



(10) **DE 10 2017 215 813 A1** 2019.03.07

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 215 813.1**

(22) Anmeldetag: **07.09.2017**

(43) Offenlegungstag: **07.03.2019**

(51) Int Cl.: **B01D 33/333** (2006.01)

B01D 46/00 (2006.01)

B01D 39/14 (2006.01)

(71) Anmelder:
Fachhochschule Kiel, 24149 Kiel, DE

(74) Vertreter:
**Wallinger Ricker Schlotter Tostmann Patent-
und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80331
München, DE**

(72) Erfinder:
**Weyhardt, Jan Henrik, Prof. Dr.-Ing., 24937
Flensburg, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:
DE 14 86 810 B

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

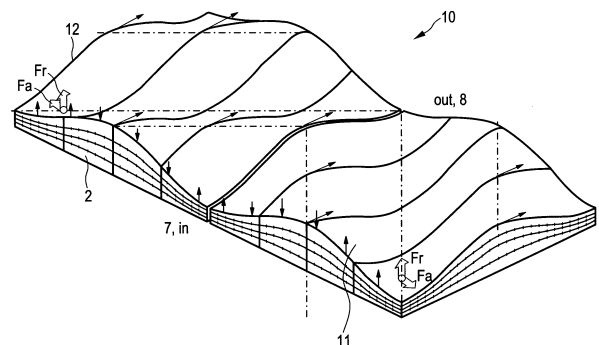
(54) Bezeichnung: **Filtermodul und Verfahren zur Bindung von Partikeln eines Stoffgemischs**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Filtermodul 10 zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch, insbesondere aus einem Aerosol oder aus einem partikelbehafteten Fluid.

Das Filtermodul 10 weist auf: eine Mehrzahl von Filterelementen 11, wobei jedes Filterelement 11 mit einem Medium 2 gefüllt und durch eine dichte Wandung 12 umschlossen ist, zumindest einen Einlass 7 und zumindest einen Auslass 8 aufweist und von dem Stoffgemisch durchströmbar ist, sowie eine Verformungseinheit 13, 14, wobei die Filterelemente 11 durch die Verformungseinheit 13, 14 verformbar sind.

Die Filterelemente 11 sind bezüglich ihrer Längsausdehnung nebeneinander angeordnet, und jeweils benachbarte Filterelemente 11 sind entlang ihrer jeweiligen im Wesentlichen parallel zu ihrer Längsausdehnung verlaufenden und einander zugewandten Teile ihrer Wandungen 12 miteinander verbunden.

Die Verformungseinheit 13, 14 ist dazu ausgebildet, die Filterelemente 11 im Wesentlichen bezüglich deren Längsausdehnung periodisch, bevorzugt wellenförmig, insbesondere im Wesentlichen sinusförmig, zu verformen, wobei die Verformungsbewegungen der Filterelemente 11 gegeneinander phasenversetzt sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Filtermodul sowie ein Verfahren zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch. Die Erfindung eignet sich insbesondere zur Filterung von Feinststäuben aus einem partikelbehafteten Aerosol oder Fluid.

[0002] Das Filtern kleinster Partikel ist problematisch, da diese sich in Luft oder einem anderen Medium ähnlich träge verhalten wie eine Stahlkugel in Honig - sie haben auch bei kleinsten Strömungsgeschwindigkeiten nicht ausreichend Trägheit, um bei der Umlenkung an einer Filterfaser an diese zu stoßen und haften zu bleiben. An Stelle der Trägheit müssen dann z. B. Adhäsionseffekte oder die Brownsche Molekularbewegung wirksam werden. Da es sich hier um verschiedene physikalische Effekte handelt, ist eine für jede Partikelgröße gleich effektive Filterwirkung nicht gegeben.

[0003] Eine Anwendung für eine derartige Filterung ist die Entfernung von Mikro-Plastikpartikeln aus den Meeren, welche ein globales und aus ökologischer Sicht sehr dringendes Problem darstellt.

[0004] Aus der DE 10 2016 014 657 (noch unveröffentlicht) sind ein Filtermodul und ein Filtersystem bekannt, bei dem - ähnlich wie beim Lungengang von Feinststäuben - ein partikelbehaftetes Stoffgemisch, insbesondere ein Aerosol oder ein Fluid, durch ein Filtermedium geleitet wird, allerdings nicht intermittierend bidirektional (wie in einer Balgpumpe), sondern kontinuierlich unidirektional (wie bei einer Peristaltikpumpe). Dieses wird ermöglicht, indem das Filtermedium periodisch in Sinuswellen zusammengedrückt wird, die in Förderrichtung wandern (vgl. **Fig. 1** und **Fig. 2**).

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Filtermodul und ein verbessertes Verfahren zur Bindung von Partikeln eines Stoffgemischs bereitzustellen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch das Filtermodul und das Verfahren gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0007] Die Erfindung geht aus von der Beobachtung, dass das Filtermodul gemäß der DE 10 2016 014 657 nicht nur in einer Richtung quer zum Förderstrom verformt wird, sondern in zwei Richtungen. **Fig. 2** zeigt, dass zwei Punkte des „baumkuchenstückförmigen“ Querschnitts des Filtermoduls eine Kreisbahn beschreiben, wodurch unnötig viel Walkarbeit verrichtet wird und somit eine geringere Betriebsdauer sowie ein höherer Energieverbrauch zu erwarten sind.

[0008] Die Erfindung schlägt ein verbessertes Filtermodul zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch, insbesondere aus einem Aerosol oder aus einem partikelbehafteten Fluid, vor, welches aufweist:

- eine Mehrzahl von Filterelementen, wobei jedes Filterelement mit einem, vorzugsweise offenporigen, Medium, insbesondere einem Schwammmedium, einem offenporigen Schaum, einem Gel, einem Molekulgitter und/oder einem Filtermedium für das Stoffgemisch, gefüllt und durch eine für das Stoffgemisch und für das Medium dichte Wandung umschlossen ist und zumindest einen Einlass und zumindest einen Auslass für das Stoffgemisch aufweist, wobei jedes Filterelement im Wesentlichen in Richtung seiner Längsausdehnung von dem zumindest einen Einlass zu dem zumindest einen Auslass von dem Stoffgemisch durchströmbar ist, und

- eine Verformungseinheit, wobei die Filterelemente und insbesondere das Medium darin durch die Verformungseinheit verformbar sind.

[0009] In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung wird ein offenporiger Schaum als Medium verwendet. Darin sind die Verbindungen zwischen den Poren kleiner als diese selbst. Insbesondere wird dann jede Filterpore vorzugsweise in jedem Umlauf einmal auf ein Volumen gegen Null verringert und entlässt somit das von ihr gehaltene, partikelbehaftete Stoffgemisch an die nächste Filterpore. Das Anhaften von Partikeln und damit eine Filterung des Stoffgemischs erfolgt somit allein schon mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem Prinzip der Trägheit.

[0010] In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung ist das Medium kompressibel. Insbesondere kann das Medium ein Substrat oder ein Gel sein. Ein offenporiges Medium im Sinne der Erfindung kann auch ein nanoporöser Partikelfilter oder ein komprimierbares Gel, bevorzugt ein Aerogel oder ein Molekulgitter, sein.

[0011] Weiter sind offenporige Medien mit unregelmäßiger oder statistischer Verteilung der Poren und/oder Porengrößen, die in Relation zu einer Partikelgrößenverteilung steht, einsetzbar. Dies geschieht insbesondere mit der Annahme, dass sowohl die Partikel als auch die Poren auf einer logarithmisch skalierten Abszisse normalverteilt sind. Zur Optimierung der Filter-/Haftwirkung werden insbesondere die Mittelwerte so aufeinander abgestimmt, dass die Partikel einerseits das Medium nicht schon nahe am Einlass dichtsetzen, andererseits aber die Kollisions- und somit die Anhaftwahrscheinlichkeit über einem Durchgang maximal ist.

[0012] Das Medium kann auch reinigbar sein z. B. durch eine Flüssigkeit, mit der es benetzt wird.

[0013] Erfindungsgemäß sind die Filterelemente bezüglich ihrer Längsausdehnung nebeneinander angeordnet und jeweils benachbarte Filterelemente entlang ihrer jeweiligen im Wesentlichen parallel zu ihrer Längsausdehnung verlaufenden und einander zugewandten Teile ihrer Wandungen miteinander verbunden.

[0014] Unter einer Verbindung ist dabei eine mechanische, insbesondere stoffschlüssige Verbindung zu verstehen, vorzugsweise durch Verkleben oder Verschweißen der Wandungsteile miteinander, die eine Relativbewegung der miteinander verbundenen Wandungsteile gegeneinander verhindert.

[0015] Der Einsatz mehrerer nebeneinander angeordneter Filterelemente, die miteinander verbunden sind, aber an den Verbindungsstellen durch ihre Wandungen dennoch eine Strömung des Stoffgemischs aus einem Filterelement in ein benachbartes verhindern, ist vorteilhaft, damit sich innerhalb des Filtermoduls keine Strömungen quer zur Förderrichtung einstellen.

[0016] Vorzugsweise haben die Filterelemente im Wesentlichen die Form von langgestreckten Quadern oder im Wesentlichen die Form von langgestreckten Zylindern, deren Mantelflächen ggf. an den Verbindungsstellen mit den jeweiligen benachbarten Filterelementen etwas „flachgedrückt“ werden.

[0017] Erfindungsgemäß ist außerdem die Verformungseinheit dazu ausgebildet, die Filterelemente im Wesentlichen bezüglich deren Längsausdehnung periodisch, bevorzugt wellenförmig und besonders bevorzugt im Wesentlichen sinusförmig, zu verformen, wobei die Verformungsbewegungen der Filterelemente gegeneinander phasenversetzt sind.

[0018] Bei der Verformung wird das Medium durch die Verformungseinheit in sich und ggf. auch in der Porigkeit selbst geometrisch verändert. Bildlich ist dies beispielsweise mit dem Walzen eines Back-/Hefeteigs vergleichbar, wobei eine Walze entlang der Längsausdehnung des Filterelements auf dem Medium abgerollt wird und sich das Medium nach dem Walzvorgang wieder entspannen kann. Dabei wirkt die Verformungseinheit auf das Medium vorzugsweise derart, dass ein in Richtung der Längsausdehnung des Filterelements gerichteter Förderprozess für das Stoffgemisch erzeugt wird.

[0019] Bei dem erfindungsgemäßen Filtermodul wird eine im Wesentlichen konstante Pumpwirkung erzielt. Eine besonders gleichmäßige Pumpwirkung ist bei rein sinusförmigen Wellen zu erwarten.

[0020] In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung sind die Verformungsbewegungen der Filterelemente derart gegeneinander phasenversetzt, dass sich auf den nebeneinander angeordneten Filterelementen entlang einer Reihe von Stellen auf gleicher Höhe bezüglich der Längsausdehnung der Filterelemente eine periodische, vorzugsweise wellenförmige, Verformungsbewegung ergibt.

[0021] Insbesondere weisen die Phasen zwischen benachbarten Filterelementen jeweils denselben, d. h. einen konstanten, Versatz auf.

[0022] Durch die periodischen und vorzugsweise wellenförmigen Verformungsbewegungen sowohl in Richtung der Längsausdehnung der Filterelemente als auch quer dazu ergeben sich in beiden Richtungen periodische Bewegungen, insbesondere Wellen und insbesondere sinusförmige Wellen, welche sich überlagern. Im Gesamtbild wandern die Wellenfronten diagonal zur Längsausdehnung der Filterelemente.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführung der Erfindung weist wenigstens ein Einlass und/oder ein Auslass wenigstens eines Filterelements auf der Oberfläche des Filterelements eine langgestreckte Form mit einer Längsausdehnung in einer Richtung auf, die zwischen der zur Längsausdehnung des Filterelements quer verlaufenden Richtung und der Ausbreitungsrichtung der Wellenfronten liegt, vorzugsweise im Wesentlichen auf einer Winkelhalbierenden eines Winkels zwischen den beiden genannten Richtungen.

[0024] Eine solche Lage der Ein- und Auslässe ist vorteilhaft, da einerseits beim phasenversetzten Auftreffen der Verformungseinheit quer zur Längsausdehnung der Filterelemente mechanische Stöße entstehen und andererseits in Längsausdehnung der Filterelemente, d. h. in Strömungsrichtung des Stoffgemischs, maximale hydraulische Pulsationen auftreten. Durch die Wahl der Ein- und Auslässe zwischen diesen beiden Richtungen sind dagegen nur leichte mechanische und hydraulische Ungleichmäßigkeiten zu erwarten.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführung der Erfindung weist das Filtermodul weiterhin wenigstens eine Befestigungseinrichtung, insbesondere wenigstens eine Schwinge, auf, durch die Teile der Wandungen der Filterelemente, insbesondere im Bereich der Einlässe der Filterelemente, gegenüber wenigstens einem ortsfesten Punkt außerhalb des Filtermoduls, insbesondere eingeschränkt beweglich, befestigbar sind.

[0026] Eine solche Befestigungseinrichtung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Verformungseinheit das Filterelement in Richtung von dessen

Längsausdehnung scheren würde. Die Befestigungseinrichtung hält dann die Wand des Filterelementes in Position.

[0027] In einer weiteren bevorzugten Ausführung der Erfindung weist die Verformungseinheit eine Vielzahl von Rollen mit wenigstens teilweise verschiedenen Durchmessern auf, die dazu eingerichtet sind, im Wesentlichen entlang der Längsausdehnung der Filterelemente auf den Filterelementen abzurollen und die Filterelemente dabei wenigstens teilweise unterschiedlich stark zu verformen.

[0028] Auf diese Weise kann die gewünschte Verformung reibungsarm erreicht werden. Die verschiedenen Durchmesser der Rollen bewirken beim Abrollen die periodische, insbesondere wellenförmige Verformungsbewegung.

[0029] In einer alternativen Ausführung sind über die Fläche der Filterelemente vertikal wirkende Aktuatoren verteilt, welche diese Verformungen erzeugen, ohne sich über die Fläche der Filterelemente hinweg zu bewegen. Die Aktuatoren können insbesondere mechanisch, elektrisch oder hydraulisch oder durch ein anderes Antriebsprinzip bewegt werden. In dieser Ausführung ist keine oder nur eine geringe Scherung der Filterelemente zu erwarten, so dass die oben genannte Befestigungseinrichtung nicht unbedingt erforderlich ist.

[0030] In einer bevorzugten Variante dieser Ausführung ist die Vielzahl von Rollen auf einer Mehrzahl von, insbesondere parallelen, Achsen angeordnet. Die Rollen können somit mit individueller Drehzahl laufen.

[0031] Bevorzugt sind dabei wenigstens eine erste Achse und eine zweite, zu der ersten Achse benachbarte Achse parallel zueinander angeordnet, und für ein Paar aus einer ersten auf der ersten Achse angeordneten Rolle und einer zweiten, zu der ersten Rolle unmittelbar benachbarten und auf der zweiten Achse angeordneten Rolle ist der Abstand der beiden Achsen kleiner als die Summe aus dem Radius der ersten Rolle und dem Radius der zweiten Rolle.

[0032] Dies wird bevorzugt dadurch erreicht, dass die Rollen in axialer Richtung zwischen benachbarten Achsen gegeneinander versetzt sind und sich somit „durchdringen“ können. Auf diese Weise können die erste und die zweite Achse einen sehr kleinen Abstand zueinander haben, so dass die Rollen sehr dicht und in hoher Anzahl auf den Achsen angeordnet werden können, wodurch sich wiederum eine große Auflagefläche auf den Filterelementen ergibt.

[0033] In einer weiteren bevorzugten Ausführung der Erfindung ist die Mehrzahl von Filterelementen insgesamt hohlzylinderförmig angeordnet.

[0034] Durch die „endlose“ Anordnung der Filterelemente in Form einer Zylindermantelfläche muss die Verformungseinheit, sofern sie relativ zu den Filterelementen bewegt wird, nach einer vollständigen Bewegung über die Fläche der Filterelemente nicht zum Anfang dieser Fläche zurückbewegt werden.

[0035] In einer bevorzugten Variante dieser Ausführung weist die Verformungseinheit ebenfalls eine Hohlzylinderform auf und berührt die Mehrzahl von Filterelementen auf deren Innenseite oder Außenseite, und die Filterelemente und die Verformungseinheit sind dazu ausgebildet, relativ zueinander zu rotieren.

[0036] Dies ergibt eine kompakte, mechanisch stabile und relativ einfach zu realisierende Ausführung des Filtermoduls. Vorzugsweise sind die Filterelemente in Ruhe und die Verformungseinheit rotiert relativ dazu, damit das zu filternde Stoffgemisch nicht auf die rotierenden Filterelemente übertragen bzw. das gefilterte Stoffgemisch nicht von diesen abgeführt werden muss. Alternativ ist es aber auch möglich, dass die Verformungseinheit in Ruhe ist und die Filterelemente relativ dazu rotieren.

[0037] Dabei weist das Filtermodul vorzugsweise wenigstens zwei bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordnete Filterelemente auf, und die wenigstens zwei Filterelemente sind entlang ihrer jeweiligen im Wesentlichen quer zu ihrer Längsausdehnung verlaufenden und einander zugewandten Teile ihrer Wandungen miteinander verbunden. Bei diesen Wandungsteilen handelt es sich vorzugsweise jeweils um eine in Richtung der Längsausdehnung gesehen vordere und eine hintere Stirnfläche des betreffenden Filterelementes.

[0038] Insbesondere sind in axialer Richtung der Hohlzylinderform, in der die Filterelemente angeordnet sind, eine erste Anzahl von Filterelementen bezüglich ihrer Längsausdehnung nebeneinander und in Umfangsrichtung der Hohlzylinderform eine zweite Anzahl von Filterelementen bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordnet. Die zweite Anzahl beträgt dann also mindestens zwei.

[0039] Anders ausgedrückt ist eine erste Anzahl von nebeneinander liegenden Ringen von Filterelementen, welche jeweils aus einer zweiten Anzahl von hintereinander liegenden Filterelementen bestehen, auf einer Zylindermantelfläche angeordnet, wobei jedes Filterelement mit seinen Nachbarn an den Berührungsflächen verbunden ist.

[0040] Dabei ist bevorzugt die Anzahl der Perioden der periodischen und vorzugsweise wellenförmigen Verformung der Filterelemente im Wesentlichen bezüglich deren Längsausdehnung durch die Verformungseinheit während einer Umdrehung der Verfor-

mungseinheit relativ zu den Filterelementen größer, insbesondere um mindestens eins größer, als die Anzahl der hohlzylinderförmig bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordneten Filterelemente, also als die zweite Anzahl. Hierdurch wird die Durchströmung der Filterelemente mit dem Stoffgemisch pulsationsfreier.

[0041] In einer bevorzugten Variante derjenigen Ausführung der Erfindung, bei der die Verformungseinheit auf Achsen angeordnete Rollen aufweist und die hohlzylinderförmig angeordneten Filterelemente relativ zu der ebenfalls hohlzylinderförmigen Verformungseinheit rotieren, wobei die Verformungseinheit die Mehrzahl von Filterelementen auf deren Innenseite berührt, ist auf der Innenseite der Verformungseinheit eine zentrale Walze angeordnet, welche dazu ausgebildet ist, auf jeder Achse jeweils wenigstens eine Rolle nach außen an die Filterelemente zu drücken.

[0042] Auf diese Weise werden auch die Achsen und damit auch die übrigen darauf angeordneten Rollen nach außen gedrückt. Die zentrale Walze kann auch selbst rotieren und dabei die Rollen reibschlüssig sowohl zu einer Rotation um die Achse der zentralen Walze als auch zu einer Rotation um deren eigene Achse antreiben. Das Filtermodul hat dann eine ähnliche Kinematik wie ein Planetengetriebe mit feststehendem Hohlrad.

[0043] Alternativ können aber auch die zentrale Walze feststehen und die Rollen über die Achsen formschlüssig sowohl zu einer Rotation um die Achse der zentralen Walze als auch zu einer Rotation um ihre eigene Achse angetrieben werden.

[0044] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch, insbesondere aus einem Aerosol oder aus einem partikelbehafteten Fluid, mit einem erfindungsgemäßen Filtermodul wird zunächst das Stoffgemisch an wenigstens einem Einlass wenigstens eines Filterelements des Filtermoduls bereitgestellt. Das Medium in dem Filterelement wird durch die Verformungseinheit verformt, wodurch das Stoffgemisch an dem wenigstens einem Einlass in das Filterelement angesaugt wird, das Filterelement im Wesentlichen in Richtung seiner Längsausdehnung von dem Einlass zu einem Auslass von dem Stoffgemisch durchströmt wird, dabei Partikel aus dem Stoffgemisch in dem Medium gebunden werden und das zumindest teilweise von Partikeln befreite Stoffgemisch an dem Auslass ausgepumpt wird.

[0045] Das erfindungsgemäße Filtermodul und das erfindungsgemäße Verfahren stellen insbesondere ein effektives Lösungsprinzip für das eingangs erwähnte globale Problem der Verunreinigung der Meere durch Mikro-Plastikpartikel dar.

[0046] Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden, beispielhaften Beschreibung in Zusammenhang mit den Figuren. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel für ein Filtermodul aus dem Stand der Technik in perspektivischer, teilweise aufgeschnittener Ansicht mit fünf Schnittbildern **A0** bis **A4** in axialer Aufsicht als Schnittbild an verschiedenen Stellen durch das zylindrische Gehäuse;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel für den Schnitt in Hauptflussrichtung durch das Filtermodul aus dem Stand der Technik gemäß **Fig. 1** für einen Zylindersektor mit Bewegungsbildern **T0** bis **T4** des offenporigen Mediums;

Fig. 3 ein schematisches, perspektivisches Verlaufsdiagramm des Pumpvorgangs für die Zylindersektoren eines Filtermoduls aus dem Stand der Technik gemäß **Fig. 1**.

Fig. 4 Bewegungsbilder **T0** bis **T4** für einen einzelnen Zylindersektor in dem Filtermodul aus dem Stand der Technik gemäß **Fig. 1**;

Fig. 5 eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Filtermoduls in fünf verschiedenen Verformungszuständen im Verlauf der periodischen, wellenförmigen Verformungsbewegung;

Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel für eine Verformungseinheit mit einer Vielzahl von auf parallelen Achsen angeordneten Rollen;

Fig. 7 eine Darstellung der Kräftekompensation in einem erfindungsgemäßen Filtermodul;

Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Filtermodul mit jeweils hohlzylindrisch angeordneten Filterelementen und Verformungseinheit, welche relativ zueinander rotieren;

Fig. 9 eine Darstellung der möglichen Lagen der Einlässe und Auslässe der Filterelemente in einem erfindungsgemäßen Filtermodul.

[0047] In dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel für ein Filtermodul aus dem Stand der Technik werden die Schritte eines kontinuierlichen Förderprozesses eines Stoffgemischs gezeigt.

[0048] In einem hier festen, zylindrischen Gehäuse **1**, das in axialer Richtung durchströmt wird, ist ein in mehrere (hier $n = 6$) quer zur Strömungsrichtung gasdicht gegeneinander abgetrennte Kreiszyylindersektoren **9** unterteiltes Medium **2** (z. B. ein offenporiger Schwamm) befestigt. Jeder der Kreiszyylindersektoren **9** soll nacheinander in der in **Fig. 1** von **A0** bis **A4** gezeigten Weise durch eine Verformungseinheit

4, 6 verformt werden und somit eine eigene Förderwirkung auf das Stoffgemisch ausüben.

[0049] Die Innenseiten der Kreiszyylindersektoren **9** liegen auf einer flexiblen Hülle **3** auf, die im Ausführungsbeispiel in der Form einer rotierenden Helix die sinusförmigen geometrischen Verläufe erzwingt, wie in **Fig. 2** gezeigt. Der Antrieb der helixförmigen Rotation ist die Verformungseinheit **4, 6**, hier eine Welle **4**, die mit zwei Deckeln **5** relativ zum Gehäuse mit der Drehzahl Δn umläuft. In den Deckeln **5** befinden sich der Einlass **7** „in“ bzw. der Auslass **8** „out“. Diese sichern z. B. ein Ansaugen und Austreiben des Stoffgemischs im richtigen Umlaufzustand.

[0050] Auf der Welle **4** ist in axialer Richtung nebeneinander und vorzugsweise lückenlos eine Vielzahl von vorzugsweise kreisscheibenförmigen, zueinander phasenversetzten und sich in radialer Richtung erstreckenden Exzentern **6** angeordnet und mit der Welle **4** drehfest verbunden. Damit hat die aus der Welle **4** und den Exzentern **6** bestehende Verformungseinheit **4, 6** angenähert eine helixförmige Geometrie.

[0051] Die Erzeugung der helixförmigen Rotation ist in den Schnitten **A0** bis **A4** dargestellt. Korrespondierend zu den angezeigten Orten in der perspektivischen Zylinderdarstellung ist hier jeweils der an dem jeweiligen Ort auf der Welle **4** angebrachte Exzenter **6** der Verformungseinheit **4, 6** gezeigt. Je genauer die Helix durch die Vielzahl von Exzentern **6** angenähert wird, desto kontinuierlicher ist die Förderwirkung des Stoffgemischs und die Bindung von Partikeln im Medium **2**. Die Exzenter **6** laufen reibungsarm in der flexiblen Hülle **3**. Zu diesem Zweck ist vorzugsweise zwischen jedem Exzenter **6** und der Hülle **3** ein Lager, insbesondere ein Wälzlager, angeordnet.

[0052] Betrachtet man in den in **Fig. 1** angetragenen Schnitten **A0** bis **A4** nur denjenigen Kreiszyylindersektor **9**, der sich im Schnitt **A0** ganz rechts befindet, und ergänzt gedanklich alle Zustände des Mediums **2** zwischen den dargestellten Schnitten **A0** bis **A4**, so ergeben sich aus tangentialer Sicht von oben die Bilder **T0** bis **T4** aus **Fig. 2**.

[0053] Das Medium **2** besitzt bevorzugt eine geringe Materialdämpfung und eine hohe Wechselfestigkeit. Ein optional wirkungsverstärkendes Fluid des Stoffgemischs sollte dabei eine Oberflächenspannung aufweisen, die das Expandieren des Mediums **2** nicht unnötig hemmt.

[0054] In **Fig. 2** ist ein Beispiel für den Verlauf der einzelnen zeitlichen geometrischen Phasen **T0** bis **T4** eines Teilabschnitts des Filtermediums im Schnitt gezeigt, wobei mit **T4** nach 360° wieder die Position **T0** erreicht wird.

[0055] Der Transportvorgang ähnelt dabei dem Lungengang von Feinststäuben. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass in dem erfindungsgemäßen Filtermodul zwar ein partikelbehaftetes Stoffgemisch, insbesondere ein Aerosol, wie bei der Lunge durch ein Medium **2** geleitet wird, allerdings nicht intermittierend bidirektional, wie in einer Balgpumpe, sondern kontinuierlich unidirektional. Dies wird ermöglicht, indem das Medium periodisch, vorzugsweise in Sinuswellen, zusammengedrückt wird, wobei die Bewegung in eine Förderrichtung wandert (vgl. **Fig. 2**).

[0056] In **Fig. 1** ist zum Zeitpunkt **T0** der Einlass **7** „in“ verschlossen. Über den Zeitpunkt **T1** öffnet sich der Einlass **7** durch Drehung des Deckels **5** bis zum Maximum in **T2**. Ab dann schließt dieser wieder über **T3** bis **T4**, was der Ausgangsstellung **T0** entspricht. Während des Fördervorgangs wandert der Sinusberg in Förderrichtung, wobei der Weg für das Stoffgemisch in den jeweiligen Kreiszyylindersektoren **9** an beiden Tiefpunkten durch das zusammengedrückte Medium **2** verschlossen ist. In den Zwischenphasen wird ein Rückfluss aus den noch nicht vollständig verschlossenen Medien **2** der jeweiligen Kreiszyylindersektoren **9** durch den Deckel **5** verhindert. Das eingeschlossene Stoffgemisch wird also durch den sich verjüngenden Querschnitt - wie in den Alveolen beim Ausatmen - angetrieben. Alle hier nicht anhaftenden Partikel müssen das gesamte Medium **2** auf dem Weg zum Auslass **8** durchlaufen.

[0057] Der Auslass **8** „out“ ist in **T0** ebenfalls verschlossen. Über den Zeitpunkt **T1** öffnet sich dieser bis zum Maximum in **T2**, wobei das gefilterte Stoffgemisch entlassen wird. Ab dann schließt dieser unter weiterer Austreibung wieder über **T3** bis **T4**, was auch hier der Ausgangsstellung **T0** entspricht.

[0058] In **Fig. 3** ist ein schematisches, perspektivisches Verlaufsbild des Pump- bzw. Transportvorgangs eines Stoffgemischs für die Kreiszyylindersektoren dargestellt.

[0059] In dem in **Fig. 1** bis **Fig. 3** dargestellten Filtermodul aus dem Stand der Technik erfolgt eine vollständige Kräftekompensation, so dass die konstante Pumpwirkung allein durch ein Antriebsmoment erzeugt wird, welches durch eine einzige helixförmige Verformungseinheit geschieht. Dieses geschieht durch mehrere der in **Fig. 1** gezeigten Filterelemente (Kreiszyylindersektoren), die lediglich am Einlass und am Auslass durchlässig und so angeordnet sind, dass ihre äußeren Umfangsflächen einen Hohlzylindermantel bilden. Die Wände der Filterelemente sind dicht, um Querströmungen zu vermeiden.

[0060] Nachteilig dabei ist, dass die einzelnen Filterelemente nicht nur in einer einzigen Richtung quer

zum Förderstrom verformt werden, sondern in zweien.

[0061] Fig. 4 zeigt Bewegungsbilder T0 bis T4 für einen einzelnen Zylindersektor in dem Filtermodul aus dem Stand der Technik gemäß Fig. 1. Man erkennt, dass zwei Punkte des „baumkuchenstückförmigen“ Querschnitts eine Kreisbahn beschreiben, wodurch unnötig viel Walkarbeit verrichtet wird und somit eine geringere Betriebsdauer sowie ein höherer Energieverbrauch zu erwarten sind.

[0062] Fig. 5 zeigt eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Filtermoduls 10 in fünf verschiedenen Verformungszuständen im Verlauf der periodischen, wellenförmigen Verformungsbewegung.

[0063] Dabei wird eine konstante Pumpwirkung erzielt, indem mehrere Filterelemente 11 nebeneinander angeordnet und jeweils konstant zueinander phasenversetzt verformt werden. Es ist zu erkennen, dass sich nicht nur in Förderrichtung Sinusformen ergeben, sondern auch quer dazu. Im Gesamtbild wandern sinusförmige Wellenfronten diagonal zur Förderrichtung. Der Einsatz mehrerer nebeneinander liegender Filterelemente 11 ist erforderlich, damit sich keine Strömungen quer zur Förderrichtung einstellen. Eine besonders gleichmäßige Pumpwirkung ist bei rein sinusförmigen Wellen zu erwarten.

[0064] Fig. 6 zeigt (Fig. 6a in einem vertikalen Querschnitt durch das Filtermodul 10 und Fig. 6b in einer Aufsicht auf bzw. in einem Schnitt durch die Verformungseinheit), wie die Sinusfronten z. B. mechanisch erzeugt werden können: Für eine größtmögliche Annäherung an die gewünschte Verformung rollen auf Achsen 14, die in geringem Achsabstand zueinander angeordnet sind, angeordnete Rollen 13 in Förderrichtung auf den Filterelementen 11 ab. Die Rollen 13 weisen verschiedene Durchmesser auf, so dass sie auf den Kontaktflächen zu den Filterelementen 11 die Sinusfronten bilden und reibungsarm mit individueller Drehzahl laufen. Durch eine rippenförmige Unterbrechung der Kontur können sich die Achsen 14 mit den Rollen 13 gegenseitig durchdringen und somit im geringstmöglichen Achsabstand angeordnet werden.

[0065] Es ist auch möglich, dass sich der Durchmesser einer Rolle 13 entlang der axialen Ausdehnung der Rolle 13 ändert und die Rolle 13 entsprechend länger ist. Dies ist insbesondere im Bereich kleiner Durchmesser sinnvoll, in denen eine gegenseitige Durchdringung der Rollen 13 benachbarter Achsen 14 nicht notwendig ist. Eine solche Rolle 13 kann insbesondere eine zumindest teilweise im Wesentlichen konische (Rolle 13a) oder doppelt-konische (Rolle 13b) Form annehmen.

[0066] Die Filterelemente 11 sollten zwecks pulsationsfreier Förderung die Länge einer Sinuswelle haben.

[0067] Da die Rollen 13 das Filterelement 11 in Förderrichtung trapezförmig scheren würden, ist an der Einlassseite „in“ eine Schwinge 15 angebracht, welche die Wand des Filterelementes 11 in Position hält.

[0068] Auch z. B. über die Fläche verteilte vertikal wirkende Aktuatoren beliebigen Antriebsprinzips könnten diese Verformungen erzeugen. In diesem Fall wäre keine Schwinge 15 erforderlich.

[0069] Die in Fig. 6 gezeigten Achsen 14 mit den Rollen 13 werden mit jeweils sinusförmigen Streckenlasten beaufschlagt und sind im asymmetrischen Fall mit Kippmomenten belastet. Ferner stellt sich immer eine Last quer zur Förderrichtung ein, da die Rollen 13 schräg zu den Wellenfronten laufen.

[0070] Fig. 7 zeigt, wie sich diese beiden ungewünschten Lasten durch symmetrische Anordnung mehrerer Filterelemente 11 in einem Filtermodul 10 jeweils gegenseitig kompensieren: Die an den vorderen Ecken dargestellten Kraftpfeile für die Radiallasten F_r haben den gleichen Hebelarm zur Mitte, wodurch sich die Kippmomente aufheben, und die Rollen-Axiallasten F_a haben entgegengesetzte Orientierungen. Die Wellenfronten sind durch Strich-Punkt-Linien verdeutlicht und ähneln einer Pfeilverzahnung, die in Förderrichtung weist.

[0071] Angesichts der Orientierung der Wellenfronten ist die folgende elastische Gestaltung der dichten Wandungen 12 der Filterelemente 11, entsprechend einem Bambusrollo, sinnvoll:

- Parallel zu den Strich-Punkt-Linien sollte zwecks möglichst genauer Approximation an die geraden Fronten auch zwischen benachbarten Rollen 13 eine hohe Biegesteifigkeit vorliegen, erzeugt z. B. durch stabförmige Einlagen.
- Quer dazu sollte zwecks möglichst genauer Approximation der Sinusform eine hohe Biegeelastizität vorliegen.
- Die durch die gegenüber den Filterelementen 11 größere Bahnlänge der Sinuswellen erzeugte Reckung der Wandung 12 kann durch Vorspannung oder Faltung im unverformten Zustand kompensiert werden.
- Zur Vermeidung von Querschub in den Filterelementen 11 werden deren Wandungen 12 an die Umgebung gekoppelt, vgl. die in Fig. 6 am Einlass „in“ befestigte Schwinge 15.

[0072] Die in Fig. 7 eingetragenen Kraftpfeile für die Radiallasten F_r haben dieselbe Orientierung und addieren sich somit.

[0073] In **Fig. 8** ist daher eine Ausführung eines erfindungsgemäßen Filtermoduls **10** gezeigt, in der eine solche Kompensation erfolgt durch die gleichmäßige Anordnung von mindestens zwei der in **Fig. 7** dargestellten Anordnungen von Filterelementen **11** auf einem Hohlzylinder. Dabei sollte zwecks pulsationsfreier Förderung in die bzw. aus den Einlässen und Auslässen **in1** bis **out3** mindestens ein Satz von Achsen **14** einer Sinuswellenlänge mehr als Filterelemente **11** verbaut sein.

[0074] Hier geschieht die Förderung allerdings in tangentialer Richtung, wie an den drei markierten Stellen **in1** bis **out3** zu sehen ist, und nicht in axialer Richtung, wie in dem Filtermodul aus dem Stand der Technik. Zur Vergleichmäßigung des Überrollvorgangs werden die Wandungen **12** der Anordnungen von Filterelementen **11** an den Ein- und Auslässen **in1** bis **out3** gekoppelt.

[0075] In **Fig. 8a** sind drei Anordnungen von Filterelementen **11** und vier Sätze von Achsen **14** so angeordnet, dass alle verformenden Rollen **13** von einer zentralen Walze **16** angedrückt werden. Der Antrieb mit der Drehzahl n kann reibschlüssig direkt über die zentrale Walze **16** oder formschlüssig über die Achsen **14** der verformenden Rollen **13** erfolgen.

[0076] In **Fig. 8b** ist die zentrale Walze **16** durch die von dieser aus auf die Anordnungen von Filterelementen **11** wirkenden konstanten und gleichen resultierenden Kräfte F_{res1} bis F_{res3} und das zum Erzeugen der Drehzahl n erforderliche Antriebsmoment T ersetzt. Hier ist zu erkennen, dass sich die Wirklinien der Kräfte in einem Punkt treffen und somit kompensieren.

[0077] Durch diese Anordnung werden die in **Fig. 4** gezeigten zirkularen Bewegungen vermieden: Das Filtermedium **2** wird insbesondere radial verformt und bekommt eine geringste Verformungskomponente in Förderrichtung, die mit der Länge der Schwinge **15** minimiert wird. Die Anordnungen von Filterelementen **11** können beliebig hydraulisch in Reihe oder parallel geschaltet werden und auch verschiedene Filtermedien enthalten, z. B. für das Kaskadieren von groben über mittlere zu feinen Filtermedien.

[0078] Für einen ruhigen Lauf der Anordnung aus **Fig. 8** ist zu berücksichtigen, dass die Ein- und Auslassflächen der Anordnungen von Filterelementen **11** nicht orthogonal zur Strömungsrichtung liegen sollten, da beim Auftreffen der Rollen **13** mechanische Stöße entstehen (siehe die mit **M** gekennzeichnete Schnittfläche in **Fig. 9**). Die ebenda mit **H** gekennzeichnete schräge Linie ist als Lage der Ein- und Auslassflächen ebenfalls ungeeignet, da in diesem Fall maximale hydraulische Pulsationen auftreten. Einen exemplarischen Kompromiss zeigt die mit **L** gekennzeichnete Schnittfläche, durch deren Wahl nur leichte

mechanische und hydraulische Ungleichmäßigkeiten zu erwarten sind.

Bezugszeichenliste

1	Gehäuse
2	Medium
3	Hülle
4	Welle
5	Deckel
6	Exzenter
7	Einlass
8	Auslass
9	Kreiszyylindersektor
T0 - T4	Zeitpunkte ($T4 = T0$)
A0 - A4	Axiale Positionen ($A4 = A0$)
Δn	Drehzahl
10	Filtermodul
11	Filterelement
12	Wandung
13	Rolle
13a	konische Rolle
13b	doppelt-konische Rolle
14	Achse
15	Schwinge
16	zentrale Walze

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102016014657 [0004, 0007]

Patentansprüche

1. Filtermodul (10) zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch, insbesondere aus einem Aerosol oder aus einem partikelbehafteten Fluid, aufweisend:

- eine Mehrzahl von Filterelementen (11), wobei jedes Filterelement (11) mit einem, vorzugsweise offenporigen, Medium (2), insbesondere einem Schwammmedium, einem offenporigen Schaum, einem Gel, einem Molekulgitter und/oder einem Filtermedium für das Stoffgemisch, gefüllt und durch eine für das Stoffgemisch und für das Medium (2) dichte Wandung (12) umschlossen ist und zumindest einen Einlass (7) und zumindest einen Auslass (8) für das Stoffgemisch aufweist, wobei jedes Filterelement (11) im Wesentlichen in Richtung seiner Längsausdehnung von dem zumindest einen Einlass (7) zu dem zumindest einen Auslass (8) von dem Stoffgemisch durchströmbar ist, und

- eine Verformungseinheit (13, 14), wobei die Filterelemente (11) und insbesondere das Medium darin durch die Verformungseinheit (13, 14) verformbar sind, wobei die Filterelemente (11) bezüglich ihrer Längsausdehnung nebeneinander angeordnet sind und jeweils benachbarte Filterelemente (11) entlang ihrer jeweiligen im Wesentlichen parallel zu ihrer Längsausdehnung verlaufenden und einander zugewandten Teile ihrer Wandungen (12) miteinander verbunden sind,

wobei die Verformungseinheit (13, 14) dazu ausgebildet ist, die Filterelemente (11) im Wesentlichen bezüglich deren Längsausdehnung periodisch, bevorzugt wellenförmig und besonders bevorzugt im Wesentlichen sinusförmig, zu verformen und wobei die Verformungsbewegungen der Filterelemente (11) gegeneinander phasenversetzt sind.

2. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verformungsbewegungen der Filterelemente (11) derart gegeneinander phasenversetzt sind, dass sich auf den nebeneinander angeordneten Filterelementen (11) entlang einer Reihe von Stellen auf gleicher Höhe bezüglich der Längsausdehnung der Filterelemente (11) eine periodische, bevorzugt wellenförmige, Verformungsbewegung ergibt.

3. Filtermodul (10) gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein Einlass (7) und/oder ein Auslass (8) wenigstens eines Filterelements (11) auf der Oberfläche des Filterelements (11) eine langgestreckte Form mit einer Längsausdehnung in einer Richtung (L) aufweist, die zwischen der zur Längsausdehnung des Filterelements (11) quer verlaufenden Richtung (M) und der Ausbreitungsrichtung (H) der Wellenfronten liegt, vorzugsweise im Wesentlichen auf einer Winkelhalbierenden eines Winkels zwischen den beiden genannten Richtungen (M, H).

4. Filtermodul (10) gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Filtermodul (10) weiterhin wenigstens eine Befestigungseinrichtung, insbesondere wenigstens eine Schwinge (15), aufweist, durch die Teile der Wandungen (12) der Filterelemente (11), insbesondere im Bereich der Einlässe (7) der Filterelemente (11), gegenüber wenigstens einem ortsfesten Punkt außerhalb des Filtermoduls (10), insbesondere eingeschränkt beweglich, befestigbar sind.

5. Filtermodul (10) gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verformungseinheit (13, 14) eine Vielzahl von Rollen (13) mit wenigstens teilweise verschiedenen Durchmessern aufweist, die dazu eingerichtet sind, im Wesentlichen entlang der Längsausdehnung der Filterelemente (11) auf den Filterelementen (11) abzurollen und die Filterelemente (11) dabei wenigstens teilweise unterschiedlich stark zu verformen.

6. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vielzahl von Rollen (13) auf einer Mehrzahl von, insbesondere parallelen, Achsen (14) angeordnet ist.

7. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine erste Achse (14) und eine zweite, zu der ersten Achse (14) benachbarte Achse (14) parallel zueinander angeordnet sind und dass für ein Paar aus einer ersten auf der ersten Achse (14) angeordneten Rolle (13) und einer zweiten, zu der ersten Rolle (13) unmittelbar benachbarten und auf der zweiten Achse (14) angeordneten Rolle (13) der Abstand der beiden Achsen (14) kleiner ist als die Summe aus dem Radius der ersten Rolle (13) und dem Radius der zweiten Rolle (13).

8. Filtermodul (10) gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mehrzahl von Filterelementen (11) insgesamt hohlzylinderförmig angeordnet sind.

9. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verformungseinheit (13, 14) eine Hohlzylinderform aufweist, dass die Verformungseinheit (13, 14) die Mehrzahl von Filterelementen (11) auf deren Innenseite oder Außenseite berührt und dass die Filterelemente (11) und die Verformungseinheit (13, 14) dazu ausgebildet sind, relativ zueinander zu rotieren.

10. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Filtermodul (10) wenigstens zwei bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordnete Filterelemente (11) aufweist, insbesondere dass in axialer Richtung der Hohlzylinderform, in der die Filterelemente (11) angeordnet sind, eine erste Anzahl von Filterelementen (11) be-

züglich ihrer Längsausdehnung nebeneinander und in Umfangsrichtung der Hohlzylinderform eine zweite Anzahl von Filterelementen (11), welche mindestens zwei beträgt, bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordnet sind, und dass die wenigstens zwei Filterelemente (11) entlang ihrer jeweiligen im Wesentlichen quer zu ihrer Längsausdehnung verlaufenden und einander zugewandten Teile ihrer Wandungen (12) miteinander verbunden sind.

11. Filtermodul (10) gemäß Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der Perioden der periodischen, bevorzugt wellenförmigen, Verformung der Filterelemente (11) im Wesentlichen bezüglich deren Längsausdehnung durch die Verformungseinheit (13, 14) während einer Umdrehung der Verformungseinheit (13, 14) relativ zu den Filterelementen (11) größer, insbesondere um mindestens eins größer, ist als die Anzahl der hohlzylinderförmig bezüglich ihrer Längsausdehnung hintereinander angeordneten Filterelemente (11).

12. Filtermodul (10) gemäß den Ansprüchen 5, 6 und 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verformungseinheit (13, 14) die Mehrzahl von Filterelementen (11) auf deren Innenseite berührt und dass auf der Innenseite der Verformungseinheit (13, 14) eine zentrale Walze (16) angeordnet ist, welche dazu ausgebildet ist, auf jeder Achse (14) jeweils wenigstens eine Rolle (13) reibschlüssig nach außen an die Filterelemente (11) zu drücken.

13. Verfahren zur Bindung von Partikeln aus einem partikelbehafteten Stoffgemisch, insbesondere aus einem Aerosol oder aus einem partikelbehafteten Fluid, mit einem Filtermodul (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Stoffgemisch an wenigstens einem Einlass (7) wenigstens eines Filterelements (11) des Filtermoduls (10) bereitgestellt wird, das Medium (2) in dem Filterelement (11) durch die Verformungseinheit (13, 14) verformt wird, das Stoffgemisch an dem wenigstens einem Einlass (7) in das Filterelement (11) angesaugt wird, das Filterelement (11) im Wesentlichen in Richtung seiner Längsausdehnung von dem Einlass (7) zu einem Auslass (8) von dem Stoffgemisch durchströmt wird, dabei Partikel aus dem Stoffgemisch in dem Medium (2) gebunden werden und das zumindest teilweise von Partikeln befreite Stoffgemisch an dem Auslass (8) ausgepumpt wird.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

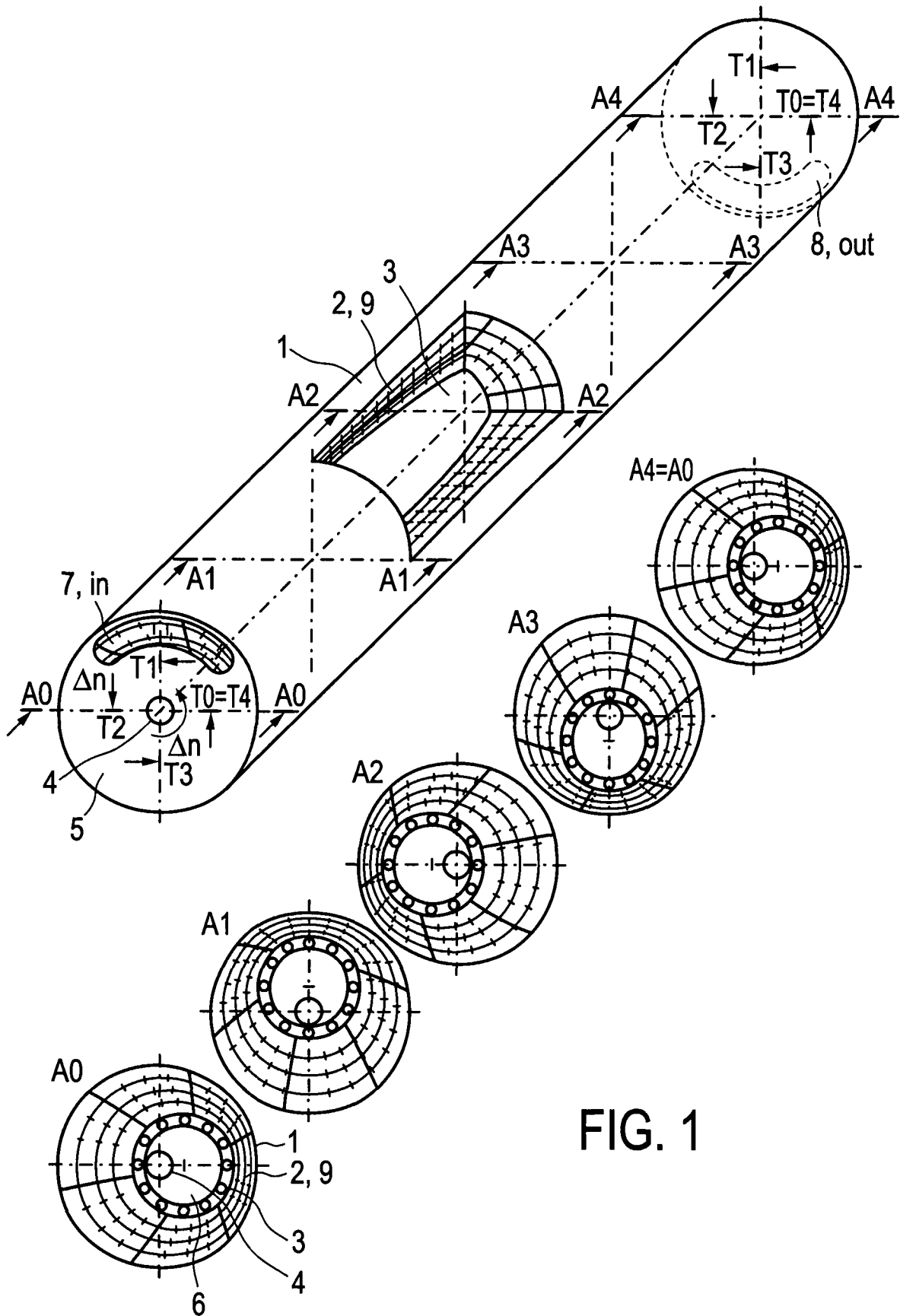


FIG. 1

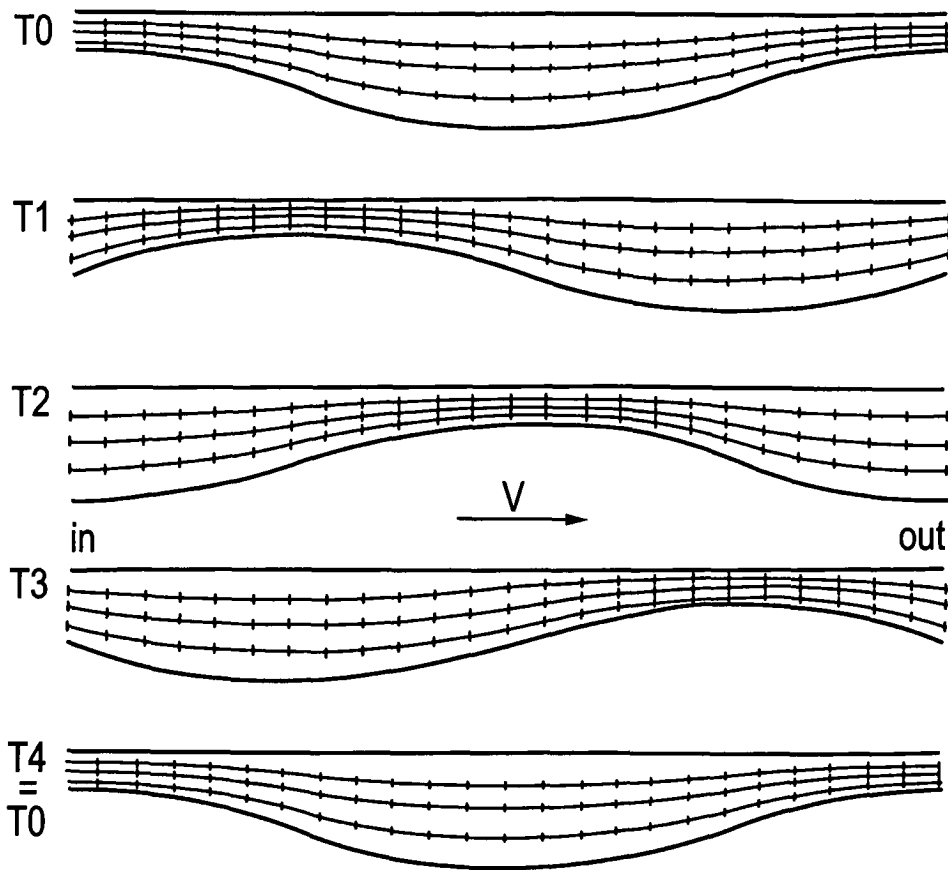
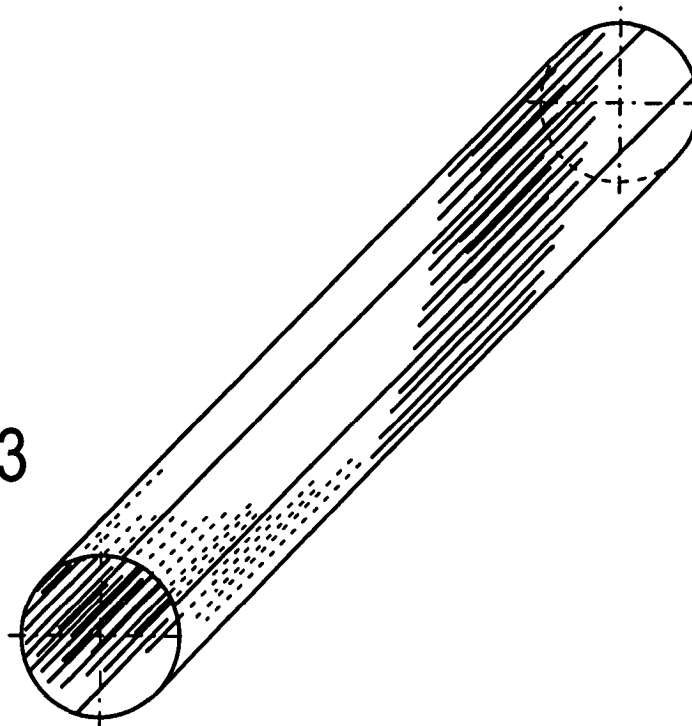


FIG. 2

FIG. 3



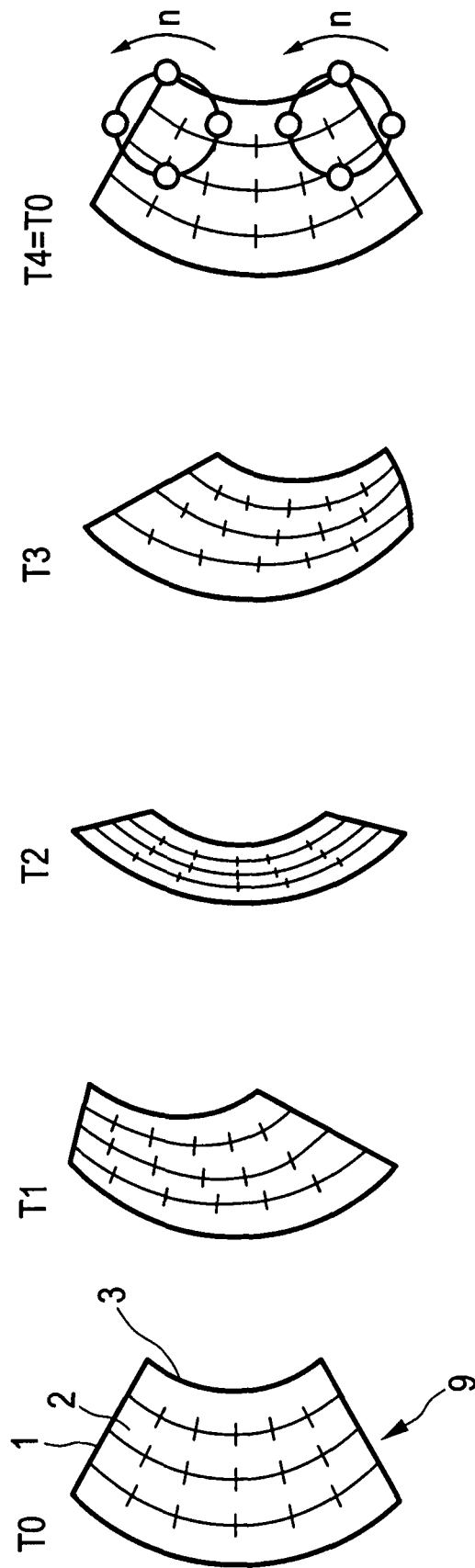


FIG. 4

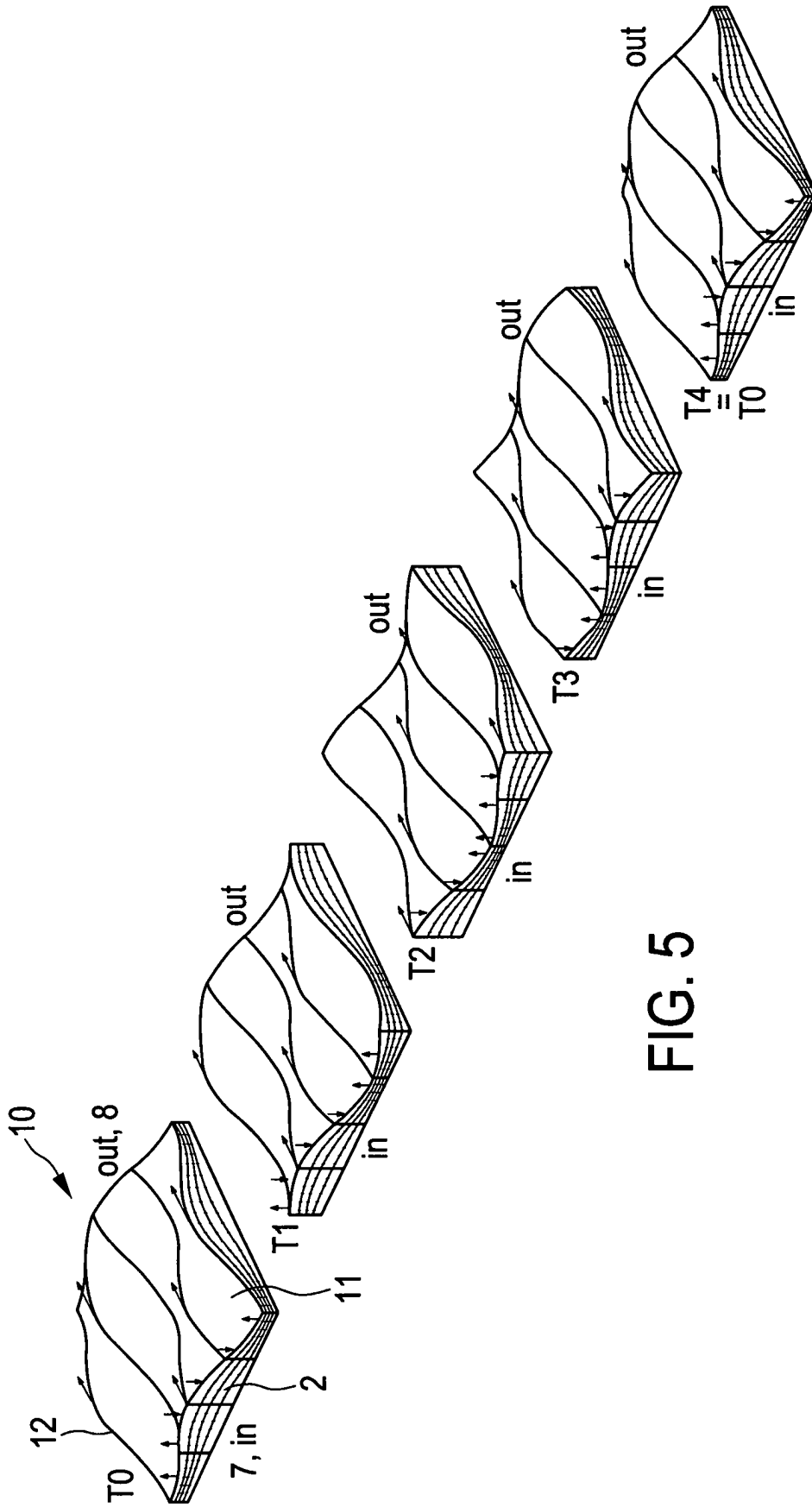


FIG. 5

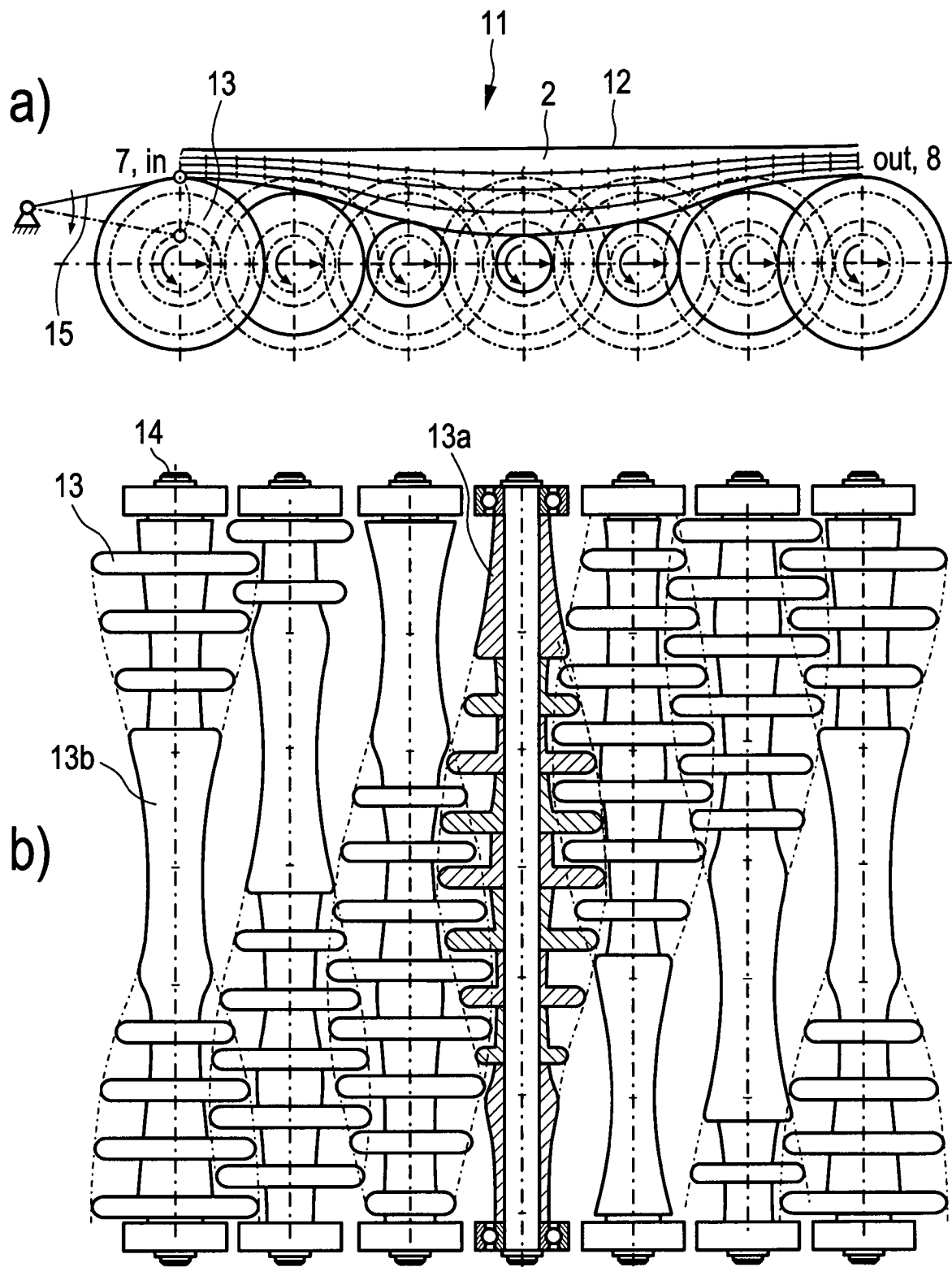


FIG. 6

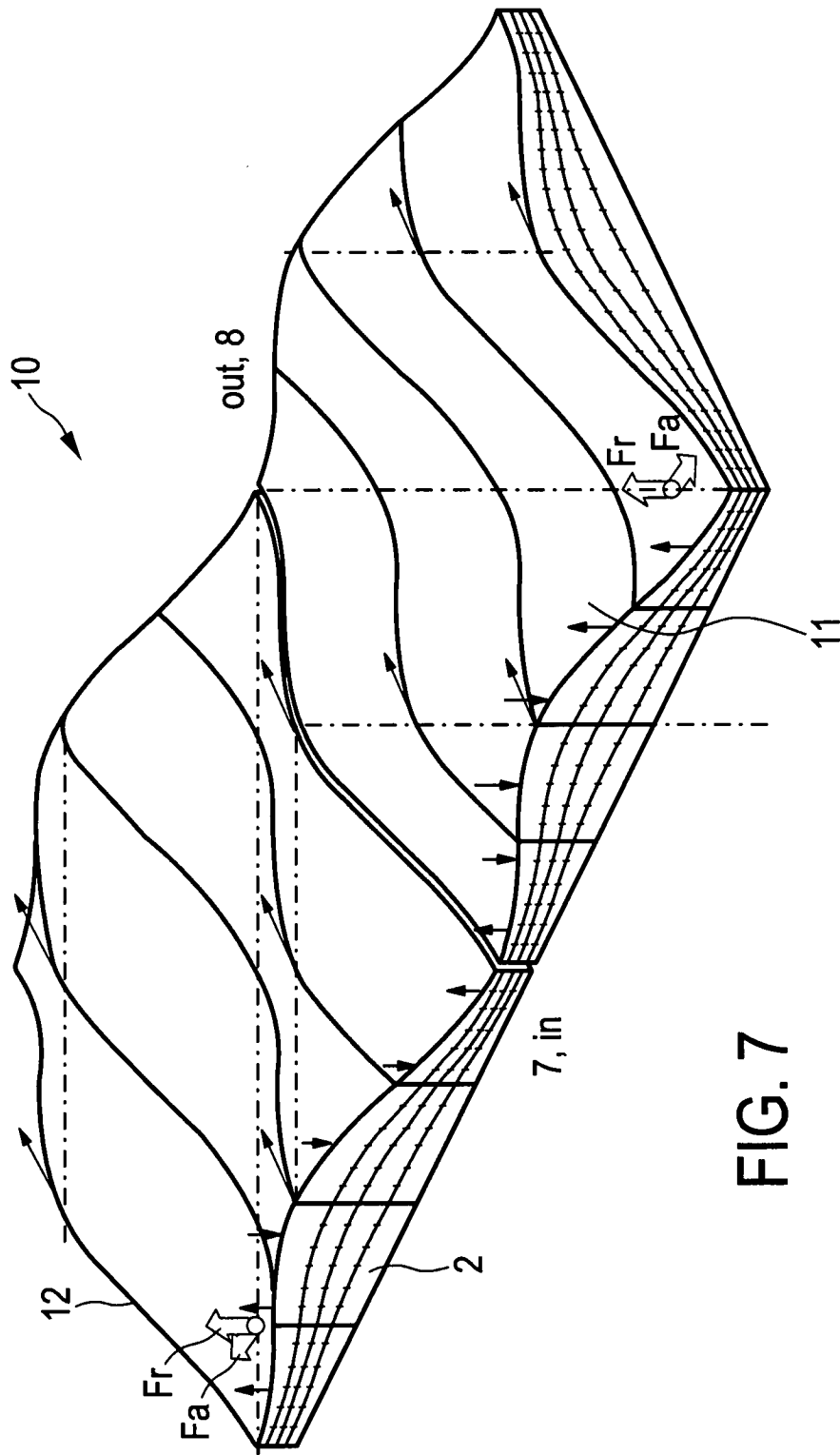


FIG. 7

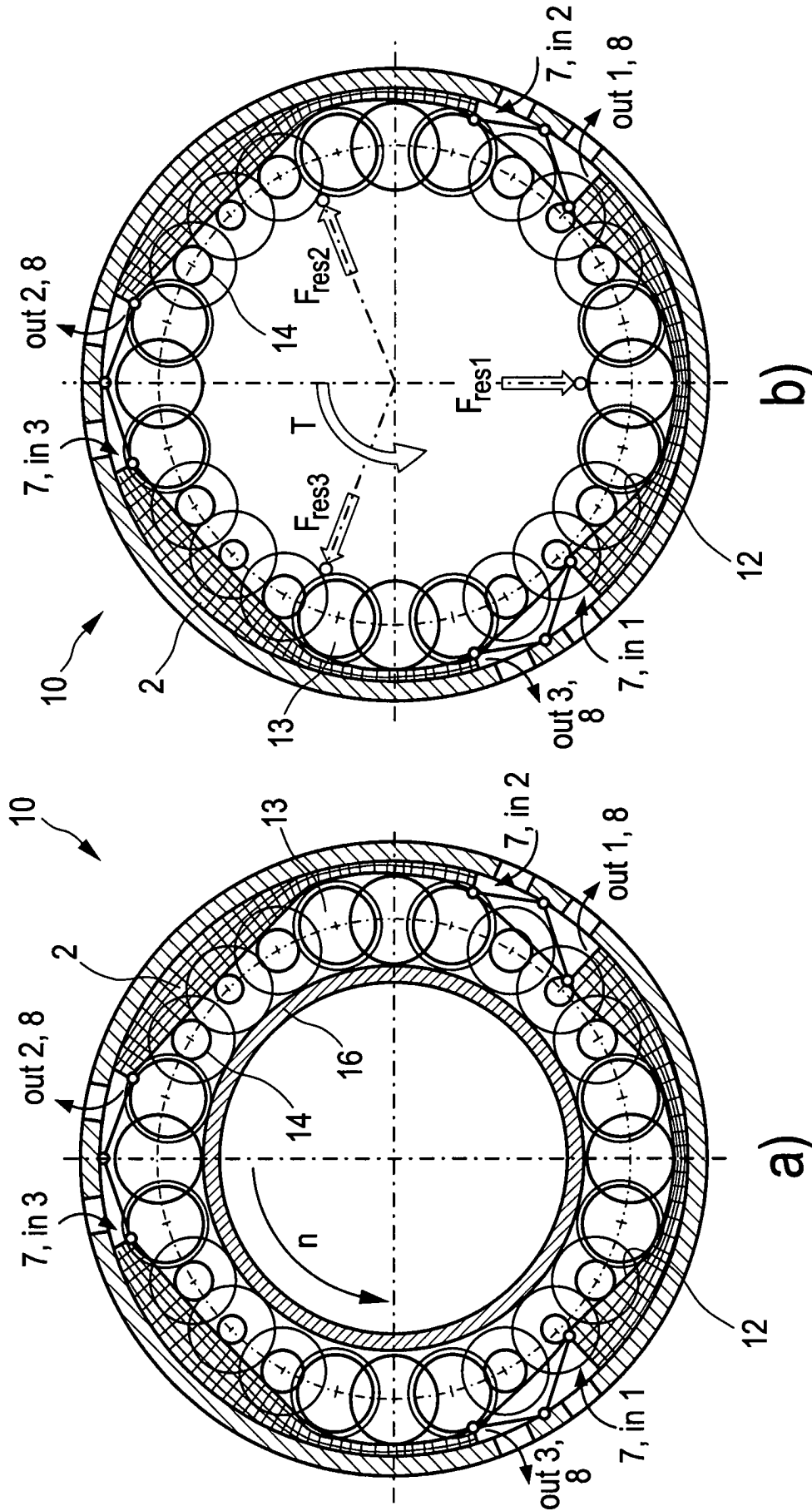


FIG. 8

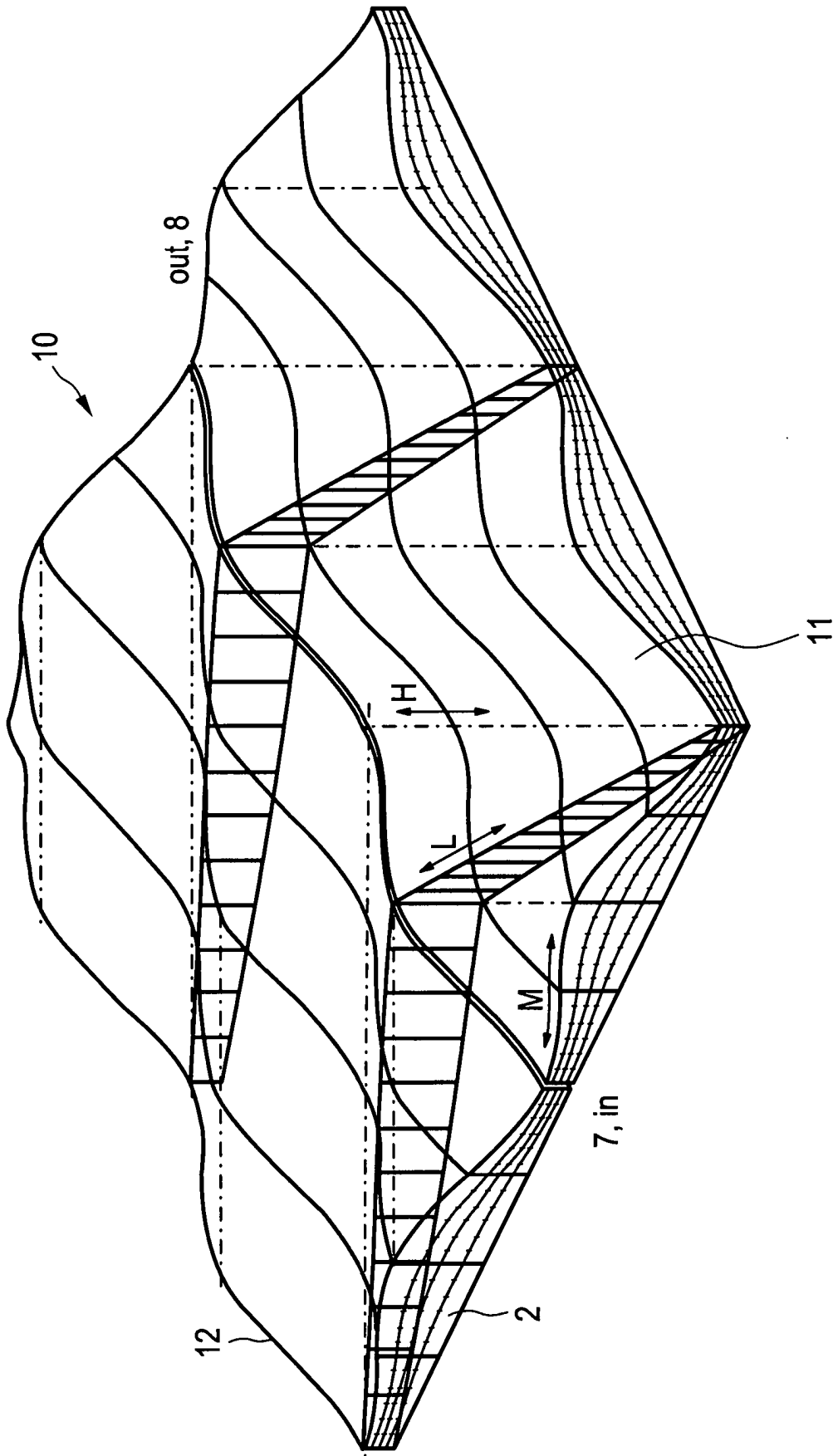


FIG. 9