Ringe kommt.

[0018] Die Ausführung der Abstandshalter in Form von Kugelabschnitten hat weitere technische und wirtschaftliche Nachteile zur Folge. Da Ringe mit derart geformten Abstandshaltern nach dem Sintern nicht wirtschaftlich nachbearbeitet werden können, muss die Ebenheit der ringförmigen Scheiben und die Höhe der Kugelabschnitte genau der vorgegebenen Spezifikation entsprechen, da die Ringe sonst nicht verwendbar sind und verworfen werden müssen. Auch bei Einhaltung der technisch möglichen Toleranzen haben sogenannte "as sintered", d.h. nicht nachbearbeitete, Komponenten aus Keramik größere Toleranzen als solche, die durch Hartbearbeitung nachbearbeitet worden sind. Somit kann mit den Ringen mit Abstandshaltern in Form von Kugelabschnitten wirtschaftlich keine enge Toleranz der Filterweite erreicht werden. Zu den Nachteilen gehört auch, dass zu jeder herzustellenden Filterweite ein speziell angepasstes Presswerkzeug zur Verfügung stehen muss. Zumindest die Oberstempel des Presswerkzeuges müssen an die Kugelabschnittshöhe und damit an die beabsichtigte Filterweite angepasst sein, was mit erheblichen wirtschaftlichen Nachteilen verbunden ist.

[0019] Ein weiterer Nachteil der in DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 vorgeschlagenen Konstruktionen betrifft die Druckfedern. Diese als Spiralfedern ausgeführten Druckfedern sollen dazu dienen, die Vorspannung der keramischen ringförmigen Scheiben bei sich ändernden Umgebungsbedingungen, insbesondere bei Änderung der Temperatur, konstant zu halten. Die beabsichtigte Wirkung der über den Kreisumfang der

ringförmigen Scheiben verteilten Federn ist, die Ringe mit einer von Umgebungseinflüssen weitgehend unabhängigen Kraft zusammen zu halten und so die Filterspaltweite konstant zu halten. Bei bestimmten Betriebsbedingungen, die im realen Fördereinsatz der Filter auftreten können, verhalten sich die Federn aber anders als erwünscht. Aufgrund der Druckdifferenz zwischen der Einströmseite des Filters, die in der Regel an der äußeren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben ist, und der Ausströmseite an der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben kommt es zum Auftreten axialer Druckkräfte im Filterspalt, wobei die Axialkräfte aufgrund der Breite der ringförmigen Scheiben schon bei geringer Druckdifferenz erheblich sein können. Diese Axialkräfte können höher sein als die Federkräfte der Druckfedern, was zur Folge hat, dass ab einer bestimmten Druckdifferenz die Federn nachgeben und sich ein oder mehrere Filterspalte in unerwünschter Weise verändern, was einen Verlust der gewünschten und beabsichtigten Filterwirkung zur Folge hat. Es ist bei den vorgeschlagenen Konstruktionen nicht möglich, die Federvorspannung beliebig zu erhöhen, da sonst die Hertzsche Pressung schon bei unbelastetem Filter zum Brechen der keramischen Filterringe führt.

[0020] Mit den Druckfedern wird eine über den Umfang der kreisförmigen Scheiben gleichmäßige Federkraft auf die ringförmigen Scheiben ausgeübt, die einem sehr homogenen isostatischen Druckfeld innerhalb oder außerhalb des Filters eine Gleichgewichtskraft entgegensetzen. Versuche mit derartigen Filtern zeigen, dass die Druckkraftfelder unter technisch realistischen Bedingungen nicht homogen sind und die Federn eine unerwünschte Schrägstellung der ringförmigen Scheiben nicht verhindern können. Die Druckfedern können ihre beabsichtigte Wirkung so weit verlieren, dass sie zur Funktionsunfähigkeit oder zumindest zum Versagen der beabsichtigten Filterwirkung führen.

[0021] Die ringförmigen Scheiben werden bei der DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 so gestapelt, dass die kugelabschnittsförmigen Abstandshalter jeweils übereinander liegen müssen. Diese technische Lösung hat Nachteile dahingehend, dass einerseits die Montage aufwändig ist, da auf die genaue Orientierung der Ringe geachtet werden muss, außerdem besteht die Gefahr, dass der Filter funktionsunfähig wird, wenn sich die Ringe durch transport- oder betriebsbedingte Einflüsse verdrehen.

[0022] Bei der WO 2011 / 009 469 A1 weisen die sprödharten ringförmigen Scheiben an der inneren Umfangsfläche Nuten zur Aufnahme von Führungsstäben auf, die bei der Montage zur Ausrichtung und Führung der Ringelemente dienen. In der WO 2011 / 120 539 A1 werden die sprödharten Scheiben des Ringstapels durch innerhalb des Ringstapels liegende längsachsenparallele Spannstäbe oder ein innerhalb des Ringstapels liegendes Spanrohr zusammengehalten. An der inneren Umfangsfläche weisen die sprödharten Scheiben Aussparungen oder Nuten auf zur Aufnahme der Spannstäbe. Die zur Führung der achsparallelen Spannelemente notwendigen Nuten in den sprödharten Scheiben stellen, ebenso wie die Nuten der WO 2011 / 009 469 A1, eine bedeutende mechanische Schwächung der sprödharten Scheiben dar, da es an den Nuten zu Spannungsüberhöhungen kommt, wenn die sprödharten Scheiben durch versuchs- oder betriebsbedingte Außen- oder Innendrucke belastet werden. Dies führt zu einer geringeren Innen- und Außen-druckbelastbarkeit des Filtersystems.

[0023] Es ist bekannt, dass im Zentrum der Erde Temperaturen um 5.000 °C herrschen. In Richtung Erdoberfläche bildet sich ein Temperaturgradient aus, der zur Folge hat, dass es in Bohrlöchern in der Regel mit zunehmender Tiefe wärmer wird. Von Tiefbohrungen weiß man, dass in 8.000 Meter Tiefe Temperaturen von ca. 250 °C herrschen können. In Förderbohrungen für Öl und Gas oder auch Wasser muss daher mit hohen Temperaturen gerechnet werden. Der Hauptbedarf für Trennvorrichtungen, die in Förderbohrungen für Öl und Gas oder auch Wasser eingesetzt werden, liegt im Temperaturbereich bis 200 °C. Trennvorrichtungen, die in Förderbohrungen für Öl und Gas oder Wasser eingesetzt werden, müssen daher im Temperaturbereich von 10 bis 200 °C funktionsfähig sein. Beim Transport und bei der Lagerung können die Trennvorrichtungen auch tieferen Temperaturen von bis zu -30 °C ausgesetzt sein, die die Trennvorrichtungen schadlos überstehen können müssen.

[0024] Es ist daher wünschenswert, eine verschleißbeständige Trennvorrichtung für die Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten, insbesondere von Öl, Gas und Wasser, aus Förderbohrungen zur Verfügung zu stellen, die eine hohe Beständigkeit gegen Druckdifferenzen zwischen Einström- und Ausströmseite der Trennvorrichtung besitzt. Weiterhin ist wünschenswert, dass die Trennvorrichtung Temperaturdifferenzen von mindestens 190 °C, d. h. im Bereich von +10 °C bis +200 °C, im Betrieb schadlos und ohne Einschränkung ihrer Funktionsfähigkeit erträgt. Weiterhin sollte die Trennvorrichtung die bei Transport und Lagerung auftretenden tiefen Temperaturen von bis zu -30 °C schadlos überstehen können. Weiterhin ist wünschenswert, dass die Trennvorrichtung in gekrümmten Förderbohrungen eingesetzt werden kann, mechanisch robust ist und den hohen Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit der Öl- und Gasindustrie genügt.

Zusammenfassung

[0025] Die vorliegende Erfindung stellt eine Trennvorrichtung gemäß Anspruch 1 und 2 sowie deren Verwendung gemäß den Ansprüchen 23 und 24 zur Verfügung. Bevorzugte bzw. besonders zweckmäßige Ausführungsformen der Trennvorrichtung sind in den Unteransprüchen 3 bis 22 angegeben.

[0026] Gegenstand der Erfindung ist somit eine Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen, umfassend

a) einen Ringstapel aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben, wobei die Oberseite der ringförmigen Scheiben mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter aufweist, deren Kontaktfläche eben ist, so dass die Abstandshalter einen flächenförmigen Kontakt zur Unterseite einer benachbarten ringförmigen Scheibe haben, und wobei die ringförmigen Scheiben so gestapelt und fixiert sind, dass zwischen den einzelnen Scheiben jeweils ein Trennspace zur Abtrennung von Feststoffpartikeln vorhanden ist, und wobei die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben am inneren und äußeren Umfang kreisförmig ist, und wobei der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben gewählt ist aus oxidischen und nicht oxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von keramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen,

b) ein im Inneren des Ringstapels befindliches perforiertes Rohr, auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben gestapelt sind,

c) wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche des im Inneren des Ringstapels befindlichen perforierten Rohres achsparallel angebrachte Bänder, auf die die ringförmigen Scheiben aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben auf dem perforierten Rohr zentriert werden, und

d) eine Endkappe am oberen Ende und eine Endkappe am unteren Ende des Ringstapels, wobei die Endkappen fest mit dem perforierten Rohr verbunden sind.

[0027] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen, umfassend

a) einen Ringstapel aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben, wobei die Ober- und Unterseite jeder zweiten ringförmigen Scheibe im Ringstapel mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter aufweist, während die jeweils benachbarten ringförmigen Scheiben keine Abstandshalter aufweisen, und wobei die Kontaktfläche der Abstandshalter eben ist, so dass die Abstandshalter einen flächenförmigen Kontakt zu den benachbarten ringförmigen Scheiben haben, und wobei die ringförmigen Scheiben so gestapelt und fixiert sind, dass zwischen den einzelnen Scheiben jeweils ein Trennspace zur Abtrennung von Feststoffpartikeln vorhanden ist, und wobei die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben am inneren und äußeren Umfang kreisförmig ist, und wobei der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben gewählt ist aus oxidischen und nicht oxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von keramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen,

b) ein im Inneren des Ringstapels befindliches perforiertes Rohr, auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben gestapelt sind,

c) wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche des im Inneren des Ringstapels befindlichen perforierten Rohres achsparallel angebrachte Bänder, auf die die ringförmigen Scheiben aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben auf dem perforierten Rohr zentriert werden, und

d) eine Endkappe am oberen Ende und eine Endkappe am unteren Ende des Ringstapels, wobei die Endkappen fest mit dem perforierten Rohr verbunden sind.

[0028] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin die Verwendung der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen bei einem Verfahren zur Förderung von Flüssigkeiten und/oder Gasen aus Förderbohrungen.

[0029] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin die Verwendung der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen in natürlichen Gewässern oder in Speicheranlagen für Flüssigkeiten und/oder Gase.

[0030] Die erfindungsgemäße Trennvorrichtung hat eine gute Beständigkeit gegen Druckunterschiede. Sie kann Außendrucke von bis zu 500 bar (bzw. 50 MPa oder 7250 psi) und mehr im Test auf Außendruckbeständigkeit (collapse pressure test) gemäß ISO 17824 und Innendrucke von bis zu 120 bar (bzw. 12 MPa oder 1740 psi) und mehr im Test auf Innendruckbeständigkeit (burst pressure test) gemäß ISO 17824 ohne Einschränkung ihrer Funktionsfähigkeit ertragen. Bei diesen Prüfungen auf Innen- und Außendruckbeständigkeit kommt es nicht zum Bruch einer der sprödharten ringförmigen Scheiben. Die Innen- und Außendruckbeständigkeit der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung ist somit deutlich größer als bei den Trennvorrichtungen gemäß DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1.

[0031] Durch die ebenen Kontaktflächen der Abstandshalter haben die ringförmigen Scheiben einen flächenhaften Kontakt mit den jeweils benachbarten ringförmigen Scheiben. Dadurch werden punktförmige Druckbelastungen vermie-

den, so dass die Gefahr der Überbeanspruchung durch die Hertz'sche Pressung und des Bruchs der sprödharten ringförmigen Scheiben deutlich vermindert wird gegenüber den Trennvorrichtungen der DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 mit den Abstandshaltern in Form von Kugelabschnitten.

[0032] Die erfindungsgemäße Trennvorrichtung hat keine nachgiebig-elastischen Konstruktionselemente wie Federn, Gummischeiden oder andere elastische Elemente, die eine Vorspannung bewirken. Der Ringstapel der Trennvorrichtung wird nicht über Druckfedern verspannt, sondern auf dem im Inneren des Ringstapels befindlichen perforierten Rohr fixiert, ohne dass der Ringstapel eine nennenswerte Vorspannung erfährt. Durch den Verzicht auf die Druckfedern kann es nicht zum Verkippen der ringförmigen Scheiben kommen.

[0033] Bei Druckbeaufschlagung der Trennvorrichtung von innen oder außen entstehen Axialkräfte an den ringförmigen Scheiben infolge des Flüssigkeitsdrucks, der im Filterspalt allseitig wirken kann und die ringförmigen Scheiben auseinander zu drücken versucht. Je nach Art des Druckfeldes, das gleichmäßig oder ungleichmäßig über Umfang und Höhe der Filtersäule verteilt sein kann, können die Axialkräfte bei einer geringeren oder größeren Anzahl der ringförmigen Scheiben auftreten. Bei der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung wird durch die Abstützung der ringförmigen Scheiben gegeneinander und die Abstützung des Ringstapels gegen die Endkappen verhindert, dass es durch die unter Druckeinwirkung auftretenden Axialkräfte zu einer messbaren Verschiebung der ringförmigen Scheiben in axialer Richtung kommt. Auch bei hohen Druckdifferenzen infolge von Innen- oder Außendruckbelastung verändern sich die Filterspalte nicht in unerwünschter Weise, so dass die Filterwirkung auch bei hohen Druckdifferenzen erhalten bleibt.

[0034] Bei der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung ist die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben am inneren und äußeren Umfang kreisförmig. Die ringförmigen Scheiben weisen daher im Unterschied zu den in DE 10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 und WO 2011 / 120 539 A1 vorgeschlagenen Trennvorrichtungen keine festigkeitsmindernden Nuten oder Aussparungen an ihrer inneren und äußeren Umfangsfläche auf. Durch die aus konstruktiver Sicht ideale Kreisform werden Spannungskonzentrationen infolge Druckbelastung weitgehend vermieden. Dadurch ist die Innen- und Außendruckbelastbarkeit der Trennvorrichtung höher.

[0035] Die Herstellung der für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung eingesetzten ringförmigen Scheiben kann für verschiedene Filterweiten kostengünstig mit einem einzigen Presswerkzeug realisiert werden und die exakte Einstellung der Filterweite kann durch Hartbearbeitung der gesinterten ringförmigen Scheiben erfolgen. Mit einem einzigen Presswerkzeug sind beispielsweise Filterweiten von 10 bis 500 µm herstellbar, was zu erheblichen Einsparungen bei den Werkzeugkosten und der Lagerhaltung führt.

[0036] In radialer und tangentialer Richtung sind die ringförmigen Scheiben in einem gewissen Maß gegeneinander beweglich, wodurch die Trennvorrichtung auch in gekrümmte Förderbohrungen eingeführt werden kann.

[0037] Die aus sprödharten Ringelementen aufgebaute erfindungsgemäße Trennvorrichtung ist abrasions- und korrosionsbeständiger als konventionelle metallische Filter. Sie weist daher unter korrosiven und abrasiven Einsatzbedingungen gegenüber den konventionellen Filtern eine höhere Lebensdauer auf.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0038] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigen

Figur 1 schematisch die Gesamtansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung;

Figuren 2 a - 2 b schematisch die Gesamtansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit einem bzw. mit zwei Zwischenelementen;

Figuren 3 a - 3 b eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform;

Figuren 4 a - 4 b eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform;

Figuren 5 a - 5 b eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gemäß einer dritten und vierten bevorzugten Ausführungsform;

Figuren 6 a - 6 g verschiedene Ansichten einer erfindungsgemäßen ringförmigen Scheibe mit 15 Abstandshaltern auf der Oberseite der ringförmigen Scheibe;

Figuren 7 a - 7 f schematisch verschiedene Ansichten eines Ringstapels mit ringförmigen Scheiben gemäß Figuren 6 a - 6 g;

Figuren 8 a - 8 g verschiedene Ansichten einer erfindungsgemäßen ringförmigen Scheibe mit 24 Abstandshaltern auf der Oberseite der ringförmigen Scheibe;

Figuren 9 a - 9 e jeweils einen Ausschnitt der Oberseite einer erfindungsgemäßen ringförmigen Scheibe mit verschieden ausgeführten Abstandshaltern;

Figur 10 eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit einer ersten Ausführungsform der Zentrierbänder;

Figur 11 eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit einer zweiten Ausführungsform der Zentrierbänder;

Figuren 12 a - 12 c verschiedene Ansichten eines Kompensationselements (Kompensationsbuchse) für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung der ersten bevorzugten Ausführungsform gemäß Figuren 3 a - 3 b;

Figuren 13 a - 13 b verschiedene Ansichten eines Kompensationselements (Doppelwandkompensator) für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung der zweiten bevorzugten Ausführungsform gemäß Figuren 4 a - 4 b;

Figuren 14 a - 14 b verschiedene Ansichten einer Kompensationsbuchse mit Spiralfedern für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung der ersten bevorzugten Ausführungsform gemäß Figuren 3 a - 3 b;

Figuren 15 a - 15 b verschiedene Ansichten einer Kompensationsbuchse mit Spiralfedern für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung der ersten bevorzugten Ausführungsform gemäß Figuren 3 a - 3 b;

Figuren 16 a - 16 b verschiedene Ansichten einer erfindungsgemäßen ringförmigen Scheibe mit jeweils 15 Abstandshaltern auf der Ober- und Unterseite der ringförmigen Scheibe; und

Figuren 17 a - 17 f schematisch verschiedene Ansichten eines Ringstapels mit ringförmigen Scheiben gemäß Figuren 16 a - 16 b.

Detaillierte Beschreibung

[0039] Bevorzugte Ausführungsformen und Einzelheiten der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung werden nachfolgend mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert.

[0040] Figur 1 zeigt die Gesamtansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung. An beiden Enden des perforierten Rohrs 1 sind üblicherweise Gewinde 2 angebracht, über die die Trennvorrichtung mit weiteren Komponenten verbunden werden kann, entweder mit weiteren Trennvorrichtungen oder mit weiteren Komponenten der Förderausrüstung.

[0041] Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung beschrieben, wobei die Trennvorrichtungen folgende werkstoffgerecht konstruierte, aufeinander abgestimmte Grundelemente umfassen:

- einen Ringstapel 7 (siehe Figuren 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, 5 a - 5 b und 7 a - 7 f) aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben 8 (siehe Figuren 6 a - 6 g und 8 a - 8 g), deren Oberseite 9 mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter 10 aufweist. Die Kontaktfläche 11 der Abstandshalter 10 ist eben, so dass die Abstandshalter 10 einen flächenhaften Kontakt zur benachbarten ringförmigen Scheibe haben. Die ringförmigen Scheiben sind so gestapelt und fixiert, dass zwischen den einzelnen Scheiben jeweils ein Trennspalt 14 zur Abtrennung von Feststoffpartikeln gebildet wird. Die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben ist am inneren und äußeren Umfang kreisförmig. Die ringförmigen Scheiben weisen daher keine festigkeitsmindernden Nuten oder Aussparungen an ihrer inneren und äußeren Umfangsfläche auf. Durch die aus konstruktiver Sicht ideale Kreisform werden Spannungskonzentrationen infolge Druckbelastung weitgehend vermieden;
- ein im Inneren des Ringstapels 7 befindliches perforiertes Rohr 1 (siehe Figuren 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b), auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben 8 gestapelt sind. Das im Inneren des Ringstapels befindliche perforierte Rohr wird im Folgenden auch als Basisrohr bezeichnet;
- wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche des Basisrohrs 1 achsparallel angebrachte Bänder 15 (siehe Figuren 10 und 11), auf die die ringförmigen Scheiben 8 aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben 8 auf dem Basisrohr 1 zentriert werden; und

- zwei Endkappen 5, 6 (siehe Figuren 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b) am oberen und unteren Ende des Ringstapels 7, wobei die Endkappen 5, 6 fest mit dem Basisrohr 1 verbunden sind.

[0042] Zum besseren Verständnis und da die erfindungsgemäße Trennvorrichtung in der Regel in vertikaler Ausrichtung in das Förderbohrloch eingebracht wird, werden hier die Begriffe "oben" und "unten" verwendet, die Trennvorrichtung kann jedoch auch in horizontaler Orientierung im Förderbohrloch positioniert werden.

Ringstapel

[0043] In den Figuren 6 a - 6 g und 8 a - 8 g sind zwei bevorzugte Ausführungsformen der für die erfindungsgemäße Trennvorrichtung eingesetzten ringförmigen Scheiben 8 dargestellt. Figurenblock 6 zeigt das Design der ringförmigen Scheiben für eine Ausführungsform mit 15 Abstandshaltern auf der Oberseite der ringförmigen Scheibe, Figurenblock 8 zeigt das Design der ringförmigen Scheiben für eine Ausführungsform mit 24 Abstandshaltern auf der Oberseite der ringförmigen Scheibe. Die Figuren 6 a und 8 a zeigen jeweils eine Aufsicht auf die ringförmige Scheibe 8, die Figuren 6 b und 8 b zeigen jeweils eine Querschnittsansicht entlang der in Figur 6 a bzw. 8 a mit "6 b" bzw. "8 b" bezeichneten Schnittlinie. Die Figuren 6 c - 6 e und 8 c - 8 e zeigen vergrößerte Ausschnitte der Querschnittsansichten der Figuren 6 b bzw. 8 b, die Figuren 6 f und 8 f zeigen jeweils eine 3D-Darstellung entlang der in Figur 6 a bzw. 8 a mit "6 f" bzw. "8 f" bezeichneten Schnittlinie und die Figuren 6 g und 8 g zeigen jeweils eine 3D-Ansicht der ringförmigen Scheibe. Die in den Figuren 6 a - 6 g und 8 a - 8 g dargestellte Ausführung der Abstandshalter ist eine bevorzugte Form der Abstandshalter.

[0044] Die ringförmigen Scheiben sind aus einem sprödharten Werkstoff, vorzugsweise aus einem keramischen Werkstoff gefertigt, der abrasions- und erosionsbeständig ist gegen Feststoffpartikel wie Sande und andere mineralische Partikel sowie korrosionsbeständig gegen die Fördermedien und die zur Instandhaltung verwendeten Medien wie beispielsweise Säuren.

[0045] Die Figuren 7 a - 7 f zeigen schematisch einen aus ringförmigen Scheiben 8 der Figuren 6 a - 6 g aufgebauten Ringstapel 7. Figur 7 a zeigt eine Aufsicht des Ringstapels, Figur 7 b zeigt eine Querschnittsansicht entlang der in Figur 7 a mit "7 b" bezeichneten Schnittlinie. Die Figuren 7 c und 7 d zeigen vergrößerte Ausschnitte der Querschnittsansicht von Figur 7 b. Figur 7 e zeigt eine 3D-Ansicht des Ringstapels, Figur 7 f zeigt eine 3D-Darstellung entlang der in Figur 7 a mit "7 f" bezeichneten Schnittlinie.

[0046] Die Abtrennung der Feststoffpartikel erfolgt an der Eintrittsöffnung eines ringförmigen, vorzugsweise in Strömungsrichtung divergenten, d. h. sich öffnenden, Spalts 14 (siehe Figuren 7 b und 7 d), der sich zwischen zwei aufeinanderliegenden Ringelementen bildet. Die Ringelemente sind keramikgerecht bzw. sprödharten Werkstoffen gerecht konstruiert, d. h. Querschnittsübergänge sind ohne Kerben ausgeführt und die Entstehung von Biegespannungen wird konstruktiv weitgehend vermieden.

[0047] Die ringförmigen Scheiben 8 (siehe Figurenblöcke 6 und 8) haben auf ihrer Oberseite 9 mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter 10 mit definierter Höhe, mit deren Hilfe die Höhe des Trennspalts 14 (Spaltweite des Filterspalts, Filterweite) eingestellt wird. Die Abstandshalter sind keine separat aufgebrachten oder nachträglich angeschweißten Abstandshalter. Sie werden direkt bei der Herstellung während der Formgebung der ringförmigen Scheiben ausgebildet. Die ringförmigen Scheiben sind somit monolithische Körper und die Abstandshalter haben den gleichen hohen Abrasions-, Erosions- und Korrosionswiderstand wie die ringförmigen Scheiben.

[0048] Die Kontaktfläche 11 der Abstandshalter 10 ist eben (siehe Figuren 6 c, 6 f, 8 c und 8 f), so dass die Abstandshalter 10 einen flächenhaften Kontakt zur benachbarten ringförmigen Scheibe haben. Die ringförmigen Scheiben 8 sind im Bereich der Kontaktfläche 11 der Abstandshalter 10, d. h. im Bereich des Kontaktes zur benachbarten ringförmigen Scheibe 8, planparallel zur Unterseite 12 der ringförmigen Scheiben 8. Die Unterseite 12 der ringförmigen Scheiben ist glatt und eben und im rechten Winkel zur Scheibenachse ausgebildet.

[0049] Die Oberseite 9 der ringförmigen Scheiben ist in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern vorzugsweise nach innen oder außen abfallend, besonders bevorzugt nach innen abfallend. Wenn die Oberseite der ringförmigen Scheiben in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern nach innen oder außen abfallend ist, so ist die Schnittlinie auf der Oberseite des Ringquerschnitts der ringförmigen Scheiben im einfachsten Fall gerade und der Ringquerschnitt der ringförmigen Scheiben ist in den Abschnitten zwischen den Abstandshaltern trapezförmig (siehe Figuren 6 d und 8 d), wobei die dickere Seite des Ringquerschnitts an der jeweiligen Eintrittsseite der zu filternden Strömung liegen muss. Kommt die zu filternde Strömung aus Richtung der äußeren Umfangsfläche des Ringstapels, so muss die dickste Stelle des trapezförmigen Querschnittes außen liegen und die Oberseite der ringförmigen Scheiben ist nach innen abfallend. Kommt die zu filternde Strömung aus Richtung der inneren Umfangsfläche des Ringstapels, so muss die dickste Stelle des trapezförmigen Querschnittes innen liegen und die Oberseite der ringförmigen Scheiben ist nach außen abfallend. Die Ausbildung des Ringquerschnitts in Trapezform und damit eines in Strömungsrichtung divergenten Filterspalts hat den Vorteil, dass unregelmäßig geformte, d. h. nicht kugelförmige Partikel deutlich weniger dazu neigen, nach Passieren der engsten Stelle des Filterspalts im Filterspalt zu verklemmen, beispielsweise durch Rotation der Partikel in Folge der

Spaltströmung. Somit neigt eine Trennvorrichtung mit derart ausgeformtem divergenten Filterspalt weniger zum Verstopfen und Zusetzen als eine Trennvorrichtung, bei der die Filterspalte eine über den Ringquerschnitt konstante Filteröffnung haben, bei der also die Ringober- und Ringunterseiten parallel sind.

[0050] Vorzugsweise sind die Außenkonturen der ringförmigen Scheiben mit einer Fase 13 ausgeführt, wie in den Figuren 6c - 6e und 8c - 8e veranschaulicht. Es ist auch möglich, die ringförmigen Scheiben mit verrundeten Kanten auszuführen. Dies stellt einen noch besseren Schutz der Kanten vor der für sprödharte Werkstoffe kritischen Kantenbelastung dar.

[0051] Die Umfangsflächen (Mantelflächen) der ringförmigen Scheiben sind bevorzugt zylindrisch. Es ist aber auch möglich, die Umfangsflächen nach außen beispielsweise konvex auszuformen, um eine bessere Anströmung zu erzielen.

[0052] Die ringförmigen Scheiben werden mit einem Außendurchmesser gefertigt, der an das in der Anwendung vorgesehene Bohrloch der Förderbohrung angepasst ist, so dass die erfindungsgemäße Trennvorrichtung mit wenig Spiel in das Bohrloch eingeführt werden kann, um den Querschnitt der Förderbohrung zur Erzielung einer hohen Förderleistung möglichst gut auszunutzen. Der Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben kann 20 - 250 mm betragen, es sind aber auch größere Außendurchmesser als 250 mm möglich.

[0053] Die radiale Ringbreite der ringförmigen Scheiben liegt vorzugsweise im Bereich von 8 - 20 mm. Diese Ringbreiten sind geeignet für Trennvorrichtungen mit Basisrohrdurchmessern im Bereich von 2 $\frac{3}{8}$ bis 5 $\frac{1}{2}$ Zoll.

[0054] Die axiale Dicke der ringförmigen Scheiben beträgt vorzugsweise 3 - 12 mm, weiter vorzugsweise 4 - 7 mm. Die axiale Dicke oder Basisdicke der ringförmigen Scheiben wird im Bereich zwischen den Abstandshaltern und bei trapezförmigem Querschnitt an der dickeren Seite im Bereich zwischen den Abstandshaltern gemessen.

[0055] Die axiale Dicke der ringförmigen Scheiben im Bereich der Abstandshalter entspricht der Summe aus Basisdicke, d. h. der axialen Dicke der ringförmigen Scheiben im Bereich zwischen den Abstandshaltern, und der Filterweite.

[0056] Die Höhe der Abstandshalter bestimmt die Filterweite der Trennvorrichtung, also den Trennspalt zwischen den einzelnen ringförmigen Scheiben. Die Filterweite bestimmt darüber, welche Partikelgrößen der abzutrennenden Feststoffpartikel, wie beispielsweise Sand- und Gesteinspartikel, von der Trennvorrichtung durchgelassen werden und welche Partikelgrößen nicht durchgelassen werden. Die Höhe der Abstandshalter wird bei der Herstellung der ringförmigen Scheiben gezielt eingestellt.

[0057] Die Filterweite des Ringstapels kann auf Werte zwischen 10 μ m und 5000 μ m eingestellt werden, vorzugsweise auf Werte zwischen 20 μ m und 1000 μ m und besonders bevorzugt auf Werte zwischen 50 μ m und 500 μ m.

[0058] Die Abweichung der ringförmigen Scheiben von der idealen Kreisform beträgt am inneren und äußeren Umfang vorzugsweise < 0,5 %, bezogen auf den Außendurchmesser des Ringes. So sollte beispielsweise bei ringförmigen Scheiben mit einem Außendurchmesser von 170 mm, die auf einem Basisrohr mit einem Außendurchmesser von 5 $\frac{1}{2}$ Zoll entsprechend 139,7 mm verwendet werden, die Rundheit der Ringe kleiner sein als 0,5 % von 170 mm, also kleiner als 0,85 mm.

[0059] Die auf der Oberseite der ringförmigen Scheiben angeordneten Abstandshalter haben, wie bereits ausgeführt, einen flächenhaften Kontakt zur benachbarten ringförmigen Scheibe. Die Abstandshalter ermöglichen einen radialen Durchfluss und sind daher vorzugsweise radial ausgerichtet auf der Oberseite der ringförmigen Scheiben angeordnet. Die Abstandshalter können aber auch in einem Winkel zur radialen Richtung ausgerichtet werden.

[0060] Die auf der Oberseite der ringförmigen Scheiben angeordneten Abstandshalter können sich über die gesamte radiale Breite der ringförmigen Scheiben erstrecken. Es ist aber auch möglich, dass die Abstandshalter so ausgebildet werden, dass sie sich nicht über die gesamte radiale Breite der Oberfläche der ringförmigen Scheiben erstrecken, sondern dass sie nur einen Teil dieser Breite einnehmen. Dabei nehmen die Abstandshalter vorzugsweise den Teil der Breite der ringförmigen Scheiben ein, der sich auf der Filteraustrittsseite der ringförmigen Scheiben befindet, die sich in der Regel am der inneren Umfang der ringförmigen Scheiben befindet. Wenn die Abstandshalter nur einen Teil der Breite der ringförmigen Scheiben einnehmen, so ist eine Erhöhung der Anzahl der Abstandshalter nicht zwingend mit einer unerwünschten Abnahme der Filtereintrittsfläche verbunden. Diese Abstandshalter sind darin vorteilhaft, dass bei nahezu gleicher Stützwirkung der Abstandshalter der ringförmige Eintrittsspalt des Filters durch die Abstandshalter nicht bzw. nur wenig reduziert wird, was zum erwünschten hohen Filtereintrittsquerschnitt führt. Je größer der Filtereintrittsquerschnitt, desto größer kann der zu filtrierende Volumenstrom sein. Umgekehrt kann bei geringerem Volumenstrom die Trennvorrichtung kleiner ausgeführt werden, was seine wirtschaftliche Attraktivität und den Einbau in beengte Platzverhältnisse begünstigt.

[0061] Vorzugsweise werden Abstandshalter, die nur einen Teil der radialen Breite der Oberfläche der ringförmigen Scheiben einnehmen, auf den ringförmigen Scheiben im Wechsel mit solchen Abstandshaltern angeordnet, die sich über die gesamte radiale Breite erstrecken. Dies ist in den Figuren 9a sowie 9c - 9e veranschaulicht. Dargestellt ist hier jeweils ein Ausschnitt der Oberseite einer ringförmigen Scheibe.

[0062] Die Übergänge zwischen der Oberseite der ringförmigen Scheiben und den Abstandshaltern sind vorzugsweise nicht stufenförmig oder scharfkantig ausgebildet. Vielmehr sind die Übergänge zwischen der Oberseite der ringförmigen Scheiben und den Abstandshaltern keramikgerecht ausgeführt, d. h. die Übergänge sind mit Radien ausgeführt, also sanft gerundet. Dies ist in den Figuren 6f und 8f veranschaulicht.

[0063] Die Kontaktfläche 11 der Abstandshalter 10, also die ebene Fläche, mit der die Abstandshalter im Kontakt mit der benachbarten ringförmigen Scheibe sind, kann rechteckig, rund, rautenförmig, elliptisch, trapezförmig oder auch dreieckig sein, wobei die Ausformung der Ecken und Kanten immer keramikgerecht, d.h. abgerundet sein sollte. Verschiedene Ausführungen der Abstandshalter mit verschiedenen Kontaktflächen 11 sind in den Figuren 9 a - 9 e dargestellt.

[0064] Eine mögliche Ausführungsform von Abstandshaltern, die nur einen Teil der radialen Breite der Oberfläche der ringförmigen Scheiben einnehmen, zeigt Figur 9 a. Die in Figur 9 a dargestellte Form der Abstandshalter ist annähernd dreieckig, d. h. dreieckig mit keramikgerecht abgerundeten Ecken. Diese Form ist vorteilhaft so ausgelegt, dass der Strömungsquerschnitt im Filterspalt in Strömungsrichtung nicht abnimmt. Die Breite der Kontaktfläche dieser Abstandshalter nimmt nach innen zu, während die Oberseite der ringförmigen Scheibe nach innen abfällt. Je nach betriebsbedingter Strömungsrichtung kann die schmale Seite des annähernd dreieckigen Abstandshalters dem Ringmittelpunkt zu- oder abgewandt sein.

[0065] Die Breite der Kontaktfläche 11 der Abstandshalter wird in radialer Richtung gemessen, als größte Ausdehnung in radialer Richtung. Die Breite der Kontaktfläche der Abstandshalter ist kleiner oder gleich der radialen Breite der ringförmigen Scheiben und beträgt vorzugsweise wenigstens 60 % der radialen Ringbreite. Die Breite der Abstandshalter kann am äußeren Umfang der ringförmigen Scheiben zur Einbringung von Messreferenzflächen 33 etwas verkürzt sein, beispielsweise um etwa 0,3 mm (siehe Figuren 6e und 8e). Die Messreferenzflächen dienen zur vereinfachten Messung der Filterweite, insbesondere der automatisierten Messung.

[0066] Die Länge der Kontaktfläche 11 der Abstandshalter wird in Umfangsrichtung gemessen, als größte Ausdehnung in Umfangsrichtung. Die Länge der Kontaktfläche der Abstandshalter liegt vorzugsweise zwischen 1 mm und 12 mm und besonders bevorzugt zwischen 2 mm und 5 mm. Diese Längen haben sich bei Druckversuchen und bei der Herstellung der ringförmigen Scheiben besonders bewährt.

[0067] Die Kontaktfläche 11 der einzelnen Abstandshalter liegt je nach Größe der ringförmigen Scheiben vorzugsweise zwischen 4 und 60 mm², weiter vorzugsweise zwischen 10 und 35 mm².

[0068] Über den Kreisumfang der ringförmigen Scheiben sind wenigstens drei Abstandshalter 10 (siehe Figurenblöcke 6 und 8) gleichmäßig verteilt. Die Anzahl der Abstandshalter kann geradzahlig oder ungeradzahlig sein. Der bei der Durchströmung im Filterspalt wirkende Flüssigkeitsdruck beansprucht die ringförmigen Scheiben auch auf Biegung. Die die Druckbeständigkeit bestimmende Feldweite oder Spannweite ist die Distanz benachbarter Abstandshalter. Je weniger Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben angeordnet werden, desto geringer ist die Druckbeständigkeit der Trennvorrichtung. Zwar sinkt mit steigender Anzahl von Abstandshaltern unerwünschterweise die freie Filterfläche, dafür steigt die Druckfestigkeit des Filtersystems an, da die Feldweite oder Spannweite abnimmt. Vorzugsweise werden mehr als drei Abstandshalter vorgesehen, weiter vorzugsweise wenigstens 6, weiter vorzugsweise wenigstens 10 und besonders bevorzugt wenigstens 15. Je nach Anwendungsfall bzw. den zu erwartenden Druckverhältnissen und abhängig von den mechanischen Eigenschaften des für die ringförmigen Scheiben eingesetzten Werkstoffs kann die Zahl der Abstandshalter ausgewählt werden. Je höher die im Betrieb zu erwartenden Drücke sind, desto mehr Abstandshalter sind konstruktiv vorzusehen. Je größer die ringförmigen Scheiben sind, desto mehr Abstandshalter sind in der Regel konstruktiv vorzusehen. So können für ringförmige Scheiben mit einem Außendurchmesser von 100 mm (für Basisrohr-Außendurchmesser von 2 7/8 Zoll) beispielsweise 16 Abstandshalter vorgesehen werden, bei einem Außendurchmesser von 115 mm (für Basisrohr-Außendurchmesser von 3 1/2 Zoll) können beispielsweise 18 Abstandshalter vorgesehen werden, und bei einem Außendurchmesser von 168 mm (für Basisrohr-Außendurchmesser von 5 1/2 Zoll) können beispielsweise 24 Abstandshalter vorgesehen werden.

[0069] Die Distanz zwischen den Abstandshaltern wird in Umfangsrichtung gemessen als Abstand zwischen den Mitten der Kontaktflächen der Abstandshalter entlang des Innendurchmessers. Die Distanz zwischen den Abstandshaltern liegt vorzugsweise im Bereich von 8 bis 50 mm, weiter vorzugsweise zwischen 10 und 30 und besonders bevorzugt zwischen 15 und 25 mm. Die Distanz der Abstandshalter hat Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit gegen innere und äußere Druckbelastung, wie sie beim Test auf Innen- und Außendruckbeständigkeit gemäß ISO 17824 sowie unter Betriebsbedingungen vorkommen kann. Je geringer die Distanz der Abstandshalter, desto höher sind die Innen- und Außendrucke, die die Trennvorrichtung aushält, bevor es zum Verlust der Filterwirkung kommt.

[0070] Aus der Distanz zwischen den Abstandshaltern lässt sich die Zahl der Abstandshalter für die verschiedenen Größen der ringförmigen Scheiben ableiten. Für Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben im Bereich von 80 bis 110 mm werden vorzugsweise 6 bis 35 Abstandshalter vorgesehen, weiter vorzugsweise 9 bis 28, besonders bevorzugt 11 bis 19. Für Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben im Bereich von > 110 bis 140 mm werden vorzugsweise 7 bis 42 Abstandshalter vorgesehen, weiter vorzugsweise 11 bis 33, besonders bevorzugt 13 bis 22. Für Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben im Bereich von > 140 bis 200 mm werden vorzugsweise 10 bis 62 Abstandshalter vorgesehen, weiter vorzugsweise 16 bis 49, besonders bevorzugt 20 bis 33.

[0071] Die ringförmigen Scheiben können in beliebiger und zufälliger Orientierung aufeinandergestapelt werden, ohne dass die Funktion der Trennvorrichtung beeinträchtigt wird. Es ist also nicht erforderlich, dass die Abstandshalter der ringförmigen Scheiben jeweils genau fluchtend übereinander positioniert werden. Diese Möglichkeit der beliebigen und zufälligen Orientierung bei der Stapelung erleichtert den Zusammenbau der Trennvorrichtung erheblich und führt auch

dazu, dass die Produktionskosten geringer sind als bei einer Stapelung mit genau übereinander orientierten Abstandshaltern. Es ist jedoch auch möglich, die Abstandshalter im Ringstapel jeweils fluchtend übereinander zu positionieren, wie in Figur 7f dargestellt.

[0072] Der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben ist gewählt aus oxidischen und nichtoxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von keramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen.

[0073] Beispiele für oxidische keramische Werkstoffe sind Werkstoffe auf Basis von Al_2O_3 , ZrO_2 , Mullit, Spinell und Mischoxiden. Beispiele für nichtoxidische keramische Werkstoffe sind SiC , B_4C , TiB_2 und Si_3N_4 . Keramische Hartstoffe sind beispielsweise Carbide und Boride. Beispiele für Mischwerkstoffe mit metallischer Bindephase sind WC-Co, TiC-Fe und TiB_2 -FeNiCr. Beispiele für in-situ gebildete Hartstoffphasen sind Chrom-Carbide. Ein Beispiel für faserverstärkte Keramikwerkstoffe ist C/SiC. Die Werkstoffgruppe der faserverstärkten Keramikwerkstoffe hat den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer im Vergleich zu monolithischer Keramik höheren Festigkeit zu noch höherer Innen- und Außendruckbeständigkeit der Trennvorrichtungen führt.

[0074] Die oben genannten Werkstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie härter sind als die typischerweise vorkommenden Feststoffpartikel wie beispielsweise Sand- und Gesteinspartikel, das heißt die HV (Vickers)- oder HRC (Rockwell Methode C)-Härtewerte dieser Werkstoffe liegen über den entsprechenden Werten des umgebenden Gesteins. Für die ringförmigen Scheiben der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung geeignete Werkstoffe besitzen HV-Härtewerte größer 15 GPa, bevorzugt größer 23 GPa.

[0075] Alle diese Werkstoffe zeichnen sich gleichzeitig dadurch aus, dass sie eine größere Sprödigkeit als typische ungehärtete Stahllegierungen haben. In diesem Sinne werden diese Werkstoffe hierin als "sprödhart" bezeichnet.

[0076] Für die ringförmigen Scheiben der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung geeignete Werkstoffe besitzen Elastizitätsmoduli größer 200 GPa, bevorzugt größer 350 GPa.

[0077] Vorzugsweise werden Werkstoffe mit einer Dichte von mindestens 90%, weiter vorzugsweise mindestens 95%, der theoretischen Dichte eingesetzt, um möglichst hohe Härtewerte und hohe Abrasions- und Erosionswiderstände zu erzielen. Vorzugsweise werden als sprödharter Werkstoff gesintertes Siliziumcarbid (SSiC) oder Borcarbid eingesetzt. Diese Werkstoffe sind nicht nur abrasionsbeständig, sondern auch korrosionsbeständig gegenüber den üblicherweise für das Freispülen der Trennvorrichtung und die Stimulation des Bohrlochs verwendeten Behandlungsflüssigkeiten wie Säuren, beispielsweise HCl, Laugen, beispielsweise NaOH, oder auch Wasserdampf.

[0078] Besonders geeignet sind beispielsweise SSiC-Werkstoffe mit feinkörnigem Gefüge (mittlere Korngröße $< 5 \mu\text{m}$), wie sie beispielsweise unter dem Namen 3MTM Siliziumcarbid Typ F und 3MTM Siliziumcarbid Typ F plus von ESK Ceramics GmbH & Co. KG vertrieben werden. Außerdem können aber auch grobkörnige SSiC-Werkstoffe eingesetzt werden, beispielsweise mit bimodalem Gefüge, wobei vorzugsweise 50 bis 90 Vol.-% der Korngrößenverteilung aus prismatischen plättchenförmigen SiC-Kristalliten einer Länge von 100 bis 1500 μm besteht und 10 bis 50 Vol.-% aus prismatischen, plättchenförmigen SiC-Kristalliten einer Länge von 5 bis weniger als 100 μm (3MTM Siliziumcarbid Typ C von ESK Ceramics GmbH & Co. KG).

[0079] Neben diesen einphasigen gesinterten SSiC-Werkstoffen kann auch flüssigphasengesintertes Siliziumcarbid als Werkstoff für die ringförmigen Scheiben eingesetzt werden (LPS-SiC). Ein Beispiel eines solchen Werkstoffs ist 3MTM Siliziumcarbid Typ T von ESK Ceramics GmbH & Co. KG. Beim LPS-SiC wird als Ausgangspulver eine Mischung aus Siliziumcarbid und Metalloxiden verwendet. LPS-SiC hat eine höhere Biegefestigkeit und höhere Zähigkeit, gemessen als K_{1c}-Wert, als einphasig gesintertes Siliziumcarbid (SSiC).

[0080] Die ringförmigen Scheiben der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung werden nach den in der Technischen Keramik bzw. Pulvermetallurgie üblichen Verfahren hergestellt, also bevorzugt durch Gesenkpresen von pressfähigen Ausgangspulvern und anschließendes Sintern. Vorzugsweise werden die ringförmigen Scheiben gemäß den Prinzipien der "endkonturnahen Formgebung" auf mechanischen oder hydraulischen Pressen geformt, entbindert und anschließend auf Dichten $> 90\%$ der theoretischen Dichte gesintert. Bei hohen Anforderungen an die Größenverteilung der Filterweite, d. h. wenn ein genauer Mittelwert und geringe Toleranzen der Filterweite gefordert werden, müssen die ringförmigen Scheiben an ihrer Ober- und Unterseite einer Zweiseiten-Planbearbeitung unterzogen werden. Bevorzugte Verfahren zur Zweiseiten-Planbearbeitung sind Läppen, Flachhonen und Schleifen. Durch die Hartbearbeitung wird sichergestellt, dass die ringförmigen Scheiben untereinander einen ausreichend großen flächigen Kontakt haben und jegliche Punktbelastung vermieden wird, was für eine hohe Druckbeständigkeit der montierten Trennvorrichtung von größter Bedeutung ist.

[0081] Durch die Planbearbeitung der ringförmigen Scheiben können die Höhen der flächigen Abstandshalter auf Genauigkeiten im Mikrometer-Bereich eingestellt werden.

[0082] Die Hartbearbeitung ermöglicht es außerdem, aus gesinterten Teilen mit Einheitshöhe der Abstandshalter kundenspezifisch gewünschte Filteröffnungen einzustellen.

[0083] Die Ebenheit der Ringe auf beiden Seiten sollte besser sein als 30 μm , bevorzugt besser als 15 μm und

besonders bevorzugt besser als 5 µm.

Perforiertes Rohr (Basisrohr)

[0084] Wie bereits oben erwähnt, wird das perforierte Rohr 1 (siehe Figuren 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b), das sich im Inneren des Ringstapels befindet und auf dem die ringförmigen Scheiben gestapelt sind, auch als Basisrohr bezeichnet. Das Basisrohr ist im Bereich des Ringstapels perforiert, d. h. mit Löchern versehen, außerhalb des Bereichs des Ringstapels ist es nicht perforiert. Die Perforation 18 dient dazu, das filtrierte Medium, d. h. den von den Feststoffpartikeln befreiten Medienstrom, wie beispielsweise Gas, Öl oder Mischungen davon, in das Innere des Basisrohres zu leiten, von wo es abgefordert bzw. abgepumpt werden kann. Das Basisrohr gewährleistet die mechanische Stabilität und den Zusammenhalt der Gesamtkonstruktion.

[0085] Als Basisrohr können Rohre verwendet werden, wie sie in der Öl- und Gasindustrie für metallische Filter (wire wrap filter, metal mesh screen) verwendet werden. Die Perforation wird nach branchenüblichen Schemata angebracht, beispielsweise können 30 Löcher mit einem Durchmesser von 9,52 mm auf einer Basisrohlänge von 0,3048 m (entsprechend 1 Fuß) eingebracht werden.

[0086] An beiden Enden des Basisrohres 1 sind üblicherweise Gewinde 2 angeschnitten, mit deren Hilfe die Basisrohre zu langen Strängen verschraubt werden können.

[0087] Das Basisrohr besteht aus einem metallischen Material, üblicherweise aus Stahl, beispielsweise Stahl L80. Als Stahl L80 wird ein Stahl bezeichnet, der eine Streckgrenze (yield strength) von 80.000 psi (entsprechend ca. 550 MPa) aufweist. Als Alternative zum Stahl L80 können auch Stähle verwendet werden, die in der Öl- und Gasindustrie mit J55, N80, C90, T95, P110 und L80Cr13 bezeichnet werden (siehe Drilling Data Handbook, 8th Edition, IFP Publications, Editions Technip, Paris, Frankreich). Es können auch andere Stähle, insbesondere korrosionsbeständige legierte und hochlegierte Stähle als Werkstoff für das Basisrohr verwendet werden. Für spezielle Anwendungen in korrosiver Umgebung können auch Basisrohre aus Nickelbasislegierungen zum Einsatz kommen. Es ist auch möglich, Aluminiumwerkstoffe als Material für das Basisrohr einzusetzen, um Gewicht zu sparen. Außerdem können auch Basisrohre aus Titan oder Titanlegierungen verwendet werden.

[0088] Der Innendurchmesser der ringförmigen Scheiben muss größer sein als der Außendurchmesser des Basisrohres. Dies ist erforderlich aufgrund der Unterschiede hinsichtlich der thermischen Ausdehnung zwischen dem metallischen Basisrohr und den ringförmigen Scheiben aus dem sprödharten Werkstoff sowie aus strömungstechnischen Gründen. Als günstig hat sich dabei herausgestellt, dass der Innendurchmesser der ringförmigen Scheiben wenigstens 0,5 mm und höchstens 10 mm größer ist als der Außendurchmesser des Basisrohres. Vorzugsweise ist der Innendurchmesser der ringförmigen Scheiben wenigstens 1,5 mm und höchstens 5 mm größer als der Außendurchmesser des Basisrohres.

Zentrierbänder

[0089] Auf der äußeren Mantelfläche 21 des Basisrohrs 1 sind wenigstens drei Bänder 15 in gleichmäßigem Abstand achsparallel angebracht (siehe Figuren 10 und 11). Auf diese Bänder werden die ringförmigen Scheiben 8 bei der Montage aufgeschoben, wodurch eine Zentrierung der ringförmigen Scheiben auf dem Basisrohr erzielt wird. Aufgrund ihrer Funktion können diese Bänder auch als Zentrierbänder bezeichnet werden. Die Zentrierbänder sind elastisch verformbar, vor allem in radialer Richtung. Durch die Zentrierbänder können auch die thermischen Ausdehnungsunterschiede zwischen dem Basisrohr 1 und dem Ringstapel 7 in radialer Richtung ausgeglichen werden. Zudem können durch die Zentrierbänder fertigungsbedingte Durchmessertoleranzen von Basisrohr und den ringförmigen Scheiben ausgeglichen werden. Die Zentrierung des Ringstapels auf dem Basisrohr dient auch dazu, einen gleichmäßig breiten Ringspalt zwischen Basisrohr und Ringstapel einzustellen. Dadurch wird gewährleistet, dass das Filtrat gleichmäßig durch mehrere Perforationsbohrungen in das Basisrohr strömen kann.

[0090] Vorzugsweise werden drei Zentrierbänder im gleichmäßigen Abstand, d. h. im Winkel von jeweils 120° zueinander, auf der äußeren Mantelfläche des Basisrohres positioniert. Wenn zu erwarten ist, dass die Druckbeaufschlagung der Trennvorrichtung sehr inhomogen ist, können auch mehr als drei Zentrierbänder angebracht werden.

[0091] Die Länge der Zentrierbänder entspricht mindestens der Länge des Ringstapels, da somit sämtliche ringförmige Scheiben des Ringstapels einschließlich der ersten und letzten ringförmigen Scheibe zentriert werden.

[0092] Die Zentrierbänder können eben oder profiliert ausgeführt sein. Die Profilierung kann beispielsweise eine wölbende Verformung nach innen oder außen sein. In Figur 10 ist eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit ebener Ausführung der Zentrierbänder 15 gezeigt, Figur 11 zeigt eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit Zentrierbändern 15, die mit einer Wölbung ausgeführt sind, wobei die konvexe Seite des gewölbten Bandes nach innen orientiert ist.

[0093] Der Werkstoff für die Zentrierbänder ist bevorzugt so zu wählen, dass er unter Betriebsbedingungen nicht korrodiert und er muss öl-, wasser- und temperaturbeständig sein. Als Material für die Zentrierbänder ist Metall oder

Kunststoff geeignet, vorzugsweise metallische Legierungen auf Basis von Eisen, Nickel und Kobalt, weiter vorzugsweise Stahl, weiter vorzugsweise Federbandstahl. Beispielsweise kann als Material für die Zentrierbänder Federbandstahl mit der Werkstoffnummer 1.4310, Ausführung federhart, eingesetzt werden, erhältlich beispielsweise bei COBRA Bandstahl GmbH, D-63607 Wächtersbach. Die Breite der Zentrierbänder kann beispielsweise 16 mm und die Dicke 0,18 mm betragen.

[0094] Wird Stahl als Material für die Zentrierbänder eingesetzt, ist bei der Materialauswahl darauf zu achten, dass bei Kontakt mit den anderen metallischen Konstruktionselementen der Trennvorrichtung keine unerwünschten elektrochemischen Reaktionen begünstigt werden.

[0095] Die Zentrierbänder können durch Schrauben, Nieten, Kerbnägel oder Kleben oder mit einem anderen üblichen Befestigungsverfahren am Basisrohr befestigt werden. Wird Stahl als Material für die Zentrierbänder eingesetzt, können die Bänder auch mittels Schweißen oder Punktschweißen am Basisrohr angebracht werden.

[0096] Die Zentrierbänder können einlagig oder auch mehrlagig eingebaut werden, um Durchmessertoleranzen des Basisrohres und/oder der ringförmigen Scheiben auszugleichen. Die Dicke und Breite der Zentrierbänder ist so zu wählen, dass die ringförmigen Scheiben mit "Schiebesitz" auf dem Basisrohr axial verschoben werden können. Das bedeutet, dass die ringförmigen Scheiben sich in vertikaler Position nicht unter ihrem Eigengewicht axial verschieben. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn die Kraft zum Verschieben der ringförmigen Scheiben auf dem Basisrohr in horizontaler Richtung, also ohne Einfluss der Schwerkraft, zwischen 0,1 N und 10 N, vorzugsweise zwischen 0,5 N und 5 N, liegt.

Endkappen

[0097] Am oberen und unteren Ende des Ringstapels 7 befindet sich jeweils eine Endkappe 5, 6 (siehe Figuren 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b). Die Endkappen sind fest mit dem Basisrohr verbunden. Die Endkappen werden aus Metall, üblicherweise aus Stahl und vorzugsweise aus dem gleichen Material wie das Basisrohr hergestellt. Die Endkappen können mittels Schweißen, Klemmen, Nieten oder Schrauben am Basisrohr befestigt werden. Bei der Montage werden die Endkappen nach dem Ringstapel auf das Basisrohr aufgeschoben und anschließend auf dem Basisrohr befestigt. In den in den Figuren 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b gezeigten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung sind die Endkappen mittels Schweißen befestigt (siehe die Schweißnaht 20). Werden die Endkappen mittels Klemmverbindungen befestigt, so werden vorzugsweise konstruktive reibungserhöhende Maßnahmen ergriffen. Als reibungserhöhende Maßnahmen können beispielsweise reibungserhöhende Beschichtungen oder Oberflächenstrukturierungen eingesetzt werden. Die reibungserhöhende Beschichtung kann beispielsweise als Chemisch-Nickel-Schicht mit eingelagerten Hartstoffpartikeln, vorzugsweise Diamantpartikeln, ausgeführt werden. Die Schichtdicke der Nickelschicht beträgt dabei beispielsweise 10 - 25 μm , die mittlere Größe der Hartstoffpartikel beträgt beispielsweise 20 - 50 μm . Die reibungserhöhenden Oberflächenstrukturierungen können beispielsweise als Laserstrukturierung aufgebracht werden.

[0098] Wie bereits oben erwähnt, hat die erfindungsgemäße Trennvorrichtung keine nachgiebig-elastischen Konstruktionselemente wie Federn, Gummischeiben oder andere elastische Elemente, die eine Vorspannung bewirken. Der Ringstapel der Trennvorrichtung wird nicht über Druckfedern verspannt, sondern auf dem Basisrohr mittels der Endkappen fixiert, ohne dass der Ringstapel eine nennenswerte Vorspannung erfährt. Durch den Verzicht auf die Druckfedern kann es nicht zum Verkippen der ringförmigen Scheiben kommen. Die Vorspannung im Ringstapel in axialer Richtung muss so groß sein, dass herstellungsbedingt nicht ganz ebene ringförmige Scheiben des Ringstapels so belastet werden, dass alle Abstandshalter den Kontakt zur Planfläche der benachbarten ringförmigen Scheibe haben. Die Vorspannung im Ringstapel in axialer Richtung beträgt im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C vorzugsweise höchstens 10 MPa, weiter vorzugsweise höchstens 5 MPa, besonders bevorzugt höchstens 2 MPa, bezogen auf die axiale Projektionsfläche der ringförmigen Scheiben. Die durch Flüssigkeitsdruckdifferenzen im Betrieb der Trennvorrichtung bewirkte Verschiebung der ringförmigen Scheiben im Ringstapel beträgt im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C vorzugsweise nicht mehr als 0,5 Promille in axialer Richtung, bezogen auf die Länge des Ringstapels.

Schutzkäfig

[0099] Zum Schutz der sprödharten ringförmigen Scheiben vor mechanischer Beschädigung beim Handhaben und Einbauen in das Bohrloch ist die Trennvorrichtung vorzugsweise von einem frei durchströmbaren rohrförmigen Schutzkäfig 4 (siehe Figur 1) umgeben. Dieser Schutzkäfig kann beispielsweise als grobmaschiges Sieb und vorzugsweise aus Lochblech ausgeführt werden. Der Schutzkäfig ist vorzugsweise aus einem metallischen Material hergestellt, weiter vorzugsweise aus Stahl, besonders bevorzugt aus korrosionsbeständigem Stahl. Der Schutzkäfig kann aus dem gleichen Material hergestellt sein, aus dem auch das Basisrohr hergestellt ist.

[0100] Der Schutzkäfig wird beidseitig durch die Endkappen gehalten, er kann mit den Endkappen auch fest verbunden sein. Diese Fixierung ist beispielsweise über Kleben, Verschrauben oder Verstiften möglich, vorzugsweise wird der

Schutzkäfig mit den Endkappen nach der Montage verschweißt.

[0101] Durch die Zentrierung der ringförmigen Scheiben auf dem Basisrohr mittels der Zentrierbänder wird auch gewährleistet, dass der Ringspalt zwischen der inneren Umfangsfläche des Schutzkäfigs und der äußeren Umfangsfläche der sprödharten Scheiben gleichmäßig ist, so dass der Schutzkäfig seine Schutzfunktion besser erfüllen kann.

[0102] Der Innendurchmesser des Schutzkäfigs muss größer sein als der Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben. Dies ist aus strömungstechnischen Gründen erforderlich. Als günstig hat sich dabei herausgestellt, dass der Innendurchmesser des Schutzkäfigs wenigstens 0,5 mm und höchstens 15 mm größer ist als der Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben. Vorzugsweise ist der Innendurchmesser des Schutzkäfigs wenigstens 1,5 mm und höchstens 5 mm größer als der Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben.

Zwischenelemente

[0103] Die Länge des Ringstapels der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung beträgt zwischen 300 und 2.000 mm, bevorzugt zwischen 1.300 und 1.700 mm. In der Anwendung werden auch Trennvorrichtungen mit Längen von mehr als 2.000 mm benötigt. Größere Längen der Trennvorrichtung können realisiert werden, indem mehrere Ringstapel, die oben und unten jeweils mit einer Dichtungsbuchse und einer Endkappe abgeschlossen werden, auf ein gemeinsames, durchgehendes Basisrohr montiert werden. Alternativ dazu können auch mehrere Basisrohre mit jeweils einem Ringstapel, der oben und unten jeweils mit einer Endkappe abgeschlossen wird, miteinander verschraubt werden.

[0104] Werden mehrere Ringstapel auf ein gemeinsames, durchgehendes Basisrohr montiert, so ist es nicht erforderlich, jeden Ringstapel mit beidseitigen Endkappen auf dem Basisrohr zu fixieren. Um Material und Kosten zu sparen, wird jeweils zwischen zwei benachbarte Ringstapel ein Zwischenelement 3 (siehe Figuren 2 a und 2 b) gesetzt und nur der erste und letzten Ringstapel wird jeweils einseitig mit einer Endkappe fixiert. Bei einem Zwischenelement werden zwei Endkappen spiegelsymmetrisch miteinander verbunden ausgeführt. Figur 2 a zeigt die Ansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit einem Zwischenelement, Figur 2b zeigt die Ansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung mit zwei Zwischenelementen.

[0105] Die Ausführung mit dem Zwischenelement hat auch den Vorteil, dass sie platzsparend ist, wodurch sich mehr Filterfläche auf eine gegebene Länge des Basisrohres unterbringen lässt.

[0106] Ein Zwischenelement wird auf dem Basisrohr in radialer und axialer Richtung fixiert, beispielsweise durch Schweißen, Klemmen, Nieten oder Schrauben.

[0107] Werden die Zwischenelemente mittels Klemmverbindungen befestigt, so werden vorzugsweise konstruktive reibungserhöhende Maßnahmen ergriffen. Als reibungserhöhende Maßnahmen können beispielsweise reibungserhöhende Beschichtungen oder Oberflächenstrukturierungen eingesetzt werden. Die reibungserhöhende Beschichtung kann beispielsweise als Chemisch-Nickel-Schicht mit eingelagerten Hartstoffpartikeln, vorzugsweise Diamantpartikeln, ausgeführt werden. Die Schichtdicke der Nickelschicht beträgt dabei beispielsweise 10 - 25 μm , die mittlere Größe der Hartstoffpartikel beträgt beispielsweise 20 - 50 μm . Die reibungserhöhenden Oberflächenstrukturierungen können beispielsweise als Laserstrukturierung aufgebracht werden.

[0108] Die Zwischenelemente werden vorzugsweise aus Metall, weiter vorzugsweise aus Stahl, besonders bevorzugt aus dem gleichen Material wie das Basisrohr hergestellt.

Dichtungsbuchsen

[0109] Am oberen und unteren Ende des Ringstapels 7 befindet sich vorzugsweise jeweils eine Dichtungsbuchse 16, 17 (siehe Figuren 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b). Die Dichtungsbuchse hat die Aufgabe, das Eindringen von unter Druck stehenden Flüssigkeiten und/oder Gasen, beispielsweise von Prüfflüssigkeit beim Test auf Außendruckbeständigkeit (collapse pressure test), in konstruktiv bedingte Hohlräume, wie beispielsweise Fasen und Spalten, zwischen der Endkappe und dem Basisrohr oder weiteren Konstruktionselementen wie der Kompensationsbuchse 22, 23 (siehe Figuren 3 a - 3 b) oder dem Doppelwandkompensator 24, 25 (siehe Figuren 4 a - 4 b) zu verhindern. Andernfalls könnte die unter Druck stehende Flüssigkeit bzw. das unter Druck stehende Gas über die hydraulisch wirksame Ringfläche der obersten ringförmigen Scheibe bzw. über die axiale Fläche der Kompensationsbuchse 22, 23 oder des Doppelwandkompensators 24, 25 eine starke Axialkraft auf den Ringstapel ausüben, was zum Bruch der ringförmigen Scheiben führen könnte. Auf ihrer äußeren Umfangsfläche ist in der Dichtungsbuchse ein O-Ring 19 eingebracht. Auf der inneren Umfangsfläche der Dichtungsbuchse kann ebenfalls ein O-Ring eingebracht werden. Durch die Dichtungsbuchse mit den O-Ring-Dichtungen wird verhindert, dass unter Druck stehende Flüssigkeit und/oder Gas in Bereiche der Trennvorrichtung eindringen kann, die nicht mit der Filterfunktion zusammenhängen.

[0110] Die Dichtungsbuchsen 16, 17 werden bei der Montage auf das Basisrohr 1 aufgeschoben, anschließend an den Ringstapel 7. Zum Schluß wird die Endkappe über den O-Ring 19 der Dichtungsbuchse aufgeschoben, so dass das Eindringen von Flüssigkeit und/oder Gas in Bereiche der vom Druck abgewandten Seite verhindert wird.

[0111] Die Wandstärke der Dichtungsbuchsen 16, 17 ist auf der Seite, auf der sie im Kontakt mit dem Ringstapel

stehen, vorzugsweise gleich der axialen Wandstärke, also der radialen Ringbreite, der sprödharten Scheiben.

[0112] Als Werkstoff für die Dichtungsbuchsen wird ein verschleiß- und korrosionsbeständiger Werkstoff eingesetzt, beispielsweise ein metallischer oder keramischer Werkstoff oder auch Hartmetall. Der bevorzugte Werkstoff für die Dichtungsbuchse ist Stahl. Besonders bevorzugt wird für die Dichtungsbuchse der gleiche Werkstoff verwendet, wie er beim Basisrohr zum Einsatz kommt.

Kompensationsbuchse

[0113] Die zur Herstellung des perforierten Basisrohrs eingesetzten metallischen Werkstoffe wie beispielsweise Stahl L80 haben eine höhere thermische Ausdehnung als das sprödharte Material der ringförmigen Scheiben, wie beispielsweise die bevorzugt verwendete Siliziumcarbid-Keramik. Für Stahl L80 beträgt der Ausdehnungskoeffizient ca. $10,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ im Temperaturbereich von 10°C bis 200°C , der Ausdehnungskoeffizient von gesintertem einphasigem Siliziumcarbid (SSiC) beträgt $2,8 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ im Temperaturbereich von 10°C bis 200°C . Würde eine Vielzahl keramischer Ringe bei Raumtemperatur von ca. 20°C , was der üblichen Montagetemperatur entspricht, spielfrei auf ein stählernes Basisrohr gestapelt und würden die beiden Endkappen mit dem Basisrohr verschweißt, könnte die Trennvorrichtung nur bei Temperaturen eingesetzt werden, die geringfügig von den erwähnten 20°C abweichen. Würde die Trennvorrichtung bei höheren Temperaturen von beispielsweise 100°C eingesetzt, würde sich das Basisrohr stärker axial ausdehnen als der Ringstapel. Dadurch wäre der Kontakt zwischen den Ringen nicht mehr spielfrei, vielmehr könnte sich der Abstand zwischen den Ringen vergrößern, wodurch sich die Filterweite in unerwünschter Weise verändern würde. Bei Abkühlung des Systems, etwa bei Transport oder Lagerung in kalter Umgebung, würde sich das Basisrohr stärker zusammenziehen als der Ringstapel, was zu hohen Druckspannungen in den ringförmigen Scheiben und ggf. deren Bruch führen könnte.

[0114] Im Folgenden werden verschiedene bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung näher beschrieben, bei denen die unterschiedlichen thermischen Längenänderungen von Basisrohr und Ringstapel ausgeglichen werden.

[0115] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung (siehe Figuren 3 a - 3 b) befindet sich am oberen Ende des Ringstapels 7 und/oder am unteren Ende des Ringstapels 7, vorzugsweise am unteren und oberen Ende des Ringstapels 7, ein Kompensationselement 22, 23 zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung von Basisrohr 1 und Ringstapel 7. Bei diesem Kompensationselement handelt es sich vorzugsweise um eine ringförmige Buchse aus einem Werkstoff mit hohem Wärmeausdehnungskoeffizienten, deren Höhe so ausgelegt ist, dass sie die Unterschiede in der thermischen Ausdehnung zwischen dem perforierten Basisrohr und dem Ringstapel im Temperaturbereich von 10 bis 200°C ausgleicht. Figur 12 zeigt verschiedene Ansichten der Kompensationsbuchse (Fig. 12 a 3D-Ansicht, Fig. 12b Aufsicht, Fig. 12c Querschnittsansicht entlang der in Fig. 12b mit "12 c" bezeichneten Schnittlinie).

[0116] Für die Herstellung der Kompensationsbuchse eignen sich druckfeste Werkstoffe, die öl-, wasser- und dampfbeständig sind und nicht oder nur wenig quellen. Darüber hinaus müssen die Werkstoffe bei hohen Temperaturen (bis ca. 200°C) eingesetzt werden können und eine Druckbeständigkeit $> 1 \text{ MPa}$ haben. Der Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) des für die Kompensationsbuchse verwendeten Werkstoffes soll deutlich über dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffes der sprödharten ringförmigen Scheiben, beispielsweise dem bevorzugt eingesetzten Siliziumcarbid (WAK SiC ca. $2,8 \cdot 10^{-6} / \text{K}$), und dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des metallischen Basisrohrs (WAK Metalle bis ca. $23 \cdot 10^{-6} / \text{K}$) liegen, damit die Kompensationsbuchse kurz gebaut werden kann. Vorzugsweise liegt der Wärmeausdehnungskoeffizient des Werkstoffes der Kompensationsbuchse bei mindestens $25 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, weiter vorzugsweise bei mindestens $80 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, besonders bevorzugt bei mindestens $100 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, im Temperaturbereich von $10 - 200^\circ\text{C}$.

[0117] Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass für die Anwendung in der Öl- und Gasindustrie vor allem Werkstoffe auf der Basis von PTFE (Polytetrafluorethylen) als Werkstoff für die Kompensationsbuchse besonders geeignet sind. PTFE übertrifft hinsichtlich des Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Temperaturbeständigkeit alle anderen bisher bekannten Kunststoffe beträchtlich. PTFE zeichnet sich durch die Kombination von hohem WAK (WAK PTFE $120 - 190 \cdot 10^{-6} / \text{K}$), hoher Temperaturbelastbarkeit (einsetzbar bis 250°C) und chemischer Beständigkeit aus. Neben reinem PTFE können auch so genannte modifizierte oder gefüllte PTFE-Typen eingesetzt werden. Die Modifikation mit Füllstoffen bewirkt, dass die Festigkeit steigt und der "Kaltfluß", d.h. die Verformung durch Kriechen, deutlich geringer ist. Es können auch andere Kunststoffe wie beispielsweise PEEK (Polyetheretherketon) als Werkstoff für die Kompensationsbuchse verwendet werden. Wenn die Anwendung der Trennvorrichtung bei niedrigen Temperaturen liegt und geringere Anforderungen an die chemische Beständigkeit bestehen, können auch kostengünstigere Kunststoffe zur Herstellung der Kompensationsbuchse verwendet werden.

[0118] Bei der Auslegung der Kompensationsbuchse wird in erster Linie die Höhe der Buchse berechnet. Der Innendurchmesser der Kompensationsbuchse entspricht vorzugsweise dem Außendurchmesser des Basisrohrs, der Außendurchmesser der Kompensationsbuchse entspricht vorzugsweise dem Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben.

[0119] Die Höhe der Kompensationsbuchse H_K wird gemäß folgender Gleichung bestimmt:

$$H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$$

[0120] Dabei sind

ΔL Unterschied der Längenänderung von Basisrohr und Ringstapel, im Temperaturbereich der Anwendung (beispielsweise 10 - 200 °C)

α Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) des Werkstoffs der Kompensationsbuchse im Temperaturbereich der Anwendung (beispielsweise 10 - 200 °C)

ΔT Temperaturdifferenz der Anwendung (beispielsweise 190 K bei Anwendungsbereich 10 - 200 °C)

[0121] Wenn die Kompensationsbuchsen an beiden Seiten des Ringstapels angeordnet werden, halbiert sich die Höhe der einzelnen Buchsen auf die Hälfte ($H_K/2$).

[0122] Da die in Tabellenwerken angegebenen Wärmeausdehnungskoeffizienten der für das Basisrohr, den Ringstapel und die Kompensationsbuchse verwendeten Werkstoffe in der Regel nur Durchschnittswerte darstellen und der Wärmeausdehnungskoeffizient chargenabhängig sein kann, da er beispielsweise von der Korngröße, Textur, Wärmebehandlung und Schwankungen in der Legierungszusammensetzung abhängig ist, kann es notwendig sein, vor der Auslegung der Kompensationsbuchse die Wärmeausdehnungskoeffizienten der tatsächlich verwendeten Werkstoffe durch Dilatometermessungen zu bestimmen.

[0123] Die Kompensationsbuchse ist ausreichend steif, um nicht von den Axialkräften, die durch im Betrieb der Trennvorrichtung auftretende Druckunterschiede verursacht werden, plastisch verformt zu werden. Die Trennvorrichtung behält also auch bei großen Druckunterschieden die vorab bestimmte Filterweite und damit ihre volle Filterwirkung bei. Auch bei inhomogener Druckbeaufschlagung, beispielsweise in nur einem Segment des Umfangs des Ringstapels, kann es nicht zu einer Verkipfung der Ringe kommen.

[0124] Die Kompensationsbuchse hat andererseits eine gewisse Nachgiebigkeit, damit die Trennvorrichtung bei der Einführung ins Bohrloch Biegungen mitmachen kann. Vorzugsweise hat der Werkstoff der Kompensationsbuchse einen E-Modul von höchstens 15.000 MPa, weiter vorzugsweise von höchstens 2.000 MPa.

[0125] Bei der Ausführungsform mit der Kompensationsbuchse 22, 23 befindet sich an beiden Enden des Ringstapels, zwischen der Kompensationsbuchse und dem Ringstapel, jeweils eine Dichtungsbuchse 16, 17 (siehe Figuren 3 a - 3 b). Auf ihrer äußeren Umfangsfläche ist in der Dichtungsbuchse ein O-Ring 19 eingebracht. Die Dichtungsbuchse hat, wie zuvor beschrieben, die Aufgabe, das Eindringen von unter Druck stehenden Flüssigkeiten und/oder Gasen in konstruktiv bedingte Hohlräume, wie beispielsweise Fasen und Spalten, zwischen der Endkappe und dem Basisrohr und der Kompensationsbuchse 22, 23 (siehe Figuren 3 a - 3 b) zu verhindern. Die Dichtungsbuchse 16, 17 übernimmt bei der Ausführungsform mit der Kompensationsbuchse die zusätzliche Funktion des Ausgleichs der stark unterschiedlichen Nachgiebigkeiten von Kompensationsbuchse 22, 23 und den sprödharten ringförmigen Scheiben 8, also die Funktion der Lastverteilung. Die Dichtungsbuchse mildert den Steifigkeitssprung zwischen der Kompensationsbuchse aus einem weichen Material mit niedrigem E-Modul und dem sprödharten Werkstoff der ringförmigen Scheiben mit hohem E-Modul ab. So beträgt etwa der Elastizitätsmodul von PTFE ca. 700 MPa und derjenige von gesintertem Siliziumcarbid (SSiC) ca. 440.000 MPa. Die Nachgiebigkeit der Kompensationsbuchse ist aufgrund des großen Unterschieds im E-Modul wesentlich höher als die des Ringstapels. In den Versuchen hat es sich als ungünstig erwiesen, die ringförmigen Scheiben unmittelbar auf die Kompensationsbuchse abzustützen. Die der Kompensationsbuchse benachbarte ringförmige Scheibe des Ringstapels wäre dabei im Falle des lokalen Druckdurchbruchs nicht ausreichend gestützt und könnte brechen, und es könnte auch zum Bruch weiterer ringförmiger Scheiben im Ringstapel kommen. Die zwischen der Kompensationsbuchse und den Ringstapel eingelegte Dichtungsbuchse bewirkt neben der Abdichtung auch eine bessere Abstützung der den Ringstapel abschließenden ringförmigen Scheibe, so dass der Ringstapel eine höhere Innen- und Außendruckbeständigkeit hat. Die Dichtungsbuchse muss bei der Ausführungsform mit der Kompensationsbuchse so hoch sein, dass sie die den Ringstapel oben und unten abschließenden ringförmigen Scheiben des Ringstapels abstützt. Dies ist dann der Fall, wenn unter allen auftretenden Flüssigkeitsprüfdrücken beim Test auf Innen- und Außendruckbeständigkeit (burst and collapse pressure test) die axiale Verformung der Dichtungsbuchse $\leq 0,2 \mu\text{m}$ bleibt.

[0126] Die Kompensationsbuchse 22, 23 wird bei der Montage der Trennvorrichtung nach dem Ringstapel und der Dichtungsbuchse auf das Basisrohr aufgeschoben. Danach wird die Endkappe über die Kompensationsbuchse geschoben und auf dem Basisrohr befestigt.

[0127] In einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung (siehe Figuren 4 a - 4 b) befindet sich am oberen Ende des Ringstapels 7 und/oder am unteren Ende des Ringstapels 7, vorzugsweise am unteren und oberen Ende des Ringstapels 7, ein Kompensationselement 24, 25 zum Ausgleich der unterschiedlichen

thermischen Längenänderung von Basisrohr 1 und Ringstapel 7. Bei dieser Ausführungsform wird als Kompensationselement jedoch nicht, wie bei der zuvor beschriebenen Ausführungsform, eine Kompensationsbuchse aus einem Werkstoff mit hohem Wärmeausdehnungskoeffizienten eingesetzt, sondern ein mit einer Flüssigkeit gefüllter doppelwandiger Behälter. Der Flüssigkeitsbehälter ist rohrförmig. Die Außenwände des doppelwandigen Flüssigkeitsbehälters sind in axialer Richtung gewellt und daher so ausgebildet, dass die hohe thermische Volumenausdehnung einer Flüssigkeit in eine lineare axiale Ausdehnung des Flüssigkeitsbehälters umgeleitet wird, so dass der Flüssigkeitsbehälter eine hohe thermische Längenausdehnung hat. In den Figuren 13 a - 13 c ist die Konstruktion eines Flüssigkeitsbehälters dargestellt, der diese Funktion erfüllt. Der in den Figuren 13 a - 13 c dargestellte Flüssigkeitsbehälter hat die Form einer doppelwandigen Wellrohrhülse (Fig. 13 a 3D-Ansicht, Fig. 13b Aufsicht, Fig. 13c Querschnittsansicht entlang der in Fig. 13b mit "13 c" bezeichneten Schnittlinie). Aufgrund seiner doppelwandigen Form wird der Flüssigkeitsbehälter als Doppelwandkompensator (DWK) bezeichnet. Durch das Einfüll- und Entlüftungsloch 26 wird eine Flüssigkeit mit hoher thermischer Ausdehnung in den Doppelwandkompensator 24, 25 eingefüllt und anschließend verschlossen. Die Höhe H des Doppelwandkompensators ist so ausgelegt, dass sie den Längenunterschied infolge Temperatúrausdehnung zwischen dem Ringstapel und dem Basisrohr ausgleicht mit dem Ziel, auch bei Erwärmung der Trennvorrichtung die Filterweite konstant zu halten, d. h. den Kontakt der ringförmigen Scheiben aufrecht zu erhalten. Eine für die Füllung des Doppelwandkompensators gut geeignete Flüssigkeit ist ein Mineralöl hoher thermischer Ausdehnung wie beispielsweise Dieselöl, dessen Anwesenheit bei Öl- und Gasbohrungen kein Problem darstellt.

[0128] Der Doppelwandkompensator hat gegenüber der Kompensationsbuchse der zuvor beschriebenen Ausführungsform den zusätzlichen Vorteil, dass er über eine gute Winkelbeweglichkeit verfügt und daher die Biegsamkeit der gesamten Trennvorrichtung verbessert. Eine Trennvorrichtung mit Doppelwandkompensator kann einen Krümmungsradius im Bohrloch von ca. 43,7 m, entsprechend einer Biegung von $40^\circ / 100 \text{ ft}$ bzw. $40^\circ / 30,48 \text{ m}$, ohne Beschädigung der Trennvorrichtung durchlaufen, was bei Öl- und Gasbohrungen teilweise gefordert wird. Bei der Ausführungsform mit der Kompensationsbuchse sind Biegungen von $20^\circ / 100 \text{ ft}$ bzw. $20^\circ / 30,48 \text{ m}$ möglich, entsprechend einem Krümmungsradius von 87,3 m.

[0129] Der Doppelwandkompensator ist ausreichend steif, um nicht von den Axialkräften, die durch im Betrieb der Trennvorrichtung auftretende Druckunterschiede verursacht werden, plastisch verformt zu werden. Die Trennvorrichtung behält also auch bei großen Druckunterschieden die vorab bestimmte Filterweite und damit ihre volle Filterwirkung bei. Auch bei inhomogener Druckbeaufschlagung, beispielsweise in nur einem Segment des Umfangs des Ringstapels, kann es nicht zu einer Verkipfung der Ringe kommen. Der Doppelwandkompensator hat andererseits eine gewisse Nachgiebigkeit, damit die Trennvorrichtung bei der Einführung ins Bohrloch Biegungen mitmachen kann.

[0130] Bei der Ausführungsform mit dem Doppelwandkompensator 24, 25 befindet sich an beiden Enden des Ringstapels, zwischen dem Doppelwandkompensator und dem Ringstapel, vorzugsweise jeweils eine Dichtungsbuchse 16, 17 (siehe Figuren 4 a - 4 b). Auf ihrer äußeren Umfangsfläche ist in der Dichtungsbuchse ein O-Ring 19 eingebracht. Die Dichtungsbuchse hat, wie zuvor beschrieben, die Aufgabe, das Eindringen von unter Druck stehenden Flüssigkeiten und/oder Gasen in konstruktiv bedingte Hohlräume, wie beispielsweise Fasen und Spalten, zwischen der Endkappe und dem Basisrohr und des Doppelwandkompensators 24, 25 zu verhindern. Der Doppelwandkompensator wird bei der Montage der Trennvorrichtung nach dem Ringstapel und der Dichtungsbuchse auf das Basisrohr aufgeschoben. Danach wird die Endkappe über den Flüssigkeitsbehälter geschoben und auf dem Basisrohr befestigt.

[0131] Die Figuren 5 a und 5 b zeigen die Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gemäß einer dritten und vierten bevorzugten Ausführungsform.

[0132] In einer dritten bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung (siehe Figuren 5 a - 5 b) wird als Werkstoff für das Basisrohr 1 ein metallischer Werkstoff verwendet, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient demjenigen der ringförmigen Scheiben nahe kommt. Das bedeutet, dass das Basisrohr aus einem Werkstoff hergestellt ist, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient im Temperaturbereich von 10°C bis 200°C um höchstens 10 %, vorzugsweise um höchstens 5 % abweicht vom Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs des Ringstapels im Temperaturbereich von 10°C bis 200°C .

[0133] Ein derartiger Werkstoff kann beispielsweise die Eisen-Nickel-Legierung Fe36Ni mit der Werkstoffnummer 1.3912 sein, die unter dem Handelsnamen Invar bekannt ist. Andere Handelsnamen sind Nilo alloy 36, Nilvar, NS 36, Permalloy D, Radio metal 36, Vacodil 36 und Pernifer 36. Der Wärmeausdehnungskoeffizient dieses Werkstoffes beträgt $2,6 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ und passt im Temperaturbereich von 10 bis 200°C gut zu dem Ausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs der ringförmigen Scheiben, beispielsweise zu dem der vorzugsweise eingesetzten Siliziumcarbid-Keramiken. Der Wärmeausdehnungskoeffizient dieses Werkstoffes ist über die Legierungszusammensetzung einstellbar und kann an den für den Ringstapel verwendeten Werkstoff angepasst werden. Bei dieser Ausführungsform, bei dem der Wärmeausdehnungskoeffizient des Werkstoffs des Basisrohrs an den des Werkstoffs des Ringstapels angepasst ist, sind keine weiteren Maßnahmen zum Längenausgleich infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten von Basisrohr und Ringstapel erforderlich. Somit ist es bei dieser Ausführungsform möglich, auf ein separates Kompensationselement, wie beispielsweise die Kompensationsbuchse oder den Doppelwandkompensator, zu verzichten. Es ist jedoch auch möglich, zusätzliche Kompensationselemente einzusetzen. Bei dieser Ausführungsform befinden sich am oberen und

unteren Ende des Ringstapels vorzugsweise Dichtungsbuchsen 16, 17 (siehe Figuren 5 a - 5 b). Auf ihrer äußeren Umfangsfläche ist in der Dichtungsbuchse ein O-Ring 19 eingebracht. Die Dichtungsbuchsen 16, 17 werden nach dem Ringstapel 7 auf das Basisrohr 1 aufgeschoben, anschließend werden Endkappen 5, 6 auf das Basisrohr 1 aufgeschoben und am Basisrohr befestigt.

[0134] Beispielsweise kann die erfindungsgemäße Trennvorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform (siehe Figuren 5 a - 5 b) mit einem Ringstapel 7 aus Siliziumcarbid-Keramik und einem Basisrohr 1 aus Pernifer 36 ausgeführt sein. Versuche mit einer derart aufgebauten Trennvorrichtung in einer Klimakammer haben gezeigt, dass im Bereich von 10 °C bis 200 °C weder unerwünschte Filterspaltaufweitungen zwischen den Keramikringen auftreten noch die Keramikringe durch zu hohe Druckspannungen in den Ringen brechen.

[0135] In einer vierten bevorzugten Ausführungsform (siehe Figuren 5 a - 5 b) der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung wird als Werkstoff für die ringförmigen Scheiben ein keramischer Werkstoff auf Basis von Zirkoniumdioxid (ZrO_2) eingesetzt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Zirkoniumdioxid-Keramiken ist ähnlich wie der Wärmeausdehnungskoeffizient der üblicherweise für das Basisrohr verwendeten Stahlsorten. Vorzugsweise weicht der Wärmeausdehnungskoeffizient der Zirkoniumdioxid-Keramik im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C um höchstens 10 %, weiter vorzugsweise um höchstens 5 % ab vom Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs des Basisrohrs im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C. Bei dieser Ausführungsform, bei dem der Wärmeausdehnungskoeffizient des Werkstoffs des Ringstapels 7 an den des Werkstoffs des Basisrohrs 1 angepasst ist, sind keine weiteren Maßnahmen zum Längenausgleich infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten von Basisrohr und Ringstapel erforderlich. Somit ist es bei dieser Ausführungsform möglich, auf ein separates Kompensationselement, wie beispielsweise eine Kompensationsbuchse oder den Doppelwandkompensator, zu verzichten. Es ist jedoch auch möglich, zusätzliche Kompensationselemente einzusetzen. Bei dieser Ausführungsform befinden sich am oberen und unteren Ende des Ringstapels vorzugsweise Dichtungsbuchsen 16, 17 (siehe Figuren 5 a - 5 b). Auf ihrer äußeren Umfangsfläche ist in der Dichtungsbuchse ein O-Ring 19 eingebracht. Die Dichtungsbuchsen 16, 17 werden nach dem Ringstapel 7 auf das Basisrohr 1 aufgeschoben, anschließend werden Endkappen 5, 6 auf das Basisrohr 1 aufgeschoben und am Basisrohr befestigt.

[0136] In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung wird der Ringstapel aus ringförmigen Scheiben aufgebaut, die aus verschiedenen sprödharten Werkstoffen hergestellt sind. Beispielsweise können ringförmige Scheiben aus Siliziumcarbid- und aus Zirkoniumdioxid-Keramik abwechselnd aufeinander gestapelt werden. Die Anzahl der ringförmigen Scheiben aus den verschiedenen Werkstoffen wird dabei so gewählt, dass der Ringstapel als Ganzes eine Wärmeausdehnung hat, die der des Basisrohrs entspricht. Als Werkstoff für das Basisrohr wird dabei vorzugsweise ein hinsichtlich des Wärmeausdehnungskoeffizienten entsprechend angepasster Werkstoff, beispielsweise eine Eisen-Nickel-Legierung eingesetzt.

[0137] In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gemäß Figur 3 werden in die obere und / oder in die untere Kompensationsbuchse 22, 23 über den Kreisumfang gleichmäßig verteilte Bohrungen angebracht, in die Spiralfedern 27 eingesetzt werden (siehe Figuren 14 a - 14 c und 15 a - 15 c). Die Spiralfedern sind gegen die Dichtungsbuchse 16, 17 gedrückt. Es werden 3 bis 12, vorzugsweise 6 bis 9 und besonders bevorzugt 8 Spiralfedern eingesetzt. Die Bohrungen können als Sacklochbohrungen ausgeführt sein (siehe Figurenblock 14; Fig. 14 a 3D-Ansicht, Fig. 14b Aufsicht, Fig. 14 c Querschnittsansicht entlang der in Fig. 14b mit "14 c" bezeichneten Schnittlinie) oder auch als durchgehende Bohrungen (siehe Figurenblock 15; Fig. 15 a 3D-Ansicht, Fig. 15 b Aufsicht, Fig. 15 c Querschnittsansicht entlang der in Fig. 15 b mit "15 c" bezeichneten Schnittlinie).

[0138] Die Federkonstante der Spiralfedern kann beispielsweise 10 N/mm betragen. Die Spiralfedern werden vorgespannt, indem sie bis auf die Tiefe der Bohrung zusammengedrückt werden, so dass die Spiralfedern bündig mit der Planseite der Kompensationsbuchse abschließen. Die Tiefe der Bohrungen wird so gewählt, dass die Spiralfedern im vorgespannten Zustand eine Gesamtkraft von mindestens 500 N bewirken.

[0139] Wenn beispielsweise 8 Spiralfedern mit einer Länge von 25 mm und einen Durchmesser von 7,5 mm eingesetzt werden, so sollte jede Feder eine Kraft von 62,5 N (= 500 N/8) liefern. Bei einer Federkonstante von 10 N/mm muss die Feder dazu auf 18,75 mm (= 25 - 6,25 mm) vorgespannt werden. Die in der Kompensationsbuchse für die Spiralfedern eingebrachten Bohrungen müssen also 18,75 mm tief sein. Als Durchmesser für die Bohrungen werden hier 8,0 mm gewählt.

[0140] Um eine lokale Spannungsüberhöhung an der Aufstandsfläche der Feder zu vermeiden, wird bei der Ausführung mit Sacklochbohrungen am Grunde der unten ebenen Bohrung eine Metallscheibe der Dicke ≥ 2 mm eingelegt, deren Dicke zur Tiefe der Bohrung hinzu zu rechnen ist.

[0141] Im Vergleich zu den im Stand der Technik eingesetzten Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels ergibt sich bei den in die Kompensationsbuchse eingelassenen Spiralfedern der Vorteil, dass sich die Federn nur einen gewissen Weg ausdehnen können, aber durch Unterstützung bzw. den Anschlag an der Kompensationsbuchse wird verhindert, dass die Federn zusammengedrückt werden können. Daher kann auch ein von innen oder außen wirkender Flüssigkeitsdruck die Ringe nicht auseinander drücken, wie es bei den Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels möglich ist.

[0142] Die in die Kompensationsbuchse eingebrachten Spiralfedern bewirken eine zusätzliche Kompensation der unterschiedlichen Längenänderungen von Ringstapel 7 und Basisrohr 1. Im Temperaturbereich von +15 °C bis -30 °C wird durch die in die Kompensationsbuchse eingebrachten Spiralfedern sichergestellt, dass die ringförmigen Scheiben im Ringstapel spielfrei sind und somit nicht "klappern" können.

[0143] In einer alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung wird der Ringstapel aus zwei unterschiedlich geformten ringförmigen Scheiben aufgebaut, die abwechselnd gestapelt werden. Die erste Form der ringförmigen Scheiben weist dabei auf beiden Seiten Abstandshalter mit ebener Kontaktfläche auf, bei der zweiten Form der ringförmigen Scheiben handelt es sich um einfache beidseitig plane Ringe mit dem gleichen Innen- und Außendurchmesser wie bei der ersten Form. Die Ober- und Unterseite der zweiten Form der ringförmigen Scheiben ist glatt und eben, im rechten Winkel zur Scheibenachse ausgebildet. Die Abstandshalter auf der ersten Form der ringförmigen Scheiben sind auf deren Ober- und Unterseite jeweils gleichartig ausgebildet. Die Anzahl, Art, Anordnung und Abmessungen der Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben der ersten Form werden dabei so gewählt, dass sie der Anzahl, Art, Anordnung und Abmessungen bei einer der oben aufgeführten Ausführungsformen entsprechen. Die Ausführung der Ober- und Unterseite der ringförmigen Scheiben der ersten Form entspricht in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern der Ausführung der Oberseite der ringförmigen Scheiben bei einer der oben aufgeführten Ausführungsformen, d. h. die Ober- und Unterseite der ringförmigen Scheiben der ersten Form ist in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern vorzugsweise nach innen oder außen abfallend. Besonders bevorzugt ist die Ober- und Unterseite der ringförmigen Scheiben in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern nach innen abfallend. Die unterste und die oberste der ringförmigen Scheiben des Ringstapels sind dabei vorzugsweise aus der zweiten Form gearbeitet, d. h. es sind beidseitig plane Ringe ohne Abstandshalter.

[0144] Die alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung umfasst somit folgende werkstoffgerecht konstruierte, aufeinander abgestimmte Grundelemente:

- einen Ringstapel 32 (siehe Figuren 17 a - 17 f) aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben, wobei die Oberseite 29 und die Unterseite 30 jeder zweiten ringförmigen Scheibe 28 (siehe Figuren 16 a - 16 g) im Ringstapel mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter 10 aufweist. Die jeweils benachbarten ringförmigen Scheiben 31 weisen keine Abstandshalter auf, sondern sind beidseitig plan. Die Kontaktfläche 11 der Abstandshalter ist eben, so dass die Abstandshalter 10 einen flächenförmigen Kontakt zur benachbarten ringförmigen Scheibe 31 haben. Die ringförmigen Scheiben sind so gestapelt und fixiert, dass zwischen den einzelnen Scheiben jeweils ein Trennspalt 14 (siehe Figuren 17 b und 17 d) zur Abtrennung von Feststoffpartikeln gebildet wird. Die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben ist am inneren und äußeren Umfang kreisförmig. Die ringförmigen Scheiben weisen daher keine festigkeitsmindernden Nuten oder Aussparungen an ihrer inneren und äußeren Umfangsfläche auf. Durch die aus konstruktiver Sicht ideale Kreisform werden Spannungskonzentrationen infolge Druckbelastung weitgehend vermieden. Der Werkstoff der ringförmigen Scheiben, sowohl derjenigen mit Abstandshaltern auf beiden Seiten als auch derjenigen ohne Abstandshalter, entspricht dem sprödharten Werkstoff, wie er für die zuvor beschriebenen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung eingesetzt wird;
- ein im Inneren des Ringstapels 32 befindliches perforiertes Rohr 1 (siehe Figuren 1, 2 a - 2 b, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b), auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben gestapelt sind. Das im Inneren des Ringstapels befindliche perforierte Rohr wird auch als Basisrohr bezeichnet;
- wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche des im Inneren des Ringstapels 32 befindlichen perforierten Rohres 1 (Basisrohr) achsparallel angebrachte Bänder 15 (siehe Figuren 10 und 11), auf die die ringförmigen Scheiben aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben auf dem perforierten Rohr zentriert werden; und
- zwei Endkappen 5, 6 am oberen und unteren Ende des Ringstapels 32 (siehe Figuren 1, 2 a - 2 b, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b), wobei die Endkappen 5, 6 fest mit dem perforierten Rohr 1 verbunden sind.

[0145] In den Figuren 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b ist die erfindungsgemäße Trennvorrichtung mit dem Ringstapel 7 dargestellt, in der alternativen Ausführungsform der Trennvorrichtung wird in den Figuren 3 a - 3 b, 4 a - 4 b und 5 a - 5 b der Ringstapel 7 durch den Ringstapel 32 ersetzt. Alle übrigen Konstruktionselemente bleiben unverändert.

[0146] Figur 16 a zeigt eine Aufsicht einer ringförmigen Scheibe 28 mit 15 Abstandshaltern auf der Ober- und Unterseite, die im Ringstapel 32 jeweils als jede zweite ringförmige Scheibe gestapelt wird, abwechselnd mit den ringförmigen Scheiben 31. Figur 16 b zeigt eine Querschnittsansicht entlang der in Figur 16 a mit "16 b" bezeichneten Schnittlinie, die Figuren 16 c - 16 e zeigen vergrößerte Ausschnitte der Querschnittsansicht der Figur 16 b. Figur 16 f zeigt eine 3D-Darstellung entlang der in Figur 16 a mit "16 f" bezeichneten Schnittlinie, Figur 16 g zeigt eine 3D-Ansicht der ringförmigen Scheibe. Die Figuren 17 a-17 f zeigen schematisch einen aus ringförmigen Scheiben 28 der Figuren 16 a - 16 g sowie

aus ringförmigen Scheiben 31 aufgebauten Ringstapel 32. Figur 7 a zeigt eine Aufsicht des Ringstapels, Figur 7 b zeigt eine Querschnittsansicht entlang der in Figur 7 a mit "7 b" bezeichneten Schnittlinie. Die Figuren 7 c und 7 d zeigen vergrößerte Ausschnitte der Querschnittsansicht von Figur 7 b. Figur 7 e zeigt eine 3D-Ansicht des Ringstapels, Figur 7 f zeigt eine 3D-Darstellung entlang der in Figur 7 a mit "7 f" bezeichneten Schnittlinie.

[0147] Abgesehen davon, dass bei der alternativen Ausführungsform zwei unterschiedliche Formen sprödharter ringförmiger Scheiben 28, 31 alternierend gestapelt werden, entsprechen die weiteren Details dieser Ausführungsform denjenigen der zuvor beschriebenen Ausführungsformen, also beispielsweise die Abmessungen der sprödharten ringförmigen Scheiben 28, 31, die Ausgestaltung des Basisrohrs 1, der Zentrierbänder 15, der Dichtungsbuchsen 16, 17 und der Endkappen 5, 6. Wie bereits ausgeführt, entsprechen die Abmessungen, Ausgestaltung, Anzahl und Anordnung der Abstandshalter 10 den Abmessungen, der Ausgestaltung, Anzahl und Anordnung der Abstandshalter bei einer der oben aufgeführten Ausführungsformen. Die Ausgestaltung der Ober- und Unterseite 29, 30 der ersten Form der ringförmigen Scheiben 28 mit den Abstandshaltern auf der Ober- und Unterseite (siehe Figuren 16 a - 16 g) entspricht in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern (siehe Figur 16 d) der Ausgestaltung der Oberseite der ringförmigen Scheiben bei der Ausführungsform mit Abstandshaltern nur auf der Oberseite, d. h. die Ober- und Unterseite 29, 30 der ersten Form der ringförmigen Scheiben 28 mit den Abstandshaltern auf der Ober- und Unterseite ist nach innen oder außen abfallend, vorzugsweise nach innen abfallend.

[0148] Auch bei dieser Ausführungsform können die ringförmigen Scheiben in beliebiger und zufälliger Orientierung aufeinandergestapelt werden; es ist aber auch bei dieser Ausführungsform möglich, die Abstandshalter im Ringstapel jeweils fluchtend übereinander zu positionieren, wie in Figur 17 f dargestellt. Auch bei dieser Ausführungsform können, wie zuvor beschrieben, Zwischenelemente zum Einsatz kommen. Die Kombination dieser alternativen Ausführungsform mit allen zuvor beschriebenen Ausführungsformen ist ebenfalls möglich. So können beispielsweise, wie zuvor beschrieben, Kompensationselemente zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung von Basisrohr und Ringstapel eingesetzt werden, wie beispielsweise Kompensationsbuchsen oder Doppelwandkompensatoren am oberen und/oder am unteren Ende des Ringstapels. Es ist auch möglich, bei dieser alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung als Werkstoff für das Basisrohr einen metallischen Werkstoff zu verwenden, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient demjenigen der ringförmigen Scheiben nahe kommt. Ebenso ist es möglich, als Werkstoff für die ringförmigen Scheiben einen keramischen Werkstoff auf Basis von Zirkoniumdioxid (ZrO_2) einzusetzen.

[0149] In der Filterwirkung ist diese alternative Ausführungsform mit den zuvor beschriebenen Ausführungsformen vergleichbar, birgt aber Vorteile bei der Herstellung der ringförmigen Scheiben. Für die beidseitige Läppplanbearbeitung der ringförmigen Scheiben ist es günstig, wenn die abzutragenden Flächen an der Ober- und Unterseite gleich groß sind, da dann der Läppabtrag auf beiden Seiten gleich ist und die Höhe der flächigen Abstandshalter einfacher genau zu steuern ist. Sind die abzutragenden Flächen an Oberseite und Unterseite unterschiedlich, ergibt sich ein unsymmetrischer und somit schwieriger zu steuernder Materialabtrag. Entsprechendes gilt auch für die beidseitig planen ringförmigen Scheiben. Diese Ringform ist einfach zu bearbeiten und ggf. auftretende Dickentoleranzen der ringförmigen Scheiben haben keine Auswirkung auf die absolute Größe der Filterweite. Bei dieser Ausführungsform der Trennvorrichtung lassen sich somit noch engere Toleranzen bei der Filterweite einstellen.

[0150] Die erfindungsgemäße Trennvorrichtung wird in Förderbohrungen in Öl- und/oder Gasreservoirs zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Volumenströmen von Erdöl und/oder Erdgas eingesetzt. Die Trennvorrichtung kann auch für andere Filterprozesse zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen außerhalb von Förderbohrungen eingesetzt werden, bei denen eine hohe Abrasionsbeständigkeit und hohe Lebensdauer der Trennvorrichtung erforderlich sind, wie beispielsweise für Filterprozesse in beweglichen und in ortsfesten Speicheranlagen für Flüssigkeiten und/oder Gase oder für Filterprozesse in natürlichen Gewässern wie etwa bei der Filterung von Meerwasser. Die erfindungsgemäße Trennvorrichtung eignet sich in besonderer Weise für die Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten oder Gasen, insbesondere aus Erdöl, Erdgas und Wasser, in Förderbohrungen, in denen hohe und höchste Strömungsgeschwindigkeiten und Fördervolumina und somit hohe Druckdifferenzen zwischen Einstrom- und Ausstromseite der Trennvorrichtung auftreten.

Beispiele

Beispiel 1: Berechnung der Höhe der Kompensationsbuchse

[0151] Eine erfindungsgemäße Trennvorrichtung gemäß den Figuren 3 a - 3 b wird in ein Bohrloch eingesetzt. Am Ort des Einsatzes der Trennvorrichtung herrscht eine Temperatur von 150 °C. Als Werkstoff für das Basisrohr wird Stahl L80 verwendet. Als Werkstoff für den Ringstapel wird gesintertes Siliziumcarbid (SSiC; 3M™ Siliziumcarbid Typ F, ESK Ceramics GmbH & Co. KG) eingesetzt. Zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung von Basisrohr und Ringstapel wird an einem oder an beiden Enden des Ringstapels eine Kompensationsbuchse aus PTFE (Polytetrafluorethylen) eingesetzt. Durch die PTFE-Kompensationsbuchse wird verhindert, dass sich bei den höheren Temperaturen am Einsatzort Spalte zwischen den ringförmigen Scheiben bilden, die größer sind als die gewünschte Filterweite.

[0152] Die Höhe H_K der Kompensationsbuchse aus PTFE wird gemäß der Gleichung

$$H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$$

berechnet.

[0153] Dabei sind

ΔL Unterschied der Längenänderung von Basisrohr und Ringstapel, im Temperaturbereich der Anwendung (hier 20 - 150 °C)

α Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) des Werkstoffs der Kompensationsbuchse im Temperaturbereich der Anwendung (hier 20 - 150 °C)

ΔT Temperaturdifferenz der Anwendung (hier 130 K bei Anwendungsbereich 20 - 150 °C)

[0154] Die Höhe des Ringstapels beträgt 1000 mm. Der Wärmeausdehnungskoeffizient α_{Stahl} des für das Basisrohr eingesetzten Stahls L80 beträgt $10,5 * 10^{-6} / \text{K}$, die Längenausdehnung des Basisrohrs $\Delta L_{\text{Basisrohr}}$ aus Stahl beträgt im Temperaturbereich von 20 bis 150 °C (gemäß $\Delta L_{\text{Basisrohr}} = L_{\text{Basisrohr}} * \alpha_{\text{Stahl}} * \Delta T$) $1000 \text{ mm} * 10,5 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K}$, somit 1,36 mm. Der Wärmeausdehnungskoeffizient α_{SSiC} des für den Ringstapel eingesetzten SSiC-Werkstoffs beträgt $2,8 * 10^{-6} / \text{K}$, die Längenausdehnung des Ringstapels aus Siliziumcarbid $\Delta L_{\text{Ringstapel}}$ beträgt im Temperaturbereich von 20 bis 150 °C (gemäß $\Delta L_{\text{Ringstapel}} = L_{\text{Ringstapel}} * \alpha_{\text{SSiC}} * \Delta T$) $1000 \text{ mm} * 2,8 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K}$, somit 0,36 mm. Die Differenz der Längenausdehnung von Ringstapel und Basisrohr beträgt somit $1,36 \text{ mm} - 0,36 \text{ mm} = 1,00 \text{ mm}$. Um die ringförmigen Scheiben spielfrei axial zu führen, muss die Kompensationsbuchse aus PTFE eine Längenausdehnung von 1,00 mm haben.

[0155] Der Wärmeausdehnungskoeffizient α von PTFE beträgt $125 * 10^{-6} / \text{K}$. Die Höhe der PTFE-Kompensationsbuchse kann damit gemäß der Gleichung $H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$ berechnet werden als $1,00 \text{ mm} / (125 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K})$, somit 61,54 mm. Eine PTFE-Kompensationsbuchse, die bei $\Delta T = 130 \text{ K}$ um 1,00 mm expandiert, muss somit eine Länge H_K von 61,54 mm haben. Wenn die PTFE-Kompensationsbuchsen an beiden Enden des Ringstapels angeordnet werden, halbiert sich die Länge auf 30,77 mm.

Beispiel 2: Berechnung der Höhe der Kompensationsbuchse

[0156] Eine erfindungsgemäße Trennvorrichtung gemäß den Figuren 3 a - 3 b wird bei einer Temperatur von 200 °C eingesetzt. Die Höhe des Ringstapels beträgt 1500 mm. Als Werkstoff für das Basisrohr wird Stahl 1.4563 (Incoloy® Alloy 028) verwendet. Als Werkstoff für den Ringstapel wird gesintertes Siliziumcarbid (SSiC; 3M™ Siliziumcarbid Typ F, ESK Ceramics GmbH & Co. KG) eingesetzt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient α_{Stahl} des für das Basisrohr eingesetzten Werkstoffs beträgt $15,2 * 10^{-6} / \text{K}$, die Längenausdehnung des Basisrohrs $\Delta L_{\text{Basisrohr}}$ beträgt im Temperaturbereich von 20 bis 200 °C (gemäß $\Delta L_{\text{Basisrohr}} = L_{\text{Basisrohr}} * \alpha_{\text{Stahl}} * \Delta T$) $1500 \text{ mm} * 15,2 * 10^{-6} / \text{K} * 180 \text{ K}$, somit 4,1 mm. Der Wärmeausdehnungskoeffizient α_{SSiC} des für den Ringstapel eingesetzten SSiC-Werkstoffs beträgt $2,8 * 10^{-6} / \text{K}$, die Längenausdehnung des Ringstapels aus Siliziumcarbid $\Delta L_{\text{Ringstapel}}$ beträgt im Temperaturbereich von 20 bis 200 °C (gemäß $\Delta L_{\text{Ringstapel}} = L_{\text{Ringstapel}} * \alpha_{\text{SSiC}} * \Delta T$) $1500 \text{ mm} * 2,8 * 10^{-6} / \text{K} * 180 \text{ K}$, somit 0,76 mm. Die Differenz der Längenausdehnung von Ringstapel und Basisrohr beträgt somit 3,34 mm. Um die ringförmigen Scheiben spielfrei axial zu führen, muss die Kompensationsbuchse aus PTFE eine Längenausdehnung von 3,34 mm haben.

[0157] Der Wärmeausdehnungskoeffizient α von PTFE beträgt $125 * 10^{-6} / \text{K}$. Die Länge der PTFE-Kompensationsbuchse kann damit gemäß der Gleichung $H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$ berechnet werden als $3,34 \text{ mm} / (125 * 10^{-6} / \text{K} * 180 \text{ K})$, somit 148,44 mm. Eine PTFE-Kompensationsbuchse, die bei $\Delta T = 180 \text{ K}$ um 3,34 mm expandiert, muss somit eine Länge H_K von 148,44 mm haben. Wenn die PTFE-Kompensationsbuchsen an beiden Enden des Ringstapels angeordnet werden, halbiert sich die Länge auf 74,22 mm.

Beispiele 3 bis 8

[0158] Zum Nachweis der höheren Axialdruckfestigkeit des Ringstapels der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung werden jeweils 10 ringförmige Scheiben aus gesintertem Siliziumcarbid (SSiC; 3M™ Siliziumcarbid Typ F, ESK Ceramics GmbH & Co. KG) aufeinander gestapelt und diese in einer Universalprüfmaschine ZWICK 1474 TestXpert II einer Druckkraftrampe unterworfen, bis der Bruch von einem oder mehreren Ringen eintritt oder die Maximalkraft, d. h. die Leistungsgrenze der Prüfmaschine, von 100 kN erreicht wird.

[0159] Für Beispiele Nr. 3 bis 6 werden ringförmige Scheiben mit Abstandshaltern mit ebener Kontaktfläche, wie in den Figuren 8 a - 8 g dargestellt, eingesetzt; bei den Beispielen Nr. 3, 4 und 6 werden anstelle der 24 Abstandshalter

gleichmäßig verteilte 16 bzw. 3 Abstandshalter, in der Ausführung wie in den Figuren 8 a - 8 g dargestellt, auf den ringförmigen Scheiben angebracht (siehe Tabelle 1). Für die Beispiele Nr. 7 und 8 werden ringförmige Scheiben mit kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:

Beispiel Nr.	Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben [mm]	Zahl der Abstandshalter	Art der Abstandshalter	Prüfkraft [kN]	Ergebnis
3	103	16	mit ebener Kontaktfläche	80	Bruch
4	103	3	Mit ebener Kontaktfläche	73	Bruch
5	170	24	mit ebener Kontaktfläche	> 100	kein Bruch*
6	170	3	mit ebener Kontaktfläche	96	Bruch
7	103	3	kugelabschnittsförmig	6,5	Bruch
8	170	3	kugelabschnittsförmig	3,3	Bruch
* Maximalkraft der Prüfmaschine reicht nicht aus, um die Ringe zu zerdrücken.					

[0160] Die Versuchsergebnisse zeigen, dass ringförmige Scheiben aus Siliziumcarbid mit Abstandshaltern mit ebener Kontaktfläche, wie sie in der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung verwendet werden, eine mindestens zehnfach höhere Axialkraft aushalten als solche mit kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern.

Beispiele 9 bis 14: Test auf Innen- und Außendruckbeständigkeit

[0161] In einer Hochdruckkammer werden mit einer erfindungsgemäßen Trennvorrichtung sowie mit Referenz-Trennvorrichtungen Versuche zur Innendruckbeständigkeit (burst pressure test), d. h. Beaufschlagung der Trennvorrichtung mit Innendruck, und Versuche zur Außendruckbeständigkeit (collapse pressure test), d. h. Beaufschlagung der Trennvorrichtung mit Außendruck, durchgeführt. Der Versuchsaufbau und die Durchführung entsprechen dem in ISO 17824, First Edition, 2009-08-15, in Annex A (Collapse pressure test) und B (Burst pressure test) gezeigten Aufbau und Verfahren.

[0162] Die Hochdruckkammer hat einen Innendurchmesser von 80 mm und eine nutzbare Länge von 500 mm. Der Flüssigkeitsdruck wird mit einer druckluftangetriebenen Kolbenpumpe (Typ GRACO X-treme 70, Hersteller Graco Inc., Russell J. Gray Technical Center, 88-11th Avenue Northeast, Minneapolis, Minnesota 55413, U.S.A.) aufgebracht, welche 500 bar (entsprechend 50 MPa bzw. 7250 psi) erreicht.

[0163] Als Druckübertragungsmedium wird eine viskose Mischung aus Methylzellulose, Wasser und Kalksteinmehl unterschiedlicher Körnungen gemäß ISO 17824 Annex A.4 eingesetzt (fluid loss control pill). Aufgabe des Druckübertragungsmediums ist es, die Trennspalte (Filterspalte) zu verstopfen und so abzudichten, dass eine Druckdifferenz aufgebaut werden kann.

[0164] Bei den Beispielen Nr. 9 bis 14 beträgt der Außendurchmesser der ringförmigen Scheiben der eingesetzten Trennvorrichtungen 58 mm, der Innendurchmesser 42 mm und die nutzbare Länge beträgt 350 mm. Die nutzbare Länge entspricht der Höhe des Ringstapels. Die Filterweite beträgt 250 µm. Der Werkstoff der ringförmigen Scheiben ist ein einphasig gesintertes Siliziumcarbid mit einer Dichte > 3,10 g/cm³ (SSiC; 3M™ Siliziumcarbid Typ F, Hersteller: ESK Ceramics GmbH & Co. KG). Das Basisrohr der Trennvorrichtung ist aus Stahl 1.4571 gefertigt. Der Außendurchmesser des Basisrohrs beträgt 38 mm.

[0165] Die Beispiele Nr. 9 und 12 sind erfindungsgemäß, die Beispiele Nr. 10 und 11 sowie 13 und 14 sind Referenzbeispiele.

[0166] Für die erfindungsgemäßen Beispiele Nr. 9 und 12 wird eine Trennvorrichtung gemäß den Figuren 5 a - 5 b eingesetzt. Die Ausführung der ringförmigen Scheiben entspricht den Figuren 8 a - 8 g, jedoch hat die ringförmige Scheibe anstelle der dort gezeigten 24 Abstandshalter hier nur 8 gleichmäßig verteilte Abstandshalter. An der inneren und äußeren Umfangsfläche weisen die ringförmigen Scheiben keine Nuten oder Aussparungen auf. Der Ringstapel ist nicht beidseitig mit Druckfedern axial verspannt, sondern beidseitig mit je einer Endkappe auf dem Basisrohr befestigt. Die Vorspannung im Ringstapel in axialer Richtung beträgt ≤ 2 MPa, bezogen auf die axial projizierte Oberfläche der ringförmigen Scheiben. Auf der Mantelfläche des Basisrohrs sind achsparallel im Abstand von jeweils 120° zueinander drei Federstahlbänder befestigt zur Zentrierung des Ringstapels auf dem Basisrohr (siehe Figur 11). Zwischen der Endkappe und dem Ringstapel befindet sich gemäß den Figuren 5 a - 5 b auf beiden Seiten des Ringstapels jeweils eine Dichtungsbuchse. Die Dichtungsbuchsen sind aus Stahl.

[0167] Für die Referenzbeispiele Nr. 10 und 13 wird eine Trennvorrichtung eingesetzt, bei der die ringförmigen Scheiben mit 3 kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern gemäß Figur 2 der WO 2011/120539 A1 versehen sind. An der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben befinden sich 3 über den Kreisumfang gleichmäßig verteilte Nuten. Der Ringstapel ist beidseitig mit Druckfedern axial verspannt und beidseitig mit je einer Endkappe auf dem Basisrohr befestigt.

[0168] Für die Referenzbeispiele Nr. 11 und 14 wird eine Trennvorrichtung eingesetzt, bei der die ringförmigen Scheiben mit 3 kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern gemäß Figur 2 der WO 2011/120539 A1 versehen sind. An der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben befinden sich 3 über den Kreisumfang gleichmäßig verteilte Nuten. Der Ringstapel wird nicht mit Druckfedern verspannt, sondern beidseitig mit je einer Endkappe fixiert. Zwischen dem Ringstapel und den Endkappen befindet sich auf beiden Seiten des Ringstapels je eine Dichtungsbuchse aus Stahl, wie sie in Figur 5 gezeigt ist.

[0169] Die Ergebnisse der Versuche zur Innendruckbeständigkeit zeigt Tabelle 2, die Ergebnisse der Versuche zur Außendruckbeständigkeit zeigt Tabelle 3.

Tabelle 2: Ergebnisse der Versuche zur Innendruckbeständigkeit

Beispiel Nr.	Kurzbeschreibung der getesteten Trennvorrichtung	Maximaldruck [bar]
9	8 Abstandshalter mit ebener Kontaktfläche auf den ringförmigen Scheiben, keine Nuten an der inneren und äußeren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, keine Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Befestigung des Ringstapels mit Endkappen auf dem Basisrohr, Dichtungsbuchsen aus Stahl auf beiden Seiten des Ringstapels, Zentrierung mit Federbandstahl, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	143 (Bruch)
10 (Referenzbeispiel)	3 kugelabschnittsförmige Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben, 3 Nuten an der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, an beiden Enden des Ringstapels Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	19 (Bruch)
11 (Referenzbeispiel)	3 kugelabschnittsförmige Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben, 3 Nuten an der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, keine Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Befestigung des Ringstapels mit Endkappen auf dem Basisrohr, Dichtungsbuchsen aus Stahl auf beiden Seiten des Ringstapels, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	22 (Bruch)

[0170] Als Versagenskriterium beim Versuch zur Innendruckbeständigkeit wird der Druck definiert, bei dem der Druck schlagartig abfällt (Maximaldruck). Dies wird je nach Aufbau der Trennvorrichtung durch Bruch eines Keramikringes oder durch Nachgeben der Federn oder beides und damit Öffnen des Filterspaltes verursacht. Wenn der Druck schlagartig abfällt, lässt die Trennvorrichtung gröbere Partikel durch als sie der Filterweite entsprechen (loss of sand control).

[0171] Tabelle 3: Ergebnisse der Versuche zur Außendruckbeständigkeit

Beispiel Nr.	Kurzbeschreibung der getesteten Trennvorrichtung	Maximaldruck [bar]
12	8 Abstandshalter mit ebener Kontaktfläche auf den ringförmigen Scheiben, keine Nuten an der inneren und äußeren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, keine Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Befestigung des Ringstapels mit Endkappen auf dem Basisrohr, Dichtungsbuchsen aus Stahl auf beiden Seiten des Ringstapels, Zentrierung mit Federbandstahl, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	> 500 (kein Bruch)
13 (Referenzbeispiel)	3 kugelabschnittsförmige Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben, 3 Nuten an der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, an beiden Enden des Ringstapels Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	123 (Bruch)
14 (Referenzbeispiel)	3 kugelabschnittsförmige Abstandshalter auf den ringförmigen Scheiben, 3 Nuten an der inneren Umfangsfläche der ringförmigen Scheiben, keine Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels, Befestigung des Ringstapels mit Endkappen auf dem Basisrohr, Dichtungsbuchsen aus Stahl auf beiden Seiten des Ringstapels, Basisrohr aus Stahl 1.4571, Schutzkäfig	305 (Bruch)

[0172] Als Versagenskriterium beim Versuch zur Außendruckbeständigkeit wird der Druck definiert, bei dem der Druck schlagartig abfällt (Maximaldruck). Dies wird je nach Aufbau der Trennvorrichtung durch Bruch eines Keramikringes oder durch Nachgeben der Federn oder beides und damit Öffnen des Filterspaltes verursacht. Wenn der Druck schlagartig abfällt, lässt die Trennvorrichtung gröbere Partikel durch als sie der Filterweite entsprechen (loss of sand control).

[0173] Beim erfindungsgemäßen Beispiel Nr. 12 wurde der Maximaldruck der Prüfeinrichtung erreicht, ohne dass es zum Versagen der Trennvorrichtung kam.

[0174] Die Versuchsergebnisse zeigen die deutlich höhere Druckfestigkeit der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gegenüber der Ausführung mit kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern auf den ringförmigen Scheiben und gegenüber der Verspannung des Ringstapels mit Druckfedern.

Beispiele 15 bis 19

[0175] Für weitere Versuche wird eine größere Hochdruckkammer gebaut, die größer als die für die Beispiele Nr. 9 bis 14 verwendete ist. Die größere Hochdruckkammer hat einen Innendurchmesser von 203 mm (8 inch), eine nutzbare Länge von 1200 mm (4 ft) und ist bis ca. 550 bar (55 MPa, 7.975 psi) belastbar.

[0176] In dieser Hochdruckkammer werden mit erfindungsgemäßen Trennvorrichtungen sowie mit Referenz-Trennvorrichtungen Versuche zur Innendruckbeständigkeit (burst pressure test), d. h. Beaufschlagung der Trennvorrichtung mit Innendruck, und Versuche zur Außendruckbeständigkeit (collapse pressure test), d. h. Beaufschlagung der Trennvorrichtung mit Außendruck, durchgeführt. Der Versuchsaufbau und die Durchführung entsprechen dem in ISO 17824, First Edition, 2009-08-15, in Annex A (Collapse pressure test) und B (Burst pressure test) gezeigten Aufbau und Verfahren. Die in dieser Hochdruckkammer durchgeführten Versuche werden mit Trennvorrichtungen durchgeführt, deren Durchmesser den technisch relevanten Durchmessern entspricht.

[0177] Als Druckübertragungsmedium wird eine viskose Mischung aus Methylzellulose, Wasser und Kalksteinmehl unterschiedlicher Körnungen gemäß ISO 17824 Annex A.4 eingesetzt (fluid loss control pill). Aufgabe des Druckübertragungsmediums ist es, die Filterspalte zu verstopfen und so abzudichten, dass eine Druckdifferenz aufgebaut werden kann.

[0178] Für die Versuche werden verschiedene Trennvorrichtungen eingesetzt, bei denen der Außendurchmesser der

ringförmigen Scheiben und des Basisrohrs variiert wird (siehe Tabelle 4). Die Trennvorrichtungen werden mit einem Basisrohr aus Stahl L80Cr13 und einem Ringstapel aus jeweils 80 ringförmigen Scheiben aus gesinterter Siliziumcarbid-Keramik (SSiC; 3M™ Siliziumcarbid Typ F, Hersteller: ESK Ceramics GmbH & Co. KG) aufgebaut.

[0179] Die wirksame Länge der Trennvorrichtungen, d. h. die Höhe des Ringstapels, beträgt 500 mm. Die Filterweite beträgt 250 µm. Der Durchmesser der Basisrohre beträgt 59,6 mm (2⅞ Zoll) bei den Beispielen Nr. 15 und 18, 88,9 mm (3½ Zoll) bei Beispiel Nr. 16 und 139,7 mm (5½ Zoll) bei den Beispielen Nr. 17 und 19.

[0180] Die Beispiele Nr. 15 bis 17 sind erfindungsgemäß, die Beispiele Nr. 18 und 19 sind Referenzbeispiele.

[0181] Die Ausführung der Trennvorrichtung bei den Beispielen Nr. 15 bis 17 erfolgt gemäß den Figuren 3 a - 3 b. Die ringförmigen Scheiben bei Beispiel Nr. 17 haben 24 Abstandshalter mit ebener Kontaktfläche gemäß den Figuren 8 a - 8 g. Die Ausführung der ringförmigen Scheiben bei den Beispielen Nr. 15 und 16 entspricht der in den Figuren 8 a - 8 g gezeigten Ausführung, jedoch haben die ringförmigen Scheiben anstelle der dort gezeigten 24 Abstandshalter hier nur 16 (Beispiel Nr. 15) bzw. 18 (Beispiel Nr. 16) gleichmäßig verteilte Abstandshalter auf der Oberseite der ringförmigen Scheiben. Die Trennvorrichtungen der Beispiele Nr. 15 bis 17 werden gemäß den Figuren 3 a - 3 b mit drei Federstahlbändern zur Zentrierung des Ringstapels (gemäß Figur 11), jeweils einer Dichtungsbuchse an beiden Enden des Ringstapels, jeweils einer Endkappe an beiden Enden des Ringstapels sowie mit zwei zwischen Dichtungsbuchsen und Endkappen befindlichen Kompensationsbuchsen aus PTFE (gemäß den Figuren 12 a - 12 c) aufgebaut. Die Länge der PTFE-Kompensationsbuchsen beträgt 16 mm.

[0182] Für die Beispiele Nr. 18 und 19 (Referenzbeispiele) werden Trennvorrichtungen mit ringförmigen Scheiben mit kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern gemäß Figur 2 der WO 2011/120539 A1 eingesetzt. Bei diesen beiden Beispielen werden an beiden Enden des Ringstapels Druckfedern zur Verspannung des Ringstapels eingesetzt.

[0183] Die Ergebnisse der Versuche zur Innendruckbeständigkeit und zur Außendruckbeständigkeit zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Ergebnisse der Versuche zur Innen- und Außendruckbeständigkeit

Beispiel Nr.	Durchmesser Basisrohr [inch]	Aussendurchmesser der ringförmigen Scheiben [mm]	Art der Abstandshalter /Zahl der Abstandshalter	Maximaldruck beim Versuch zur Innendruckbeständigkeit	Maximaldruck beim Versuch zur Außendruckbeständigkeit
15	2 ⁷ / ₈	99	mit ebener Kontaktfläche /16	120 bar (1740 psi), Bruch eines Ringes	bis 500 bar (7250 psi) kein Versagen
16	3 ¹ / ₂	115	mit ebener Kontaktfläche /18	121 bar (1755 psi), Bruch eines Ringes	bis 500 bar (7250 psi) kein Versagen
17	5 ¹ / ₂	170	mit ebener Kontaktfläche /24	136 bar (1972 psi), Bruch eines Ringes	bis 500 bar (7250 psi) kein Versagen
18 (Referenzbeispiel)	2 ⁷ / ₈	99	kugelkalottenförmig /3	19,5 bar (282 psi), Bruch mehrerer Ringe	53 bar (782 psi), Bruch mehrerer Ringe
19 (Referenzbeispiel)	5 ¹ / ₂	170	kugelkalottenförmig /3	19,8 bar (287 psi), Bruch mehrerer Ringe	32 bar (456 psi), Bruch mehrerer Ringe

[0184] Als Versagenskriterium bei den Versuchen zur Innen- und Außendruckbeständigkeit wird der Druck definiert, bei dem der Druck schlagartig abfällt (Maximaldruck). Dies wird je nach Aufbau der Trennvorrichtung durch Bruch eines Keramikringes oder durch Nachgeben der Federn oder beides und damit Öffnen des Filterspaltes verursacht. Wenn der Druck schlagartig abfällt, lässt die Trennvorrichtung gröbere Partikel durch als sie der Filterweite entsprechen (loss of sand control).

[0185] Bei den erfindungsgemäßen Beispielen Nr. 15 bis 17 wurde beim Versuch zur Außendruckbeständigkeit der Maximaldruck der Prüfeinrichtung erreicht, ohne dass es zum Versagen der Trennvorrichtung kam.

[0186] Die Versuchsergebnisse zeigen die deutlich höhere Innen- und Außendruckbeständigkeit der erfindungsgemäßen Trennvorrichtung gegenüber der Ausführung mit kugelabschnittsförmigen Abstandshaltern auf den ringförmigen Scheiben und der Verspannung des Ringstapels mit Druckfedern.

Bezugszeichenliste

[0187]

- 1 perforiertes Rohr / Basisrohr
- 2 Gewinde
- 3 Zwischenelement
- 4 Schutzkäfig
- 5 Endkappe
- 6 Endkappe
- 7 Ringstapel
- 8 ringförmige Scheibe
- 9 Oberseite der Scheibe 8
- 10 Abstandshalter
- 11 Kontaktfläche der Abstandshalter 10
- 12 Unterseite der Scheibe 8
- 13 Fase
- 14 Trennspalt
- 15 Zentrierbänder
- 16 Dichtungsbuchse
- 17 Dichtungsbuchse
- 18 Perforation des Basisrohrs 1
- 19 Dichtung / O-Ring
- 20 Schweißnaht
- 21 äußere Mantelfläche des Basisrohrs 1
- 22 Kompensationselement / Kompensationsbuchse
- 23 Kompensationselement / Kompensationsbuchse
- 24 Kompensationselement / Doppelwandkompensator
- 25 Kompensationselement / Doppelwandkompensator
- 26 Einfüll- und Entlüftungsloch
- 27 Spiralfedern
- 28 ringförmige Scheibe
- 29 Oberseite der Scheibe 28
- 30 Unterseite der Scheibe 28
- 31 ringförmige Scheibe ohne Abstandshalter
- 32 Ringstapel
- 33 Messreferenzfläche

Patentansprüche

1. Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen in Förderbohrungen, umfassend

- a) einen Ringstapel (7) aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben (8), wobei die Oberseite (9) der ringförmigen Scheiben (8) mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben gleichmäßig verteilte Abstandshalter (10) aufweist, deren Kontaktfläche (11) eben ist, so dass die Abstandshalter (10) einen flächen-

förmigen Kontakt zur Unterseite (12) einer benachbarten ringförmigen Scheibe (8) haben, und wobei die ringförmigen Scheiben (8) so gestapelt und fixiert sind, dass zwischen den einzelnen Scheiben (8) jeweils ein Trennspalt (14) zur Abtrennung von Feststoffpartikeln vorhanden ist, und wobei die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben (8) am inneren und äußeren Umfang kreisförmig ist, und wobei der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben (8) gewählt ist aus oxidischen und nicht oxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von keramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen,

b) ein im Inneren des Ringstapels (7) befindliches perforiertes Rohr (1), auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben (8) gestapelt sind,

c) wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche (21) des im Inneren des Ringstapels (7) befindlichen perforierten Rohres (1) achsparallel angebrachte Bänder (15), auf die die ringförmigen Scheiben (8) aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben (8) auf dem perforierten Rohr (1) zentriert werden, und

d) eine Endkappe (5) am oberen Ende und eine Endkappe (6) am unteren Ende des Ringstapels (7), wobei die Endkappen (5, 6) fest mit dem perforierten Rohr (1) verbunden sind.

2. Trennvorrichtung zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen in Förderbohrungen, umfassend

a) einen Ringstapel (32) aus wenigstens drei sprödharten ringförmigen Scheiben (28, 31) wobei die Oberseite (29) und die Unterseite (30) jeder zweiten ringförmigen Scheibe (28) im Ringstapel (32) mindestens drei über den Kreisumfang der Scheiben (28) gleichmäßig verteilte Abstandshalter (10) aufweist, und wobei die jeweils benachbarten ringförmigen Scheiben (31) keine Abstandshalter aufweisen, und wobei die Kontaktfläche (11) der Abstandshalter (10) eben ist, so dass die Abstandshalter (10) einen flächenförmigen Kontakt zu den benachbarten ringförmigen Scheiben (31) haben, und wobei die ringförmigen Scheiben (28, 31) so gestapelt und fixiert sind, dass zwischen den einzelnen Scheiben (28, 31) jeweils ein Trennspalt (14) zur Abtrennung von Feststoffpartikeln vorhanden ist, und wobei die axiale Projektion der ringförmigen Scheiben (28, 31) am inneren und äußeren Umfang kreisförmig ist, und wobei der sprödharte Werkstoff der ringförmigen Scheiben (28, 31) gewählt ist aus oxidischen und nicht oxidischen keramischen Werkstoffen, Mischkeramiken aus diesen Werkstoffen, keramischen Werkstoffen mit Zusatz von Sekundärphasen, Mischwerkstoffen mit Anteilen von keramischen oder metallischen Hartstoffen und mit metallischer Bindephase, pulvermetallurgischen Werkstoffen mit in-situ gebildeten Hartstoffphasen und lang- und/oder kurzfaserverstärkten Keramikwerkstoffen,

b) ein im Inneren des Ringstapels (32) befindliches perforiertes Rohr (1), auf dem die sprödharten ringförmigen Scheiben (28, 31) gestapelt sind,

c) wenigstens drei in gleichmäßigem Abstand auf der Mantelfläche (21) des im Inneren des Ringstapels (32) befindlichen perforierten Rohres (1) achsparallel angebrachte Bänder (15), auf die die ringförmigen Scheiben (28, 31) aufgeschoben sind, wodurch die ringförmigen Scheiben (28, 31) auf dem perforierten Rohr (1) zentriert werden, und

d) eine Endkappe (5) am oberen Ende und eine Endkappe (6) am unteren Ende des Ringstapels (32), wobei die Endkappen (5, 6) fest mit dem perforierten Rohr (1) verbunden sind.

3. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Oberseite (9) der ringförmigen Scheiben (8) in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern (10) nach innen oder außen abfallend ist, vorzugsweise nach innen abfallend.

4. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei die Oberseite (29) und die Unterseite (30) jeder zweiten ringförmigen Scheibe (28) im Ringstapel (32) in den Bereichen zwischen den Abstandshaltern (10) nach innen oder außen abfallend ist, vorzugsweise nach innen abfallend.

5. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 3, wobei die Unterseite (12) der ringförmigen Scheiben (8) im rechten Winkel zur Scheibenachse ausgebildet ist.

6. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 2 oder 4, wobei die Oberseite und die Unterseite der ringförmigen Scheiben (31), die keine Abstandshalter aufweisen, im rechten Winkel zur Scheibenachse ausgebildet sind.

7. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Trennvorrichtung Innendrucke von bis zu 120 bar im Test auf Innendruckbeständigkeit gemäß ISO 17824 und Außendrucke von bis zu 500 bar im Test auf Außen-

druckbeständigkeit gemäß ISO 17824 erträgt.

- 5 8. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Kontaktfläche (11) der einzelnen Abstandshalter (10) 4 bis 60 mm², vorzugsweise 10 bis 35 mm², beträgt.
9. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Anzahl der auf den ringförmigen Scheiben (8, 28) gleichmäßig verteilten Abstandshalter (10) mehr als 3, vorzugsweise wenigstens 6, weiter vorzugsweise wenigstens 10 und besonders bevorzugt wenigstens 15 beträgt.
- 10 10. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Distanz zwischen den Abstandshaltern (10) 8 bis 50 mm, vorzugsweise 10 bis 30 mm und besonders bevorzugt 15 bis 25 mm beträgt.
11. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei es sich bei dem sprödharten Werkstoff um gesintertes Siliziumcarbid (SSiC) oder Borcarbid handelt.
- 15 12. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Innendurchmesser der ringförmigen Scheiben (8, 28, 31) wenigstens 0,5 mm und höchstens 10 mm, vorzugsweise wenigstens 1,5 mm und höchstens 5 mm, größer ist als der Außendurchmesser des perforierten Rohrs (1).
- 20 13. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Trennvorrichtung einen Schutzkäfig (4) zum Schutz vor mechanischer Beschädigung umfasst.
14. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Trennvorrichtung eine Dichtungsbuchse (16) am oberen Ende und eine Dichtungsbuchse (17) am unteren Ende des Ringstapels (7, 32) umfasst.
- 25 15. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Trennvorrichtung am oberen Ende des Ringstapels (7) und/oder am unteren Ende des Ringstapels (7, 32) eine Kompensationsbuchse (22, 23) zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung des perforierten Rohrs (1) und des Ringstapels (7, 32) umfasst.
- 30 16. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 15, wobei der Wärmeausdehnungskoeffizient des Werkstoffs der Kompensationsbuchse (22, 23) mindestens $25 \cdot 10^{-6}/\text{K}$, vorzugsweise mindestens $80 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ und besonders bevorzugt mindestens $100 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ im Temperaturbereich von 10 - 200 °C beträgt.
- 35 17. Trennvorrichtung gemäß Anspruch 15 oder 16, wobei die Kompensationsbuchse (22, 23) aus einem Werkstoff auf der Basis von Polytetrafluorethylen (PTFE) besteht.
18. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei die Trennvorrichtung am oberen Ende des Ringstapels (7, 32) und/oder am unteren Ende des Ringstapels (7, 32) einen rohrförmigen doppelwandigen mit einer Flüssigkeit gefüllten Behälter (24, 25), dessen Außenwände in axialer Richtung gewellt sind, zum Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Längenänderung des perforierten Rohrs (1) und des Ringstapels (7, 32) umfasst.
- 40 19. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei das perforierte Rohr (1) aus einem Werkstoff hergestellt ist, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C um höchstens 10 %, vorzugsweise um höchstens 5 %, abweicht vom Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs des Ringstapels (7, 32) im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C.
- 45 20. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 19, wobei die ringförmigen Scheiben (8, 28, 31) aus Zirkoniumdioxid-Keramik hergestellt sind, und wobei der Wärmeausdehnungskoeffizient der Zirkoniumdioxid-Keramik im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C um höchstens 10 %, vorzugsweise um höchstens 5 %, abweicht vom Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs des perforierten Rohrs im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C.
- 50 21. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei die Vorspannung im Ringstapel (7, 32) in axialer Richtung im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C höchstens 10 MPa, vorzugsweise höchstens 5 MPa, besonders bevorzugt höchstens 2 MPa beträgt, bezogen auf die axiale Projektionsfläche der ringförmigen Scheiben.
- 55 22. Trennvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21, wobei die durch Flüssigkeitsdruckdifferenzen im Betrieb der Trennvorrichtung bewirkte Verschiebung der ringförmigen Scheiben (8, 28, 31) im Ringstapel (7, 32) im Temperaturbereich von 10 °C bis 200 °C nicht mehr als 1,5 Promille in axialer Richtung beträgt, bezogen auf die Länge

des Ringstapels.

23. Verwendung einer Trennvorrichtung gemäß mindestens einem der vorangehenden Ansprüche zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen bei einem Verfahren zur Förderung von Flüssigkeiten und/oder Gasen aus Förderbohrungen.

24. Verwendung einer Trennvorrichtung gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 22 zur Abtrennung von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten und/oder Gasen in natürlichen Gewässern oder in Speichieranlagen für Flüssigkeiten und/oder Gase.

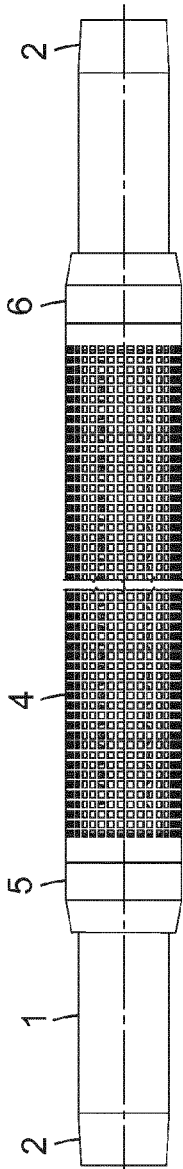


Fig. 1

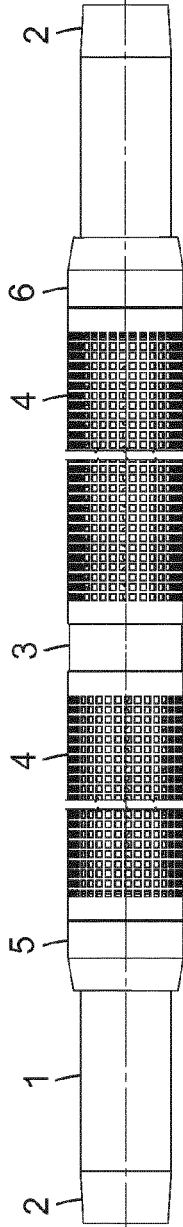


Fig. 2a

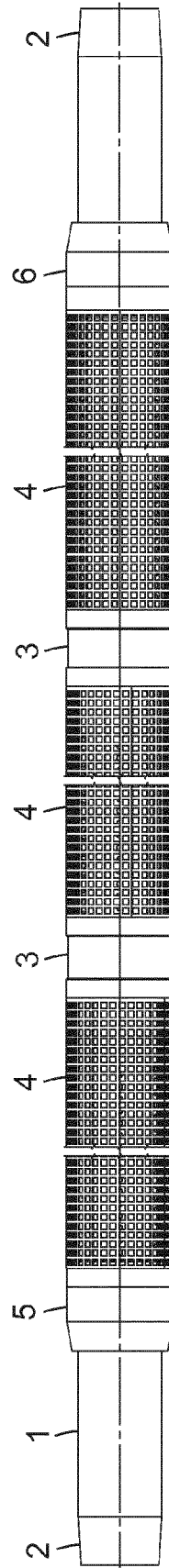


Fig. 2b

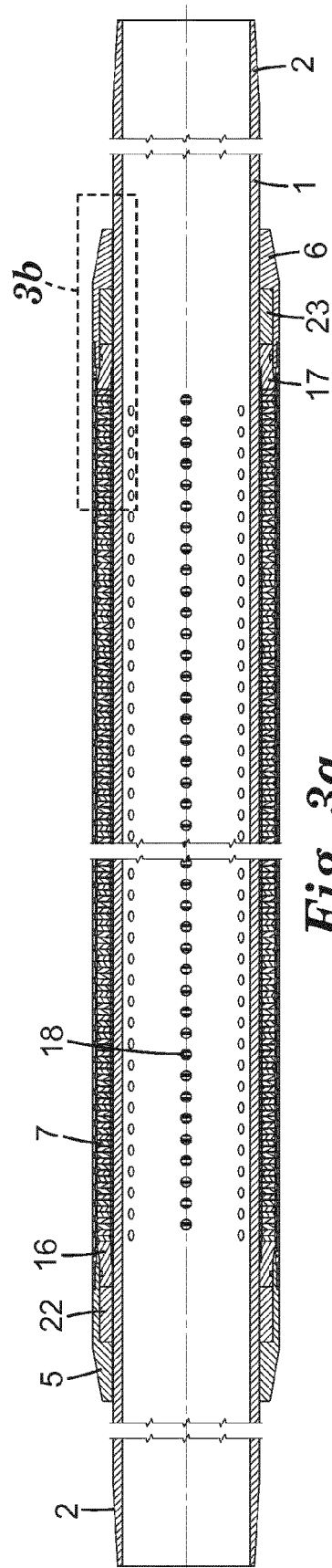


Fig. 3a

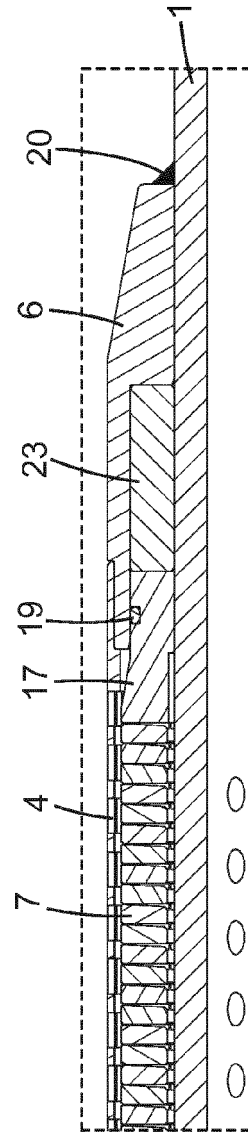


Fig. 3b

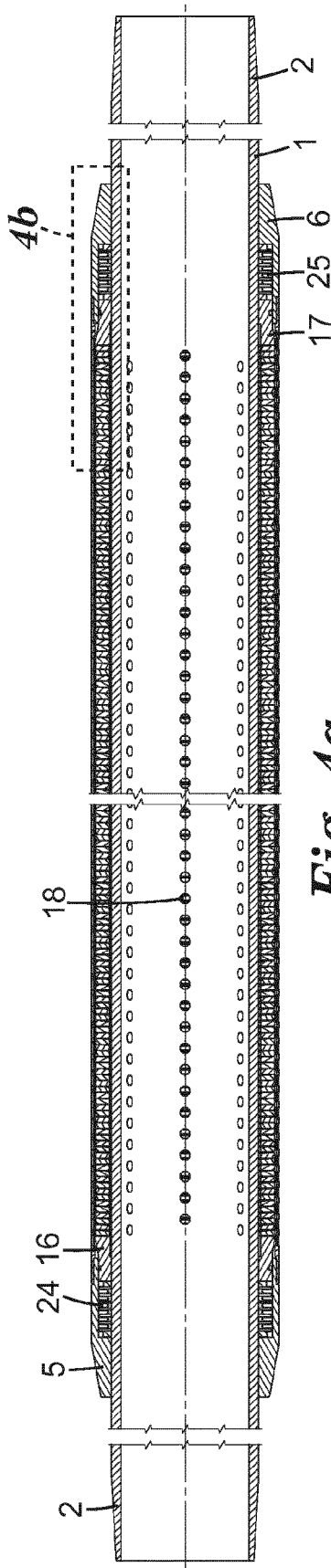


Fig. 4a

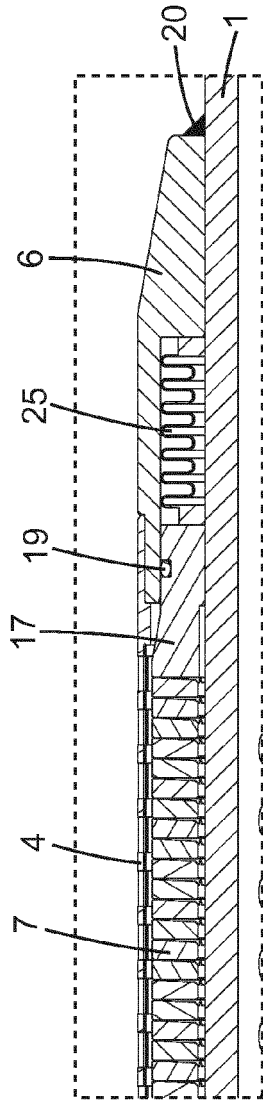


Fig. 4b

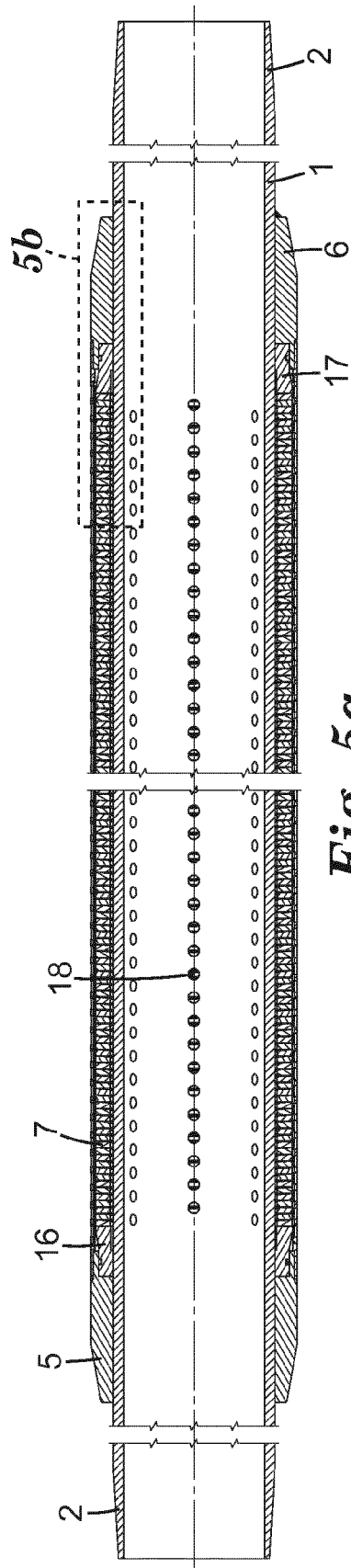


Fig. 5a

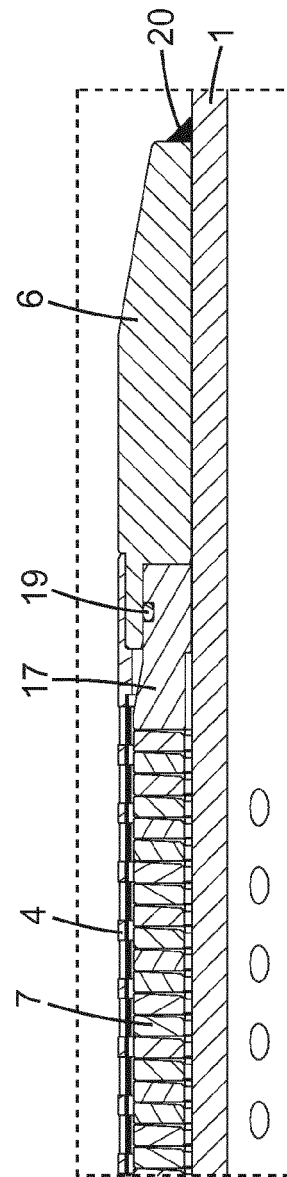


Fig. 5b

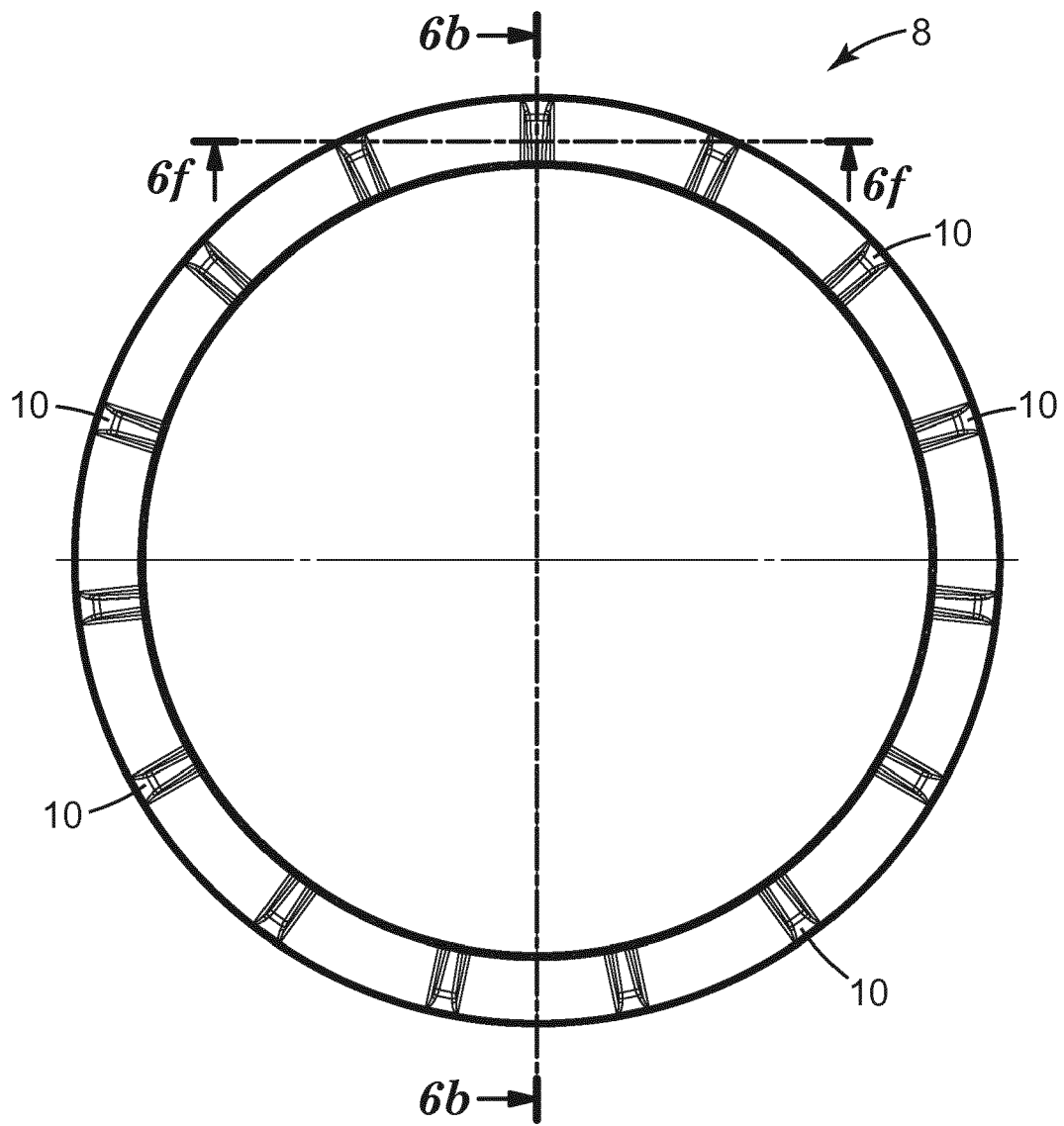
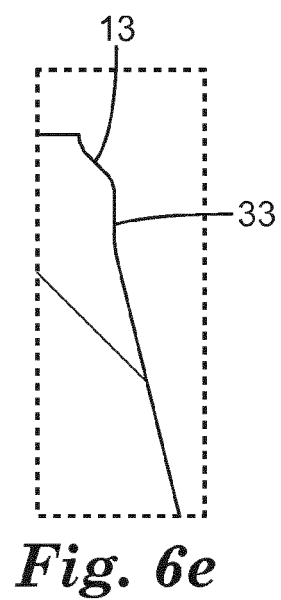
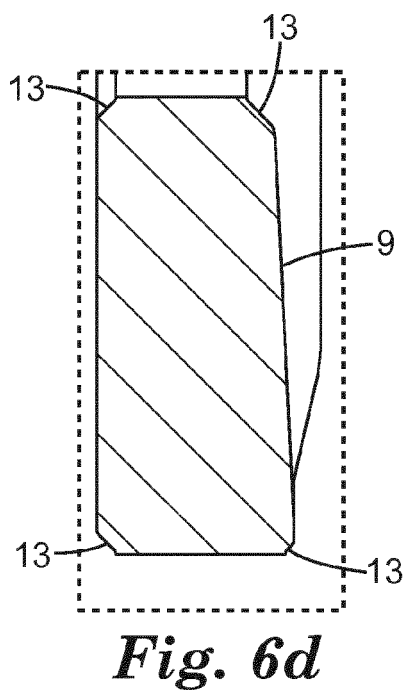
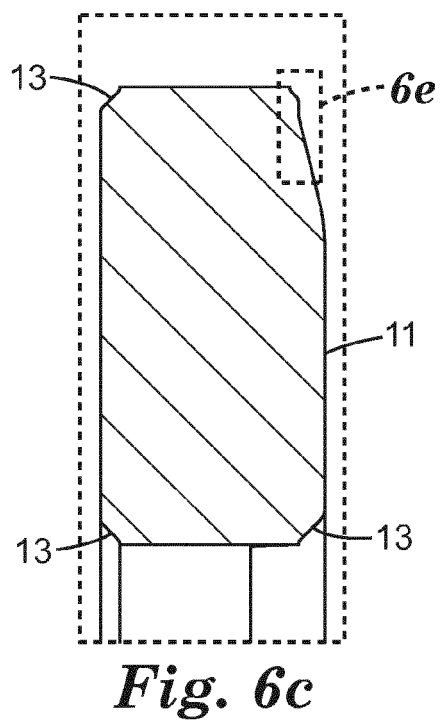
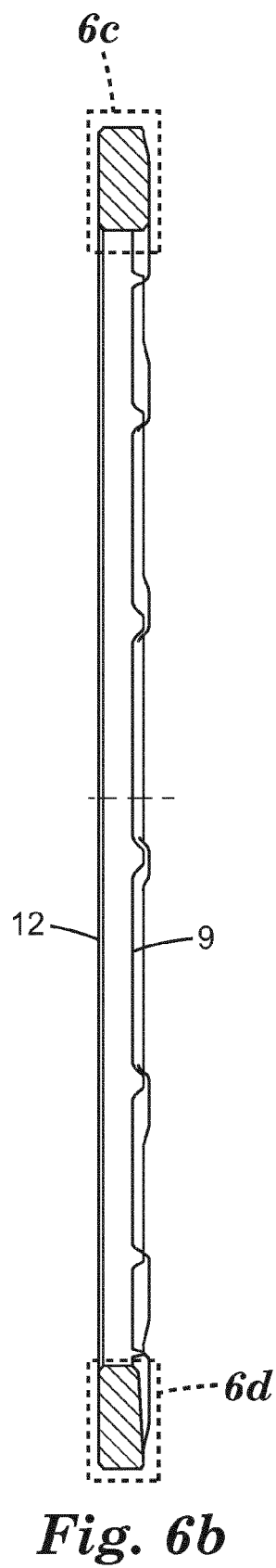


Fig. 6a



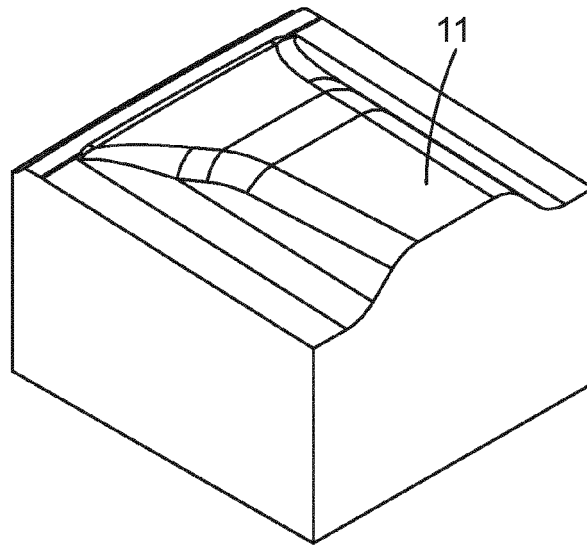


Fig. 6f

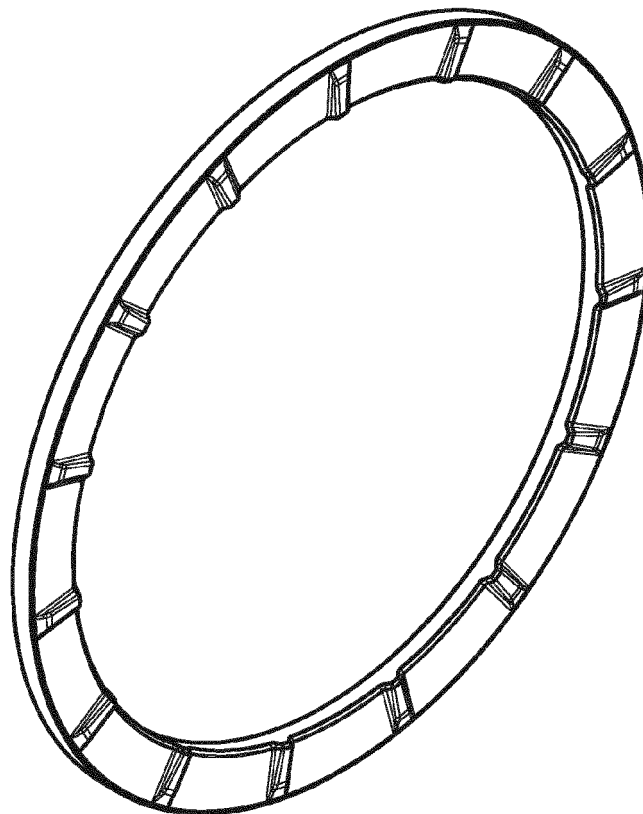


Fig. 6g

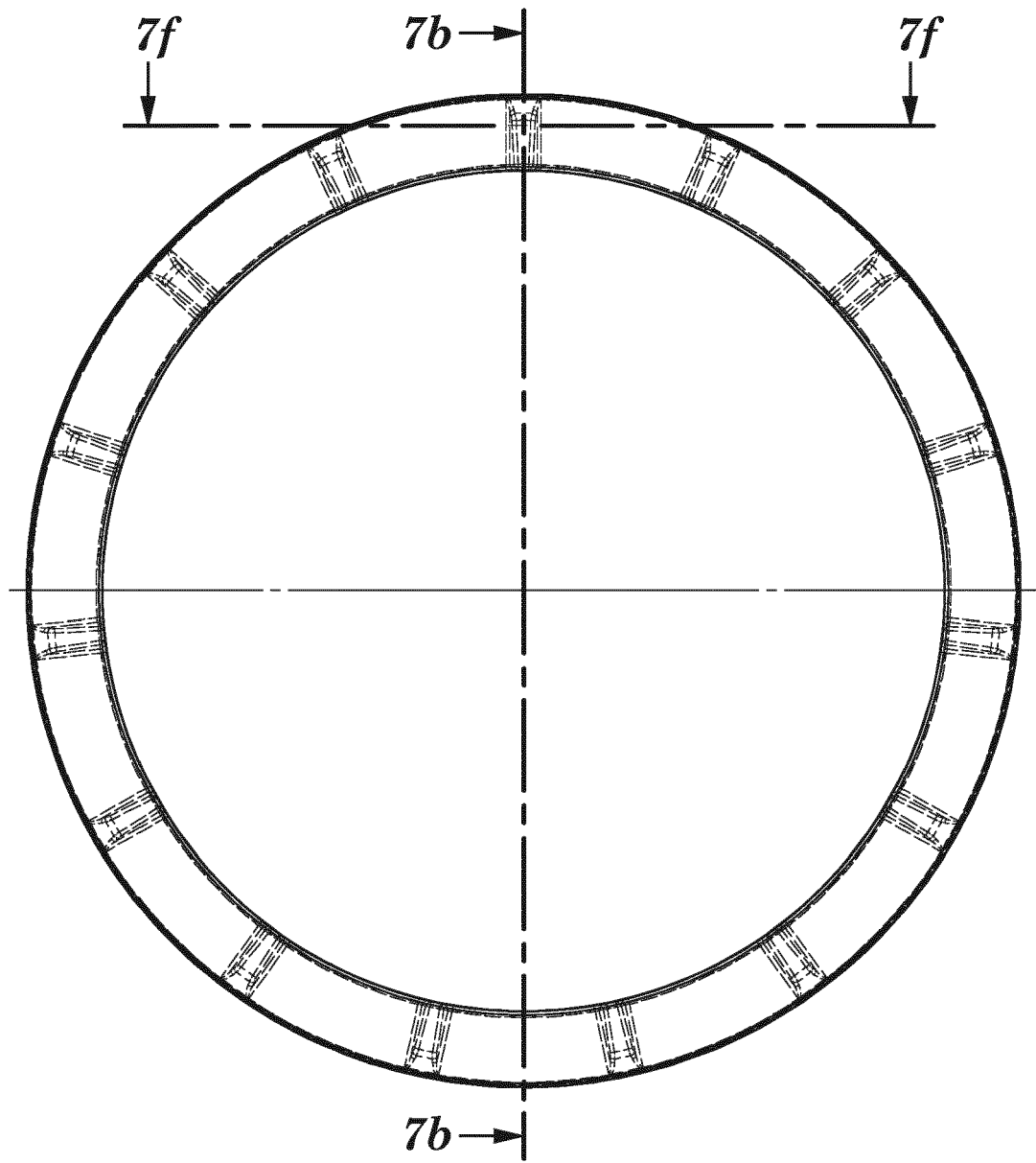


Fig. 7a

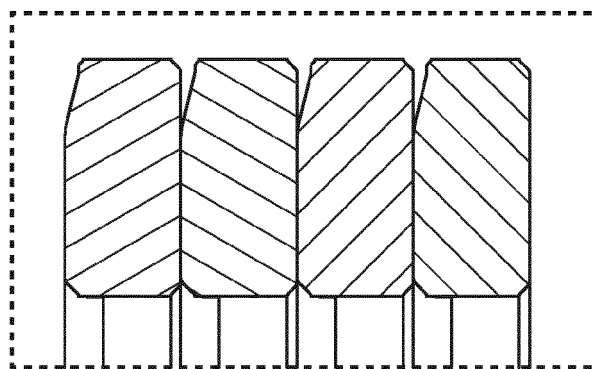
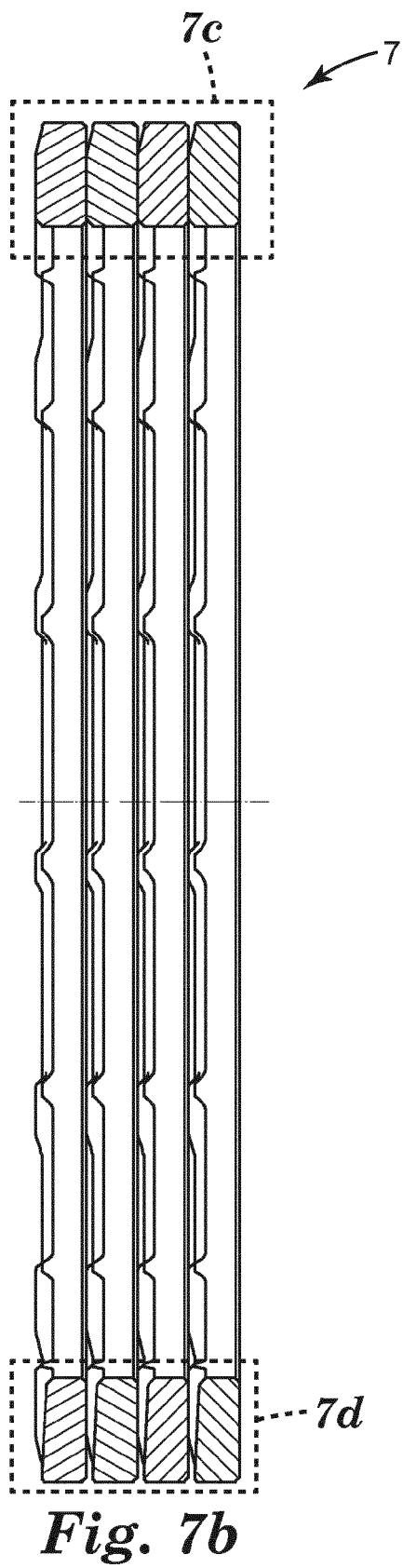


Fig. 7c

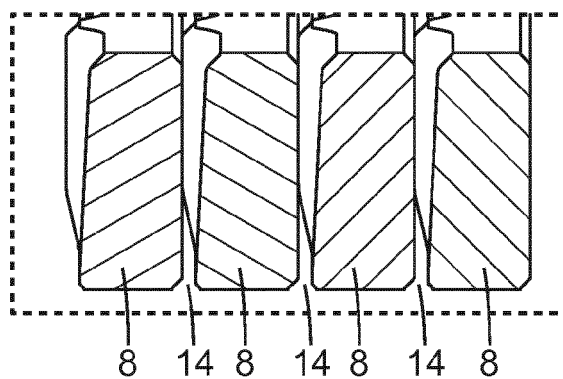


Fig. 7d

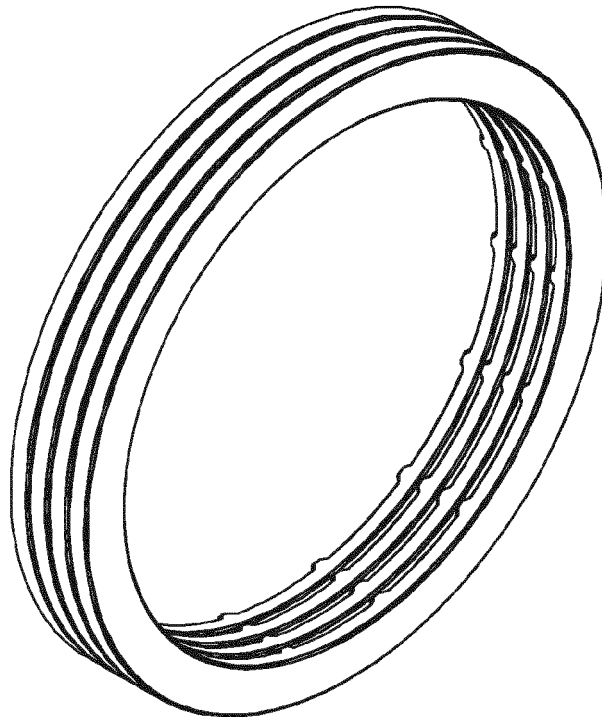


Fig. 7e

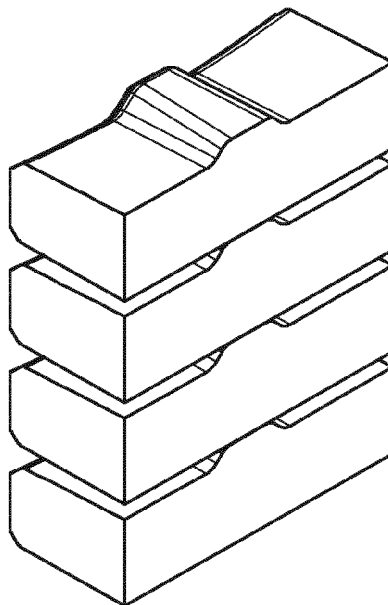


Fig. 7f

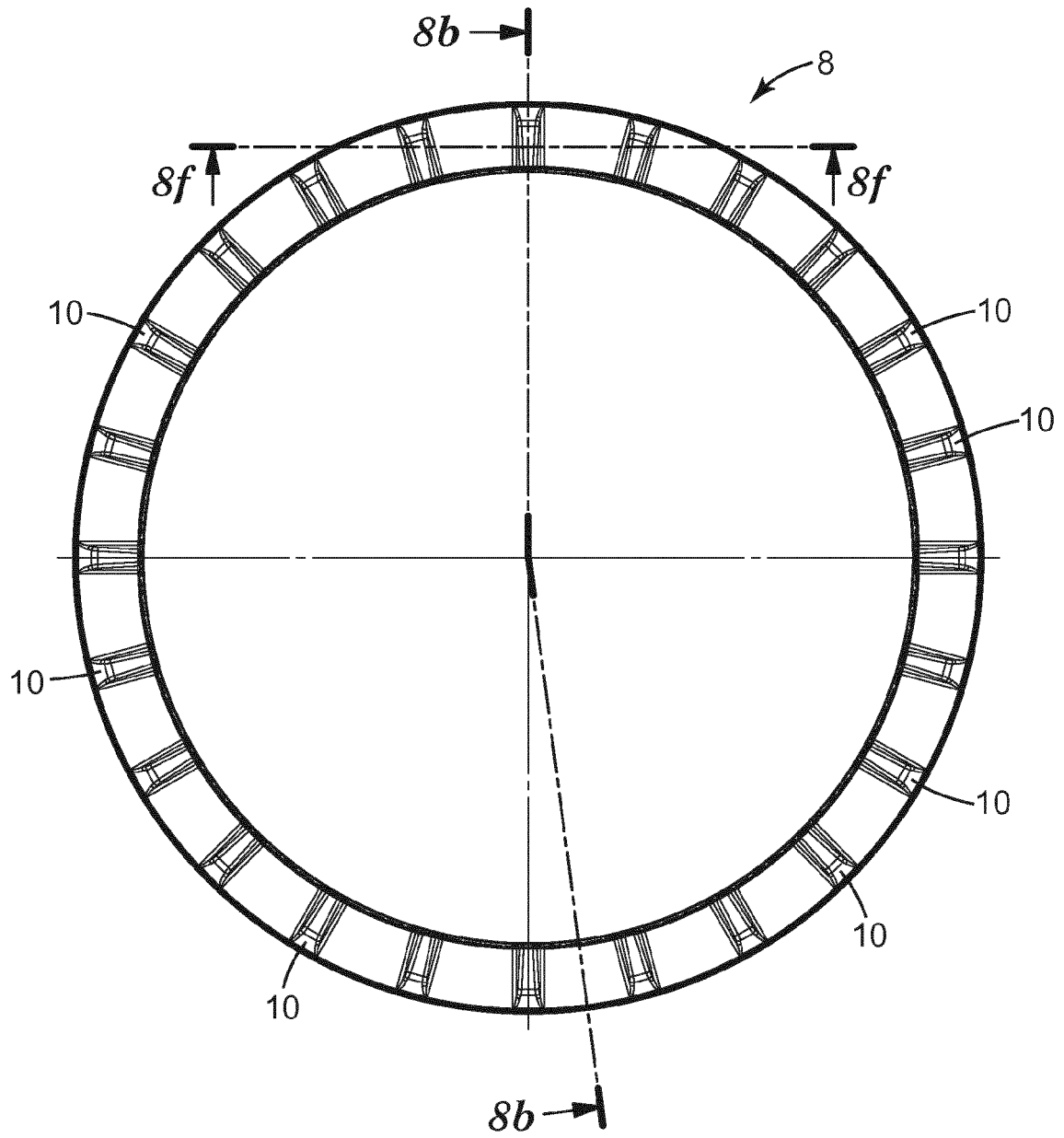
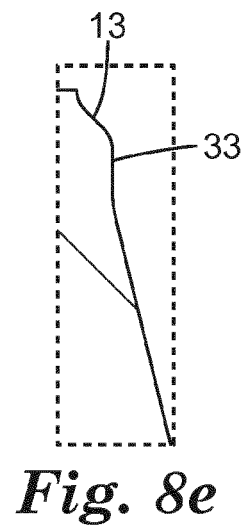
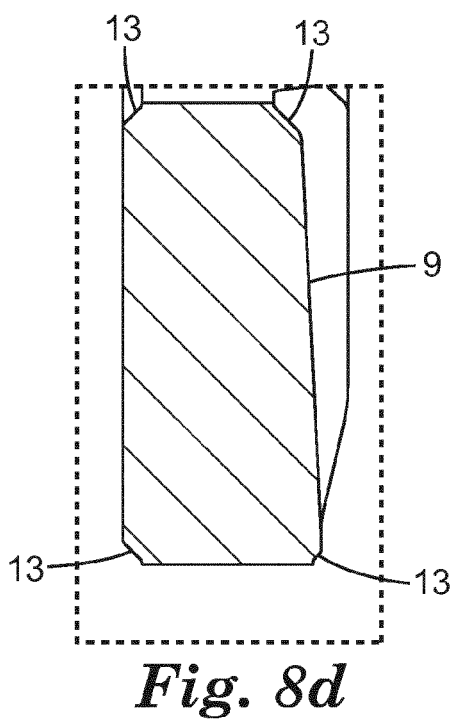
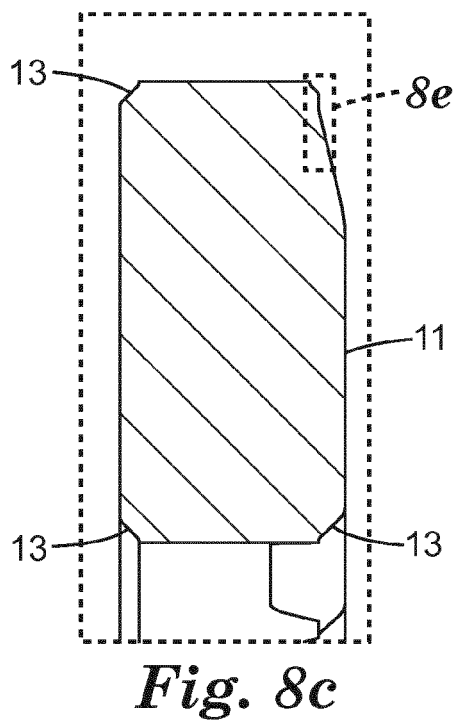
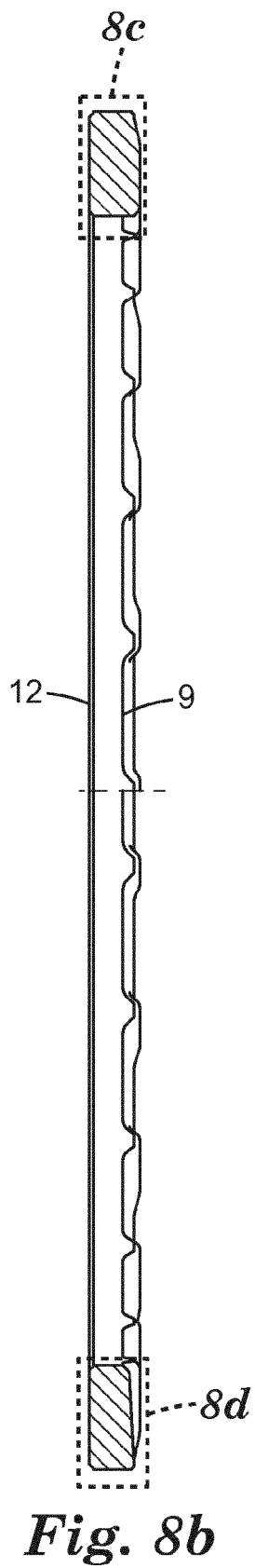


Fig. 8a



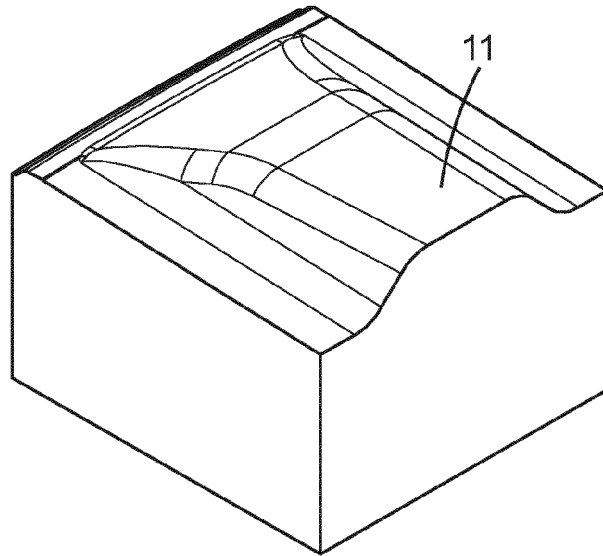


Fig. 8f

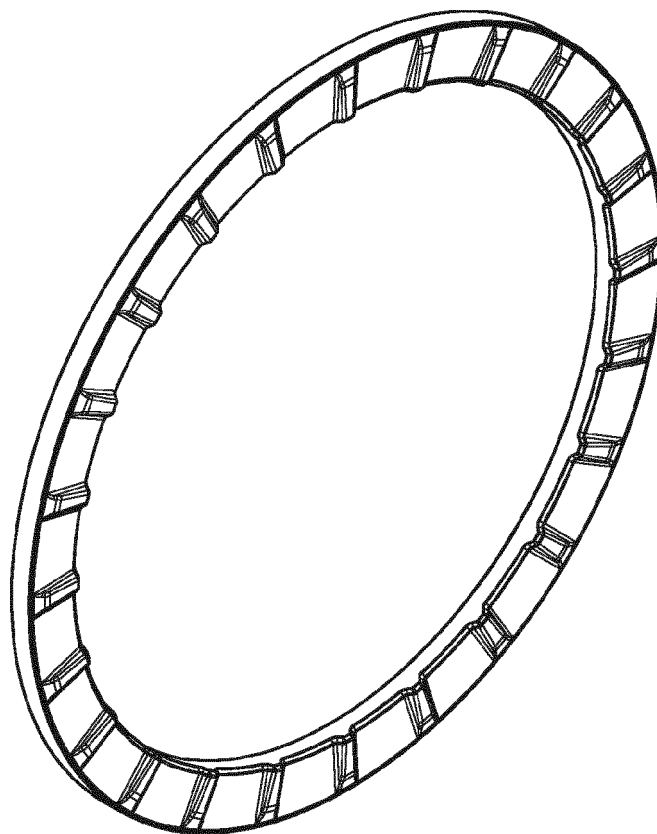
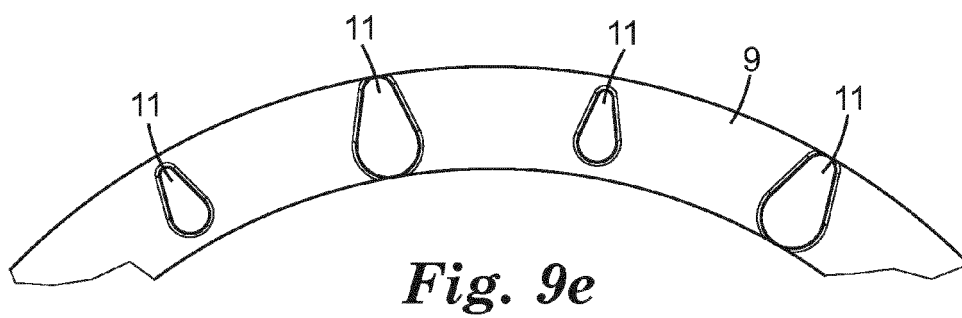
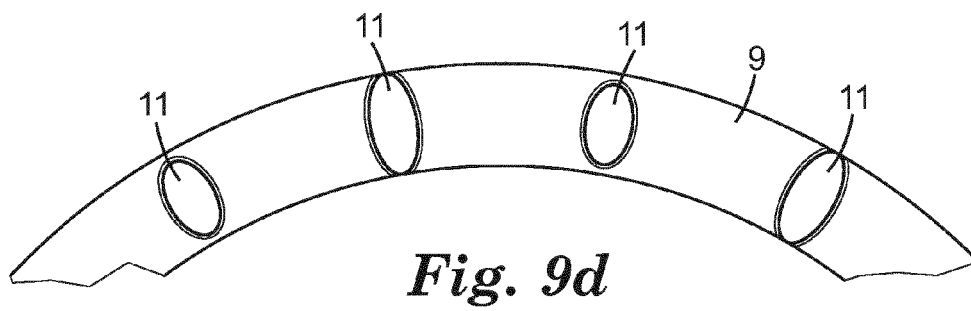
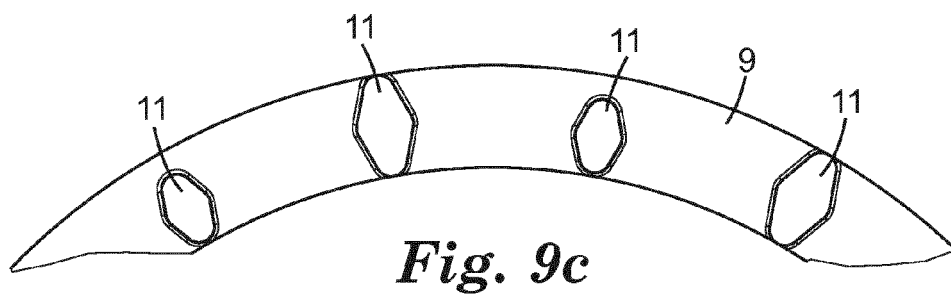
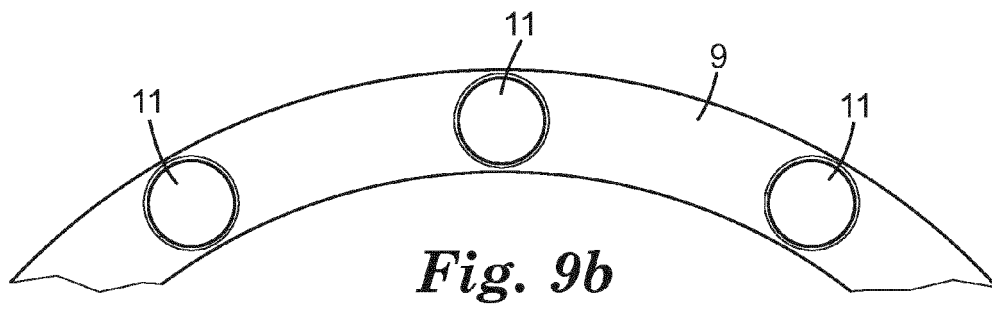
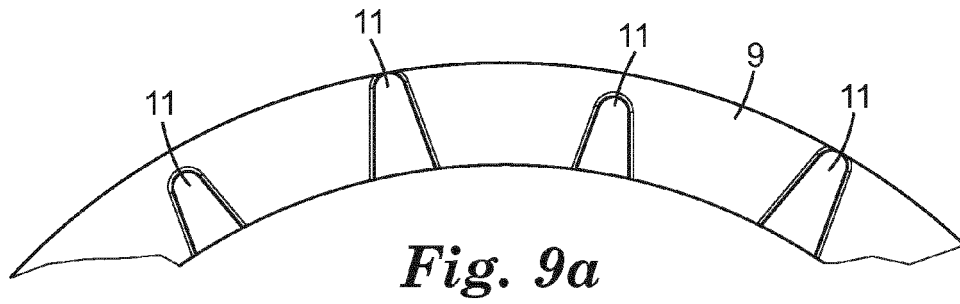


Fig. 8g



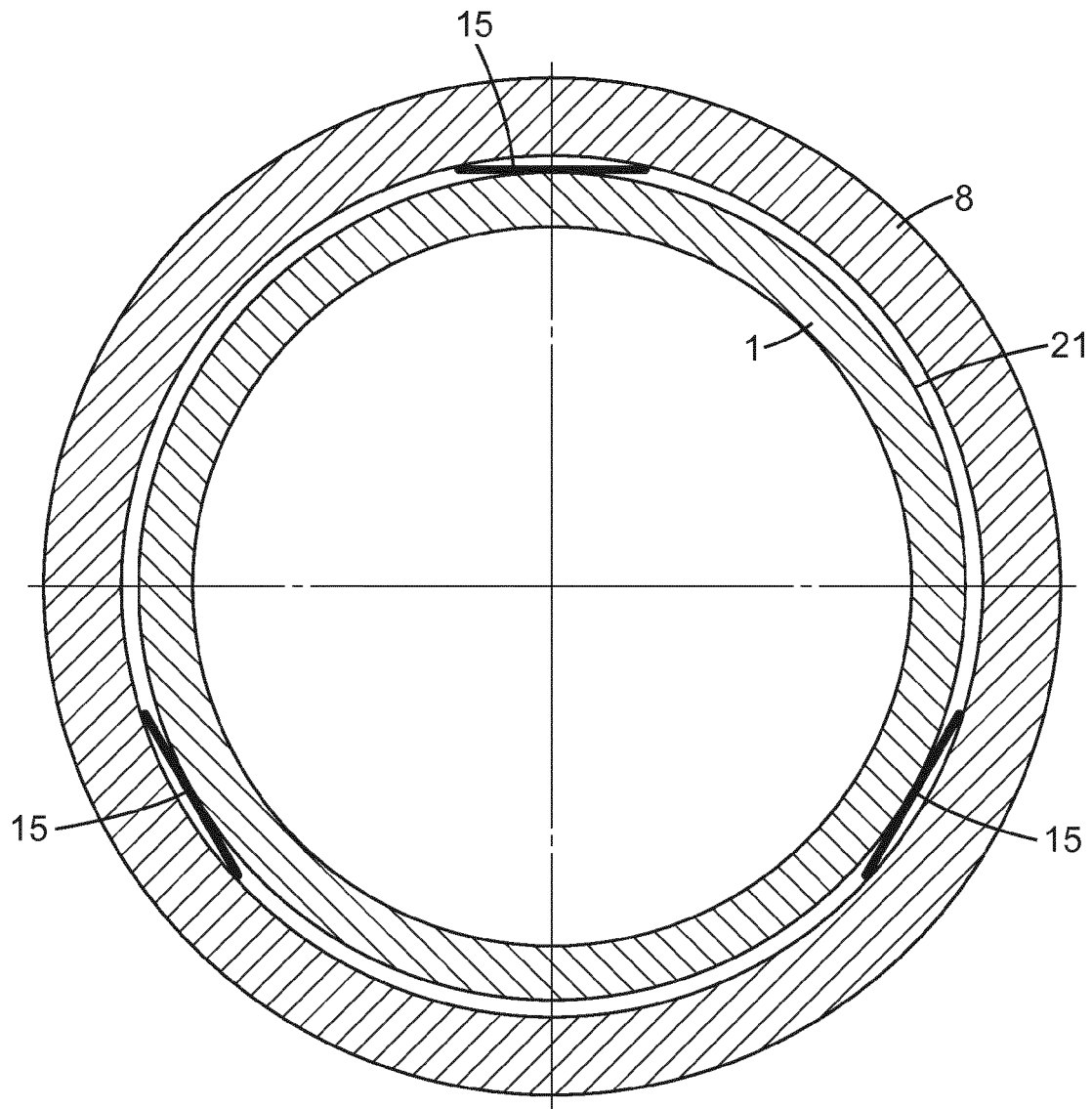


Fig. 10

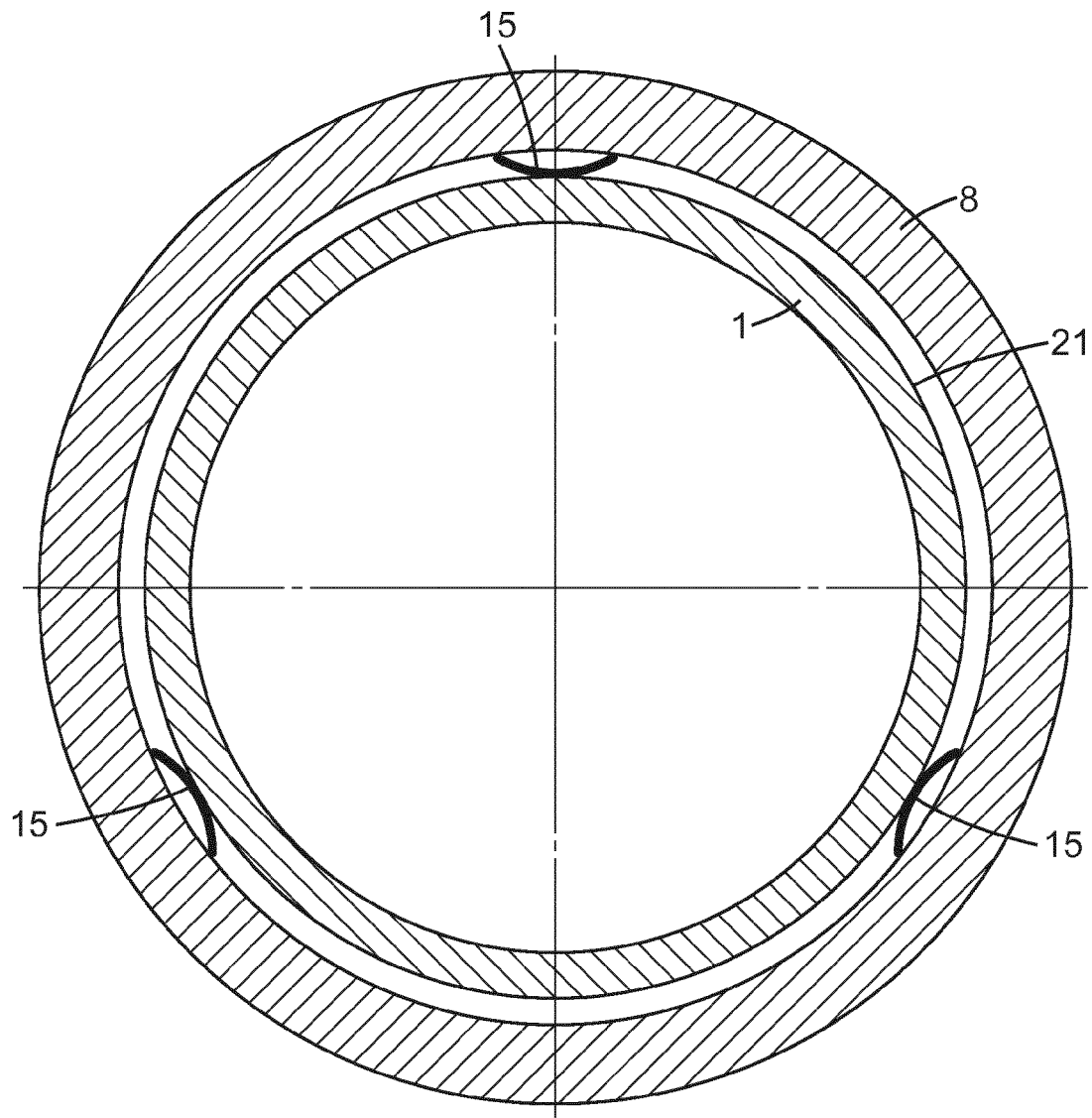


Fig. 11

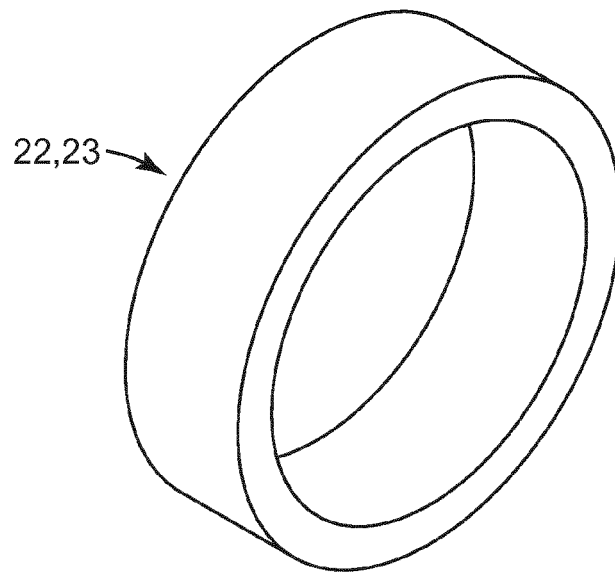


Fig. 12a

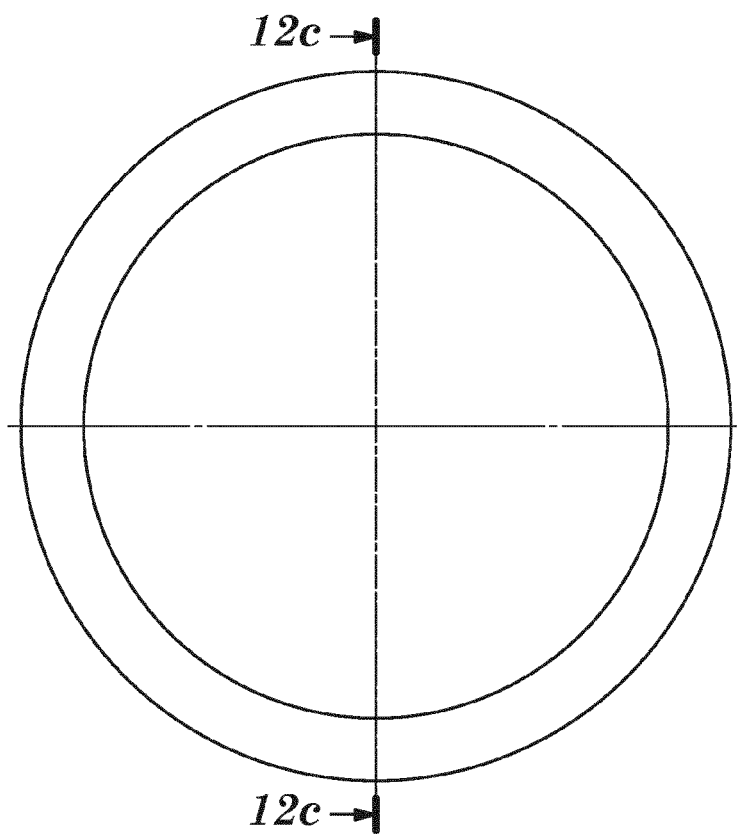


Fig. 12b

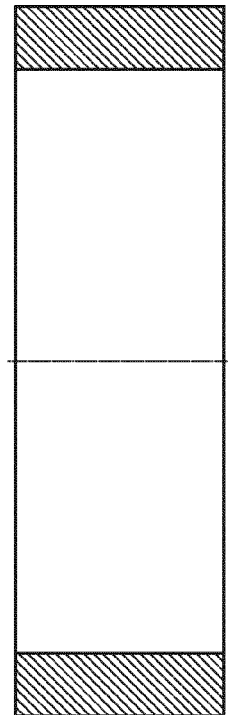


Fig. 12c

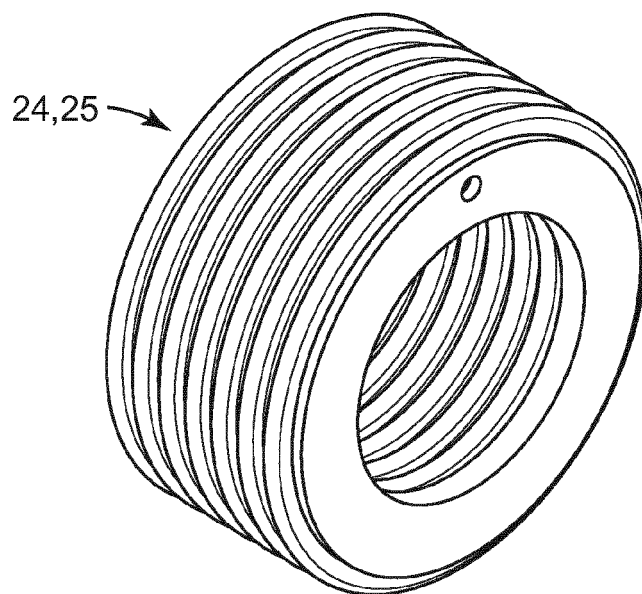


Fig. 13a

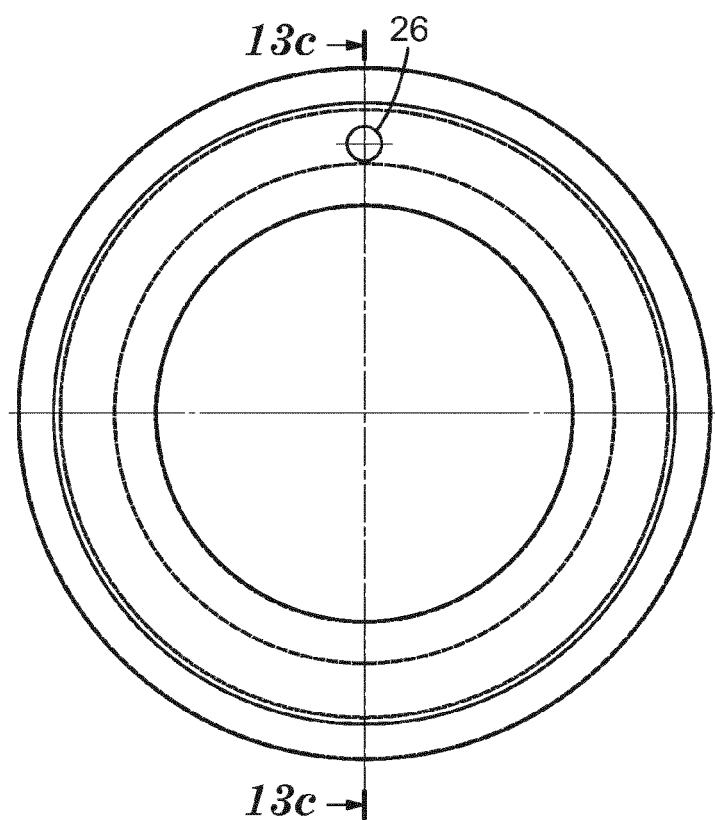


Fig. 13b

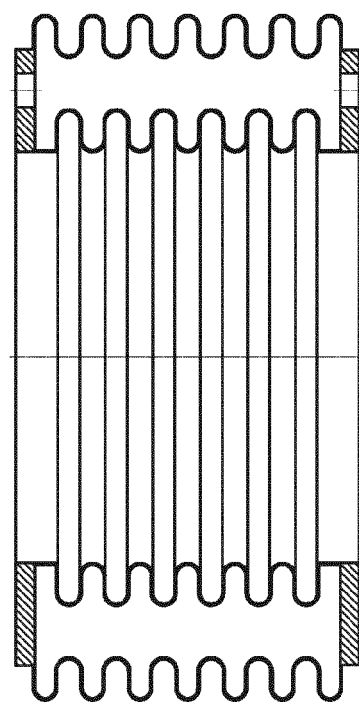


Fig. 13c

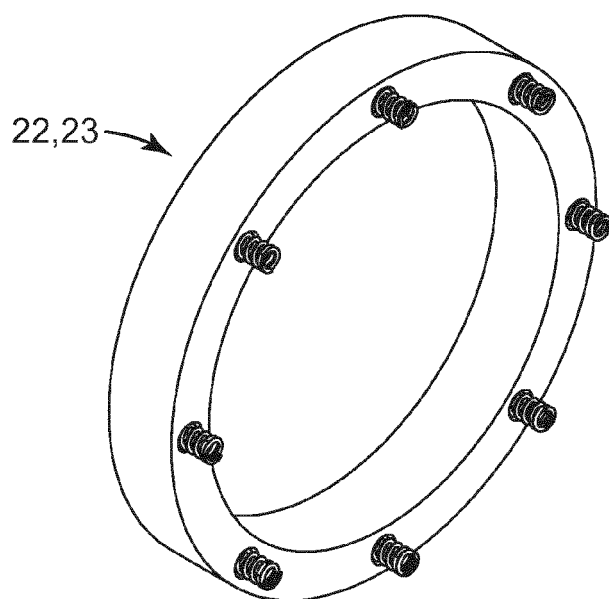


Fig. 14a

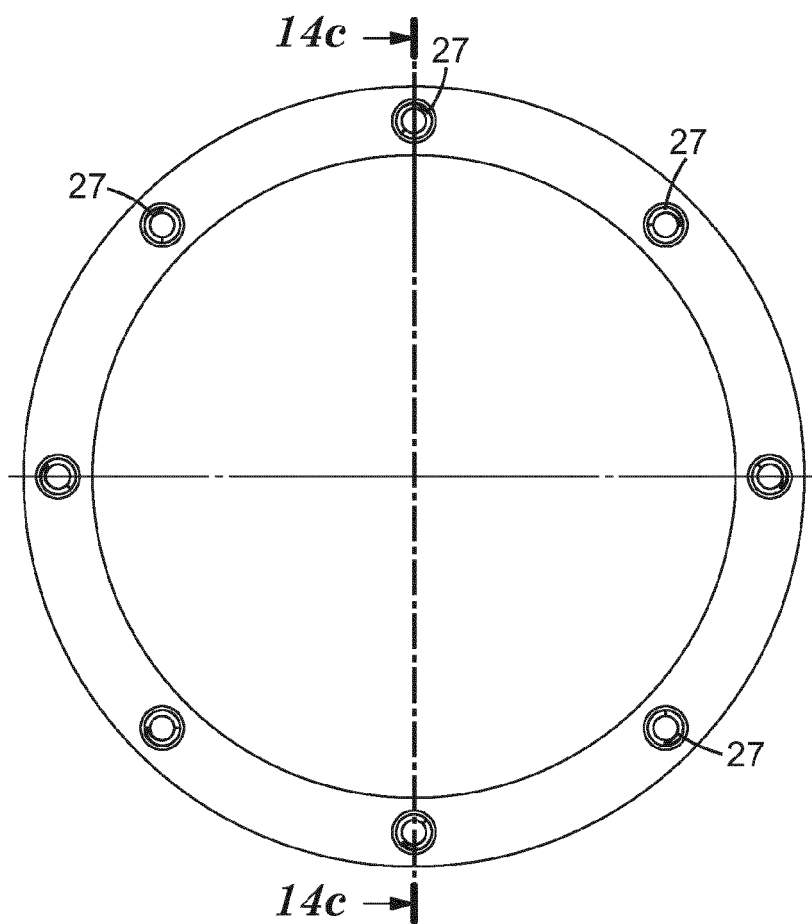


Fig. 14b

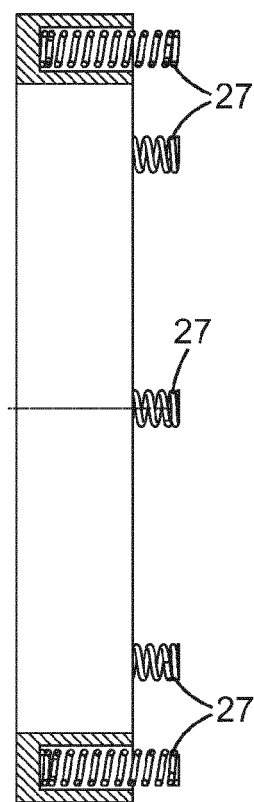


Fig. 14c

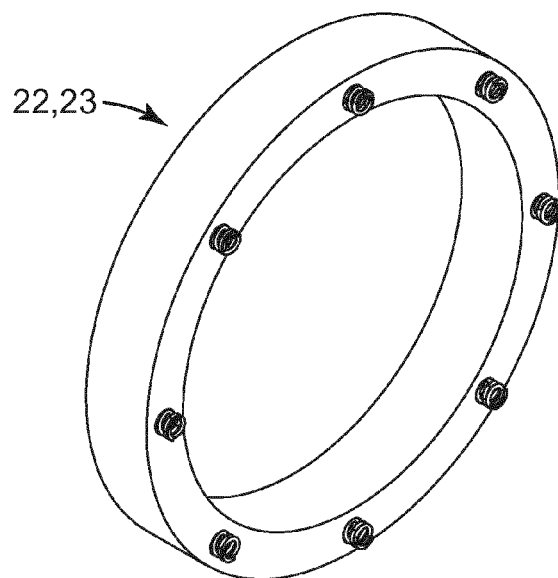


Fig. 15a

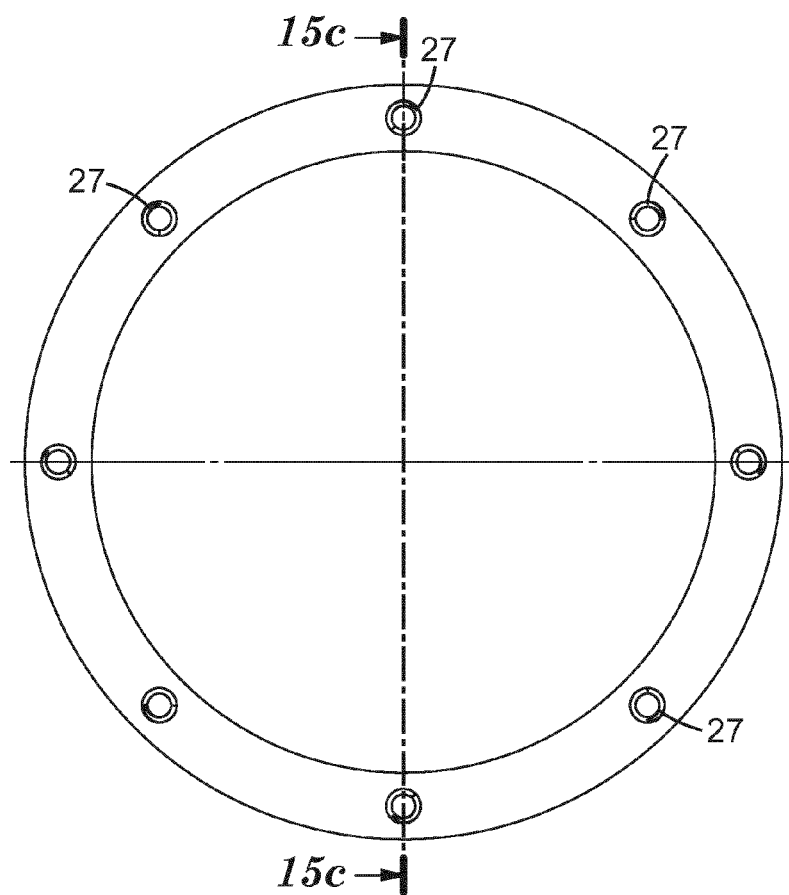


Fig. 15b

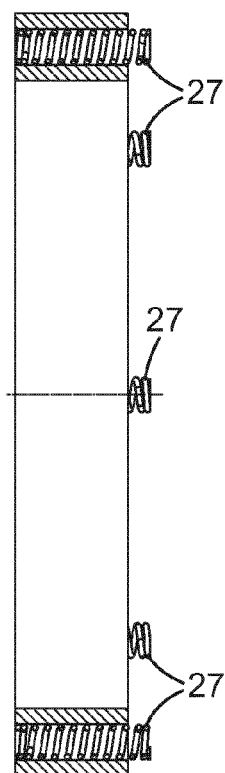


Fig. 15c

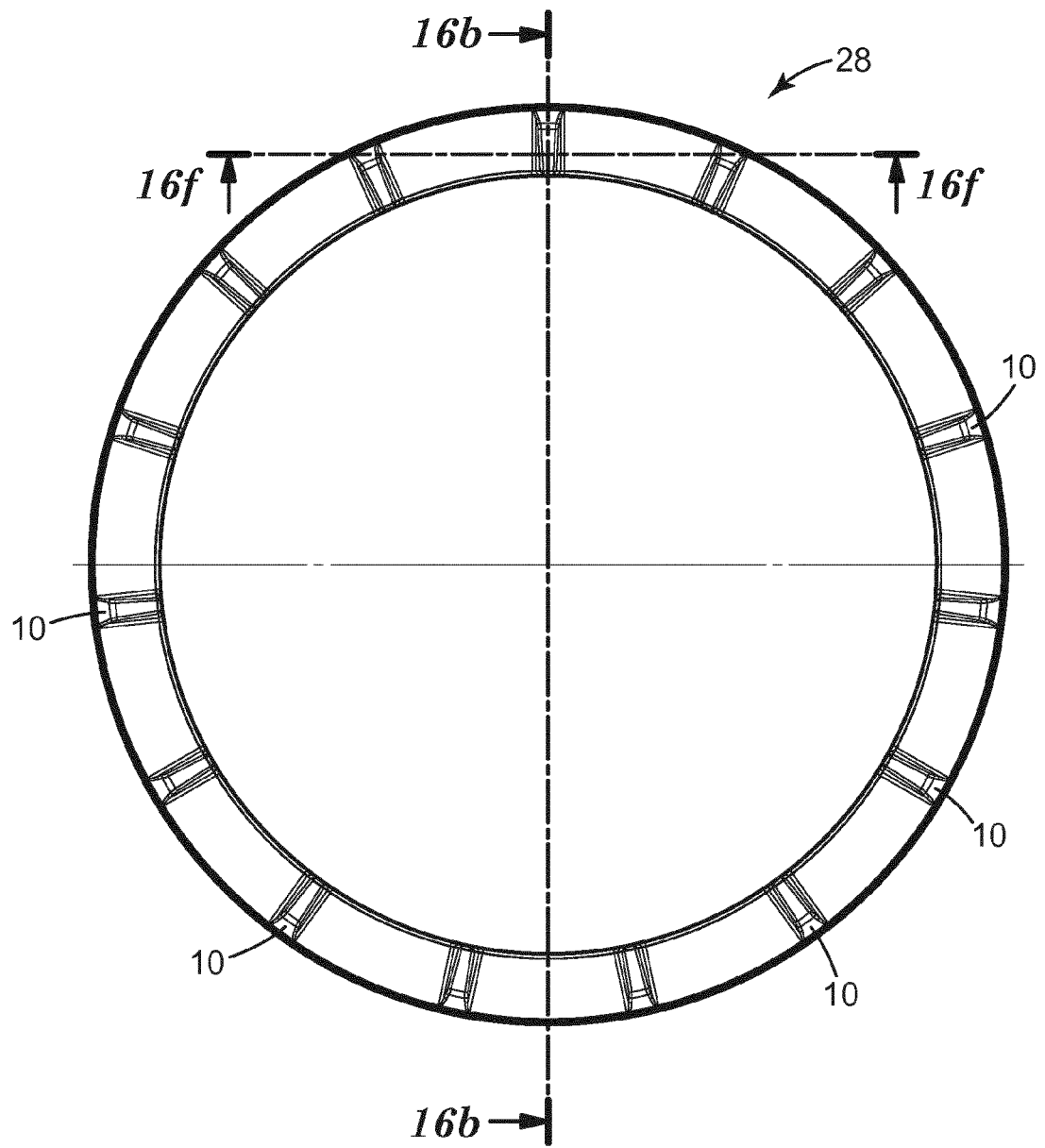
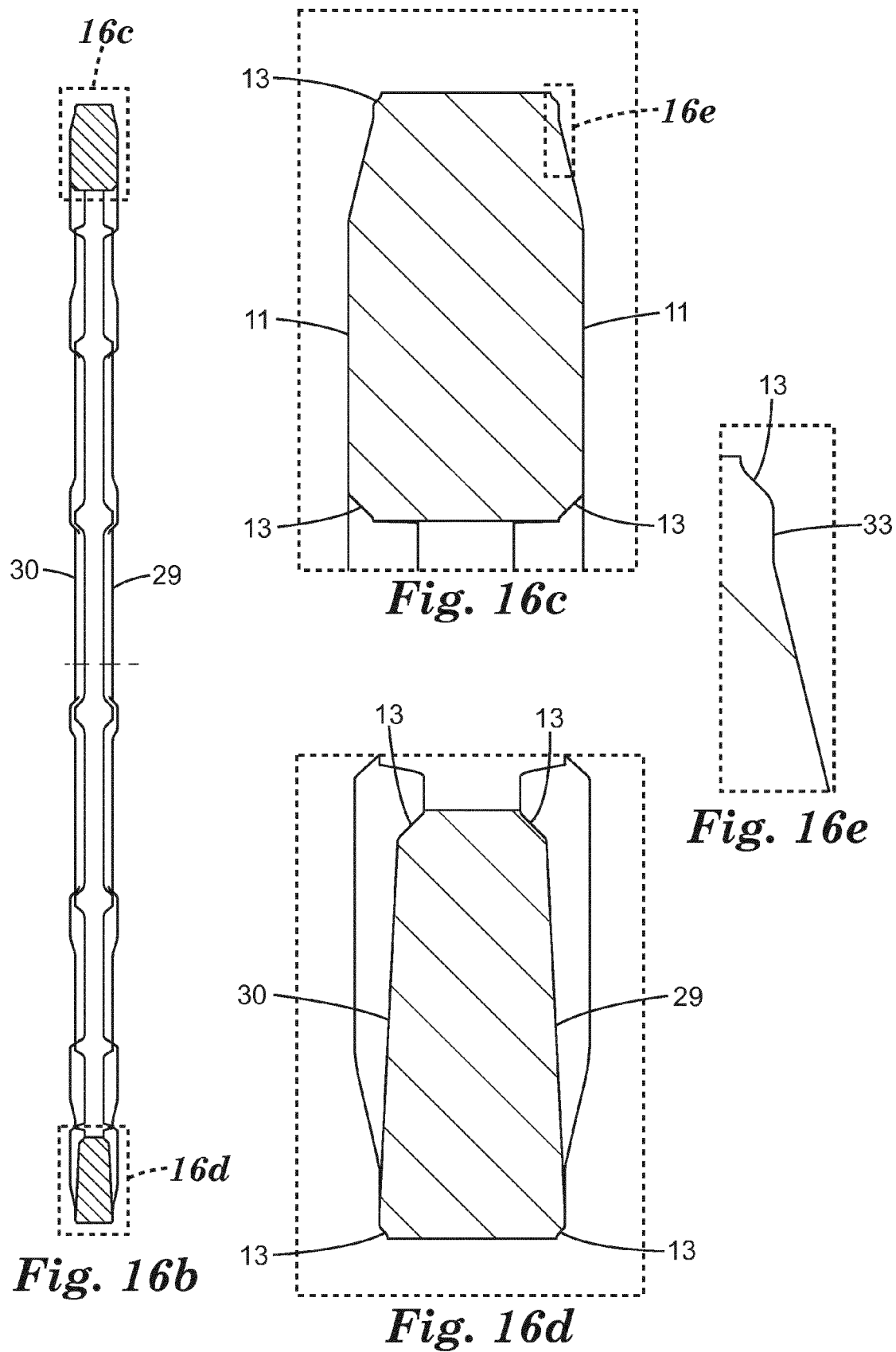


Fig. 16a



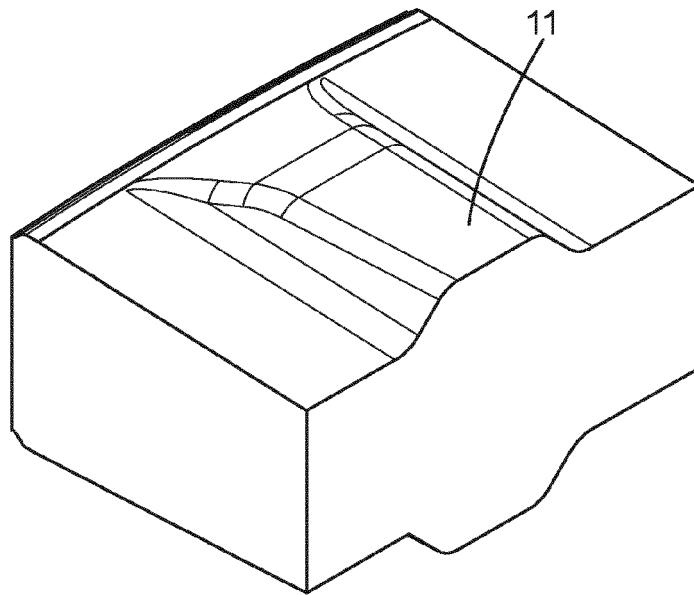


Fig. 16f

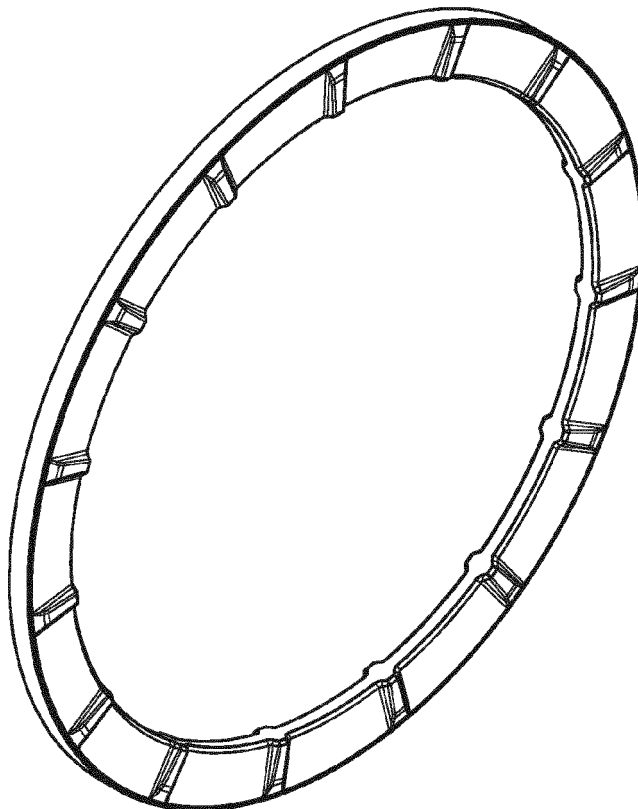


Fig. 16g

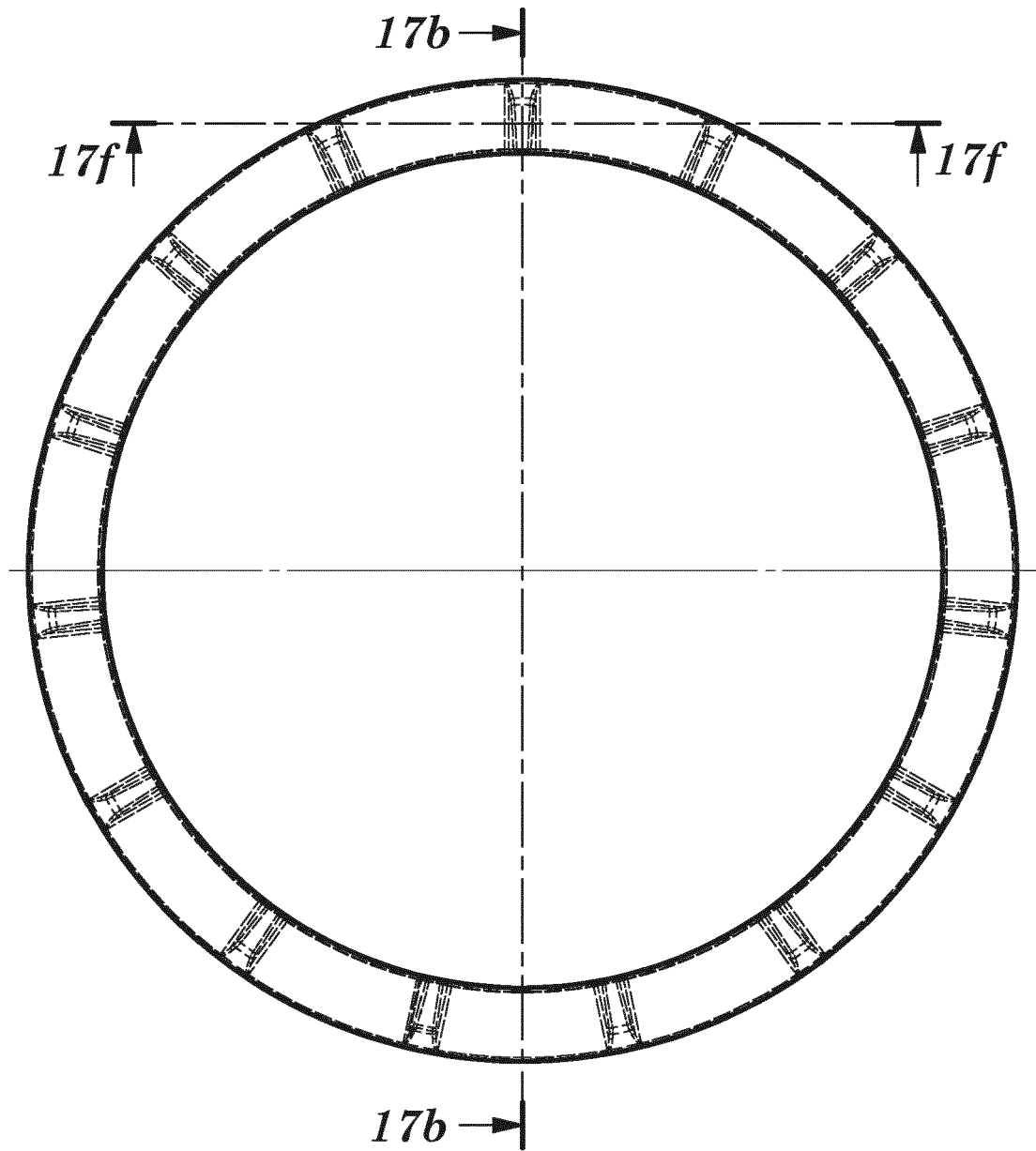


Fig. 17a

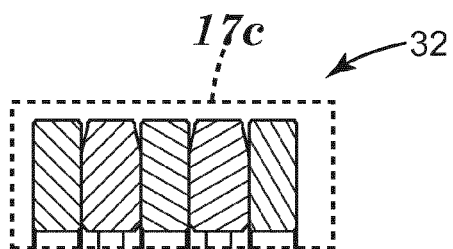


Fig. 17b

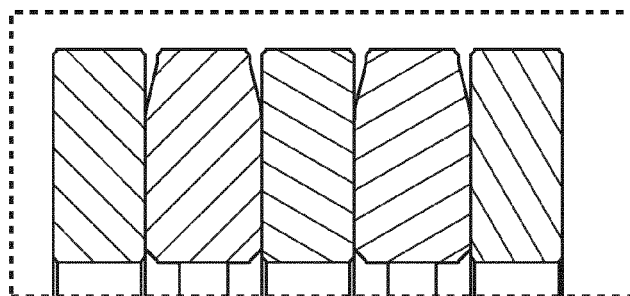


Fig. 17c

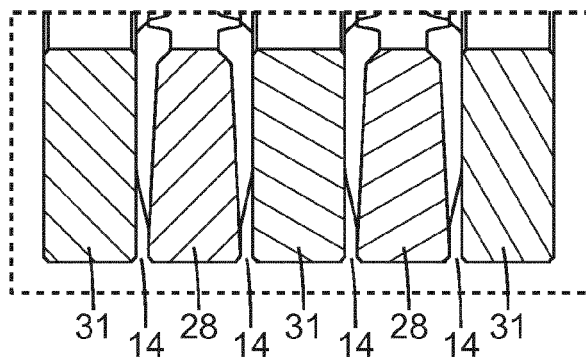


Fig. 17d

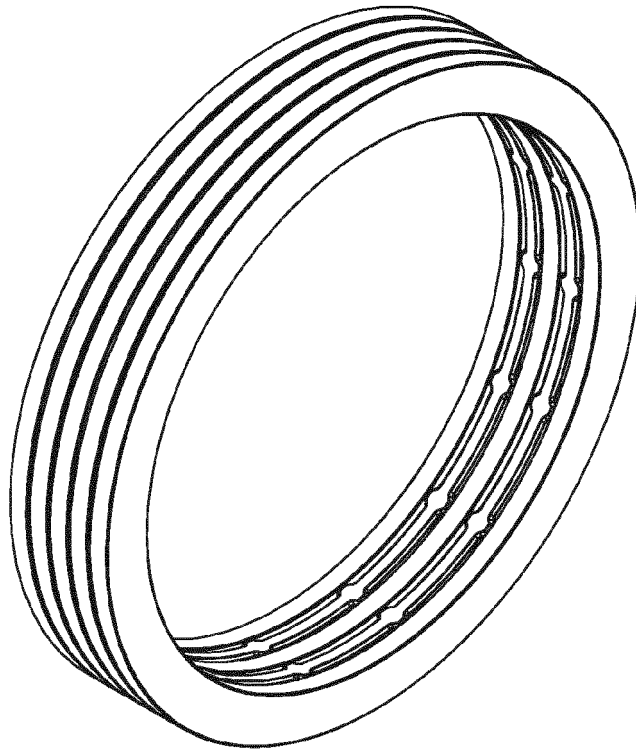


Fig. 17e

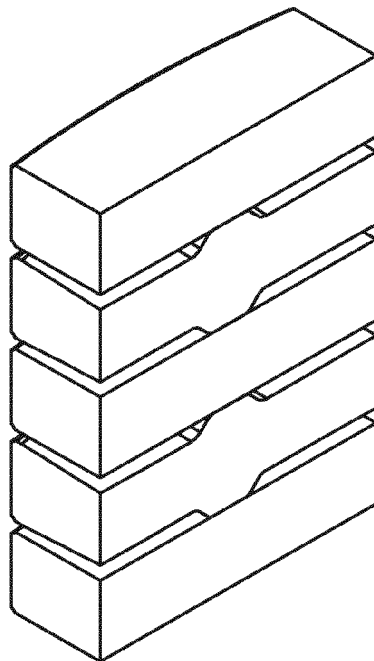


Fig. 17f



EUROPÄISCHER TEILRECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 14 17 9128

nach Regel 62a und/oder 63 des Europäischen Patent-
übereinkommens. Dieser Bericht gilt für das weitere
Verfahren als europäischer Recherchenbericht.

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	DE 10 2008 057894 A1 (ESK CERAMICS GMBH & CO KG [DE]) 2. Juni 2010 (2010-06-02) * Zusammenfassung * * Absätze [0002], [0003], [0009] * * Abbildungen 1a-g, 2a-d, 3b-c * * Absätze [0025], [0062], [0063], [0037], [0039] * -----	1,3,5, 7-23	INV. E21B43/08
A,D	WO 2011/009469 A1 (ESK CERAMICS GMBH & CO KG [DE]; MAERSK OLIE & GAS AS [DK]; MUESSIG SIE) 27. Januar 2011 (2011-01-27) * Zusammenfassung; Abbildungen 1a-f, 2, 3a * * Seite 7, Zeilen 24-34 * * Seite 12, Absatz 3 * -----	1,3,5, 7-23	
A,D	WO 2011/120539 A1 (ESK CERAMICS GMBH & CO KG [DE]; MAERSK OLIE & GAS [DK]; WILDHACK STEFA) 6. Oktober 2011 (2011-10-06) * Zusammenfassung * * Abbildungen 3a, b, 8c * * Seite 19, Absatz 2 * -----	1,3,5, 7-23	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E21B E03B
UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE			
Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß ein oder mehrere Ansprüche, den Vorschriften des EPÜ nicht entspricht bzw. entsprechen, so daß nur eine Teilrecherche (R.62a, 63) durchgeführt wurde.			
Vollständig recherchierte Patentansprüche:			
Unvollständig recherchierte Patentansprüche:			
Nicht recherchierte Patentansprüche:			
Grund für die Beschränkung der Recherche:			
Siehe Ergänzungsblatt C			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		15. April 2015	Wehland, Florian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04E09)



**UNVOLLSTÄNDIGE RECHERCHE
ERGÄNZUNGSBLATT C**

Nummer der Anmeldung
EP 14 17 9128

Vollständig recherchierbare Ansprüche:
1, 3, 5, 7-23

Nicht recherchierte Ansprüche:
2, 4, 6, 24

Grund für die Beschränkung der Recherche:

Ansprüche 2,24 sind im Widerspruch zu Regel 62(a) EPÜ.

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 14 17 9128

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-04-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008057894 A1	02-06-2010	CN 102216558 A	12-10-2011
		DE 102008057894 A1	02-06-2010
		EA 201170707 A1	31-10-2011
		EP 2347092 A1	27-07-2011
		US 2011220347 A1	15-09-2011
		WO 2010057591 A1	27-05-2010

WO 2011009469 A1	27-01-2011	AU 2009350223 A1	08-12-2011
		CA 2761686 A1	27-01-2011
		CN 102639205 A	15-08-2012
		DK 2456531 T3	18-11-2013
		EA 201171223 A1	30-04-2012
		EP 2456531 A1	30-05-2012
		EP 2662124 A1	13-11-2013
		ES 2435892 T3	26-12-2013
		US 2012125601 A1	24-05-2012
		WO 2011009469 A1	27-01-2011

WO 2011120539 A1	06-10-2011	AU 2010350079 A1	18-10-2012
		CA 2738171 A1	30-09-2011
		CN 102822444 A	12-12-2012
		DK 2553216 T3	03-03-2014
		EA 201290987 A1	29-03-2013
		EP 2553216 A1	06-02-2013
		ES 2462116 T3	22-05-2014
		US 2012018146 A1	26-01-2012
		WO 2011120539 A1	06-10-2011

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102008057894 A1 [0007] [0016] [0017] [0019] [0021] [0030] [0031] [0034]
- WO 2011009469 A1 [0007] [0016] [0017] [0019] [0021] [0022] [0030] [0031] [0034]
- WO 2011120539 A1 [0007] [0016] [0017] [0019] [0021] [0022] [0030] [0031] [0034] [0167] [0168] [0182]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Drilling Data Handbook. IFP Publications [0087]