(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2023 116 440 A1** 2024.12.24

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2023 116 440.6**
(22) Anmeldetag: **22.06.2023**
(43) Offenlegungstag: **24.12.2024**

(51) Int Cl.: ***H02K 44/02*** (2006.01)

(71) Anmelder:
Universität Bremen, Körperschaft des öffentlichen Rechts, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
WEIDNER STERN JESCHKE Patentanwälte Partnerschaft mbB, 99096 Erfurt, DE

(72) Erfinder:
Imhülse, Thomas, 28719 Bremen, DE

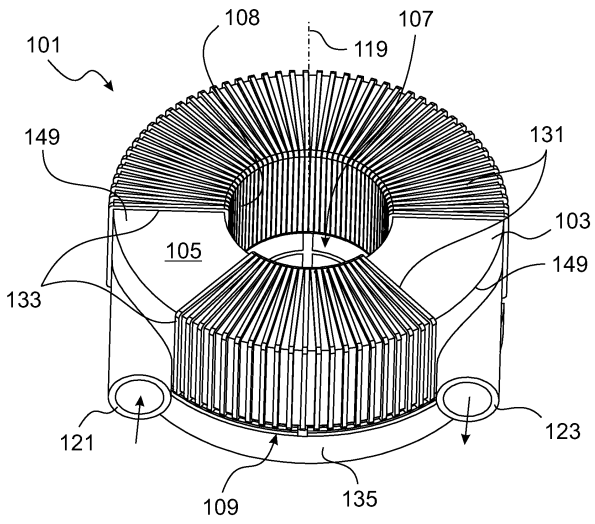
(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE **10 2012 016 222** **A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Transport eines paramagnetischen Fluids und Verwendung einer Vorrichtung mit mindestens einer Pumpe zum Transportieren eines paramagnetischen Fluids**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Transport eines paramagnetischen Fluids, wobei die Vorrichtung mindestens eine Pumpe mit einem Pumpengehäuse und mindestens eine Spule mit mindestens einer Wicklung eines Stromleiters aufweist und der Pumpe das paramagnetische Fluid zuordenbar ist, wobei das Pumpengehäuse einen Einlass, einen Auslass und eine mittige durchgehende Öffnung angeordnet um eine Mittelachse aufweist, wobei im Pumpengehäuse innenliegend ein Umlaufkanal zum Durchströmen mit dem paramagnetischen Fluid angeordnet und der Umlaufkanal mit dem Einlass und dem Auslass verbunden ist, wobei der Umlaufkanal im Wesentlichen konzentrisch um die mittige durchgehende Öffnung des Pumpengehäuses angeordnet ist, wobei die mindestens eine Spule mit ihrer mindestens einen Wicklung zumindest teilweise umlaufend entlang einer Außenoberfläche und der mittigen durchgehenden Öffnung des Pumpengehäuse angeordnet ist und den innenliegenden Umlaufkanal umgibt, und der Einlass und der Auslass als eine Evolvente ausgebildet sind, sodass in einem Betrieb der Pumpe aufgrund eines rotierenden Magnetfeldes induziert von der mindestens einen Spule der Transport des paramagnetischen Fluids mittels der mindestens einen Pumpe frei von einer mechanisch beweglichen Komponente realisierbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Transport eines paramagnetischen Fluids, wobei die Vorrichtung mindestens eine Pumpe mit einem Pumpengehäuse und mindestens eine Spule mit mindestens einer Wicklung eines Stromleiters aufweist und der Pumpe das paramagnetische Fluid zuordenbar ist, wobei das Pumpengehäuse einen Einlass, einen Auslass und eine mittige durchgehende Öffnung angeordnet um eine Mittelachse aufweist, wobei im Pumpengehäuse innenliegend ein Umlaufkanal zum Durchströmen mit dem paramagnetischen Fluid angeordnet und der Umlaufkanal mit dem Einlass und dem Auslass verbunden ist, wobei der Umlaufkanal im Wesentlichen konzentrisch um die mittige durchgehende Öffnung des Pumpengehäuses angeordnet ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Verwendung einer Vorrichtung mit mindestens einer Pumpe zum Transportieren eines paramagnetischen Fluids unter Mikrogravitation.

[0002] Wartungsarme oder wartungsfreie Pumpen mit wenigen oder keinen verschleißbaren, mechanischen Bauteilen können vorteilhaft in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden, bei denen eine hohe Standzeit und Lebensdauer ohne Wartungseingriff gefordert sind. Neben Anwendungen auf der Erde, welche einen langen wartungsfreien Einsatz erfordern, wie beispielsweise in Kühlsystemen von industriellen Anlagen oder in Unterwasserfahrzeugen, sind verlässliche, wartungsfreie Pumpen vor allem bei der Anwendung in der Raumfahrt notwendig. Hierzu muss der Betrieb der Pumpe jeweils spezifisch auf die Bedingungen der Mikrogravitation angepasst sein. Vor allem bei Pumpen mit mehreren beweglichen Teilen kann die Schwerelosigkeit Probleme verursachen und einen verlässlichen Transport des Arbeitsmediums der Pumpe verhindern.

[0003] Anstelle von mechanischen Pumpen, bei denen sich aufgrund einer Vielzahl von mechanischen Komponenten und Verbrauchsmitteln, wie Impeller, Gleitringdichtungen, Lager, Schmiermittel und Elektromotor, die Fehlerrate über die Lebenszeit der Pumpe erhöht, sind ferrohydrodynamische Pumpen (FHD-Pumpen) zum Fördern eines paramagnetischen Arbeitsmediums für den Stoff- und/oder Wärmetransport vorgeschlagen worden. In R. Krauß et al. (Pumping fluid by magnetic surface stress, New Journal of Physics 8 (2006) 18, doi: 10.1088/1367-2630/8/1/018) sind experimental physikalische Untersuchungen zum Pumpeneffekt beschrieben, wobei eine Spule direkt um den nach oben offenen Ringkanal zum Bereitstellen eines Magnetfeldes in azimutaler Richtung und eine äußere Spule um einen oben und unten offenen Zylinder zum Bereitstellen einer vertikalen Komponenten des Magnetfeldes angeordnet ist, wobei der Zylinder den Außenumfang des Ringkanals umgibt. Da der Ringkanal geschlossen ausgeführt ist, ist nur eine Förderung des Ferrofluids im Kreislauf innerhalb des Ringkanals ermöglicht.

[0004] Weitere beschriebene FHD-Pumpen verwenden eine Interaktion von Ferrofluiden mit einem weiteren Arbeitsfluid (Nam-Trung Nguyen, Micro-magnetofluidics: interactions between magnetism and fluid flow on the microscale, January 2012, DOI 10.1007/s10404-011-0903-5; Felix Schäfer, Manfred Ehresmann, Georg Herdrich, Stefanos Fasoulas: Update on the development of FerrAC the mechanic-free attitude control system, October 2020, IAC-20-B4,6A,3,x61100). Nachteilig bei derartigen FHD-Pumpen ist, dass sich die Langzeitstabilität der verwendeten Fluide verändern kann, da Nanopartikel aus dem Ferrofluid in das Arbeitsmedium eintreten und dieses kontaminieren können, welches zu einem Versagen des Pumpenmechanismus führen kann (Anson Hatch, Andrew Evan Kamholz, Gary Holman, Paul Yager, and Karl F. Böhringer: A Ferrofluidic Magnetic Micropump, JOURNAL OF MICROELECTROME-CHANICAL SYSTEMS, VOL. 10, NO. 2, JUNE 2001).

[0005] Aus der CN 207134974 U ist eine elektromagnetische Pumpe für Flüssigmetall mit einem Pumpenkörper bekannt, welcher als Zylinder mit einem hohlen oberen Teil und einem hohlen unteren Teil ausgebildet ist, wobei zwischen beiden Teilen ein Durchgangsloch angeordnet ist. Eine elektromagnetische Spule ist um den Außenumfang des unteren Teils des Pumpenkörpers und eine Elektrode ist am Boden des Pumpenkörpers angeordnet. Eine Zirkulationsleitung mit einem Einlass ist an der Außenfläche des oberen Teils des Pumpenkörpers oberhalb der elektromagnetischen Spule angeordnet und kommuniziert mit den Hohlräumen innerhalb des Pumpenkörpers. Die elektromagnetische Pumpe dient zur Wärmeaufnahme eines im Fluss integrierten Computerchips, wobei im Betrieb die außen angeordnete elektromagnetische Spule und die Elektrode bestromt werden, um ein Magnetfeld zu induzieren. Das Flüssigmetall fließt in den oberen Teil des Pumpenkörpers durch die Zirkulationsleitung und passiert die Durchgangsöffnung zwischen dem oberen Teil und dem unteren Teil des Pumpenkörpers, wobei beim Durchströmen des Flüssigmetalls durch die unter Spannung stehende Elektrode eine senkrecht zum Magnetfeld auftretende Amperekraft erzeugt wird, welche das Flüssigmetall antreibt, aus dem Auslass am unteren Teil des Pumpenkörpers herauszufließen. Nachteilig hierbei ist, dass spezifisch die Elektrode benötigt wird, um das Herausfließen des Flüssigmetalls aus dem unteren Teil des Pumpenkörpers zu gewährleisten.

[0006] Aus der EP 0 600 759 A1 ist eine elektromagnetische Pumpe mit einem rohrförmigen, linearen

Kanal bekannt, wobei in dem Kanal ein Kern angeordnet ist, um welchen das zu fördernde leitende Fluid fließen muss. Außen um den Kanal ist koaxial ein Induktor angeordnet, welcher einen magnetischen Kreis ausgebildet durch Kämme aus laminierten Blechen und Wicklungen aufweist, wobei die Wicklungen jeweils mit einer Phase einer mehrphasigen Stromquelle verbunden sind. Nachteilig hierbei ist, dass der innen im Kanal liegende Kern den Strömungsquerschnitt reduziert und das Strömungsprofil des leitenden Fluides beeinflusst.

[0007] Aus der CN 205538797 U ist eine magnethydrodynamische Pumpe betrieben mit Wechselstrom aus einer zweischichtigen Struktur mit einer Abdeckplatte und einem Substrat bekannt, wobei in dem Substrat ein rechteckiger Mikrokanal eingraviert ist. Entsprechend des eingravierten Mikroströmungskanals sind nur sehr kleine Flussraten mit dieser magnethydrodynamischen Pumpe realisierbar.

[0008] In der US 2016/0116223 A1 ist die Verwendung einer ferrohydrodynamischen Pumpe in einem Wärmemanagement-System beschrieben, in welcher ein Elektromagnet oder mehrere Elektromagneten in der Nähe eines umlaufenden Fluidverbindungskanales aufweisend ein Ferrofluid angeordnet ist oder sind. An dem Fluidverbindungskanal kann zusätzlich wärmetechnisch ein Wärmeaustauscher verbunden sein.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, den Stand der Technik zu verbessern.

[0010] Gelöst wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung zum Transport eines paramagnetischen Fluids, wobei die Vorrichtung mindestens eine Pumpe mit einem Pumpengehäuse und mindestens eine Spule mit mindestens einer Wicklung eines Stromleiters aufweist und der Pumpe das paramagnetische Fluid zuordenbar ist, wobei das Pumpengehäuse einen Einlass, einen Auslass und eine mittige durchgehende Öffnung angeordnet um eine Mittelachse aufweist, wobei im Pumpengehäuse innenliegend ein Umlaufkanal zum Durchströmen mit dem paramagnetischen Fluid angeordnet und der Umlaufkanal mit dem Einlass und dem Auslass verbunden ist, wobei der Umlaufkanal im Wesentlichen konzentrisch um die mittige durchgehende Öffnung des Pumpengehäuses angeordnet ist, und die mindestens eine Spule mit ihrer mindestens einen Wicklung zumindest teilweise umlaufend entlang einer Außenoberfläche und der mittigen durchgehenden Öffnung des Pumpengehäuses angeordnet ist und den innenliegenden Umlaufkanal umgibt, und der Einlass und der Auslass als eine Evolvente ausgebildet sind, sodass in einem Betrieb der Pumpe aufgrund eines rotierenden Magnetfeldes induziert von der mindestens einen Spule der Transport des paramagnetischen Fluids mittels der mindestens einen Pumpe frei von einer mechanisch beweglichen Komponenten realisierbar ist.

[0011] Somit wird eine Vorrichtung mit mindestens einer Pumpe bereitgestellt, mit welcher eine Zirkulation des paramagnetischen Fluids innerhalb des Umlaufkanals und/oder ein Eintritt des paramagnetischen Fluids durch den Einlass und/oder ein Austritt des paramagnetischen Fluides aus dem Auslass der Pumpe realisierbar ist. Durch die Ausbildung des Einlasses und des Auslasses jeweils als Evolvente ist sowohl eine optimale Fließfähigkeit und Strömung des paramagnetischen Fluides in und aus dem Umlaufkanal als auch eine einfache Einstellbarkeit des Anteils des in dem Umlaufkanal umlaufenden paramagnetischen Fluides und des Anteils des ein- und/oder austretenden paramagnetischen Fluides ermöglicht. Aufgrund der Ausbildung als Evolvente sind der Einlass und/oder der Auslass jeweils den lokal vorliegenden Strömungen folgend bedingt durch die einfache Scherströmung und/oder Couette-Strömung im Umlaufkanal ausgeführt. Die jeweilige Bauform des Einlasses und/oder Auslasses als Evolvente folgt am Übergang zwischen dem Umlaufkanal und dem Einlass und/oder dem Auslass der Strömungsrichtung und orientiert sich an den jeweiligen Strömungslinien des individuellen Pumpendesigns.

[0012] Da die Pumpe frei von einer mechanisch beweglichen Komponente ausgebildet ist, ist eine sehr lange Standdauer der Pumpe frei von einer Wartung realisierbar. Folglich ist die Pumpe auch verlässlich unter extremen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise unter Mikrogravitation und/oder Störeinflüssen, wie starker Bewegung in unterschiedlichen Richtungen, betreibbar. Dadurch weist die mindestens eine Pumpe im Idealfall eine flache Fehlerrate über ihre Lebensdauer auf. Gegenüber bekannten, einstofflichen magnetthermischen FHP-Pumpen weist die erfindungsgemäße Pumpe den Vorteil auf, dass diese nicht auf das Einbringen von Wärme für den Betrieb angewiesen ist. Da die beanspruchte Pumpe zum Betrieb lediglich das Pumpengehäuse mit dem innenliegenden Umlaufkanal verbunden mit dem Einlass und Auslass sowie die mindestens eine Spule zumindest teilweise umlaufend angeordnet um die Außenoberfläche des Pumpengehäuses benötigt, ist die Pumpe in einfacher Weise auf unterschiedliche Fördermengen skalierbar, indem die Abmessungen des Umlaufkanals und somit eine Füllhöhe des paramagnetischen Fluids im Umlaufkanal sowie die Eigenschaften des paramagnetischen Fluids entsprechend eingestellt werden. Durch spezielle Anpassung der mindestens einen Spule und deren optimale Anordnung an der Außenoberfläche des Pumpengehäuses ist der Einsatz von stärkeren Magnetfeldern gegenüber dem bekannten Stand der Technik sowie eine Verbesserung des Wirkungsgrads ermöglicht. Hierbei ist die

Feldstärke des durch die mindestens eine Spule erzeugten Magnetfeldes mindestens stärker als ein vorhandenes Umgebungsfeld, beispielweise bei einer Anwendung im Orbit stärker als das dort vorliegende Erdmagnetfeld mit einer Feldstärke von ca. 50 Mikro-Tesla. Die maximal erreichbare Feldstärke hängt allgemein von der Magnetfelderzeugung ab. Bei Verwendung eines Supraleiters kann beispielweise eine Feldstärke von 20 Tesla erreicht werden. Bei einer Spule mit Kernmaterial kann beispielsweise eine Feldstärke bis zu 2 Tesla erzielt werden. Je nach Anwendung ist eine Feldstärke vorteilhaft, welche ein Erreichen eines Bereiches einer Sättigungsmagnetisierung des jeweiligen Fluides ermöglicht, beispielsweise in einem Bereich von 30 Milli-Tesla bis 90 Milli-Tesla.

[0013] Folglich ist eine magnetische Pumpe bereitgestellt, welche sowohl in irdischen Anwendungen, wie einer Aktivkühlung für Computer und Rechnersystemen mit einer Reduktion der Geräuschemission und einer langen Lebenszeit, als auch für das Wärmemanagement von Akkumulatoren und Motoren beispielsweise in der Elektromobilität und für Drohnen, nutzbar ist. Ebenso ist die Vorrichtung und/oder die mindestens eine Pumpe in Kühlsystemen von industriellen Anlagen einsetzbar, welche lange Zeit wartungsfrei arbeiten müssen und da deren Zugänglichkeit beeinträchtigt ist. Auch sind kryogene Anwendungen ermöglicht, da beispielsweise tiefkalter flüssiger Sauerstoff (-182 °C) paramagnetische Eigenschaften hat und als Kältemittel beispielsweise für supraleitende Kabel, Energiespeicher und/oder Magnetspulen verwendbar ist.

[0014] Auch ist die erfindungsgemäß Pumpe in der Medizintechnik als hygienische, schmiermittelfreie Pumpe für Blut einsetzbar, da venales, desoxygeniertes Blut paramagnetische Eigenschaften hat und somit als paramagnetisches Fluid in der Pumpe verwendbar ist, wodurch beispielsweise ein Stofftransport zum Ersatz als künstliches Herz bei Operationen oder in der Dialyse realisierbar ist.

[0015] Da die mindestens eine Pumpe auch auf die Bedingungen der Mikrogravitation optimierbar und über einen sehr langen Zeitraum wartungsfrei betreibbar ist, ist die erfindungsgemäße Vorrichtung mit der mindestens einen Pumpe vor allem auch in Anwendungen in der Raumfahrt, wie beispielsweise im Thermalmanagement von Satelliten und/oder in Raumfahrzeugen einsetzbar, welche aktiv kontrollierte Wärmeübertragungs- und/oder Stoffübertragungsvorgänge benötigen.

[0016] Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung beruht darauf, dass durch optimale Ausgestaltung des Einlasses und des Auslasses des Pumpengehäuses als Evolvente und der Konfiguration der mindestens einen Spule ein optimaler Eintritt des paramagnetischen Fluides durch den Einlass, Transport im und durch den Umlaufkanal und ein Austritt durch den Auslass des Pumpengehäuses verlässlich auch unter extremen Bedingungen, wie beispielsweise der Mikrogravitation oder starken Bewegungen in unterschiedlichen Richtungen, ermöglicht und durch die Ausgestaltung der Pumpe frei von einer mechanisch beweglichen Komponente eine lange Betriebszeit frei von einer Wartung realisiert ist.

Folgendes Begriffliche sei erläutert:

[0017] Eine „Pumpe“ ist insbesondere ein technisches Gebilde zum Transport einer paramagnetischen Flüssigkeit. Die Pumpe ist insbesondere frei von einem durch ein Antriebssystem bewegten Bauteil und somit nicht eine Maschine. Die Pumpe weist insbesondere ein Pumpengehäuse mit einem innenliegenden Umlaufkanal, einem Einlass und einem Auslass sowie mindestens eine das Pumpengehäuse zumindest teilweise umgebende Spule auf. Bei der Pumpe handelt es sich insbesondere um eine ferrohydrodynamische Pumpe (FHD-Pumpe) zum Fördern eines paramagnetischen Fluids. Mittels der Pumpe wird das paramagnetische Fluid insbesondere unter Druck gesetzt und das Volumen der paramagnetischen Flüssigkeit in einer Strömungsrichtung innerhalb und durch die Pumpe gefördert. Das paramagnetische Fluid durchströmt die Pumpe und somit den Umlaufkanal insbesondere frei und somit beispielsweise ohne Klappen und/oder Ventile. Durch die Förderung des paramagnetischen Fluids als Arbeitsmedium ist insbesondere ein Wärmetransport und/oder ein Stofftransport realisierbar. Die Pumpe ist insbesondere mit Wechselstrom (AC) betreibbar, wodurch die bestromte mindestens eine Spule ein phasenversetztes rotierendes Magnetfeld induziert. Die Pumpe weist insbesondere einen Volumenstrom in einem Bereich von 5 mL/min bis 5.000 mL/min, bevorzugt von 200 mL/min bis 2.000 mL/min auf.

[0018] Das „Pumpengehäuse“ ist insbesondere eine feste Hülle der Pumpe. In dem Pumpengehäuse ist insbesondere innenliegend der Umlaufkanal angeordnet. Das Pumpengehäuse weist an seiner Außenoberfläche zumindest einen die Außenoberfläche in das Innere durchbrechenden Einlass und mindestens einen Auslass auf. Das Pumpengehäuse weist insbesondere eine mittige durchgehende Öffnung entlang einer Mittelachse auf. Prinzipiell kann das Pumpengehäuse sämtliche Außenformen aufweisen. Bevorzugt weist das Pumpengehäuse eine kugelförmige, scheibenförmige, torusförmige oder donutförmige Form auf. Das Pumpengehäuse ist insbesondere auch als Wickelkörper für die Wicklung oder die Wicklungen der mindestens einen Spule, zweier Spulen oder mehrerer Spulen ausgebildet. Das Pumpengehäuse ist bevorzugt aus einem nicht magnetisierbaren und/oder nicht leitfähigen Material,

wie beispielsweise Kunststoff, ausgebildet. Beispielsweise kann das Pumpengehäuse und/oder der in dem Pumpengehäuse ausgebildete Umlaufkanal Nylon aufweisen. Selbstverständlich können das Pumpengehäuse und der Umlaufkanal auch aus einem anderen, nicht magnetisierbaren Material, wie beispielsweise Keramik, gefertigt sein.

[0019] Die „mittige durchgehende Öffnung“ ist insbesondere in einer Richtung durch das Pumpengehäuse ausgebildet. Die mittige durchgehende Öffnung ist insbesondere konzentrisch um eine Mittelachse des Pumpengehäuses und/oder des Umlaufkanals angeordnet. Die Wände des Pumpengehäuses um die mittige durchgehende Öffnung können insbesondere gerade oder gebogen ausgeführt sein.

[0020] Die „Mittelachse“ ist insbesondere eine durch den Mittelpunkt des Pumpengehäuses verlaufende Achse. Bei der Mittelachse kann es sich insbesondere um eine Symmetrieachse und/oder eine Rotationsachse des Pumpengehäuses handeln. Bei einem liegenden Pumpengehäuse ist die Mittelachse insbesondere vertikal zum Boden des liegenden Pumpengehäuses ausgerichtet.

[0021] Ein „Umlaufkanal“ ist insbesondere ein innenliegender ringförmiger, freier Bereich innerhalb des Pumpengehäuses zum Durchströmen mittels des paramagnetischen Fluids. Bei dem Umlaufkanal handelt es sich insbesondere um einen an allen Seiten geschlossenen Ringkanal. Bevorzugt weist der Umlaufkanal zumindest ebene Seitenwände und/oder eine ebene Decke auf. Der Boden des Umlaufkanals kann eben, ansteigend und/oder abfallend ausgebildet sein. Im Querschnitt weist der Umlaufkanal bevorzugt ein rechteckiger Profil mit der längsten Seite parallel zur Mittelachse auf. Bevorzugt ist der Kanal im Verhältnis zu seinem frei durchströmbaren Durchmesser möglichst hoch ausgebildet, da das rotierende Magnetfeld auf die freie Oberfläche strömungstechnisch antreibend wirkt. Je höher die mit dem paramagnetischen Fluid gefüllte Kanalhöhe ist, desto höher ist die mittlere Geschwindigkeit im Umlaufkanal, während am Boden des Umlaufkanals aufgrund der Haftbedingung eine Geschwindigkeit von Null vorliegt. Somit ist die maximale Geschwindigkeit in dem Umlaufkanal durch das rotierende Magnetfeld induziert von der mindestens einen Spule und der Füllhöhe an dem jeweiligen Ort im Umlaufkanal bestimmt. Die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Umlaufkanals nimmt insbesondere über die Höhe des mit Fluid gefüllten Umlaufkanals zu, wobei neben dem Boden des Umlaufkanals auch an den innenliegenden und außenliegenden Wänden des Umlaufkanals aufgrund der Haftbedingung eine Strömungsgeschwindigkeit von Null direkt an der jeweiligen Wand vorliegt. Bei dem Umlaufkanal kann es sich auch um eine Rohrleitung handeln. Der Umlaufkanal ist insbesondere jeweils mit dem Einlass und dem Auslass strömungstechnisch verbunden. Der Umlaufkanal ist insbesondere derart ausgebildet, dass nicht eine gesamte Kanalhöhe von dem paramagnetischen Fluid gefüllt ist, sondern in einem oberen Bereich des Umlaufkanals eine freie Oberfläche des paramagnetischen Fluides vorliegt und oberhalb der freien Oberfläche ein Gas und/oder Luft angeordnet ist. Die Fließgeschwindigkeit im Umlaufkanal hängt insbesondere linear von der Kanalhöhe ab. Im Umlaufkanal liegt optimal insbesondere eine minimale benetzte Fläche zu einer maximalen Querschnittsfläche des Fluids vor. Beispielweise können die Querschnittsflächen bei 7E-6 mm^2 (Rohr mit 3 mm Durchmesser) und 9E-4 mm^2 (Rohr mit 1 Zoll Durchmesser) liegen. Der Umlaufkanal weist insbesondere ein Verhältnis von Außenradius zu Innenradius von 1,25 bis 1,4 auf, um radiale Änderungen der Flussdichte zu minimieren.

[0022] Eine „Evolvente“ ist insbesondere diejenige Kurve, welcher ein Punkt eines straff gespannten, einer gegebenen Ausgangskurve fest anliegenden Fadens beschreibt, wenn dieser abgewickelt wird. Die Evolvente schneidet insbesondere eine Schar der Normalen der Ausgangskurve orthogonal. Die Form der Evolvente hängt insbesondere von der Wahl des Anfangspunktes am Ausgangskreis ab. Der Anfangspunkt ist insbesondere am Außendurchmesser des Umlaufkanals angeordnet. Der Verlauf des theoretisch abgewickelten Fadens zur Darstellung der Evolvente entspricht jeweils insbesondere den Strömungslinien. Somit legt die Evolvente, welche theoretisch beim Abwickeln eines Fadens von der Ausgangskurve entsteht, die maximale Durchgangsweite des Einlasses oder des Auslasses zum Durchströmen des paramagnetischen Fluides fest.

[0023] Die Evolvente ist beim Einlass insbesondere so ausgebildet, dass die Strömung des eintretenden paramagnetischen Fluides sich in Strömungsrichtung auf die gesamte Breite des Umlaufkanals vergrößert und am Auslass ist die entsprechende Evolvente derart ausgebildet, dass ein Teil des den Querschnitt des Umlaufkanals durchströmenden paramagnetischen Fluids gezielt sich erweiternd in den Auslass geführt wird. Somit sind der jeweils als Evolvente ausgebildete Einlass und Auslass entsprechend der Strömungsrichtung und deren Anordnung an dem Umlaufkanal ausgebildet. Der Einlass und/oder der Auslass sind insbesondere strömungstechnisch verbunden am äußeren Rand des Umlaufkanals angeordnet. Der Einlass und der Auslass können nebeneinanderliegend, insbesondere auf gleicher Höhe, oder übereinanderliegend angeordnet sein. Die paramagnetische Flüssigkeit unterhalb des Einlasses und/oder des Auslasses im Umlaufkanal kann insbesondere frei fließen und dient vor allem dem Gewinn von Kanalhöhe. Die Ein- und Auslässe sind insbesondere unterhalb der freien Ober-

fläche des paramagnetischen Fluides angeordnet und werden somit überströmt. Die Ein- und Auslässe können prinzipiell jegliches Querschnittsprofil aufweisen, beispielsweise die Ein- und Auslässe als rechteckiges Rohrprofil oder als kreisrundes oder ovales Rohr ausgebildet sein. Prinzipiell ist herauszustellen, dass der Einlass und der Auslass umschaltbar sein können, sodass durch einen Phasenwechsel der mindestens einen Spule die Strömungsrichtung in dem Umlaufkanal und somit durch den Einlass und den Auslass umgekehrt werden kann. Somit kann durch diese Umkehrung ein Einlass zu einem Auslass werden und umgekehrt. Aufgrund der Ausbildung des Einlasses und des Auslasses als Evolvente sind diese insbesondere im Wesentlichen auf derselben Seite des Pumpengehäuses angeordnet. Im Falle, dass der Einlass und der Auslass nebeneinanderliegend im Wesentlichen auf derselben Höhe angeordnet sind, sind der Einlass und der Auslass insbesondere innerhalb eines Winkels von 90° im Querschnitt orthogonal zu der auf dem Querschnitt stehenden Mittelachse angeordnet.

[0024] In dem Umlaufkanal bildet sich beim Durchströmen insbesondere eine einfache Scherströmung und/oder Couette-Strömung aus. Der Umlaufkanal ist insbesondere so ausgebildet, dass der in der Kreisströmung im Umlaufkanal verbleibende Anteil des paramagnetischen Fluides insbesondere unterhalb der freien Oberfläche innerhalb des Umlaufkanals geführt ist, um die freie Oberfläche und die Einwirkung des rotierenden Magnetfeldes auf die freie Oberfläche nicht zu stören.

[0025] Unter einer „Oberfläche“ wird insbesondere eine Grenzfläche zwischen dem paramagnetischen Fluid und einem darüber angeordneten Gas in dem Umlaufkanal verstanden. Somit ist durch die freie Oberfläche in dem Umlaufkanal auch insbesondere der Füllstand des paramagnetischen Fluides in dem Umlaufkanal festgelegt. Oberhalb der freien Oberfläche ist insbesondere ein Gas, wie beispielsweise Luft oder Stickstoff, angeordnet. Das Gas ist bevorzugt nicht magnetisch leitfähig. Das Gas oberhalb der freien Oberfläche kann im Falle eines Wärmetransportes durch das paramagnetische Fluid bei einer thermischen Ausdehnung des Fluides aufgrund seiner Erwärmung auch als Expansionsvolumen dienen.

[0026] Ein „paramagnetisches Fluid“ (auch „Ferrofluid“ genannt) ist insbesondere eine Flüssigkeit, welche auf ein magnetisches Feld reagiert. Bei Einwirken des magnetischen Feldes bleibt das Fluid insbesondere im flüssigen Zustand, ohne sich zu verfestigen. Das Ferrofluid weist insbesondere nanometergroße magnetische Partikel auf, welche in einer Trägerflüssigkeit kolloidal suspendiert und/oder dispergiert sind. Die magnetischen Partikel können insbesondere mit einer polymeren Oberflächenbeschichtung stabilisiert sein. Das Ferrofluid ist insbesondere als stabile Dispersion ausgebildet, sodass sich die festen Partikel nicht über die Verwendungszeit absetzen, sich selbst in sehr starken Magnetfeldern nicht aneinanderlagern und/oder sich nicht aus der Flüssigkeit in eine andere Phase abscheiden. Das Fluid und/oder Ferrofluid weist insbesondere paramagnetisch und/oder superparamagnetische Eigenschaften auf.

[0027] Unter „paramagnetisch“ wird insbesondere verstanden, dass das Fluid einem äußeren Magnetfeld folgt und/oder in das Magnetfeld hineingezogen wird. Unter „superparamagnetisch“ werden insbesondere die Eigenschaften von Teilchen des Ferrofluids verstanden, auch bei Temperaturen unterhalb der Curie-Temperatur und somit der Temperatur, bei deren Erreichen ferromagnetische und/oder ferroelektrische Eigenschaften vollständig verschwunden sind, keine bleibende Magnetisierung zu halten, auch wenn ein zuvor einwirkendes Magnetfeld abgeschaltet wird. Die nanometergroßen magnetischen Partikel können insbesondere Eisen, Magnetit und/oder Kobalt aufweisen und weisen beispielsweise einen Durchmesser in einem Bereich von 5 bis 10 nm auf. Als Trägerflüssigkeit kann beispielsweise Öl und/oder Wasser verwendet werden. Ebenso können unterschiedliche Kohlenwasserstoffe das Trägermaterial sein. Bei einem Ferrofluid kann es sich beispielsweise auch um ein Ferrofluid auf Basis von Algen handeln. Beispielsweise weist das Ferrofluid einen Kohlenwasserstoff und ein Algenöl mit ferromagnetischen Algen und/oder Algenbestandteilen auf. Bei einem paramagnetischen Fluid kann es sich auch um venales, desoxygeniertes Blut handeln, welches paramagnetische Eigenschaften aufweist. Ebenso kann es sich bei dem paramagnetischen Fluid um tiefkalten flüssigen Sauerstoff (beispielsweise bei -182 °C) mit paramagnetischen Eigenschaften handeln. Das paramagnetische Fluid stellt insbesondere gleichzeitig das zu pumpende Arbeitsmedium der Pumpe dar, sodass neben dem paramagnetischen Fluid nicht ein weiteres Arbeitsmedium oder ein anderes Fluid für den Betrieb der Pumpe notwendig ist. Somit stellt das paramagnetische Fluid in der Pumpe gleichzeitig im klassischen Sinne einen Aktuator dar, wie beispielsweise ein Treibrad einer konventionellen mechanischen Pumpe. Deshalb ist bevorzugt die Masse des paramagnetischen Fluids, welche in dem Umlaufkanal verbleibt, mindestens gleich oder größer als die zu fördernde Masse, welche entsprechend über den Einlass in den Umlaufkanal eintritt und über den Auslass aus dem Umlaufkanal austritt.

[0028] Eine „Spule“ ist insbesondere ein elektrisches Bauelement, mit welchem ein Magnetfeld erzeugbar ist. Eine Spule ist insbesondere ein Wickelgut mit mindestens einer Wicklung eines

Stromleiters. Der Stromleiter kann insbesondere aus Draht, Kupferlackdraht, versilbertem Kupferdraht oder einer Hochfrequenzlitze ausgebildet sein. Beispielsweise handelt es sich bei dem Stromleiter um einen Kupferdraht mit einem Durchmesser von 0,9 mm. Die Windungen der mindestens einen Wicklung der Spule sind insbesondere voneinander isoliert angeordnet. Eine Windung ist insbesondere ein Umlauf um einen Wickelkörper und/oder dem Pumpengehäuse. Jedoch muss die Spule und/oder die Windung der Wicklung nicht zwingend vollständig umlaufend ausgebildet sein. Bei einer nicht vollständig geschlossenen umlaufenden Spule fällt das Magnetfeld im offenen nicht umschlossenen Bereich insbesondere quadratisch ab. Prinzipiell kann die Spule mit oder ohne magnetischem Kernmaterial ausgebildet sein. Beispielsweise ist eine Spule als den Umlaufkanal umgebende, an der Außenoberfläche des Pumpengehäuses angeordnete Torus-Spule ausgebildet. Ebenso können einzelne Spulenringe konzentrisch in einer Ebene und/oder übereinander beabstandet entlang der Höhe des Pumpengehäuses und/oder des innenliegenden Umlaufkanals angeordnet sein. Somit kann eine Spule durch einzelne beabstandete Spulenringe ausgebildet sein. Die Spulenringe sind entweder einzeln oder elektrisch verbunden bestrombar. Bevorzugt sind die einzelnen Spulenringe elektrisch verbunden in Reihe geschaltet und bilden somit einen Stromkreis mit konstanten Stromfluss. Ebenso können die Spulenringe aber auch parallel in einem gemeinsamen Stromkreis verschaltet sein. Bei einer Spule kann es sich auch um eine Ringspule handeln, welche axial und somit konzentrisch die Mittelachse umgebend das Pumpengehäuse von außen umgibt. Ebenso kann es sich bei einer Spule um eine Flachspule handeln, welche an der Unterseite des Pumpengehäuses angeordnet ist. Eine Flachspule ist insbesondere eine Spule mit einer schneckenförmig aufgewickelten Wicklung. Eine Flachspule ist insbesondere eine flache Luftspule, welche aus einem oder zwei Drähten besteht, welche spiralförmig in der Ebene gewickelt sind. Der Spulendraht kann aber auch auf einem Spulenkörper und/oder einen Spulenträger gewickelt sein. Der Spule wird insbesondere ein Wechselspannung zugeführt. Beim dadurch durch die Spule fließenden Wechselstrom verändert sich insbesondere die Strom- und Spannungsrichtung, also die Polung von Plus und Minus, zeitlich stetig. Durch den Phasenversatz tritt insbesondere ein rotierendes Magnetfeld auf. Zur Veranschaulichung des Magnetfeldes der stromdurchflossenen Spule dienen insbesondere magnetische Feldlinien, welche in jedem Punkt des Magnetfeldes Richtung und Richtungssinn des Magnetfeldes und/oder des magnetischen Flusses angeben. Die magnetische Feldstärke ordnet als vektorielle Größe insbesondere jedem Raumpunkt eine Stärke und Richtung des durch die magnetische Spannung erzeugten Magnetfeldes zu.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung ist das paramagnetische Fluid ein Arbeitsmedium der Pumpe und in dem Betrieb weist das paramagnetische Fluid eine freie Oberfläche in dem Umlaufkanal auf, auf welche das rotierende Magnetfeld haltend einwirkbar ist.

[0030] Somit kann das rotierende Magnetfeld der mindestens einen Spule oder zwei oder mehrerer Spulen definiert die freie Oberfläche in dem Umlaufkanal halten und dadurch den Pumpmechanismus stabilisieren. Zusätzlich wird durch eine gezielte Spulenkonfiguration einer Meniskusbildung des Fluides an der inneren und äußeren Seitenwand des Umlaufkanals entgegengewirkt und/oder diese kontrolliert, sodass eine Krümmung der freien Oberfläche nicht mindernd auf den Pumpeneffekt einwirken kann. Folglich ist das mindestens eine rotierende Magnetfeld derart auslegbar, dass es sowohl aufgrund des magnetischen Oberflächenstresses das Fluid antreibt, sodass dieses durch den Umlaufkanal strömt, als auch während des Betriebes die freie Oberfläche fixiert, sodass diese möglichst eben über die gesamte Durchflussbreite und -länge des Umlaufkanals ausgebildet ist. Somit wirken bei einer räumlich fixierten und durch das mindestens eine Magnetfeld gehaltenen Oberfläche keine Kräfte von relevanter Stärke gegen die durch das jeweilige Magnetfeld bewirkte Bewegung der Oberfläche. Durch die sprunghafte Reduzierung der magnetischen Leitfähigkeit an der freien Oberfläche beim Übergang vom Fluid zum Gas entsteht ein magnetischer, horizontaler Oberflächenstress in Rotationsrichtung innerhalb des Umlaufkanals. Dieser Oberflächenstress wird an den Innen- und Außenwänden und am Boden des Umlaufkanals durch die Haftbedingung kompensiert, sodass die Strömungsgeschwindigkeit dort Null ist. Aus der asymmetrischen Stressverteilung von der freien Oberfläche zu den seitlichen Wänden und dem Boden resultiert eine Couette-Strömung, wodurch das Strömungsfeld eine lineare Geschwindigkeitsverteilung von Null am Boden und den Seitenwänden zur maximalen Geschwindigkeit an der freien Oberfläche aufweist. Hierbei rotiert das mindestens eine Magnetfeld senkrecht zur freien Oberfläche. Aufgrund der haltenden Wirkung des mindestens einen rotierenden Magnetfeldes auf die freie Oberfläche ist die Vorrichtung und/oder die mindestens eine Pumpe vor allem vorteilhaft unter den Bedingungen der Mikrogravitation und/oder bei starken von außen wirkenden Bewegungen auf die Pumpe insbesondere aus chaotischen unterschiedlichen Richtungen einsetzbar.

[0031] Um den Pumpeneffekt weiter zu verbessern und die freie Oberfläche im Umlaufkanal noch stärker zu stabilisieren, weist die Vorrichtung eine zweite Spule und optional weitere Spulen auf.

[0032] Die zweite Spule und optional eine weitere Spule oder mehrere weitere Spulen sind an dem Pumpengehäuse und/oder zumindest teilweise umlaufend um das Pumpengehäuse derart angeordnet, dass das jeweils induzierte Magnetfeld den Pumpeneffekt und somit die Strömung des Fluides in dem Umlaufkanal unterstützt und/oder den Randeffekt an den Seitenwänden des Umlaufkanals weiter vermindert und somit die freie Oberfläche stärker stabilisiert.

[0033] Bei einer zweiten Spule, dritten Spule, vierten Spule und/oder optional weiteren Spulen handelt es sich prinzipiell um eine oben definierte Spule. Die zweite Spule, dritte Spule, vierte Spule und/oder optional weiteren Spulen weisen jedoch insbesondere eine unterschiedliche Anordnung an und/oder um das Pumpengehäuse, unterschiedliche Wicklungen und/oder unterschiedlich ausgerichtete Magnetfelder auf.

[0034] In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist oder weisen die erste Spule, die zweite Spule und/oder weitere Spulen gleiche und/oder unterschiedliche Wicklungsabstände verteilt über die Außenoberfläche des Pumpengehäuses und/oder jeweils in einem Bereich in einer Nähe zum und/oder am Einlass und/oder Auslass einen anderen Wicklungsabstand als in einem Bereich um das Pumpengehäuse frei von dem Einlass und/oder Auslass auf.

[0035] Somit können die Windungen der Wicklung einer Spule bis nahe an den Einlass und/oder Auslass heranreichen. Um den Einlass und/oder den Auslass herum und/oder zwischen dem Einlass und/oder dem Auslass kann beispielsweise ein größerer Wicklungsabstand als entlang der Außenoberfläche des Pumpengehäuses frei von dem Einlass und/oder Auslass angeordnet sein. Ebenso kann ein Bereich um und/oder zwischen dem Einlass und dem Auslass frei von einer Wicklung sein. Dadurch wird ein optimales Einströmen des Fluides durch den Einlass in den Umlaufkanal hinein und/oder Ausströmen aus dem Umlaufkanal durch den Auslass ermöglicht. Da beispielsweise die Strömung aufgrund des Massenerhaltes beim Eintritt des Fluides durch den Einlass in einen tieferen Umlaufkanal ein Abbremsen erfährt, ist es vorteilhaft, dass die mindestens eine Spule nicht vollständig um das Pumpengehäuse gewickelt ist, sondern die Windungen der Wicklung erst in einem Bereich beginnen, in dem der Umlaufkanal eine geeignete Tiefe erreicht hat. Ebenso können die Windungen der Wicklung der mindestens einen Spule im Bereich des Auslasses entsprechend angeordnet sein, um zu verhindern, dass die magnetischen Randbedingungen zu einer Verlangsamung der Strömung trotz der zunehmenden Strömungsgeschwindigkeit im Umlaufkanal aufgrund des Massenerhaltes in Richtung auf den Auslass zu einer Verlangsamung führen, wenn in Richtung auf den Auslass die Kanalhöhe sinkt.

[0036] Um gezielt ein asymmetrisches Magnetfeld parallel zur Kanalhöhe aufzubauen und/oder das Fluid gezielt nach unten zum Boden des Umlaufkanals zu ziehen, kann oder können die zweite Spule und/oder eine weitere Spule flächig an einer Unterseite des Pumpengehäuses zum Erzeugen eines asymmetrischen Magnetfeldgradienten angeordnet und/oder mit mindestens einer Wicklung in einer Richtung unterschiedlich der Mittelachse um das Pumpengehäuse ausgebildet sein.

[0037] Somit kann durch eine zusätzliche Flachspule an der Unterseite des Pumpengehäuses und/oder einer zweiten und/oder weiteren Spule mit in axialer Richtung und somit entlang der Mittelachse zueinander beabstandeten Windungen der Wicklungen erreicht werden, dass die magnetische Anziehung des Fluids parallel zur Kanalhöhe und somit der Mittelachse die homogene Gravitationskraft in der Mikrogravitation ersetzt. Zudem wirkt diese den Kapillarkräften entgegen und glättet somit zusätzlich die freie Oberfläche an den gegenüberliegenden Rändern des Umlaufkanals. Dadurch wird in jeder Periode der umlaufenden Phase des Wechselfeldes eine asymmetrische Kraft nach unten in Richtung auf den Boden des Umlaufkanals erzeugt. Auch bei irdischen Anwendungen der Vorrichtung und/oder mindestens einen Pumpe ist diese nach unten gerichtete Kraft vor allem bei externen starken Bewegungen der Pumpe vorteilhaft und wirkt stabilisierend auf den Pumpeneffekt. Unter den Bedingungen der Mikrogravitation bewirkt die zweite und/oder eine weitere Spule flächig parallel zur freien Oberfläche und/oder mit Windungen im Wesentlichen parallel zur freien Oberfläche, dass das Fluid ohne wirkende Gravitationskraft an die Wand zur Spule hingezogen wird. Auch im Gravitationsfeld der Erde ist eine solche Spule mit nach unten ziehender Wirkung vorteilhaft, da bei zu starken Magnetfeldern ebenfalls das Fluid zur Spule hingezogen wird, wodurch die Ausrichtung der freien Oberfläche gestört und somit der Pumpeneffekt gemindert wird. Somit kann durch eine speziell angepasste zweite Spule und/oder eine weitere Spule eine Verwendung von starken Magnetfeldern ermöglicht werden, ohne dass die Pumpenleistung vermindert wird.

[0038] Durch eine Flachspule mit konzentrischen Windungen um die Mittelachse unterhalb des Umlaufkanals und/oder an der Unterseite des Pumpengehäuses wird in Verbindung mit der mindestens ersten Spule ein homogenes Magnetfeld erzeugt. Das Magnetfeld der Flachspule fällt in seiner Stärke insbesondere von der innenliegenden Mittelachse in radialer Richtung nach außen quadratisch über die Kanalhöhe ab.

[0039] Im Falle, dass die zweite Spule und/oder weitere Spule das Pumpengehäuse umlaufend entlang seines Umfanges umgibt und die Windungen der mindestens einen Wicklung in axialer Richtung entlang der Mittelachse und somit über die Kanalhöhe beabstandet sind, kann die Windungszahl so eingestellt werden, dass ein homogenes Magnetfeld mit konstanten Gradienten über der Kanalhöhe vorliegt. Dabei ist die Windungszahl bevorzugt absteigend von der Oberseite des Pumpengehäuses zu der Unterseite des Pumpengehäuses ausgebildet.

[0040] In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weisen die mindestens eine Wicklung der ersten Spule und die mindestens eine Wicklung der zweiten Spule unterschiedliche Richtungen auf und/oder sind im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet.

[0041] Dadurch kann die gewünschte Ausrichtung der induzierten Magnetfelder gezielt eingestellt und/oder ein konstanter Gradient der Feldstärke über die Kanalhöhe und/oder Kanalbreite des Umlaufkanals erzielt werden.

[0042] Bei der Ausbildung der zweiten Spule mittels in axialer Richtung beabstandeten Spulenringen, welche sich mit den Wicklungen der ersten Spule entlang des Außendurchmessers des Pumpengehäuses im Querschnitt überschneiden, wird eine größere Kanalhöhe ermöglicht, da das Magnetfeld der zweiten Spule mit den Spulenringen nicht quadratisch mit der Höhe abfällt, sondern stattdessen der Abfall gezielt kontrollierbar ist und beispielsweise nahezu linear ausgestaltet werden kann. Hierbei liegen die Windungen der ersten Spule frei über den axial beabstandeten Spulenringen der zweiten Spule. Die Überlagerung der einzelnen Magnetfelder der axial beabstandeten Spulenringe erzeugt ein nahezu homogenes Magnetfeld senkrecht zur freien Oberfläche des Fluides mit einem angepassten Gradienten an den Wänden des Umlaufkanals. Durch den homogenen Feldgradienten wird das Ferrofluid an der Unterseite und somit in Richtung auf den Boden des Umlaufkanals fixiert. Vor allem durch die Kontrolle des Gradienten des jeweiligen Magnetfeldes über der Kanalhöhe ist eine hohe Pumpenrate innerhalb des Umlaufkanals erreichbar.

[0043] Unter „im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet“ wird insbesondere verstanden, dass die Windungen der ersten Spule und die Windungen der zweiten Spule sich annähernd mit einem Winkel von 90° überschneiden. Die Windungen und somit die Wicklungen der beiden Spulen müssen jedoch nicht exakt senkrecht zueinander ausgerichtet sein. Insbesondere bei einer gebogenen Außenoberfläche des Pumpengehäuses ist es nicht möglich, aufgrund der Biegung der Außenoberfläche einen exakten Winkel von 90° zwischen den jeweiligen Windungen der beiden in unterschiedlichen Richtungen geführten Wicklungen einzuhalten. Eine exakt orthogonale Ausrichtung der beiden Wicklungen der beiden Spulen ist nur in einem ebenen ausgebildeten Bereich der Außenfläche des Pumpengehäuses prinzipiell möglich. Somit wird beispielsweise bei einem kugelförmigen Pumpengehäuse unter „im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet“ verstanden, dass die beiden Wicklungen wie Längenkreise und Breitenkreise zueinander angeordnet sind.

[0044] Um die Strömung des Fluides im Umlaufkanal und die Stabilität der freien Oberfläche nicht negativ zu beeinflussen, kann oder können der Einlass auf einer Höhe eines Bodens des Umlaufkanals und/oder der Auslass auf einer Höhe der freien Oberfläche des paramagnetischen Fluids angeordnet.

[0045] Der Einlass, welcher als Evolvente in den Umlaufkanal hineinragt, liegt bevorzugt im niedrigeren Strömungsfeld und somit in der Nähe oder bevorzugt auf einer Höhe des Bodens des Umlaufkanals. Der Einlass kann mit seiner Durchströmungsbreite hierbei einen Teil bis zu der gesamten Kanalbreite einnehmen.

[0046] Da die höchste Geschwindigkeit des Fluides nahe der freien Oberfläche vorliegt, kann der Auslass bevorzugt in der Nähe, unterhalb oder auf einer Höhe der freien Oberfläche des Fluides angeordnet sein, jedoch dabei nicht die freie Oberfläche stören. Auch der Auslass kann mit seiner Durchströmungsbreite einen Teil der Kanalbreite oder die gesamte Kanalbreite einnehmen und somit einen Teil der umlaufenden Strömung im Umlaufkanal oder nahezu den gesamten Massenstrom im Umlaufkanal aufnehmen und aus dem Pumpengehäuse herausführen. Der Einlass und/oder der Auslass können sich am äußeren Rand des Umlaufkanals befinden oder auch teilweise oder vollständig in den Umlaufkanal hineinragen. Im Falle der Anordnung des Auslasses auf einer Höhe der freien Oberfläche sollte zumindest ein kleiner Teil des Massenstroms oberhalb des Auslasses und/oder auch unterhalb des Auslasses fließen, um die freie Oberfläche ausreichend ungestört zu halten.

[0047] In einer weiteren Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der ersten Spule, der zweiten Spule und/oder der weiteren Spule auf.

[0048] Die Steuereinrichtung kann gleichzeitig eine Spannungsversorgung der jeweiligen Spule mit Wechselspannung aufweisen. In einer zweispuligen Vorrichtung kann eine Ansteuerung der Spulen beispielsweise mit 90° Phasenversatz des zur Oberfläche rotierenden Magnetfeldes erfolgen, wobei sich die Strömungsrichtung bei 270° Phasenversatz umkehrt. Hierbei kann eine Torus-Spule als erste

Spule das Magnetfeld parallel und homogen in Umfangsrichtung erzeugen, während die zweite konzentrisch zur Mittelachse angeordnete Spule einen senkrecht zur freien Oberfläche stehenden Feldanteil erzeugt. Die Rotation des Magnetfeldes bildet hierbei die Couette-Strömung im Umlaufkanal aus.

[0049] Um die Pumpenrate zu erhöhen und/oder eine Beschränkung durch den Abfall der Magnetfeldstärke und somit auch der Magnetisierung über der Kanalhöhe zu überwinden, kann die Vorrichtung eine zweite Pumpe, eine dritte Pumpe, eine vierte Pumpe und optional weitere Pumpen aufweisen, wobei die Pumpen zueinander parallel und/oder in Reihe geschaltet sind.

[0050] Hierbei können die einzelnen Pumpen gleicher Bauart sein oder auch unterschiedliche Eigenschaften, wie Abmessungen und Pumpenraten, aufweisen. Bei Reihenschaltung mehrerer Pumpen kann in den Pumpen dasselbe paramagnetische Fluid verwendet werden, während bei Parallelschaltung auch unterschiedliche paramagnetische Fluide nebeneinander eingesetzt und je nach Anwendungszweck für einen Stoffund/oder Wärmetransport vor oder nach den parallel geschalteten Pumpen vermischt oder getrennt geführt werden können.

[0051] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch eine Verwendung einer zuvor beschriebenen Vorrichtung mit mindestens einer Pumpe zum Transportieren eines paramagnetischen Fluids unter Mikrogravitation, insbesondere in der Raumfahrt.

[0052] Somit wird eine robuste, zuverlässig und autonom frei von einem Wartungsbedarf betreibbare Vorrichtung zum Transportieren eines paramagnetischen Fluids mit mindestens einer Pumpe zur Anwendung unter extremen Bedingungen, wie der Mikrogravitation, oder von anderen von außen einwirkenden ungerichteten Kräften, wie bei Erschütterungen, ermöglicht. Statt durch die Gravitationskraft, wird in der Schwerelosigkeit das paramagnetische Fluid mit einer möglichst ebenen freien Oberfläche im Umlaufkanal mittels der Magnetkraft in räumlicher Position gehalten. Zudem werden die in der Schwerelosigkeit höheren Kapillarkräfte an den Seitenwänden des Umlaufkanals gezielt durch das ausgerichtete Magnetfeld gemindert.

[0053] Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung einer Pumpe mit einer Torus-Spule und einer Flach-Spule,

Fig. 2 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 1 in einem Querschnitt in einer Höhe ihrer Ein- und Auslässe,

Fig. 3 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Flach-Spule der Pumpe aus **Fig.** 1,

Fig. 4 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 1 in einem Querschnitt direkt oberhalb des Einlasses,

Fig. 5 eine erste Alternative einer Pumpe mit einem kugelförmigen Pumpengehäuse, einer Torus-Spule und einer axial beabstandeten Spule mit vertikal übereinanderliegenden Einlass und Auslass,

Fig. 6 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 5 in einem Querschnitt auf Höhe ihres Einlasses,

Fig. 7 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 5 in einem Querschnitt auf einer Höhe oberhalb des Einlasses,

Fig. 8 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 5 in einem Querschnitt auf einer Höhe ihres Auslasses,

Fig. 9 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 5 in einem Querschnitt auf einer Höhe einer freien Oberfläche eines Ferrofluids,

Fig. 10 eine stark schematische Darstellung einer zweiten Alternative einer Pumpe mit einem kugelförmigem Pumpengehäuse mit horizontal nebeneinanderliegendem Einlass und Auslass,

Fig. 11 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 10 mit einem Querschnitt in einer Höhe des Einlasses und Auslasses,

Fig. 12 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der Pumpe aus **Fig.** 10 in einem Querschnitt oberhalb des Einlasses und des Auslasses,

Fig. 13 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung einer Vorrichtung mit einer dritten Alternative der Pumpe in einem partiellen, mittigen horizontalen und vertikalen Schnitt mit Spulenringen in einem kugelförmigen Pumpengehäuse sowie mit einer Steuereinrichtung,

Fig. 14 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der dritten Alternative der Pumpe aus **Fig.** 13 mit einem Querschnitt in einer Höhe des Einlasses und Auslasses, und

Fig. 15 eine stark schematische dreidimensionale Darstellung der dritten Alternative der Pumpe aus **Fig.** 13 und 14 in einem Querschnitt oberhalb des Einlasses und des Auslasses auf Höhe eines Spulenrings.

[0054] Eine Pumpe 101 weist ein Pumpengehäuse 103 mit einer Außenoberfläche 105 auf. Das Pumpengehäuse 103 weist eine mittige Öffnung 107 entlang einer Mittelachse 119 auf, wobei eine Innenwand 108 des Pumpengehäuses 103 die mittige Öffnung umgibt. Des Weiteren weist das Pumpengehäuse 103 an seinem Außendurchmesser gegenüberliegend einen Einlass 121 und einen Auslass 123 mit entgegengesetzten Strömungsrichtungen auf. Der Einlass 121 und der Auslass 123 sind an ihrer jeweiligen Öffnung als Rohrabschnitt und in das Pumpengehäuse 103 hineinragend jeweils als Evolvente 125 ausgebildet. Das Pumpengehäuse 103 weist innenliegend einen umlaufenden, ringförmigen Umlaufkanal 111 mit einem Boden 113 auf. Der jeweils als Evolvente 125 ausgebildete Einlass 121 und Auslass 123 sind innenliegend mit dem Umlaufkanal 111 verbunden (siehe **Fig.** 1 und 2).

[0055] Um das Pumpengehäuse 103 ist eine Torus-Spule 131 mit einer ersten Wicklung 133 angeordnet, wobei die Windungen der ersten Wicklung 133 beabstandet umlaufend um einen Umfang des Pumpengehäuses 103 an der Außenoberfläche 105 und entlang der Innenwand 108 angeordnet sind, wobei im Bereich des Einlasses 121 und des Auslasses 123 jeweils ein Bereich 149 frei von der Wicklung 133 ist. Der Bereich 149 frei von der ersten Wicklung 133 stellt im Betrieb sicher, dass ein Einströmen eines Ferrofluids 115 durch den Einlass 121 und ein Ausströmen des Ferrofluids 115 aus dem Umlaufkanal 11 durch den Auslass 123 optimal und störungsfrei erfolgt. Unterhalb einer Unterseite des Pumpengehäuses 103 ist eine Flach-Spule 135 angeordnet. Die Flach-Spule 135 weist eine zweite Wicklung 137 mit Windungen konzentrisch um die Mittelachse 119 auf (siehe **Fig.** 3).

[0056] Die Pumpe 101 ist für eine Wärmeübertragung mit einer Leistung von 500 W bei einer Temperaturdifferenz von 30 °C zur Anwendung in einem Satelliten ausgelegt.

[0057] Im Betrieb der Pumpe 101 ist der Umlaufkanal 111 teilweise mit dem Ferrofluid 115 gefüllt, sodass eine freie Oberfläche 117 des Ferrofluides 115 vorliegt. Der Betrieb der Pumpe 101 erfolgt kontinuierlich, sodass kontinuierlich das Ferrofluid 115 durch den Einlass 121 einströmt, durch dessen Ausbildung als Evolvente 125 auf die Breite des Umlaufkanals 111 geführt wird und in einer Förderrichtung 127 durch die Ausbildung des Auslasses ebenfalls als Evolvente 125 wiederum gezielt von der Breite des Umlaufkanals 111 in den rohrförmigen Bereich des Auslasses 123 geführt wird, um über den Auslass 123 das Pumpengehäuse 103 zu verlassen (siehe **Fig.** 2 und 4). Dabei fließt ein Massestrom des Ferrofluids 115 in der Strömungsrichtung weiter innenliegend entlang der Innenwand 108 kreisförmig im Umlaufkanal 111 und verbleibt zirkulierend im Umlaufkanal 111.

[0058] Ein Antrieb und somit eine Bewegung des Ferrofluids 115 in der Förderrichtung 127 im Umlaufkanal 111 erfolgt durch die mittels der Torus-Spule 131 und der Flach-Spule 135 induzierten rotierenden Magnetfelder aufgrund einer Bestromung der Torus-Spule 131 und der Flach-Spule 135 mittels einer Stromversorgung einer nicht in den **Fig.** 1 bis 4 gezeigten Steuereinrichtung mit Wechselstrom. Hierbei wirkt das rotierende Magnetfeld der Torus-Spule 131 vor allem auf die freie Oberfläche 117 des Ferrofluids 115 und erzeugt aufgrund einer sprunghaften Reduzierung der magnetischen Leitfähigkeit an dieser freien Oberfläche 117 einen magnetischen horizontalen Oberflächenstress in Förderrichtung 127 und somit eine Rotationsbewegung des Ferrofluids 115 im Umlaufkanal 111. Die sprunghafte Reduzierung der magnetischen Leitfähigkeit an der freien Oberfläche 117 ist dadurch bedingt, dass der Umlaufkanal 111 oberhalb der freien Oberfläche 117 Stickstoff als nicht magnetisch leitfähiges Gas aufweist. Aufgrund der geringen Löslichkeit von Stickstoff in dem Ferrofluid verbleibt der Stickstoff im oberen Bereich des Umlaufkanals 111 oberhalb der freien Oberfläche 117.

[0059] Die Flach-Spule 135 induziert ein Magnetfeld mit einem asymmetrischen Feldgradienten, wodurch die freie Oberfläche 117 und das Ferrofluid 115 in Richtung auf den Boden 113 des Umlaufkanals 111 und auf die Unterseite 109 des Pumpengehäuses 103 fixiert werden und dadurch ein sich aufgrund der Haftbedingungen an der innenliegenden Seite der Innenwand 108 und der Außenseite des Umlaufkanals 111 ausbildender Meniskus kontrolliert ist.

[0060] Somit wird eine Pumpe 101 bereitgestellt, welche angetrieben durch die Magnetfelder der Torus-Spule 131 und der Flach-Spule 135 die Rotationsbewegung des Ferrofluides 115 als Rotationsströmung innerhalb des Umlaufkanals 111 und als Durchlaufströmung zwischen dem Einlass 121 und dem Auslass 123 frei von einer beweglichen mechanischen Komponente realisiert.

[0061] In einer in den **Fig.** 5 bis 9 gezeigten ersten Alternative der Pumpe 101 ist ein Pumpengehäuse 103 kugelförmig als Wickelkörper mit einer durchgehenden mittigen Öffnung 107 entlang einer Mittelachse 119 ausgebildet. Statt einer Flach-Spule 135 ist in dieser Alternative eine axial beabstandete Spule 139 mit einem ersten Spulenring 141, einem zweiten Spulenring 142, einem dritten Spulenring

143, einem vierten Spulenring 144, einem fünften Spulenring 145 und einem sechsten Spulenring 146 angeordnet. Die sechs Spulenringe 141 bis 146 sind entlang der Mittelachse 119 zueinander beabstandet in entsprechenden Aussparungen innerhalb einer Außenoberfläche 105 des Pumpengehäuses 103 eingelassen. Somit bilden die sechs Spulenringe 141 bis 146 Breitenkreise in dem kugelförmigen Pumpengehäuses 103 aus. Eine erste Wicklung 133 der Torus-Spule 131 ist entlang der gebogenen Außenoberfläche 105 und entlang der Innenwand 108 um die mittige Öffnung 107 umlaufend geführt, wobei die Windungen der ersten Wicklung 133 der Torus-Spule 131 Längenkreise ausbilden und im Wesentlichen orthogonal über den Spulenringen 141 bis 146 gelegt angeordnet sind. In dieser Alternative ist ein Auslass 123 oberhalb eines Einlasses 121 angeordnet und der Bereich oberhalb des Auslasses 123 wiederum als ein Bereich 149 frei von der ersten Wicklung 133 ausgebildet.

[0062] Durch die axial beabstandete Spule 139 mit den sechs Spulenringen 141 bis 146 ist über eine Höhe des Pumpengehäuses 103 in axialer Richtung entlang der Mittelachse 119 und somit über eine Kanalhöhe des Umlaufkanals 111 ein konstanter lineare Gradient der Feldstärke realisiert. Der Einlass 121 ist auf Höhe des Bodens 113 des Umlaufkanals 111 angeordnet, sodass das Ferrofluid 115 von unten in den Umlaufkanal 111 hineingeführt wird (siehe **Fig.** 6).

[0063] Wie im Querschnitt der Pumpe 101 beispielhaft für den Querschnitt in Höhe des fünften Spulenrings 145 in **Fig.** 7 gezeigt ist, sind die dritten bis sechsten Spulenringe 143 bis 146, welche auf einer Höhe unterhalb der freien Oberfläche 117 des Ferrofluids 115 angeordnet sind, mit ihrer jeweiligen Innenseite nahe an der Außenwand des Umlaufkanals 111 angeordnet. Da hier das Magnetfeld der axial beabstandeten Spule 139 mit den Spulenringen 141 bis 146 nicht quadratisch mit der Kanalhöhe abfällt, sondern derart kontrolliert ist, dass ein nahezu linearer Abfall vorliegt, ist eine größere Kanalhöhe in dieser Alternative der Pumpe 101 ermöglicht. Hierbei liegt ein mittlerer Volumenstrom von 280 mL/min im Umlaufkanal 111 vor.

[0064] Der Auslass 123 liegt oberhalb des fünften Spulenrings 145 und ist als Evolvente 125 am äußeren Rand des Umlaufkanals 111 und in dem Pumpengehäuse 103 ausgeführt, sodass in Förderrichtung 127 ein zunehmender Massenstrom aus dem Umlaufkanal 111 über den Auslass 123 abgeführt wird. Hierbei sind jeweils der Einlass 121 und der Auslass 123, welche horizontal übereinander liegen, durch das Pumpengehäuse 103 geführt und ausgerichtet (**Fig.** 8).

[0065] Bei dieser Alternative der Pumpe 101 liegt die freie Oberfläche 117 des Ferrofluides 115 geringfügig oberhalb des dritten Spulenrings 143 (**Fig.** 9). Der Umlaufkanal 111 oberhalb der freien Oberfläche 117 ist wiederum mit dem Gas Stickstoff gefüllt. Die in den **Fig.** 5 bis 9 gezeigte Alternative der Pumpe 101 wird prinzipiell wie oben beschrieben betrieben.

[0066] In einer in den **Fig.** 10 bis 12 gezeigten zweiten Alternative der Pumpe 101 mit einem kugelförmigen Pumpengehäuse 103 sind ein Einlass 121 und ein Auslass 123 außenliegend als rechteckiges Rohrprofil ausgebildet und horizontal beabstandet nebeneinanderliegend angeordnet. Ansonsten weist die Pumpe 101 wiederum eine Torus-Spule 131 und die axial beabstandete Spule 139 auf und wird analog betrieben.

[0067] Die Evolventen 125 des Einlasses 121 und des Auslasses 123 reichen vollständig in den Umlaufkanal 111 hinein (**Fig.** 11). Innenliegend sind die Evolventen 125 des Einlasses 121 und des Auslasses 123 derart ausgebildet, dass die Evolvente 125 des Einlasses 121 sich auf eine gesamte Breite des Umlaufkanals 111 erweitern und die Evolvente 125 des Auslass 123 sich von der gesamten Breite des Umlaufkanals 111 auf das rechteckige Rohrprofil verengt. Nach Eintreten des Fluides durch den Einlass 121 und Durchströmen der Evolvente 125 fällt die Kanaltiefe auf einen Boden 113 des Umlaufkanals 111 ab. Umgekehrt steigt der Boden 113 in Förderrichtung 127 zu der Evolventen 125 des Auslasses 123 an. Bei dieser zweiten Alternative wird folglich der gesamte Massenstrom des Ferrofluids 115 von dem Einlass 121 über den Umlaufkanal 111 zum Auslass 123 transportiert und der Umlaufkanal 111 ist nicht durchgehend ringförmig innenliegend ausgebildet, sodass auf der Höhe des Einlasses 121 und des Auslasse 123 keine Umlaufströmung vorliegt (**Fig.** 11). Diese zweite Alternative der Pumpe 101 ist vor allem für pulsierende Strömungsanforderungen einsetzbar. Unterhalb der Evolventen 125 des Einlasses 121 und des Auslasses 123 fließt das Ferrofluid 115 frei im Umlaufkanal 111, wodurch vor allem Kanalhöhe gewonnen wird und folglich eine höhere Pumpenrate bereitgestellt ist.

[0068] Bei dieser Alternative lässt sich die Förderrichtung 127 durch einen Phasenwechsel umkehren, wodurch der Einlass 121 und der Auslass 123 umgeschaltet werden. Bei einem Phasenversatz von 90° des induzierten Magnetfeldes erfolgt eine Förderrichtung 127 im Uhrzeigersinn (wie in **Fig.** 11 gezeigt), während bei einem Phasenversatz von 270° die Förderrichtung 127 umgekehrt wird und somit gegen den Uhrzeigersinn erfolgt, sodass entgegen der Darstellung in der **Fig.** 11 dann der Auslass 123 zum Einlass und der Einlass 121 zum Auslass wird.

[0069] Wie die **Fig.** 12 zeigt, befinden sich der Einlass 121 und der Auslass 123 innenliegend im Umlaufkanal 111 unterhalb der freien Oberfläche 117 und werden vom Ferrofluid 115 überströmt, sodass auf dieser Höhe eine Kreislaufströmung innerhalb des Umlaufkanals 111 ermöglicht ist. Die Windungen der ersten Wicklung 133 der Torus-Spule 131 reichen seitlich nahe an den Einlass 121 und den Auslass 123 heran und nur der dazwischen angeordnete Bereich 149 ist frei von der ersten Wicklung 133. Optional können anstelle des Bereiches 149 frei von einer Wicklung auch Windungen der ersten Wicklung 133 zwischen den horizontal beabstandeten Einlass 121 und Auslass 123 angeordnet sein.

[0070] Eine Vorrichtung 100 weist eine Steuereinrichtung 129 und eine dritte Alternative einer Pumpe 101 mit einem kugelförmigen Pumpengehäuse 103 auf. Diese dritte Alternative der Pumpe 101 weist eine Torus-Spule 131 und eine axial beabstandete Spule 139 mit sechs Spulenringen 141 bis 146 auf, welche in dem Pumpengehäuse 103 der Pumpe 101 eingelassen sind (siehe **Fig.** 13).

[0071] Ein Einlass 121 und ein Auslass 123 sind wiederum horizontal beabstandet außenliegend mit einem rechteckigen Rohrprofil ausgestaltet. Wie oben beschrieben kann durch Phasenversatz eine Umschaltung der Förderrichtung 127 und somit ein Wechsel zwischen dem Einlass 121 und Auslass 123 erfolgen.

[0072] Wie in den **Fig.** 13 bis 15 gezeigt ist, ist die Torus-Spule 131 nicht vollständig um die Außenoberfläche 105 des kugelförmigen Pumpengehäuses 103 gewickelt, sondern beginnt seitlich beabstandet zu dem Einlass 121 und dem Auslass 123 erst in einem Bereich, in dem der Umlaufkanal 111 eine ausreichende Tiefe am Boden 113 erreicht hat. Hierbei erfährt das einströmende Ferrofluid 115 beim Strömen in den tieferen Umlaufkanal 111 nach der Evolvente 125 aufgrund des Massenerhalts ein Abbremsen, wobei die maximale Geschwindigkeit des Ferrofluides 115 durch das rotierende Magnetfeld und eine Füllhöhe des Umlaufkanals von dem Boden 113 bis zur freien Oberfläche 117 an dem jeweiligen Ort vorgegeben ist. Ebenso tritt beim Ausströmen des Ferrofluids 115 aus dem Umlaufkanal 111 beim Übergang von der größeren Kanalhöhe bis zum Boden 113 zur höhergelegenen Evolvente 125 des Auslasses 123 eine Verlangsamung aufgrund einer Abnahme der Kanalhöhe und der magnetischen Randbedingungen statt. Wie in der **Fig.** 15 gezeigt ist, werden die Oberseiten der innenliegenden Evolventen 125 des Einlasses 121 und des Auslasses 123 von dem Ferrofluid 115 überspült, da diese unterhalb der freien Oberfläche 117 liegen. Zwischen der Oberseite der Evolventen 125 innenliegend in dem Umlaufkanal 111 und der freien Oberfläche 117 findet somit die Umlaufströmung im Umlaufkanal 111 statt.

[0073] Somit werden verschiedene Alternativen einer ferrohydrodynamischen Pumpe 101 bereitgestellt, welche lediglich aufgrund der Spulenkonfigurationen und des dadurch induzierten Magnetfeldes ein Ferrofluid 115 innerhalb der Pumpe 101 frei von der Verwendung von mechanisch beweglichen Antriebselementen antreibt.

Bezugszeichenliste

100	Vorrichtung
101	Pumpe
103	Pumpengehäuse
105	Außenoberfläche
107	mittige Öffnung
108	Innenwand
109	Unterseite des Pumpengehäuses
111	Umlaufkanal
113	Boden des Umlaufkanals
115	Ferrofluid
117	freie Oberfläche
119	Mittelachse
121	Einlass
123	Auslass
125	Evolvente
127	Förderrichtung
129	Steuereinrichtung
131	Torus-Spule
133	Erste Wicklung
135	Flach-Spule
137	Zweite Wicklung
139	Axial beabstandete Spule
141	erster Spulenring
142	zweiter Spulenring
143	dritter Spulenring
144	vierter Spulenring
145	fünfter Spulenring
146	sechster Spulenring
149	Bereich frei von Wicklung

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

- CN 207134974 U [0005]
- EP 0 600 759 A1 [0006]
- CN 205538797 U [0007]
- US 2016/0116223 A1 [0008]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- R. Krauß et al. (Pumping fluid by magnetic surface stress, New Journal of Physics 8 (2006) 18, doi: 10.1088/1367-2630/8/1/018 [0003]
- Nam-Trung Nguyen, Micro-magnetofluidics: interactions between magnetism and fluid flow on the microscale, January 2012, DOI 10.1007/s10404-011-0903-5; Felix Schäfer, Manfred Ehresmann, Georg Herdrich, Stefanos Fasoulas: Update on the development of FerrAC the mechanic-free attitude control system, October 2020, IAC-20-B4,6A,3,x61100 [0004]
- Anson Hatch, Andrew Evan Kamholz, Gary Holman, Paul Yager, and Karl F. Böhringer: A Ferrofluidic Magnetic Micropump, JOURNAL OF MICROELECTROME-CHANICAL SYSTEMS, VOL. 10, NO. 2, JUNE 2001 [0004]

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100) zum Transport eines paramagnetischen Fluids (115), wobei die Vorrichtung (100) mindestens eine Pumpe (101) mit einem Pumpengehäuse (103) und mindestens eine Spule (131, 135, 139) mit mindestens einer Wicklung (133, 137) eines Stromleiters aufweist und der Pumpe (101) das paramagnetische Fluid (115) zuordenbar ist, wobei das Pumpengehäuse (103) einen Einlass (121), einen Auslass (123) und eine mittige durchgehende Öffnung (107) angeordnet um eine Mittelachse (119) aufweist, wobei im Pumpengehäuse (103) innenliegend ein Umlaufkanal (111) zum Durchströmen mit dem paramagnetischen Fluid (115) angeordnet und der Umlaufkanal (111) mit dem Einlass (121) und dem Auslass (123) verbunden ist, wobei der Umlaufkanal (111) im Wesentlichen konzentrisch um die mittige durchgehende Öffnung (107) des Pumpengehäuses (103) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Spule (131, 135, 139) mit ihrer mindestens einen Wicklung (133, 137) zumindest teilweise umlaufend entlang einer Außenoberfläche (105) und der mittigen durchgehenden Öffnung (107) des Pumpengehäuse (103) angeordnet ist und den innenliegenden Umlaufkanal (111) umgibt, und der Einlass (121) und der Auslass (123) als eine Evolvente (125) ausgebildet sind, sodass in einem Betrieb der Pumpe (101) aufgrund eines rotierenden Magnetfeldes induziert von der mindestens einen Spule (131, 135, 139) der Transport des paramagnetischen Fluids (115) mittels der mindestens einen Pumpe (101) frei von einer mechanisch beweglichen Komponente realisierbar ist.

2. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das paramagnetische Fluid (115) ein Arbeitsmedium der Pumpe (101) ist und in dem Betrieb eine freie Oberfläche (117) in dem Umlaufkanal (111) aufweist, auf welche das rotierende Magnetfeld haltend einwirkbar ist.

3. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (100) ein zweite Spule und optional weitere Spulen (131, 135, 139) aufweist.

4. Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Spule, die zweite Spule und/oder weitere Spulen (131, 135, 139) gleiche und/oder unterschiedliche Wicklungsabstände verteilt über die Außenoberfläche (105) des Pumpengehäuses (103) und/oder jeweils in einem Bereich (149) in einer Nähe zum und/oder am Einlass (121) und/oder Auslass (123) einen anderen Wicklungsabstand als in einem Bereich um das Pumpengehäuse (103) frei von dem Einlass (121) und/oder Auslass (123) aufweist oder aufweisen.

5. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Spule (135) und/oder eine weitere Spule flächig an einer Unterseite (109) des Pumpengehäuses (103) zum Erzeugen eines asymmetrischen Magnetfeldgradienten angeordnet und/oder mit mindesten einer Wicklung (137) in einer Richtung unterschiedlich zu der Mittelachse (119) um das Pumpengehäuse (103)ausgebildet ist oder sind.

6. Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Wicklung (133) der ersten Spule (131) und die mindestens eine Wicklung (137, 141, 142, 143, 144, 145, 146) der zweiten Spule (137, 139) unterschiedliche Richtungen aufweisen und/oder im Wesentlichen orthogonal zueinander ausgerichtet sind.

7. Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einlass (121) auf einer Höhe eines Bodens (113) des Umlaufkanals (111) und/oder der Auslass (123) auf einer Höhe der freien Oberfläche (117) des paramagnetischen Fluids (115) angeordnet ist oder sind.

8. Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (100) eine Steuerungseinrichtung (129) zum Ansteuern der ersten Spule, der zweiten Spule und/oder der weiteren Spule (131, 135, 139) aufweist.

9. Vorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (100) eine zweite Pumpe, eine dritte Pumpe, eine vierte Pumpe und optional weitere Pumpen (101) aufweist, wobei die Pumpen zueinander parallel und/oder in Reihe geschaltet sind.

10. Verwendung einer Vorrichtung (100) mit mindestens einer Pumpe (101) nach einen der Ansprüche 1 bis 9 zum Transportieren eines paramagnetisches Fluids (115) unter Mikrogravitation, insbesondere in der Raumfahrt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

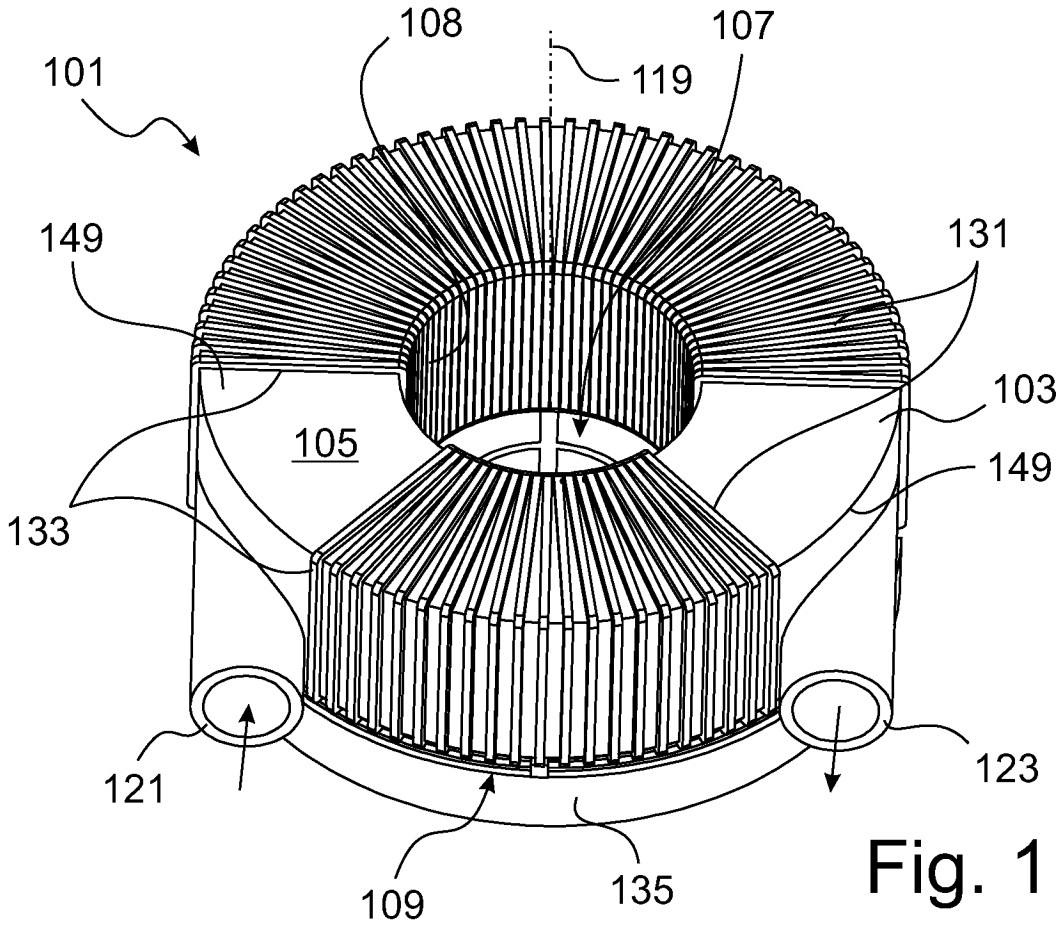


Fig. 1

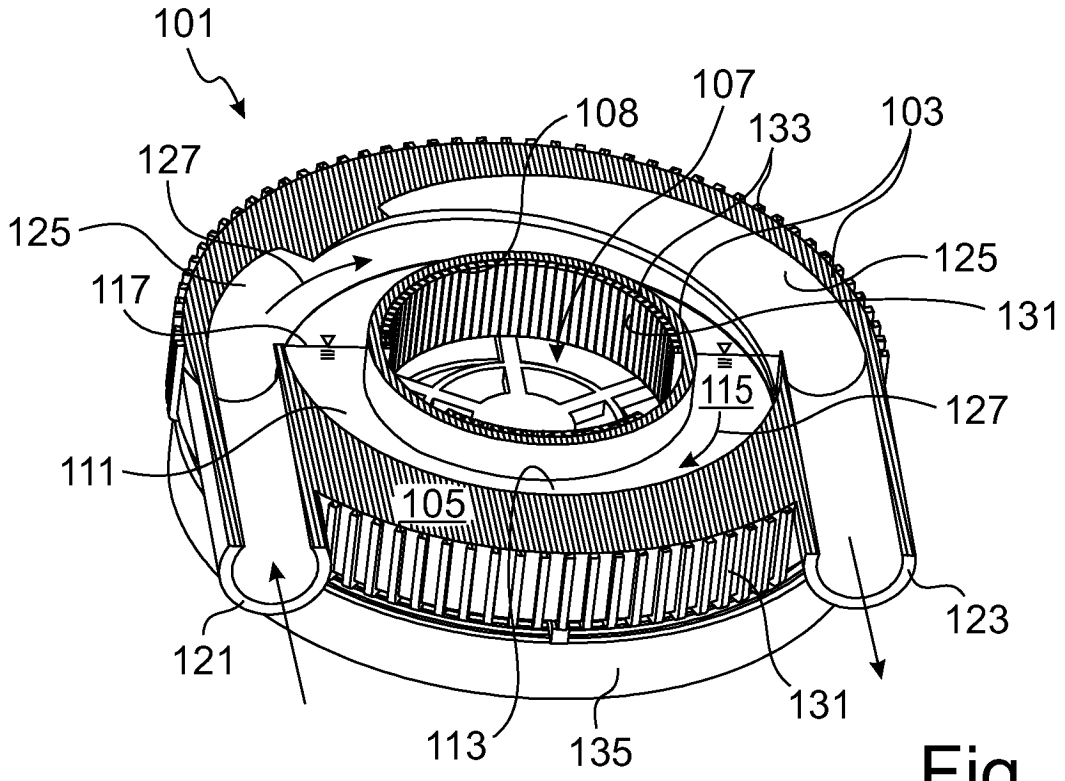


Fig. 2

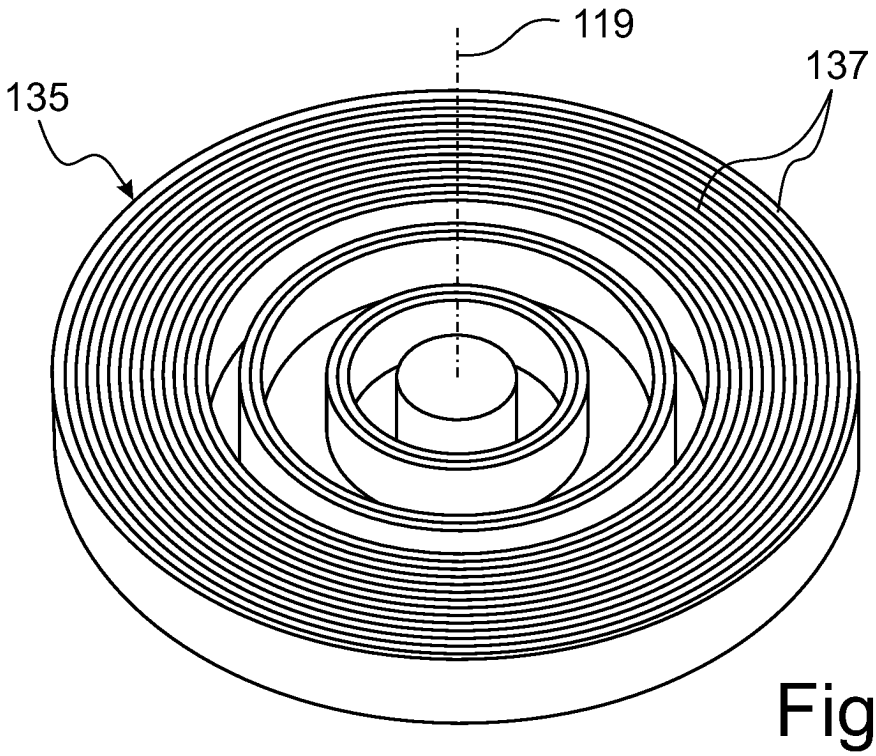


Fig. 3

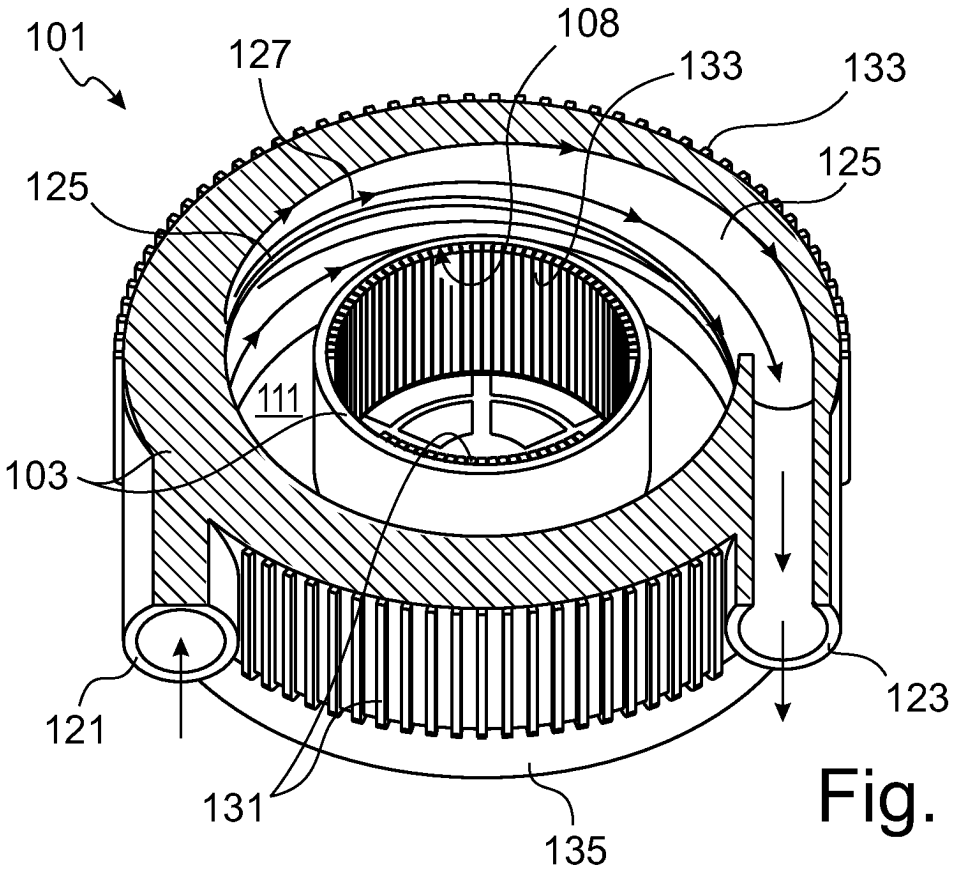


Fig. 4

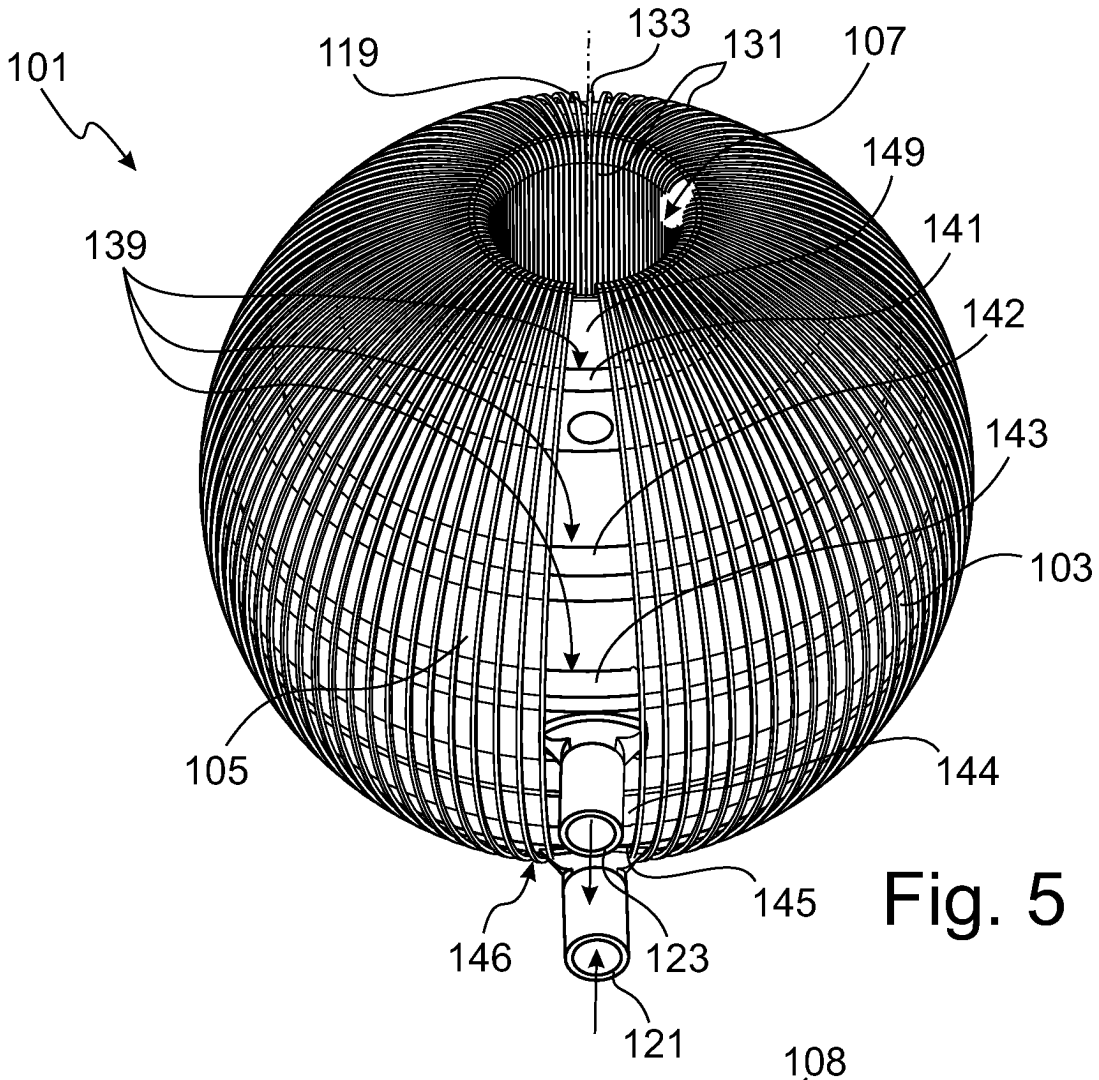

101
119
133
131
107
149
139
141
142
143
103
105
144
145
146
123
121

Fig. 5

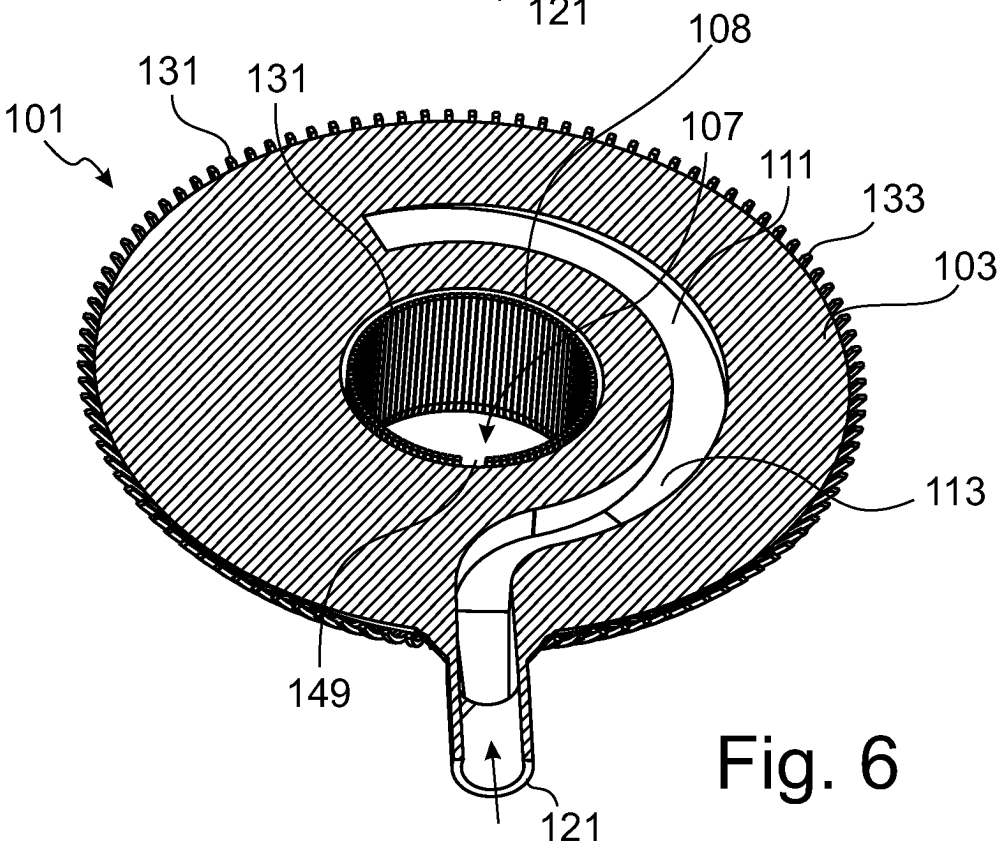

108
131
131
101
107
111
133
103
113
149
121

Fig. 6

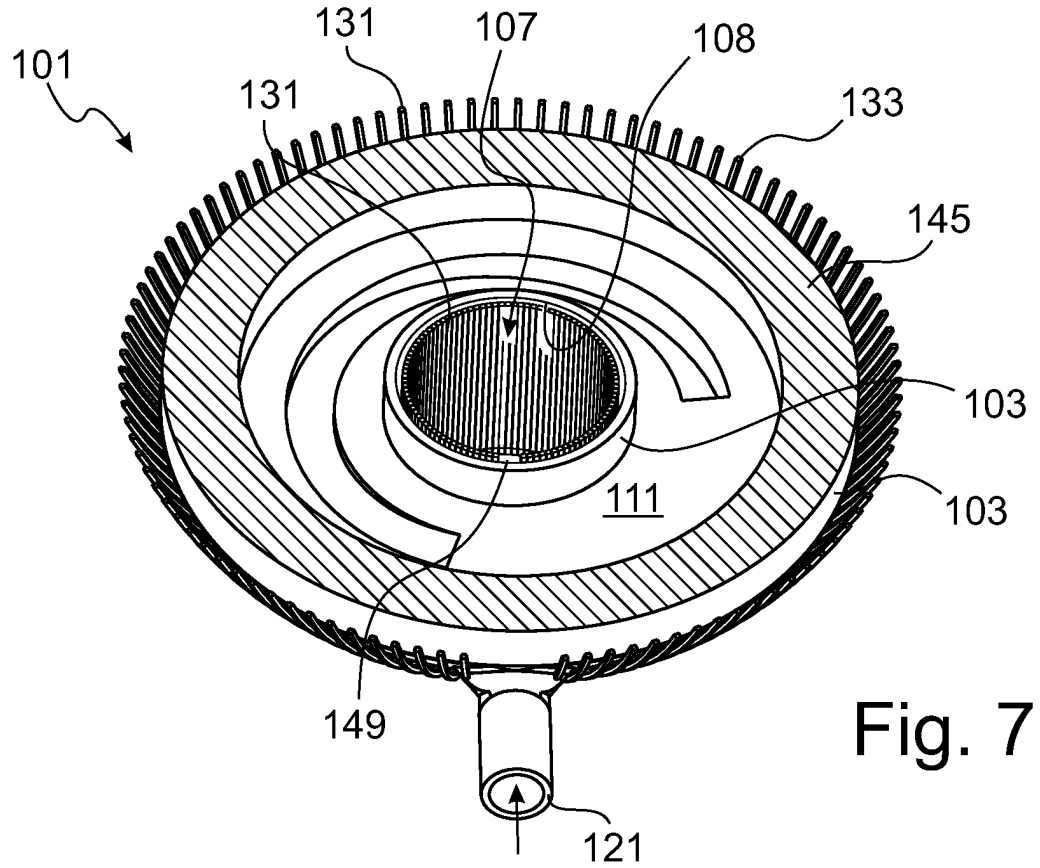

101
131
131
107
108
133
145
103
103
111
149
121

Fig. 7

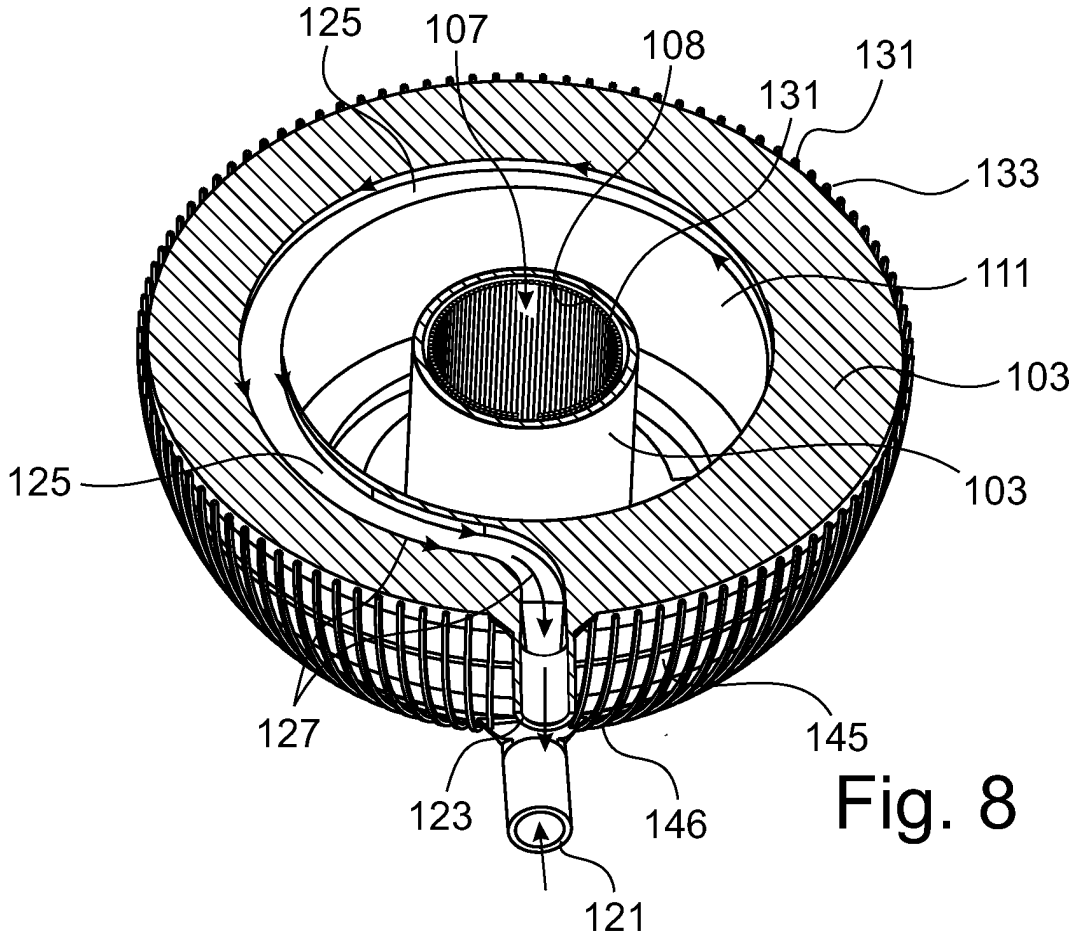

125
107
108
131
131
133
111
103
125
103
127
145
123
146
121

Fig. 8

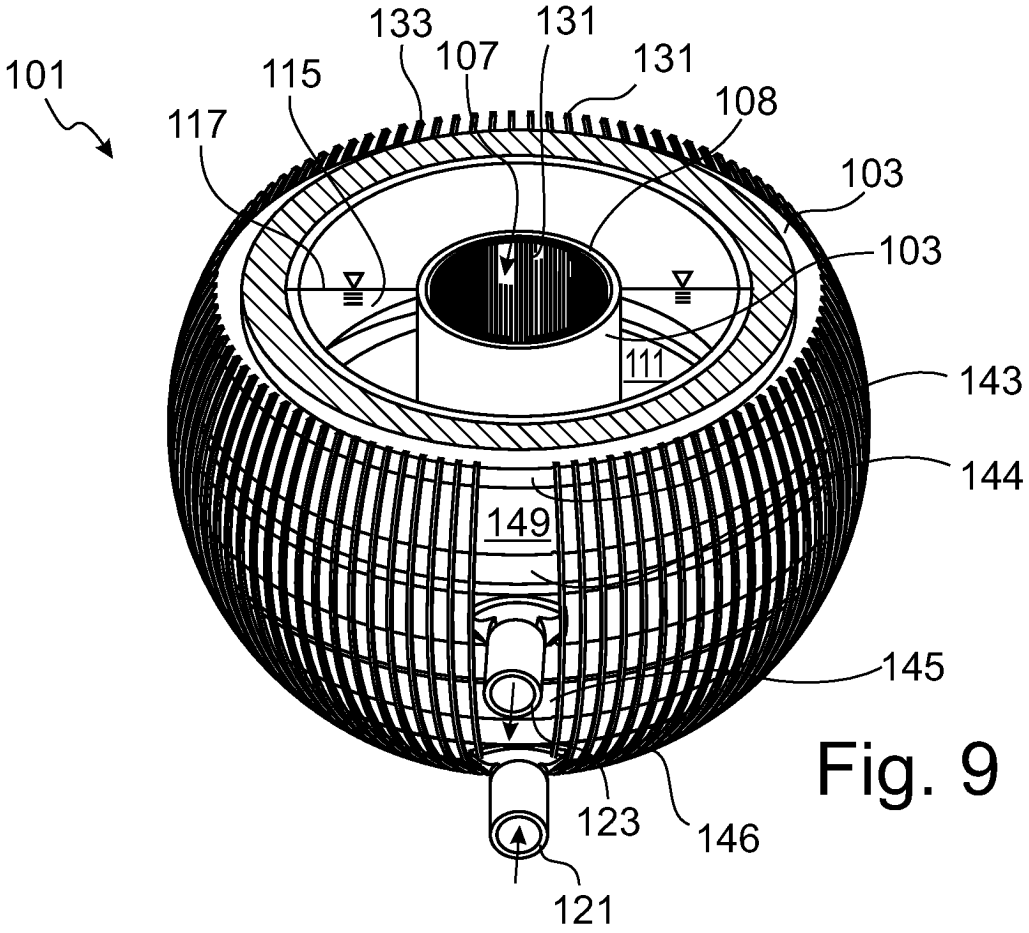

101
133
131
107
131
115
108
117
103
103
111
143
144
149
145
123
146
121

Fig. 9

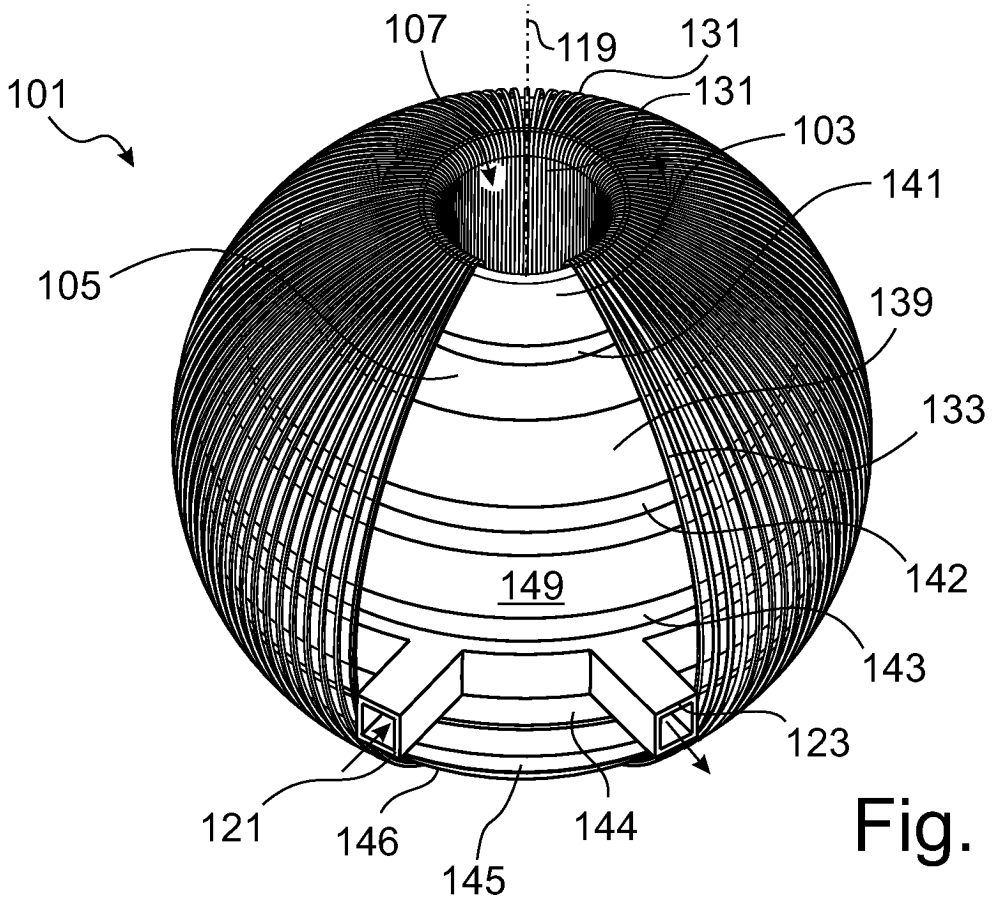

107
119
131
101
131
103
141
105
139
133
142
149
143
123
121
146
144
145

Fig. 10

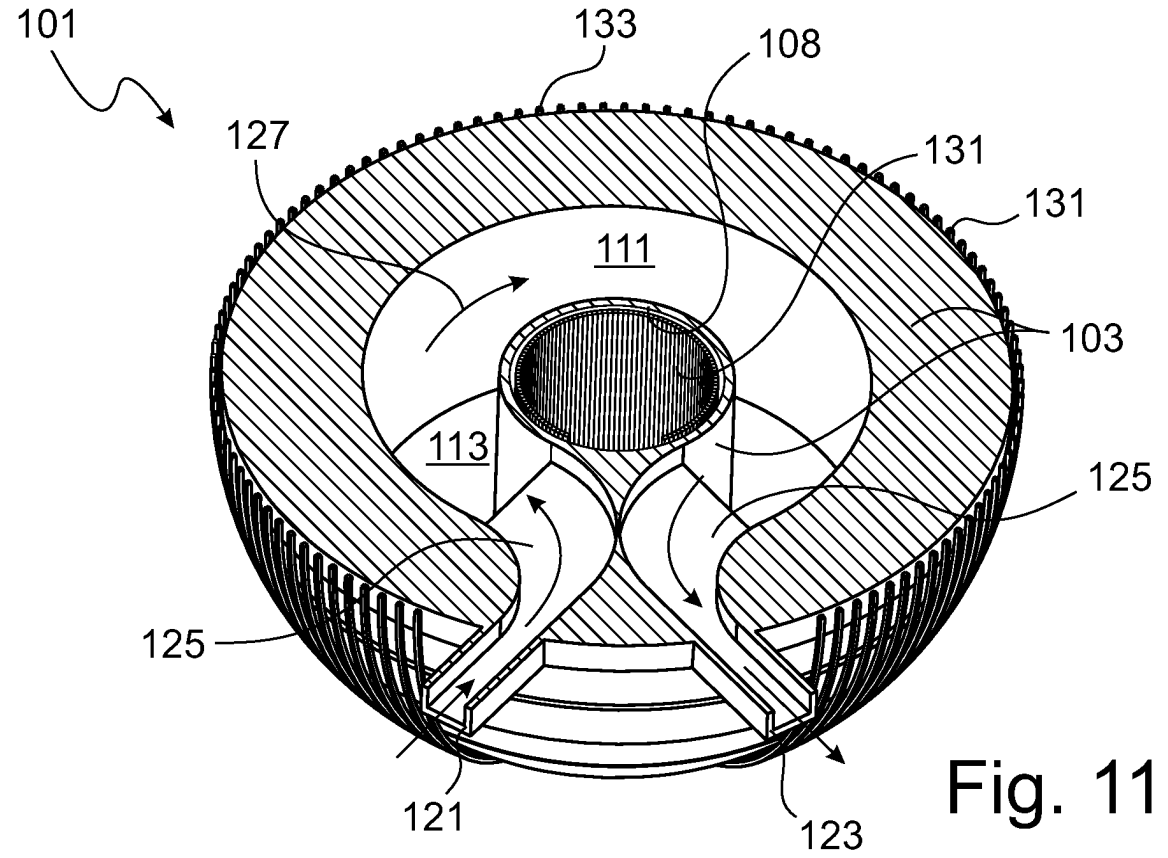

101
133
108
127
131
131
111
103
113
125
125
121
123

Fig. 11

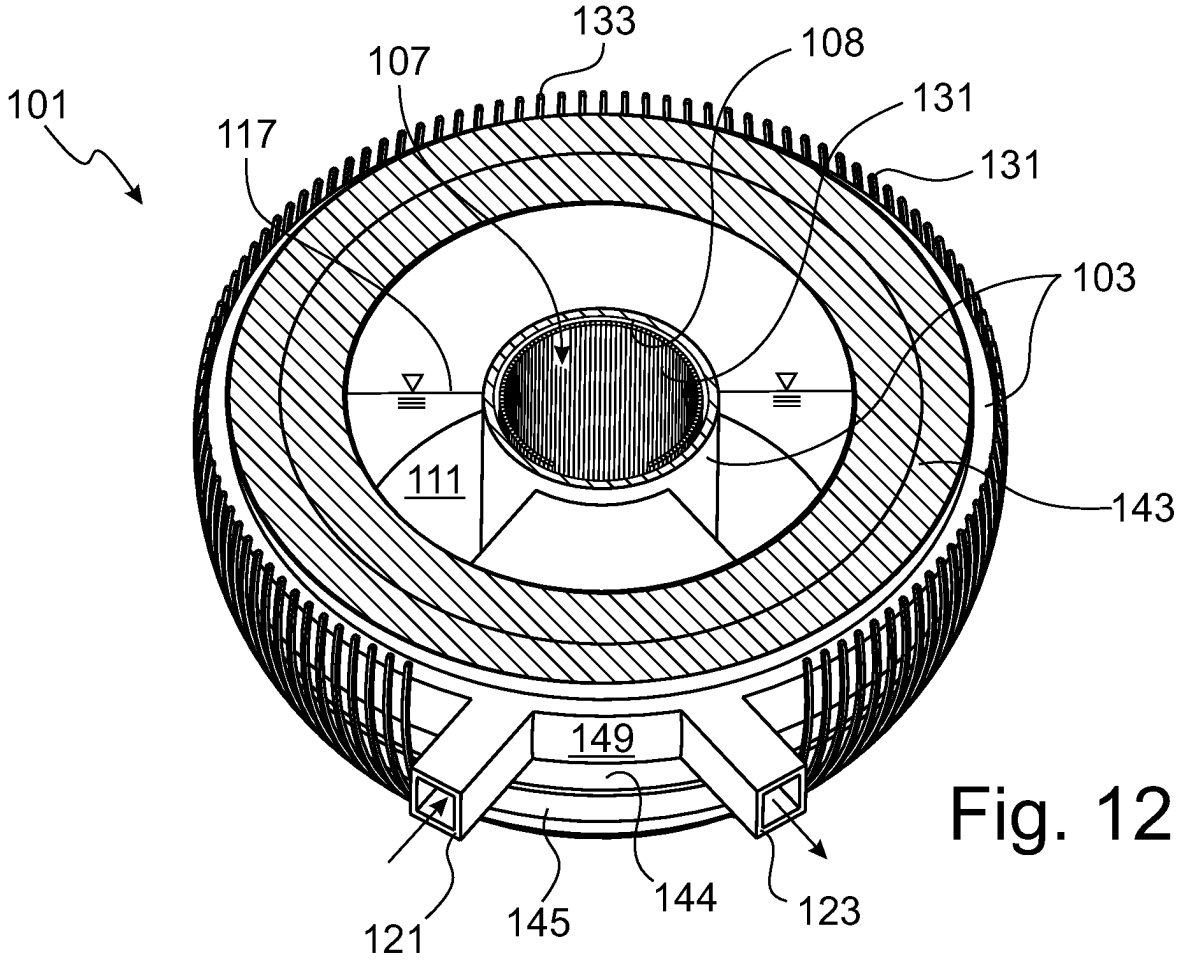

133
107
108
101
117
131
131
103
111
143
149
121
145
144
123

Fig. 12

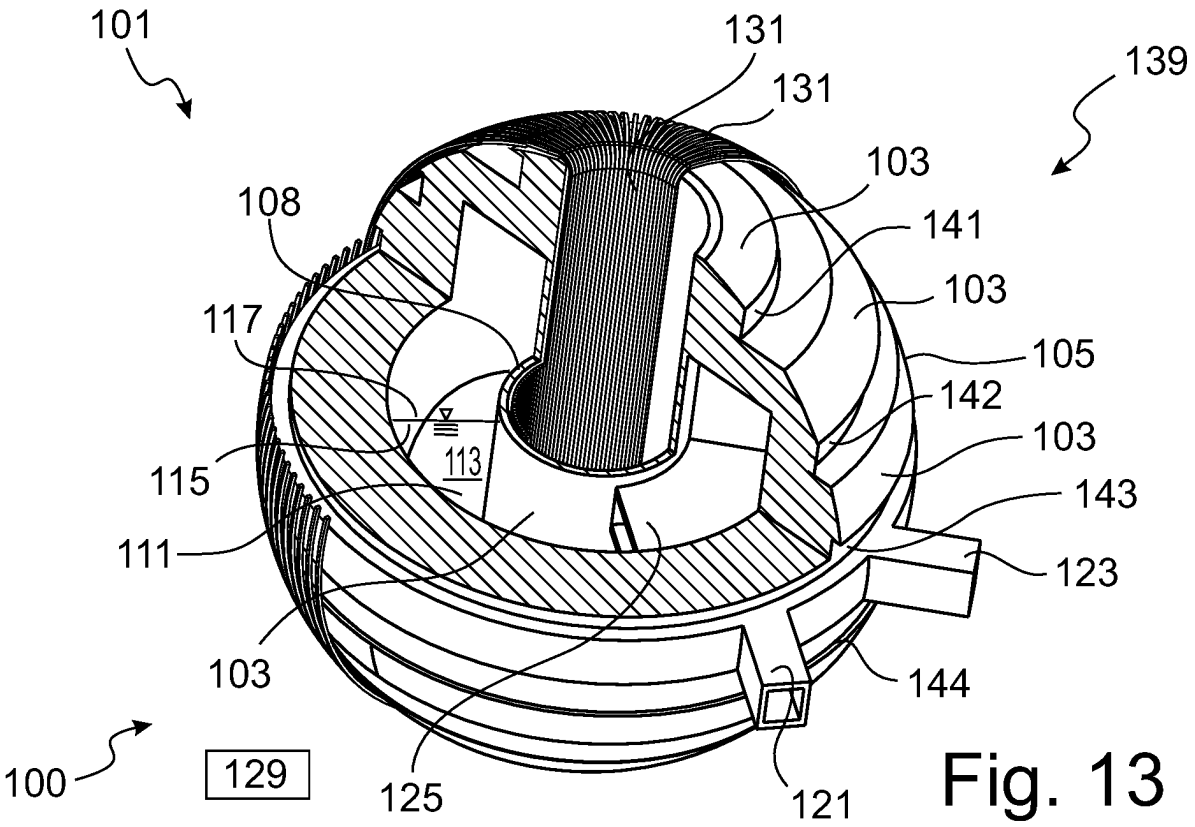

101
131
131
139
103
108
141
103
117
105
142
103
113
115
143
111
123
103
144
100
129
125
121

Fig. 13

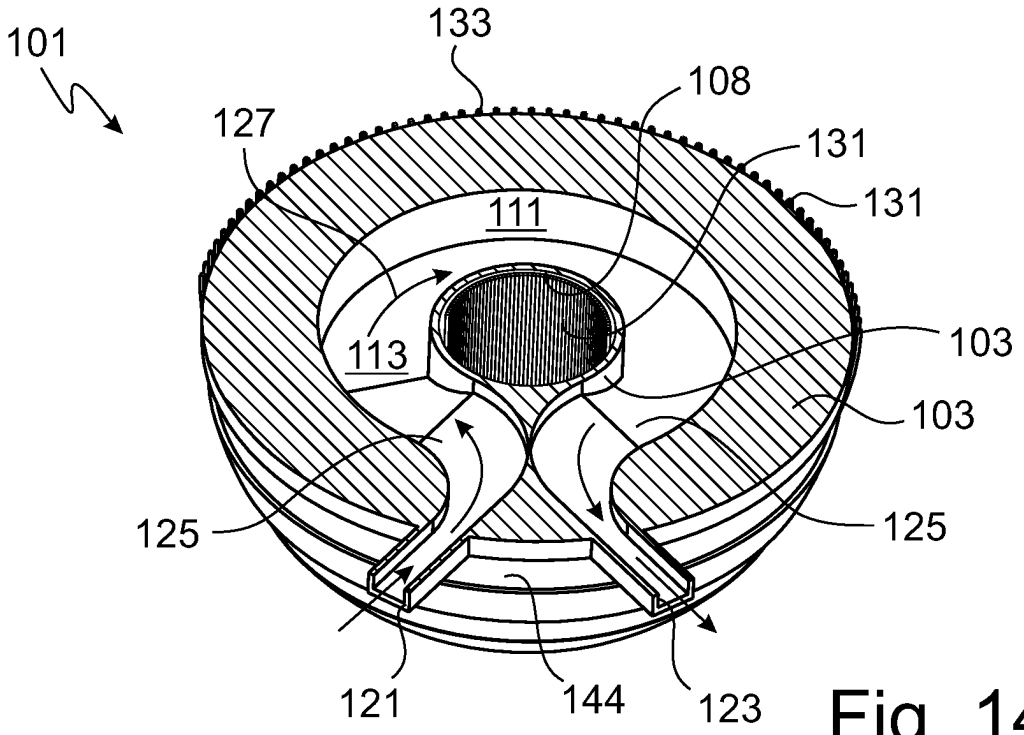

101
133
108
127
131
131
111
113
103
103
125
125
121
144
123

Fig. 14

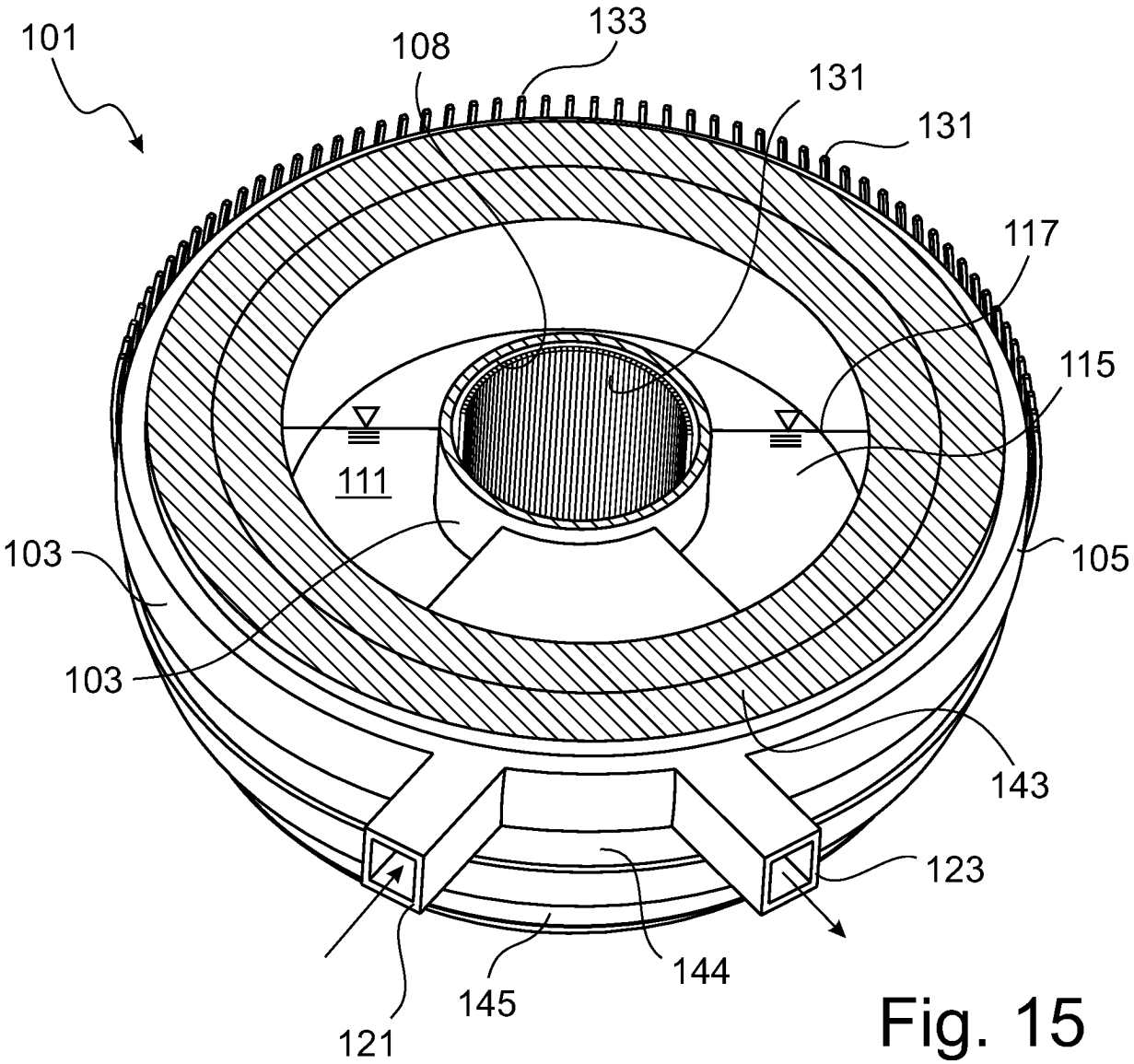


Fig. 15

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.