



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.09.2011 Patentblatt 2011/39

(51) Int Cl.:
B03C 1/28 (2006.01) B03C 1/033 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10157268.3**

(22) Anmeldetag: **23.03.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK SM TR

• **BASF SE**
67056 Ludwigshafen (DE)

(71) Anmelder:
• **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

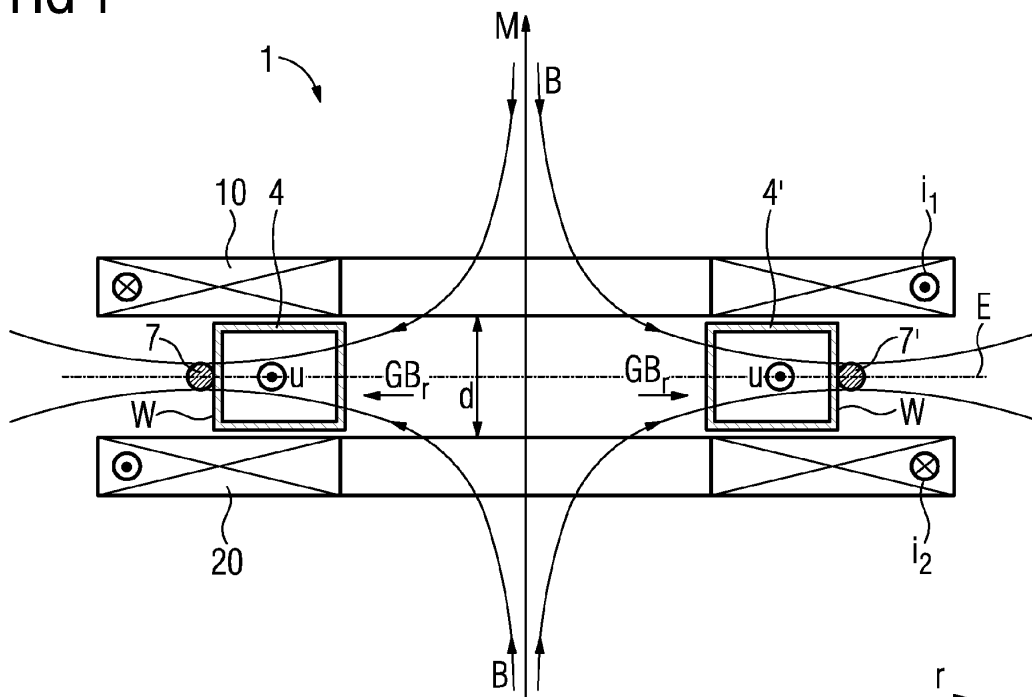
(72) Erfinder:
• **Lins, Günter**
91056, Erlangen (DE)
• **Römheld, Michael**
91080, Uttenreuth (DE)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids, das abzutrennende erste Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält. Die Vorrichtung umfasst mindestens zwei Magnetanordnungen zur Erzeugung von jeweils einer magnetischen Induktion B , die hinsichtlich einer Mittelachse M fluchtend zueinander angeordnet sind, wobei benachbarte Magnetanordnungen eine gegensinnige

Polanordnung aufweisen und in einem Abstand d voneinander beabstandet zur Erzeugung eines Cusp-Felds angeordnet sind. Die Vorrichtung umfasst weiterhin mindestens eine Förderleitung zum Transport des Fluids, deren Leitungslängsachse zumindest im Bereich der Magnetanordnungen auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E zwischen benachbarten Magnetanordnungen hindurch geführt ist. Die mindestens eine Förderleitung weist, in Transportrichtung des Fluids gesehen nach der Mittelachse M , mindestens eine Verzweigung auf.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids, das abzutrennende erste Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält.

[0002] Beispielsweise bei der Gewinnung von Rohstoffen im Bergbau ist es erforderlich, aus dem abgebauten Gestein die gewünschten Wertstoffpartikel abzusondern. Wertstoffpartikel sind bei der Erzgewinnung häufig Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material, welche bereits im Erz enthalten sind, und/oder Partikelagglomerate, welche aus nichtmagnetischen Wertmineralien und zusätzlich hinzu gegebenen magnetischen oder magnetisierbaren Hilfspartikeln entstehen. Als "erste Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material" werden nachfolgend nicht nur bereits im Erz enthaltene Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material, sondern auch solche magnetisch abtrennbare Partikelagglomerate umfassend Hilfspartikel verstanden. Die Wertstoffpartikel bzw. Agglomerate umfassend die Wertstoffpartikel sollen von nicht wertvollen Partikeln aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material abgetrennt werden.

[0003] Als "Erz" wird ein mehr oder weniger mit Gangart verwachsenenes, metallhaltiges Mineral oder Mineralgemenge bezeichnet. Unter dem Begriff "Gangart" werden Begleitmaterialien verstanden, die zusammen mit den Erzmineralien auftreten, wie Quarz, Calcit, Dolomit usw. Bereits im Erz enthaltene Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material, wie Kupfer, Eisen usw., sind in der Regel an nicht-magnetische oder nicht-magnetisierbare Partikel aus Gangart gebunden und sollen von diesen getrennt werden.

[0004] Das Erz wird in der Regel zerkleinert und zu einer Vorrichtung gefördert, welche die Separation der Wertstoffpartikel durchführt. Dazu wird das zerkleinerte Erz meist fluidisiert. Bei dem gebildeten Fluid handelt es sich entweder um eine Suspension, bei der die Erzpartikel in einer Flüssigkeit dispergiert sind, oder um ein Aerosol, bei welchem die Erzpartikel in einem Gas dispergiert sind. Suspensionen, wie sie beispielsweise im Bergbau bei der Gewinnung von Erzen erzeugt werden, werden auch als Schlämme bezeichnet.

[0005] Bei bereits bekannten Verfahren der Magnetseparation bzw. magnetischen Separation wird die Tatsache ausgenutzt, dass in einer geeigneten Magnetfeldanordnung bzw. magnetischen Induktionsanordnung das magnetische oder magnetisierbare Partikel eine Kraft erfährt, die es gegen andere angreifende Kräfte bewegt bzw. festhält. Solche Kräfte sind beispielsweise die Schwerkraft oder hydrodynamische Reibungskräfte in einem strömenden flüssigen Medium. Die in einer magnetischen Induktion B auf ein magnetisches oder magnetisierbares Partikel wirkende magnetische Kraft ist proportional einem Produkt aus der magnetischen Induktion B

und der Komponente des Gradienten der magnetischen Induktion B in Richtung der magnetischen Induktion B.

[0006] Um eine möglichst effektive Trennung der Partikel durchführen zu können, werden Fluide in Form von Suspensionen chemisch vorbehandelt. Insbesondere wird darunter verstanden, nicht-magnetische Wertstoffpartikel aus Erz so zu behandeln, dass sie sich an zusätzlich hinzu gegebene magnetische oder magnetisierbare Hilfspartikel, wie z.B. Magnetit, binden und gemeinsam mit diesen magnetisch abgetrennt werden können. Dazu wird die Oberfläche der nicht-magnetischen Wertstoffpartikel selektiv funktionalisiert, bei sulfidischen Erzen beispielsweise mithilfe von geeigneten Xanthaten. Werden auch die hinzu gegebenen magnetischen oder magnetisierbaren Hilfspartikel in ähnlicher Weise funktionalisiert, so können diese funktionalen Schichten miteinander stabile Bindungen eingehen und daher zur Bildung von stabilen Partikelagglomeraten aus magnetischen bzw. magnetisierbaren Hilfspartikeln und nichtmagnetischen Wertstoffpartikeln führen. Diese Agglomerate können dann wie magnetisierbare Einzelpartikel aus einer Suspension abgetrennt werden.

[0007] Gegenwärtig werden in magnetischen Separatoren sowohl Permanent- als auch Elektromagnete eingesetzt.

[0008] Permanentmagnete finden sich beispielsweise in den weit verbreiteten Trommel-Separatoren, wo sie, in der Trommel umlaufend, auf magnetische oder magnetisierbare Partikel einwirken.

[0009] Die DE 31 20 718 C1 offenbart einen weiteren Trommel-Magnetscheider zum Trennen und Aussortieren von magnetisierbaren Stoffen aus einer magnetisierbaren und nicht-magnetisierbaren Stoffe enthaltenden Mischung, wobei das Magnetsystem des Magnetscheiders ein Wanderfeld erzeugt.

[0010] Ein Einsatz von Elektromagneten ist insbesondere aus der so genannten Hochgradienten-Magnetseparation bekannt, bei welcher magnetisierbare Strukturen, wie Nadeln oder Schneiden, ein Gitter in einer elektrisch erzeugten, oft zunächst homogenen magnetischen Induktion B bilden. Die Gitterstruktur erzeugt eine lokal stark inhomogene magnetische Induktion B mit ausgeprägten Gradienten.

[0011] Die DE 32 47 557 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Hochgradienten-Magnetseparation von feinsten magnetisierbaren Partikeln aus einem strömenden Medium.

[0012] Nachteilig an solchen Hochgradienten-Magnetseparatoren ist es, dass oftmals zur Entnahme der abgetrennten magnetischen oder magnetisierbaren Partikel die magnetische Induktion B abgeschaltet und ein Rückspülvorgang durchgeführt werden muss. Ein kontinuierlicher Betrieb ist dadurch nicht möglich. Es hat sich für den Betrieb von Vorrichtungen zur Magnetseparation inzwischen auch als nachteilig erwiesen, wenn die, die magnetische Induktion B erzeugenden Permanentmagnete oder Elektromagnete während des Abscheidevorgangs mechanisch bewegt werden müssen, da derartige

Vorrichtungen störanfällig sind.

[0013] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Vorrichtung und ein verbessertes Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids bereitzustellen.

[0014] Die Aufgabe wird für die Vorrichtung zur Magnetseparation eines Fluids, das abzutrennende erste Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält, dadurch gelöst, dass die Vorrichtung folgendes umfasst:

- mindestens zwei Magnetanordnungen zur Erzeugung von jeweils einer magnetischen Induktion B , die hinsichtlich einer Mittelachse M fluchtend zueinander angeordnet sind, wobei benachbarte Magnetanordnungen eine gegensinnige Polanordnung aufweisen und in einem Abstand d voneinander beabstandet zur Erzeugung eines Cusp-Felds angeordnet sind, und
- mindestens eine Förderleitung zum Transport des Fluids, deren Leitungslängsachse zumindest im Bereich der Magnetanordnungen auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E zwischen benachbarten Magnetanordnungen hindurchgeführt ist, und
- wobei die mindestens eine Förderleitung, in Transportrichtung des Fluids gesehen nach der Mittelachse M , mindestens eine Verzweigung aufweist.

[0015] Unter einem "ersten Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material" wird hier und nachfolgend nicht nur ein bereits im Erz enthaltener Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material, sondern auch ein Partikelagglomerat verstanden, welches aus mindestens einem nicht-magnetischen Wertstoffpartikel und mindestens einem daran über funktionelle Schichten gebundenen magnetischen oder magnetisierbaren Hilfspartikel gebildet ist.

[0016] Aufgrund der gegensinnigen Polanordnung der Magnetanordnungen wird über einen ausgedehnten räumlichen Bereich eine radiale magnetische Induktion B mit einem, parallel zur Richtung der magnetischen Induktion B gerichteten Gradienten G_B erzeugt. Es wird ein aus der Plasmaphysik bekanntes, so genanntes Cusp-Feld erzeugt. Siehe hierzu beispielsweise F.F. Chen, "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion", Second Edition, Volume 1: Plasma Physics, Plenum Press, New York, 1984, S.45 oder M. Kaneda, T. Tagawa, H. Ozoe, "Convection Induced by a Cusp-Shaped Magnetic Field for Air in a Cube Heated From Above and Cooled From Below", Journal of Heat Transfer, Vol. 124, Feb. 2002, S. 17-25.

[0017] Die Aufgabe wird für das Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids, welches abzutrennende erste Partikel aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält, unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung

gelöst, indem folgende Schritte durchgeführt werden:

- Erzeugen von jeweils einer magnetischen Induktion B mittels der mindestens zwei Magnetanordnungen;
- Hindurchleiten des Fluids durch die mindestens eine Förderleitung zwischen den mindestens zwei Magnetanordnungen, wobei das Fluid in mindestens eine erste Phase enthaltend überwiegend erste Partikel und mindestens eine zweite Phase enthaltend überwiegend zweite Partikel entmischt wird, und
- Separieren der mindestens einen ersten Phase von der mindestens einen zweiten Phase im Bereich der mindestens einen Verzweigung.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren ermöglichen einen kontinuierlichen, störungsfreien Dauerbetrieb bei permanent hoher Trennleistung. Nachdem die Vorrichtung einen besonders einfachen Aufbau und keinerlei bewegte Teile umfasst, ist kein oder nur ein äußerst geringer Wartungsaufwand vorhanden. Der Personalbedarf zum Betreiben einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist daher minimal und die Betriebskosten sind gering. Der Durchsatz an zu trennendem Fluid ist insgesamt hoch, so dass pro Zeiteinheit eine höhere Ausbeute erzielt werden kann als mit den herkömmlichen Magnetseparationsverfahren.

[0019] Es hat sich bewährt, wenn die Magnetanordnungen derart ausgebildet sind, dass diese dem Betrag nach gleich große magnetische Induktionen B erzeugen können. In diesem Fall wird die Leitungslängsachse der mindestens einen Förderleitung bevorzugt im Abstand $d/2$ zwischen benachbarten Magnetanordnungen hindurchgeführt.

[0020] Besonders bevorzugt ist es, wenn ein Leitungsquerschnitt der mindestens einen Förderleitung vollständig in einem Bereich angeordnet ist, in welchem ein Produkt der magnetischen Induktion B der jeweiligen Magnetanordnung und einem Gradienten G_B der jeweiligen magnetischen Induktion B positiv ist, wobei ein Bereich W einer Wandung der Förderleitung, der sich in einem maximalen oder minimalen senkrechten Abstand r von der Mittelachse M befindet, entlang einer Linie P verläuft, an welcher der Gradient G_B der jeweiligen magnetischen Induktion B gleich Null ist. In diesem Fall sammeln sich die ersten Partikel im Bereich W der Wandung der Rohrleitung, ohne dort anhaften zu wollen. Die ersten Partikel können daher auch bei sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten des Fluids mit der mindestens einen ersten Phase abtransportiert werden. Eine regelmäßige Überprüfung der mindestens einen Förderleitung im Hinblick darauf, ob sich deren Leitungsquerschnitt aufgrund sich anlagernder erster Partikel verkleinert hat, beispielsweise mittels einer Druckmessung oder Sichtprüfung, kann vollständig entfallen. Die Effektivität und Leistung des Verfahrens und der Vorrichtung wird gesteigert.

[0021] Im Bereich W der Wandung der Förderleitung ist vorzugsweise mindestens ein Formkörper aus einem

paramagnetischen oder ferromagnetischen Material mit einer Permeabilitätszahl $\mu > 1$ angeordnet. Dies dient einer Erhöhung der magnetischen Feldgradienten im Bereich W der Wandung der Förderleitung und einer Verbesserung der Trennung der ersten Phase von der zweiten Phase. Der Formkörper ist bevorzugt stabförmig ausgebildet und mit seiner Längsachse parallel zur Leitungslängsachse der mindestens einen Förderleitung und in der Ebene E angeordnet.

[0022] Es ist bevorzugt, wenn die Vorrichtung mindestens drei Magnetanordnungen aufweist. Eine solche Hintereinanderschaltung von Magnetanordnungen ermöglicht es, eine zwischen zwei Magnetanordnungen angeordnete Magnetanordnung zweifach zu nutzen, indem jeweils mindestens eine Förderleitung zwischen dieser Magnetanordnung und den beiden, zu dieser benachbart angeordneten, Magnetanordnungen angeordnet werden kann. Dadurch werden die Kosten für die Vorrichtung gesenkt und die Effektivität des Verfahrens gesteigert.

[0023] Die Magnetanordnungen werden in einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung durch Elektromagnete, insbesondere in Form von Magnetringspulen gebildet. Um die geforderte gegensinnige Polanordnung zu erreichen, werden benachbarte Magnetringspulen gegensinnig von Gleichstrom durchflossen. Dabei ist es von Vorteil, wenn für die Gleichströme i_1 , i_2 in zwei benachbart angeordneten Magnetringspulen gilt: $i_1 = -i_2$.

[0024] Die Magnetringspulen sind bevorzugt mit langgestreckten, ovalen Spulenwindungen ausgebildet. Die Leitungslängsachse der mindestens einen Förderleitung ist in diesem Fall vorzugsweise parallel zu einer Oval-Längsseite der Spulenwindungen ausgerichtet, damit eine Einwirkung der magnetischen Induktion B auf das Fluid über eine möglichst lange Wegstrecke erreicht und die Trennleistung verbessert wird.

[0025] Alternativ können die Magnetanordnungen aber auch durch Permanentmagnete gebildet sein. In der Regel handelt es sich hierbei um quaderförmige Blockmagnete mit einer Höhe h, einer Breite b und einer Länge 1, die in Richtung ihrer Höhe h magnetisiert sind. Benachbarte Permanentmagnete werden so angeordnet, dass ihre Nordpole oder Südpole zueinander zeigen. Da Permanentmagnete sich nicht in beliebigen Abmessungen herstellen lassen, wird eine Anzahl n von Magneten der Länge 1 nach aneinandergereiht, um entlang einer Förderleitung eine Einwirkung der magnetischen Induktion B auf das Fluid über eine möglichst lange Wegstrecke zu erreichen.

[0026] Es ist bevorzugt, wenn mindestens zwei Förderleitungen vorhanden sind, deren Leitungslängsachsen im Bereich der Magnetanordnungen auf der senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E, insbesondere im Abstand $d/2$, zwischen den benachbarten Magnetanordnungen hindurch geführt sind. Dadurch wird die Menge an Fluid, welches mittels der Vorrichtung behandelt werden kann, verdoppelt.

[0027] Die mindestens eine Verzweigung der minde-

stens einen Förderleitung ist dazu eingerichtet, mindestens eine erste Phase des Fluids enthaltend überwiegend erste Partikel von mindestens einer zweiten Phase enthaltend überwiegend zweite Partikel abzuweigen. Bevorzugt ist die mindestens eine Förderleitung mittels der mindestens einen Verzweigung in ein erstes Rohr zur Aufnahme der mindestens einen ersten Phase und ein zweites Rohr zur Aufnahme der mindestens einen zweiten Phase unterteilt. Ein Rohrquerschnitt des ersten Rohres ist dabei insbesondere proportional zur gebildeten Menge an erster Phase. Um eine feinere Aufteilung des entmischten Fluids zu erhalten, kann die Verzweigung die Förderleitung selbstverständlich auch in mehr als zwei Rohre aufspalten.

[0028] Insbesondere ist ein Querschnittsumfang der mindestens einen Förderleitung in Form eines Rechtecks ausgebildet, wobei eine Längsseite des Rechtecks parallel zur Ebene E ausgerichtet ist. Dies unterstützt eine gezielte Entmischung des Fluids in erste und zweite Phasen, insbesondere wobei sich eine erste Phase gut abtrennen im Bereich W der Wandung der Förderleitung sammelt.

[0029] Eine Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Magnetseparation von magnetischen oder magnetisierbaren ersten Partikeln umfassend Erz von nicht-magnetischen oder nicht-magnetisierbaren zweiten Partikeln aus Gangart ist ideal.

[0030] Die Figuren 1 bis 6 sollen die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren beispielhaft erläutern.

So zeigen:

FIG 1 eine erste Vorrichtung mit zwei Magnetanordnungen in Form von Magnetringspulen im Querschnitt;

FIG 2 einen vergrößerten Ausschnitt aus der ersten Vorrichtung im Bereich einer der beiden Förderleitungen während der Magnetseparation;

FIG 3 die erste Vorrichtung in der Draufsicht auf einen Schnitt im Bereich der Ebene E;

FIG 4 eine zweite Vorrichtung mit Magnetanordnungen in Form von Permanentmagneten im Querschnitt;

FIG 5 einen Ausschnitt aus der zweiten Vorrichtung gemäß FIG 4 in einer dreidimensionalen Ansicht; und

FIG 6 eine dritte Vorrichtung mit drei Magnetanordnungen in Form von Magnetringspulen im Querschnitt.

[0031] FIG 1 zeigt im Querschnitt eine erste Vorrichtung 1 zur Magnetseparation eines Fluids 2, das abtrennende erste Partikel 3a aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel 3b aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält (siehe auch FIG 2). Die erste Vorrichtung 1 umfasst zwei gleichartige Magnetanordnungen 10, 20 in Form von Elektromagneten, hier in Form von Magne-

tringspulen, zur Erzeugung von jeweils einer magnetischen Induktion B . Die beiden Magnetanordnungen 10, 20 sind in einem Abstand d voneinander beabstandet und hinsichtlich einer Mittelachse M fluchtend zueinander angeordnet, wobei eine gegensinnige Polanordnung vorliegt. Diese wird dadurch erzeugt, dass die Magnettringspulen gegensinnig von den Strömen i_1 , i_2 durchströmt werden. Auf eine Darstellung der notwendigen Stromanschlüsse für die Magnettringspulen wurde hier und nachfolgend der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

[0032] Vorzugsweise gilt hier $i_1 = -i_2$. In diesem Fall sind die von den Magnettringspulen erzeugten magnetischen Induktionen B dem Betrag nach gleich und im Bereich der Mittelachse M einander entgegen gerichtet. Die Nordpole der Magnetanordnungen 10, 20 zeigen jeweils zu den Förderleitungen 4, 4', welche zwischen den beiden Magnetanordnungen 10, 20 angeordnet sind. Es bildet sich ein Cusp-Feld aus. Mit zunehmendem Abstand r von der Mittelachse M besitzen die magnetischen Induktionen B , insbesondere im Bereich zwischen den Magnettringspulen, überwiegend radiale Komponenten, wobei die magnetische Induktion B zunächst einen in radialer Richtung positiven Gradienten G_{Br} aufweist. Mit zunehmendem Abstand r von der Mittelachse M wird eine Linie P erreicht, an welcher der Gradient $G_{Br} = 0$ ist. Danach wechselt der Gradient G_{Br} das Vorzeichen und wird negativ.

[0033] Die beiden Förderleitungen 4, 4' dienen zum Transport eines Fluids 2, hier beispielsweise einer Suspension auf Wasserbasis enthaltend die ersten und zweiten Partikel 3a, 3b, ausgehend von der Blattebene in Richtung des Betrachters, mit einer Geschwindigkeit u . Die Leitungslängsachsen L_{FL} , L_{FL}' der Förderleitungen 4, 4' (vergleiche FIG 3) sind im Bereich der Magnetanordnungen 10, 20 auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E im Abstand $d/2$ zwischen den benachbarten Magnetanordnungen 10, 20 hindurch geführt. Der Leitungsquerschnitt der jeweiligen Förderleitung 4, 4' ist vollständig in einem Bereich angeordnet, in welchem ein Produkt der magnetischen Induktion B der jeweiligen Magnetanordnung 10, 20 und einem Gradienten G_{Br} der jeweiligen magnetischen Induktion B positiv ist.

[0034] Ein Bereich W der Wandung der Förderleitung 4, 4', der sich in einem maximalen senkrechten Abstand von der Mittelachse M befindet, verläuft entlang einer Linie P , an welcher der Gradient G_{Br} der jeweiligen magnetischen Induktion B gleich Null ist.

[0035] Im Bereich W der Wandung der Förderleitungen 4, 4' ist zur Erhöhung der magnetischen Feldgradienten ein Formkörper 7, 7' aus einem paramagnetischen oder ferromagnetischen Material mit einer Permeabilitätszahl $\mu > 1$ angeordnet. Der Formkörper 7, 7' ist stabförmig ausgebildet und mit seiner Längsachse parallel zur Leitungslängsachse L_{FL} , L_{FL}' der Förderleitungen 4, 4' und in der Ebene E angeordnet.

[0036] FIG 2 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus der ersten Vorrichtung 1 im Bereich der Förderleitung 4'

rechts im Bild im Betrieb der ersten Vorrichtung 1. Während der Magnetseparation mittels der ersten Vorrichtung 1 werden die Magnetanordnungen 10, 20 gegensinnig von Strom $i_1 = -i_2$ durchflossen und die magnetischen Induktionen B bilden das Cusp-Feld aus. Das Fluid 2 wird durch die Förderleitungen 4, 4' gefördert, wobei es mit der Geschwindigkeit u zwischen den beiden Magnetanordnungen 10, 20 hindurch bewegt wird. Das Fluid 2 strömt dabei in den Förderleitungen 4, 4' in gleicher Richtung. Dabei wird das Fluid 2 in eine erste Phase 2a enthaltend überwiegend erste Partikel 3a und eine zweite Phase 2b enthaltend überwiegend zweite Partikel 3b entmischt. Die radial nach außen gerichtete magnetische Kraft bewirkt, dass die ersten Partikel 3a sich im Bereich W der Wandung der jeweiligen Förderleitung 4, 4' sammeln, der sich in maximalem senkrechtem Abstand r von der Mittelachse M befindet. Da die magnetische Kraft hier näherungsweise gleich Null ist bzw. $G_{Br} = 0$ ist, kommt es nicht zu einer Anlagerung der ersten Partikel an der Wandung der Förderleitungen 4, 4' im Bereich W . Vielmehr wird die erste Phase 2a mit den ersten Partikeln 3a mit der Strömung weitertransportiert. Dabei liegt insbesondere eine laminare Strömung in den Förderleitungen 4, 4' vor, um eine erneute Durchmischung der bereits getrennten ersten und zweiten Phasen 2a, 2b zu verhindern. Nun kann die erste Phase 2a mechanisch von der zweiten Phase 2b separiert werden. FIG 3 zeigt die erste Vorrichtung 1 in der Draufsicht auf die Förderleitungen 4, 4' und eine der Magnetanordnungen 20, geschnitten in der Ebene E . Es ist erkennbar, dass die Magnettringspulen mit langgestreckten, ovalen Spulenwindungen ausgebildet sind und die Leitungslängsachsen L_{FL} , L_{FL}' der beiden Förderleitungen 4, 4' parallel zu einer Oval-Längsseite der Spulenwindungen ausgerichtet sind. Dadurch ist gewährleistet, dass die magnetischen Induktionen B über eine möglichst große Wegstrecke in den Förderleitungen 4, 4' auf das jeweils hindurch strömende Fluid 2 einwirken.

[0037] Die Förderleitungen 4, 4' weisen, in Transportrichtung des Fluids 2 gesehen nach der Mittelachse M , hier zudem nach Verlassen des Zwischenraums zwischen den Magnetanordnungen 10, 20, je eine Verzweigung 6, 6' auf. Dort werden die Förderleitungen 4, 4' jeweils in ein erstes Rohr 5a, 5a' zur Aufnahme einer ersten Phase 2a und ein zweites Rohr 5b, 5b' zur Aufnahme einer zweiten Phase 2b unterteilt. Ein Rohrquerschnitt des ersten Rohres 5a, 5a' ist dabei bevorzugt proportional zur gebildeten Menge an erster Phase 2a, um eine möglichst genaue Abtrennung der ersten Phase 2a (siehe FIG 2) zu gewährleisten.

[0038] FIG 4 zeigt eine zweite Vorrichtung 1' mit Magnetanordnungen 100, 200 in Form von baugleichen Permanentmagneten im Querschnitt. Die quaderförmigen, sogenannten Blockmagnete mit einer Höhe h , einer Breite b und einer Länge l sind in Richtung der Höhe h magnetisiert und so angeordnet, dass ihre magnetischen Nordpole N einander gegenüber liegen und die magnetischen Südpole S voneinander abgewandt sind. Die

Konfiguration der magnetischen Induktionen B entspricht der der ersten Vorrichtung 1 gemäß FIG 1. Auch die Funktionsweise der zweiten Vorrichtung 1' ist analog zu der der ersten Vorrichtung 1.

[0039] Da Blockmagnete sich nicht in beliebigen Abmessungen herstellen lassen, wird eine Anzahl n von Magneten der Länge 1 in Längsrichtung, d.h. parallel zur Ebene E, aneinander gereiht, so dass Magnetanordnungen 100, 200 der Gesamtlänge $L_g = n \cdot 1$ entstehen. Siehe hierzu FIG 5, welche zur Verdeutlichung eine solche Anordnung bzw. einen Ausschnitt aus der zweiten Vorrichtung gemäß FIG 4 in einer dreidimensionalen Ansicht zeigt. Dabei wurde zur besseren Übersicht auf die Darstellung des Formkörpers 7' aus paramagnetischem oder ferromagnetischem Material verzichtet. Die Magnetanordnung 100 setzt sich gemäß FIG 5 aus $n = 2$ Permanentmagneten 100a, 100b mit jeweils der Länge 1 zusammen. Die Magnetanordnung 200 setzt sich gemäß FIG 5 aus $n = 2$ Permanentmagneten 200a, 200b mit jeweils der Länge 1 zusammen.

[0040] FIG 6 zeigt im Querschnitt eine dritte Vorrichtung 1'' zur Magnetseparation eines Fluids 2, das abzutrennende erste Partikel 3a aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel 3b aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält (siehe auch FIG 2). Die dritte Vorrichtung 1'' umfasst drei Magnetanordnungen 10, 20, 30 in Form von Elektromagneten, hier in Form von Magnetringspulen, zur Erzeugung von jeweils einer magnetischen Induktion B. Die Magnetanordnungen 10, 20, 30 sind jeweils in einem Abstand d voneinander beabstandet und hinsichtlich einer Mittelachse M fluchtend zueinander angeordnet, wobei eine gegensinnige Polanordnung zur Erzeugung von Cusp-Feldern vorliegt. Dies wird dadurch erreicht, dass die Magnetringspulen gegensinnig von den Strömen i_1, i_2, i_3 durchströmt werden. Vorzugsweise gilt hier: $i_1 = -i_2 = i_3$. In diesem Fall sind die von den Magnetringspulen erzeugten magnetischen Induktionen B dem Betrag nach gleich und im Bereich der Mittelachse M einander entgegen gerichtet. Somit zeigen die Nordpole der Magnetanordnungen 10, 20 jeweils zu den Förderleitungen 4, 4', welche zwischen den beiden Magnetanordnungen 10, 20 angeordnet sind. Die obere Hälfte der dritten Vorrichtung 1'' umfassend die Magnetanordnungen 10, 20 entspricht somit dem Aufbau gemäß den FIGen 1 bis 3. Mit zunehmendem Abstand r von der Mittelachse M besitzen die magnetischen Induktionen B der Magnetanordnungen 10, 20, insbesondere im Bereich zwischen den Magnetringspulen, überwiegend radiale Komponenten, wobei die magnetische Induktion B zunächst einen in radialer Richtung positiven Gradienten GBr aufweist. Mit zunehmendem Abstand r von der Mittelachse M wird eine Linie P erreicht, an der der Gradient GBr = 0 ist. Danach wechselt der Gradient GBr das Vorzeichen und wird negativ.

[0041] Dagegen zeigen zu den Förderleitungen 40, 40', welche zwischen den beiden Magnetanordnungen 20, 30 angeordnet sind, die Südpole der Magnetanord-

nungen 20, 30. Mit abnehmendem Abstand r von der Mittelachse M besitzen die magnetischen Induktionen B der Magnetanordnungen 20, 30, insbesondere im Bereich zwischen den Magnetspulen, überwiegend in Richtung der Mittelachse M zeigende Komponenten, wobei die magnetische Induktion B zunächst einen positiven Gradienten GBr aufweist. Mit abnehmendem Abstand r von der Mittelachse M wird eine Linie P erreicht, an welcher der Gradient GBr = 0 ist. Danach wechselt der Gradient GBr das Vorzeichen und wird negativ.

[0042] Die vier Förderleitungen 4, 4'; 40, 40' dienen zum Transport eines Fluids 2, hier beispielsweise einer Suspension auf Wasserbasis, ausgehend von der Blattebene in Richtung des Betrachters, mit einer Geschwindigkeit u. Die Leitungslängsachsen L_{FL}, L_{FL}' der Förderleitungen 4, 4' (vergleiche FIG 3) sind im Bereich der Magnetanordnungen 10, 20 auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E im Abstand d/2 zwischen den benachbarten Magnetanordnungen 10, 20 hindurch geführt. Die nicht dargestellten Leitungslängsachsen der Förderleitungen 40, 40' sind im Bereich der Magnetanordnungen 20, 30 auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten weiteren Ebene E im Abstand d/2 zwischen den benachbarten Magnetanordnungen 20, 30 hindurch geführt.

[0043] Der Leitungsquerschnitt der jeweiligen Förderleitung 4, 4'; 40, 40' ist vollständig in einem Bereich angeordnet, in welchem ein Produkt der magnetischen Induktion B der jeweiligen Magnetanordnung 10, 20; 20, 30 und einem Gradienten GBr der jeweiligen magnetischen Induktion B positiv ist. Die Bereiche W der Wandungen der Förderleitungen 4, 4', der sich in einem maximalen senkrechten Abstand r von der Mittelachse M befinden, verlaufen entlang der Linie P, an welcher der Gradient GBr der jeweiligen magnetischen Induktion B gleich Null ist. Die Bereiche W der Wandungen der Förderleitungen 40, 40', der sich in einem minimalen senkrechten Abstand r von der Mittelachse M befinden, verlaufen entlang der Linie P, an welcher der Gradient GBr der jeweiligen magnetischen Induktion B gleich Null ist.

[0044] Zeigen also die Nordpole zweier benachbarter Magnetanordnungen zueinander, so zeigt der Bereich W der Wandung der Förderleitung(en), der entlang der Linie P verläuft, von der Mittelachse M weg und befindet sich in maximalem Abstand r von dieser. Zeigen dagegen die Südpole zweier benachbarter Magnetanordnungen zueinander, so zeigt der Bereich W der Wandung der Förderleitung, der entlang der Linie P verläuft, zu der Mittelachse M hin und befindet sich in minimalem Abstand r von dieser. Bei einer Anzahl an hintereinander geschalteten Magnetanordnungen mit gegensinniger Polanordnung liegen im Querschnitt gesehen die Leitungsquerschnitte der Förderleitungen von der Mittelachse M gesehen einmal innerhalb der Linie P und einmal außerhalb der Linie P.

[0045] Die Figuren 1 bis 6 zeigen lediglich Beispiele für erfindungsgemäße Vorrichtungen und Verfahren. So kann eine Vorrichtung eine beliebige Anzahl an Magne-

tanordnungen in Form von Elektromagneten oder alternativ Permanentmagneten aufweisen. Auch eine Kombination von Magnetanordnungen in Form von Elektromagneten und Permanentmagneten ist verwendbar, wenn diese mit gegensinniger Polanordnung betrieben werden und bevorzugt eine dem Betrag nach in etwa gleiche magnetische Induktion B liefern. Formkörper aus einem paramagnetischen oder ferromagnetischen Material mit einer Permeabilitätszahl $\mu > 1$ können sowohl bei Vorrichtungen eingesetzt werden, die Magnetanordnungen in Form von Elektromagneten aufweisen, wie in den Figuren 1, 3 und 6 dargestellt, als auch bei Vorrichtungen eingesetzt werden, die Magnetanordnungen in Form von Permanentmagneten aufweisen, wie in den Figuren 4 und 5 dargestellt. Weiterhin ist die Form der Elektromagneten oder Permanentmagnete weitgehend frei wählbar, wobei es allerdings zur Verbesserung der Trennleistung der Vorrichtung und des Verfahrens bevorzugt ist, den Bereich W der Wandung der mindestens einen Förderleitung über eine möglichst lange Wegstrecke entlang der Linie P zu führen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1, 1', 1'') zur Magnetseparation eines Fluids (2), das abzutrennende erste Partikel (3a) aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel (3b) aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält, umfassend
 - mindestens zwei Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) zur Erzeugung von jeweils einer magnetischen Induktion B , die hinsichtlich einer Mittelachse M fluchtend zueinander angeordnet sind, wobei benachbarte Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) eine gegensinnige Polanordnung aufweisen und in einem Abstand d voneinander beabstandet zur Erzeugung eines Cusp-Felds angeordnet sind, und
 - mindestens eine Förderleitung (4, 4', 40, 40') zum Transport des Fluids (2), deren Leitungslängsachse (L_{FL} , L_{FL}') zumindest im Bereich der Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) auf einer senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E zwischen benachbarten Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) hindurch geführt ist, und
 - wobei die mindestens eine Förderleitung (4, 4', 40, 40'), in Transportrichtung des Fluids (2) gesehen nach der Mittelachse M , mindestens eine Verzweigung (6, 6') aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Förderleitung (4, 4', 40, 40') im Abstand $d/2$ zwischen benachbarten Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) hindurch geführt

ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei ein Leitungsquerschnitt der mindestens einen Förderleitung (4, 4', 40, 40') vollständig in einem Bereich angeordnet ist, in welchem ein Produkt der magnetischen Induktion B der jeweiligen Magnetanordnung (10, 20, 30; 100, 200) und einem Gradienten G_B der jeweiligen magnetischen Induktion B positiv ist, und wobei ein Bereich W einer Wandung der Förderleitung (4, 4', 40, 40'), der sich in einem maximalen oder minimalen senkrechten Abstand r von der Mittelachse M befindet, entlang einer Linie P verläuft, an welcher der Gradient G_B der jeweiligen magnetischen Induktion B gleich Null ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei im Bereich W der Wandung der Förderleitung (4, 4') mindestens ein Formkörper (7, 7') aus einem paramagnetischen oder ferromagnetischen Material mit einer Permeabilitätszahl $\mu > 1$ angeordnet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei der Formkörper (7, 7') stabförmig ausgebildet und mit seiner Längsachse parallel zur Leitungslängsachse (L_{FL} , L_{FL}') der mindestens einen Förderleitung (4, 4') und in der Ebene E angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei mindestens drei Magnetanordnungen (10, 20, 30) vorhanden sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Magnetanordnungen (10, 20, 30) durch Elektromagnete, insbesondere Magnetringspulen, gebildet sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Magnetringspulen mit langgestreckten, ovalen Spulenwindungen ausgebildet sind und die Leitungslängsachse (L_{FL} , L_{FL}') der mindestens einen Förderleitung (4, 4') parallel zu einer Oval-Längsseite ausgerichtet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Magnetanordnungen (100, 200) durch Permanentmagnete gebildet sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei mindestens zwei Förderleitungen (4, 4') vorhanden sind, deren Leitungslängsachsen (L_{FL} , L_{FL}') im Bereich der Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) auf der senkrecht zu der Mittelachse M ausgerichteten Ebene E zwischen den benachbarten Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200) hindurch geführt sind.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

wobei die mindestens eine Verzweigung (6, 6') der mindestens einen Förderleitung (4, 4', 40, 40') dazu eingerichtet ist, eine erste Phase (2a) des Fluids (2) enthaltend überwiegend erste Partikel (3a) von einer zweiten Phase (2b) enthaltend überwiegend zweite Partikel (3b) abzuzweigen. 5

gnetisierbaren zweiten Partikeln aus Gangart.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die mindestens eine Förderleitung (4, 4') mittels der mindestens einen Verzweigung (6, 6') in ein erstes Rohr (5a, 5a') zur Aufnahme der ersten Phase (2a) und ein zweites Rohr (5b, 5b') zur Aufnahme der zweiten Phase (2b) unterteilt ist, insbesondere wobei ein Rohrquerschnitt des ersten Rohres (5a, 5a') proportional zur gebildeten Menge an erster Phase (2a) ist. 10 15

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei ein Querschnittsumfang der mindestens einen Förderleitung (4, 4', 40, 40') in Form eines Rechtecks ausgebildet ist, wobei eine Längsseite des Rechtecks parallel zur Ebene E ausgerichtet ist. 20

14. Verfahren zur Magnetseparation eines Fluids (2), welches abzutrennende erste Partikel (3a) aus magnetischem oder magnetisierbarem Material und weiterhin zweite Partikel (2b) aus nicht-magnetischem oder nicht-magnetisierbarem Material enthält, unter Verwendung einer Vorrichtung (1, 1', 1'') nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte: 25 30

- Erzeugen von jeweils einer magnetischen Induktion B mittels der mindestens zwei Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200); 35
- Hindurchleiten des Fluids (2) **durch** die mindestens eine Förderleitung (4, 4', 40, 40') zwischen den mindestens zwei Magnetanordnungen (10, 20, 30; 100, 200), wobei sich das Fluid (2) in mindestens eine erste Phase (2a) enthaltend überwiegend erste Partikel (3a) und mindestens eine zweite Phase (2b) enthaltend überwiegend zweite Partikel (3b) entmischt, und 40
- Separieren der mindestens einen ersten Phase (2a) von der mindestens einen zweiten Phase (2b) im Bereich der mindestens einen Verzweigung (6, 6'). 45

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Magnetanordnungen (10, 20, 30) in Form von Magnetringspulen eingesetzt werden und wobei benachbarte Magnetringspulen gegensinnig von Gleichstrom (i_1 , i_2 , i_3) durchflossen werden. 50

16. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Magnetseparation von magnetischen oder magnetisierbaren ersten Partikeln umfassend Erz von nicht-magnetischen oder nicht-ma- 55

FIG 1

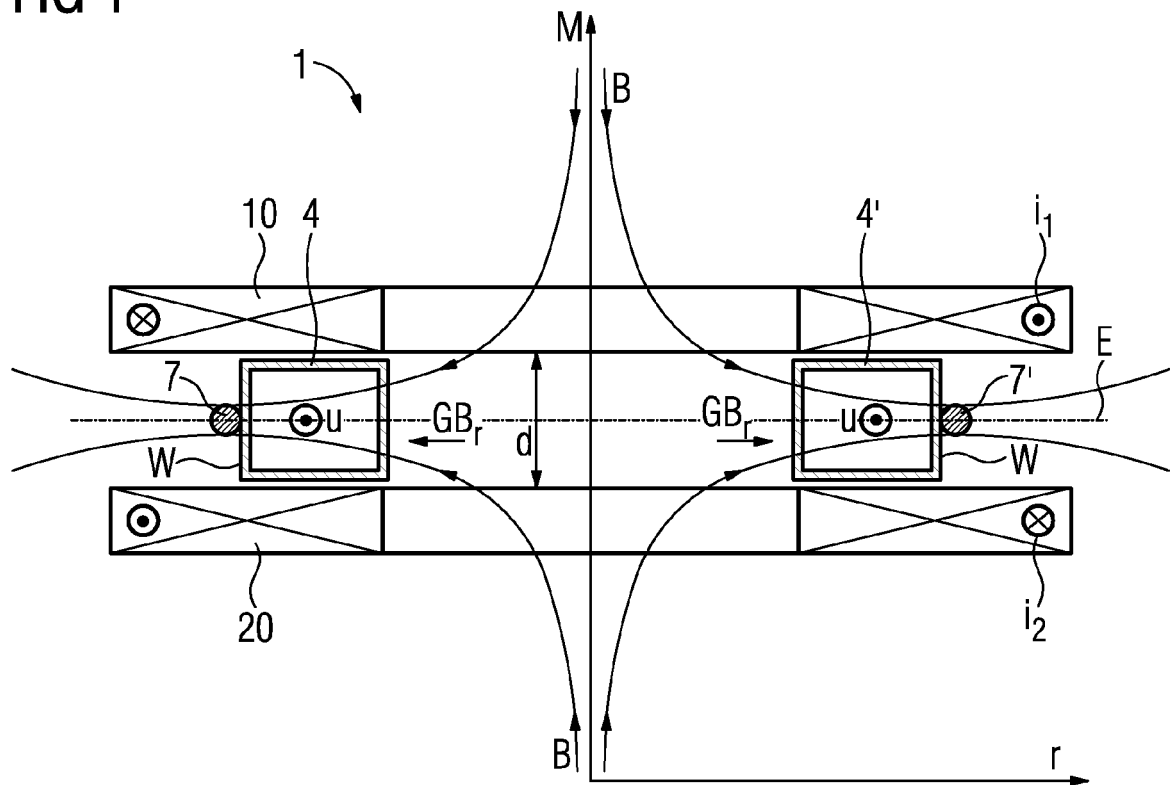


FIG 2

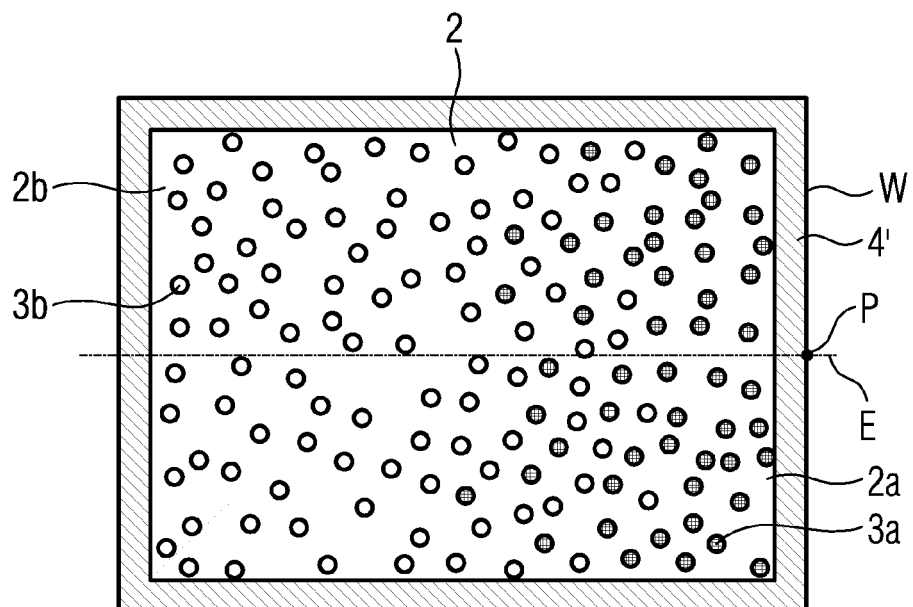


FIG 3

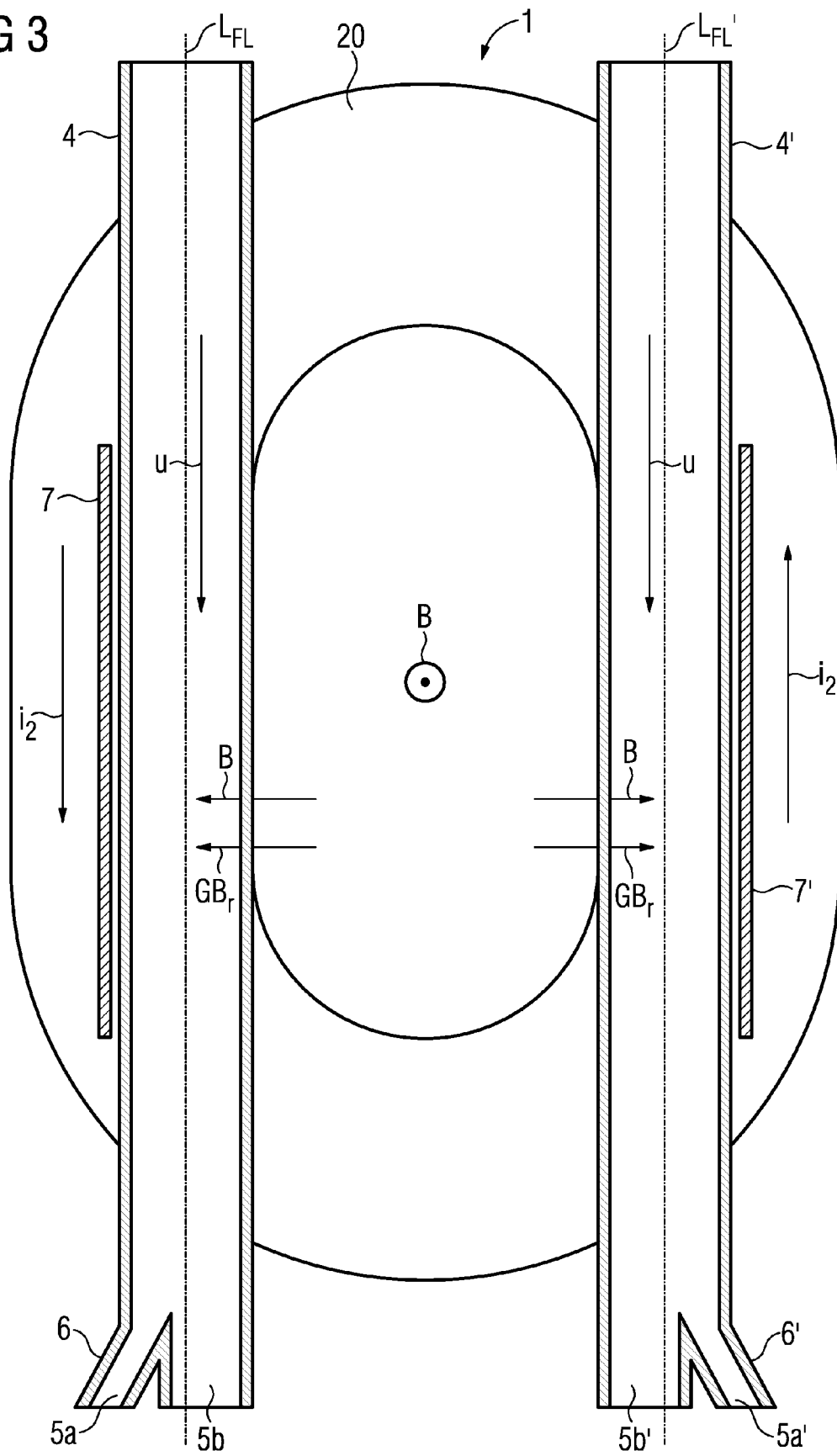


FIG 4

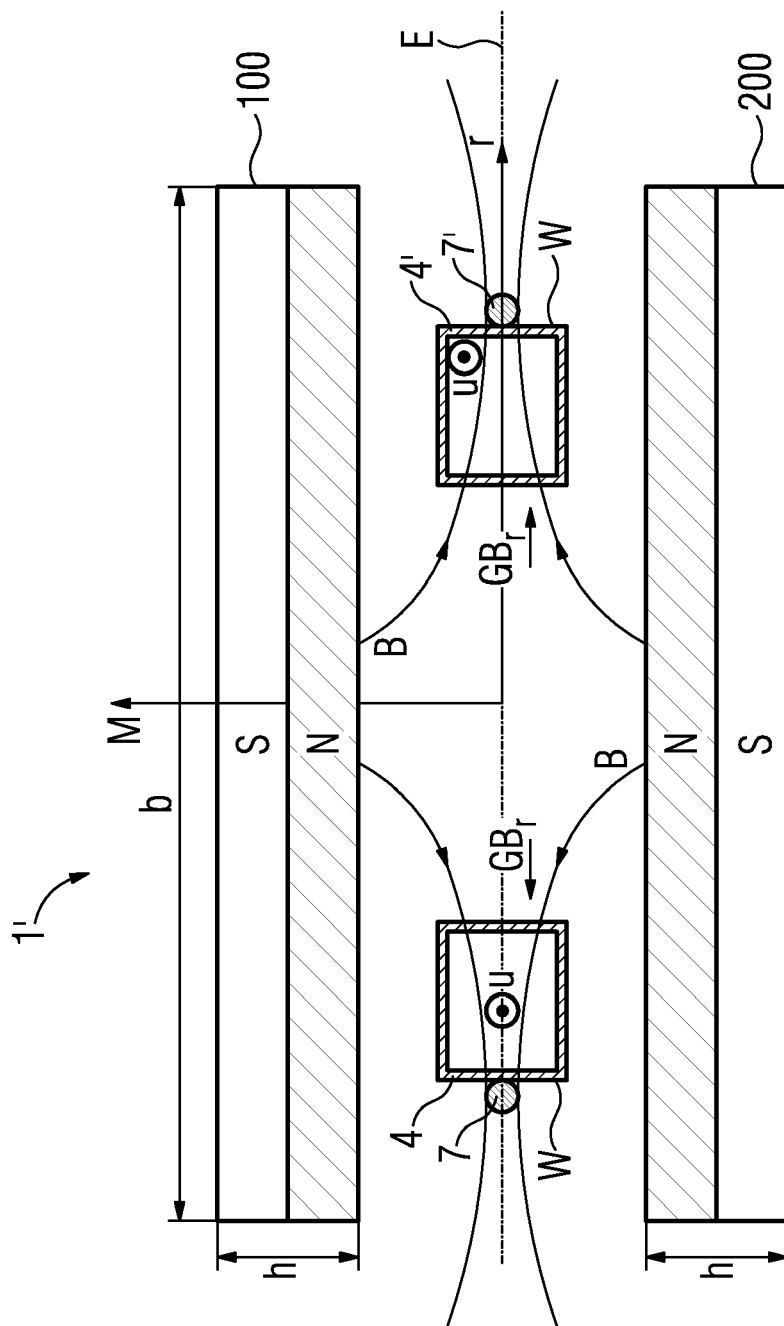


FIG 5

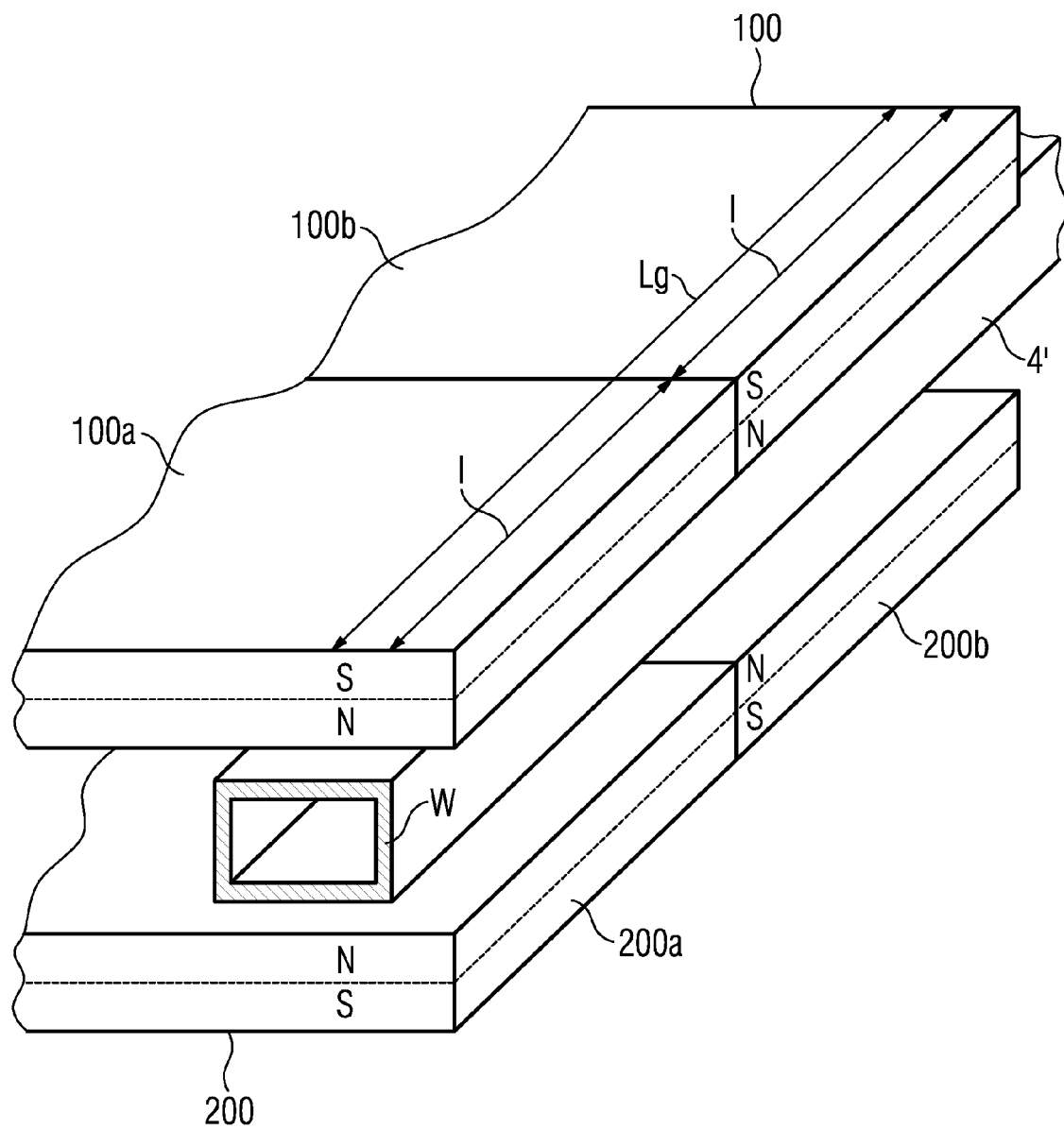
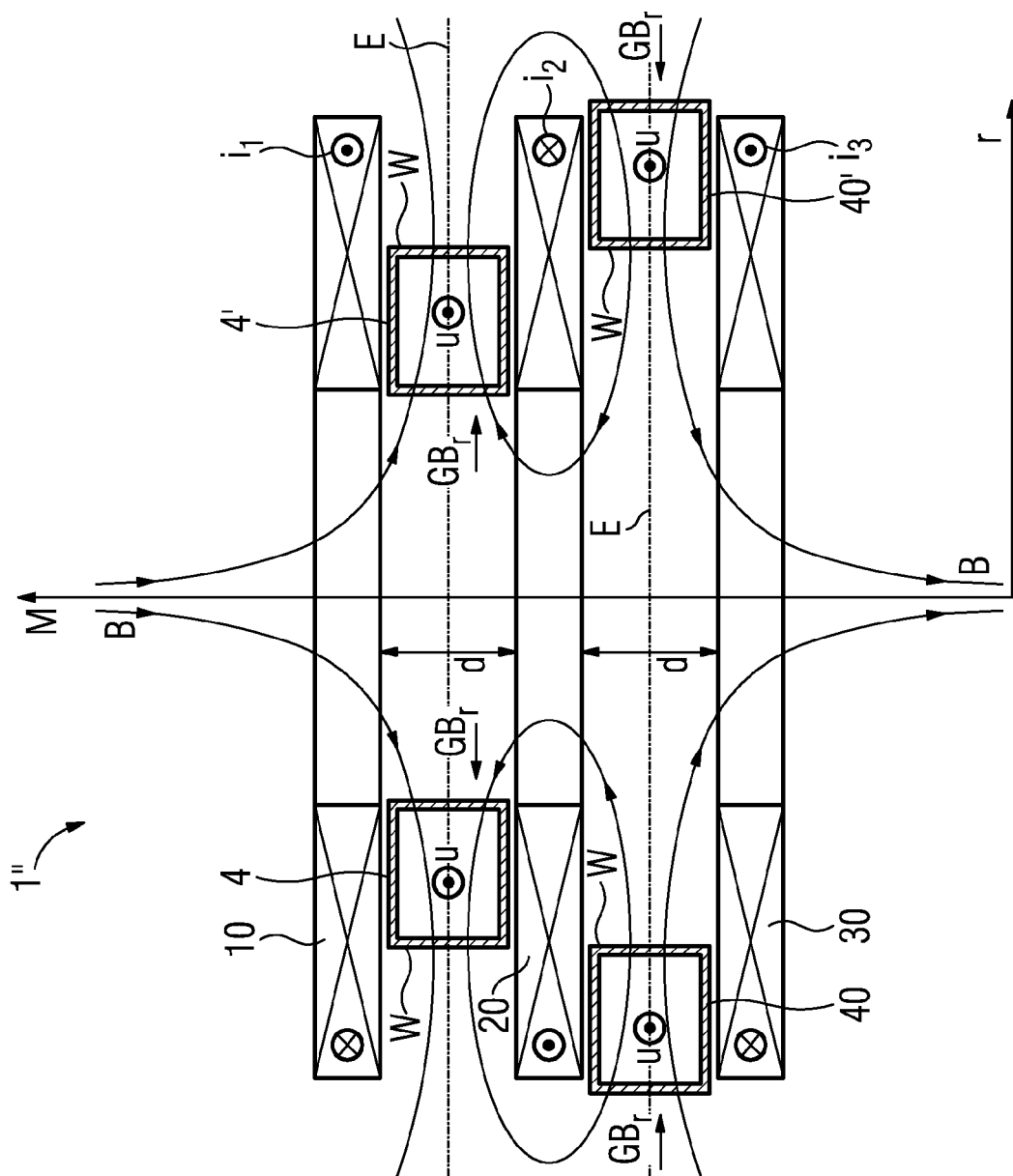


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 10 15 7268

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 6 120 735 A (ZBOROWSKI MACIEJ [US] ET AL) 19. September 2000 (2000-09-19) * Abbildungen 6, 7, 10 * -----	1-16	INV. B03C1/28 B03C1/033
X	US 4 961 841 A (ANDRES URI T [GB] ET AL) 9. Oktober 1990 (1990-10-09) * Abbildung 6 *	1,14,16	
X	US 5 169 006 A (STELZER CEIL [US]) 8. Dezember 1992 (1992-12-08) * Abbildung 8 *	1,14,16	
A	EP 0 718 037 A2 (FRANTZ CO INC S G [US]) 26. Juni 1996 (1996-06-26) * Abbildungen 1-13 *	1-16	
A	US 5 681 478 A (LEA TOR ERLING [NO] ET AL) 28. Oktober 1997 (1997-10-28) * Anspruch 1 * -----	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B03C
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		5. August 2010	Demol, Stefan
KATEGORIE DER GENANTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2

EPO FORM 1503 (03.02 (P04C03))

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

EP 10 15 7268

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

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

05-08-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6120735	A	19-09-2000	KEINE		

US 4961841	A	09-10-1990	KEINE		

US 5169006	A	08-12-1992	KEINE		

EP 0718037	A2	26-06-1996	AU	680067 B2	17-07-1997
			AU	8157694 A	13-06-1996
			CA	2138340 A1	07-06-1996
			DE	69423359 D1	13-04-2000
			DE	69423359 T2	27-07-2000
			FI	945973 A	07-06-1996
			US	5568869 A	29-10-1996
			ZA	9410353 A	05-09-1995

US 5681478	A	28-10-1997	AT	114047 T	15-11-1994
			AU	642186 B2	14-10-1993
			CA	2072135 A1	08-06-1991
			DE	69014130 D1	15-12-1994
			DE	69014130 T2	23-03-1995
			DK	0504192 T3	02-01-1995
			WO	9109308 A1	27-06-1991
			EP	0504192 A1	23-09-1992
			ES	2064074 T3	16-01-1995
			JP	5502294 T	22-04-1993

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 3120718 C1 [0009]
- DE 3247557 A1 [0011]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. **F.F. CHEN**. Plasma Physics. Plenum Press, 1984, vol. 1, 45 [0016]
- **M. KANEDA ; T. TAGAWA ; H. OZOE**. Convection Induced by a Cusp-Shaped Magnetic Field for Air in a Cube Heated From Above and Cooled From Below. *Journal of Heat Transfer*, Februar 2002, vol. 124, 17-25 [0016]