



(10) **DE 10 2020 121 547 A1** 2022.02.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 121 547.9**

(22) Anmeldetag: **17.08.2020**

(43) Offenlegungstag: **17.02.2022**

(51) Int Cl.: **C04B 35/622** (2006.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B33Y 80/00** (2015.01)

(71) Anmelder:  
**InnoSpire Technologies GmbH, 65510 Idstein, DE**

(74) Vertreter:  
**Blumbach Zinngrebe Patentanwälte PartG mbB,  
65187 Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:  
**Meyer-Blumenroth, Ulrich, Dr., 65510 Idstein, DE;  
Jung, Gisela, Dr., 65199 Wiesbaden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

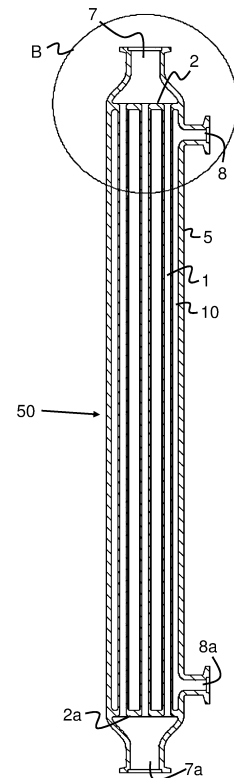
<b>US</b>	<b>2016 / 0 167 132</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2017 / 0 246 593</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2016/ 187 097</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Monolithisch aufgebaute keramische Membranfilter**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein additives Herstellungsverfahren zur Herstellung eines keramischen Bauteils mit zumindest teilweiser oder zumindest bereichsweiser poröser Materialstruktur vorgestellt, insbesondere als Filterelement oder Filtervorrichtung, umfassend die Schritte Bereitstellen eines porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials, Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials zum Aufbau des keramischen Bauteils, und bei dem Auftragen Einstellen der Porosität des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials.



**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von monolithischen keramischen Bauteilen sowie monolithische keramische Bauteile, insbesondere als keramische Membranfilter.

## Hintergrund und allgemeine Beschreibung der Erfindung

**[0002]** Keramische Membranfilter zum Filtern bzw. der Abtrennung von Stoffen aus zumeist flüssigen Gemischen sind als solche bekannt. Bei einem solchen Gemisch kann es sich um ein disperses Medium handeln oder beispielsweise auch um eine Lösung, bei welcher in einem Grundstoff weitere Bestandteile gelöst sind.

**[0003]** Keramische Membranfilter sind in verschiedenen Anwendungsgebieten im Einsatz z. Bsp. in der Aufbereitung von Wasser und Lebensmitteln, in der Herstellung pharmazeutischer Produkte, in biotechnologischen oder chemischen Prozessen. Ein Beispiel für eine solche Anwendung kann die Abtrennung von Zellen und Zellbruchstücken von Wirkstofflösungen bei der biotechnologischen Herstellung von Pharmazeutika sein. Es wird hier nach wie vor intensiv nach Weiterentwicklungen gesucht, um beispielsweise den Durchsatz an zu filtrierendem Medium zu erhöhen oder aber die Kosten weiter zu senken. Für technische Anlagen sind im Gegensatz zu medizinischen Apparaten sehr viel größere Membranflächen erforderlich.

**[0004]** Da jeder unterschiedliche Anwendungsbe- reich unterschiedliche Anforderungen stellt, insbesondere an Material, Design, oder Größe der Filter, und Prozessanforderungen wie Temperatur, Druck, Volumen und Aggressivität der berührenden Medien, oder aber besondere Hygieneanforderungen zu berücksichtigen sind, steht der Markt der Membranfilter derzeit noch in der Entwicklung. Einen univ- ersellen Ansatz, der zumindest eine Mehrzahl un- terschiedlicher Anwendungsbereiche abzudecken ver- mag, ist bislang nicht erreicht.

**[0005]** Darüber hinaus kommt es nicht selten zu Ausfällen von Filtrationsanlagen aufgrund der nur begrenzten mechanischen und/oder chemischen Stabilität von bekannten Modulen. Bereits Reini- gungsprozesse bei erhöhter Temperatur, hohem und/oder niedrigem pH-Wert oder mit oxidierenden Reinigungsmitteln können die Lebenszeit der Module deutlich begrenzen. Keramische Filter kön- nen empfindlich auf Temperaturschocks oder mechanische Einwirkung reagieren.

**[0006]** Keramische Membranfilter werden aufgrund der z.T. automatisierten Herstellverfahren heutzutage als standardisierte Produkte mit vorgegebener Geometrie hergestellt, wobei Anpassungen an besondere Anforderungen aus der Prozessführung wie beispielsweise für hohe Viskositäten und/oder niedrige Druckverluste bei der Durchströmung oder für schwierige Einbaumgebungen praktisch ausge- schlossen sind bzw. nicht vorgesehen sind, da die daraus resultierenden niedrigeren Stückzahlen die Stückkosten in unverkäufliche Regionen treiben würde.

**[0007]** Es ist Erkenntnisgrundlage der vorliegenden Erfindung, dass sich die beschriebenen Einschrän- kungen von aktuell vorhandenen und in der Literatur beschriebenen keramischen Filtern ganz Wesentlich aus deren Aufbau ergeben, denn diese werden gefügt aus konfektionierten Bauteilen.

**[0008]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde in rückschauender Betrachtung auf diese bekannten Filter erkannt, dass es ein Problem ist, wenn Filtermodule typischerweise aus verschiede- nen insbesondere verschiedenartigen Komponenten bestehen, die mit unterschiedlichen Verfahren her- gestellt und anschließend reversibel oder irreversibel miteinander verbunden werden. Zu den separaten Komponenten zählen Membranen als Flachware oder Röhren, Komponenten zur Fluid-Zu- und -abführung (z.Bsp. Druckrohre, Anschlussstücke, Permeatrohre, Belüftungsrohre, ...) und Kompo- nenten zur Fluid-Verteilung und Durchmischung (Bsp. Spacer, ATDs,...). So werden bislang Filtermodule eingesetzt, welche insbesondere mit Dichtungsring- en oder anderen Abdichtungsmitteln versehen wer- den und in ein separates Gehäuse mit separaten Anschlüssen eingebaut werden. Die Abdichtung zur Vermeidung von Querströmungen zwischen der Hüllseite und der Lumenseite ist dabei aufwendig und begrenzt in entscheidendem Maße die mög- lichen Einsatzbereiche für Membranfilter.

**[0009]** Ein Beispiel für bekannte verschweißte Rohr- membranen ist in der Europäischen Offenlegungs- schrift EP 88 108 462 A beschrieben. Typisch ist, dass verschiedene Fügeverfahren, wie insbeson- dere Schweißen oder das Einfüllen von Verguss- masse, notwendig sind, um eine Abdichtung und/o- der gezielte Flüssigkeitsführung in dem Filtermodul zu erzielen. Bei einem solchen „modularen Aufbau“ ist zwar grundsätzlich interessant, dass unterschied- liche Materialien passgenau und damit ggf. kosten- günstiger eingesetzt werden können und somit ent- sprechend den Anforderungen gezielt ausgewählt werden können.

**[0010]** Es wurde aber im Rahmen der vorliegenden Erfindung erkannt, dass daran nachteilig sein kann, dass die unterschiedlichen Komponenten beispiels-

weise unter Belastung, wie zum Beispiel Temperaturwechseln, Druckwechsel oder auch einer Quellung des Materials, sich zueinander unterschiedlich verhalten und dadurch die Leistung des Filters verschlechtern oder versagen.

**[0011]** Typischerweise werden die Membranen mit den anderen Komponenten zu einem Filterelement verklebt oder verschweißt.

**[0012]** Auch mechanische Abdichtungen, die zwischen Membranen und Gehäuse eingeklemmt werden, sind bei keramischen Membranen durchaus üblich.

**[0013]** Anschlussstücke (Filterelement zu Rohrleitungssystem) werden häufig lösbar mit der Filtereinheit verbunden z. Bsp. Zu- und Abfuhrkappen über Clamps, Flansche oder Gewinde. Dichtungen verhindern dabei einen „Kurzschluss“ zwischen Feed und Filtrat.

**[0014]** Bei Kapillarmodulen z. Bsp. kommt es immer wieder zu Kapillarbrüchen an der Einbettung, zu einer Ablösung von Kleber (Potting) von der Gehäusewand oder auch zu Vergusseinbrüchen. Bei flächig verklebten Flachmembranen z. Bsp. in getauchten Modulen wird Delamination zwischen den Laminatelagen beobachtet. Bei keramischen Rohrmembranen oder auch bei Multikanalelementen stellen die eingesetzte Elastomerdichtung häufig die limitierende Schwachstelle der gesamten Filtereinheit dar. Sowohl die Keramik der aufgebauten Membran als auch das typischerweise eingesetzte Edelstahl des Gehäuses können als solche eine erheblich höhere Temperatur- und/oder Chemikalienbeständigkeit vorweisen als das verwendete Dichtungsmaterial.

**[0015]** Ein weiterer Nachteil von bekannten mehrteiligen Filtermodulen ist, dass die verwendeten Fügeprozesse sich immer wieder als fehleranfällig erweisen. Typisch ist, dass verschiedene Fügeverfahren, wie insbesondere Schweißen oder das Einfüllen von Vergussmasse, notwendig sind, um eine Abdichtung und/oder Flüssigkeitsführung in einem Filtermodul zu erzielen.

**[0016]** Kapillarmembranen, auch keramische, werden zumeist in Gehäuse verklebt. Dabei kann es während der Aushärtung der Vergussmasse durch die Vernetzungsreaktion zu einer Schwindung des Materials kommen. Der Übergang vom Vergussblock zum Gehäuse eines solchen Filters steht daher typischerweise unter Spannung, was im praktischen Einsatz unter wechselnden Temperaturen und/oder Drücken zu einer zumindest partiellen Ablösung der Vergussmasse von der Gehäusewand führen kann. Eine zuverlässige Trennung zwischen der Strömung auf der Lumenseite und der Strömung auf der Hüllseite ist damit nicht mehr gewährleistet.

**[0017]** Weitere Nachteile von bekannten Filtern entstehen durch die eingeschränkte Gestaltungsmöglichkeit. Beim Vergießen von Kapillar- oder Rohrmembranen sind die Übergänge in bzw. zwischen den Bauteilen, wie beispielsweise zwischen der Membran und einer daran anschließende Endplatte nicht frei wählbar. Sie werden vielmehr durch das Fließ- und Benetzungsverhalten der eingesetzten Vergussmasse bestimmt. Vorteilhafte Ausgestaltungen, die die mechanische Stabilität verbessern würden und/oder die Strömungsführung des Fluids verbessern könnten, können nicht gezielt hergestellt werden. So kommt es zu mechanischen Brüchen an dieser Übergangsstelle und ungünstigen Strömungen, die zu Druckspitzen und Verschleiß führen. Typischerweise werden des Weiteren auf der Zuflussseite die Membranen mit der Vergussmasse bündig mit dem Gehäuseende abgeschnitten. Die Schnittkanten der Membranen sind scharfkantig, und je nach Membran und Anwendung müssen diese Schnittkanten versiegelt werden. Dies beeinträchtigt die Strömung des einfließenden Fluids erheblich.

**[0018]** In keramischen Membranfiltern führt das aktuell übliche Design zu deren mangelnden Robustheit gegenüber mechanischer Beeinflussung, wie insbesondere Schockstöße beim Herunterfallen oder fachungerechten Hantieren. So sind die Membranen üblicherweise nur an ihren Enden im Gehäuse und/oder in einer Vergussmasse verankert. Die Sprödhheit des Werkstoffes führt daher regelmäßig zu Membranbrüchen zwischen den Endplatten, welche durch die Einwirkung von mechanischen Belastungen, wie einer Schockbelastung oder einer Scherbelastung, auftreten kann. Eine ganz ähnliche Situation ergibt sich auch bei schnellen Temperaturänderungen. Strömt beispielsweise plötzlich ein heißes Fluid durch die Membranen, dehnen sich diese aus. Das noch kalte Gehäuse lässt unter Umständen diese Dehnung nicht zu und es bauen sich in den Membranen erhebliche Spannungen auf, die ebenfalls regelmäßig zu Membranbruch führen.

**[0019]** Vor dem zuvor beschriebenen allgemeinen Hintergrund der Erfindung und dem dort ebenfalls beschriebenen Erkennungsprozess im Rahmen der Erfindungslegung der vorliegenden Anmeldung und den aufgezeigten dort aufgefundenen Nachteilen hat sich daher die vorliegende Erfindung die Aufgabe gestellt, eben jene zuvor genannten Probleme zu lösen oder zumindest hierzu Verbesserungen einzuführen. Konkret hat sich die Erfindung die Aufgabe gestellt, keramische Filtermodule bzw. Membranfilter bzw. Bauteile bereitzustellen, die erheblich robuster hinsichtlich ihrer Handhabung, alternativ oder kumulativ auch hinsichtlich der anwendbaren Prozess- und Betriebsparameter sind. Die Erfindung löst das Problem, dass die beschriebenen Alterungsprozesse von bekannten Filtern vermieden oder verbessert

werden, und dass Ausfallzahlen von ganzen Filtermodulen sowohl in der Produktion als auch im Betrieb verringert werden.

**[0020]** Die vorliegende Erfindung erfüllt damit auch den weiteren Teilaspekt, Standzeiten von keramischen Filtermodulen bzw. Bauteilen im harten technischen Einsatz zu erhöhen und damit die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

**[0021]** Die vorliegende Erfindung erfüllt des Weiteren den Teilaspekt, keramische Filtermodule bzw. Bauteile bereitzustellen, die eine weiter verbesserte Durchmischung der eingesetzten Fluide realisieren und/oder den Filtratdurchsatz weiter erhöhen. So kann einerseits die Ausbeute gesteigert werden und/oder die durchgesetzte Fördermenge erhöht werden.

**[0022]** Neben den vorgenannten und zahlreichen weiteren Aspekten, die die vorliegende Erfindung löst, stellt die vorliegende Erfindung auch einen mit einfachen Mitteln anpassbaren keramischen Filter bereit, der im Herstellungsprozess für die konkrete spätere Anwendung optimiert werden kann hinsichtlich beispielsweise der Parameter Filtrierleistung, Förderleistung, hinsichtlich des Volumen- oder Massenstromes an Fluid und/oder der mechanischen Belastbarkeit bzw. Widerstandskraft gegenüber mechanischen Einflüssen.

**[0023]** Alternativ oder kumulativ hat sich die Erfindung auch zur Aufgabe gestellt, den Herstellungsprozess von keramischen Filtermodulen zu vereinfachen und/oder kostengünstiger, oder sogar individuell anpassbar an die konkrete Anforderung bereitzustellen.

**[0024]** Die Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstände der abhängigen Ansprüche.

**[0025]** Die vorliegende Beschreibung ist dabei auf keramische Bauteile und deren Herstellung beschränkt in Abgrenzung zu polymeren Bauteilen, welche ebenfalls additiv herstellbar sind, aber nicht Gegenstand der vorliegenden Anmeldung oder daraus erwachsenden Ansprüchen sein können. Die vorliegende Beschreibung bezieht darüber hinaus auch nicht solche Bauteile, ein, welche mit einem als TiPS bekannten Verfahren hergestellt sind. Diese Aspekte werden in weiteren Anmeldungen desselben Anmelders weiterverfolgt, um darauf zusätzlichen und parallelen Schutz erhalten zu können, und sind daher nicht Gegenstand der vorliegenden Anmeldung.

**[0026]** Die in dieser Beschreibung vorgeschlagenen Verbesserungen und neuen Bauformen konzentrie-

ren sich dabei neben zahlreichen weiteren Aspekten darauf, ein keramisches Bauteil bereitzustellen, welches geeignet ist zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem Fluid. Eine solche Abtrennung ist also zum Beispiel die Filtrierung eines Fluids, also das Herauslösen von Stoffen zum Beispiel aus einer Lösung, das Abstreifen oder Abtrennen von Schwebstoffen aus einem dispersen Medium wie einer Suspension. Dabei ist die Erfindung hierauf aber nicht beschränkt.

**[0027]** Die vorliegende Erfindung konzentriert sich in einem zugrundeliegenden Gedanken und in einem weiteren Aspekt der Erfindung darauf, monolithisch aufgebaute keramische Bauteile bereitzustellen zur Herstellung von keramischen Filtermodulen. Solche monolithischen Bauteile, wie insbesondere keramische Membranfilter, können im Lichte der vorliegenden Erfindung additiv geformt sein und/oder eine intrinsische Porosität aufweisen. Beispielsweise können bei einem monolithischen Bauteil alle Komponenten aus einem einheitlichen Ausgangsmaterial bereitgestellt werden.

**[0028]** Monolithische Bauteile werden ferner typischerweise im Ganzen und ohne Unterbrechung hergestellt. Aufgrund des Fehlens von gefügten Bauteil-zu-Bauteil-Übergängen - oder deren Beschränkung auf wenige, technisch mögliche bzw. im Sinne der Herstellungskosten sinnvolle Übergänge - können sie sich durch extreme Robustheit in der Anwendung auszeichnen und können überdies in strömungstechnischer Hinsicht wie auch in ihrer Größe und somit der Filtrationskapazität auf ihren Einsatzzweck hin optimiert werden.

**[0029]** Es gibt verschiedene bereits bekannte Verfahren der additiven Fertigung, welche große Gestaltungsspielräume bieten. Typischerweise werden die zu fertigenden Elemente schichtweise aufgebaut. Die bisher bekannten Verfahren der additiven Fertigung sind allerdings insbesondere für einen Einsatz zum Aufbau von keramischen Membranmodulen in verschiedener Hinsicht unzureichend und gelangen erst mit der vorliegenden Erfindung zur Einsatzreife.

**[0030]** Die additive Fertigung erlaubt dabei beispielsweise auch die Herstellung von Geometrien, die mit bisher bekannten Verfahren zur Membran- bzw. Membranmodulherstellung nicht möglich sind.

**[0031]** Der in der vorliegenden Erfindung beschriebene Einsatz poröser Materialsysteme für die additive Fertigung erlaubt beispielsweise auch die reproduzierbare Erzeugung poröser Bauteile mit einer mittleren Porengröße von bis zu kleiner 1  $\mu\text{m}$ , was bisher eine nicht gelöste Herausforderung darstellt. So erforderten bisherige Versuche in dieser Hinsicht aufgrund der erforderlichen hohen Auflösung einen immensen zeitlichen Aufwand für einen einzigen Fil-

ter, der für eine Serienfertigung unakzeptabel lang ist. Dabei war auch in technologischer Hinsicht das Verhältnis zwischen erzielbarer Bauteilgröße zu der Auflösung des Bauteilaufbaus ein Hindernis dahingehend, dass sich solche Filter nicht in technisch relevanten Größen herstellen ließen. Gerade diese Problematik wird von dem in der vorliegenden Beschreibung gezeigten Ansatz besonders elegant gelöst.

**[0032]** Dabei stellt besonders bevorzugt die von einer Auftragsvorrichtung, wie einem 3D-Drucker, bereitstellbare geometrische Auflösung kein Hindernis mehr hinsichtlich der erzielbaren Porengröße dar. Die geometrische Auflösung der Auftragsvorrichtung ist dann in besonders vorteilhafter Ausgestaltung lediglich noch für die allgemeine Formgebung des Bauteils bzw. des Membranfilters relevant, nicht aber für die konkrete Porengröße des Membranfilters.

**[0033]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines keramischen Bauteils mit zumindest teilweiser oder zumindest bereichsweiser poröser Materialstruktur, insbesondere als Filterelement oder Filtervorrichtung, umfasst mehrere Schritte. In dem Schritt Bereitstellen eines porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials wird das keramische Ausgangsmaterial für den Auftrag bereitgestellt. In einem Beispiel wird das Ausgangsmaterial mittels eines Extruders bereitgestellt. Das Ausgangsmaterial liegt bereits porös vor oder es wird in einer porösierbaren Form bereitgestellt. Das bedeutet, dass das Ausgangsmaterial bei seiner Bereitstellung zunächst nicht porös ist, aber im Zusammenhang mit dem Auftrag des Ausgangsmaterials so beeinflusst, verändert oder anders zusammengesetzt wird, dass das Ausgangsmaterial im zeitlichen Zusammenhang mit dem Auftrag des Ausgangsmaterials mit Poren durchsetzt werden kann.

**[0034]** Mit anderen Worten meint das Bereitstellen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials das Überführen eines Primärmaterials zu dem in Herstellung befindlichen Bauteil. So kann das Bereitstellen auch das Fördern des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials zu dem Ort des Materialauftrags umfassen. Das Bereitstellen kann auch die thermische Anpassung an gewünschte Auftragsbedingungen umfassen, wie auch das Einstellen eines vorteilhaften physikalischen Drucks im Moment des Auftrags des Ausgangsmaterials zur Herstellung des Bauteils. Im Beispiel des Extruders umfasst das Bereitstellen das Fördern und Pressen in der Extruderschnecke, wobei am Ausgang des Extruders schließlich das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial bereitgestellt ist.

**[0035]** Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst ferner das Auftragen des porösen oder porösierba-

ren Ausgangsmaterials zum Aufbau des Bauteils. Bei dem Auftragen umfasst das Verfahren auch das Einstellen der Porosität des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials. Mit anderen Worten wird im Zusammenhang mit dem Materialauftrag des Ausgangsmaterials an oder auf das Bauteil die Porosität am Ort des Materialauftrags eingestellt. Beispielsweise erfolgt diese Einstellung zeitlich unmittelbar vor, während oder unmittelbar nach dem konkreten Materialauftrag.

**[0036]** Beispielsweise kann auf diese Art ein wenig oder nicht poröses Material bereitgestellt werden, um daraus Teile des Gehäuses des Bauteils aufzubauen. Mit demselben Ausgangsmaterial, aber unterschiedlichen physikalischen Parametern oder unterschiedlicher Zusammensetzung oder unterschiedlichen Additiven kann an anderer Stelle des Bauteils eine poröse Materialstruktur erzeugt werden. Die verschiedenen Bauteilbereiche, wie in dem vorgenannten Beispiel Gehäuse und poröse Materialstruktur, sind monolithisch, d. h. einstückig miteinander, aufgebaut. Kennzeichnend ist also, dass keine herkömmlichen Bauteil-zu-Bauteil-Übergänge auftreten, sondern vielmehr Bereiche des keramischen Bauteils mit unterschiedlicher Porosität aufbaubar sind, wobei alle Bereiche gemeinsam aus einem Stück hergestellt und typischerweise stoffschlüssig miteinander verbunden, also beispielsweise verschmolzen, verbacken, gesintert oder verklebt sind. Das Verfahren wird fortgeführt, bis das keramische Bauteil als Ganzes hergestellt ist. Insbesondere wird das Verfahren dabei ohne Unterbrechung bzw. ohne Pause fortgeführt, so dass das additive Herstellungsverfahren am Stück durchgeführt wird. Beispielsweise kann hierdurch in einer Materialauftragszone eine vorteilhafte Auftragstemperatur konstant oder beibehalten werden, so dass es zu einem kontinuierlichen Materialauftrag zur Herstellung des Bauteils kommt.

**[0037]** Das additive Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Bauteils kann in vorteilhafter Ausgestaltung das Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials ein punktwises, linienartiges oder schichtweises Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials umfassen. Mit anderen Worten wird das Ausgangsmaterial bevorzugt punktwise, d.h. insbesondere in einer Punkt-Target-Matrix Punkt für Punkt aufgetragen, wobei der Materialauftrag sukzessive erfolgt. Der Materialauftrag kann dennoch kontinuierlich oder quasikontinuierlich erfolgen, also z.B. „raupenförmig“, und dennoch punktwise eine Punkt-Target-Matrix angefahren werden, was als quasikontinuierlicher Materialauftrag beschrieben werden kann.

**[0038]** Es ist hierbei nicht notwendig und typischerweise auch nicht vorgesehen, dass an jedem Punkt der Punkt-Target-Matrix Material aufgetragen wird.

So sind in der Punkt-Target-Matrix Punkte vorgesehen, welche nicht angefahren werden und solche Punkte, welche angefahren werden und dort Ausgangsmaterial aufgetragen wird. Der Materialauftrag erfolgt dabei typischerweise der Schwerkraft folgend von unten nach oben, wobei zunächst eine unterste Schicht auf einem Bauteilträger abgelegt wird, wobei die unterste Schicht punktwise, linienförmig oder schichtweise aufgetragen werden kann. Auch die unterste Schicht ist nicht zwangsläufig eine durchgehende Schicht, sondern diese kann vielmehr Bereiche umfassen mit und ohne Materialauftrag.

**[0039]** Der Materialauftrag kann weiter vorteilhaft in einer Schicht-Target-Matrix erfolgen. So kann eine Mehrzahl von anzufahrenden Punkten in einer solchen Schicht zusammengefasst werden. Schichten der Schicht-Target-Matrix liegen dabei beispielsweise übereinander angeordnet in einem weiter beispielsweise äquidistanten Abstand zueinander. Der Materialauftrag kann auch schichtweise vorbereitet werden und eine ganze Schicht als Einheit miteinander verbunden oder vernetzt werden, beispielsweise wenn das Ausgangsmaterial pulverförmig vorliegt kann zunächst Schicht für Schicht abgelegt werden und eine Schicht als Ganzes präpariert werden, also beispielsweise mit einer Strahlungsquelle erhitzt und einstückig miteinander verbunden werden.

**[0040]** Schichten wie auch Punkte können auch in anderen Koordinatensystemen, wie beispielsweise Zylinderkoordinaten, vorgesehen sein, wenn beispielsweise ein röhrenförmiges Gebilde als Bauteil herzustellen ist. In dieser Beschreibung wird die Punkt-Target-Matrix als bestmögliche Auflösung bzw. Untergliederung des herzustellenden Bauteils in räumliche Koordinaten aufgefasst, da dies die kleinstmögliche Unterteilung des herzustellenden Bauteils beschreibt. Der Punktabstand von einem Punkt zum nächsten benachbarten Punkt muss nicht identisch sein; Vielmehr kann es vorteilhaft sein, den Punktabstand zu variieren, je nach Anwendungsfall innerhalb einer Richtung zu variieren und/oder in unterschiedlichen Richtungen des Koordinatensystems unterschiedlich auszuprägen. Beispielsweise kann so ein Bereich besonders komplexer Geometrie mit engerem Punktraster versehen sein, wohingegen einfache Gebilde mit wenigen Punkten beschreibbar sind. Dies ist beispielsweise im Fall pastösem Ausgangsmaterial schnell verständlich, wenn das Ausgangsmaterial „raupenförmig“ aufgetragen wird, und eine lange gerade Schicht aufgetragen wird, wobei nur der Anfangs- und Endpunkt der geraden Schicht zu definieren wäre. Aber auch äquidistante Punkt-Target-Matrizen können ggf. vorteilhaft sein. Die Schicht-Target-Matrix umfasst wiederum typischerweise in jeder Auftragsschicht Zielpunkte, in die das herzustellende Bauteil und gegebenenfalls Zwischenräume bzw.

Hohlräume des herzustellenden Bauteils unterteilt sind.

**[0041]** Das punktwise Auftragen kann das Anfahren eines anzufahrenden Punktes der Punkt-Target-Matrix umfassen, an dem das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial aufzutragen ist. Unter dem Anfahren eines anzufahrenden Punktes können hierbei in technischer Hinsicht verschiedene Ausgestaltungen ausgebildet sein. Grundsätzlich meint das Anfahren eines anzufahrenden Punktes, dass Ausgangsmaterial in so einer Form und Art und Weise bereitgestellt wird, dass dieses an dem entsprechenden Punkt der Punkt-Target-Matrix zur Verfügung steht. Das Anfahren kann somit mittels eines Auftragswerkzeugs erfolgen. Ein solches Auftragswerkzeug kann der bereits genannte Extruder sein, wobei das Auftragswerkzeug in dreidimensionaler Weise zu dem aufzutragenden Punkt der Punkt-Target-Matrix bewegt werden kann oder ein Bauteilträger so verstellbar ausgeführt ist, dass ein bewegliches System der Punkt-Target-Matrix entsteht, wobei die Punkt-Target-Matrix vor dem Auftragswerkzeug verschoben wird und der aufzutragenden Punkt der Punkt-Target-Matrix am Auftragswerkzeug zur Anlage kommt.

**[0042]** Ein Auftragswerkzeug ist dann bevorzugt eingesetzt, wenn das Ausgangsmaterial eine flüssige, pastöse oder feste Form aufweist. Für den Fall, dass das Ausgangsmaterial in Pulverform vorliegt, kann unter dem Anfahren des anzuführenden Punktes der Punkt-Target-Matrix beispielsweise auch das Richten eines Hitzeezeugers, wie insbesondere eines Lasers bzw. einer Strahlungsquelle, auf den anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix verstanden werden, um an dem Punkt der Punkt-Target-Matrix das dort abgelegte pulverförmige Ausgangsmaterial zumindest in eine Art Vorschmelze zu bringen, so dass es sich mit dem umliegenden Bauteil bzw. dem umliegenden Ausgangsmaterial verbindet, ggf. als Vorbereitung für ein späteres Sintern des Bauteils als Ganzes. Beispielsweise kann das pulverförmige Ausgangsmaterial ein keramisch gefülltes Polymerpulver sein.

**[0043]** Im Allgemeinen meint das Anfahren eines anzuführenden Punktes der Punkt-Target-Matrix das Verändern, Vorbereiten oder Positionieren des anzufahrenden Punktes der Punkt-Target-Matrix so, dass das Ausgangsmaterial an dem anzufahrenden Punkt mit dem monolithischen Bauteil einstückig verbunden werden kann.

**[0044]** Bei dem Auftragen an dem anzufahrenden Punkt wird bevorzugt das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial eingestellt, und zwar an dem anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix. Das Einstellen des porösen und/oder porösierbaren Ausgangsmaterials kann dabei ebenfalls verschiedene

Ausprägungen annehmen. So meint das Einstellen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials beispielsweise das Einstellen eines Mischungsverhältnisses im Ausgangsmaterial, wenn beispielsweise ein Füllstoff in einem veränderlichen Mischungsverhältnis bereitgestellt wird, wobei das Mischungsverhältnis des Füllstoffes die Porosität des Ausgangsmaterials definiert. Das Einstellen des Ausgangsmaterials am anzufahren Punkt der Punkt-Target-Matrix kann auch das Einstellen der Strahlungsquelle bzw. der Quelle für eine thermische Behandlung des Ausgangsmaterials am anzufahrenden Punkt realisieren. So kann zum Beispiel die Intensität eines einzusetzenden Lasers so eingestellt werden, dass eine höhere Intensität eine andere Porosität erzeugt als eine niedrigere Intensität.

**[0045]** Den genannten Beispielen ist gemein, dass das Ausgangsmaterial an dem anzuführenden Punkt der Punkt-Target-Matrix hinsichtlich seiner Porosität beeinflusst, verändert, zusammengesetzt oder allgemein eingestellt wird. Das solcherart eingestellte poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial wird bevorzugt an dem Punkt aufgetragen.

**[0046]** Das additive Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Bauteils kann ferner den Schritt umfassen Anfahren von zumindest einem ersten Punkt der Punkt-Target-Matrix und Einstellen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials an dem zumindest einen ersten Punkt derart, dass an dem zumindest einen ersten Punkt eine poröse Materialstruktur entsteht. Mit anderen Worten wird das Ausgangsmaterial an dem zumindest einen ersten Punkt, beispielsweise an einer Mehrzahl von Punkten, die einen gemeinsamen Bereich im Bauteil bilden, so eingestellt, dass in additiver Weise eine Porosität im Bauteil einstellbar ist. Somit wird durch das Anfahren des Punktes oder der Punkte der Punkt-Target-Matrix sukzessive eine poröse Materialstruktur aufgebaut.

**[0047]** Das Verfahren kann auch den Schritt umfassen Anfahren von zumindest einem zweiten Punkt der Punkt-Target-Matrix und Einstellen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials an dem zumindest einen zweiten Punkt derart, dass an dem zweiten Punkt eine undurchlässige Materialstruktur entsteht. Mit anderen Worten wird das Ausgangsmaterial an diesem zweiten Punkt oder an diesen zweiten Punkten, welche beispielsweise einen Bereich im Bauteil bilden, so eingestellt, dass das daraus entstehende Gebilde eine undurchlässige Struktur aufweist. Undurchlässig ist dabei beispielsweise eine Struktur, welche vergleichsweise wenig Poren oder gar keine Poren aufweist, oder aber welche geschlossenporig aufgebaut ist, so dass kein Fluidaustausch und/oder Stoffaustausch zwischen Fluiden gewährleistet ist. Eine undurchlässige Struktur im Sinne der Erfindung verhindert also bevorzugt

ein Durchströmen der undurchlässigen Materialstruktur von einem Fluid, andererseits aber weiter insbesondere den Stoffaustausch von einem ersten Fluid auf einer ersten Seite der undurchlässigen Materialstruktur mit einem zweiten Fluid auf einer zweiten Seite der undurchlässigen Materialstruktur. Eine beispielhafte Struktur, die mit einer undurchlässigen Materialstruktur in vorteilhafter Weise aufgebaut werden kann, ist eine Umhäusung um das Bauteil zum Schutz desselben, wie auch zu dem Zwecke, insbesondere ein Hüllfluid in dem Bauteil zu halten und zugleich eine Hüllseite für das Hüllfluid vorzuhalten.

**[0048]** Die Punkte der Punkt-Target-Matrix können in Ablageschichten angeordnet sein. Das Anfahren der Punkt-Target-Matrix kann in diesem Fall schichtweise durchgeführt werden, so dass zunächst die Punkte einer ersten Ablageschicht angefahren werden, wobei nicht alle Punkte der ersten Ablageschicht anzufahren sein müssen. Anschließend, d. h. nach dem Anfahren der ersten Ablageschicht, werden anschließend Punkte einer zweiten Ablageschicht angefahren, wobei abermals nicht erforderlich ist, dass alle Punkte der zweiten Ablageschicht angefahren werden; vielmehr ist vorgesehen, Hohlräume in zusammenhängender Form im Bauteil bereitzustellen.

**[0049]** Der Schritt Auftragen kann das Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials dergestalt umfassen, dass zumindest eine Ablageschicht Bereiche mit undurchlässiger Materialstruktur aufweist. Das Auftragen kann auch so ausgestaltet werden, dass zumindest eine Ablageschicht Bereiche mit poröser Materialstruktur aufweist.

**[0050]** Das Auftragen kann ferner auch so gestaltet werden, dass zumindest eine Ablageschicht sowohl undurchlässige Materialstruktur als auch poröse Materialstruktur aufweist, welche mit demselben porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterial aufgetragen ist. Mit anderen Worten kann in einer Ablageschicht sowohl undurchlässige Materialstruktur als auch poröse Materialstruktur mit dem vorliegenden Verfahren aufgebaut werden. Grundsätzliche Idee der vorliegenden Erfindung bleibt dabei, dass alle Bereiche monolithisch, d. h. einstückig miteinander verbunden sind. Im Rahmen dieser Erfindung konnte dabei realisiert werden, dass Bereiche mit undurchlässiger Materialstruktur einstückig mit Bereichen mit poröser Materialstruktur gemeinsam aufgebaut werden. Dies lässt sich durch die Einstellung des Ausgangsmaterials am anzufahrenden Punkt erreichen.

**[0051]** Das Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials kann dergestalt durchgeführt werden, dass die teilweise oder bereichsweise poröse Materialstruktur des Bauteils chaotisch angeordnet oder aufgebaut ist. Mit anderen Worten weist

die poröse Materialstruktur eine chaotischer Anordnung bzw. einen chaotischen Aufbau auf. Chaotisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die konkrete mikroporöse Struktur, die mit dem Auftragen des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials erzielt wird, in ihrer mikroporösen konkreten Gestaltung nicht so exakt reproduzierbar ist, dass ein Bauteil einem zweiten Bauteil an einem konkreten Punkt der Punkt-Target-Matrix gleicht. Vielmehr ist Idee der vorliegenden Erfindung jedenfalls in einem Aspekt, dass die konkrete Porenstruktur nicht im Mikrometerbereich exakt festgelegt wird, sondern lediglich hinsichtlich der Wirkung eingestellt wird. So lässt sich eine erzielbare Porengröße grundsätzlich im Materialauftrag einstellen, nicht aber die exakte Anordnung und Struktur der erzielten Poren. Hinsichtlich der technischen Wirkung ist dies weder ein Unterschied noch ein Nachteil. Im Gegenteil liegt dem Aspekt der Vorteil inne, dass auf eine exakte Modellierung jeder einzelnen Pore verzichtet werden kann und lediglich eine gewünschte Porosität eingestellt wird. Auf die konkrete Anordnung der Poren zueinander kommt es hierbei gar nicht an. Die in dieser Weise erzeugte und bereitgestellte Porosität kann daher als intrinsische Porosität beschrieben werden. Die Erfinder haben vorliegend erkannt, dass es ausreicht und besonders vorteilhaft ist, eine solche intrinsische Porosität bereitzustellen, da dadurch Bauteile erheblich schneller und zugleich kostengünstiger hergestellt werden können als mit denkbaren vergleichbaren Verfahren.

**[0052]** Die teilweise oder bereichsweise poröse Materialstruktur des Bauteils kann mit dem Auftrag des Ausgangsmaterials im bzw. am Bauteil entstehen und einen nicht repetitiven Aufbau, d.h. einen „chaotischen“ oder „nicht-deterministischen“ Aufbau bzw. Anordnung aufweisen. Die Struktur bzw. der Aufbau der porösen Materialstruktur ist dabei, wie zuvor beschrieben, nicht in einer solchen Form wiederholbar, dass eine exakt gleiche Porenanordnung durch die Wiederholung der Bauteilherstellung erreicht werden könnte. Vielmehr wird ein zweites Bauteil hinsichtlich eines Vergleichs zu dem ersten Bauteil an einem konkreten Punkt der Punkt-Target-Matrix eine vergleichbare Porosität aufweisen, wobei die Porosität im erfindungsgemäßen Verfahren eingestellt ist bzw. einstellbar ist, nicht aber die exakte Porenverteilung und Anordnung im Bauteil. Das Ausgangsmaterial kann daher bevorzugt intrinsisch-porös eingestellt sein bzw. hergerichtet sein. Mit anderen Worten ist es besonders vorteilhaft, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. mit der erfindungsgemäßen Auftragsmaschine nicht die Position einer jeden Pore exakt einzustellen, sondern die Porosität in einer Materialstruktur.

**[0053]** Die poröse Materialstruktur weist dabei bevorzugt eine offene Porosität auf. Die undurchlässige Materialstruktur kann hingegen eine geschlos-

sene Porosität oder gar keine Porosität aufweisen, jedenfalls keine Offenporigkeit.

**[0054]** Die poröse Materialstruktur kann sich dadurch auszeichnen, dass diese zumindest teilweise permeabel für das Fluid oder jedenfalls für Bestandteile des Fluids eingestellt ist. Die poröse Materialstruktur kann sich dadurch auszeichnen, dass dort ein geringerer Widerstand für die Durchströmung oder Durchdringung eines Fluids durch die poröse Materialstruktur vorliegt als in der undurchlässigen Materialstruktur.

**[0055]** Die poröse Materialstruktur kann eine offene mikro-oder mesoporöse Struktur aufweisen. Die mittlere Porengröße kann dabei kleiner als 40 µm sein, bevorzugt kleiner 5 µm und weiter bevorzugt sogar kleiner als 1 µm. Solche mittleren Porengrößen sind mit vergleichbaren Verfahren bislang unerreichbar.

**[0056]** Die poröse Materialstruktur weist bevorzugt eine mittlere Volumenporosität von 20 % oder größer auf, bevorzugt 35 % oder größer. Je nach Herstellungsverfahren kann die mittlere Volumenporosität sogar 50 % oder größere Werte erreichen.

**[0057]** Die undurchlässige Materialstruktur kann eine höhere Dichte aufweisen als die poröse Materialstruktur. Das Verhältnis der Dichte der undurchlässigen Materialstruktur zu derjenigen der porösen Materialstruktur liegt insbesondere bei 1,2 : 1, bevorzugt bei 1,5 : 1 und noch weiter bevorzugt bei 2 : 1. Mit anderen Worten ist die Materialstruktur in undurchlässigen Bereichen dichter aufgebaut als in Bereichen poröser Materialstruktur. Dabei kann das Verhältnis der Dichte der undurchlässigen Materialstruktur zu der porösen Materialstruktur auch in Intervallen angegeben sein, beispielsweise in einem Intervall zwischen 1,2 : 1 bis 1,5 : 1 und bevorzugt in dem Intervall von 1,5 : 1 bis 2 : 1.

**[0058]** Der Schritt Einstellen der Porosität des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials kann beispielsweise umfassen die Beimischung von Additiv- oder Füllstoff zu dem Ausgangsmaterial zum Einstellen der Porosität im Moment des Materialauftrags. Insbesondere wird dies durchgeführt an dem jeweils anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix.

**[0059]** Das Einstellen kann auch das Einstellen von Härungsparametern für den jeweils anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix umfassen.

**[0060]** Der Schritt Einstellen kann ferner auch die Auswahl von einem anzuwendenden Ausgangsmaterial aus einer Mehrzahl von zumindest zwei Ausgangsmaterialien umfassen, wobei die zumindest zwei Ausgangsmaterialien abwechselnd oder gleichzeitig zugeführt werden können. Insbesondere kann



dies so ausgestaltet werden, dass die zumindest zwei Ausgangsmaterialien an dem jeweils anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix bereitgestellt werden zur Herstellung des monolithischen Bauteils.

**[0061]** Als Additiv können dabei polymere oder anorganische Nanopartikel eingesetzt sein. Als Füllstoff kann dabei ein anorganischer oder organischer Füllstoff eingesetzt sein.

**[0062]** Die Poren des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials können beim Materialauftrag, d. h. also insbesondere zu dem konkreten Zeitpunkt und dem konkreten Ort des anzufahrenden Punktes der Punkt-Target-Matrix, so gestaltet oder vorbereitet werden, dass diese im Bauteil eine zusammenhängende poröse Materialstruktur ausbilden.

**[0063]** Die Poren können auch so bereitgestellt werden, dass diese eine rundliche oder kartoffelförmige Einzelstruktur aufweisen.

**[0064]** Die poröse Materialstruktur des Bauteils kann so aufgebaut und/oder angeordnet sein, dass diese geeignet ist, eine Hüllseite von einer Trägerseite permeabel abzutrennen. Mit anderen Worten wird das Bauteil so vorbereitet, dass die poröse Materialstruktur auf ihrer ersten Seite eine Hüllseite bildet und auf ihrer zweiten Seite eine Trägerseite bildet. Konkret kann in einem Beispiel die poröse Materialstruktur als Membran bezeichnet werden, wobei die Membran zwei Flachseiten aufweist und die erste Flachseite von einem Hüllfluid überstrichen wird, wobei die zweite Flachseite von einem Trägerfluid überstrichen wird.

**[0065]** Im Rahmen der Erfindung wird auch ein monolithisches Bauteil beschrieben, insbesondere als Vorrichtung zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem Fluid, weiter insbesondere hergestellt nach dem wie vorstehend beschriebenen Verfahren. Das monolithische keramische Bauteil umfasst eine erste und eine der ersten gegenüberliegende zweite Stirnseite. Zwischen der ersten und der zweiten Stirnseite ist eine poröse Struktur angeordnet, welche mit den Stirnseiten einstückig aufgebaut und verbunden ist. Die poröse Struktur ist jedenfalls bereichsweise oder jedenfalls teilweise permeabel eingerichtet.

**[0066]** Die poröse Struktur ist ferner so hergerichtet und angeordnet, eine Hüllseite von einer Trägerseite zumindest teilweise und/oder zumindest bereichsweise permeabel abzutrennen. Auf der Trägerseite ist dabei ein Trägerfluid bereitstellbar.

**[0067]** Die poröse Struktur ist dabei hergerichtet, einen Stofftransfer des Trägerfluids mit der Hüllseite zu gewährleisten. Ein Stofftransfer meint dabei insbesondere einen Transfer vom Trägerfluid in ein

Hüllfluid und/oder von einem Hüllfluid in das Trägerfluid.

**[0068]** Das monolithische Bauteil kann als Membranelement für eine Filtervorrichtung ausgestaltet sein oder als Filtervorrichtung als Ganzes ausgestaltet sein. Die Filtervorrichtung ist dann monolithisch mit der porösen Struktur als Membranelement aufgebaut.

**[0069]** Das monolithische Bauteil kann ferner ein monolithisch mit der porösen Struktur und der ersten und zweiten Stirnseite ausgebildete Umhäusung umfassen. Die poröse Struktur ist dabei bevorzugt von der Umhäusung gemeinsam mit der ersten und zweiten Stirnseite umschlossen.

**[0070]** Auf der Hüllseite des monolithischen Bauteils ist bevorzugt ein Hüllfluid bereitstellbar, so dass in dem oder durch das monolithische Bauteil sowohl das Trägerfluid als auch das Hüllfluid strömen kann. Das Trägerfluid ist dann mittels der porösen Struktur von dem Hüllfluid abgetrennt. Das monolithische Bauteil kann auch so bereitgestellt werden, dass die poröse Struktur semipermeabel oder selektiv-permeabel eingerichtet ist.

**[0071]** Das monolithische Bauteil kann hinsichtlich der porösen Struktur so hergerichtet sein, dass diese eingerichtet ist für Stoffe und/oder Partikel mit einer Größe kleiner als 10 µm, bevorzugt kleiner als 2 µm und weiter bevorzugt kleiner als 0,5 µm, für welche die poröse Struktur permeabel, semi-permeabel oder selektiv-permeabel eingerichtet ist.

**[0072]** Das monolithische keramische Bauteil kann hergerichtet sein zur Aufnahme und Ableitung des Trägerfluids auf der Trägerseite und eines Hüllfluids auf der Hüllseite. Das Trägerfluid wie auch das Hüllfluid können dann durch das monolithische Bauteil strömen zur Bereitstellung einer Trägerströmung und einer Hüllströmung in dem monolithischen Bauteil.

**[0073]** Die poröse Struktur des monolithischen Bauteils kann Filterkapillaren umfassen, insbesondere Membrankapillaren.

**[0074]** Die erste Stirnseite des monolithischen Bauteils kann plattenförmig ausgebildet sein. Die poröse Struktur ist an der ersten Stirnseite einstückig angeformt, also insbesondere integral mit der ersten Stirnseite gemeinsam ausgebildet. Die poröse Struktur ist dann monolithisch, d. h. einstückig mit der ersten Stirnseite ausgebildet. Besonders bevorzugt bestehen erste Stirnseite und poröse Struktur aus demselben Material.

**[0075]** Auch die zweite Stirnseite kann plattenförmig ausgebildet sein. Die poröse Struktur kann - wie zur

ersten Stirnseite beschrieben - an der zweiten Stirnseite einstückig angeformt sein, insbesondere integral mit der zweiten Stirnseite ausgebildet.

**[0076]** Die poröse Struktur kann eine Mehrzahl von länglich erstreckten Membranrohren oder Filterkapillaren umfassen. Die Membranrohre oder Filterkapillaren verbinden die erste Stirnseite des monolithischen Bauteils mit der zweiten Stirnseite einstückig und bevorzugt integral.

**[0077]** Die Membranrohre oder Filterkapillaren weisen bevorzugt eine Innenseite auf. Die Innenseite der Membranrohre oder Filterkapillaren bilden dabei die Trägerseite. Das Trägerfluid kann demnach auf der Innenseite entlang strömen. Besonders bevorzugt sind Membranrohre oder Filterkapillaren rohrförmig ausgebildet, so dass die Trägerseite in dem rohrförmigen Gebilde gebildet ist und dort das Trägerfluid strömt.

**[0078]** Die Membranrohre oder Filterkapillaren bilden bevorzugt auf ihren Außenseiten die Hüllseite. Das Hüllfluid kann demnach auf der Außenseite entlang strömen.

**[0079]** Die Membranrohre oder Filterkapillaren weisen typischerweise eine rohr- oder röhrenförmige Ausgestaltung auf. Der Durchmesser der rohr- oder röhrenförmigen Ausgestaltung kann dabei entlang der Länge variieren.

**[0080]** Die Membranrohre oder Filterkapillaren sind bevorzugt im Wesentlichen gerade rohrförmig erstreckt. Die Membranrohre oder Filterkapillaren können auch schraubenförmig oder helikal erstreckt sein, insbesondere als Doppelhelix oder Triplehelix, bei welchen zwei bzw. drei Membranrohre oder Filterkapillaren umeinanderlaufen. Eine solche schrauben- oder helixförmige Erstreckung der Membranrohre oder Filterkapillaren weist mehrere Vorteile auf. So wird der Stoffaustausch auf der Innenseite des Membranrohres bzw. der Filterkapillare intensiviert; auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren mechanischen Einflüssen, wie eines Schocks oder Verwindung des Bauteils, wird verbessert.

**[0081]** Die Membranrohre oder Filterkapillaren weisen bevorzugt je eine von einem Fluid durchströmbare erste bzw. zweite Mündung auf. Die Mündung ist dabei bevorzugt jeweils integral mit der ersten bzw. zweiten Stirnseite ausgeführt. Mit anderen Worten geht die erste bzw. zweite Stirnseite einstückig von einer flächigen Erstreckung in die Mündung über.

**[0082]** Die Mündung kann eine strömungsführende Oberflächengestaltung aufweisen. Die strömungsführende Oberflächengestaltung verringert Strö-

mungswiderstände für ein durchströmendes Fluid, beispielsweise indem Turbulenzen und/oder Druckschwankungen im Strömungsverlauf vermieden bzw. verringert werden. Eine solche strömungsführende Oberflächengestaltung der Mündung kann beispielsweise eine konusförmige, kegelmantelförmige, parabelförmige oder torusinnenflächenförmige Gestaltung aufweisen. Die strömungsführende Oberflächengestaltung ist insbesondere konzentrisch um die Mündung herum angeordnet bzw. aufgebaut und einstückig in die erste oder zweite Stirnseite eingelassen. Mit anderen Worten geht die Mündung einstückig in die erste oder zweite Stirnseite über.

**[0083]** Das monolithische keramische Bauteil kann ferner einen mit der ersten Stirnseite und der porösen Struktur monolithisch ausgebildeten ersten Trägerfluid-Sammelanschluss umfassen. Der erste Trägerfluid-Sammelanschluss ist insbesondere ein Zulauf für das Trägerfluid.

**[0084]** Das monolithische Bauteil kann ferner einen mit der zweiten Stirnseite und der porösen Struktur monolithisch aufgebauten zweiten Trägerfluid-Sammelanschluss umfassen, also insbesondere einen Ablauf.

**[0085]** Ferner kann das monolithische Bauteil einen mit der porösen Struktur monolithisch ausgebildeten Hüllfluidanschluss umfassen. Der Hüllfluidanschluss kann mit der porösen Struktur auch über die erste bzw. zweite Stirnseite monolithisch gemeinsam ausgebildet sein.

**[0086]** Die poröse Struktur kann zumindest eine monolithisch mit der porösen Struktur ausgeführte Verbindung, Querverbindung oder Versteifung zur Erhöhung der mechanischen Stabilität der porösen Struktur aufweisen.

**[0087]** Die Verbindung, Querverbindung oder Versteifung kann die poröse Struktur mit der Umhäusung direkt einstückig verbinden. Mit anderen Worten kann die Verbindung, Querverbindung oder Versteifung so angeordnet sein, dass diese direkt und unmittelbar die poröse Struktur mit der Umhäusung verbindet, diese also zwischen poröser Struktur und Umhäusung so angeordnet ist. Die Verbindung, Querverbindung oder Versteifung kann auch poröse Strukturen untereinander miteinander verbinden, beispielsweise dann wenn eine Mehrzahl poröser Strukturen gemeinsam ein Filterelement definieren.

**[0088]** Die poröse Struktur kann zumindest einen Turbulator aufweisen zur Durchmischung des Trägerfluids und/oder zur Durchmischung des Hüllfluids. Ein Turbulator kann eine Verwirbelung in dem entsprechenden Fluid bereitstellen, so dass es zu einer verbesserten Durchmischung und somit zu einem

verbesserten Stoffaustausch zwischen Hüllfluid und Trägerfluid kommt.

**[0089]** Die poröse Struktur kann einen über die Länge veränderlichen Strömungsquerschnitt für das Trägerfluid und/oder das Hüllfluid bereitstellen.

**[0090]** Die poröse Struktur weist insbesondere bereichsweise oder teilweise eine höhere oder niedrigere Porosität und/oder Porenweitenverteilung auf. Die poröse Struktur kann undurchlässige Bereiche, permeable Bereiche und weitere Bereiche aufweisen, die eine unterschiedliche Porosität im Vergleich sowohl zu den undurchlässigen Bereichen als auch zu den permeablen Bereichen aufweist. Ein solcher weiter unterschiedlicher Bereich der Porosität kann so materialisiert sein, dass beispielsweise im Inneren der Membrankapillaren eine Art Beschichtung auf der Innenfläche ausgeführt ist. Die Beschichtung kann dabei monolithisch aus demselben Ausgangsmaterial aufgetragen sein.

**[0091]** Die erste und/oder die zweite Stirnseite weist eine integrale Fluidsperre auf oder ist als integrale Fluidsperre ausgebildet, wobei die Fluidsperre die Strömung des Trägerfluids von der Hüllströmung trennt. In vorteilhafter Weise ist hier vollständig der Einsatz von Vergussmasse vermieden, so dass deren begleitende Nachteile ausgeräumt sind.

**[0092]** Das monolithische Bauteil ist bevorzugt aus dem porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterial vollständig aufgebaut.

**[0093]** Das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial weist bevorzugt keramische Bestandteile auf. Solche keramischen Bestandteile können insbesondere als keramische Paste bereitgestellt werden.

**[0094]** Von der Erfindung umfasst ist ferner auch ein monolithisches keramisches Bauteil, welches nach einem wie eingangs beschriebenen Verfahren hergestellt ist.

**[0095]** Die Erfindung beschreibt ferner ein monolithisch aufgebautes keramisches Filtermodul für eine Vorrichtung zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem Fluid. Das monolithisch aufgebaute Filtermodul umfasst dabei eine erste und eine der ersten gegenüberliegenden zweiten Stirnseite. Das Filtermodul umfasst ferner ein, insbesondere längliches oder röhrenförmiges, einstückig mit der ersten und zweiten Stirnseite ausgebildetes Filtergehäuse.

**[0096]** Das keramische Filtermodul weist ferner eine in dem Filtergehäuse angeordnete und mit den Stirnseiten und dem Filtergehäuse einstückig aufgebaute und verbundene poröse Struktur auf. Die poröse Struktur ist dabei jedenfalls teilweise oder bereichsweise permeabel eingerichtet. Das keramische Fil-

termodul weist ferner zumindest einen Trägerfluid-Sammelanschluss und zumindest einen Hüllfluidanschluss auf.

**[0097]** Die erste Stirnseite und die zweite Stirnseite des Filtermoduls sind jeweils als integrale Fluidsperre ausgebildet zum Unterbinden einer Querströmung zwischen Trägerfluid-Sammelanschluss und Hüllfluid-Sammelanschluss.

**[0098]** Die poröse Struktur ist dabei so hergerichtet und angeordnet, eine Hüllseite von einer Trägerseite zumindest teilweise und/oder zumindest bereichsweise permeable abzutrennen.

**[0099]** Auf der Trägerseite ist dabei ein Trägerfluid bereitstellbar. Die poröse Struktur ist dabei so hergerichtet, einen Stofftransfer des Trägerfluids mit der Hüllseite zu gewährleisten.

**[0100]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, wobei gleiche und ähnliche Elemente teilweise mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

#### Figurenliste

**[0101]** Es zeigen:

**Fig. 1, Fig. 1a, Fig. 1b** perspektivische Ansicht auf ein monolithisches Rohrbündel als Bauteil mit Detailausschnitten,

**Fig. 2, Fig. 2a, Fig. 2b** ein monolithisches Bauteil in Schnittdarstellung,

**Fig. 3, Fig. 3a, Fig. 3b** ein monolithisches Bauteil mit Gehäuse,

**Fig. 4, Fig. 4a, Fig. 4b** ein monolithisches Bauteil als Einsatzmodul,

**Fig. 5, Fig. 5a, Fig. 5b** ein monolithisches Bauteil als Filtermodul,

**Fig. 6, Fig. 6a** perspektivische Ansicht eines monolithischen Bauteils mit Stegen,

**Fig. 7, Fig. 7a, Fig. 7b** monolithisches Bauteil als Kartusche mit Stegen und Detailansicht,

**Fig. 8** ein monolithisches Bauteil mit zu Triplehelix angeordneten Membranrohren in perspektivischer Darstellung,

**Fig. 9** Segment eines in Tripelhelix angeordneten Membranrohrbündels,

**Fig. 10 bis Fig. 10e** monolithisches Bauteil mit variablem Membranrohrdurchmesser,

**Fig. 11 - Fig. 11e** weiteres Beispiel eines monolithischen Bauteils mit variabler Rohrgeometrie

**Fig. 12a - Fig. 12e** monolithisches Bauteil mit Einbauten bzw. inneren Strukturen (statische Mischer)

**Fig. 13 - Fig. 13b** monolithisches Bauteil mit aufgetragener Beschichtung

**Fig. 14** Darstellung eines Haufwerks, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielbar ist,

**Fig. 15** Beispielschema für verschiedene Verfahrensabläufe zur Herstellung eines monolithisch aufgebauten keramischen Filtermoduls,

**Fig. 16** Auftragsvorrichtung zum Auftragen von pulverförmigem Ausgangsmaterial,

**Fig. 17.** Heizofen zur Vorbehandlung von festem Ausgangsmaterial,

**Fig. 18** Mischvorrichtung,

**Fig. 19** weitere Auftragsvorrichtung mit Zuführung,

**Fig. 20** Anlage mit zwei wählbaren Auftragsvorrichtungen,

**Fig. 21** weitere Auftragsvorrichtung,

**Fig. 22** noch ein Beispiel für eine Auftragsvorrichtung,

**Fig. 23** Brennkammer mit Grünkörper,

**Fig. 24** Waschbad für die Auswaschung von Produktionshilfsstoffen,

**Fig. 25** Spülvorrichtung.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0102]** Bezugnehmend auf **Fig. 1** ist eine erste Ausführungsform eines monolithischen Bauteils 50 gezeigt, welches eine erste Stirnseite 2 und eine zweite Stirnseite 2a sowie ein Bündel von Membranrohren 1 aufweist. Die beiden Stirnseiten 2, 2a sind einstückig mit den Membranrohren 1 aufgebaut und direkt verbunden. Die Membranrohre 1 und Endplatten 2 werden in einem Verfahrensschritt sukzessive gefertigt. Eine nachträgliche Verbindung durch Fügen, Schweißen, Kleben, Klemmen oder ähnlichem wird insbesondere nicht benötigt bzw. nicht hergestellt. Die Endplatten 2 und Membranrohre 1 sind aus gleichem, ähnlichem, zumindest aber kompatibelem Material hergestellt, so dass sich Endplatten 2 und Membranrohre 1 einstückig aufbauen lassen. Die Membranrohre 1 weisen Membraneinläufe 3 auf, welche in die jeweilige Stirnseite 2, 2a übergehen. Die Membraneinläufe 3 sind daher zugleich Teil des jeweiligen Membranrohres 1 wie auch Teil der jeweiligen Stirnseite 2, 2a. In diesem Beispiel stellen die Membraneinläufe 3 daher auch den jeweiligen

Verbindungspunkt zwischen Membranrohr 1 und Endplatte 2, 2a dar, so dass auf den Membraneinlauf gegebenenfalls auch mechanische Kräfte wirken können. Der Membraneinlauf 3 kann daher auch hinsichtlich der mechanischen Widerstandsfähigkeit optimiert gestaltet werden, um die Bruchneigung im Bereich des Übergangs von Stirnseite 2, 2a zum jeweiligen Membranrohr 1 zu verringern. Die Membranrohre 1 bilden zusammen die Membran bzw. den Membranfilter 60a.

**[0103]** **Fig. 1a** zeigt einen Detailausschnitt auf die Stirnseite 2a, wie in **Fig. 1** gezeigt. Die Membraneinläufe 3 sind hydraulisch günstig abgerundet gestaltet mit einem abgerundeten Trichterbereich 4a. Die abgerundeten Übergänge 4a von den Membranrohren 1 zu den Stirnseiten 2, 2a sorgen auch für eine mechanisch günstige Ankopplung der Membranrohre 1 an die jeweilige Endplatte 2, 2a.

**[0104]** **Fig. 1b** zeigt ein Detailausschnitt der Endplatte 2, wobei die abgerundeten Übergänge 4 von ihrer Außenseite in der perspektivischen Darstellung sichtbar sind.

**[0105]** **Fig. 2** zeigt eine Schnittdarstellung in einem Längsschnitt durch das monolithische keramische Bauteil 50 entlang der in **Fig. 2b** mit A-A gekennzeichneten Linie.

**[0106]** **Fig. 2b** stellt dabei eine Aufsicht auf die Stirnseite 2 des monolithischen keramischen Bauteils 50 dar. So sind in der **Fig. 2** drei geschnittene Membranrohre 1 dargestellt sowie die zwischen den Membranrohren befindlichen Freiräume der Hüllseite 10. Die Stirnseiten 2, 2a weisen einen Anschlusskragen 58 auf, beispielsweise um damit das monolithische Bauteil 50 an ein weiteres Anschlussstück (nicht dargestellt) anzukoppeln.

**[0107]** **Fig. 2a** zeigt das Detail „B“ aus **Fig. 2**, wobei die Membraneinläufe 3 der Stirnseite 2 deutlicher dargestellt sind. Zwischen jedem Membranrohr 1 zum nächsten Membranrohr 1 befindet sich die Hüllseite 10. Die Membraneinläufe 3 sind abgerundet, um die mechanische Belastbarkeit, wie auch den Strömungsverlauf, an dieser Stelle zu verbessern.

**[0108]** Bezugnehmend auf **Fig. 3** ist ein monolithisches Bauteil 50 dargestellt mit einem Zulauf 7 und einem Ablauf 7a an der jeweiligen Stirnseite 2, 2a des monolithischen Bauteils 50. Von der Stirnseite 2 erstrecken sich bis zur Stirnseite 2a die Membranrohre 1 und verbinden die beiden Stirnseiten 2, 2a einstückig miteinander. Ferner weist das monolithische Bauteil auch eine Außenseite 5 auf, in Form einer Umhüllung 5, welche die Hüllseite 10 auch zur Umwelt hin abschließt, und zwar insbesondere fluiddicht, wenn man von den dafür vorgesehenen

Anschlüssen für den Hüllfluidzulauf bzw. Hüllfluidablauf 8, 8a absieht.

**[0109] Fig. 3b** stellt eine Aufsicht auf den mit **Fig. 3** gezeigten Filter 50 dar, wobei die Linie A-A die Schnittebene verbildlicht, in welcher die **Fig. 3** als Schnittansicht dargestellt ist. An einer Seite des monolithischen Bauteils 50 ist ein Hüllfluid-Sammelanschluss 56 angeordnet als Zulauf oder Ablauf für das Hüllfluid. Der Hüllfluid-Sammelanschluss 56 kann als Flansch ausgebildet sein, so dass dort zum Beispiel mittels Verschraubung eine Anschlussleitung für das Hüllfluid angeschlossen werden kann. An einer Längsseite, und zwar insbesondere an dem Zulauf 7, angeordnet ist ein Trägerfluid-Sammelanschluss 52, welcher ebenso als Flansch ausgebildet sein kann zum schraubförmigen oder geklemmten Anschluss einer Anschlussleitung für das Trägerfluid.

**[0110] Fig. 3a** zeigt das Detail „B“ der **Fig. 3**, wobei der Aufbau des Zulaufs 7 weiter verdeutlicht wird. Der Zulauf 7 bildet eine Trägerfluid-Kammer 54, in welcher das Trägerfluid zu den einzelnen, mit der Trägerfluid-Kammer 54 kommunizierend verbundenen Membranrohre 1 zugeführt wird oder aus den Membranrohren 1 abgeführt wird. Der Zulauf 7 ist einstückig mit der Stirnseite 2 sowie einstückig mit der Umhüllung 5 und den Membranrohren 1 ausgebildet. Die Membranrohre 1 werden dabei dadurch gebildet, dass die Seitenwände 9 der Membranrohre einstückig aus der Stirnseite 2 hervorgehen und zu einem rohrförmigen Gebilde verlängert werden. Im Inneren des Membranrohres 1, also auf der Innenseite der Seitenfläche 9 des Membranrohres, kann das Trägerfluid hindurchströmen, um von einer Stirnseite 2 zu der gegenüberliegenden Stirnseite 2a zu gelangen. Mit anderen Worten strömt das Trägerfluid typischerweise von der Stirnseite 2 zu der Stirnseite 2a (oder in umgekehrter Richtung), wobei eine unmittelbare fluiddynamische Kommunikation zwischen der Trägerseite und der Hüllseite nicht vorliegt bzw. möglichst unterbunden wird. Vielmehr stellt die Seitenfläche 9 des Membranrohres eine poröse Oberfläche bereit, um einen Stoffaustausch zwischen dem Hüllfluid auf der Hüllseite 10 und dem Trägerfluid im Membranrohr 1 zu gewährleisten. Die Seitenwände 9 der Membranrohre 1 bilden daher die poröse Struktur 60, die permeabel, semi-permeabel oder selektiv-permeabel ausgestaltet ist. Die Übergänge 6, 6a zwischen Gehäuse 5 und Membranendplatten 2, 2a sind ebenfalls abgerundet. Eine nachträgliche oder materialfremde Verbindung durch Fügen, Schweißen, Kleben, Klemmen oder ähnlichem wird in besonders vorteilhafter Weise nicht benötigt. Endplatten 2, 2a und Gehäuse 5 sind insbesondere aus gleichem, zumindest aber kompatiblen Material hergestellt, um den monolithischen Aufbau des Bauteils 50 zu gewährleisten.

**[0111]** Das zu trennende Fluid bzw. das Trägerfluid, gelangt über den Zulauf 7 ins Gehäuse 5, dort genauer in die Membranrohre 1. Es tritt über den Membraneinlauf 3 in das jeweilige Membranrohr 1 ein, durchströmt die Membranrohre 1 von ihrer ersten Seite bis zu ihrer zweiten Seite und am anderen Ende des Gehäuses tritt das Fluid an der gegenüberliegenden Stirnseite 2a wieder aus. Das Filtrat dringt durch die Wände 9 der Membranrohre 1, d. h. durch die poröse Struktur 60, sammelt sich gegebenenfalls im Filtratraum 10 und kann über einen der Filtratanschlüsse 8 das Gehäuse verlassen.

**[0112]** In der Zusammenschau der **Fig. 1** mit der **Fig. 3** wird klar, dass ein Membranrohrbündel 1a nach **Fig. 1** auch als poröse Struktur 60 als Einsatz für ein separates Gehäuse 62 ausgeführt werden kann, wie dies beispielsweise mit **Fig. 4** bis **Fig. 5** weiter spezifiziert wird.

**[0113]** Wie in **Fig. 4** zu sehen, kann hierbei an den Stirnseiten 2, 2a eine Nut 11 für eine allfällige Dichtung vorgesehen sein. In diesem Beispiel ist jedenfalls das Membranrohrbündel 1a aus der Vielzahl von Membranrohren 1 einstückig mit den Endplatten 2, 2a ausgebildet, so dass die Abtrennung des Trägerfluids von dem Hüllfluid vollständig von dem monolithischen Bauteil 50 gewährleistet ist und hier bereits auf die besonders anfällige Vergussmasse verzichtet werden kann. Dies stellt bereits eine wesentliche Weiterentwicklung gegenüber den bekannten Dialysefiltern dar.

**[0114] Fig. 4a** zeigt das Detail „B“ aus der **Fig. 4**, wobei der Aufbau mit der Nut 11 im Anschlusskragen 58 weiter verdeutlicht ist. Der Anschlusskragen 58 ist ausgerundet mit den Ausrundungen 4, 4a dargestellt, so wie dies mit Bezug auf **Fig. 1** im Detail gezeigt ist.

**[0115] Fig. 4b** zeigt hierzu die Aufsicht auf die zweite Stirnseite 2a, wobei die Linie A-A die Schnittebene für die **Fig. 4** verdeutlicht.

**[0116]** Bezugnehmend auf **Fig. 5** ist eine weitere Ausführungsform des monolithischen Bauteils 50 dargestellt, welches einstückig die beiden Stirnseiten 2, 2a mit der porösen Struktur 60 ausgebildet aufweist. Ein Zulaufstück 13 sowie ein Ablaufstück 13a sind dabei mittels eines Klemmrings 15 angeflanscht. Das Gehäuse 62 ist als separates Bauteil ausgebildet, welches rohrförmig über die poröse Struktur 60 übergestülpt wird.

**[0117] Fig. 5b** zeigt hierzu eine Aufsicht auf die Stirnseite 2a, wobei die Schnittlinie A-A die Schnittebene der **Fig. 5** verdeutlicht. Der Trägerfluid-Sammelanschluss 52 ist konzentrisch angeordnet, um eine Zuleitung mit der porösen Struktur 60 und

somit mit dem Filterelement, bestehend aus den Membranrohren 1, zu ermöglichen.

**[0118]** Die **Fig. 5a** zeigt das Detail „B“ aus der **Fig. 5**, wobei ein beispielhafter Aufbau zur Verbindung des monolithischen Bauteils mit dem Zulaufstück 13 dargestellt ist. Das separate Gehäuse 62 ist über das Dichtelement 12 dichtend an das Flachdichtelement 14 angelegt und wird mittels des Klemmrings 15 mit dem Zulaufstück 13 klemmend verbunden. Ein Überstand 16 des Zulaufstücks 13 verbessert die axiale Fixierung des Membranrohrbündels 1 im separaten Gehäuse 62. Der Klemmring 15 kann mit einer entsprechenden Anpresskraft beaufschlagt werden, um eine dichtende Verbindung zwischen dem separaten Gehäuse 62 und dem Zulaufstück 13 herzustellen. In diesem Beispiel ist eine identische Verbindung auch an der zweiten Stirnseite 2a realisiert. Selbstverständlich könnte auch eine Stirnseite 2, 2a integral mit einem Zulauf 7 ausgeführt sein und eine Seite als separate Bauteile, wobei es sich als vorteilhaft erweist, wenn das Gehäuse als monolithisches Gehäuse 5 mit jedenfalls eine Stirnseite 2, 2a und der porösen Struktur 60 ausgebildet ist.

**[0119]** Bezugnehmend auf **Fig. 6** ist eine weitere Ausführungsform in perspektivischer Darstellung gezeigt, wobei das monolithische Bauteil 50 dadurch gekennzeichnet ist, dass es Stützstrukturen 17 aufweist, um eine mechanische Verstärkung des monolithischen Bauteils 50 zu erzielen. Speziell bei spröden Membranmaterialien, wie Keramik, lässt sich damit die Verbindung der einzelnen Membranrohre 1 untereinander und somit die Empfindlichkeit gegenüber Stößen mit der Gefahr des Membranbruchs deutlich verbessern.

**[0120]** **Fig. 6a** zeigt hierzu das mit „A“ bezeichnete Detail, wobei Stege 17 gezeigt sind, welche eine geeignete Verbindung darstellen, um die vorgenannte mechanische Stabilitätsverbesserung herbeizuführen. Solche Stege 17 bzw. eine Stützstruktur 17 lässt sich auch bis zur Umhäusung 5 fortführen, vgl. zum Beispiel **Fig. 7a**.

**[0121]** **Fig. 7** zeigt eine weitere Darstellung eines monolithischen Bauteils 50 mit Stützstruktur 17 in einer Seitendarstellung, wobei die Umhäusung 5 aus Gründen der besseren Sichtbarkeit weggelassen ist.

**[0122]** **Fig. 7a** zeigt die Schnittebene B-B der **Fig. 7**, wobei hier die Umhäusung 5 allerdings darstellbar ist. Die Stützstruktur 17 erstreckt sich zwischen den einzelnen Membranrohren 1, wobei in dieser Ausführungsform 19 Membranrohre 1 dargestellt sind, welche gemeinsam die poröse Struktur 60 bzw. das Filterelement bilden. Die Stützstruktur 17 ist mit Umhäusungsstegen 17a auch mit der Umdeutung 5

verbunden, um die mechanische Stabilität, insbesondere der Progroßenstruktur 60, weiter zu verbessern.

**[0123]** **Fig. 7b** zeigt ein weiteres Detail einer Ausführungsform des monolithischen Bauteils 50 mit Stützstruktur 17 in Schnittdarstellung. Die in dieser Darstellung ebenfalls gezeigten 17 Membranrohre 1, die gemeinsam den Membranfilter 60a bilden, sind jeweils untereinander mit dem benachbarten Membranrohr 1 mittels der Stützstruktur 17 verbunden.

**[0124]** Bezugnehmend auf **Fig. 8** ist eine weitere Ausführungsform eines monolithischen Bauteils gezeigt, wobei die poröse Struktur gekrümmte Membranrohre 1 aufweist. In dieser Ausgestaltung sind die Membranrohre helikal geformt, konkret in Triplehelix 1b aufgeteilt. Helikal geformte Membranrohre 1 bieten den Vorteil eines besseren Stoffaustauschs auf der Innenseite bei einer Durchströmung mit Trägerfluid. Im Vorteil gegenüber geraden Membranrohren 1 weisen helikal geformte Membranrohre 1 eine elastische Nachgiebigkeit auf bei Belastungen in Richtung der Hauptachse des Membranrohrbündels bzw. der Triplehelix 1b. Eine solche Belastung kann im Betrieb bei schnellen Temperaturänderungen des durchströmenden Fluid aufkommen. Das Membranrohrbündel 1a will sich der Temperatur entsprechend zum Beispiel ausdehnen, wird aber durch die noch kalte Umhäusung 5 (vgl. z. B. **Fig. 3**) daran gehindert. Gleiches gilt bei schnellen Temperaturabsenkungen. Die Triplehelix 1b oder generell die helikale Form wirkt hierbei wie eine Schraubenfeder. Der Membranfilter 60 ist dieser Ausführungsform aus sieben Triplehelixen 1b und somit aus 21 Membranrohren 1 aufgebaut. Die Membranrohre münden einstückig auf ihrer ersten Seite in die erste Stirnseite 2 und auf ihrer zweiten Seite in die zweite Stirnseite 2a. Sie weisen die bereits beschriebenen Rundungen 4, 4a zur Verbesserung der mechanischen Stabilität und der Strömungsführung für das Trägerfluid auf.

**[0125]** **Fig. 9** zeigt hierzu ein Membranrohrbündelsegment, bestehend aus drei helikal geformten Membranrohren, welche gemeinsam die Triplehelix 1b bilden. In dieser Ausgestaltung sind die Membranrohre 1 so gestaltet, dass sie an ihren stirnseitigen Enden eine undurchlässige Struktur 64 aufweisen und lediglich im Mittelteil die poröse Struktur 60, welche für den Stoffaustausch mit dem Hüllfluid hergerichtet ist.

**[0126]** Bezugnehmend auf die **Fig. 10** bis **Fig. 11** sind weitere Möglichkeiten gezeigt, die sich mit der vorliegenden Erfindung in besonders einfacher und effizienter Weise realisieren lassen, nämlich die Einführung von variablen Querschnittsgeometrien von Membranrohren 1. So zeigt **Fig. 10** eine Schnittdarstellung durch ein Membranrohr 1 mit variabler Querschnittsgeometrie. Der Membranrohrquerschnitt ist

hierbei in Strömungsrichtung variiert. Durch die in Strömungsrichtung variablen Querschnitte verändern sich mit den Querschnitten auch die Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsrichtungen, was zu einer besseren Durchmischung des strömenden Trägerfluids führt.

**[0127] Fig. 10a** zeigt hierzu eine Aufsicht auf ein entsprechend geformtes Membranrohr 1 mit variablem Querschnitt, wobei die Schnittlinie B-B die auch mit **Fig. 10d** gezeigte weiteste Querschnittsgeometrie zeigt, die Schnittlinie C-C die auch mit **Fig. 10c** gezeigte engste Querschnittsgeometrie.

**[0128] Fig. 10b** zeigt eine Aufsicht auf eine Einlauföffnung 3 des Membranrohres 1, wobei die Ebene A-A die Schnittebene der **Fig. 10** verdeutlicht.

**[0129] Fig. 10e** zeigt schließlich noch eine perspektivische Ansicht des Membranrohres 1 mit variabler Querschnittsgeometrie. Der engere Querschnitt 20 wechselt sich dabei mit dem weiten Querschnitt 21 in alternierender Weise ab. An den beiden Enden sind undurchlässige Materialstrukturen 64 gezeigt, im Mittelbereich ist das Membranrohr 1 als poröse Struktur 60 ausgebildet.

**[0130] Fig. 11a** zeigt in perspektivischer Ansicht eine weitere Ausführungsform eines Membranrohres mit variabler Querschnittsgeometrie 19. Auch hier wechselt sich der engste Querschnitt 20 mit dem weiten Querschnitt 21 alternierend ab, die Enden sind als undurchlässige Struktur 64 ausgebildet, im Mittelbereich ist die poröse Struktur 60 für einen Materialaustausch bzw. Stoffaustausch des Trägerfluids mit dem Hüllfluid ausgebildet. Das Membranrohrsegment weist einen variablen Ellipsenquerschnitt auf, wobei die lange Achse der Ellipsenquerschnitte abwechselnd in Ausgangsstellung entsprechend dem in **Fig. 11d** gezeigten Schnitt B-B und dazu um 90° verdreht, wie dargestellt in **Fig. 11e**, ausgerichtet ist. Ein Längsschnitt entlang der in **Fig. 11 c** markierten Schnittlinie A-A ist in **Fig. 11** wiedergegeben. Die Veränderungen der Strömungsrichtungen und damit je nach Fluid auch die Durchmischung kann hierbei stärker ausgeprägt sein als bei den kreisförmigen Querschnitten.

**[0131]** Es hat sich gezeigt, dass eine noch stärkere Durchmischung des durchströmenden Trägerfluids auch durch geeignete Turbulatoren 29 erreicht werden kann. Einbauten, wie statische Mischer als Turbulatoren 29, sind in der Verfahrenstechnik als solches zwar bekannt, um die Durchmischung eines strömenden Fluids zu verbessern. In Membranrohren funktioniert dies aber nicht ohne weiteres, jedenfalls aber nicht dauerhaft. Statische Mischer können in herkömmlichen Membranrohren nicht gut fixiert werden bzw. sind sie überhaupt mit dritten Materialien zu fixieren und führen daher im Betrieb regelmä-

ßig Relativbewegungen zur Membranoberfläche aus. Die Membranoberfläche wird durch die dabei entstehende Reibung dauerhaft geschädigt und sie kann ihre Trennaufgabe nicht mehr ausfüllen.

**[0132]** Durch das vorteilhafte Verfahren, bei welchem das Bauteil monolithisch aufgebaut wird, ist es nunmehr möglich, Turbulatoren 29 einstückig mit der porösen Struktur 60 auszubilden, so dass jedenfalls das Problem der Relativbewegung nicht mehr auftritt. Die Einzelsegmente 29a der Turbulatoren bzw. der statischen Mischer sind somit integraler Bestandteil der porösen Struktur 60, also insbesondere der Rohrmembran 1, 19, 28. Der monolithische Verbund von Turbulatoren 29 mit poröser Struktur 60 als integrierte Komponente eliminiert das Problem der Relativbewegungen, so dass Membranschädigungen an dieser Stelle verringert oder sogar ausgeschlossen sind und somit ein dauerhafter Betrieb zuverlässig gewährleistet ist.

**[0133] Fig. 12b** zeigt die Ausführungsform der **Fig. 12a** in perspektivische Darstellung

**[0134] Fig. 12c** zeigt ein Membranrohr 28 mit einer Mehrzahl von aneinander oder nacheinander angeordneten Turbulatoren 29, welche jeweils in einem Winkel zueinander angeordnet sind, beispielsweise jeweils 90° zueinander versetzt, und somit eine weit stärkere Durchmischung des Trägerfluids und somit zu einem besseren Stoffaustausch mit dem Hüllfluid sorgen.

**[0135] Fig. 12d** zeigt eine Aufsicht auf einen Einlauf 3 der porösen Struktur 60 in Form des Membranrohres 28, wobei die Linie A-A die Schnittebene der **Fig. 12c** verdeutlicht.

**[0136] Fig. 12e** zeigt schließlich noch eine perspektivische Darstellung des Membranrohres 28.

**[0137]** Bezugnehmend auf **Fig. 13** ist eine weitere Ausführungsform des monolithischen Bauteils 50 gezeigt, wobei die Membranrohre 1 auf den Seitenflächen 9 eine zusätzliche Schicht 30 aufweisen, welche entweder monolithisch aufgetragen ist und somit aus kompatiblen oder identischem Material besteht wie die poröse Struktur 60, oder welche im Nachgang zur Herstellung der porösen Struktur als Beschichtung 30 aufgetragen ist. Es kann sich hierbei auf der Innenseite 9 um eine oder mehrere Schichten 30 handeln, welche eine sich unterscheidende Porosität und/oder porenweiten Verteilung aufweisen.

**[0138]** In **Fig. 13a** ist dies vergrößert dargestellt, wobei die Beschichtung 30 auf den inneren Oberflächen 9 der Membranrohre 1 aufgebracht ist. Die Beschichtung 30 ist auch bis auf die Oberfläche der Endplatte 2 ausgedehnt, um den Übergang vom

Membranrohr 1 über den Einlauf 3 bis zur Endplatte 2 weiter zu verbessern. Die Beschichtung lässt sich während des additiven Fertigungsverfahrens als separate Spur im schichtweisen Aufbau des Filterkörpers herstellen.

**[0139]** Diese Spuren zur Herstellung der Beschichtung 30 können von einem separaten Druckkopf gelegt werden, der beispielsweise eine keramische Masse ablegt, die zu einer feineren Porenstruktur führt als beim Grundkörper. Eine oder mehrere Beschichtungen lassen sich auch nach dem Brennen des Grundkörpers nachträglich aufbringen und beispielsweise bei niedrigerer Temperatur sintern.

**[0140]** Fig. 13b zeigt schließlich eine Aufsicht auf die Stirnseite 2, wobei die Linie A-A die Schnittebene der Fig. 13 darstellt.

**[0141]** Bezugnehmend auf Fig. 14 ist ein beispielhaft mit dem Verfahren der vorliegenden Erfindung erzielbares Haufwerk 31 der porösen Struktur 60 dargestellt. Das Haufwerk 31 weist eine Mehrzahl von Poren 32 auf. Die sich ergebende Porenstruktur, wie in Fig. 14 gezeigt, kann beispielsweise mit einer additiven Herstellung mittels dem Prinzip der thermischen Phasenseparation hergestellt werden.

**[0142]** Für die erfindungsgemäßen Membranfilter 60a gilt typischerweise, dass die entstehende Porenstruktur des porösen Materials 60 nicht als vorgegebenes Muster in einem Steuerprogramm vorzugeben ist und somit der Fertigungskopf nicht auf Mikrometer-Ebene die konkrete Porenstruktur zu erzeugen hat. Vielmehr kann die Porenstruktur des porösen Materials 60 durch die Zusammensetzung der verwendeten Rezeptur beispielsweise beim Extraktionsverfahren erzeugt werden, gegebenenfalls mit nachfolgenden Schritten zur Verfestigung des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74, wie das Sintern von keramischen Grünkörpern.

**[0143]** Für keramische Werkstoffe kann 3D-Extrusion als Herstellungsverfahren angewendet werden, um sogenannte Grünkörper oder Precursor für die nachfolgende Sinterung in einem Sinter-Ofen herzustellen. Ein weiterer Vorteil ist hier im Vergleich zu strangextrudierten keramischen Filterelementen die geringere mögliche Wandstärke. Damit ergeben sich wegen der geringeren Wärmespeicherung kürzere Zeiten im Sinter-Ofen, was sich vorteilhaft auf die Herstellkosten auswirkt.

**[0144]** Unterschiedliche Prioritäten lassen sich hierbei durch unterschiedliche Rezepturen der keramischen Massen erzeugen. Voraussetzung ist eine Mehrkopfanlage mit einem Extrusionskopf für jede gewünschte Porosität, mit der die entsprechende keramische Paste an der vorgesehenen Stelle abgelegt wird. Mit anderen Worten wird das Einstellen der

Porosität in diesem Beispiel dadurch realisiert, dass der entsprechende Kopf der Anlage ein entsprechendes Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 ablegt und dieses monolithisch mit dem Rest des Bauteils 50 verbunden wird.

**[0145]** Bezugnehmend auf die Fig. 14 ist ein Haufwerk 31b gezeigt, welches mit einem Herstellungsverfahren erzielbar ist, wobei das Haufwerk beispielsweise keramische Partikel aufweist, welche Hohlräume 32b zwischen den Partikeln bilden. Zur Herstellung keramischer Membranen 60a kann beispielsweise zunächst ein Grünkörper (Precursor) aus einer keramischen Paste angefertigt werden. Beispielsweise besteht die Paste im Wesentlichen aus keramischen Partikeln, organischen Bindern und Additiven. Nach Trocknung bzw. Verfestigung der Paste wird der Grünkörper erhalten, der in einem nachfolgenden Brennschritt je nach Zusammensetzung der Paste zu einem mikroporösen keramischen Körper 60 ausgebildet wird. Die sich ergebende Porenstruktur wird wesentlich dabei durch die keramischen Partikel bestimmt. Die Keramikpartikel 31b sind durch den Sinter-Vorgang miteinander verbunden, behalten jedoch zu einem gewissen Teil ihre Partikelgestalt. Zwischen den Keramikpartikeln bestehen Hohlräume 32b, die in vorteilhafter Weise miteinander zu einem gemeinsamen Hohlraum verbunden sind. Die Größe der Hohlräume ist abhängig von der Größe und Form der Keramikpartikel. Die organischen Bestandteile des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 zersetzen sich bei den hohen Brenntemperaturen. Die so entstandene mikroporöse Struktur ist grundsätzlich als Filtermedium für die Mikro- und Ultrafiltration geeignet. Die jeweils gewünschte Porengröße lässt sich durch die geeignete Wahl der Partikelgröße einstellen, wobei die Partikel größer als die Poren sind. Ein Sintern bzw. Backen der Grünkörper kann bei 1600°C oder mehr durchgeführt werden.

**[0146]** Bezugnehmend auf Fig. 15 ist in schematischer Diagrammdarstellung der Ablauf des Verfahrens zur Herstellung eines Bauteils 50 dargestellt. Im Bereitstellungsschritt 100 wird das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 bereitgestellt. Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 kann beispielsweise, nicht abschließend, als pulverförmiges Ausgangsmaterial 71, als festes Ausgangsmaterial 73 oder als pastöses Ausgangsmaterial 74 bereitgestellt werden. Das Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 ist dabei intrinsisch porös eingestellt, einstellbar oder hergerichtet. Das Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 kann dabei verschiedentlich bereitgestellt werden. Beispielsweise umfasst das Bereitstellen 100 des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 das Bevorraten 102 einer Extrudervorrichtung mit Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74. Der Schritt Bereitstellen 100 kann auch das Platzieren oder Vorbereiten 104 von pulverförmigem Ausgangsmaterial 71 umfassen, bei-



spielsweise mittels einer Ablegeeinrichtung 80. Der Schritt Bereitstellen 100 kann auch das Mischen 106 des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 bzw. das Aufheizen 108 des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 umfassen. Das Bereitstellen 100 umfasst also das eventuelle Vorbereiten des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74, beispielsweise an einem bestimmten Punkt, insbesondere einem Punkt einer Punkt-Matrix des herzustellenden monolithischen Bauteils 50, für einen folgenden Materialauftrag. So kann das Bereitstellen 100 auch das Anfahren des anzufahrenden Punktes mittels der Auftragsvorrichtung umfassen, wenn die Auftragsvorrichtung hierzu entsprechend bewegt und/oder eingestellt werden muss.

**[0147]** Nach der Vorbereitung erfolgt das Einstellen 110 der Porosität des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 für den zu erfolgenden Materialauftrag. Auch das Einstellen kann auf verschiedene Arten erfolgen. So kann das Beimischen 112 von Additiv bzw. Füllstoff zu dem Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 zum Einstellen der Porosität im Moment des Materialauftrags umfasst sein. Ferner kann das Einstellen von Härtparametern 114 umfasst sein, um das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 hinsichtlich der Porosität im Schritt 110 einzustellen.

**[0148]** Der Schritt Einstellen 110 kann auch die Auswahl 116 von einem anzuwendenden Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 aus einer Mehrzahl von zumindest zwei Ausgangsmaterialien 70, 71, 73, 74 umfassen. Die Auswahl kann auch zu einer Mischung führen, wenn das Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 zwei Ausgangsmaterialien 70, 71, 73, 74 umfasst, welche gleichzeitig oder auch abwechselnd zugeführt werden können, um einen Materialmix an dem anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix zu erzeugen.

**[0149]** Die Zielsetzung des Einstellschrittes 110 ist, dass das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 beim Materialauftrag so gestaltet oder vorbereitet wird, dass es im Bauteil eine zusammenhängende poröse Materialstruktur ausbilden kann, welche bevorzugterweise am jeweiligen anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix hinsichtlich der Porosität veränderbar eingestellt werden kann, um einerseits eine poröse Materialstruktur 60, aber auch monolithisch damit ausgebildet undurchlässige Bereiche 64 aufzubauen. Idealerweise kann dies in einem gemeinsamen Verfahrensablauf so durchgeführt werden, dass das monolithische Bauteil 50 in einem Stück kontinuierlich, bevorzugt ohne Unterbrechung, hergestellt wird. Je nach angewendetem Verfahren kann dies auch schrittweise und mit entsprechenden Pausen zwischen den Schritten geschehen, wenn dies für das Verfahren notwendig sein sollte. Das hergestellte monolithische Bauteil 50 zeichnet sich schließlich dadurch aus, dass eine materialschlüssige Verbindung zwischen allen Kom-

ponenten des monolithischen Bauteils 50 so besteht, dass das Bauteil aus einem Stück gewachsen erscheint, so dass die Bereiche, die für einen Strömungsdurchfluss hergerichtet werden, bereits beim Bau bzw. der Herstellung des monolithischen Bauteils 50 so hergestellt werden, dass diese Bereiche den Strömungsfluss ermöglichen; andererseits dass die undurchlässigen Bereiche, welche gerade einen Strömungsdurchfluss verhindern sollen, sowie die Umhäsung, bereits während der Herstellung des monolithischen Bauteils entsprechend undurchlässig eingestellt sind. Besonders bevorzugt besteht das gesamte monolithische Bauteil 50 aus zueinander kompatiblen Material bzw. aus demselben Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74, bei welchem gegebenenfalls verschiedene Füllmaterialien oder Additive ergänzt werden.

**[0150]** Das eingestellte Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 wird an dem anzufahrenden Punkt aufgetragen im Schritt 120. Das Auftragen kann unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Je nach herzustellendem monolithischen Bauteil 50 kann hierunter das Ausgeben von eingestelltem Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 mittels einer Auftragsmaschine gemäß Schritt 122 zu verstehen sein. Eine solche Auftragsmaschine ist beispielsweise ein Extruder. Es kann auch ein ergänzendes Ablegen von pulverförmigem Ausgangsmaterial 71 gemäß Schritt 124 am anzufahrenden Punkt umfassen, wenn dies nicht mit Schritt 104 vollständig durchführbar ist. Auch das Auftragen 126, beispielsweise das manuelle Auftragen einer Paste, kann in dem Schritt Auftragen 120 umfasst sein. Das Auftragen 120 führt dazu, dass Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 an dem monolithischen Bauteil 50 aufgetragen wird in einer Form, dass dort einerseits Bereiche mit undurchlässiger Materialstruktur und andererseits Bereiche mit poröser Materialstruktur entstehen, wobei die Bereiche mit poröser Materialstruktur auch weiter unterteilbar sind in Bereiche mit unterschiedlicher Porosität.

**[0151]** Im Schritt 130 wird schließlich das Auftragen 120, Einstellen 110 und gegebenenfalls Unterschritte daraus fortgeführt, bis das monolithische Bauteil 50 schließlich fertiggestellt wird. Je nach ausgewähltem zugrundeliegendem Verfahren werden dabei die Schritte 110, 120 repetitiv durchgeführt, also beispielsweise für jeden Punkt der Punkt-Target-Matrix erneut, oder für jede Schicht der Schicht-Target-Matrix erneut, oder aber es wird zunächst das Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 im Schritt 110 beispielsweise für zusammenhängende Bereiche des monolithischen Bauteils zunächst eingestellt und anschließend im gesamten Schritt 120 angefahren bzw. aufgetragen.

**[0152]** Die **Fig. 16** bis **Fig. 25** zeigen beispielhaft, wie einige der vorstehend beschriebenen Verfah-

rensschritte ausgeführt sein können. **Fig. 16** zeigt das Auftragen 104 von pulverförmigem Ausgangsmaterial 71 auf einem teilweise fertiggestelltem monolithischen Bauteil 50 mittels einer Ablegeeinrichtung 80. Das Ausgangsmaterial 70 wird in Schritt 104 so abgelegt, dass beispielsweise in einer Matrixebene 90 in einem Ablagebereich 92 das pulverförmige Ausgangsmaterial 71 abgelegt wird, wohingegen in einem Bereich 94 kein Ausgangsmaterial 71 abgelegt wird.

**[0153]** **Fig. 17** zeigt beispielhaft das Aufheizen 108 von festem Ausgangsmaterial 73 in einem Heizofen 81 mittels Wärme 81a.

**[0154]** **Fig. 18** zeigt ein Beispiel für das Mischen 112 von Ausgangsmaterial 70 mit Additiv 75 und/oder Füllstoff 76 in einer Mischvorrichtung 82. Ausgangsmaterial 70 wird in einer mittels des Mengenreglers 82a einstellbaren Zufuhrmenge zu dem Mischbehälter 82c zugeführt; Additiv 75 und/oder Füllstoff 76 wird in einer mittels des Mengenreglers 82b separat einstellbaren Zufuhrmenge ebenfalls dem Mischbehälter 82c zugeführt. Evtl. ist zumindest einer der Mengenregler 82a, 82b je nach Prozessbedingungen auch entbehrlich. Die Mischvorrichtung 82 kann auch drei Einfüllbehälter aufweisen, wenn Additiv 75 bzw. Füllstoff 76 separat bereitgestellt werden soll. Die Darstellung der **Fig. 18** unterscheidet sich dabei in der gezeigten, prinzipiellen Form nicht, wenn entweder Additiv 75 oder Füllstoff 76 oder beides gemeinsam zu dem Ausgangsmaterial 70 zugemischt werden soll, so dass diese Varianten zur Wahrung der Kürze in einer **Fig. 18** zusammengefasst sind.

**[0155]** Der oder die Mengenregler 82a, 82b erlauben/erlauben die Einstellung 110 der späteren Porosität des Ausgangsmaterials 70 und somit von Bereichen des zu erstellenden monolithischen Bauteils 50. Das gemischte Ausgangsmaterial 70a wird im Mischbehälter 82c umgewälzt. Der Mischbehälter 82c weist einen Ausgangsmengenregler 82e im Auslass auf, mittels welchem die aufzutragende Menge für das Auftragen 120 einstellbar ist. Beispielsweise zeigt **Fig. 18** hierzu einen punktförmigen Auftrag 120 des Ausgangsmaterials 70a auf das skizzierte monolithische Bauteil 50, wobei der punktförmige Auftrag 120 beispielsweise mittels Öffnen und Schließen des Ausgangsmengenreglers 82e erzielbar ist.

**[0156]** **Fig. 19** zeigt eine weitere Ausführung einer Ablagevorrichtung bzw. Auftragsmaschine 80 für den Auftrag von Ausgangsmaterial 70 auf einen Bauteilträger 80b bzw., wenn das monolithische Bauteil 50 schon teilweise auf den Bauteilträger 80b aufgetragen ist, auf das teilfertige monolithische Bauteil 50. Mittels einer Zuführung 80a kann beispielsweise ein Kühlmittel, oder auch ein Fällmittel oder ein Här-

ter beim Auftrag 110 zugeführt werden und somit Härungsparameter 114 eingestellt werden.

**[0157]** Noch eine Alternative, um das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial 70 einzustellen, ist in **Fig. 20** mit der Vorhaltung von zwei Ablagevorrichtungen 80, 80' gezeigt. So kann gemäß Schritt 116 ein bereits voreingestelltes Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 ausgewählt werden, indem mit der entsprechenden Ablagevorrichtung 80, 80' der Materialauftrag 110 auf den Bauteilträger 80b oder das teilaufgetragene monolithische Bauteil 50 durchgeführt wird.

**[0158]** Mit **Fig. 21** wird das Auftragen 122 von Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 mittels einer Ablagevorrichtung 80 auf bereits teilabgelegtem Bauteil 50 dargestellt. Die Ablagevorrichtung 80 ist horizontal, das heißt zumindest in zwei Achsenrichtungen, beweglich ausgeführt, so dass jeder Punkt des Bauteilträgers 80b angefahren werden kann. Auch eine senkrechte Bewegung, also ein Auf- und Abfahren, wird ermöglicht. Alternativ oder kumulativ kann die Ablagevorrichtung 80 beweglich ausgeführt sein, um in Summe eine Bewegung in allen drei Raumrichtungen zu ermöglichen, um somit jeden Punkt der Punkt-Matrix mit der Ablagevorrichtung 80 anfahrbar zu machen. Es ist ein „strangweises“ oder „raupenförmiges“ Auftragen 122 von Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 dargestellt.

**[0159]** Bezug nehmend auf **Fig. 22** ist der ring- oder schneckenförmige Auftrag 126 von pastösem Ausgangsmaterial 74 mittels einer Ablegevorrichtung 80 dargestellt.

**[0160]** Mit **Fig. 23** wird das Brennen 132 eines Grünkörpers dargestellt in dem Fall, dass der Grünkörper zunächst aus Ausgangsmaterial 70, 71, 73, 74 aufgebaut wird und als ganzes in dem Brennschritt 132 fertiggestellt wird. Dabei wird der Grünkörper in die Heizvorrichtung 81, also beispielsweise in eine Brennkammer, eingesetzt und mittels einer Wärmequelle 81a erhitzt.

**[0161]** Bezug nehmend auf **Fig. 24** ist ein Auswaschungs-Schritt 134 dargestellt, wobei ggf. für den Auftrag des Ausgangsmaterials 70, 71, 73, 74 bzw. für die Herstellung des Bauteils 50 benötigte Hilfsstoffe aus dem Bauteil 50 ausgewaschen werden, so dass diese entfernt werden können. Hierfür wird das Bauteil 50 in ein Bad 85 mit Spüllösung 85a gelegt und gespült.

**[0162]** **Fig. 25** zeigt schließlich das Entfernen von ggf. anfallendem überschüssigen Pulver im Schritt 136 in einer Spülkammer 86, beispielsweise mittels Druckluft.

**[0163]** Die vorliegende Anmeldung beschreibt einen Teilaspekt der Herstellung monolithischer Bauteile

sowie monolithischer Bauteile, und zwar Herstellung und Aufbau keramischer monolithischer Bauteile. Die vorliegende Anmeldung erstreckt sich daher nicht auf polymere monolithische Bauteile und deren Herstellung, und deckt des Weiteren auch nicht die Herstellung mittels TiPS-Verfahren ab, vielmehr sind die vorgenannten Bereiche hiermit explizit ausgeschlossen.

**[0164]** Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne den Schutzbereich der Ansprüche zu verlassen. Ferner ist ersichtlich, dass die Merkmale unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung, den Ansprüchen, den Figuren oder anderweitig offenbart sind, auch einzeln wesentliche Bestandteile der Erfindung definieren, selbst wenn sie zusammen mit anderen Merkmalen gemeinsam beschrieben sind. In allen Figuren stellen gleiche Bezugszeichen gleiche Gegenstände dar, so dass Beschreibungen von Gegenständen, die gegebenenfalls nur in einer oder jedenfalls nicht hinsichtlich aller Figuren erwähnt sind, auch auf diese Figuren übertragen werden können, hinsichtlich welchem der Gegenstand in der Beschreibung nicht explizit beschrieben ist.

#### Bezugszeichenliste

		16	Überstand
		17	Steg
		17a	Gehäusesteg
		19	Membranrohr mit veränderlichem Querschnitt
		20	engerer Querschnitt
		21	weiterer Querschnitt
		22	Längsschnitt
		23	Ellipsenquerschnitt
		24	Ausgangsstellung
		25	90° gedreht
		26	Längsschnitt
		27	Längsschnitt
		28	Rohrmembran
		29	Turbulator, statischer Mischer
		29a	Turbulatorflanke
		30	Beschichtung
		31	Verbundenes Haufwerk der porösen Struktur
		32	Pore im Haufwerk
		50	monolithisches Bauteil
1	Trägerseite, Membranrohr, Filtterkapillare	50a	Zielpunkt
1a	Membranrohrbündel	52	Trägerfluid-Sammelanschluss
1b	Tripelhelix	54	Trägerfluidkammer
2, 2a	Stirnseite, Endplatte	56	Hüllfluid-Sammelanschluss
3	Membraneinlauf	58	Anschlusskragen
4	Übergang bzw. Ausrundung	60	poröse Struktur
4a	Strömungsführung	60a	Membran bzw. Membranfilter
5	Umhäusung, Gehäuse	62	separates Gehäuse
6	Übergang	64	undurchlässiger Bereich
7	Zulauf, Ablauf	70	Ausgangsmaterial
8	Hüllfluidzu- oder -ablauf, Filtratanschluss	70a	gemischtes Ausgangsmaterial
9	Seitenfläche des Membranrohres	71	Ausgangsmaterial, pulverförmig
10	Hüllseite, Filtratraum	72	Ausgangsmaterial, flüssig
11	Nut	73	Ausgangsmaterial, fest
12	Dichtelement	74	Ausgangsmaterial, pastös
13	Zu- oder Ablaufstück	75	Additiv
14	Flachdichtelement	76	Füllstoff
15	Klemmring	77	Absorptionsmodifikator, Tinte
		80	Ablagevorrichtung bzw. Auftragsmaschine

80'	zweite Ablagevorrichtung
80a	Zuführung
80b	Bauteilträger
81	Heizvorrichtung
81a	Wärmeerzeugung mittels der Heiz- vorrichtung 84
82	Mischvorrichtung
82a	Mengenregler Ausgangsmaterial
82b	Mengenregler Additiv / Füllstoff
82c	Mischbehälter
82d	Drehmischer
82e	Ausgangsmengenregler
83	Anregungs- oder Aktivierungsanord- nung
85	Bad
85a	Spüllösung
86	Kammer
90	Matrixebene
92	Ablagebereich
94	weiterer Bereich
100	Bereitstellen
102	Bevorraten
104	Platzieren
106	Mischen
108	Aufheizen
110	Einstellen
112	Beimischen
114	Einstellen von Härungsparametern
116	Auswahl von Ausgangsmaterial
120	Auftragen
122	Ausgeben bzw. Ausrichten der Auf- tragsmaschine
124	Ablegen von pulverförmigen Aus- gangsmaterial
126	(Manuelles) Auftragen von Aus- gangsmaterial
130	Fortführen bzw. Beenden des Her- stellungsverfahrens
132	Brennen eines Grünkörpers
134	Auswaschen von Hilfsstoffen
136	Entfernen überschüssigen Pulvers

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 88108462 A [0009]

## Patentansprüche

1. Additives Herstellungsverfahren zur Herstellung eines keramischen Bauteils (50) mit zumindest teilweiser oder zumindest bereichsweiser poröser Materialstruktur (60), insbesondere als keramisches Filterelement (60a) oder Filtervorrichtung, umfassend die Schritte:

Bereitstellen (100, 102, 104, 106, 108) eines porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 70a, 71, 73, 74),

Auftragen (120, 122, 124, 126) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials zum Aufbau des keramischen Bauteils, und bei dem Auftragen Einstellen (110, 112, 114, 116, 118, 119) der Porosität des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials.

2. Additives Herstellungsverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Schritt Auftragen (120, 122, 124, 126) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 70a, 71, 73, 74) ein punktweises, linienartiges oder schichtweises Auftragen des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials umfasst, insbesondere in einer Punkt-Target-Matrix oder in einer Schicht-Target-Matrix.

3. Additives Herstellungsverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das punktweise Auftragen (120, 122, 124, 126) umfasst

Anfahren (120) eines anzufahrenden Punktes der Punkt-Target-Matrix, an dem das poröse oder porösierbare keramische Ausgangsmaterial (70, 70a, 71, 73, 74) aufzutragen ist, und

Einstellen (110, 112, 114, 116, 118, 119) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials an dem anzufahrenden Punkt der Punkt-Target-Matrix und Auftragen des eingestellten des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials an dem Punkt.

4. Additives Herstellungsverfahren nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, ferner mit den Schritten

Anfahren von zumindest einem ersten Punkt der Punkt-Target-Matrix und Einstellen (110, 112, 114, 116, 118, 119) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 70a, 71, 73, 74) an dem zumindest einen ersten Punkt derart, dass an dem zumindest einen ersten Punkt eine poröse Materialstruktur (60) entsteht, und/oder

Anfahren (120) von zumindest einem zweiten Punkt der Punkt-Target-Matrix und Einstellen (110, 112, 114, 116, 118, 119) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials an dem zumindest einen zweiten Punkt derart, dass an dem zweiten Punkt eine undurchlässige Materialstruktur (64) entsteht.

5. Additives Herstellungsverfahren nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, wobei die Punkte der Punkt-Target-Matrix in Ablageschichten angeordnet sind, und wobei das Anfahren (120) der Punkte der Punkt-Target-Matrix schichtweise durchgeführt wird, so dass zunächst die Punkte einer ersten Ablageschicht angefahren werden und anschließend die Punkte einer zweiten Ablageschicht.

6. Additives Herstellungsverfahren nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Schritt Auftragen (120) umfasst das Auftragen des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 70a, 71, 73, 74) dergestalt, dass

zumindest eine Ablageschicht Bereiche mit undurchlässiger Materialstruktur (64) aufweist, und/oder

zumindest eine Ablageschicht Bereiche mit poröser Materialstruktur (60) aufweist, und/oder

zumindest eine Ablageschicht sowohl undurchlässige Materialstruktur (64) als auch poröse Materialstruktur (60) aufweist, welche mit demselben porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterial aufgetragen ist.

7. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei das Auftragen (120) des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 70a, 71, 73, 74) dergestalt durchgeführt wird, dass die teilweise oder bereichsweise poröse Materialstruktur (60) des Bauteils (50) chaotisch angeordnet oder aufgebaut ist, und/oder

die teilweise oder bereichsweise poröse Materialstruktur (60) des Bauteils (50) mit dem Auftrag (120) des Ausgangsmaterials im bzw. am Bauteil entsteht und einen nichtrepetitiven Aufbau bzw. Anordnung aufweist.

8. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das keramische Ausgangsmaterial (70, 70a, 71, 73, 74) intrinsisch porös eingestellt bzw. hergerichtet ist, und/oder

die poröse Materialstruktur (60) eine offene Porosität aufweist, und/oder

die undurchlässige Materialstruktur (64) eine geschlossene Porosität aufweist, und/oder

wobei sich die poröse Materialstruktur (60) dadurch auszeichnet, dass diese zumindest teilweise permeabel für das Fluid oder Bestandteile des Fluids eingestellt ist, und/oder

wobei sich die poröse Materialstruktur (60) dadurch auszeichnet, dass dort ein geringerer Widerstand für die Durchströmung oder Durchdringung eines Fluids durch die poröse Materialstruktur vorliegt als in der undurchlässigen Materialstruktur (64).

9. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse

Materialstruktur (60) eine offene mikro- oder mesoporöse Struktur aufweist mit einer mittleren Porengröße kleiner 40  $\mu\text{m}$ , bevorzugt kleiner 5  $\mu\text{m}$ , weiter bevorzugt kleiner 1  $\mu\text{m}$ .

10. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Materialstruktur (60) eine mittlere Volumenporosität von 20 % oder größer aufweist, bevorzugt 35 % oder größer.

11. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die undurchlässige Materialstruktur (64) eine höhere Dichte aufweist als die poröse Materialstruktur (60), wobei das Verhältnis der Dichte in der undurchlässigen Materialstruktur zu der porösen Materialstruktur insbesondere bei 1,2:1 liegt, weiter bevorzugt bei 1,5:1, noch weiter bevorzugt bei 2:1.

12. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Schritt Einstellen (110) der Porosität des porösen oder porösierbaren keramischen Ausgangsmaterials (70, 71, 73, 74) umfasst:

Beimischung (112) von Additiv (75) oder Füllstoff (76) zu dem keramischen Ausgangsmaterial zum Einstellen der Porosität im Moment des Materialauftrags, insbesondere an dem jeweils anzufahrenden Punkt (50a) der Punkt-Target-Matrix, und/oder Auswahl (116) von einem anzuwendenden keramischen Ausgangsmaterial aus einer Mehrzahl von zumindest zwei keramischen Ausgangsmaterialien, wobei die zumindest zwei keramischen Ausgangsmaterialien abwechselnd oder gleichzeitig zugeführt werden können, insbesondere an dem jeweils anzufahrenden Punkt (50a) der Punkt-Target-Matrix, zur Herstellung des keramischen monolithischen Bauteils (50).

13. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Poren (31, 31A, 31B) des porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterials (70, 71, 73, 74) beim Materialauftrag so gestaltet oder vorbereitet werden, dass diese im Bauteil (50) eine zusammenhängende poröse Materialstruktur (60) ausbilden und/oder die Poren eine rundliche oder kartoffelförmige Einzelstruktur aufweisen.

14. Additives Herstellungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Materialstruktur (60) des keramischen Bauteils (50) so aufgebaut und angeordnet wird, dass diese geeignet ist, eine Hüllseite von einer Trägerseite permeabel abzutrennen.

15. Monolithisches keramisches Bauteil (50), insbesondere als oder für eine Vorrichtung zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem Fluid, ins-

besondere hergestellt nach einem der vorstehenden Verfahren, das monolithische keramische Bauteil umfassend:

- eine erste und eine der ersten gegenüberliegende zweite Stirnseite (2, 2a),
- eine zwischen der ersten und der zweiten Stirnseite angeordnete und mit den Stirnseiten einstückig aufgebaute und verbundene poröse Struktur (60), wobei die poröse Struktur jedenfalls teilweise oder bereichsweise permeabel eingerichtet ist,
- wobei die poröse Struktur so hergerichtet und angeordnet ist, eine Hüllseite von einer Trägerseite zumindest teilweise und/oder zumindest bereichsweise permeabel abzutrennen,
- wobei auf der Trägerseite ein Trägerfluid bereitstellbar ist,
- wobei die poröse Struktur hergerichtet ist, einen Stofftransfer des Trägerfluids mit der Hüllseite zu gewährleisten, insbesondere einen Transfer vom Trägerfluid in ein Hüllfluid und/oder von einem Hüllfluid in das Trägerfluid.

16. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach dem vorstehenden Anspruch, welches als Membranelement (62) für eine Filtervorrichtung ausgestaltet ist oder welches als Filtervorrichtung ausgestaltet ist und welches monolithisch mit der porösen Struktur (60) als Membranelement aufgebaut ist.

17. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend ein monolithisch mit der porösen Struktur (60) und der ersten und zweiten Stirnseite (2, 2a) ausgebildete Umhäusung (5), wobei bevorzugt die poröse Struktur von der Umhäusung gemeinsam mit erster und zweiter Stirnseite umschlossen ist.

18. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, weiter hergerichtet dergestalt, dass auf der Hüllseite (10) ein Hüllfluid bereitstellbar ist, so dass in dem oder durch das monolithische keramische Bauteil sowohl das Trägerfluid als auch das Hüllfluid strömen kann und das Trägerfluid mittels der porösen Struktur (60) von dem Hüllfluid abgetrennt ist, und/oder wobei die poröse Struktur (60) semipermeabel oder selektiv permeabel eingerichtet ist, und/oder wobei die poröse Struktur (60) permeabel eingerichtet ist für Stoffe und/oder Partikel mit einer Größe kleiner als 10  $\mu\text{m}$ , bevorzugt kleiner als 2  $\mu\text{m}$ , weiter bevorzugt kleiner als 0,5  $\mu\text{m}$ .

19. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, hergerichtet zur Aufnahme und Ableitung des Trägerfluids auf der Trägerseite (1) und eines Hüllfluids auf der Hüllseite (10), so dass das Trägerfluid und das Hüllfluid durch das monolithische keramische Bauteil strömen können zur Bereitstellung einer Trägerströ-

mung und einer Hüllströmung in dem monolithischen Bauteil.

20. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Struktur (60) Filterkapillaren (1) umfasst, insbesondere Membrankapillaren.

21. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste Stirnseite (2) plattenförmig ausgebildet ist und die poröse Struktur (60) an der ersten Stirnseite einstückig angeformt ist, insbesondere integral mit dieser ausgebildet ist, und/oder wobei die zweite Stirnseite (2a) plattenförmig ausgebildet ist und die poröse Struktur (60) an der zweiten Stirnseite einstückig angeformt ist, insbesondere integral mit dieser ausgebildet ist.

22. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Struktur (60) eine Mehrzahl von länglich erstreckten Membranrohren oder Filterkapillaren (1) umfasst, die einstückig die erste Stirnseite (2) des monolithischen Bauteils mit der zweiten Stirnseite (2a) verbinden.

23. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren (1) eine Innenseite aufweisen, wobei die Innenseiten der Membranrohre oder Filterkapillaren die Trägerseite bilden und/oder wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren auf ihren Außenseiten die Hüllseite (10) bilden.

24. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren (1) eine rohr- oder röhrenförmige Ausgestaltung aufweisen, und/oder wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren (1) im Wesentlichen gerade rohrförmig erstreckt sind, oder, wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren schraubenförmig oder helikal erstreckt sind, insbesondere als Doppelhelix oder Tripelhelix (1 b), bei welchen zwei beziehungsweise drei Membranrohre oder Filterkapillaren umeinanderlaufen.

25. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, wobei die Membranrohre oder Filterkapillaren (1) je eine von einem Fluid durchströmbare erste bzw. zweite Mündung (3) aufweisen, welche integral jeweils mit der ersten bzw. zweiten Stirnseite (2, 2a) ausgeführt ist.

26. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei die Mündung (3) eine strömungsführende Oberflächengestaltung (4, 4a) aufweist, welche insbesondere konzentrisch um die Mündung herum aufgebaut ist und einstückig in die erste oder zweite Stirnseite (2, 2a) übergeht.

27. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend einen mit der ersten Stirnseite (2) und der porösen Struktur (60) monolithisch ausgebildeten ersten Trägerfluid-Sammelanschluss (7), und/oder einen mit der zweiten Stirnseite (2a) und der porösen Struktur (60) monolithisch ausgebildeten zweiten Trägerfluid-Sammelanschluss (7a), und/oder einen mit der porösen Struktur (60) monolithisch ausgebildeten Hüllfluid-Anschluss (8, 8a).

28. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, die poröse Struktur (60) ferner umfassend zumindest eine monolithisch mit der porösen Struktur ausgeführte Verbindung, Querverbindung, oder Versteifung (17, 17a) zur Erhöhung der mechanischen Stabilität der porösen Struktur.

29. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei die Verbindung, Querverbindung, oder Versteifung (17, 17a) die poröse Struktur (60) mit der Umhüllung (5) direkt einstückig verbindet.

30. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Struktur (60) zumindest einen Turbulator (29, 29a) aufweist zur Durchmischung des Trägerfluids und/oder zur Durchmischung des Hüllfluids, und/oder wobei die poröse Struktur (60) einen über die Länge veränderlichen Strömungsquerschnitt für das Trägerfluid und/oder das Hüllfluid bereitstellt.

31. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die poröse Struktur (60) bereichsweise oder teilweise eine höhere oder niedrigere Porosität und/oder Porenweitenverteilung aufweist, und/oder wobei die poröse Struktur (60) undurchlässige Bereiche (64), permeable Bereiche und weitere Bereiche aufweist, die eine unterschiedliche Porosität im Vergleich sowohl zu den undurchlässigen Bereichen als auch zu den permeablen Bereichen aufweist.

32. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und/oder die zweite Stirnseite (2, 2a) eine integrale Fluidsperre aufweist oder als integrale Fluidsperre ausgebildet ist, wobei die Fluidsperre



(n) die Strömung des Trägerfluids von der Hüllströmung trennt.

33. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das monolithische keramische Bauteil aus dem porösen oder porösierbaren Ausgangsmaterial aufgebaut ist.

34. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das poröse oder porösierbare Ausgangsmaterial keramische Bestandteile umfasst, insbesondere keramische Paste.

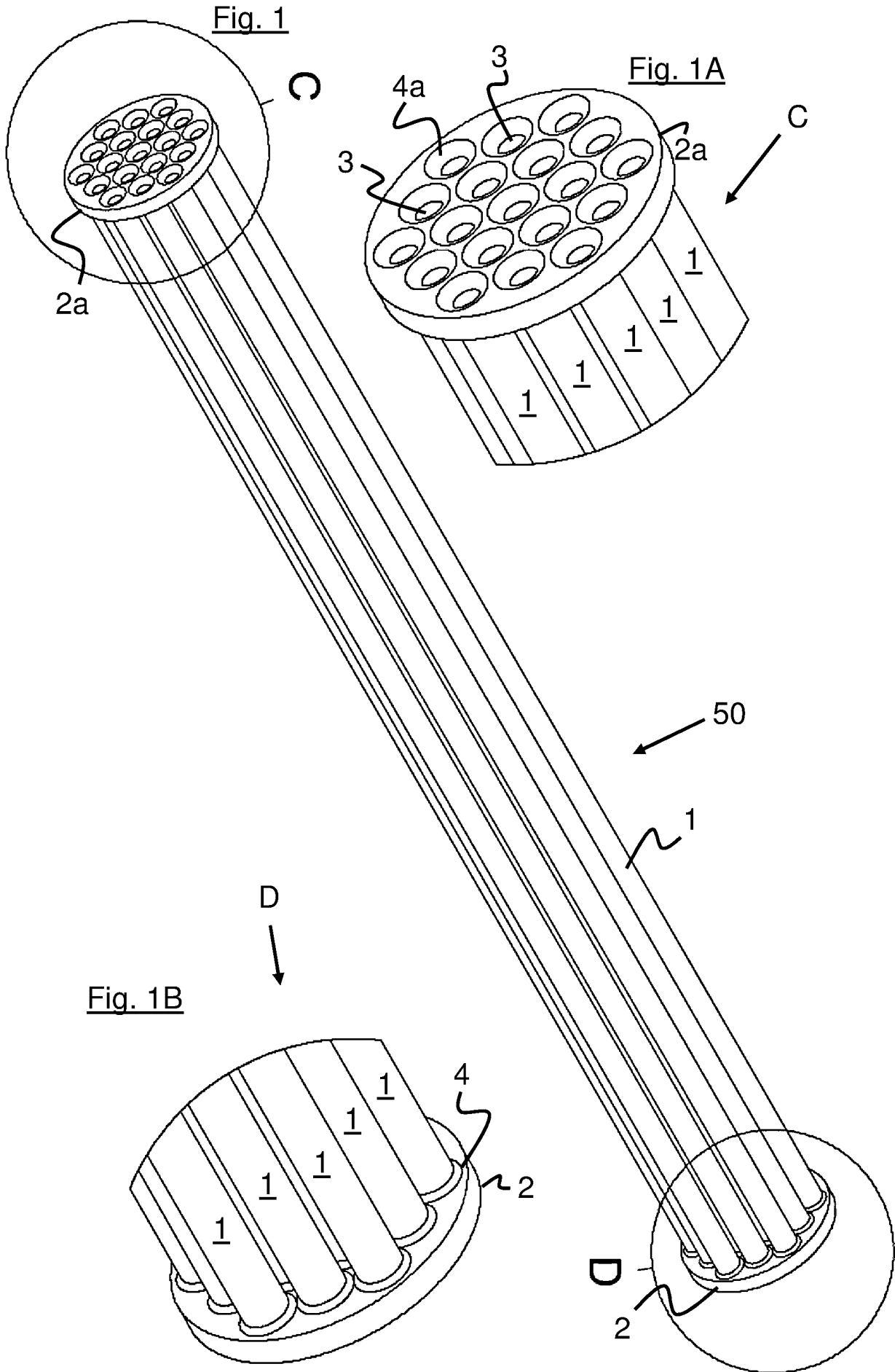
35. Monolithisches keramisches Bauteil (50) nach einem der vorstehenden Ansprüche, hergestellt nach einem der vorstehend aufgeführten Verfahren.

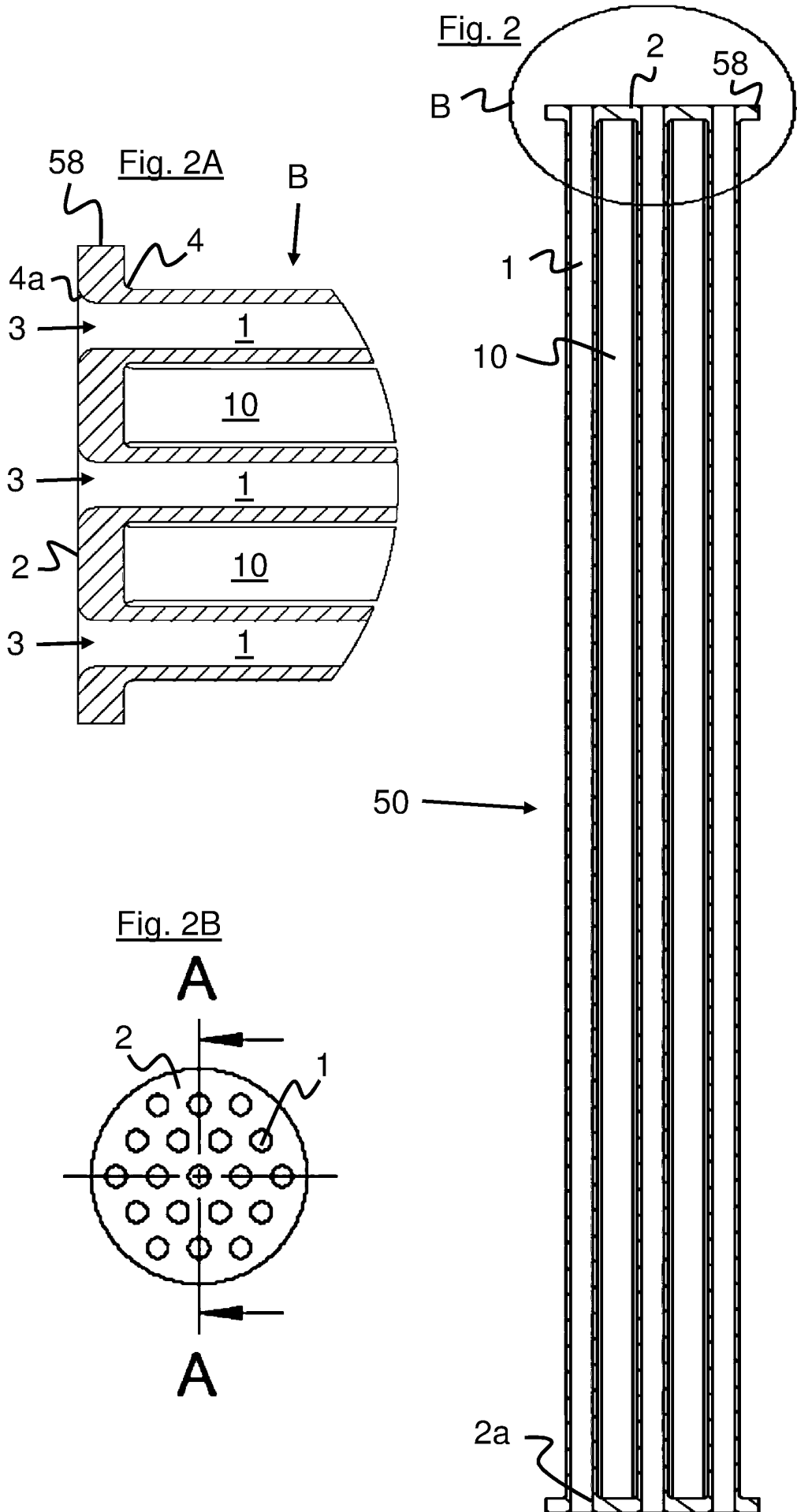
36. Monolithisch aufgebautes keramisches Filtermodul (50) für eine Vorrichtung zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem Fluid, das keramische Filtermodul umfassend:

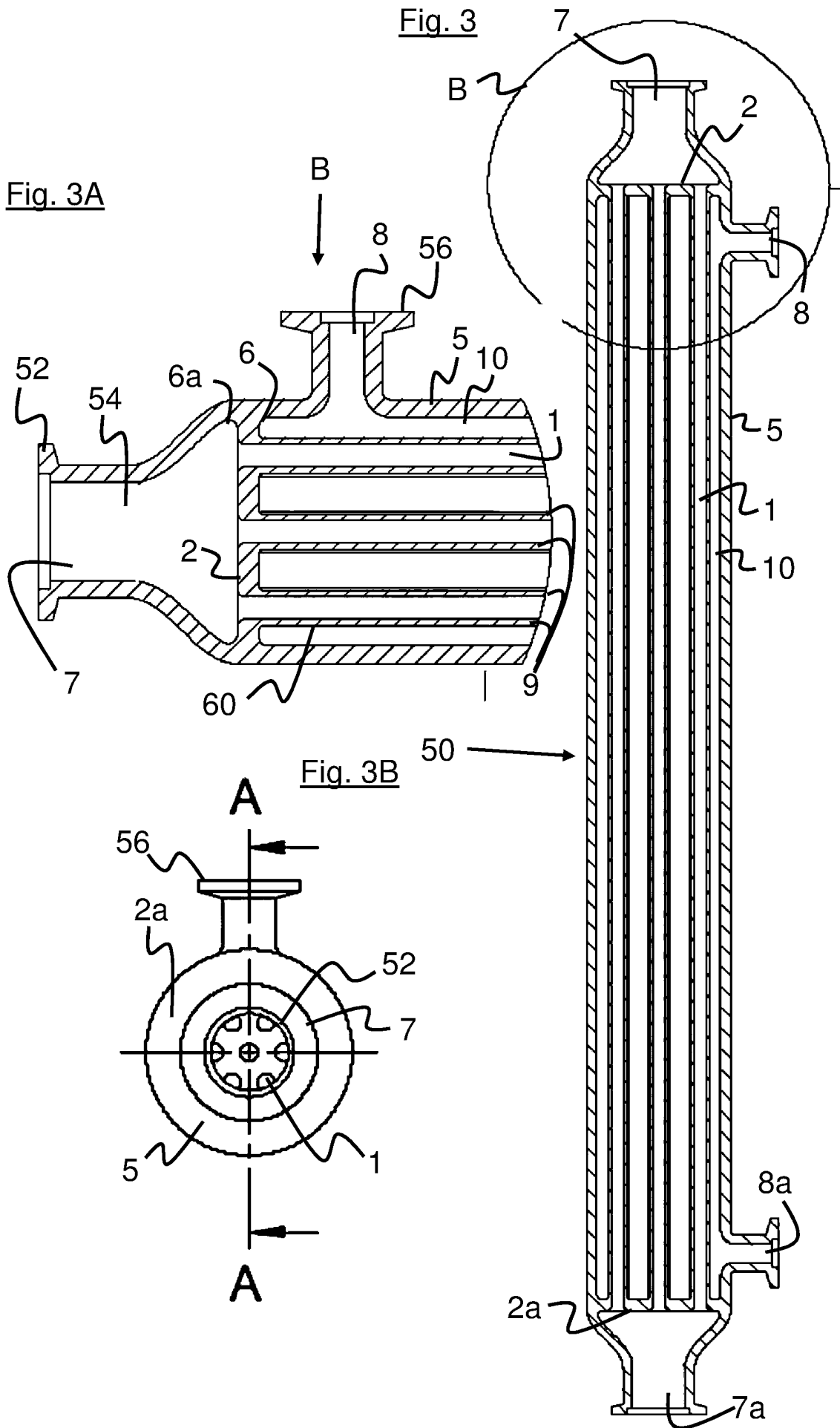
- eine erste und eine der ersten gegenüberliegende zweite Stirnseite (2, 2a),
- ein, insbesondere längliches oder röhrenförmiges, einstückig mit der ersten und zweiten Stirnseite ausgebildetes Filtergehäuse (5, 62),
- eine in dem Filtergehäuse angeordnete und mit den Stirnseiten und dem Filtergehäuse einstückig aufgebaute und verbundene poröse Struktur (60, 64), wobei die poröse Struktur jedenfalls teilweise oder bereichsweise permeabel eingerichtet ist,
- zumindest einen Trägerfluid-Sammelanschluss (7, 7a),
- zumindest einen Hüllfluid-Anschluss (8, 8a),
- wobei die erste Stirnseite und die zweite Stirnseite jeweils als integrale Fluidsperre ausgebildet ist zum Unterbinden einer Querströmung zwischen Trägerfluid-Sammelanschluss und Hüllfluid-Anschluss,
- wobei die poröse Struktur so hergerichtet und angeordnet ist, eine Hüllseite (10) von einer Trägerseite (1) zumindest teilweise und/oder zumindest bereichsweise permeabel abzutrennen,
- wobei auf der Trägerseite ein Trägerfluid bereitstellbar ist,
- wobei die poröse Struktur hergerichtet ist, einen Stofftransfer des Trägerfluids mit der Hüllseite zu gewährleisten.

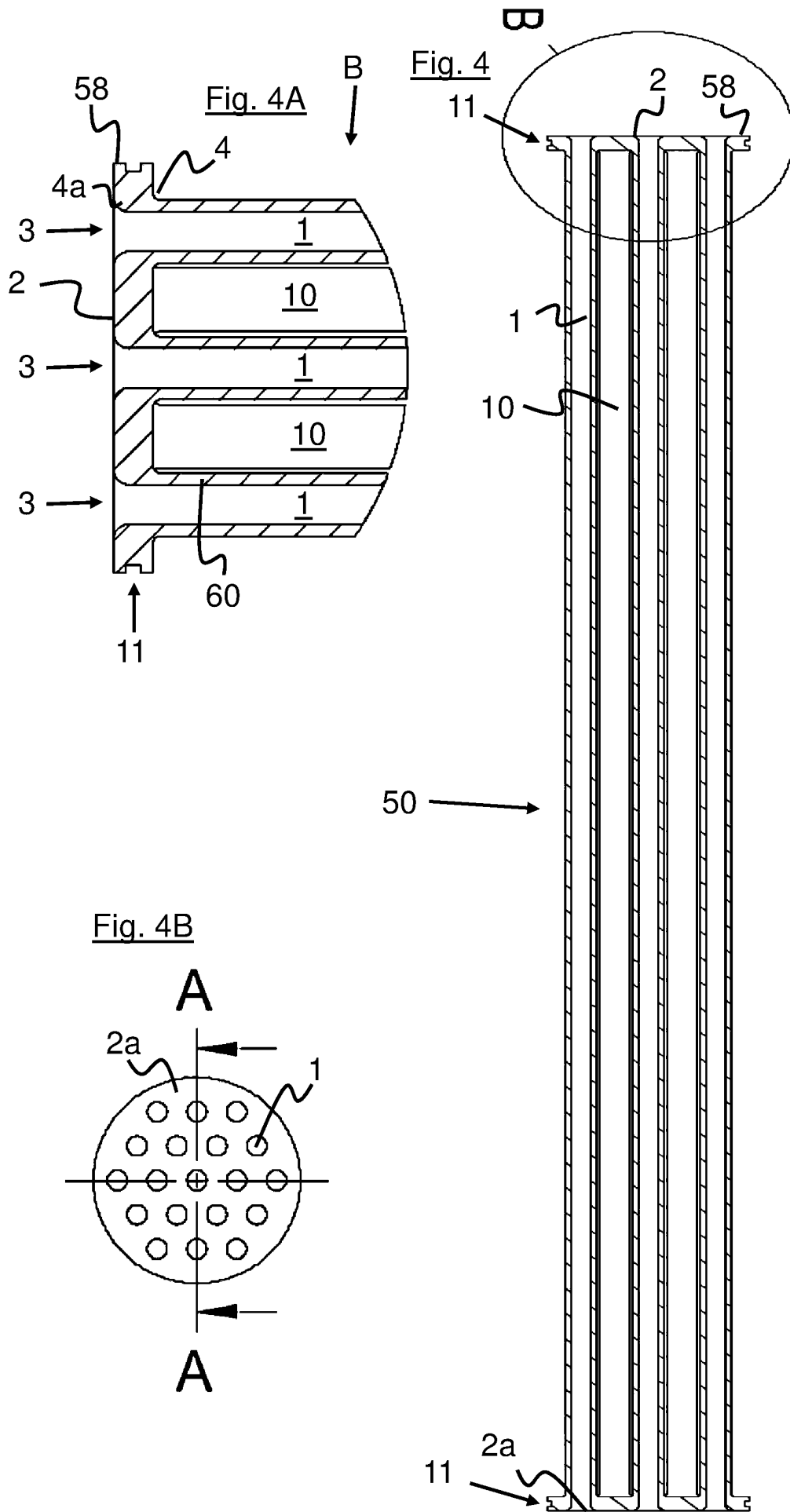
Es folgen 24 Seiten Zeichnungen

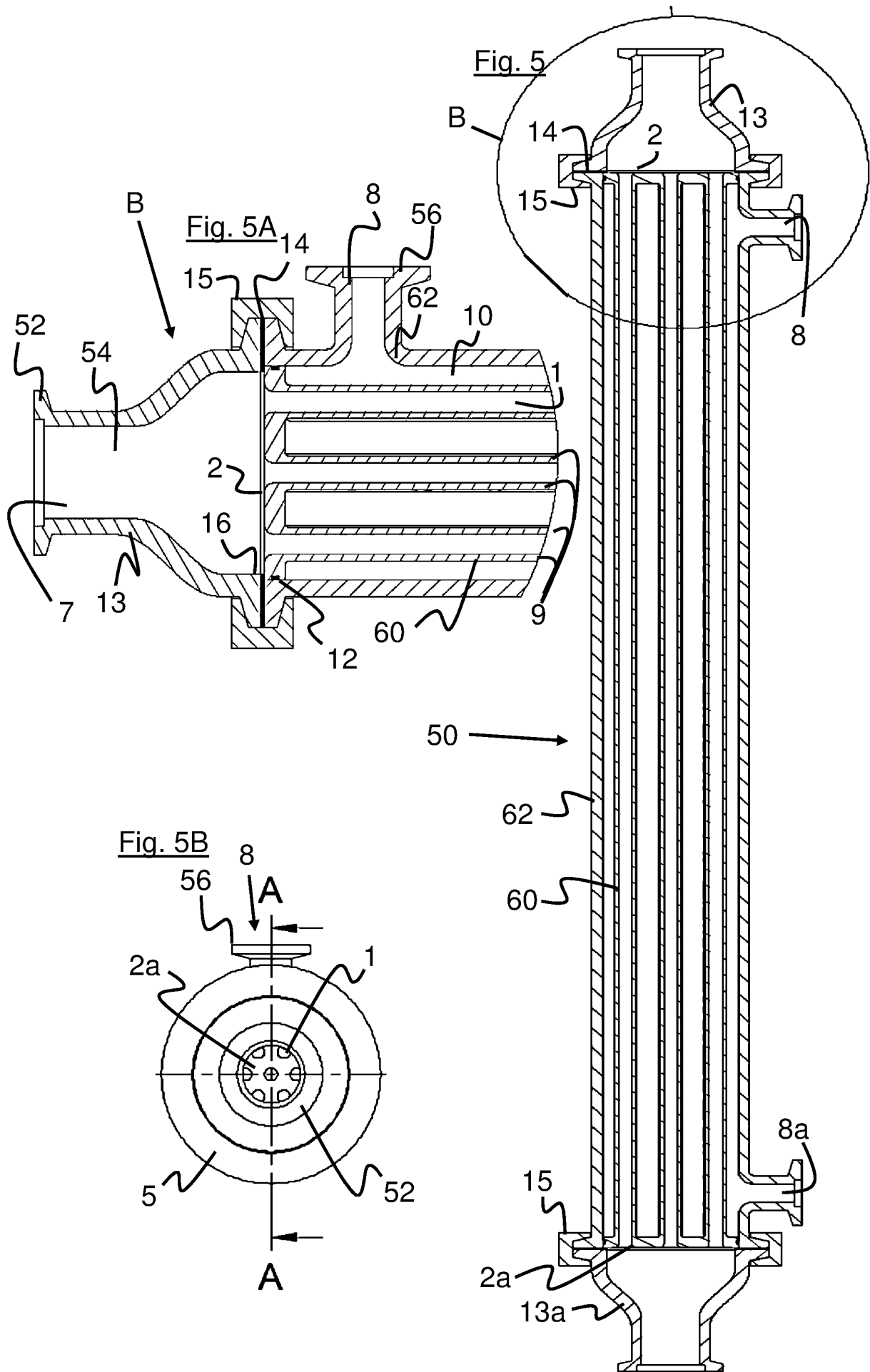
Anhängende Zeichnungen

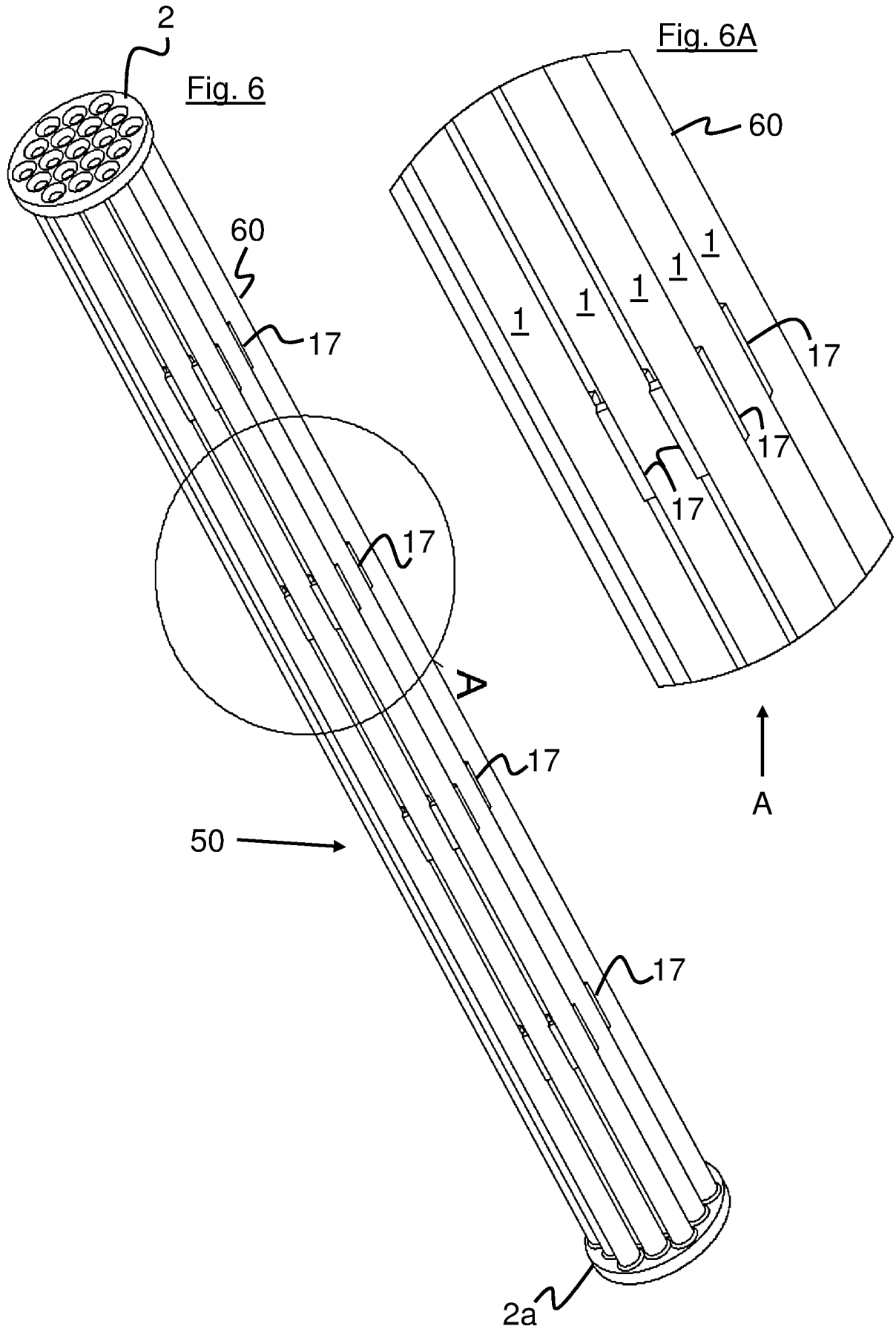


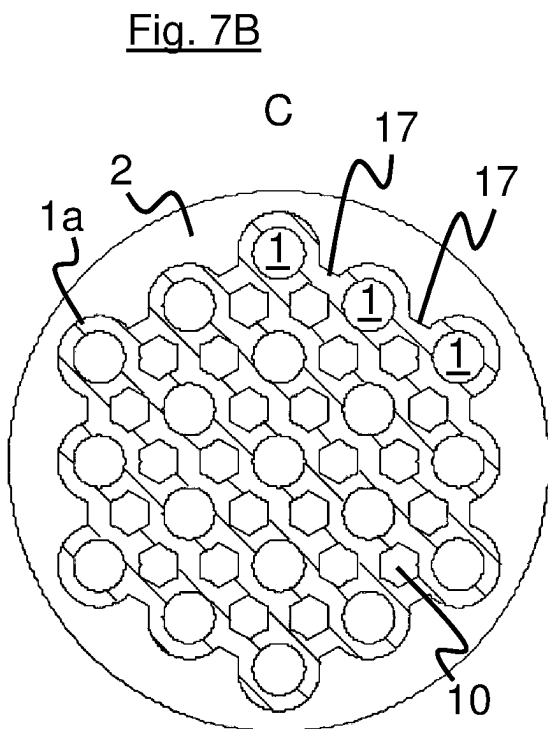
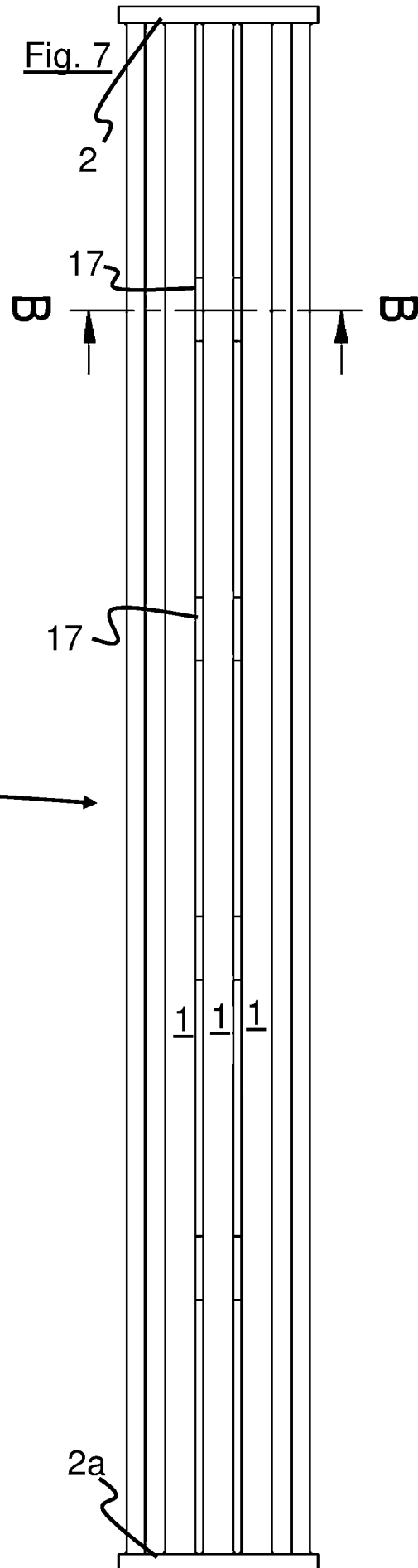
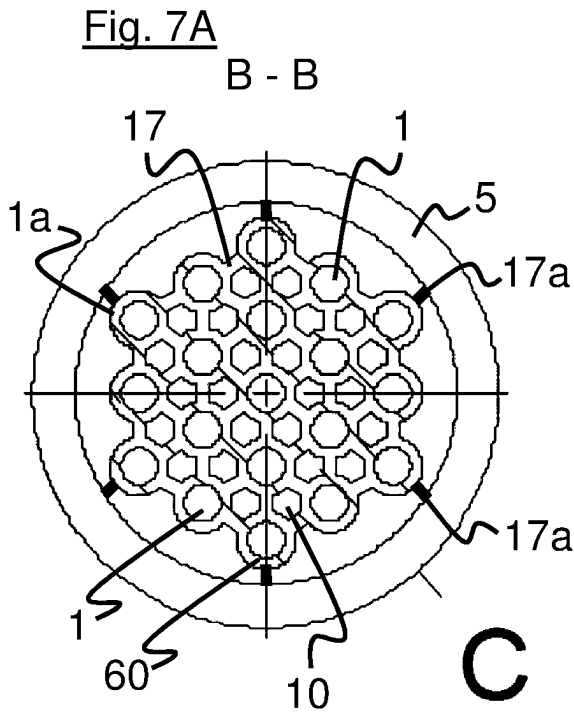












50 →



Fig. 8

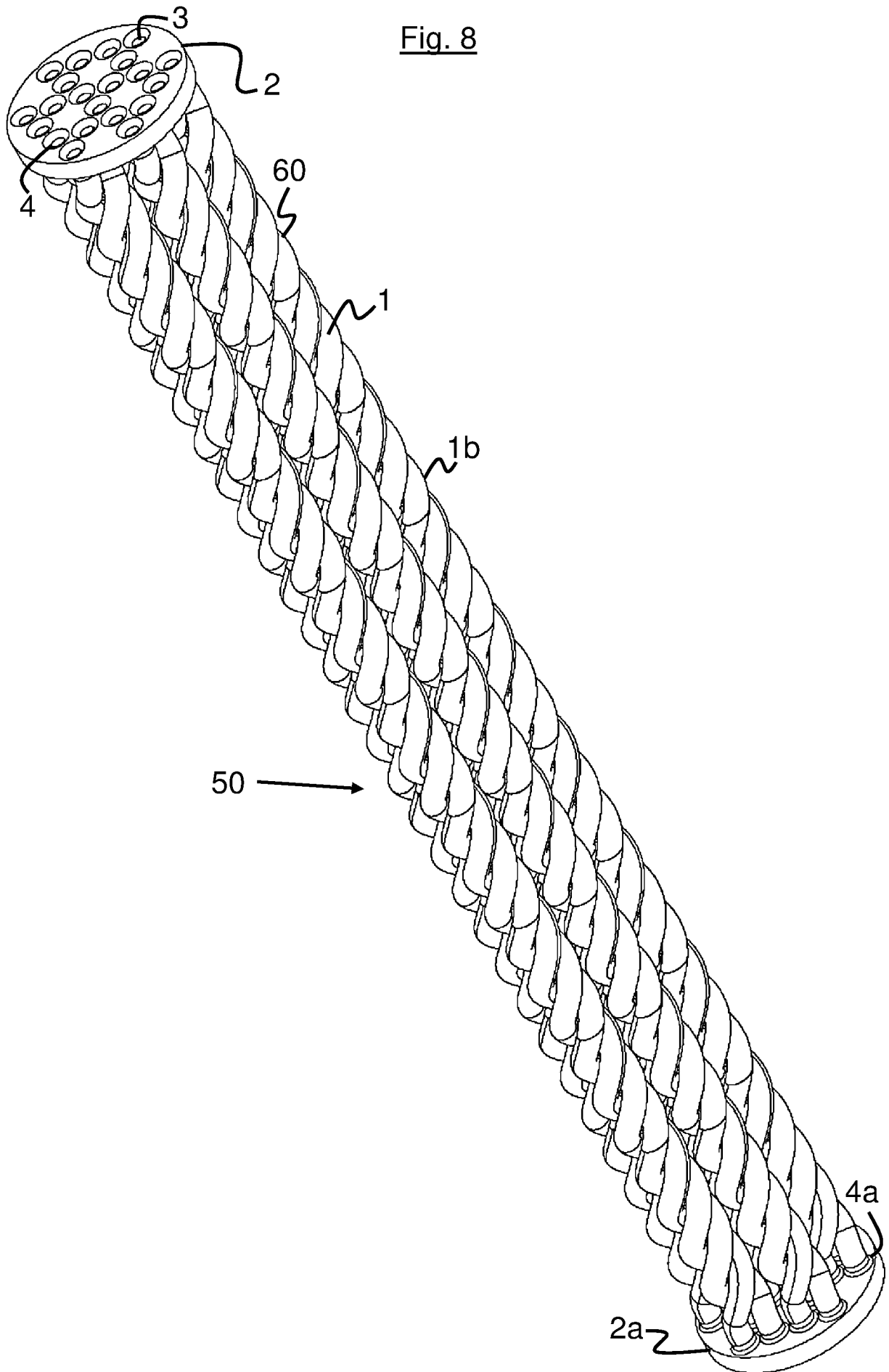
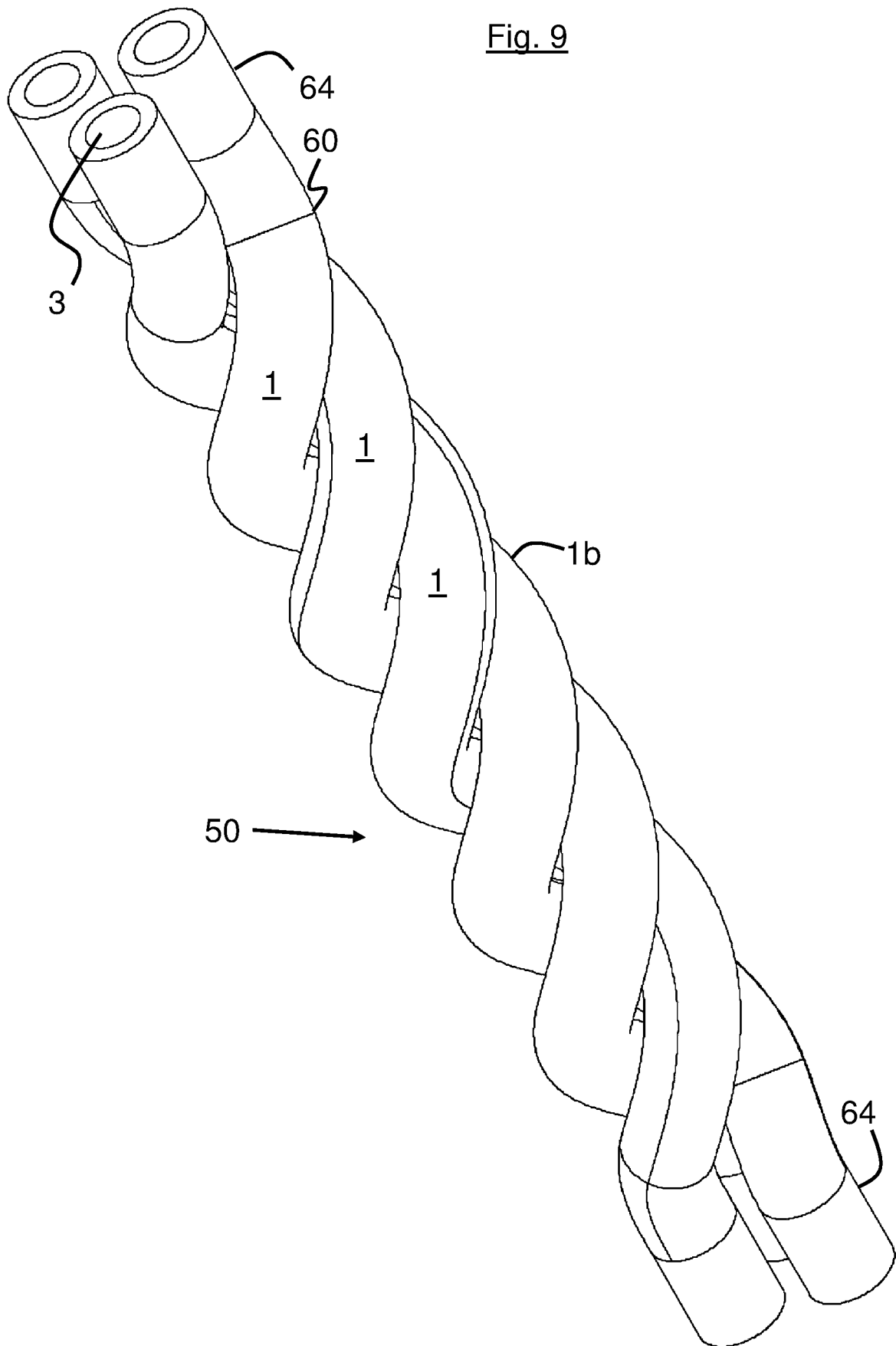


Fig. 9



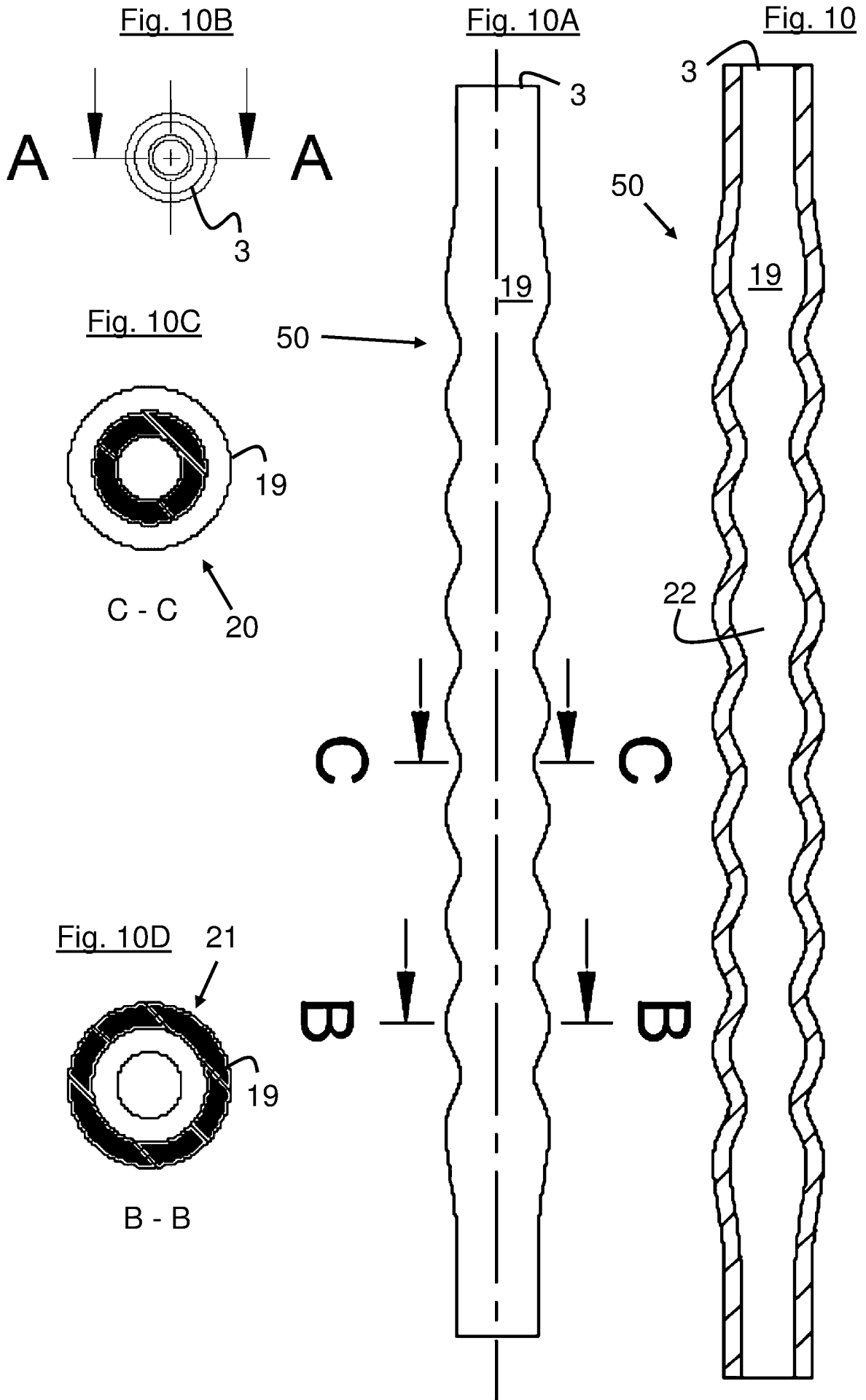


Fig. 10E

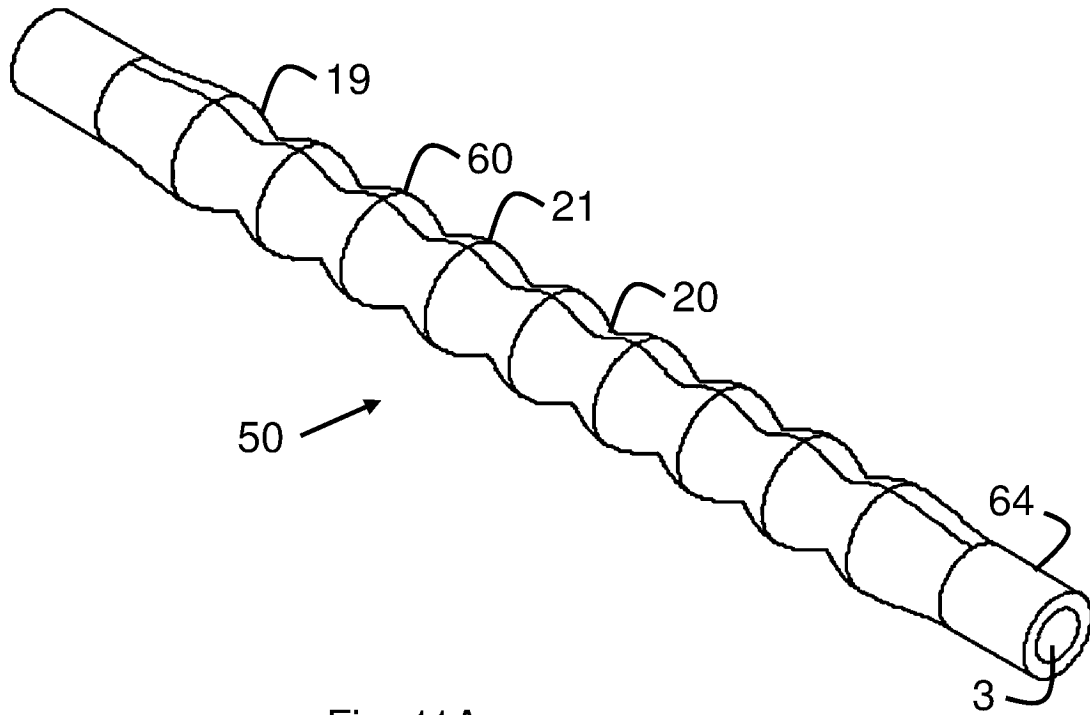
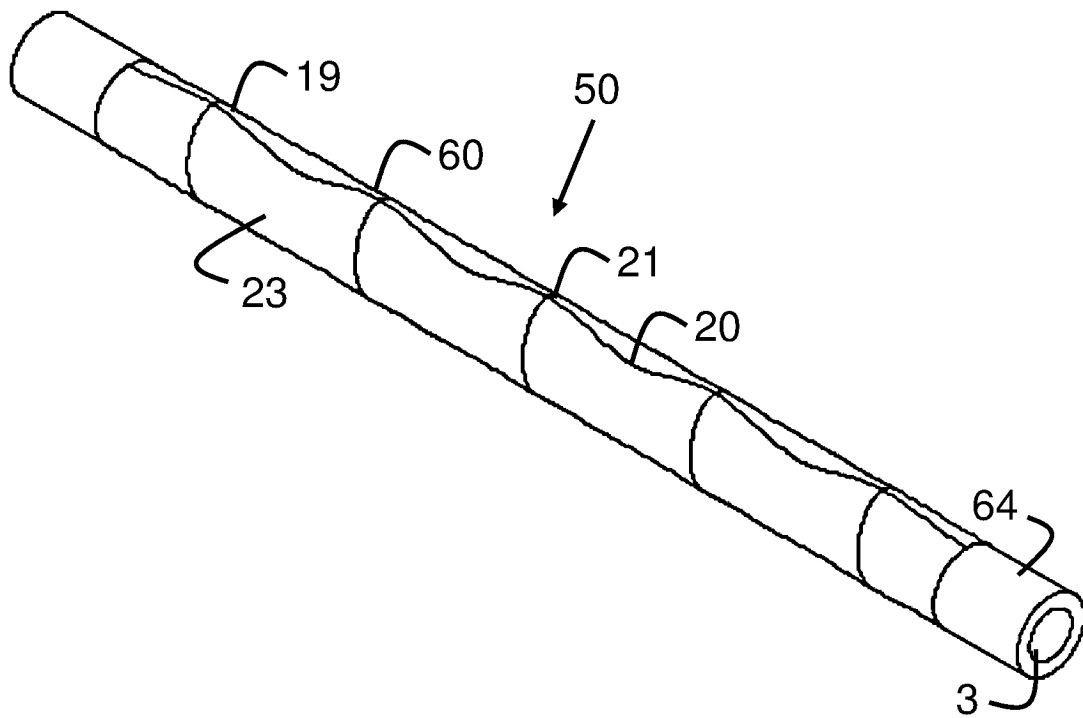


Fig. 11A



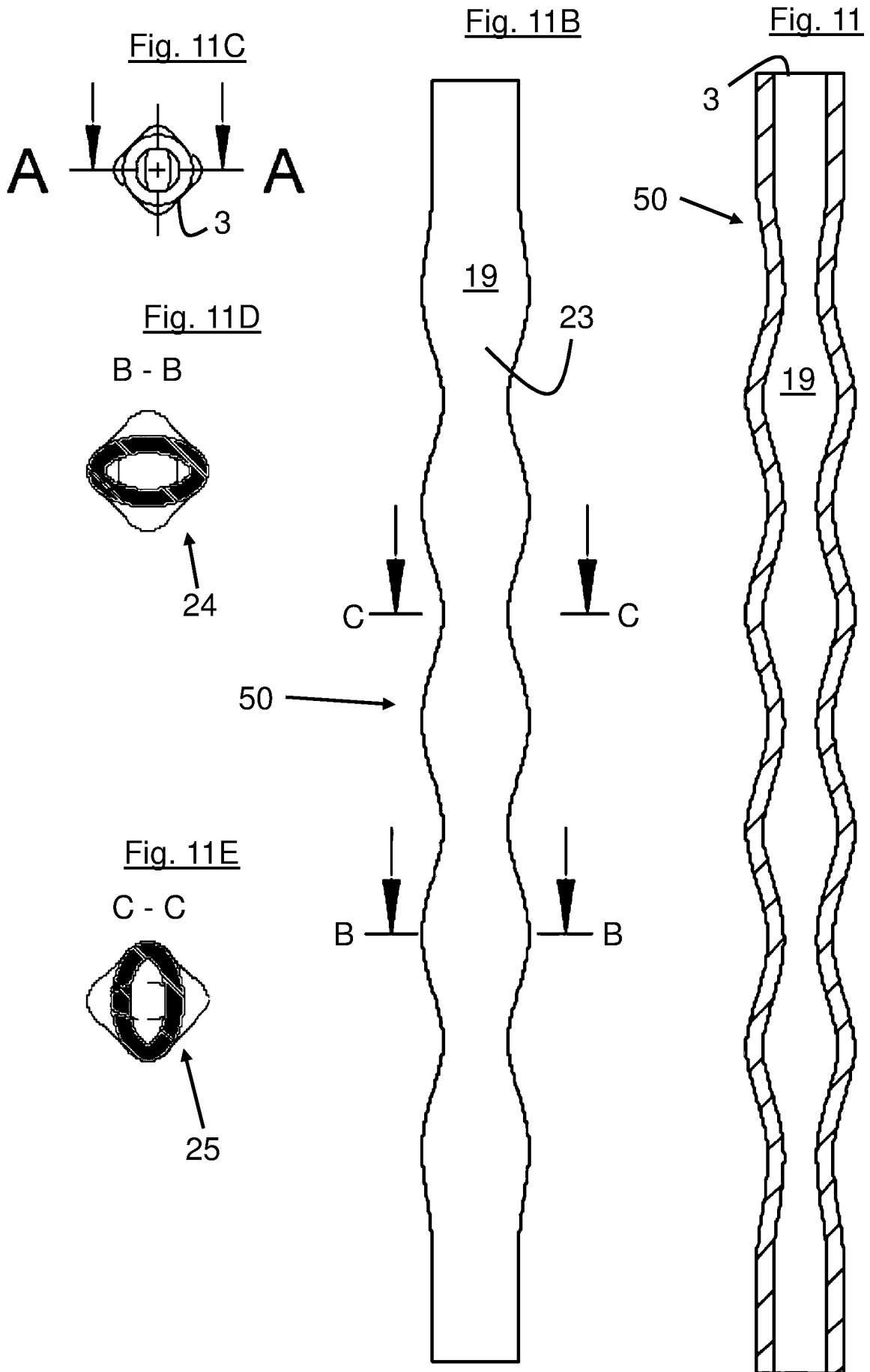


Fig. 12A

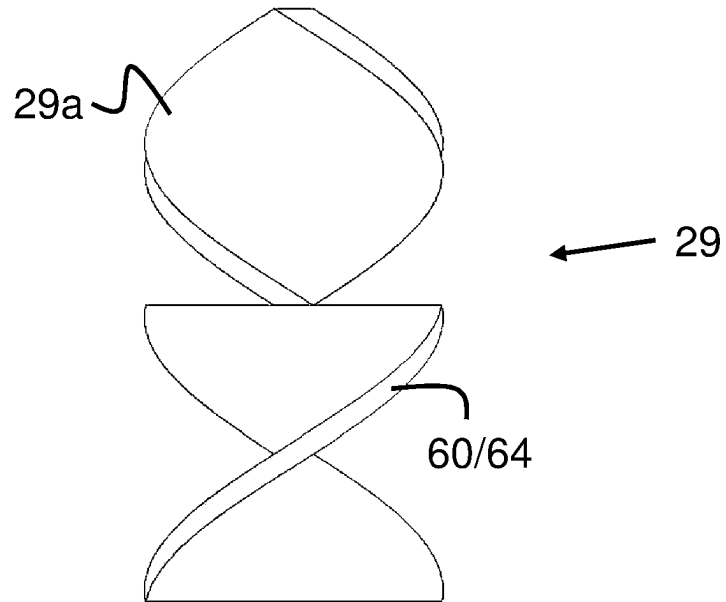
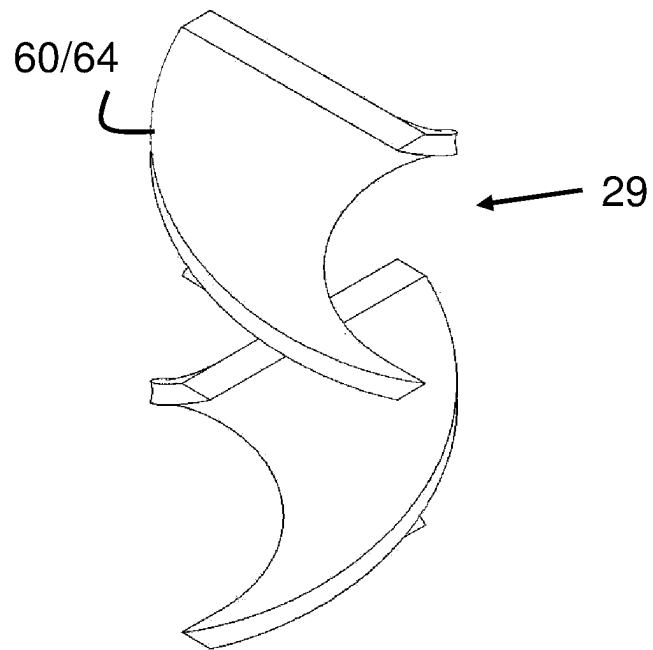
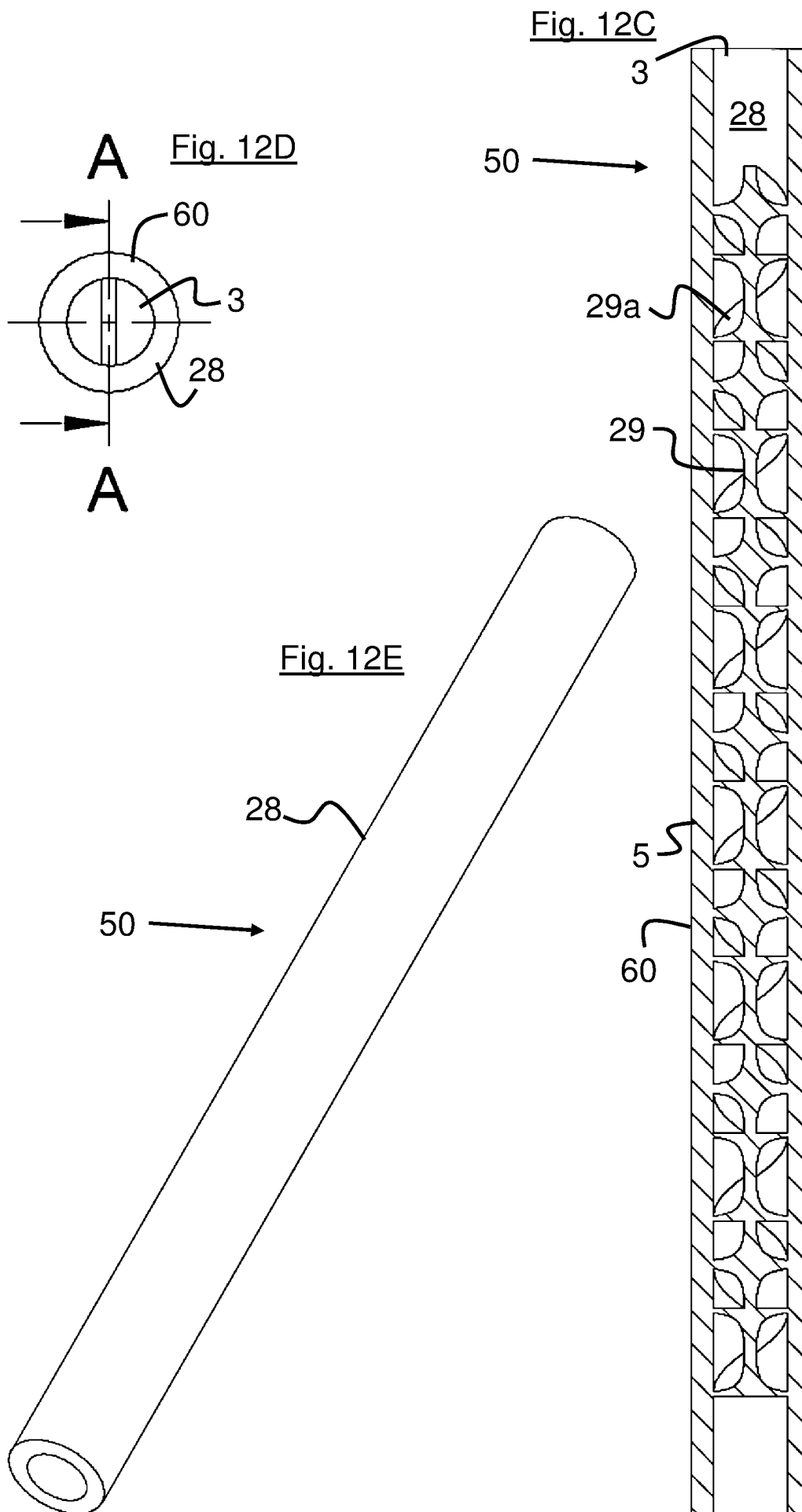


Fig. 12B





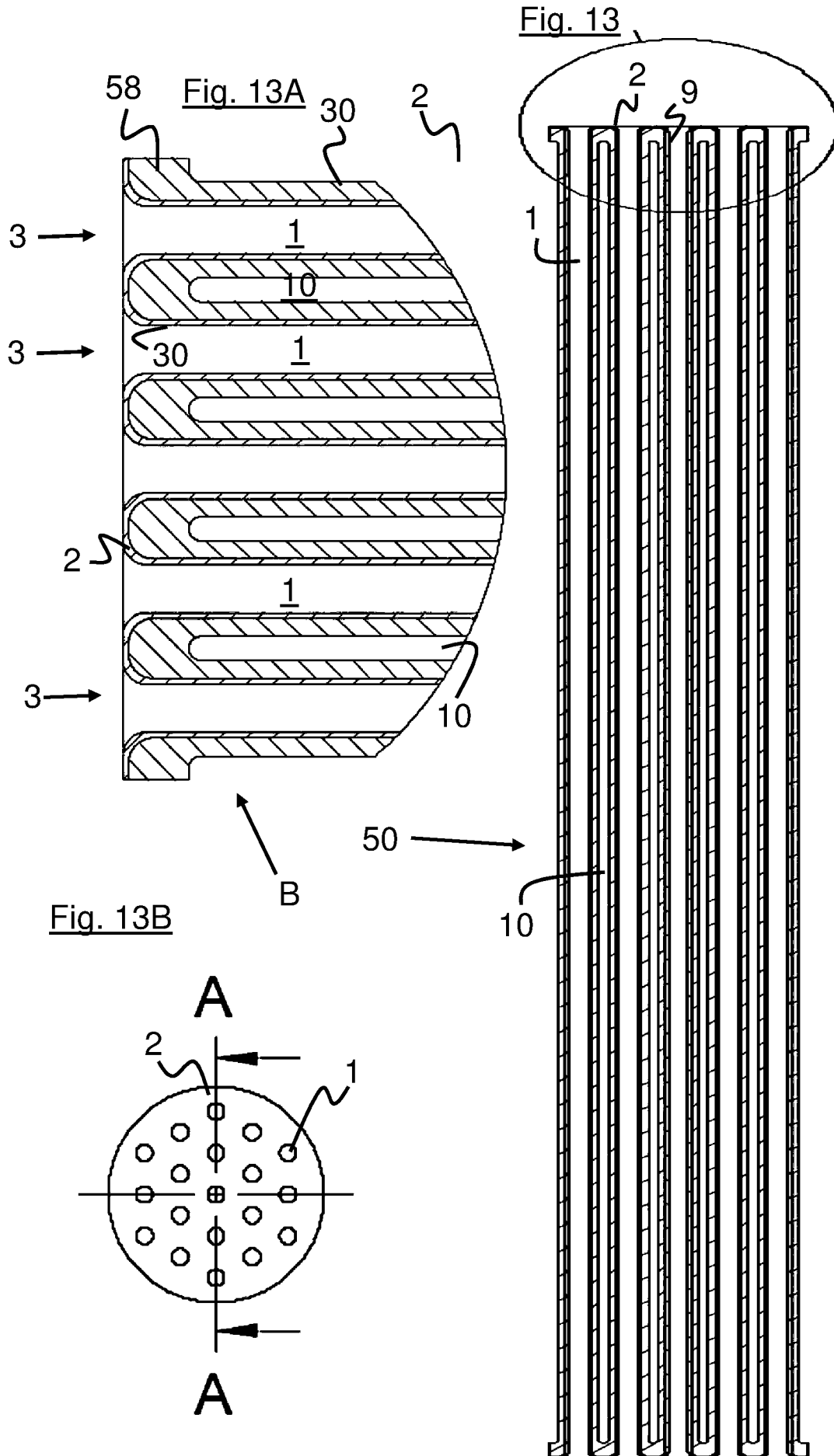




Fig. 14

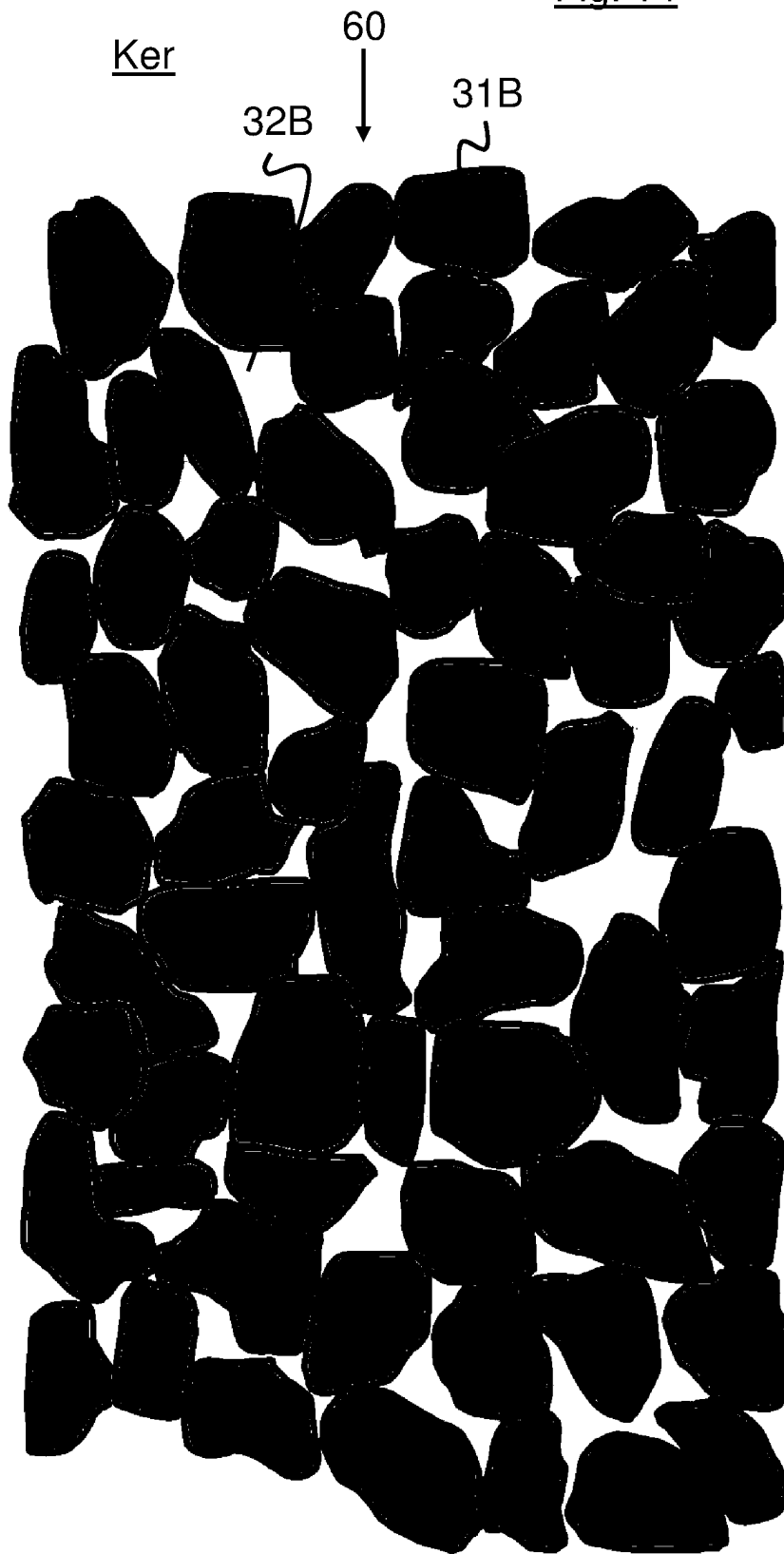


Fig. 15

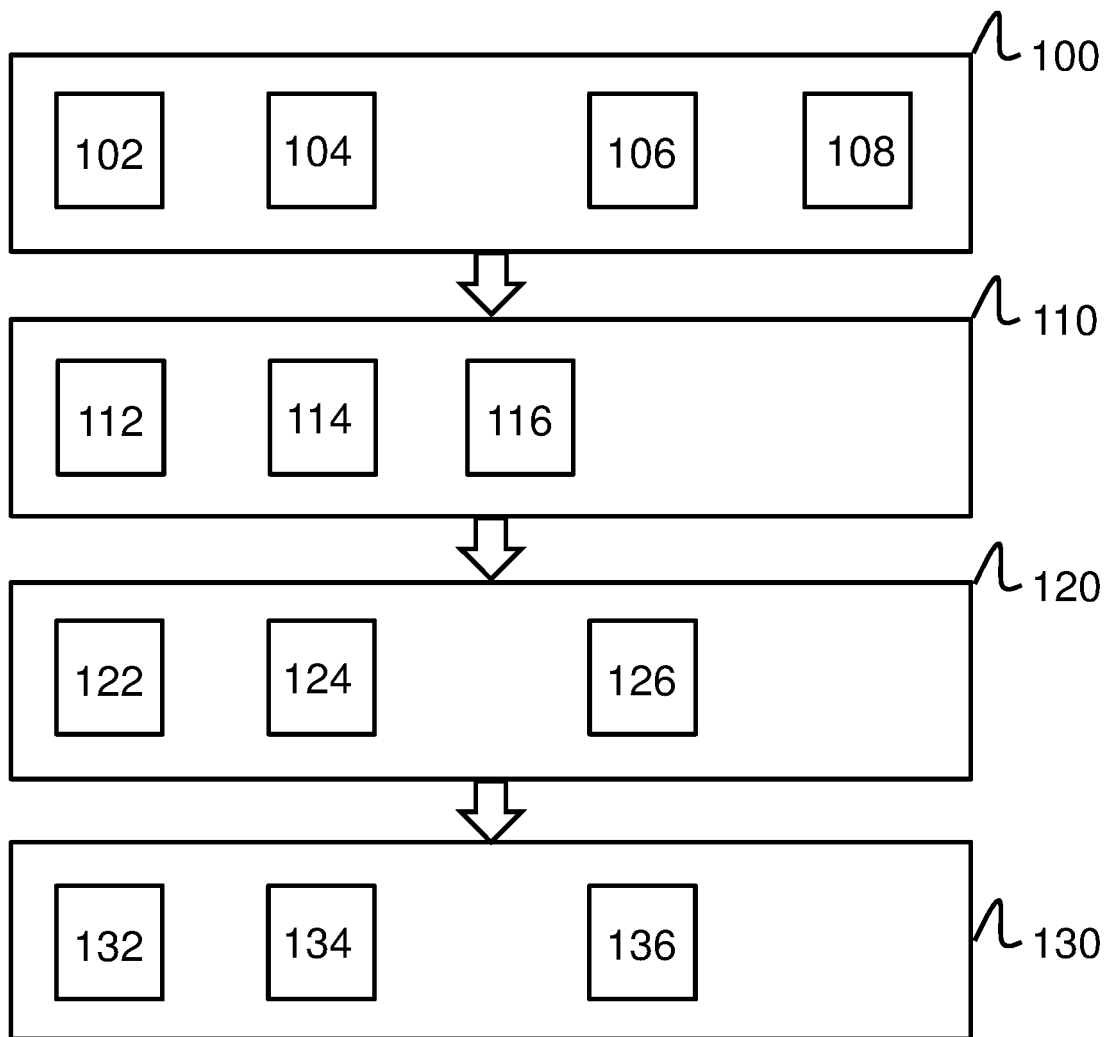


Fig. 16

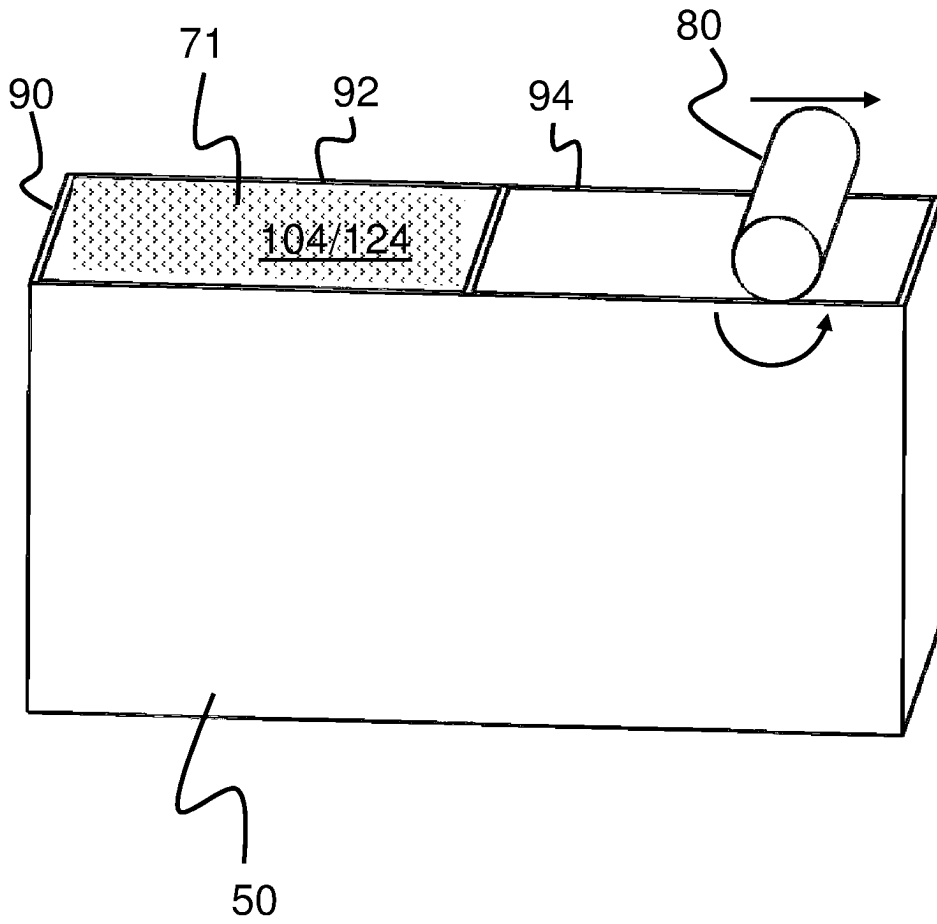


Fig. 17

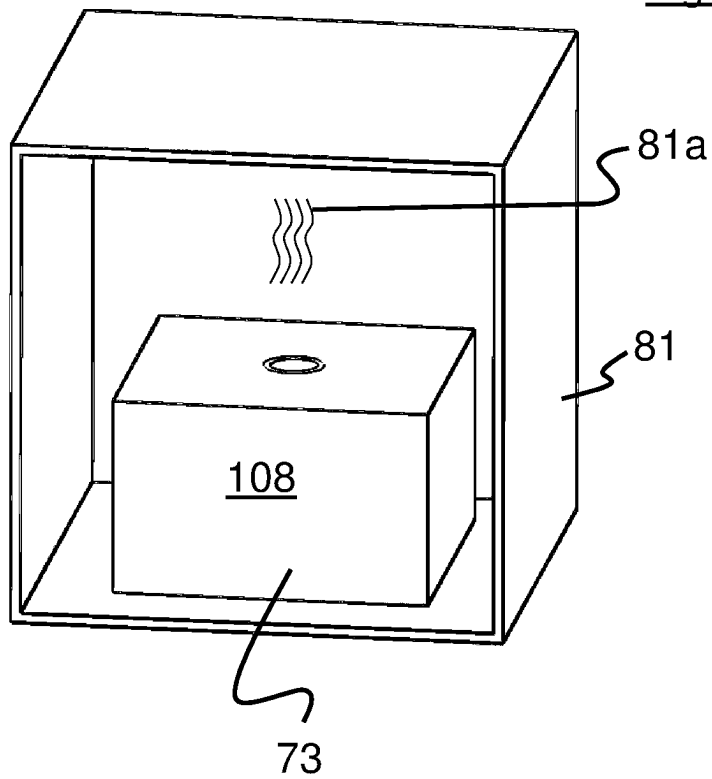


Fig. 18

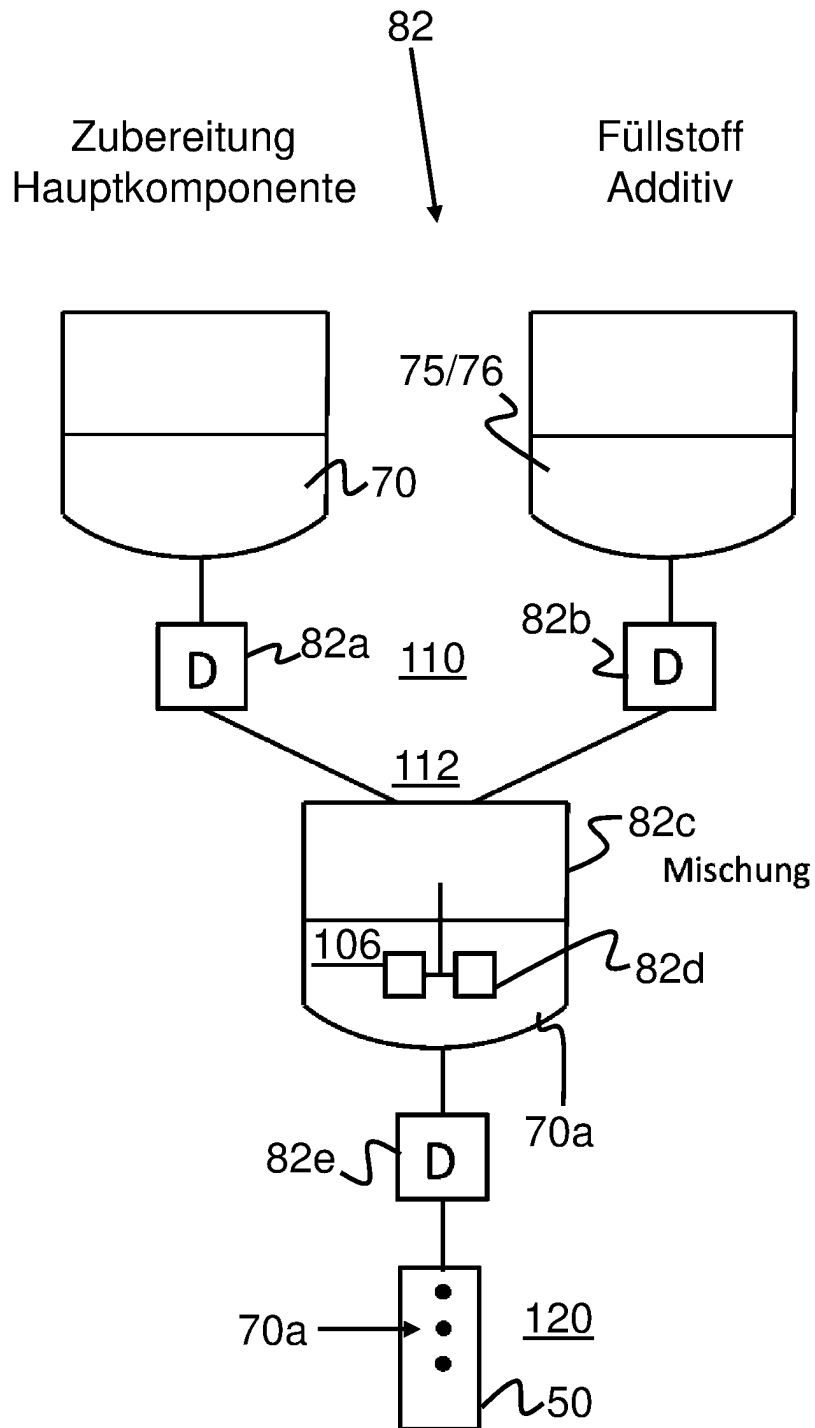
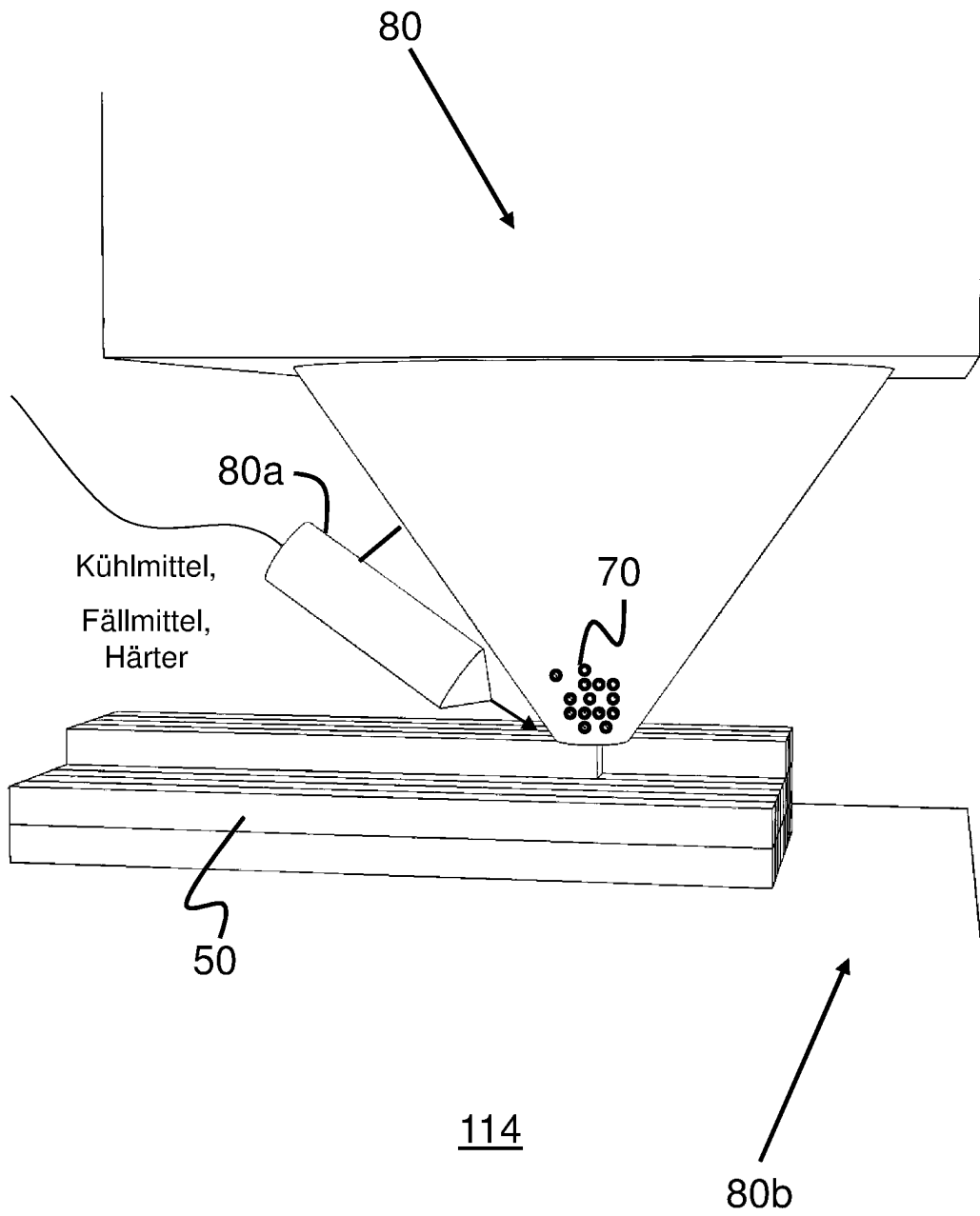


Fig. 19



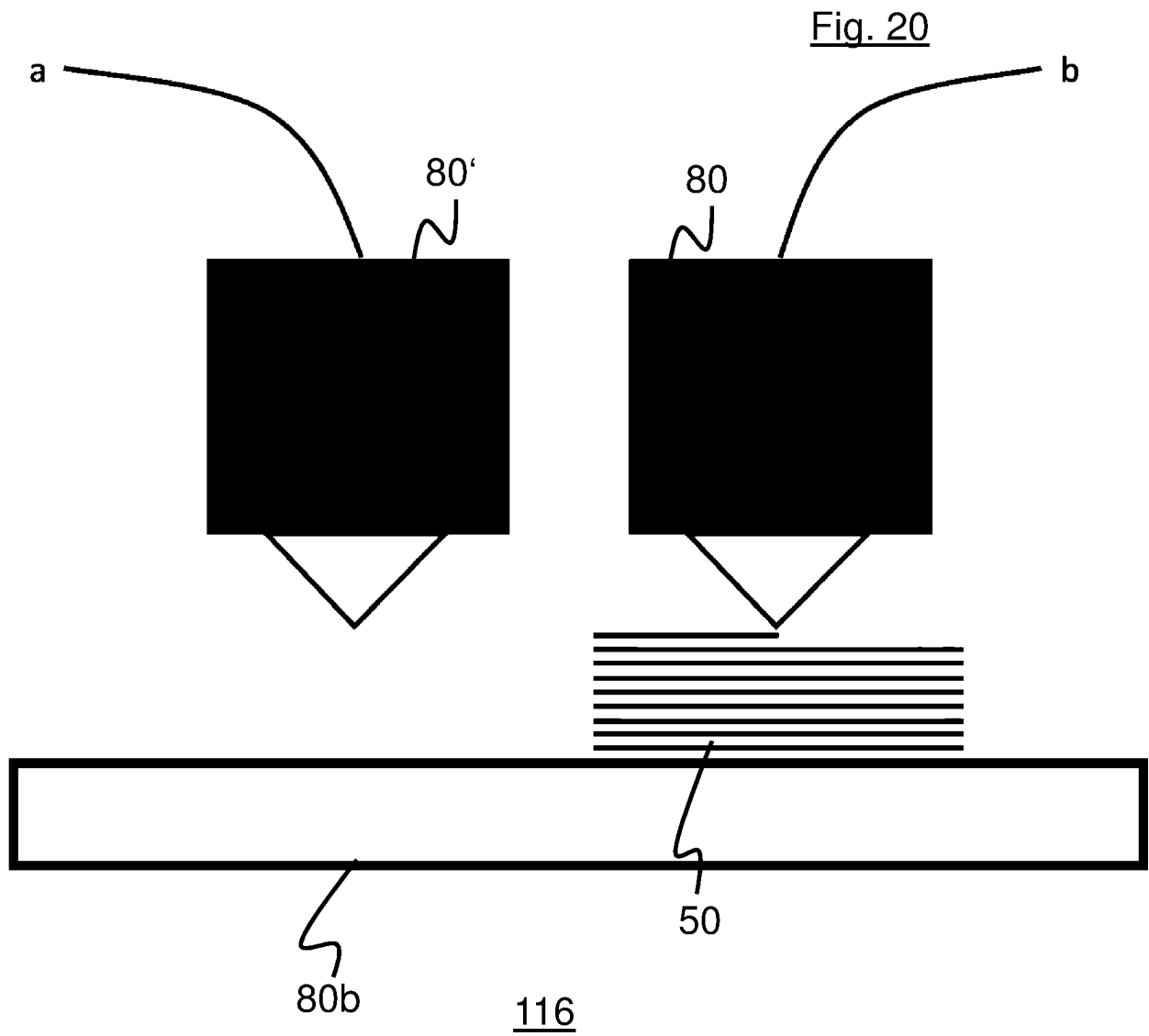


Fig. 21

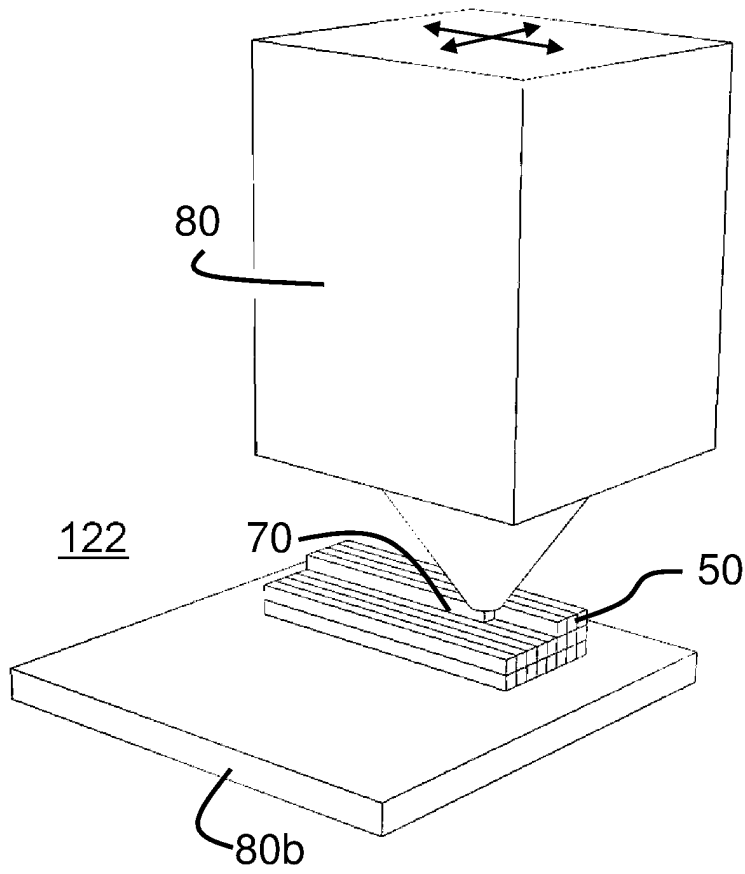


Fig. 22

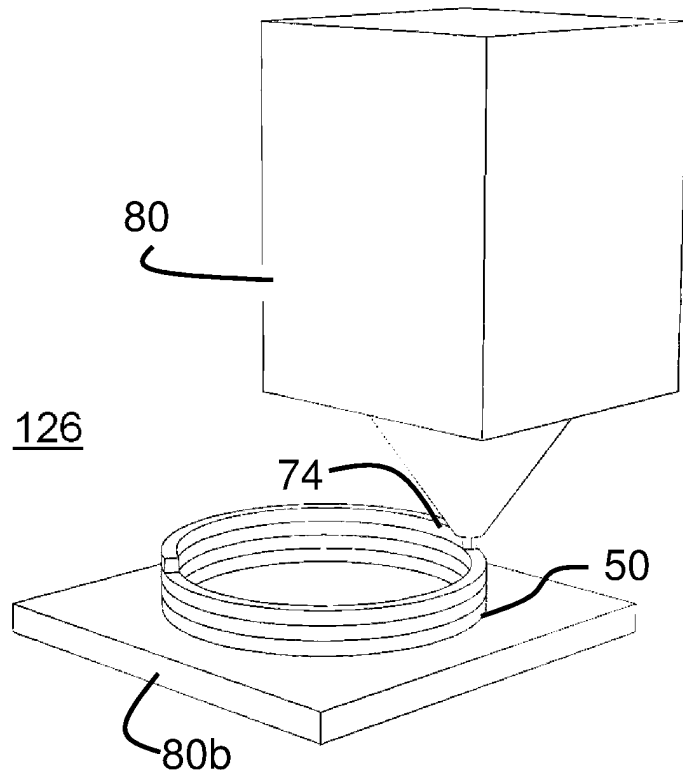


Fig. 23

