



(10) **DE 10 2013 218 060 A1** 2014.06.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 218 060.8**

(22) Anmeldetag: **10.09.2013**

(43) Offenlegungstag: **12.06.2014**

(51) Int Cl.: **H02K 33/12 (2006.01)**

**H02K 7/14 (2006.01)**

**H02K 41/02 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

**10 2012 222 430.0 06.12.2012**

**10 2013 205 708.3 28.03.2013**

(72) Erfinder:

**Paweletz, Anton, 70736, Fellbach, DE; Knoop,  
Michael, 71638, Ludwigsburg, DE; Gosse, Daniel,  
10115, Berlin, DE**

(71) Anmelder:

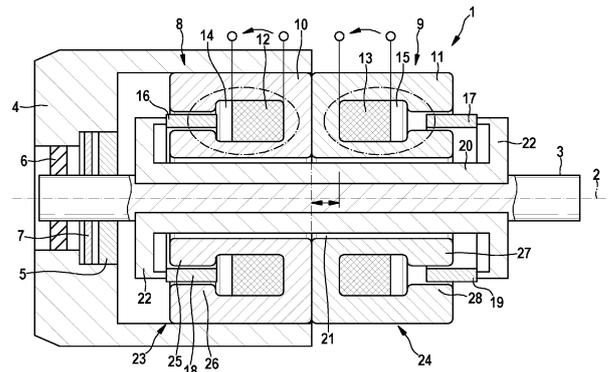
**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Linearantrieb sowie Kolbenpumpenanordnung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Linearantrieb (1), insbesondere für eine Kolbenpumpe, mit einer ersten elektromagnetischen Antriebseinrichtung (8), einer zweiten elektromagnetischen Antriebseinrichtung (9) und einem mittels der Antriebseinrichtungen (8, 9) in axialer Richtung verlagerbaren Antriebskolben (3). Dabei ist vorgesehen, dass die erste Antriebseinrichtung (8) und die zweite Antriebseinrichtung (9) jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet sind, wobei jede der Reluktanzantriebseinrichtungen (8, 9) einen Stator (10, 11) mit einer Spulenwicklung (12, 13) und einem Spulenkern (23, 24) aufweist, der eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme (16, 17) für einen mit dem Antriebskolben (3) wirkverbundenen, aus ferromagnetischem, insbesondere weichmagnetischem Material bestehenden Anker (18, 19) aufweist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Kolbenpumpenanordnung.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Linearantrieb, insbesondere für eine Kolbenpumpe, mit einer ersten elektromagnetischen Antriebseinrichtung, einer zweiten elektromagnetischen Antriebseinrichtung und einem mittels der Antriebseinrichtungen in axialer Richtung verlagerbaren Antriebskolben. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Kolbenpumpenanordnung.

### Stand der Technik

**[0002]** Der Linearantrieb verfügt über die beiden elektromagnetischen Antriebseinrichtungen und den Antriebskolben, welcher in axialer Richtung mittels der Antriebseinrichtungen verlagerbar ist. Dabei kann mithilfe der ersten elektromagnetischen Antriebseinrichtung eine Verlagerung des Antriebskolbens in eine erste Richtung und mithilfe der zweiten elektromagnetischen Antriebseinrichtung in eine der ersten Richtung entgegengesetzte zweite Richtung bewirkt werden, indem die jeweilige Antriebseinrichtung ein Magnetfeld erzeugt. Der Linearantrieb kann besonders vorteilhaft als Antrieb einer Kolbenpumpe eingesetzt werden.

**[0003]** Aus dem Stand der Technik ist beispielsweise die DE 30 33 684 A1 bekannt, welche eine Kolbenpumpe mit elektromagnetischem Antrieb beschreibt. Der Kolben der Kolbenpumpe ist dabei als durchbohrter Zylinder aus ferromagnetischem Material hoher Remanenz und Koerzitivkraft ausgeführt und permanent axial magnetisiert. Er bewegt sich in einer Laufbüchse aus unmagnetischem Material zwischen den Polen von zwei koaxial gestalteten Elektromagneten unter dem Einfluss eines Erregerstroms hin und her. Der magnetische Kreis ist jeweils über ein gemeinsames, radial zur Mitte des Kolbens gerichtetes Kraftlinienleitstück geschlossen, wobei vorzugsweise ein in der axialen Längsbohrung des Kolbens befindliches Ventil für eine einseitig gerichtete Strömung sorgt.

**[0004]** Häufig ist der Einsatz eines derartigen elektromagnetischen Linearantriebs jedoch nur mit hohem Aufwand möglich, weil zum einen die Kraft und/oder die maximal erzielbare Hubfrequenz des Linearantriebs nicht ausreichend sind und zum anderen der Linearantrieb im Vergleich zu einem rotierenden Elektromotor, der den Pumpenkolben exzentrisch betätigt, eine höhere Stromaufnahme aufweist. Dies ist insbesondere bei der Verwendung des Linearantriebs für eine Kolbenpumpe in einem Fahrzeugregelsystem, insbesondere in einem Fahrerassistenzsystem, problematisch. In diesen kommen daher häufig Kolbenpumpen zum Einsatz, welche den vorstehend beschriebenen rotierenden Elektromotor aufweisen, welcher den Pumpenkolben mittels eines Exzenters exzentrisch betätigt. Dies bedeutet jedoch, dass der Volumenstrom des mittels der Kolbenpumpe geförderten Fluids lediglich über die Drehzahl des Elek-

tromotors, also über die Frequenz der exzentrischen Betätigung, einstellbar ist.

### Offenbarung der Erfindung

**[0005]** Der Linearantrieb mit den Merkmalen des Anspruchs 1 weist dagegen den Vorteil auf, dass sowohl die Frequenz als auch der Hub der Verlagerung des Antriebskolbens wählbar ist. Zudem weist er eine im Vergleich zu bekannten Linearantrieben geringen Energiebedarf auf und stellt dennoch eine ausreichend große Kraft für die Betätigung der Kolbenpumpe bereit. Dies wird erfindungsgemäß erreicht, indem die erste Antriebseinrichtung und die zweite Antriebseinrichtung jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet sind, wobei jede der Reluktanzantriebseinrichtungen einen Stator mit einer Spulenwicklung und einem Spulenkern aufweist, der eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme für einen mit dem Antriebskolben wirkverbundenen, aus ferromagnetischem, insbesondere weichmagnetischen Material bestehenden Anker aufweist. Wie bereits vorstehend erläutert, sind die beiden Antriebseinrichtungen dazu ausgebildet, den Antriebskolben in vorzugsweise gegenüberliegende Richtungen zu verlagern. Entsprechend kann die erste Antriebseinrichtung eine Kraft in die erste Richtung und die zweite Antriebseinrichtung eine Kraft in die zweite Richtung, jeweils auf den Antriebskolben wirkend, erzeugen. Die Antriebseinrichtungen sind nun als Reluktanzantriebseinrichtungen ausgebildet.

**[0006]** Unter einer Reluktanzantriebseinrichtung ist eine Antriebseinrichtung zu verstehen, bei welcher ausschließlich der Stator, nicht jedoch der Rotor, bestromt wird. Entsprechend weist der Stator die Spulenwicklung beziehungsweise zumindest eine Spulenwicklung auf. Die Spulenwicklung ist dem Spulenkern zugeordnet beziehungsweise nimmt diesen wenigstens bereichsweise in sich auf, sodass bei einer Bestromung der Spulenwicklung ein magnetischer Fluss in dem Spulenkern auftritt. Jeder der Spulenkern weist nun jeweils eine Ankeraufnahme auf, die als Luftspalt in dem Spulenkern vorliegt. Das bedeutet, dass beispielsweise ein Schenkel des Spulenkerns und mithin der Spulenkern an dieser Stelle vollständig unterbrochen sind. Die Ankeraufnahme ist derart ausgebildet, dass der ihr jeweils zugeordnete Anker in sie eingreifen kann. Der Anker ist dabei mit dem Antriebskolben wirkverbunden.

**[0007]** Wird nun die Spulenwicklung bestromt, liegt also ein Magnetfeld und mithin ein magnetischer Fluss in dem Spulenkern vor, so versucht dieser, den Anker in eine Stellung mit minimaler Reluktanz zu drängen. Diese Stellung liegt beispielsweise vor, wenn – im Querschnitt gesehen – der Anker mitten in der Ankeraufnahme angeordnet ist, insbesondere also der (geometrische) Schwerpunkt des Ankers mit dem (geometrischen) Schwerpunkt der Ankeraufnahme

me zusammenfällt. Entsprechend dem Prinzip der Reluktanzantriebseinrichtung besteht der Anker aus einem ferromagnetischen Material und ist nicht permanent magnetisiert. Vorzugsweise besteht er aus einem weichmagnetischen Material, also aus einem ferromagnetischen Material, welches sich in einem Magnetfeld leicht magnetisieren lässt. Das weichmagnetische Material besitzt beispielsweise eine Koerzitivfeldstärke von höchstens 1.000 A/m. Beispielsweise liegt das ferromagnetische beziehungsweise weichmagnetische Material in Form von Eisen beziehungsweise einer Eisenlegierung vor.

**[0008]** Insbesondere bei der Verwendung des Linearantriebs zum Antrieb der Kolbenpumpe ergeben sich zahlreiche Vorteile. Zunächst kann ein Pumpenkolben der Kolbenpumpe fest mit dem Antriebskolben verbunden sein, beispielsweise kraftschlüssig, formschlüssig und/oder stoffschlüssig. Zudem kann der Volumenstrom der Kolbenpumpe nun nicht lediglich über die Frequenz der Verlagerung des Antriebskolbens, sondern zusätzlich über deren Hub skaliert werden. Dadurch ergibt sich eine Reduktion der Volumenstromungleichförmigkeit und mithin der dadurch induzierten Geräusche. Weil die Ansteuerung nun mit zwei Freiheitsgraden, nämlich der Frequenz und der Amplitude des Antriebskolbens, möglich ist, können günstige Betriebsbereiche (beispielsweise bezüglich Komfortvarianz und/oder Leistungsvarianz) besser durch eine entsprechende Ansteuerung des Linearantriebs erreicht werden.

**[0009]** Auch kann der Exzenter entfallen, mittels welchem eine Rotation des Elektromotors in eine oszillierende Bewegung des Pumpenkolbens vorgenommen wird. Unter anderem dadurch ergibt sich eine weitere Geräuschreduktion durch Eliminierung mechanischer Geräuschquellen, beispielsweise Lager, Exzenter und/oder Kommutator. Speziell durch den Entfall des Kommutators, welcher üblicherweise Kohlebürsten enthält, wird zudem eine deutliche Verlängerung der Lebensdauer erzielt. Als weitere Vorteile sind zu nennen, dass je nach angewandtem Material eine Reduktion von Bauraumbedarf und Gewicht und mithin eine erhöhte Leistungsdichte erreicht werden kann. Auch wird die Anzahl der benötigten Bauteile, beispielsweise Lager, Bürsten und/oder Bürstenträger, deutlich reduziert. Zudem wird die Fertigung vereinfacht. Dies gilt insbesondere für die Statorwicklung und den Anker. Eine aufwendige Kontaktierung eines Ankers, wie sie für eine Kommutatormaschine notwendig ist, entfällt. Dadurch ist auch eine bessere Diagnostik in der Fertigung möglich.

**[0010]** Durch die Ausbildung der Antriebseinrichtungen als Reluktanzantriebseinrichtungen entfallen Permanentmagnete, welche häufig seltene Erden enthalten und mithin teuer sind. Bei entsprechender Auslegung des Linearantriebs kann zudem auf einen mechanischen Anschlag verzichtet werden be-

ziehungsweise dieser durch einen elektromagnetischen Anschlag ersetzt werden. Entsprechend ergibt sich eine Vereinfachung der Regelung und der Betriebsdiagnostik der Kolbenpumpe beziehungsweise des Linearantriebs. Auch sind die Spulenwicklungen des erfindungsgemäßen Linearantriebs mit einem sehr guten Füllfaktor fertigbar. Dieser ermöglicht unter anderem die gute thermische Kopplung der Spulen an den jeweiligen Spulenkern, sodass eine effektive Kühlung beziehungsweise Entwärmung der Spulenwicklung erfolgen kann.

**[0011]** Die Kolbenpumpe, welche mithilfe des Linearantriebs angetrieben wird, ist zudem äußerst robust. Beispielsweise führt eine Leckage von Fluid nicht zu einem Funktionsausfall der Kolbenpumpe. Auch liegen keine Radiallager und/oder Kohlebürsten vor, welche üblicherweise einem hohen Verschleiß unterworfen sind und entsprechend die Lebensdauer der Kolbenpumpe begrenzen.

**[0012]** Selbstverständlich können mithilfe des Linearantriebs auch mehr als eine Kolbenpumpe, insbesondere zwei Kolbenpumpen, angetrieben werden. Der Linearantrieb ist bevorzugt derart ausgeführt, dass seine Arbeitspunkte stabil sind, sodass die Bewegung des Antriebskolbens nicht mithilfe von mechanischen Anschlüssen begrenzt sein muss. Der Linearantrieb kann zum einen hinsichtlich der Frequenz des Hubs als auch durch die Größe des Hubs eingestellt werden. Ersteres erfolgt durch entsprechende Wahl der Frequenz, mit welcher die Bestromung der Antriebseinrichtungen wechselt. Letzteres kann durch eine Variation der Dauer der Bestromung wunschgemäß eingestellt werden.

**[0013]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ankeraufnahme als Ringspalt vorliegt oder sich aus mehreren Segmenten, insbesondere Ringspaltsegmenten, zusammensetzt. Im Querschnitt gesehen – bezogen auf eine Längsmittelachse des Antriebskolbens – ist die Ankeraufnahme also rund beziehungsweise kreisförmig. Dabei kann sie durchgehend ausgebildet sein, also über den gesamten Umfang – wiederum bezogen auf die Längsmittelachse – vorliegen beziehungsweise in dem Spulenkern ausgebildet sein. Alternativ kann sie sich selbstverständlich aus den mehreren Segmenten zusammensetzen, welche beispielsweise als Ringspaltsegmente ausgebildet sind.

**[0014]** Das bedeutet, dass die Ankeraufnahme nicht über den gesamten Umfang in dem Spulenkern vorliegt, sondern dass beispielsweise der Spulenkern aus mehreren Teilen besteht, welche in Umfangsrichtung verteilt, insbesondere gleichmäßig verteilt, angeordnet sind. Bevorzugt ist es selbstverständlich vorgesehen, dass der Anker analog beziehungsweise formangepasst zu der Ankeraufnahme ausgebildet ist. Auch er kann also in Umfangsrichtung durch-

gehend ausgebildet sein und mithin als Ring vorliegen oder sich aus mehreren Segmenten zusammensetzen. Auf diese Weise können die Antriebs-einrichtungen derart ausgestaltet sein, dass der magnetische Hauptfluss jeweils den geringsten magnetischen Widerstand erfährt. Sind die mehreren Segmente vorgesehen, so liegen diese in Umfangsrichtung beispielsweise um 180°, 120°, 90°, 60°, 45°, 30° oder 20° zueinander versetzt vor und sind zudem in Umfangsrichtung voneinander beabstandet. Bevorzugt ist es auch im Fall der zusammengesetzten Ankeraufnahme vorgesehen, dass die Spulenwicklung in Umfangsrichtung durchgehend ausgebildet ist.

**[0015]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Ankeraufnahme den Antriebskolben in Umfangsrichtung wenigstens bereichsweise umgreift oder von diesem umgriffen ist. Grundsätzlich können zwei verschiedene Ausführungsformen des Linearantriebs unterschieden werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Spulenkern derart ausgebildet, dass er den Antriebskolben in Umfangsrichtung wenigstens bereichsweise, insbesondere vollständig, umgreift. Entsprechend gilt dies auch für die Ankeraufnahme, welche in dem Spulenkern ausgebildet ist. Bei dieser Ausführungsform ist der Antriebskolben in dem Stator beziehungsweise dem Spulenkern längsbeweglich geführt. In einer zweiten Ausführungsform umgreift dagegen der Antriebskolben die Ankeraufnahme beziehungsweise den Spulenkern. In diesem Fall ist jedoch die Aufhängung des Stators schwieriger zu bewerkstelligen, sodass üblicherweise die erste Ausführungsform bevorzugt wird.

**[0016]** Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass eine in dem Spulenkern ausgebildete Spulenaufnahme für die Spulenwicklung im Längsschnitt gesehen eine größere Erstreckung in radialer Richtung aufweist als die Ankeraufnahme. Der Längsschnitt ist wiederum auf die Längsmittelachse des Antriebskolbens bezogen. Die Spulenwicklung ist – im Längsschnitt gesehen – üblicherweise zumindest in radialer Richtung deutlich größer als der Anker, welcher in die Ankeraufnahme zumindest zeitweise wenigstens bereichsweise eingreift. Das bedeutet, dass der Abstand zwischen einer in radialer Richtung weiter innenliegenden Innenfläche der Spulenaufnahme und einer in radialer Richtung weiter außenliegenden Außenfläche der Spulenaufnahme größer ist als der Abstand zwischen einer Innenfläche und einer Außenfläche der Ankeraufnahme.

**[0017]** Üblicherweise ist zu diesem Zweck die Innenfläche der Ankeraufnahme weiter von der Längsmittelachse entfernt als die Innenfläche der Spulenaufnahme, während die Außenfläche der Ankeraufnahme bezüglich der Außenfläche der Spulenaufnahme in radialer Richtung weiter innenliegend vorgesehen ist. Zusammenfassend bedeutet dies, dass eine Ausnehmung des Spulenkerns, welche sich aus der Spu-

lenaufnahme und der Ankeraufnahme zusammensetzt, im Bereich der Ankeraufnahme in radialer Richtung verengt ist, beispielsweise durch wenigstens einen Radialvorsprung, bevorzugt durch zwei Radialvorsprünge, deren freie Enden den Luftspalt beziehungsweise die Ankeraufnahme zwischen sich einschließen.

**[0018]** Mit Vorteil kann vorgesehen sein, dass die Anker der ersten Reluktanzantriebseinrichtung und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung derart zueinander angeordnet sind, dass bei Vorliegen einer Überdeckungsstellung eines der Anker bezüglich des entsprechenden Spulenkerns der jeweils andere Anker aus seiner Überdeckungsstellung herausgedrängt ist. Unter der Überdeckungsstellung ist diejenige Stellung des Ankers zu verstehen, bei welcher die Anordnung aus Spulenkern und Anker die geringste Reluktanz aufweist. Anders ausgedrückt soll die Überlappungslänge im Bereich der kleinsten Stelle des Luftspalts maximal sein. Wird eine der Reluktanzantriebseinrichtungen bestromt, so wird der jeweilige Anker in Richtung der Überdeckungsstellung gedrängt. Entsprechend wird eine Kraft bewirkt, welche den Anker der jeweils anderen Reluktanzantriebseinrichtung aus seiner Überdeckungsstellung herausdrängt. Durch abwechselndes Bestromen der Reluktanzantriebseinrichtungen kann mithin eine zyklische Bewegung des Antriebskolbens erzielt werden.

**[0019]** Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Anker an einem an dem Antriebskolben befestigten Ankerträger angeordnet sind, der aus einem amagnetischen Material besteht. Die Anker sollen also nicht unmittelbar aneinander oder über ein magnetisches beziehungsweise magnetisierbares Material miteinander verbunden sein. Insbesondere wenn der Antriebskolben aus einem magnetischen oder magnetisierbaren Material besteht, ist daher der Ankerträger vorgesehen, welcher an dem Antriebskolben befestigt oder zumindest mit diesem wirkverbunden ist. Der Ankerträger besteht aus einem nicht ferromagnetischem Material beziehungsweise einem zumindest weitgehend magnetisch passiven Material. Letzteres kann auch als amagnetisches Material bezeichnet werden. Beispielsweise ist als Material ein Kunststoff, Aluminium oder eine Aluminiumlegierung vorgesehen.

**[0020]** Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Ankerträger eine Gleitfläche aufweist, die zur Lagerung des Antriebskolbens bezüglich der ersten Reluktanzantriebseinrichtung und/oder der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung mit einer an wenigstens einem der Spulenkerns ausgebildeten Führungsfläche zusammenwirkt. Bevorzugt übergreift der Ankerträger in axialer Richtung gesehen die Spulenkerns beider Reluktanzantriebseinrichtungen, ragt also über beide hinaus. Insbesondere bei einer der-

artigen Ausgestaltung ist die Gleitfläche derart groß bemessen, dass einzuverlässiges Führen des Antriebskolbens erzielt werden kann, mit welchem beispielsweise ein Verkippen während des Betriebs des Linearantriebs vermieden wird. Die Gleitfläche wirkt mit der Führungsfläche zusammen, welche an dem wenigstens einen der Spulenkern, bevorzugt allen Spulenkernen, ausgebildet ist. Mithin wird über die gesamte axiale Erstreckung der Spulenkern eine zuverlässige Führung des Antriebskolbens erzielt. Beispielsweise besteht der Ankerträger zu diesem Zweck aus einem geeigneten Material, insbesondere einem Material mit guten Gleiteigenschaften, insbesondere einem Kunststoff. Zusätzlich oder alternativ kann der Ankerträger mit einer Beschichtung versehen sein, welche die Gleiteigenschaften (weiter) verbessert.

**[0021]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ankeraufnahmen auf einander abgewandten Seiten oder auf einander zugewandten Seiten der ersten Reluktanzantriebseinrichtung und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung angeordnet sind. Prinzipiell kann die Anordnung der Ankeraufnahmen beliebig gewählt sein. Von Bedeutung ist dabei lediglich, dass die von den Reluktanzantriebseinrichtungen erzeugbaren Kräfte derart ausgebildet sind, dass sie den Anker der jeweils anderen Reluktanzantriebseinrichtung aus der jeweiligen Überdeckungsstellung herausdrängen. Das bedeutet üblicherweise, dass die Ankeraufnahmen der Reluktanzantriebseinrichtungen nicht auf derselben Seite angeordnet sein dürfen, sondern jeweils entweder auf den abgewandten oder den zugewandten Seiten der Reluktanzantriebseinrichtungen vorliegen.

**[0022]** Schließlich kann vorgesehen sein, dass die Statoren der ersten Reluktanzantriebseinrichtung und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung zueinander elastisch verlagerbar sind. Beispielsweise sind die Reluktanzantriebseinrichtungen unmittelbar aneinander elastisch befestigt. Alternativ oder zusätzlich kann jedoch auch eine mittelbare Befestigung, beispielsweise an einem Gehäuse des Linearantriebs, vorgesehen sein. Zu diesem Zweck liegt bevorzugt zwischen dem Gehäuse und wenigstens einer der Reluktanzantriebseinrichtungen, bevorzugt beiden Reluktanzantriebseinrichtungen, ein Dämpfungselement aus einem elastischen Material vor. Auf diese Art und Weise können die Betriebsgeräusche des Linearantriebs verringert und zudem Toleranzen ausgeglichen werden.

**[0023]** Die Erfindung betrifft weiterhin eine Kolbenpumpenanordnung mit einer einen Pumpenkolben aufweisenden Kolbenpumpe und einem Linearantrieb zur Betätigung des Pumpenkolbens, insbesondere einem Linearantrieb gemäß den vorstehenden Ausführungen, wobei der Linearantrieb eine erste elektromagnetische Antriebseinrichtung, eine zwei-

te elektromagnetische Antriebseinrichtung und einen mittels der Antriebseinrichtungen in axialer Richtung verlagerbaren, mit dem Pumpenkolben wirkverbundenen Antriebskolben aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass die erste Antriebseinrichtung und die zweite Antriebseinrichtung jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet sind, wobei jede der Reluktanzantriebseinrichtungen einen Stator mit einer Spulenwicklung und einem Spulenkern aufweist, der eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme für einen mit dem Antriebskolben wirkverbundenen, aus ferromagnetischem, insbesondere weichmagnetischem Material bestehenden Anker aufweist. Auf die Vorteile einer derartigen Ausführung wurde bereits eingegangen. Die Kolbenpumpenanordnung und der Linearantrieb können gemäß den vorstehenden Ausführungen weitergebildet sein, sodass insoweit auf diese verwiesen wird.

**[0024]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert, ohne dass eine Beschränkung der Erfindung erfolgt. Dabei zeigt:

**[0025]** Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines Linearantriebs, der beispielsweise zum Antrieb einer Kolbenpumpe eingesetzt wird,

**[0026]** Fig. 2 eine zweite Ausführungsform des Linearantriebs, und

**[0027]** Fig. 3 einen Querschnitt durch einen Stator einer Reluktanzantriebseinrichtung des Linearantriebs.

**[0028]** Die Fig. 1 zeigt einen Längsschnitt durch einen Linearantrieb **1** entlang einer Längsmittelachse **2** eines in axialer Richtung verlagerbaren Antriebskolbens **3**. Der Antriebskolben **3** ist in einem hier lediglich bereichsweise dargestellten Gehäuse **4** des Linearantriebs **1** gelagert. Zu diesem Zweck ist beispielsweise ein Radiallager **5** in Form eines Führungsringes vorgesehen. Zusätzlich kann ein Dichtring **6** vorgesehen sein, welcher fluiddichtend sowohl mit dem Gehäuse **4** als auch mit dem Antriebskolben **3** zusammenwirkt. Zwischen dem Dichtring **6** und dem Radiallager **5** kann zusätzlich ein Stützring **7** vorgesehen sein, der dem Vorbeugen von Spaltextrusion dient. Weiter verfügt der Linearantrieb **1** über eine erste elektromagnetische Antriebseinrichtung **8** und eine zweite elektromagnetische Antriebseinrichtung **9**. Diese sind jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet und weisen jeweils einen Stator **10** beziehungsweise **11** mit einer Spulenwicklung **12** beziehungsweise **13** auf.

**[0029]** Die Spulenwicklung **12** beziehungsweise **13** ist in einer Spulenaufnahme **14** beziehungsweise **15** des Stators **10** beziehungsweise **11** angeordnet. In axialer Richtung schließt sich an jede der Spulenauf-

nahmen **14** und **15** eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme **16** beziehungsweise **17** an. Jeder Ankeraufnahme **16** und **17** ist ein Anker **18** beziehungsweise **19** zugeordnet, welcher zumindest zeitweise wenigstens bereichsweise in die jeweilige Ankeraufnahme **16** beziehungsweise **17** eingreift. Die Anker **18** und **19** bestehen aus einem ferromagnetischen Material. Sie sind mit dem Antriebskolben **3** wirkverbunden. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt dies über einen Ankerträger **20**, der bevorzugt aus einem amagnetischen beziehungsweise magnetisch passiven Material besteht. Der Ankerträger **20** ist unmittelbar an dem Antriebskolben **3** befestigt und erstreckt sich in axialer Richtung gesehen durch eine zentrale Ausnehmung **21** der Statoren **10** und **11** hindurch. An seinen beiden Enden weist er Arme **22** auf, welche in radialer Richtung nach außen weisen. An diesen Armen **22** sind die Anker **18** und **19** befestigt.

**[0030]** Die Spulenaufnahme **14** und die Ankeraufnahme **16** sind in einem Spulenkern **23** des Stators **10** sowie die Spulenaufnahme **15** und die Ankeraufnahme **17** in einem Spulenkern **24** des Stators **11** ausgebildet. Die Ankeraufnahmen **16** und **17** liegen bevorzugt als Ringspalt vor, sind also – bezogen auf die Längsmittelachse **2** – durchgehend über den gesamten Umfang ununterbrochen ausgebildet. Alternativ kann selbstverständlich auch eine Ausbildung aus mehreren Segmenten, insbesondere Ringspaltsegmenten, vorgesehen sein.

**[0031]** In der hier dargestellten Ausführungsform umgreifen die Ankeraufnahmen **16** und **17** den Antriebskolben **3** in Umfangsrichtung vollständig, zumindest jedoch wenigstens bereichsweise. In einer alternativen Ausführungsform kann es jedoch vorgesehen sein, dass die Ankeraufnahmen **16** und **17** von dem Antriebskolben **3**, welcher in diesem Fall als Hohlkolben ausgebildet ist, umgriffen sind. Bevorzugt ist jedoch die dargestellte Ausführungsform.

**[0032]** Es wird deutlich, dass die Spulenkern **23** und **24** im Bereich der Ankeraufnahmen **16** und **17** jeweils Radialvorsprünge **25** und **26** beziehungsweise **27** und **28** aufweisen, sodass die Ankeraufnahmen **16** und **17** in radialer Richtung geringere Erstreckungen aufweisen als die sich jeweils an sie anschließenden Spulenaufnahmen **14** und **15**. Selbstverständlich kann jeder Spulenaufnahme **14** auch lediglich ein einziger Radialvorsprung **25** oder **26** beziehungsweise **27** oder **28** zugeordnet sein. Die Ankeraufnahmen **16** und **17** liegen in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel auf voneinander abgewandten Seiten der Spulenkern **23** und **24** vor.

**[0033]** Die Anker **18** und **19** sind nun durch eine entsprechende Ausbildung des Ankerträgers **20** in axialer Richtung derart zueinander angeordnet, dass bei Vorliegen einer Überdeckungsstellung eines der

Anker **18** und **19** der jeweils andere Anker **18** beziehungsweise **19** aus seiner Überdeckungsstellung herausgedrängt ist. Die Überdeckungsstellung bezeichnet diejenige Stellung, in welcher die Reluktanz maximal ist. Dies ist beispielsweise diejenige Stellung, in welcher der Anker **18** beziehungsweise **19** in axialer Richtung mittig in der Spulenaufnahme **14** beziehungsweise **15** vorliegt. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel liegt die Überdeckungsstellung für den Anker **18** vor, während der Anker **19** in axialer Richtung aus der Überdeckungsstellung herausgedrängt ist.

**[0034]** Befindet sich nun einer der Anker **18** und **19** in seiner Überdeckungsstellung und wird die Bestromung der ihm zugeordneten Spulenwicklung **12** beziehungsweise **13** eingestellt und stattdessen die andere Spulenwicklung **13** beziehungsweise **12** bestromt, so wird der jeweils andere Anker **19** beziehungsweise **18** in seinen energieoptimalen Zustand, mithin also seine Überdeckungsstellung gedrängt. Dabei wird der erstgenannte Anker **18** beziehungsweise **19** aus seiner Überdeckungsstellung herausgedrängt. Durch alternierende Bestromung der beiden Spulenwicklungen **12** und **13** kann somit eine oszillierende Bewegung des Antriebskolbens **3** erzeugt werden. Diese kann durch eine Wirkverbindung beispielsweise auf einen Pumpenkolben einer Kolbenpumpe einer hier nicht dargestellten Kolbenpumpenanordnung übertragen werden.

**[0035]** Weil der Ankerträger **20** aus einem magnetisch passiven Material besteht, kann sein Gewicht gegenüber herkömmlichen Ausführungsformen eines Linearantriebs **1**, bei welchen auch hier ein magnetisches beziehungsweise magnetisierbares Material herangezogen wird, deutlich reduziert werden. Beispielsweise besteht der Ankerträger **20** aus einer Leichtmetalllegierung oder einem Kunststoff, insbesondere einem faserverstärkten Kunststoff, beispielsweise einem kohlefaserverstärkten Kunststoff. Weil auf diese Weise das Gewicht und mithin die Massenträgheit der beweglichen Teile reduziert wird, kann der Linearantrieb **1** mit einer deutlich höheren Betriebsfrequenz betrieben werden, als dies für bekannte Ausführungsformen der Fall ist.

**[0036]** Wie bereits erläutert, dient der Linearantrieb **1** beispielsweise zum Antreiben einer Kolbenpumpe. Diese umfasst neben Kolben, Kompressionsraum, Dichtring, Stützring und Führungsring mindestens je ein Einlassventil und ein Auslassventil, insbesondere in Form selbsttätiger Rückschlagventile, welche mit einem hydraulischen Eingang beziehungsweise Ausgang verbunden sind. Alternativ kann die Kolbenpumpe auch als Stufenkolbenpumpe ausgeführt sein. Optional kann der hier beschriebene Linearantrieb **1** zusätzlich wenigstens ein Rückstellelement enthalten, welches mit dem Antriebskolben **3** wirkverbunden ist und diese bei nichtbestromten Spulenwicklungen

gen **12** und **13** in eine definierte Ausgangslage verlagert. Zusätzlich oder alternativ kann das Rückstelllement zum Einstellen der Eigenfrequenz oder als Zwischenspeicher für kinetische Energie fungieren.

**[0037]** Die **Fig. 2** zeigt eine Längsschnittansicht einer zweiten Ausführungsform des Linearantriebs **1**. Grundsätzlich wird auf die vorstehenden Ausführungen zu der ersten Ausführungsform verwiesen. Nachstehend wird lediglich auf die Unterschiede eingegangen. Der Hauptunterschied liegt darin, dass die Ankeraufnahmen **16** und **17** nun nicht mehr auf einander abgewandten Seiten der Statoren **10** und **11** vorliegen, sondern vielmehr auf einander zugewandten Seiten. Entsprechend ist lediglich ein Arm **22** des Ankerträgers **20** notwendig, an welchem beide Anker **18** und **19** befestigt sind. Zudem ist es vorgesehen, dass ein Verbindungselement **29** in axialer Richtung zwischen den Statoren **10** und **11** vorliegt. Dieses kann entweder starr oder – bevorzugt – elastisch ausgebildet sein, sodass Schwingungen gedämpft werden und zugleich ein Toleranzausgleich erzielt ist.

**[0038]** Es wird deutlich, dass hier jedem Spulenkern **23** und **24** lediglich ein Radialvorsprung **25** beziehungsweise **27** zugeordnet ist, um die Abmessungen der Ankeraufnahmen **16** und **17** in radialer Richtung zu begrenzen. Zudem sind die Radialvorsprünge **25** und **27** jeweils als zusätzliches magnetisches Joch ausgeführt, welches nachträglich an dem entsprechenden Spulenkern **23** beziehungsweise **24** montierbar ist. Auf diese Weise kann die Montage der Spulenwicklungen **12** und **13** deutlich vereinfacht werden.

**[0039]** Auch ist es nun vorgesehen, dass der Ankerträger **20** eine Gleitfläche **30** aufweist, die zur Lagerung des Antriebskolbens **3** mit einer Führungsfläche **31** zusammenwirkt. Diese Führungsfläche **31** liegt an beiden Spulenkernen **23** und **24** vor, beispielsweise an den die Ausnehmung **21** begrenzenden Flächen. Bei einer derartigen Ausführungsform kann auf das Radiallager **5**, welches beispielsweise als Gleitlager ausgeführt ist, verzichtet werden. Selbstverständlich kann es jedoch zusätzlich vorgesehen sein, um die Führung des Antriebskolbens **3** in dem Gehäuse **4** zu verbessern.

**[0040]** Um eine weitere Schwingungsdämpfung zu erzielen, ist ein Dämpfungselement **32** zwischen dem Stator **10** beziehungsweise dem Spulenkern **23** und dem Gehäuse **4** vorgesehen. Insbesondere ist der Spulenkern **23** über dieses Dämpfungselement **32** an dem Gehäuse **4** befestigt. Zusätzlich oder alternativ kann selbstverständlich für den Stator **11** beziehungsweise den entsprechenden Spulenkern **24** analog ebenfalls ein Dämpfungselement vorliegen. Auch mithilfe des Dämpfungselements **32** kann ein Toleranzausgleich erzielt werden. Dies ist insbesondere bei laminierten Statoren **10** und **11** notwendig,

weil die Fertigungsgenauigkeiten bei diesen nicht besonders hoch sind. Entsprechend kann mithilfe des Dämpfungselements **32** die Position der Ankeraufnahme **16** und **17** vergleichsweise genau eingestellt werden. Weil der Wirkungsgrad umso höher ist, je kleiner der Luftspalt ist, kann auf diese Weise der Gesamtwirkungsgrad des Linearantriebs **1** verbessert werden.

**[0041]** Selbstverständlich können die anhand der zweiten Ausführungsform beschriebenen Merkmale in analoger Weise auf die erste Ausführungsform übertragen werden.

**[0042]** Zum Betrieb des Linearantriebs **1** gemäß der ersten oder der zweiten Ausführungsform wird jeweils lediglich eine der Spulenwicklungen **12** und **13** mit Strom beaufschlagt, damit nur der dazugehörige Magnetkreis eine Kraft auf den jeweiligen Anker **18** beziehungsweise **19** ausübt. Dies wird durch eine abwechselnde Beaufschlagung der beiden Spulenwicklungen **12** und **13** mit Spannungspulsen erreicht. Falls  $T$  die Periodendauer der Schwingung des Antriebskolbens **3** ist, ist für jede Spulenwicklung **12** und **13** in einem aktiven Halbzyklus mit der Dauer  $T/2$  ein positiver und ein negativer Spannungspuls vorgesehen. Mit dem positiven Puls wird der Strom aufgebaut, mit dem negativen abgebaut. Zwischen dem positiven und dem negativen Puls kann eine Ruhephase vorgesehen sein, in welcher mithin der Strom näherungsweise konstant ist. Die Amplitude des negativen Pulses wird in Abhängigkeit von der Amplitude des positiven Pulses gewählt, sodass der Strom am Ende des negativen Pulses gleich Null ist.

**[0043]** Die **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt durch den Linearantrieb **1** im Bereich des Stators **10**, welcher in einer alternativen Ausgestaltung vorliegt, die auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen ohne Weiteres übertragbar ist. Hier liegt die Ankeraufnahme **16** nicht als Ringspalt vor, sondern setzt sich aus mehreren Segmenten, insbesondere Ringspaltsegmenten, zusammen. Diese werden von Segmenten **33** des Spulenkerns **23** gebildet beziehungsweise sind in diesen vorgesehen. Die Segmente **33** sind hier lediglich teilweise dargestellt. Sie sind gleichmäßig über den Umfang bezüglich der Längsmittelachse **2** verteilt angeordnet, wobei zwischen ihnen jeweils der Verteilungswinkel  $\alpha$  vorliegt. Dieser beträgt beispielsweise  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  oder  $180^\circ$ . Bei allen Varianten sind jedoch die Spulenwicklungen **12** und **13** konzentrisch aufgebaut und liegen insbesondere in Ringform vor. Dies ermöglicht eine rationelle und schnelle Fertigung mit geringem Widerstand der Spulenwicklungen **12** und **13** und gleichzeitig guten thermischen Eigenschaften. Insbesondere wird auf diese Art und Weise eine ausgeglichene Temperatur innerhalb der Spulenwicklungen **12** und **13** und eine gute thermische Anbindung an den Spulenkern **23** beziehungsweise **24** erreicht. Die Seg-

mente **33** und/oder die Spulenkern **23** und **24** liegen beispielsweise in Form von Blechpaketen vor. Diese weisen zahlreiche Einzelbleche auf, welche miteinander durch Laminieren auf bekannte Art und Weise verbunden sind.

**[0044]** Der vorstehend beschriebene Linearantrieb **1** kann insbesondere für Anwendungen eingesetzt werden, die einen besonders leisen Betrieb voraussetzen, bei gleichzeitig geringem Bauraum. Insbesondere kann er zum Antrieb der Kolbenpumpe verwendet werden, beispielsweise wenn hohe Drücke erforderlich sind. Auch eine Unterdruckpumpe kann mithilfe des Linearantriebs **1** angetrieben werden. Insbesondere findet der Linearantrieb **1** beziehungsweise die mit ihm angetriebene Kolbenpumpe Einsatz in Bremsregelsystemen, beispielsweise ABS-, ESP- und/oder EHB-Bremsregelsystemen, im Bereich der Kraftstoffförderung, beispielsweise bei einer Benzindirekteinspritzung, im Bereich von Werkzeugen, falls Hochdruckerzeugung notwendig ist, beispielsweise bei Farbsprühgeräten, und/oder im Bereich von Haushaltsgeräten.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 3033684 A1 [0003]

### Patentansprüche

1. Linearantrieb (1), insbesondere für eine Kolbenpumpe, mit einer ersten elektromagnetischen Antriebseinrichtung (8), einer zweiten elektromagnetischen Antriebseinrichtung (9) und einem mittels der Antriebseinrichtungen (8, 9) in axialer Richtung verlagerten Antriebskolben (3), **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Antriebseinrichtung (8) und die zweite Antriebseinrichtung (9) jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet sind, wobei jede der Reluktanzantriebseinrichtungen (8, 9) einen Stator (10, 11) mit einer Spulenwicklung (12, 13) und einem Spulenkern (23, 24) aufweist, der eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme (16, 17) für einen mit dem Antriebskolben (3) wirkverbundenen, aus ferromagnetischem, insbesondere weichmagnetischem Material bestehenden Anker (18, 19) aufweist.

2. Linearantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ankeraufnahme (16, 17) als Ringspalt vorliegt oder sich aus mehreren Segmenten, insbesondere Ringspaltsegmenten, zusammensetzt.

3. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ankeraufnahme (16, 17) den Antriebskolben (3) in Umfangsrichtung wenigstens bereichsweise umgreift oder von diesem umgriffen ist.

4. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine in dem Spulenkern (23, 24) ausgebildete Spulenaufnahme (14, 15) für die Spulenwicklung (12, 13) im Längsschnitt gesehen eine größere Erstreckung in radialer Richtung aufweist als die Ankeraufnahme (16, 17).

5. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anker (18, 19) der ersten Reluktanzantriebseinrichtung (8) und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung (9) derart zueinander angeordnet sind, dass bei Vorliegen einer Überdeckungsstellung eines der Anker (18, 19) bezüglich des entsprechenden Spulenkerns (23, 24) der jeweils andere Anker (19, 18) aus seiner Überdeckungsstellung herausgedrängt ist.

6. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anker (18, 19) an einem an dem Antriebskolben (3) befestigten Ankerträger (20) angeordnet sind, die aus einem amagnetischen Material besteht.

7. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ankerträger (20) eine Gleitfläche (30) aufweist, die zur Lagerung des Antriebskolbens (3) bezüglich der ersten Reluktanzantriebseinrichtung (8) und/oder der

zweiten Reluktanzantriebseinrichtung (9) mit einer an wenigstens einem der Spulenkerns (23, 24) ausgebildeten Führungsfläche (31) zusammenwirkt.

8. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ankeraufnahmen (16, 17) auf einander abgewandten Seiten oder auf einander zugewandten Seiten der ersten Reluktanzantriebseinrichtung (8) und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung (9) angeordnet sind.

9. Linearantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stator (10, 11) der ersten Reluktanzantriebseinrichtung (8) und der zweiten Reluktanzantriebseinrichtung (9) zueinander elastisch verlagerbar sind.

10. Kolbenpumpenanordnung mit einer einen Pumpenkolben aufweisenden Kolbenpumpe und einem Linearantrieb (1) zur Betätigung des Pumpenkolbens, insbesondere einem Linearantrieb (1) nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Linearantrieb (1) eine erste elektromagnetische Antriebseinrichtung (8), eine zweite elektromagnetische Antriebseinrichtung (9) und einen in axialer Richtung mittels der Antriebseinrichtungen (8, 9) verlagerten, mit dem Pumpenkolben wirkverbundenen Antriebskolben (3) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Antriebseinrichtung (8) und die zweite Antriebseinrichtung (9) jeweils als Reluktanzantriebseinrichtung ausgebildet sind, wobei jede der Reluktanzantriebseinrichtungen (8, 9) einen Stator (10, 11) mit einer Spulenwicklung (12, 13) und einem Spulenkern (23, 24) aufweist, der eine als Luftspalt ausgebildete Ankeraufnahme (16, 17) für einen mit dem Antriebskolben (3) wirkverbundenen, aus ferromagnetischem, insbesondere weichmagnetischem Material bestehenden Anker (18, 19) aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



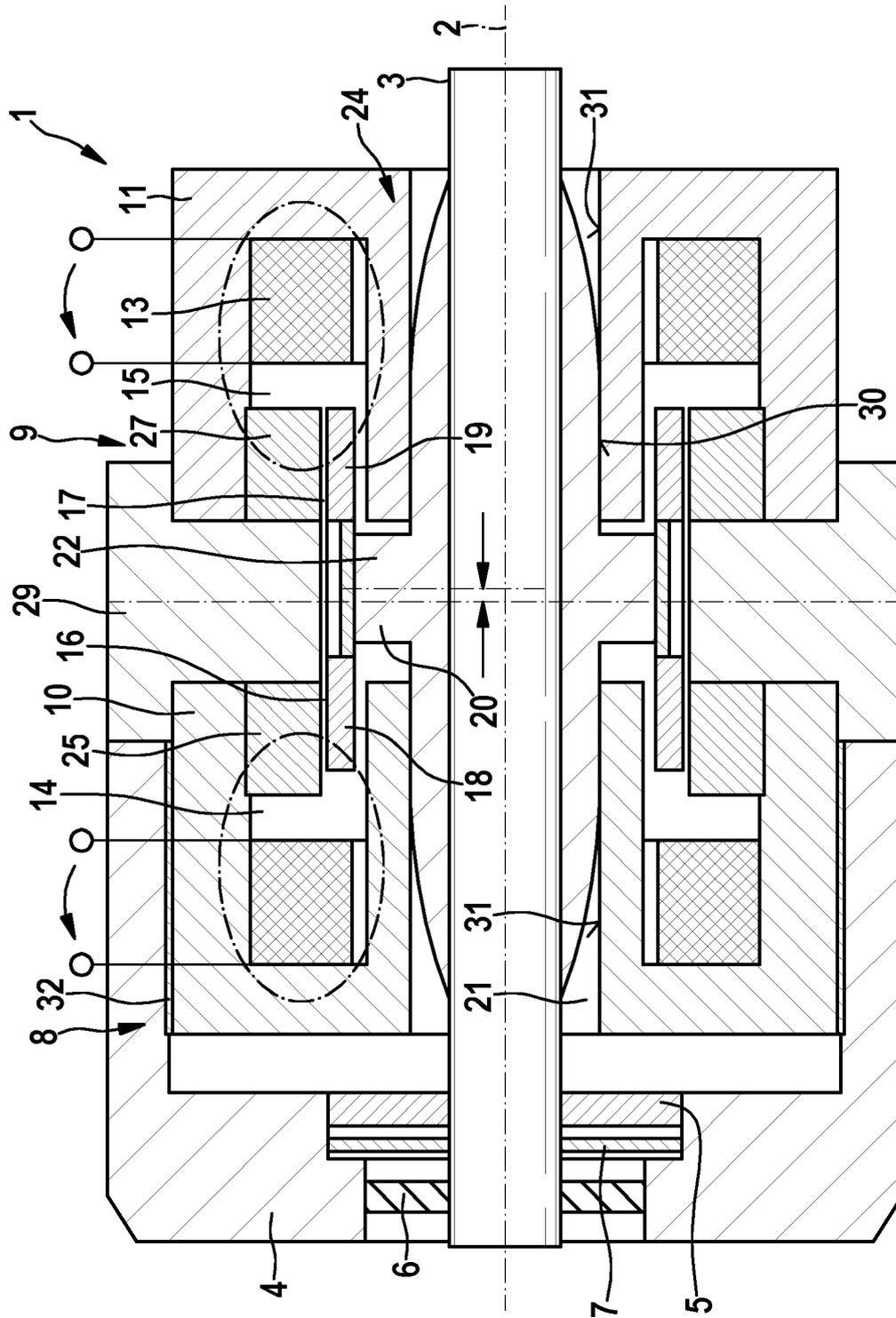


Fig. 2

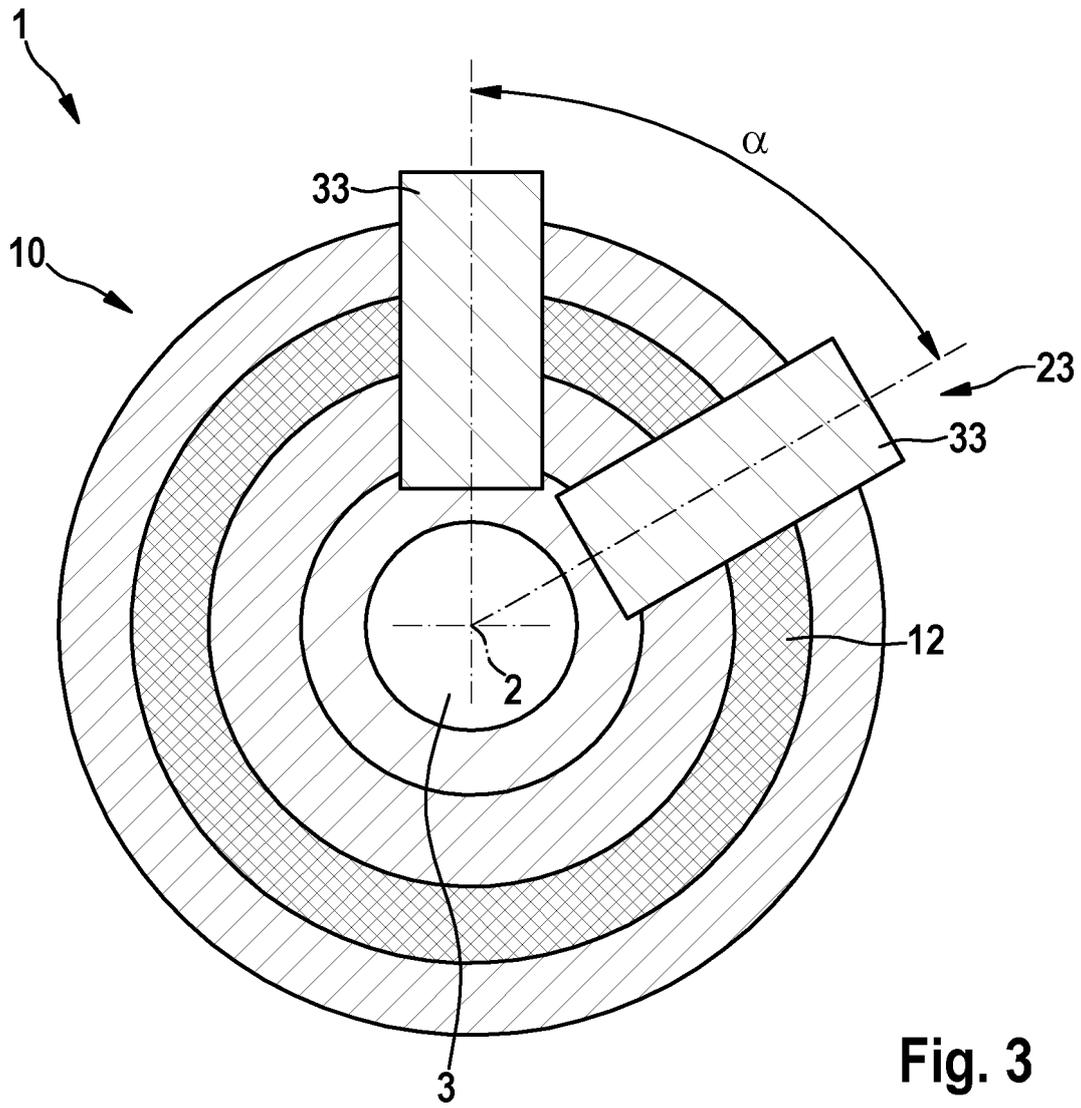


Fig. 3