

(19)



(11)

EP 2 925 453 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.11.2021 Patentblatt 2021/46

(51) Int Cl.:
B03C 1/034^(2006.01) B03C 1/28^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13814428.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2013/003618

(22) Anmeldetag: **30.11.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/082752 (05.06.2014 Gazette 2014/23)

(54) VORRICHTUNG ZUM ABSCHIEDEN MAGNETISCHER ODER MAGNETISIERBARER MIKROPARTIKEL AUS EINER SUSPENSION MITTELS HOCHGRADIENTEN-MAGNETSEPARATION

DEVICE FOR SEPARATING MAGNETIC OR MAGNETIZABLE MICROPARTICLES FROM A SUSPENSION BY MEANS OF HIGH GRADIENT MAGNETIC SEPARATION

DISPOSITIF POUR LA SÉPARATION DE MICROPARTICULES MAGNÉTIQUES OU MAGNÉTISABLES D'UNE SUSPENSION AU MOYEN D'UNE SÉPARATION MAGNÉTIQUE À GRADIENT ÉLEVÉ

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

- **FEIND, Daniel**
66636 Tholey (DE)
- **LIEBLANG, Michael**
55768 Hoppstädten-Weiersbach (DE)

(30) Priorität: **30.11.2012 DE 102012023382**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Dr. Keller, Schwertfeger Partnerschaft mbB**
Westring 17
76829 Landau (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.10.2015 Patentblatt 2015/41

(73) Patentinhaber: **Hochschule Trier - Trier University of Applied Sciences**
54293 Trier (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-94/11078 WO-A2-01/75183
DE-A1- 3 806 340 DE-B3-102004 034 541
DE-T2- 69 729 101 US-A- 5 053 344
US-A- 5 188 239

(72) Erfinder:
• **KAMPEIS, Percy**
66606 St. Wendel (DE)

- **None**

EP 2 925 453 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet:

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Abtrennen magnetischer oder magnetisierbarer Mikropartikel aus einer Suspension mittels Hochgradienten-Magnetseparation gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Stand der Technik:

[0002] Derartige Vorrichtungen sind im Zusammenhang mit der selektiven Separation von suspendierten oder gelösten Substanzen (Zielsubstanzen) in einer Suspension oder Lösung bekannt. Bevorzugtes Anwendungsgebiet ist dabei die Aufarbeitung biotechnologischer Produkte, bei dem die Zielsubstanz selektiv aus einem im Zuge eines biotechnologischen Herstellungsverfahrens gewonnenen Produktstrom mit hohen Anteilen an festen Bestandteilen, Nährsalzen, Puffersubstanzen und/oder einer Vielzahl von Nebenprodukten selektiv abgetrennt werden soll.

[0003] Die Anwendung der Hochgradienten-Magnetseparation in Kombination mit magnetischen oder magnetisierbaren Mikropartikeln zur selektiven Abtrennung ist bereits aus der DE 10 2005 034 327 A1 bekannt, wo die Zugabe von magnetischen oder magnetisierbaren Mikropartikeln (Mikrosorbentien, Magnetbeads) zu einer Lösung/Suspension beschrieben ist. Die Mikropartikel weisen aufgrund einer bestimmten Konfektionierung wie z.B. einer Funktionalisierung der Oberfläche eine besonders hohe Affinität für die Zielsubstanz auf, so dass bei Zugabe der Mikropartikel zur Suspension/Lösung die Zielsubstanz über Affinitätssorption an die Oberfläche der Mikropartikel gebunden wird (selektive Bindung).

[0004] Die Separation der mit der Zielsubstanz beladenen Mikropartikel geschieht im Zuge der Durchströmung einer im Magnetfeld magnetisierten oder magnetischen Abscheidematrix innerhalb eines Separators. Durch Anhaften und Agglomerieren der magnetischen oder magnetisierten Mikropartikel an der Abscheidematrix werden diese zurückgehalten, so dass die Restsuspension ohne Mikropartikel entfernt werden kann. Die Desorption der Zielsubstanz von der Mikropartikeloberfläche geschieht in einem Desorptionspuffer, mit dem die Mikropartikel aus dem Separator ausgespült und dabei gleichzeitig resuspendiert werden. Die dabei entstehende Suspension kann nach abgeschlossener Desorption erneut durch die Abscheidematrix geführt und die nun im Desorptionspuffer gelöste Zielsubstanz ausgeschleust werden. Die Mikropartikel werden dabei gleichzeitig für den weiteren Einsatz zurückgewonnen.

[0005] Während des Separationsprozesses nimmt die Beladung der Abscheidematrix mit Mikropartikeln zu. Dabei werden durch Agglomeration Anlagerungsbereiche gebildet, die das frei durchströmbare Volumen der Abscheidematrix zunehmend einengen. In der Folge kommt

es zu erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Abscheidematrix mit erhöhter Schleppkraftwirkung, während gleichzeitig die magnetischen Rückhaltekräfte mit zunehmender Größe der Anlagerungsbereiche abnehmen. In der Folge lösen sich Mikropartikel von der Abscheidematrix und gehen mit der Restsuspension verloren, womit ein Verlust an Mikropartikeln und Zielsubstanz verbunden ist.

[0006] In diesem Zusammenhang ist es auch schon bekannt, die Konzentration der Mikropartikel im Ablauf des Separators zu bestimmen, um die Wirksamkeit des Separationsprozesses zu überwachen. Damit kann jedoch dem Ablösen von Mikropartikeln während des Separationsprozesses nicht vorgebeugt werden, da mit der Detektion von Mikropartikeln im Ablauf der Ablöseprozess bereits eingesetzt hat.

[0007] Eine ferromagnetisch wirkende Fangkonstruktion zur Immobilisierung mikroskopisch kleiner Teilchen in einer Flüssigkeit, wie zum Beispiel biologischer Substanzen, ist in der DE 697 29 101 T2 beschrieben. Die Konstruktion besteht aus einer Kammer, die in einem äußeren Magnetfeld angeordnet ist und die die mit Teilchen beladene Flüssigkeit aufnimmt. An einer transparenten Kammerwand ist ein magnetisches oder magnetisierbares Gitter angebracht, das durch Verzerrung des magnetischen Felds ein inneres Gefälle erzeugt. Da die zu analysierenden Teilchen magnetisch markiert sind, sammeln sich diese entlang der Gitterlinien an, wobei durch geeignete Dimensionierung des Gitters erreicht wird, dass sich die Teilchen in der Fläche des Gitters in nur einer Schicht, also nicht übereinander, anordnen. Dadurch ist es möglich, die einzeln aneinandergereihten Teilchen mit Hilfe eines die Gitterlinien abtastenden Lasers individuell zu erfassen und damit sowohl quantitativ als auch qualitativ zu analysieren.

[0008] Das Dokument DE 10 2004 034 541 B3 offenbart einen Hochgradienten-Magnetabscheider zum selektiven Abscheiden magnetisierbarer Partikel aus einer Suspension, umfassend eine in einem Magnetsystem positionierbare Matrix als Separierungszone mit mindestens einem Zulauf und mindestens einem Ablauf für die Suspension. Die Matrix wird durch plattenförmige magnetisierbare und von der Suspension durchströmbare Separationsflächen gebildet, durch die aneinander gereihe Teilvolumina in der Matrix entstehen.

Darstellung der Erfindung:

[0009] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung darin, bestehende Vorrichtungen zum Abtrennen magnetischer oder magnetisierbarer Partikel aus einer Suspension mittels Hochgradienten-Magnetseparation derart weiterzuentwickeln, dass bereits im Vorfeld der Ablösung von Mikropartikeln aus den Anlagerungsbereichen, d. h. einem Filterdurchbruch, Einfluss auf den Separationsprozess genommen werden kann.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteil

hafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0011] Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, den Beladungszustand der Abscheidematrix mit Mikropartikeln in der Abscheidekammer zu erfassen und darauf basierend eine Voraussage über die Wahrscheinlichkeit einer Ablösung von Mikropartikeln von der Abscheidematrix zu treffen. Eine Risikoabschätzung wird also bereits im Vorfeld einer möglichen Mikropartikelablösung vorgenommen, mit dem Vorteil rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

[0012] Es ist das Verdienst der Erfindung, diesen Gedanken erstmals und mit vertretbarem Aufwand umgesetzt zu haben, wobei mit Hilfe einer optischen Messeinrichtung die Strömungsräume für die Suspension überwacht werden. Sobald der Strömungsquerschnitt aufgrund der Größe der Ansammlungen an Mikropartikeln über ein kritisches Maß hinaus verengt ist, werden Gegenmaßnahmen in die Wege geleitet, wie zum Beispiel eine Drosselung oder ein Stopp der Strömungsrate im Zulauf und/oder eine Erhöhung der Magnetfeldstärke. Da auf diese Weise die Anzahl an Mikropartikel in der Restsuspension minimiert wird, erreicht man einen ungewöhnlich hohen Grad der Abscheidung von Mikropartikeln aus der Suspension, so dass sowohl die Zielsubstanzen als auch die Mikropartikel annähernd vollständig aus der Suspension gewonnen werden. Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich daher durch einen außergewöhnlich hohen Wirkungsgrad aus.

[0013] Die Abscheidematrix wird durch Flächenelemente in der Abscheidekammer gebildet. Diese sind vorzugsweise planparallel zueinander in der Abscheidekammer angeordnet, was eine hohe Packungsdichte der Flächenelemente erlaubt. In diesem Zusammenhang hat sich ein Abstand der Flächenelemente untereinander von maximal 5 mm, vorzugsweise zwischen 0,5 mm und 2 mm als besonders zweckdienlich herausgestellt. Von Vorteil ist ferner eine Anordnung der Flächenelemente parallel zur Strömungsrichtung, um einer Wirbelbildung der Strömung vorzubeugen, die ansonsten eine Ablösung der Mikropartikel begünstigen würde. Parallel zu den optischen Sichtachsen angeordnete Flächenelemente erweisen sich im Hinblick auf eine optimale Erfassung der Strömungsräume zwischen den Flächenelementen über deren gesamte Länge in Erfassungsrichtung von Vorteil.

[0014] In Weiterbildung der Erfindung ist das Magnetfeld senkrecht zu den Flächenelementen gerichtet. Die das Magnetfeld bildenden Polschuhe können auf diese Weise nahe an den Flächenelementen und in engem Abstand zueinander angeordnet sein, was eine sehr starke Magnetisierung der Flächenelemente zur Folge hat, mit dem Ergebnis einer äußerst hohen Abscheidewirkung.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die Flächenelemente in ihrer Erstreckungsebene eine Vielzahl von Öffnungen auf. Dadurch wird der Effekt genutzt, dass die Magnetfeldstärke entlang der die Öffnungen bildenden Kanten besonders

hoch ist, was die Abscheidewirkung weiter verbessert. Um eine möglichst hohe Dichte an wirksamen Kanten an den Flächenelementen zu erzeugen, besitzen die Öffnungen vorzugsweise rechteckförmige Gestalt und können als Öffnungen in einem Blech oder von einer Gitterstruktur mit kreuzenden Drähten gebildet sein.

[0016] Die optische Überwachung der Strömungsräume innerhalb der Abscheidekammer erfolgt vorteilhafterweise von außerhalb des Separators, während die selektive Abscheidung in einem abgeschlossenen Volumen innerhalb der Abscheidekammer stattfindet. So kann der Separator einen konstruktiv einfachen und robusten Aufbau aufweisen, mit einer durchgehenden kanal förmigen Abscheidekammer zur Aufnahme der Abscheidematrix und Durchleitung der Suspension. Die optische Messeinrichtung, deren optische Achsen die Abscheidekammer durchdringen, ist dabei stationär an der Vorrichtung in der unmittelbaren Umgebung des Separators angeordnet, wobei optische Fenster in der Gehäuswand des Separators im Bereich der optischen Achsen die Bilderfassung im Inneren der Abscheidekammer ermöglichen. Die damit erreichte mechanische Entkopplung von optischer Messeinrichtung und Separator erlaubt es einerseits, dass der Separator unabhängig von der optischen Messeinrichtung der Vorrichtung entnommen und wieder eingesetzt werden kann, was die Handhabung und den Betrieb einer erfindungsgemäßen Vorrichtung insgesamt ganz wesentlich erleichtert. Andererseits wird durch die Anordnung der optischen Messeinrichtung außerhalb der Sterilgrenze eine zuverlässige sterile Abdichtung der Abscheidekammer erleichtert und darüber hinaus verhindert, dass im Zuge der Dampfsterilisation der Abscheidekammer die optische Messeinrichtung zu Schaden kommt.

[0017] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung verlaufen die optischen Sichtachsen der optischen Messeinrichtung im Wesentlichen parallel zu den Flächenelementen und quer zur Strömungsrichtung der Suspension. Diese Maßnahme hat zunächst den Vorteil, dass die optische Messeinrichtung und der Zu- und Ablauf im räumlichen Abstand zueinander angeordnet werden können, so dass ausreichend Platz zur Verfügung steht. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der ausgeprägten Längserstreckungsrichtung der Flächenelemente parallel zur Strömungsrichtung. Die Messstrecke der optischen Messeinrichtung erstreckt sich daher über die kürzere Abmessung der Flächenelemente, was ein genaueres Messergebnis ermöglicht. Das schließt jedoch nicht aus, dass es unter bestimmten Umständen auch vorteilhaft sein kann, die optischen Sichtachsen parallel zur Strömungsrichtung anzuordnen, beispielsweise wenn die Anordnung optischer Sichtfenster an den Seiten der Abscheidekammer nicht möglich ist, oder sowohl senkrecht als auch parallel zur Strömungsrichtung mit Hilfe einer zusätzlichen optischen Messeinrichtung gearbeitet werden soll, um eine möglichst helle Ausleuchtung der Abscheidekammer zu erhalten.

[0018] Als besonders vorteilhaft erweist es sich, das

Beleuchtungssystem der optischen Messeinrichtung gegenüberliegend anzuordnen. Die optische Erfassung des lichten Abstandes der Flächenelemente erfolgt dabei im Gegenlicht, so dass eine besonders kontrastreiche Aufnahme möglich ist, die eine exakte Auswertung ermöglicht. Die Messwertgenauigkeit kann zusätzlich durch den Einsatz von diffusem Licht gesteigert werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen:

[0019] Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert, wobei weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung offenbar werden.

[0020] Es zeigt

- Fig. 1 eine schematische Schrägansicht eines erfindungsgemäßen Separators,
- Fig. 2 einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Separator entlang der in Figur 3 dargestellten Linie II - II,
- Fig. 3 einen Längsschnitt durch den in Figur 2 dargestellten Separator entlang der in Figur 4 dargestellten Linie III - III,
- Fig. 4 einen Querschnitt durch den in Figur 2 dargestellten Separator entlang der in Figur 3 dargestellten Linie IV - IV,
- Fig. 5 eine Seitenansicht auf den in Figur 2 dargestellten Separator,
- Fig. 6 eine Draufsicht auf den in Figur 5 dargestellten Separator,
- Fig. 7 eine Schrägansicht auf eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Separators und,
- Fig. 8 einen Längsschnitt durch eine alternative Ausführungsform eines Zulaufs bzw. Ablaufs eines erfindungsgemäßen Separators.

Wege zur Ausführung der Erfindung und gewerbliche Verwertbarkeit:

[0021] Figur 1 entspricht einer schematischen Funktionsdarstellung der Erfindung. Man sieht eine durch Strichlierung angedeutete Abscheidekammer 1, in der eine Abscheidematrix 2 mit mehreren magnetischen oder magnetisierbaren Flächenelementen 3 angeordnet ist. Die Flächenelemente 3 liegen mit seitlichem Abstand planparallel nebeneinander und weisen über ihre gesamte Fläche eine Vielzahl Öffnungen 4 auf. Auf die Abscheidematrix 2 wirkt ein Magnetfeld senkrecht zur Oberfläche der Flächenelemente 3, was vor allem in den Figuren 2

und 4 mit den Pfeilen 23 versinnbildlicht ist.

[0022] Die Abscheidematrix 2 wird von oben nach unten von einer Suspension durchströmt, deren Strömungsrichtung 5 durch Pfeile wiedergegeben ist. Der freie Raum zwischen den Flächenelementen 3 bildet jeweils einen spaltförmigen Strömungsraum 6.

[0023] Die Kontur und damit der zur Verfügung stehende Strömungsquerschnitt eines Strömungsraums 6 werden von einer optischen Messeinrichtung 7 überwacht. Die optischen Sichtachsen 8 der optischen Messeinrichtung 7 verlaufen parallel zu den Flächenelementen 3 und senkrecht zur Strömungsrichtung 5. Ein Beleuchtungssystem 9 ist der optischen Messeinrichtung 7 gegenüberliegend angeordnet und emittiert Licht 10 parallel zu den Sichtachsen 8 in den Strömungsraum 6, also ebenfalls parallel zu den Flächenelementen 3 und senkrecht zur Strömungsrichtung 5. Das Beleuchtungssystem 9 erzeugt auf diese Weise Gegenlicht für die optische Messeinrichtung 7.

[0024] Das während der Separation aktivierte Magnetfeld 23 bewirkt eine Magnetisierung der Abscheidematrix 2. Die infolgedessen auf die magnetischen oder magnetisierten Mikropartikel einwirkenden Anziehungskräfte führen zu Ansammlungen 11 von Mikropartikeln im Randbereich der Öffnungen 4 in den Flächenelementen 3, wo die Magnetfeldstärke am größten ist. Dabei wachsen die Ansammlungen 11 mit zunehmender Beladung der Abscheidematrix 2 nicht nur in der Ebene der Flächenelemente 3, sondern auch entlang der Magnetfeldlinien senkrecht dazu. Vor allem das räumliche Wachstum senkrecht zur Oberfläche der Flächenelemente 3 führt zu einer Verengung des Strömungsquerschnitts der Strömungsräume 6, mit den oben beschriebenen Nachteilen, sobald ein gewisses Ausmaß erreicht ist. Der Grundgedanke der Erfindung besteht nun darin, die durch dreidimensionale Agglomeration bedingte Veränderung des Strömungsquerschnitts mit Hilfe der optischen Messeinrichtung 7 zu überwachen und, noch bevor ein Ablösen von Mikropartikeln zu befürchten ist, den Betreiber einer erfindungsgemäßen Vorrichtung über die aktuelle Beladung der Abscheidematrix 2 und gegebenenfalls erforderliche Rückspülung bzw. Wechsel der Abscheidematrix 2 zu informieren.

[0025] Eine erste konkrete Umsetzung des in Figur 1 erläuterten Prinzips ist Gegenstand der Figuren 2 bis 6. Dort ist ein Separator 12 dargestellt, der einzeln oder zu mehreren in Reihe oder parallel geschaltet von einer mit Mikropartikeln beladenen Suspension 5 durchströmt wird.

[0026] Der Separator 12 besitzt ein flüssigkeitsdichtes rechteckförmiges Gehäuse 13, das von zwei spiegelbildlich geformten Seitenwänden 14 und 15 gebildet ist, die mit ihren flachen, einander zugewandten Innenseiten 16 aufeinander liegen. Die Innenseiten 16 weisen jeweils eine von ihrer Oberfläche ausgehende sich über die gesamte Länge erstreckende durchgehende Ausnehmung 17 auf, die nach dem Zusammenfügen der Seitenwände 14 und 15 eine nach oben und unten offene, kanalförmige

Abscheidekammer 1 ergeben (siehe vor allem Fig. 4).

[0027] In analoger Weise sind in die Innenseiten 16 der Seitenwände 14 und 15 Ausnehmungen 18 und 19 eingeformt, die sich von den Stirnseiten 20 des Gehäuses 13 bis zur Abscheidekammer 1 erstrecken und auf diese Weise fluchtende Sichtkanäle 21 und 22 bilden.

[0028] In jeden der Sichtkanäle 21 und 22 ist jeweils ein die Abscheidekammer 1 gas- und flüssigkeitsdicht verschließendes optisches Fenster 24 formschlüssig eingesetzt, das bündig mit der Innenseite der Abscheidekammer 1 abschließt. Eine umlaufende sterildichte Flüssigkeits- und Gasdichtung 25 zwischen optischem Fenster 24 und Sichtkanal 21, 22 stellt sicher, dass keine Suspension aus der Abscheidekammer 1 nach außen dringt. Zur In-situ-Dampfsterilisation können die optischen Fenster 24 aus Quarzglas bestehen, z. B. Suprasil. Die Dichtung 25 besteht zu diesem Zweck vorzugsweise aus einem wärmebeständigen Elastomer, beispielsweise aus einem EPDM.

[0029] Ferner sieht man in den Figuren 2 bis 5 einen Zulauf 26 mit einem Anschlussstutzen 27 für eine nicht weiter dargestellte Schlauchleitung, an den sich eine trichterförmige Aufweitung 28 anschließt. Strömungsleitende Einbauten in der Aufweitung 28 sorgen dafür, dass sich der konzentriert im Anschlussstutzen 27 ankommende Suspensionsstrom 5 gleichmäßig über den Strömungsquerschnitt der Abscheidekammer 1 auffächert und die Strömungsräume 6 durchströmt. Am gegenüberliegenden Ende der Abscheidekammer 1 ist ein dem Zulauf 26 entsprechend ausgebildeter Ablauf 30 mit Anschlussstutzen 27 und Aufweitung 28 angeordnet.

[0030] Die Abscheidekammer 1 ist also seitlich begrenzt von den Seitenteilen 14 und 15 sowie den optischen Fenstern 24 (insbesondere Figur 4) und in Durchströmrichtung 5 von dem Einlauf 26 und Auslauf 30 (insbesondere Figuren 2 und 3).

[0031] Die Abscheidekammer 1 dient der Aufnahme einer magnetisierbaren Abscheidematrix 2, die von einer Vielzahl magnetisierbarer Flächenelemente 3 gebildet ist. Die Flächenelemente 3 sind planparallel zur Innenseite der Seitenwände 14 und 15 angeordnet sowie planparallel und in seitlichem Abstand zueinander. Durch die seitlichen Abstände zwischen den einzelnen Flächenelementen 3 werden parallel nebeneinander liegende Strömungsräume 6 für die Suspension 5 geschaffen.

[0032] Die Flächenelemente 3 sind an zwei gegenüberliegenden Rändern über nicht dargestellte Halteelemente zusammengehalten, so dass die Abscheidematrix 2 für deren Austausch als Ganzes, beispielsweise als Filterpaket, der Abscheidekammer 1 entnommen werden kann.

[0033] Jedes Flächenelement 3 weist eine Vielzahl Öffnungen 4 auf, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel rechteckförmige Gestalt aufweisen, aber auch kreis- oder schlitzförmig ausgebildet sein können. Alternativ können sich die Öffnungen auch durch eine Gitterstruktur der Flächenelemente 3 ergeben. Die Stegbreite zwischen den Öffnungen 4 beträgt vorzugsweise maxi-

mal 2 mm.

[0034] In den Figuren 5 und 6 erkennt man ferner die Einrichtung zur Erzeugung des Magnetfelds 23. Man sieht die Polschuhe 32 und 33 eines Permanentmagneten oder Elektromagneten, die den Separator 12 formschlüssig zwischen sich aufnehmen. Dabei liegen die Seitenwände 14, 15 flächig an den Polschuhen 32 und 33 an. Die Feldlinien des auf diese Weise erzeugten Magnetfelds 23 verlaufen senkrecht zu den Flächenelementen 3 der Abscheidematrix 2.

[0035] Aus Figur 6 ist darüber hinaus die Anordnung der optischen Messeinrichtung 7 und des Beleuchtungssystems 9 innerhalb der erfindungsgemäßen Vorrichtung ersichtlich. Die optische Messeinrichtung 7 umfasst eine Kamera, die den Strömungsquerschnitt in den Strömungsräumen 6 kontinuierlich oder in vorgegebenen Zeitintervallen erfasst. Dazu ist die optische Messeinrichtung 7 außerhalb des Separators 12 der Stirnseite 20 gegenüberliegend angeordnet, wobei die optischen Sichtachsen 8 der Messeinrichtung 7 durch die Sichtkanäle 21, 22, die Strömungsräume 6 und die optischen Fenster 24 verlaufen.

[0036] Auf der gegenüberliegenden Seite des Separators 12 sieht man das Beleuchtungssystem 9, das auf Höhe der optischen Sichtachsen 8 angeordnet ist und Licht 10 in Richtung der Messeinrichtung 7 durch die Sichtkanäle 22 und 21, die Strömungsräume 6 und die optischen Fenster 24 emittiert. Die Lichtquelle kann dabei aus mehreren diskreten LEDs oder einer Leuchtfolie bestehen. Um möglichst diffuses Licht 10 in die Strömungsräume zu emittieren, ist es möglich, zwischen optischem Fenster 24 und Beleuchtungssystem 9 einen Lichtdiffusor, beispielsweise eine Lichtdiffusionsfolie, anzuordnen, oder das optische Fenster 24 als Diffusor auszubilden.

[0037] Zur Überwachung des Zustands der Abscheidematrix 2 werden mit der Kamera in den optischen Sichtachsen 8 der optischen Messeinrichtung 7 kontinuierlich oder in vorbestimmten Zeitintervallen Aufnahmen der Strömungsräume 6 in Richtung des Beleuchtungssystems 9, also im Gegenlicht, gemacht. Die dabei ermittelten Hell-Dunkel-Werte werden in einer Datenverarbeitungseinheit mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware ausgewertet, die den lichten Abstand zwischen den Anlagerungsbereichen 11 quer zur Strömungsrichtung der Suspension 5 ermittelt und mit einem kritischen Mindestabstand vergleicht. Bei Unterschreiten des kritischen Mindestabstandes wird eine Warnmeldung an den Betreiber der Vorrichtung gegeben und/oder die Zufuhr des Separators 12 mit Suspension 5 gedrosselt oder gestoppt. Auf diese Weise wird einem Ablösen der Mikropartikel von der Abscheidematrix 2 rechtzeitig vorgebeugt.

[0038] Figur 7 zeigt eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Separators 12', wobei für gleiche oder funktionsgleiche Merkmale gleiche Bezugszeichen Verwendung finden, soweit dies das Verständnis der Erfindung erleichtert. Die Strömungsrichtung der

Suspension ist wiederum mit 5 und die optischen Sichtachsen mit 8 bezeichnet. Der Separator 12' besitzt einen plattenförmigen Grundkörper 34, in den mittig ein die Abscheiddekammer 1 bildender, von einem Boden 35 und zwei Seiten 36 umschlossener Kanal eingefräst ist. In die Seiten 36 des Kanals ist jeweils eine schlitzzartige Öffnung 37 eingebracht, die zur Aufnahme der bereits unter den Figuren 1 bis 6 beschriebenen optischen Fenster 24 dient. Ferner weisen die Seiten 36 der Abscheiddekammer 1 an ihren in Durchströmrichtung 5 vorderen und hinteren Enden jeweils Nuten 38 auf, die sich über die gesamte Höhe der Seiten 36 und senkrecht zum Boden 35 erstrecken. Um die Abscheiddekammer 1 dicht verschließen zu können, weist die Oberseite des Grundkörpers 34 einen flächigen Versatz zur formschlüssigen Aufnahme eines lediglich durch Strichlierung angedeuteten Deckels 39 auf, der mittels nicht dargestellter lösbarer Befestigungsmittel gegen der Grundkörper 34 spannbar ist.

[0039] In der Abscheiddekammer 1 sieht man wiederum eine magnetisierbare Abscheidematrix 2, wie sie im Wesentlichen bereits unter den Figuren 1 bis 6 bereits beschrieben ist. Die Flächenelemente 3 der Abscheidematrix 2 erstrecken sich demnach in planparalleler deckungsgleicher Lage flächig zwischen den beiden Seiten 36 mit paralleler Ausrichtung bezüglich der Strömungsrichtung 5 und der optischen Sichtachsen 8. Aus den Längsseiten der Flächenelemente 3 stehen in der Ebene der Flächenelemente 3 und in Verlängerung der Querseiten der Flächenelemente 3 stiftförmige Zapfen 40 hervor. Die auf diese Weise in Reihen angeordneten Zapfen 40 binden jeweils ein stabförmiges senkrecht zur Ebene der Flächenelemente 3 verlaufendes Halteelement 41 ein, so dass Flächenelemente 3 und Halteelemente 41 eine in sich stabile Einheit ergeben, die beim Wechsel der Flächenelemente 3 der Abscheiddekammer 1 einfach und schnell als Ganzes entnommen werden kann. Durch einen den Nuten 38 entsprechenden Querschnitt der Halteelemente 41 können diese durch Formschluss in den Nuten 38 befestigt werden.

[0040] Eine weitere - zeichnerisch nicht dargestellte - Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Separators sieht die monolithische Ausbildung eines plattenförmigen Grundkörpers vor, in den zur Bildung einer Abscheiddekammer ein durchgehender umfangsseitig geschlossener Kanal eingefräst ist, der in Querrichtung von einem ebenfalls durchgehenden umfangsseitig geschlossenen Sichtkanal gekreuzt ist. Die Abscheidematrix ist bei dieser Ausführungsform axial in die Abscheiddekammer einsetzbar. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch eine besonders hohe Stabilität und Dichtigkeit aus.

[0041] Ebenfalls zeichnerisch nicht dargestellt ist eine Ausführungsform der Erfindung, bei der das Gehäuse des Separators als Einwegteil ausgebildet ist, beispielsweise in Form eines Spritzgussteils aus Kunststoff. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass eine Sterilisation des Separators vor jedem Einsatz entfallen kann.

[0042] Figur 8 zeigt schließlich einen Längsschnitt

durch eine alternative Ausführungsform eines Zulaufs 26' und ggf. auch eines Ablaufs 30' in einer planparallelen Ebene zu den Flächenelementen 3. Da die Suspension möglichst turbulenzarm durch die Abscheiddekammer 1 geführt werden soll, um ungewollte Ablösungen von Mikropartikeln zu verhindern, besteht der in Figur 8 verwirklichte Gedanke der Erfindung darin, den Suspensionsstrom möglichst turbulenzfrei von dem engen Strömungsquerschnitt der Zulaufleitung mit dem Durchmesser D_1 auf den Strömungsquerschnitt mit der größeren Querschnittsabmessung D_2 der Abscheiddekammer 1 aufzuweiten. Da zu diesem Zweck der Suspensionsstrom bereits beim Eintritt in die Abscheiddekammer 1 möglichst frei von Turbulenzen sein soll, besitzt der Zulauf 26' in Strömungsrichtung 5' einen ersten Längsabschnitt 42, über dessen Länge L_A die Aufweitung 28' vollzogen wird und ein anschließender zylindrischer Längsabschnitt 43 der Länge L_Z mit Rechteckquerschnitt. Das Längenverhältnis von Längsabschnitt 43 zu Längsabschnitt 42 ist vorzugsweise größer als 0,15 und liegt höchst vorzugsweise in einem Bereich von 0,25 bis 0,3.

[0043] Die Aufweitung 28' weist in Durchströmrichtung 5 einen stetigen Verlauf ohne Knicke und Kanten auf und geht ebenso stetig in den zylindrischen Längsabschnitt 43 über. Um einer Ablösung von Wirbeln am Innenumfang des sich weitenden Längsabschnitts 42 vorzubeugen, beträgt der Winkel α der Aufweitung 28' maximal 15 Grad und liegt höchst vorzugsweise in einem Bereich zwischen 8 Grad und 12 Grad.

[0044] Bevorzugterweise wird diese Geometrie des Zulaufs 26' mit umgekehrter Durchströmrichtung 5 auch auf den Ablauf 30 angewandt.

35 Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Abscheiden magnetischer oder magnetisierbarer Mikropartikel aus einer Suspension (5) mittels Hochgradienten-Magnetseparation,

- mit einem Separator (12), dessen Gehäuse (13) eine Abscheiddekammer (1) umschließt, die von der Suspension (5) in vorbestimmter Strömungsrichtung (5') durchströmbar ist,
- mit einer magnetischen oder magnetisierbaren Abscheidematrix (2), die mehrere im lichten seitlichen Abstand zueinander angeordnete Flächenelemente (3) umfasst, die in der Abscheiddekammer (1) unter Bildung von Strömungsräumen (6) für die Suspension (5) angeordnet sind,
- mit einem Zulauf (26) und einem Ablauf (30), über welche die Suspension (5) in und aus den Strömungsräumen (6) geführt wird, und
- mit einer Einrichtung zur Erzeugung eines Magnetfelds (23), in dem der Separator (12) angeordnet ist, **gekennzeichnet durch** eine optische Messeinrichtung (7) und ein Beleuchtungssystem (9), wobei zur Ermittlung der Grö-

- ße des lichten Abstandes zwischen den Flächenelementen (3) die optischen Sichtachsen (8) der optischen Messeinrichtung (7) in den Strömungsräumen (6) verlaufen und das Beleuchtungssystem (9) mindestens eine Lichtquelle besitzt, deren Licht (10) in die Strömungsräume (6) emittierbar ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flächenelemente (3) planparallel zueinander und parallel zur Strömungsrichtung (5) und/oder den optischen Sichtachsen (8) angeordnet sind.
 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Magnetfeld (23) senkrecht zur Ebene der Flächenelemente (3) gerichtet ist.
 4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flächenelemente (3) eine Vielzahl Öffnungen (4) besitzen.
 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flächenelemente (3) über Halteelemente (41) miteinander verbunden und in ihrer relativen Lage zur Abscheidekammer (1) fixiert sind.
 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** Flächenelemente (3) und Halteelemente (41) eine in sich stabile Einheit bilden, die als Ganzes der Abscheidekammer (1) entnehmbar ist.
 7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die optischen Sichtachsen (8) der optischen Messeinrichtung (7) senkrecht oder parallel zur Strömungsrichtung (5) verlaufen.
 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (13) zumindest ein erstes optisches Fenster (24) aufweist und die optische Messeinrichtung (7) außerhalb der Messkammer (1) angeordnet ist und die optischen Sichtachsen (8) sich durch das optische Fenster (24) in die Abscheidekammer (1) erstrecken.
 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (13) zumindest ein zweites optisches Fenster (24) aufweist und das Beleuchtungssystem (9) außerhalb der Abscheidekammer (1) angeordnet ist und das Licht (10) durch das zweite optische Fenster (24) in die Abscheidekammer (1) emittierbar ist.
 10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und/oder zweite optische Fenster (24) zur In-situ-Dampfsterilisation
- temperaturbeständig ausgebildet sind.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lichtquelle des Beleuchtungssystems (9) zur Erzeugung von Gegenlicht der optischen Messeinrichtung (7) gegenüberliegend angeordnet ist.
 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in die Strömungsräume (6) emittierte Licht (10) diffuses Licht ist.
 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (13) des Separators (12) aus zwei Seitenteilen besteht, deren einander zugewandte Seite (14, 15) die Abscheidekammer (1) bilden.
 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse des Separators monolithisch ausgebildet ist, mit einer durchgehenden Öffnung zur Bildung einer Abscheidekammer.
 15. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zulauf (26) eine sich in Strömungsrichtung (5) auf den Strömungsquerschnitt der Abscheidekammer (1) weitende Aufweitung 28' besitzt, wobei an den die Aufweitung (28') bildenden Längsabschnitt (42) ein zylindrischer Längsabschnitt (43) mit den Querschnittsabmessungen der Abscheidekammer (1) anschließt.

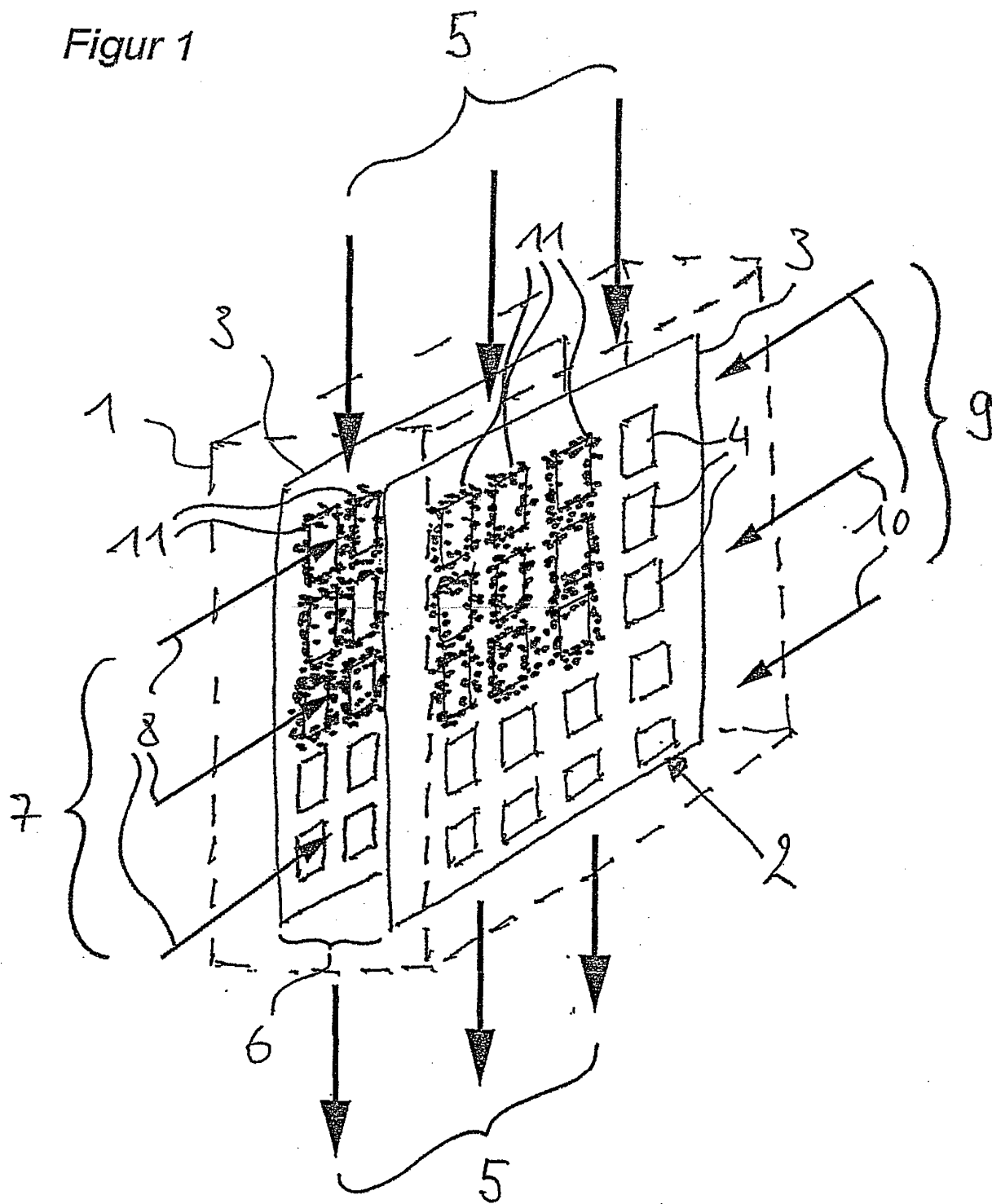
Claims

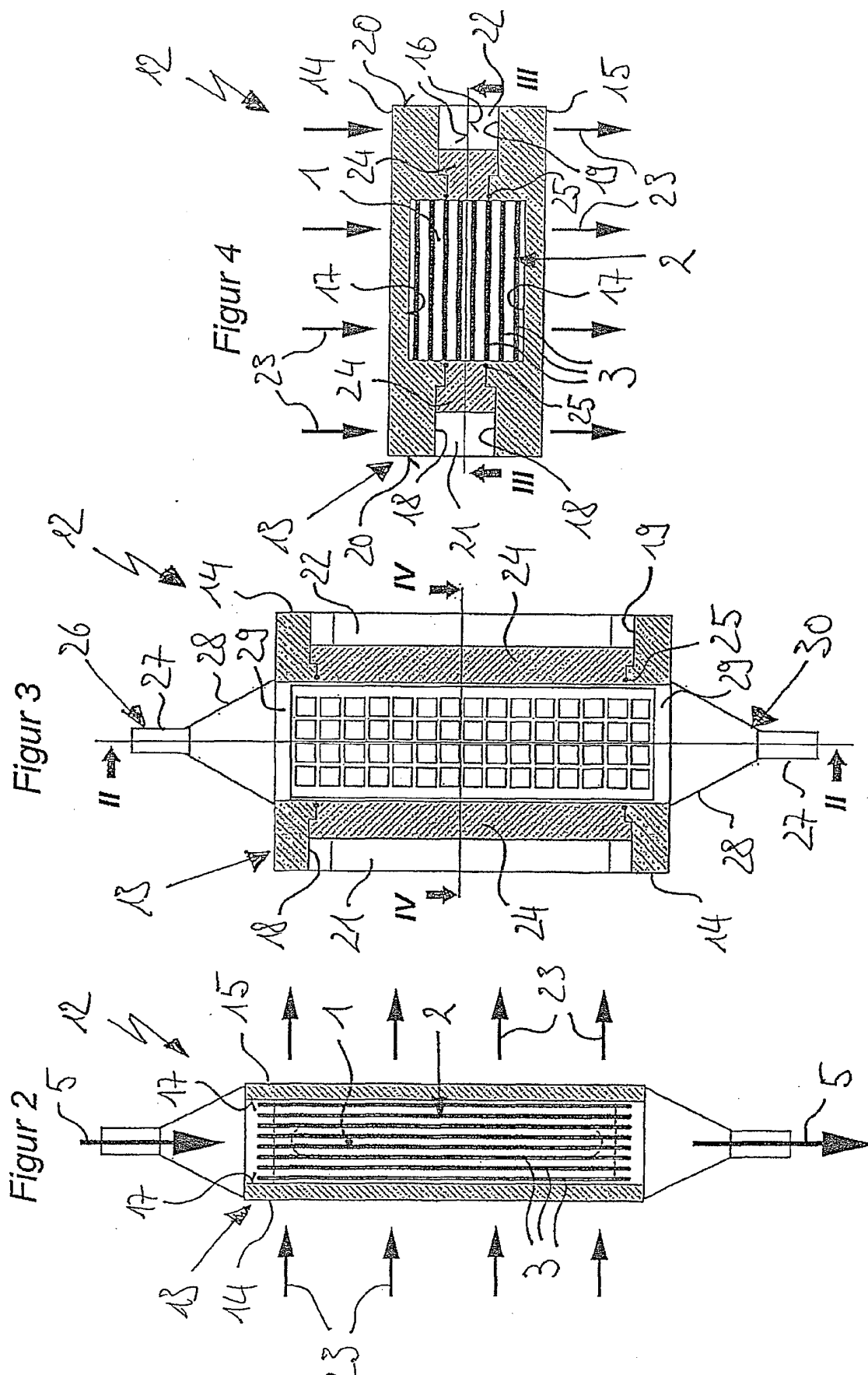
1. Apparatus for depositing magnetic or magnetizable microparticles from a suspension (5) by means of high-gradient magnetic separation,
 - having a separator (12), the housing (13) of which encloses a deposition chamber (1) through which the suspension (5) is able to flow in a predetermined flow direction (5'),
 - having a magnetic or magnetizable deposition matrix (2), which comprises a plurality of surface elements (3), which are arranged with a clear lateral distance from one another in the deposition chamber (1) to form flow spaces (6) for the suspension (5),
 - having an inlet (26) and an outlet (30), via which the suspension (5) is guided into and out of the flow spaces (6), and
 - having a device for generating a magnetic field (23), in which the separator (12) is arranged, **characterized by** an optical measurement de-

- vice (7) and an illumination system (9), wherein the optical lines of sight (8) of the optical measurement device (7) extend into the flow spaces (6) to ascertain the size of the clear distance between the surface elements (3) and the illumination system (9) has at least one light source, the light (10) of which is emittable into the flow spaces (6).
2. Apparatus according to Claim 1, **characterized in that** the surface elements (3) are arranged plane-parallel with respect to one another and parallel to the flow direction (5) and/or the optical lines of sight (8).
 3. Apparatus according to Claim 2, **characterized in that** the magnetic field (23) is aligned perpendicularly to the plane of the surface elements (3).
 4. Apparatus according to Claim 3, **characterized in that** the surface elements (3) have a multiplicity of openings (4).
 5. Apparatus according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the surface elements (3) are connected to one another via holding elements (41) and are fixed in terms of their relative position in relation to the deposition chamber (1).
 6. Apparatus according to Claim 5, **characterized in that** surface elements (3) and holding elements (41) form a unit that is stable in itself and is removable from the deposition chamber (1) as a whole.
 7. Apparatus according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the optical lines of sight (8) of the optical measurement device (7) run perpendicular or parallel to the flow direction (5).
 8. Apparatus according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the housing (13) has at least one first optical window (24) and the optical measurement device (7) is arranged outside the measurement chamber (1) and the optical lines of sight (8) extend through the optical window (24) into the deposition chamber (1).
 9. Apparatus according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the housing (13) has at least one second optical window (24) and the illumination system (9) is arranged outside the deposition chamber (1) and the light (10) is emittable through the second optical window (24) into the deposition chamber (1).
 10. Apparatus according to Claim 8 or 9, **characterized in that** the first and/or second optical windows (24) are embodied to be temperature-resistant for in-situ steam sterilization.
 11. Apparatus according to one of Claims 1 to 10, **characterized in that** the light source of the illumination system (9) is arranged opposite the optical measurement device (7) to generate backlight.
 12. Apparatus according to one of Claims 1 to 11, **characterized in that** the light (10) emitted into the flow spaces (6) is diffuse light.
 13. Apparatus according to one of Claims 1 to 12, **characterized in that** the housing (13) of the separator (12) consists of two side parts, the mutually facing sides (14, 15) of which form the deposition chamber (1).
 14. Apparatus according to one of Claims 1 to 13, **characterized in that** the housing of the separator is monolithically designed, having a through opening to form a deposition chamber.
 15. Apparatus according to one of Patent Claims 1 to 14, **characterized in that** the inlet (26) has a widening (28') that widens in the flow direction (5) to the flow cross section of the deposition chamber (1), wherein a cylindrical longitudinal section (43) having the cross-sectional dimensions of the deposition chamber (1) connects to the longitudinal section (42) that forms the widening (28').
- ### Revendications
1. Dispositif de séparation de microparticules magnétiques ou magnétisables d'une suspension (5) au moyen d'une séparation magnétique à gradient élevé, ledit dispositif comprenant
 - un séparateur (12) dont le boîtier (13) renferme une chambre de séparation (1) à travers laquelle la suspension (5) peut s'écouler dans un sens d'écoulement prédéterminé (5'),
 - une matrice de séparation magnétique ou magnétisable (2) qui comprend une pluralité d'éléments de surface (3) qui sont disposés à une distance latérale intérieure les uns des autres et qui sont disposés dans la chambre de séparation (1) en formant des espaces d'écoulement (6) destinés à la suspension (5),
 - une entrée (26) et une sortie (30) par lesquelles la suspension (5) est guidée dans et hors des espaces d'écoulement (6), et
 - un moyen de génération d'un champ magnétique (23) dans lequel est disposé le séparateur (12), **caractérisé par** un moyen de mesure optique (7) et un système d'éclairage (9), les axes de vision optiques (8) du moyen de mesure optique (7) s'étendant dans les espaces d'écoulement (6), et le système d'éclairage (9) possédant

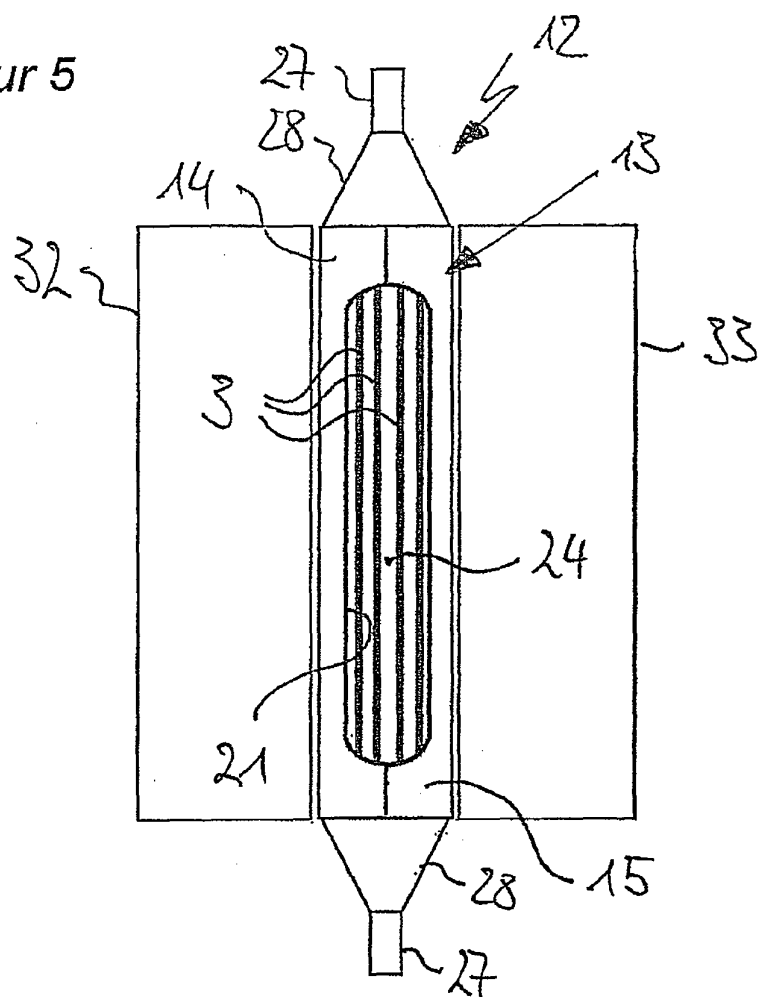
- dant au moins une source de lumière dont la lumière (10) peut être émise dans les espaces d'écoulement (6), afin de déterminer la taille de la distance intérieure entre les éléments de surface (3).
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les éléments de surface (3) sont disposés suivant des plans parallèles les uns par rapport aux autres et parallèlement au sens d'écoulement (5) et/ou aux axes de vision optiques (8). 10
 3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le champ magnétique (23) est dirigé perpendiculairement au plan des éléments de surface (3) . 15
 4. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les éléments de surface (3) possèdent un grand nombre d'ouvertures (4). 20
 5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les éléments de surface (3) sont reliés entre eux par des éléments de retenue (41) et sont fixés dans leur position relative par rapport à la chambre de séparation (1). 25
 6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les éléments de surface (3) et les éléments de retenue (41) forment une unité stable qui peut être retirée entièrement de la chambre de séparation (1). 30
 7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les axes de vision optiques (8) du moyen de mesure optique (7) s'étendent perpendiculairement ou parallèlement au sens d'écoulement (5). 35
 8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le boîtier (13) comporte au moins une première fenêtre optique (24) et le moyen de mesure optique (7) est disposé à l'extérieur de la chambre de mesure (1) et les axes de vision optiques (8) s'étendent à travers la fenêtre optique (24) jusque dans la chambre de séparation (1). 40 45
 9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le boîtier (13) comporte au moins une deuxième fenêtre optique (24) et le système d'éclairage (9) est disposé à l'extérieur de la chambre de séparation (1) et la lumière (10) peut être émise à travers la deuxième fenêtre optique (24) jusque dans la chambre de séparation (1). 50
 10. Dispositif selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** la première et/ou la deuxième fenêtre optique (24) sont conçues pour être résistantes à la température en vue d'une stérilisation à la vapeur 55
- in-situ.
11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** la source de lumière du système d'éclairage (9) est disposée à l'opposé du moyen de mesure optique (7) pour générer un rétro-éclairage. 5
 12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** la lumière (10) émise dans les espaces d'écoulement (6) est une lumière diffuse. 10
 13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le boîtier (13) du séparateur (12) comprend deux parties latérales dont les côtés opposés (14, 15) forment la chambre de séparation (1). 15
 14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le boîtier du séparateur est conçu de manière monolithique avec une ouverture traversante pour former une chambre de séparation. 20
 15. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** l'entrée (26) présente un évasement (28') qui s'élargit dans le sens d'écoulement (5) sur la section transversale d'écoulement de la chambre de séparation (1), la portion longitudinale (42) qui forme l'élargissement (28') se raccordant à une portion longitudinale cylindrique (43) ayant les dimensions en coupe transversale de la chambre de séparation (1). 25 30 35 40 45 50 55

Figur 1

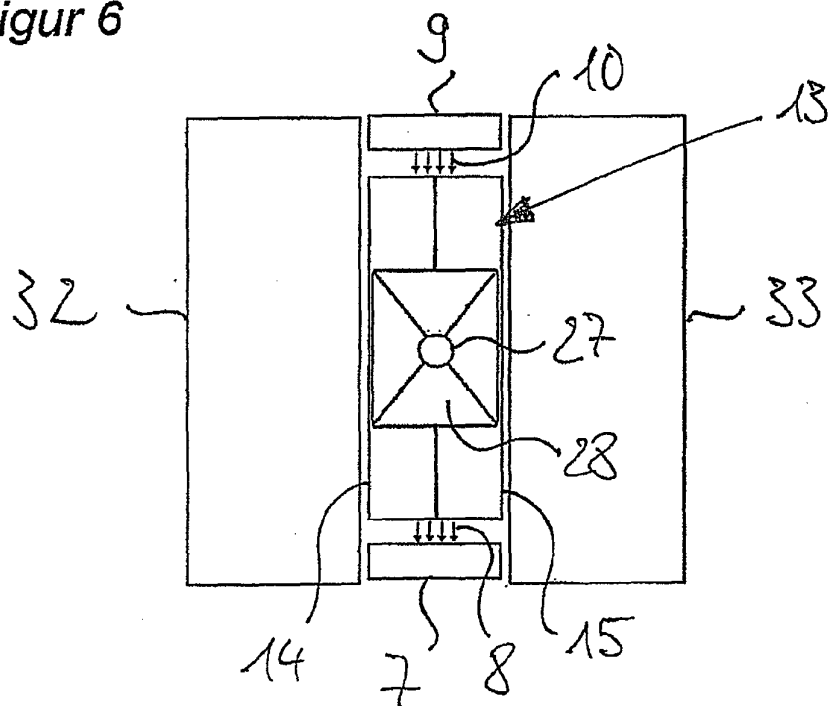




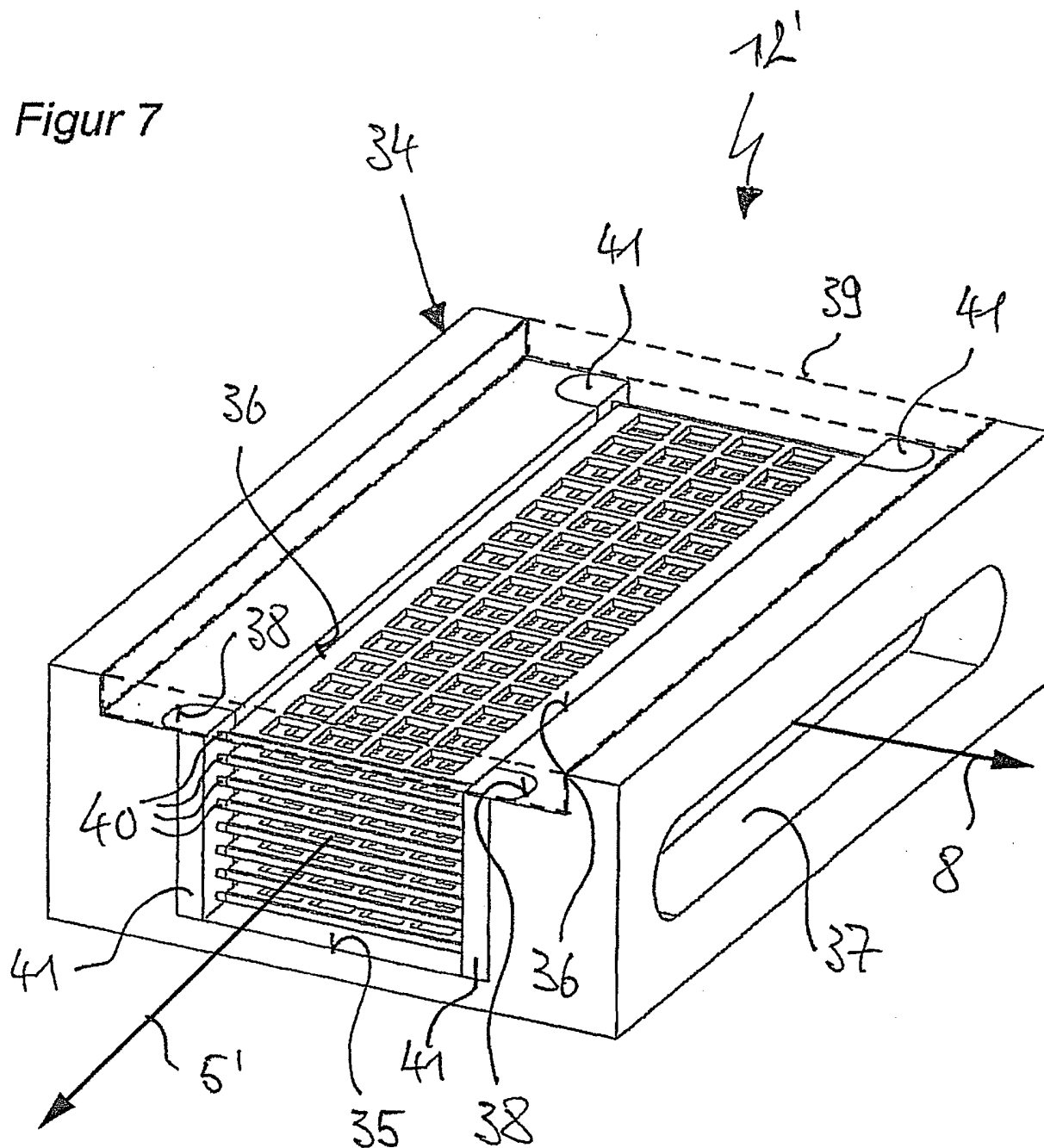
Figur 5



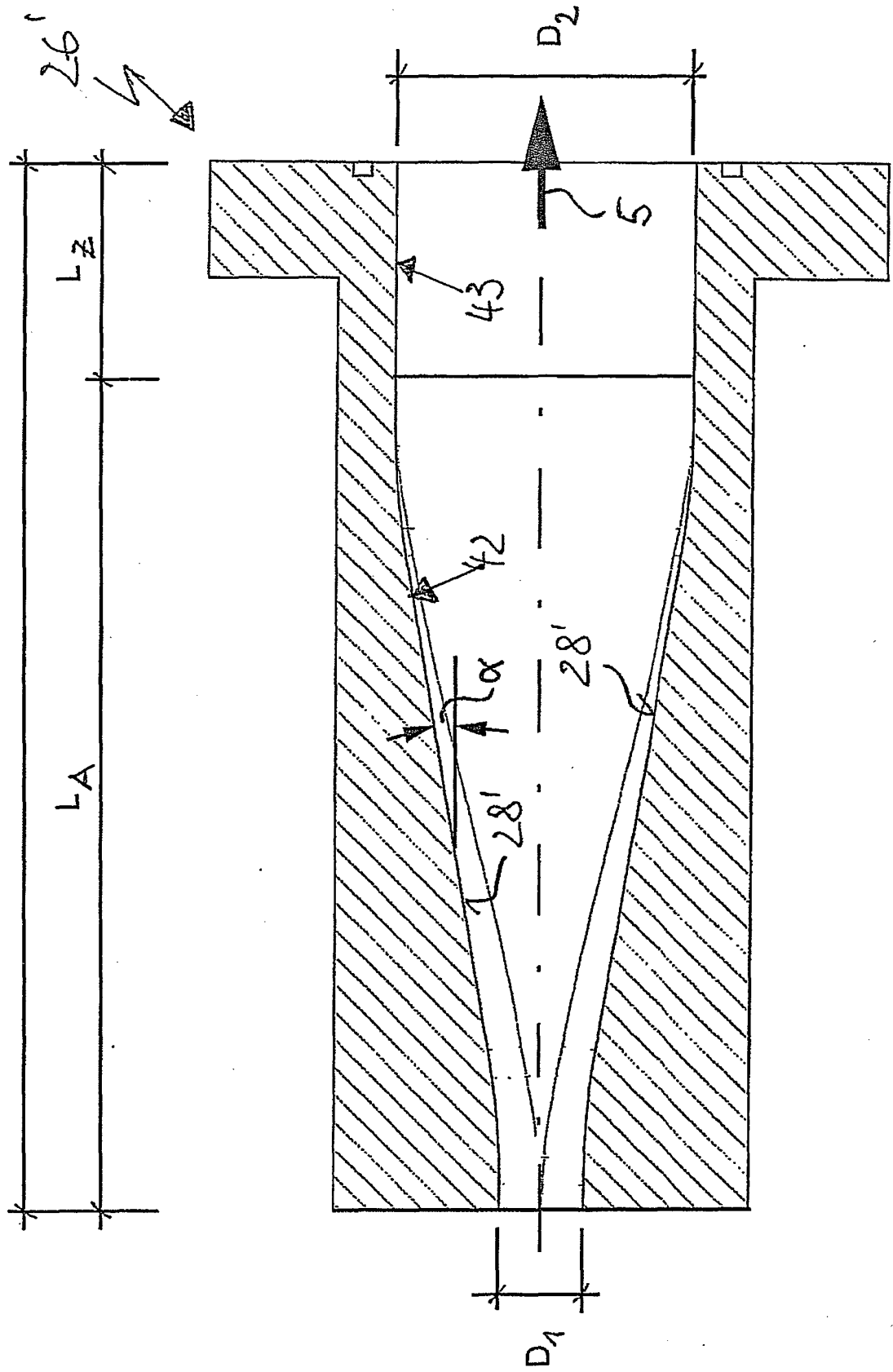
Figur 6



Figur 7



Figur 8



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102005034327 A1 [0003]
- DE 69729101 T2 [0007]
- DE 102004034541 B3 [0008]