



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 059 467 B4 2010.06.02**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 059 467.6**

(22) Anmeldetag: **11.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2009**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.06.2010**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04 (2006.01)**

G11B 5/00 (2006.01)

H02K 7/09 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Minebea Co., Ltd., Nagano, JP

(74) Vertreter:

**Riebling, P., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 88131
 Lindau**

(72) Erfinder:

**Popov, Vladimir V., Dr., 78052
 Villingen-Schwenningen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	199 55 829	A1
JP	61-85 526	AA
DE	12 91 575	A
DE	25 18 735	C2
JP	58-1 84 319	AA
JP	21-13 118	AA

US	55 41 460	A
US	61 72 847	B1
US	55 61 335	A
US	55 45 937	A
US	2003/0 42 812	A1
US	2003/1 17 031	A1
US	2004/0 46 467	A1
US	44 43 043	A
EP	05 80 202	A1
US	38 74 778	A

**R.F.Post "stability Issues in Ambient-Temperature
 Passive Magnetic Bearing Systems" Lawrence
 Livermore National Laboratory, UCRL-ID
 137632, 17. Februar 2000**

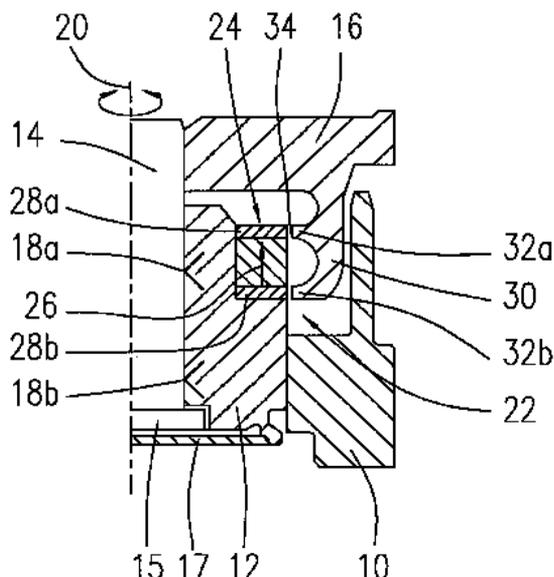
(54) Bezeichnung: **Magnetisches Axiallager**

(57) Hauptanspruch: Lagersystem mit einem Statorbauteil (10), in welchem eine Lagerbuchse (12) gehalten ist, einem Rotorbauteil (16) und einer mit diesem verbundene Welle (14), wobei das Lagersystem umfasst:

zwei fluiddynamische Radiallager (18a, 18b) zur Drehlagerung der Welle (14) in einer Bohrung der Lagerbuchse (12) um eine Rotationsachse (20), ein magnetisches Axiallager (22) zur Aufnahme von axialen Kräften, die auf das Rotorbauteil einwirken, mit

einem ersten Lagerbauteil (24; 50; 124), das entweder an der Lagerbuchse oder dem Rotorbauteil angeordnet ist und aus mindestens einem Permanentmagneten (26; 126) besteht, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Lagerbauteil (24) radial innen liegend des zweiten Lagerbauteils (30) angeordnet ist und mindestens zwei diesem zugeordnete Flussleitstücke (28; 128) aufweist, die auf gegenüberliegenden Stirnflächen des Permanentmagneten angeordnet und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind, und

einem zweiten Lagerbauteil (30), das entweder am Rotorbauteil (16) oder der Lagerbuchse (12) angeordnet ist, und aus mindestens zwei Flussleitstücken (32a, 32b;...)



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein magnetisches Axiallager gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Stand der Technik

[0002] Ein derartiges magnetisches Axiallager ist beispielsweise beschrieben in der US 6,172,847 B1 und kann bevorzugt zur Aufnahme von axialen Kräften bei der Drehlagerung von Spindelmotoren und anderen kleinbauenden Permanentmagnetmotoren verwendet werden, die zum Beispiel in Festplattenlaufwerken mit einem Plattendurchmesser von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll oder darunter eingesetzt werden. Vorzugsweise kommen hier bürstenlose, elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren zum Einsatz. Bei Spindelmotoren der in Rede stehenden Bauart ist die Motorwelle mit einer Nabe gekoppelt, die zur Aufnahme von einer oder mehreren Festplatten dient. Ein Rotormagnet ist mit der Nabe verbunden und koaxial zu einem Stator angeordnet.

[0003] In der US 6,172,847 B1 wird zum Beispiel ein Festplattenlaufwerk beschrieben, bei dem eine Welle mit einer Rotornabe verbunden ist, welche die Festplatte trägt und mit dem Rotor gekoppelt ist. Die Welle ist in einer Lagerhülse geführt, wobei zwischen der Lagerhülse und der Welle ein hydrodynamisches Radiallager sowie ein axiales Drucklager gebildet sind. Das axiale Drucklager wird über magnetische Elemente vorgespannt, um das Anlaufdrehmoment zu reduzieren.

[0004] Die Anwendung, Theorie und Berechnung von Magnetlagern wurde in der Literatur umfangreich abgehandelt. Es besteht kein Zweifel, dass Magnetlager insbesondere im Hinblick auf die Reduzierung der Lagerreibung nützlich sind. Das Hauptproblem passiver Magnetlager ist die Notwendigkeit von Stabilisierungssystemen für wenigstens einen Freiheitsgrad, weil Magnete alleine nicht in der Lage sind, ein Lager in einem stabilen Gleichgewicht zu halten. Es ist somit nicht möglich, lediglich mit Ferromagneten und Dauermagneten stabile Lager zu erstellen. Für die sogenannte magnetische Levitation (Schwebestand) benötigt man daher zusätzliche Stabilisierungssysteme. Im Stand der Technik wurden hierfür zahlreiche Lösungen vorgeschlagen.

[0005] Beispielsweise beschreibt die Schrift von R. F. Post, "Stability Issues in Ambient-Temperature Passive Magnetic Bearing Systems", Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-ID-137632, 17. Februar 2000, magnetische Lagersysteme, die spezielle Kombinationen von Schweben (Levitation)- und Stabilisierungselementen verwenden. Post nennt drei Hauptkomponenten, die kumulativ not-

wendig sind, um ein Lager zu schaffen, welches das Earnshaw-Theorem erfüllt. Die erste Komponente besteht aus einem Ringmagnetpaar zur Erzeugung der Schwebekräfte (Levitation), von dem ein Magnetring stationär und der andere drehend ist. Ein weiteres Element, das der Stabilisierung dient, wird von Post als "Halbach-Stabilisator" bezeichnet. Es verwendet einzelne Permanentmagnete, die gemäß einer Halbach-Magnetfeldverteilung angeordnet sind und zugeordneten Flussleitern gegenüberliegen. Das dritte Element ist ein mechanisches Lagersystem, das bei niedrigen Drehzahlen zum Einsatz kommt, bei hohen Drehzahlen jedoch möglichst ausgekoppelt werden sollte. Post erörtert ferner die Verwendung von Dämpfungssystemen auf der Basis von Wirbelströmen. Das von Post vorgestellte System erscheint relativ aufwendig und eignet sich nicht zur Anwendung in elektrischen Maschinen, welche in die Massenproduktion gehen, insbesondere nicht für Spindelmotoren zur Anwendung beispielsweise in Miniatur-Festplattenlaufwerken (Mini-Disk-Drives) mit einem Formfaktor von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll oder kleiner.

[0006] Das US-Patent 5,541,460 A beschreibt einen Spindelmotor mit passiven magnetischen Axiallagern sowie einem Spurkuppenlager, das als ein hydraulisches Lager oder Kugellager realisiert sein kann. Das passive magnetische Axiallager erzeugt eine Anziehungskraft in axialer Richtung, und das Spurkuppenlager stabilisiert die Anordnung derart, dass ein auch in radialer Richtung stabiles Lagersystem gebildet wird. Ein ähnlicher Stand der Technik ist auch in dem US-Patent 5,561,335 A und in dem US-Patent 5,545,937 A beschrieben.

[0007] Die US 2003/0042812 A1 beschreibt ein passives Magnetlager für eine horizontale Welle mit Schweben- und Stabilisierungselementen. Das Schwebeelement besteht aus einem Paar stationärer gebogener ferromagnetischer Segmente, die innerhalb einer ringförmigen, radial wirkenden Magnetanordnung liegen. Die Magnetanordnung ist an dem inneren Umfang einer hohlen Welle angeordnet. Die Anziehungskraft zwischen den gebogenen Segmenten und der Magnetanordnung wirkt vertikal, um die Welle anzuheben, sowie horizontal, um die Welle zu zentrieren. Das Stabilisierungselement besteht aus einer ringförmigen magnetischen Halbach-Anordnung und einem stationären ringförmigen Schaltkreis, der innerhalb der Halbach-Anordnung angeordnet ist. Die Halbach-Anordnung ist am Innenumfang der hohlen Welle positioniert. Eine Abstoßungskraft zwischen der Halbach-Anordnung und dem Schaltkreis nimmt umgekehrt proportional zu dem radialen Abstand zwischen diesen zu und wirkt somit als Rückstellkraft, um die Welle in einen Gleichgewichtszustand zu bringen, wenn sie aus diesem herausbewegt wurde. Das Lager ist so konfiguriert, dass zwischen den magnetischen und ferromagnetischen

Komponenten Wechselströme erzeugt werden, die entsprechende Wirbelstromverluste generieren.

[0008] Die US 2003/0117031 A1 beschreibt ein Magnetlager für einen Spindelmotor mit einer Magnetkomponente, die zwischen der Grundplatte und der Motorspindel montiert ist. Die Magnetkomponente umfasst einen inneren und einen äußeren Magnetabschnitt, die koaxial angeordnet sind und einander abstoßen, so dass die Spindel schwebt und mechanische Reibung minimiert wird. Das Magnetlager ist in einer stationären Welle zur Lagerung einer rotierenden Spindel angeordnet, wobei die Spitze der Spindel von einem Gegenstück der Grundplatte unterstützt wird.

[0009] Die US 2004/0046467 A1 beschreibt eine Magnetlageranordnung mit passiven (axialen) magnetischen Drucklagern und mit radialen Gleitlagern oder Kugellagern für einen Läufermotor.

[0010] Zusammengefasst offenbart der Stand der Technik Magnetlager mit Stabilisationssystemen, die umfassen: Stahl- oder Diamant-Drucklager auf der Basis von Kugellagern; magnetische Fluidlager; Wirbelstromelemente; Gleitlager als axiale Drucklager; sowie hybride passive Magnetlager, die kombiniert sind mit hydro- bzw. fluiddynamischen Lagern oder Luftlagern.

[0011] Die DE 199 55 829 A1 beschreibt einen Rotorschaft, der durch ein magnetisches Axiallager fixiert ist. An einer zugeordneten Lagerbuchse sind mehrere Permanentmagnetringe angebracht, die an ihren Stirnseiten jeweils in Richtung des Rotorschaftes ragende Polscheiben aufweisen. Der Rotorschaft besteht im Bereich des Axiallagers aus einem ferromagnetischen Material und weist Einschnitte auf, zwischen denen sich Ringansätze befinden. Diese Ringansätze liegen den Polscheiben gegenüber und wirken als Flussleitstücke für das Magnetfeld. Es ist kein Lagersystem offenbart, welches aus fluiddynamischen Radiallagern und einem magnetischen Axiallager besteht und das zur Drehlagerung einer elektrischen Maschine geeignet ist.

[0012] Die US 4 443 043 A offenbart den dem Anmeldungsgegenstand am nächsten kommenden Stand der Technik und beschreibt ein Lagersystem mit dem Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Dieses Lagersystem ist relativ groß bauend und weist insbesondere eine große Bauhöhe auf.

Offenbarung der Erfindung

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein magnetisches Axiallager anzugeben, das sich zur vollständigen und alleinigen Aufnahme der in einer elektrischen Maschine auftretenden axialen Kräfte eignet, und sowohl beim Anlaufen als auch im stabili-

len Betrieb der Maschine mit minimaler Reibung arbeitet und sich insbesondere zur Verwendung in Spindelmotoren für Mini-Disk-Drives mit geringer Bauhöhe eignet.

[0014] Diese Aufgabe wird durch ein magnetisches Axiallager mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 gelöst.

[0015] Erfindungsgemäß ist ein Lagersystem mit einem Statorbauteil, in welchem eine Lagerbuchse gehalten ist, einem Rotorbauteil und einer mit diesem verbundene Welle beschrieben. Das Lagersystem umfasst zwei fluiddynamische Radiallager zur Drehlagerung der Welle in einer Bohrung der Lagerbuchse um eine Rotationsachse und ein magnetisches Axiallager zur Aufnahme von axialen Kräften, die auf das Rotorbauteil einwirken. Das magnetische Axiallager umfasst ein erstes Lagerbauteil, das entweder an der Lagerbuchse oder dem Rotorbauteil angeordnet ist und aus mindestens einem Permanentmagneten besteht, wobei das erste Lagerbauteil radial innen liegend des zweiten Lagerbauteils angeordnet ist und mindestens zwei diesem zugeordnete Flussleitstücke aufweist, die auf gegenüberliegenden Stirnflächen des Permanentmagneten angeordnet und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind. Es ist ein zweites Lagerbauteil vorgesehen, das entweder am Rotorbauteil oder der Lagerbuchse angeordnet ist und aus mindestens zwei Flussleitstücken besteht, die in einem gegenseitigen Abstand angeordnet und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind, wobei die Flussleitstücke integraler Bestandteil des zweiten Lagerbauteils sind. Jedes Flussleitstück des zweiten Lagerbauteils ist einem Flussleitstück des ersten Lagerbauteils zugeordnet und liegt diesem getrennt durch einen Luftspalt in radialer Richtung unmittelbar gegenüberliegt, so dass ein geschlossener magnetischer Kreis gebildet wird, wobei das magnetische Axiallager auf gleicher axialer Höhe eines der Radiallager angeordnet ist.

[0016] Das erfindungsgemäße Axiallager kann ein herkömmliches Axiallager üblicher Bauart, wie z. B. ein axiales fluiddynamisches Drucklager, ein Spurkuppenlager oder ein Kugellager, vollständig ersetzen. Ein magnetisches Lager erzeugt keine Reibung im Vergleich zu anderen Axiallagern üblicher Bauart. Dadurch ist das Lagersystem sehr geeignet für den Einsatz in einer elektrischen Maschine, beispielsweise einem Spindelmotor, wobei sich durch die geringere Reibung des Gesamtlagers auch die Stromaufnahme der elektrischen Maschine reduziert.

[0017] Für den Einsatz in einer elektrischen Maschine ist eines der Lagerbauteile mit dem Statorbauteil und eines das andere Lagerbauteil mit dem Rotorbauteil verbunden.

[0018] In einer ersten Ausführung des magneti-

schen Axiallagers ist der Permanentmagnet des ersten Lagerbauteils ringförmig ausgebildet und weist erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen auf. Der Permanentmagnet ist ferner in Richtung der Rotationsachse axial magnetisiert und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet. Der Permanentmagnet ist bevorzugt unipolar (einpölig) axial magnetisiert, um Wirbelströme zu vermeiden oder multipolar (mehrpölig) axial magnetisiert. Eines der ringförmigen Flussleitstücke ist auf der ersten Stirnfläche und das andere ringförmige Flussleitstück auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten angeordnet. Die mindestens zwei Flussleitstücke weisen innere und äußere Umfangsflächen auf. Vorzugsweise können die inneren und äußeren Umfangsflächen der Flussleitstücke über die innere oder äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten hinausragen.

[0019] In der ersten Ausgestaltung der Erfindung ist das zweite Lagerbauteil ringförmig ausgebildet und liegt dem Permanentmagneten des ersten Lagerbauteils in radialer Richtung gegenüber. Das zweite Lagerbauteil kann dabei identisch zum ersten Lagerbauteil ausgebildet sein, also einen ringförmigen und in Richtung der Rotationsachse axial magnetisierten Permanentmagneten umfassen, auf dessen Stirnseiten jeweils Flussleitstücke angeordnet sind. Die Flussleitstücke des zweiten Lagerbauteils können über die radial innere bzw. radial äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten hinausragen und liegen den entsprechenden Flussleitstücken des ersten Lagerbauteils unmittelbar radial gegenüber. Die sich gegenüberliegenden Flussleitstücke des ersten und zweiten Lagerbauteils bilden durch ihre Bauart Flusskonzentratoren, die den magnetischen Fluss, der durch den Permanentmagneten erzeugt wird, konzentrieren und bündeln. Dadurch wird die vom Axiallager aufzunehmende axiale Kraft erhöht.

[0020] Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführung der Erfindung kann das zweite Lagerbauteil aus einem ferromagnetischen Werkstoff bestehen, und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet sein. Hierbei sind die Flussleitstücke integraler Bestandteil des zweiten Lagerbauteils. Vorzugsweise weist das zweite Lagerbauteil im Bereich der Flussleitstücke seinen größten Außen-Durchmesser bzw. kleinsten Innen-Durchmesser auf.

[0021] Sofern die Flussleitstücke des zweiten Lagerbauteils als Einzelelemente ausgebildet sind, können diese vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material bestehen. Jedes Flussleitstück besteht vorzugsweise aus einem ringförmigen Blechteil, wobei dieses Blechteil auch aus einem Stapel von dünnen Blechen bestehen kann, die in axialer Richtung, also in Richtung der Rotationsachse übereinander gestapelt sind. Der Blechstapel des Flussleitstückes ist vorzugsweise aus laminierten Blechen auf-

gebaut. Durch Verwendung eines unipolar axial magnetisierten Permanentmagneten bzw. eines Blechstapels als Flussleitstück können Wirbelströme weitestgehend vermieden werden, so dass keinerlei nennenswerte Wirbelstromverluste entstehen. Die Dicke der Flussleitstücke ist vorzugsweise wesentlich geringer als die Dicke des Permanentmagneten. Erfindungsgemäß können das erste und/oder das zweite Lagerbauteil auch zwei oder mehrere ringförmige Permanentmagnete umfassen, die in axialer Richtung gegensinnig magnetisiert sind. Zwischen den mehreren Permanentmagneten und auf den Stirnflächen der jeweils äußeren Permanentmagnete sind jeweils Flussleitstücke der oben beschriebenen Art angeordnet.

[0022] Im Sinne der Erfindung spielt es keine Rolle, ob das erste Lagerbauteil am Statorbauteil und das zweite Lagerbauteil am Rotorbauteil einer elektrischen Maschine angeordnet ist, oder der umgekehrte Fall bevorzugt wird, bei dem das erste Lagerbauteil am Rotorbauteil und das zweite Lagerbauteil am Statorbauteil der elektrischen Maschine angeordnet ist.

[0023] Die zwischen dem Rotorbauteil und dem Statorbauteil auftretenden radialen Kräfte können durch Radiallager bekannter Bauart, wie z. B. fluiddynamische Radiallager, Wälzlager etc., aufgenommen werden.

[0024] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen näher beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] **Fig. 1** zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager in einer ersten Ausführung der Erfindung.

[0026] **Fig. 2** zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager gemäß einer zweiten Ausführung der Erfindung.

[0027] **Fig. 3** zeigt einen Schnitt durch ein magnetisches Axiallager gemäß einer dritten Ausführung der Erfindung.

[0028] **Fig. 4** zeigt einen Schnitt durch Flussleitstücke mit gezahnter Umfangsfläche.

[0029] **Fig. 5** zeigt schematisch ein Flussleitstück aus mehreren gestapelten Blechen.

[0030] **Fig. 6** zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lager mit magnetischem Axiallager gemäß einer vierten Ausgestaltung der Erfindung.

[0031] **Fig. 7** zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer

fünften Ausgestaltung der Erfindung.

[0032] **Fig. 8** zeigt einen Schnitt durch ein Lager-system mit magnetischem Axiallager gemäß einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung.

[0033] **Fig. 9** zeigt einen Schnitt durch ein Lager-system mit magnetischem Axiallager gemäß einer siebten Ausgestaltung der Erfindung.

[0034] **Fig. 10** zeigt einen Schnitt durch ein Lager-system mit magnetischem Axiallager gemäß einer achten Ausgestaltung der Erfindung.

[0035] **Fig. 11** zeigt eine Kennlinie der vom magne-tischen Axiallager erzeugten axialen Kraft.

Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispie-len der Erfindung

[0036] **Fig. 1** zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem magnetischen Axiallager gemäß der Erfindung. Das dargestellte Lagersystem kann beispielsweise zur Drehlagerung eines Elektromotors verwendet werden. Das Lagersystem um-fasst ein Statorbauteil 10, etwa eine Grundplatte, in welchem eine Lagerbuchse 12 gehalten ist. Die La-gerbuchse 12 nimmt eine Welle 14 drehbar auf, die mit einem Rotorbauteil 16, der Nabe, verbunden ist. Die Welle 14 ist mittels zweier Radiallager 18a und 18b um eine Rotationsachse 20 drehbar in einer Boh-rung der Lagerbuchse 12 gelagert. Die Radiallager 18a und 18b sind im dargestellten Beispiel als fluid-dynamische Radiallager ausgebildet, wie sie aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt sind. Die axialen Kräfte, die auf die Welle 14 wirken, wer-den durch ein magnetisches Axiallager 22 erfin-dungsgemäßer Bauart aufgenommen, welches aus einem ersten Lagerbauteil 24 und einem zweiten La-gerbauteil 30 gebildet wird. Das erste Lagerbauteil 24 ist im dargestellten Beispiel radial innenliegend des zweiten Lagerbauteils 30 ausgebildet und ist auf einer Stufe am Außenumfang der Lagerbuchse 12 angeordnet. Das erste Lagerbauteil 24 umfasst einen ringförmigen, und konzentrisch zur Rotationsachse 20 angeordneten Permanentmagneten 26. Auf den Stirnflächen des Permanentmagneten 26 sind zwei ringförmige Flussleitstücke 28a und 28b angeordnet, welche vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material bestehen. Der Permanentmagnet 26 ist vor-zugsweise unipolar in axialer Richtung magnetisiert.

[0037] Das zweite Lagerbauteil 30 besteht in die-sem Ausführungsbeispiel aus einem ringförmigen, in-tegral mit dem Rotorbauteil 16 verbundenen Ansatz, welcher zwei Flussleitstücke 32a und 32b ausbildet, die in radialer Richtung gegenüberliegend den Fluss-leitstücken 28a und 28b des ersten Lagerbauteils 24 angeordnet sind. Die vom Permanentmagneten 26 des ersten Lagerbauteils 24 ausgehenden magneti-

schen Feldlinien werden in den Flussleitstücken 28a und 28b konzentriert und über einen Luftspalt 34 und die Flussleitstücke 32a und 32b des zweiten Lager-bauteils 30 zum Permanentmagneten 26 zurückge-führt. Der zum ersten Lagerbauteil 24 hinweisende halb-toroide Raum zwischen den Flussleitstücken 32a und 32b kann mit einem diamagnetischen Mate-rial gefüllt sein.

[0038] Wenn die Welle 14 und das Rotorbauteil 16 relativ zur Lagerbuchse 12 und dem Statorbauteil 10 in axialer Richtung ausgelenkt werden, erzeugt das Zusammenwirken des Permanentmagneten 26, so-wie der Flussleitstücke 18a und 18b und 32a und 32b auf der gegenüberliegenden Seite eine Rückstellkraft in axialer Richtung, welche das Rotorbauteil relativ zum Statorbauteil in axialer Richtung in einem stabilen Schwebezustand hält. Der Permanentmagnet 26 zieht ferner das zweite Lagerbauteil 30 in radialer Richtung an, so dass sich außerdem eine Vorspan-nung des Lagers in radialer Richtung ergibt, was die Wirkung der Radiallager 18a und 18b unterstützt. Das zweite Lagerbauteil 30 bzw. das Rotorbauteil 16 besteht vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material. Die Lagerbuchse 12 sowie die Welle 14 be-stehen vorzugsweise aus unmagnetischem oder aus schwach-magnetischem Material, wie etwa aus un-magnetischem Stahl.

[0039] Mit der erfindungsgemäßen axialen Magnet-lageranordnung ist es möglich, die Lager-Reibung er-heblich zu reduzieren, weil auf ein axiales Drucklager herkömmlicher Bauart vollständig verzichtet und da-mit der axiale Lager-spalt entsprechend groß ge-macht werden kann. Das Magnetlager wirkt auch beim Stillstand des Lagersystems in entsprechender Weise, im Gegensatz zu beispielsweise einem fluid-dynamischen Axiallager.

[0040] **Fig. 11** zeigt die Kennlinie 60 der axialen Rückstellkraft des Magnetlagers im Verhältnis zu dessen Auslegung in axialer Richtung gegenüber der stabilen Lage. Der Durchmesser des axialen Magnet-lagers beträgt im Beispiel nur einige Millimeter bis wenige Zentimeter, wobei das Axialspiel des Lagers beispielsweise $\pm 100 \mu\text{m}$ betragen kann. Wie in **Fig. 11** gezeigt, können bei dieser Ausführung Rück-stellkräfte im Bereich von einigen Newton erzielt wer-den, wobei die Rückstellkräfte abhängig vom Design und den Abmessungen des Lagers variieren können und die Absolutwerte in der **Fig. 11** nur als Beispiel zu verstehen sind.

[0041] Wie in der Rückstellkennlinie 60 zu erkennen ist, weist die Kennlinie eine gewisse Unsymmetrie auf, die sich durch den Einfluss der Eigenschaften und Materialien der Bauteile, insbesondere der La-gerbuchse 12 und des Rotorbauteils 16 ergeben.

[0042] **Fig. 2** zeigt schematisch einen Schnitt durch

eine Lageranordnung mit magnetischem Axiallager gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung. Gleiche Bauteile wie in **Fig. 1** sind mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Ausführung der **Fig. 2** unterscheidet sich von der ersten Ausführung durch den Aufbau des ersten Lagerbauteils **24** des Axiallagers. Das erste Lagerbauteil **24** umfasst wiederum einen Permanentmagneten **26**, an dessen Stirnseiten jeweils ein Flussleitstück **28a** und **28b** angeordnet ist. Im Gegensatz zur ersten Ausführung gemäß **Fig. 1** weisen die Flussleitstücke **28a** und **28b** gemäß **Fig. 2** einen größeren Außendurchmesser auf, als der Permanentmagnet **26**, so dass sie über den Rand des Permanentmagneten hinausstehen und sich die magnetischen Feldlinien verstärkt im Luftspalt zwischen den Flussleitstücken **28a** und **28b** bzw. den Flussleitstücken **32a** und **32b** des zweiten Lagerbauteils **30** konzentrieren. Durch diese Maßnahme ergeben sich höhere Rückstellkräfte des Axiallagers als im Vergleich zu **Fig. 1**.

[0043] **Fig. 3** zeigt einen schematischen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines axialen Magnetlagers gemäß der Erfindung. Gleiche Bauteile wie in **Fig. 1** sind mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Ausführung der **Fig. 3** unterscheidet sich von den Ausführungen gemäß den **Fig. 1** und **Fig. 2** durch die Anzahl der Permanentmagnete des ersten Lagerbauteils **24** sowie die Anzahl der Flussleitstücke. Das erste Lagerbauteil **24** umfasst zwei ringförmige Permanentmagnete **36** und **38**, wobei zwischen den Magneten und an jeder Stirnfläche der Permanentmagnete **36**, **38** jeweils ein Flussleitstück **40a**, **40b** und **40c** angeordnet ist. Die Permanentmagnete **36**, **38** sind in axialer Richtung gegenseitig magnetisiert. Das zweite Lagerbauteil **30** ist radial gegenüberliegend des ersten Lagerbauteils **24** angeordnet und umfasst ebenfalls drei Flussleitstücke **42a**, **42b** und **42c**, die jeweils radial gegenüberliegend einem Flussleitstück **40a**, **40b** und **40c** des ersten Lagerbauteils **24** angeordnet sind. Durch den Einsatz von zwei Permanentmagneten **36**, **38** lässt sich im Vergleich zu den Lagern von **Fig. 1** und **Fig. 2** eine höhere Rückstellkraft des axialen Magnetlagers erreichen, da sich die magnetische Kraft nahezu verdoppelt.

[0044] **Fig. 4** zeigt einen Schnitt durch eine abgewandelte Ausgestaltung der Flussleitstücke der beiden Lagerbauteile. Ein Flussleitstück **44** des ersten Lagerbauteils **24** des Axiallagers **22** weist keinen gleichbleibenden Außendurchmesser auf, sondern besitzt am Außenumfang eine Reihe von Nuten, so dass das Flussleitstück **44** im Querschnitt gezahnt erscheint. Die Anzahl der Zähne ist bedingt durch die Dicke des Flussleitstückes **44** sowie das verwendete Verfahren zum Einbringen der Nuten. Das Flussleitstück **46** des gegenüberliegenden zweiten Lagerbauteils **30** weist ebenfalls eine Zahnung gleicher Anzahl auf, wobei jeder Zahn des Flussleitstückes **44** genau

einem Zahn des Flussleitstückes **46** radial gegenüberliegt. Durch die Vielzahl der Zähne können die magnetischen Feldlinien des Magneten **26** besser konzentriert und dadurch ein höherer Anteil des magnetischen Flusses für die Zwecke des Axiallagers genutzt werden. Um die Konzentration der magnetischen Flusslinien weiter zu erhöhen, können zusätzlich die entstehenden Zwischenräume der Zähne der Flussleitstücke mit einem diamagnetischen Material gefüllt werden.

[0045] **Fig. 5** zeigt schematisch einen Teilschnitt durch das erste Lagerbauteil **24** des Axiallagers **22** mit einem Flussleitstück **48**, das aus einer Anzahl von laminierten Blechen besteht. Die Bleche des Blechstapels des Flussleitstückes **48** sind in radialer Richtung ausgerichtet, so dass die Bildung von Wirbelströmen auch bei Verwendung eines multipolar axial magnetisierten Permanentmagneten **26** vermieden werden kann.

[0046] **Fig. 6** zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lagersystem mit magnetischem Axiallager gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung. **Fig. 6** entspricht im Wesentlichen der Ausgestaltung von **Fig. 1**, wobei gleiche Bauteile mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet sind. Die Ausführung der **Fig. 6** unterscheidet sich von der Ausführung gemäß **Fig. 1** durch den Aufbau des ersten Lagerbauteils **24** des Axiallagers **22**. Die Flussleitstücke **28a** und **28b**, die auf dem Permanentmagneten **26** des ersten Lagerbauteils **24** angeordnet sind, bedecken in dieser Ausgestaltung nicht die gesamte Stirnfläche des ringförmigen Permanentmagneten, sondern der Permanentmagnet **26** weist einen kleineren Innendurchmesser auf, als die ringförmigen Flussleitstücke **28a** und **28b**. Hierdurch werden die rückseitigen Streuflüsse verringert, so dass der magnetische Hauptfluss vergrößert wird. Die Außendurchmesser des Permanentmagneten **26** und der Flussleitstücke **28a** und **28b** hingegen sind gleich.

[0047] **Fig. 7** zeigt eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen magnetischen Axiallagers, wobei gleiche Bauteile wie in **Fig. 1** und **Fig. 2** mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Im Unterschied zu den vorhergehenden Ausführungen der Erfindung sind in **Fig. 7** die Positionen der ersten und zweiten Lagerbauteile **50** und **52** vertauscht, das heißt das erste Lagerbauteil **50** ist am Rotorbauteil **16** angeordnet, während das zweite Lagerbauteil **52** an der Lagerbuchse **12** angeordnet ist. Das erste Lagerbauteil **50** umfasst den Permanentmagneten **51** und jeweils stirnseitig befestigte Flussleitstücke, die mittels eines Verbindungsteils am Rotorbauteil **16** befestigt sind. Radial in Richtung der Rotationsachse **20** gegenüberliegend ist das erste Lagerbauteil **52** angeordnet, das an einer Stufe der Lagerbuchse **12** befestigt ist. Das zweite Lagerbauteil **52** umfasst Flussleitstücke die den Flussleitstücken des ersten Lagerbauteils ra-

dial gegenüberliegen.

[0048] **Fig. 8** zeigt eine abgewandelte Ausführung der Ausgestaltung gemäß **Fig. 7** die sich von **Fig. 7** dadurch unterscheidet, dass das zweite Lagerbauteil **54** unmittelbar an den Außenumfang der Welle angrenzt und zusammen mit der Lagerbuchse **12** für die radiale Lagerung der Welle **14** sorgt. Am Lagerbauteil **54** sind gegenüberliegend zum Lagerbauteil **50** Flussleitstücke vorgesehen.

[0049] **Fig. 9** zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit einem erfindungsgemäßen magnetischen Axiallager gemäß einer weiteren Ausführung. An einem Statorbauteil **110**, in welchem eine Welle **114** mittels Radiallagern **118a** und **118b** drehgelagert ist, ist ein erstes Lagerbauteil **124** befestigt. Das erste Lagerbauteil **124** umfasst einen Permanentmagneten **126**, an dessen Stirnflächen jeweils zwei über den Außenumfang des Permanentmagneten **126** hinausragende Flussleitstücke **118a** und **118b** befestigt sind. Die Welle **114** ist mit einem Rotorbauteil **116** verbunden, an dessen Innenumfang ein zweites Lagerbauteil **130** angeordnet ist, radial gegenüberliegend zum ersten Lagerbauteil **124**. Das zweite Lagerbauteil **130** umfasst ebenfalls einen Permanentmagneten **156**, an dessen Stirnflächen jeweils Flussleitstücke **132a** und **132b** angeordnet sind. Die Flussleitstücke **132a** und **132b** stehen über den Innenumfang des Magneten **156** hinaus und liegen unmittelbar gegenüber den Flussleitstücken **128a** und **128b**. Diese Ausführung zeichnet sich durch die Verwendung von jeweils einem Permanentmagneten in jedem Lagerbauteil **124** und **130** aus. Pro Lagerbauteil können jedoch auch zwei oder mehr Permanentmagnete verwendet werden.

[0050] **Fig. 10** zeigt einen Schnitt durch ein Lagersystem mit Axiallager gemäß der Erfindung, wobei gleiche Bauteile wie in **Fig. 9** mit denselben Bezugszeichen versehen sind. Im Unterschied zu **Fig. 9** verlaufen die Innen- und Außendurchmesser der Flussleitstücke **128a** und **128b** auf der selben Ebene wie die Innen- und Außendurchmesser des Permanentmagneten **126**. Gleichermaßen verlaufen die Innen- und Außendurchmesser der Flussleitstücke **132a** und **132b** auf der selben Ebene wie die Innen- und Außendurchmesser des Permanentmagneten **156**.

[0051] Die vorgestellten Lagersysteme mit magnetischem Axiallager eignen sich insbesondere zur Drehlagerung von Spindelmotoren für Festplattenspeicherantriebe, mit Speicherplatten mit einem Durchmesser von 3,5 Zoll, 2,5 Zoll und darunter. Bei einem derartigen Spindelmotor hat der Außenumfang der Nabe einen Durchmesser von einigen Millimetern, wobei die Dicke der Permanentmagnete beispielsweise 1 mm und die der Flussleitstücke 0,2 mm betragen kann.

Bezugszeichenliste

10	Statorbauteil
12	Lagerbuchse
14	Welle
15	Stopperring
16	Rotorbauteil
17	Abdeckplatte
18a, 18b	Radiallager
20	Rotationsachse
22	Axiallager
24	erstes Lagerbauteil
26	Permanentmagnet
28a, 28b	Flussleitstück
30	Zweites Lagerbauteil
32a, 32b	Flussleitstück
34	Luftspalt
36	Permanentmagnet
38	Permanentmagnet
40a, b, c	Flussleitstück
42a, b, c	Flussleitstück
44	Flussleitstück
46	Flussleitstück
48	Flussleitstück
50	erstes Lagerbauteil
51	Permanentmagnet
52	zweites Lagerbauteil
54	zweites Lagerbauteil
60	Kennlinie
110	Statorbauteil
114	Welle
116	Rotorbauteil
118a, 118b	Radiallager
120	Rotationsachse
124	erstes Lagerbauteil
126	Permanentmagnet
128a, 28b	Flussleitstück
130	Zweites Lagerbauteil
132a, 132b	Flussleitstück
156	Permanentmagnet

Patentansprüche

1. Lagersystem mit einem Statorbauteil (10), in welchem eine Lagerbuchse (12) gehalten ist, einem Rotorbauteil (16) und einer mit diesem verbundene Welle (14), wobei das Lagersystem umfasst: zwei fluiddynamische Radiallager (18a, 18b) zur Drehlagerung der Welle (14) in einer Bohrung der Lagerbuchse (12) um eine Rotationsachse (20), ein magnetisches Axiallager (22) zur Aufnahme von axialen Kräften, die auf das Rotorbauteil einwirken, mit einem ersten Lagerbauteil (24; 50; 124), das entweder an der Lagerbuchse oder dem Rotorbauteil angeordnet ist und aus mindestens einem Permanentmagneten (26; 126) besteht, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Lagerbauteil (24) radial innen liegend des zweiten Lagerbauteils (30) angeordnet ist und mindestens zwei diesem zugeordnete Flussleitstücke (28; 128) aufweist, die auf gegenüberliegenden

Stirnflächen des Permanentmagneten angeordnet und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind, und

einem zweiten Lagerbauteil (30), das entweder am Rotorbauteil (16) oder der Lagerbuchse (12) angeordnet ist, und aus mindestens zwei Flussleitstücken (32a, 32b; 132a, 132b) besteht, die in einem gegenseitigen Abstand angeordnet und senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtet sind, wobei die Flussleitstücke integraler Bestandteil des zweiten Lagerbauteils (30) sind, und jedes Flussleitstück (32a, 32b; 132a 132b) des zweiten Lagerbauteils (30) einem Flussleitstück (28; 128) des ersten Lagerbauteils (22) zugeordnet ist und diesem getrennt durch einen Luftspalt (34) in radialer Richtung unmittelbar gegenüberliegt und einen geschlossenen magnetischen Kreis bildet, und dass das magnetische Axiallager (22) auf gleicher axialer Höhe eines der Radiallager (18a) angeordnet ist.

2. Lagersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (26; 126) ringförmig ausgebildet ist und erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

3. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (26; 126) in Richtung der Rotationsachse (20) axial magnetisiert ist.

4. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein ringförmiges Flussleitstück (28a; 128a) auf der ersten Stirnfläche des Permanentmagneten (26; 126) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist, dass ein weiteres ringförmiges Flussleitstück (28b; 128b) auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten (26; 126) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist.

5. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die innere oder äußere Umfangsfläche der Flussleitstücke (28; 128) über die innere oder äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten (26; 126) hinausragen.

6. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) aus einem ferromagnetischen Werkstoff besteht und konzentrisch zur Rotationsachse angeordnet ist.

7. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) im Bereich der Flussleitstücke (32) seinen größten Außen-Durchmesser oder kleinsten Innen-Durchmesser aufweist.

8. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis

7, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (130) einen Permanentmagnet (156) umfasst, der erste und zweite Stirnflächen sowie innere und äußere Umfangsflächen aufweist, und dass ein ringförmiges Flussleitstück (132a) auf der ersten Stirnfläche des Permanentmagneten (156) angeordnet ist und innere und äußere Umfangsflächen aufweist, und dass ein ringförmiges Flussleitstück (132b) auf der zweiten Stirnfläche des Permanentmagneten (156) angeordnet ist und radial innere und radial äußere Umfangsflächen aufweist.

9. Lagersystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (156) des zweiten Lagerbauteils (130) in Richtung der Rotationsachse (20) axial magnetisiert ist und zu dem Permanentmagneten (126) des ersten Lagerbauteils (124) entgegengesetzt magnetisiert ist.

10. Lagersystem nach einem der Ansprüche 8 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die radial innere oder radial äußere Umfangsfläche der Flussleitstücke (132) über die radial innere oder radial äußere Umfangsfläche des Permanentmagneten (156) hinausragen.

11. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussleitstücke (28, 128; 32, 132) aus einem ferromagnetischen Material bestehen.

12. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussleitstücke (28, 128; 32, 132) aus einem Blechstapel bestehen, dessen Bleche in axialer Richtung übereinander liegen.

13. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet des ersten und/oder des zweiten Lagerbauteils zwei oder mehrere ringförmige Permanentmagnete (36; 38) umfasst, die in axialer Richtung gegensinnig magnetisiert sind.

14. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Statorbauteil und das Rotorbauteil Teile einer elektrischen Maschine sind.

15. Lagersystem nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine ein Spindelmotor ist.

16. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Lagerbauteil (24) zwei ringförmige Permanentmagnete (36, 38) aufweist, und dass zwischen den Permanentmagneten (36, 38) an jeder Stirnfläche jeweils ein Flussleitstück (40a, 40b, 40c) angeordnet ist.

17. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lagerbauteil (30) drei Flussleitstücke (42a, 42b, 42c) umfasst, die jeweils radial gegenüberliegend einem Flussleitstück (40a, 40b, 40c) des ersten Lagerbauteils (24) angeordnet sind.

18. Lagersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Flussleitstück (44) des ersten Lagerbauteils (24) am Außenumfang eine Reihe von Nuten aufweist, und dass auch das Flussleitstück (46) des zweiten Lagerbauteils (30) ebenfalls eine Zahnung gleicher Anzahl aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

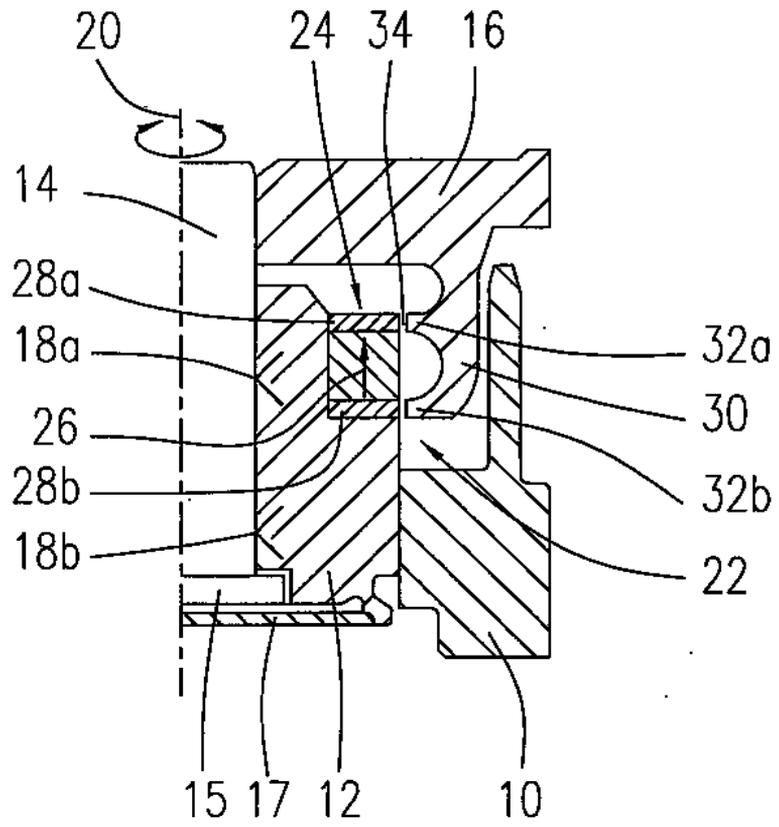


Fig. 2

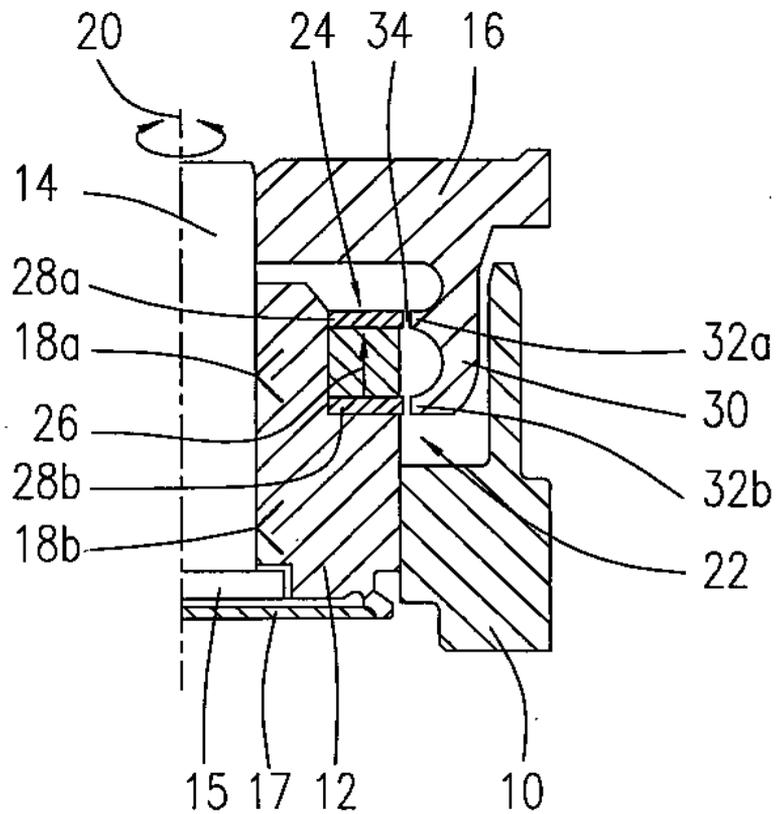


Fig. 3

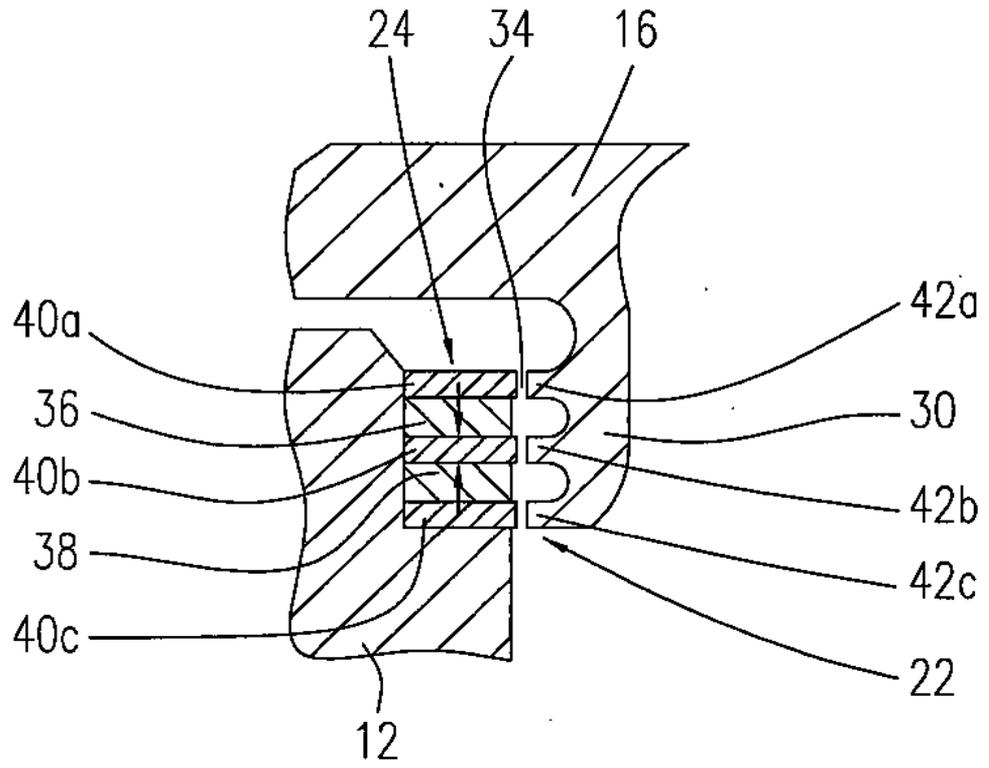


Fig. 4

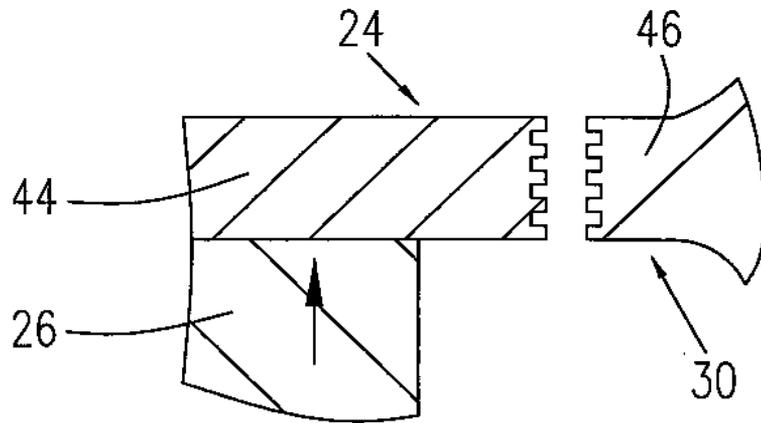


Fig. 5

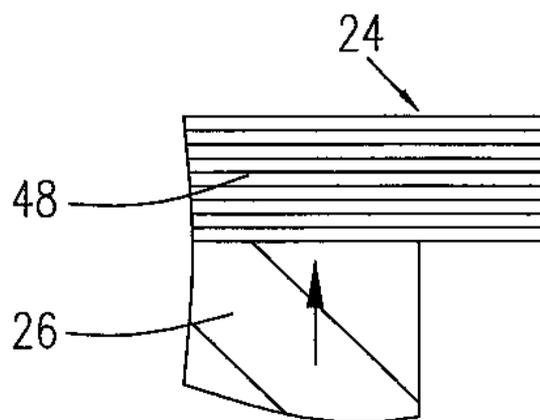


Fig. 6

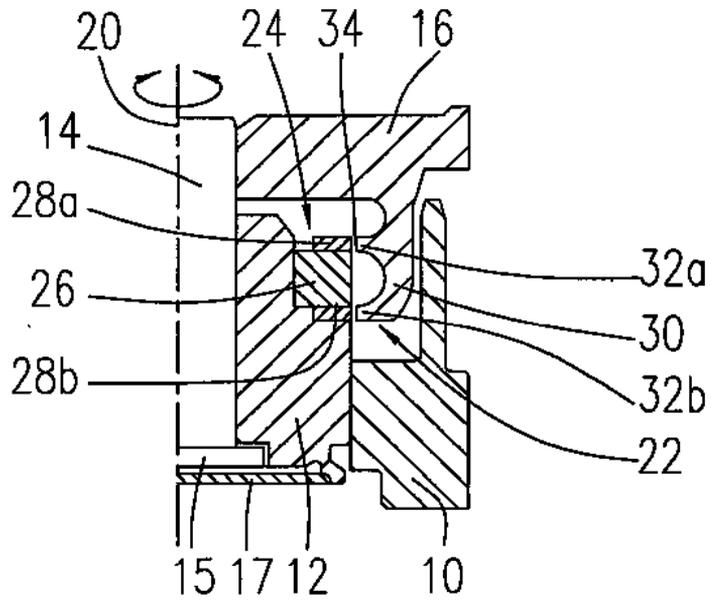


Fig. 7

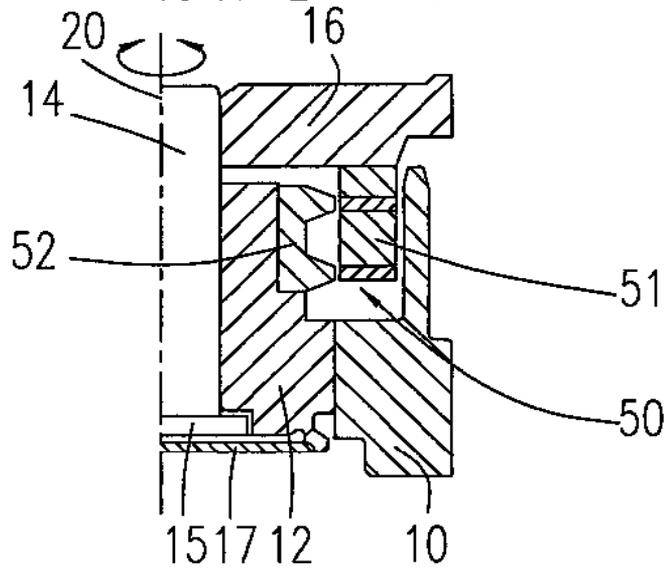


Fig. 8

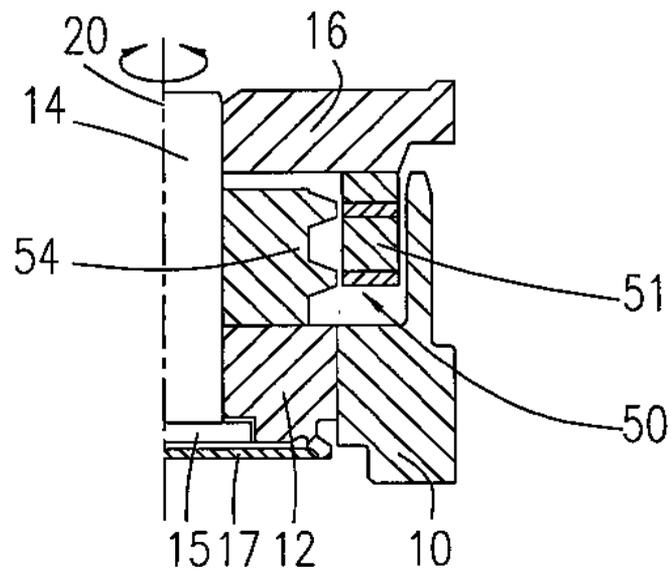


Fig. 9

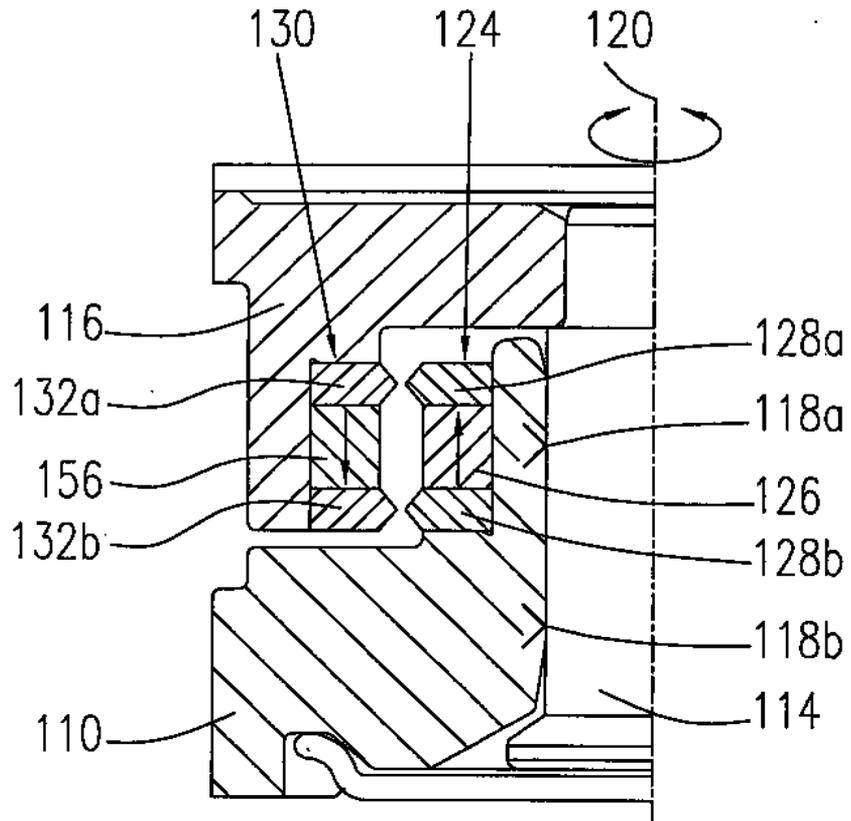
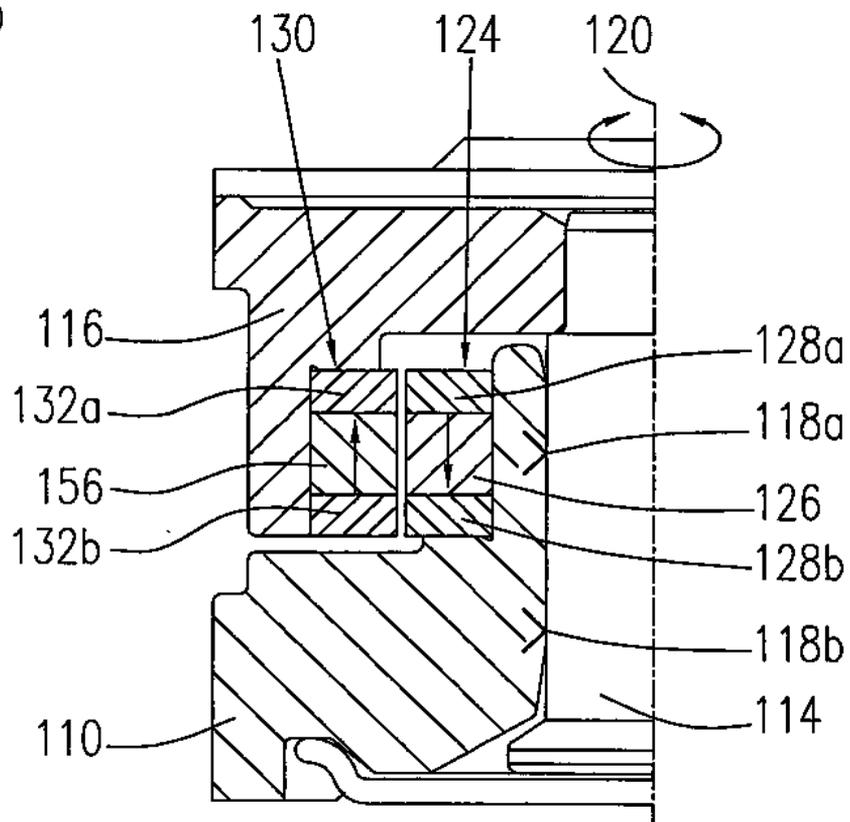


Fig. 10



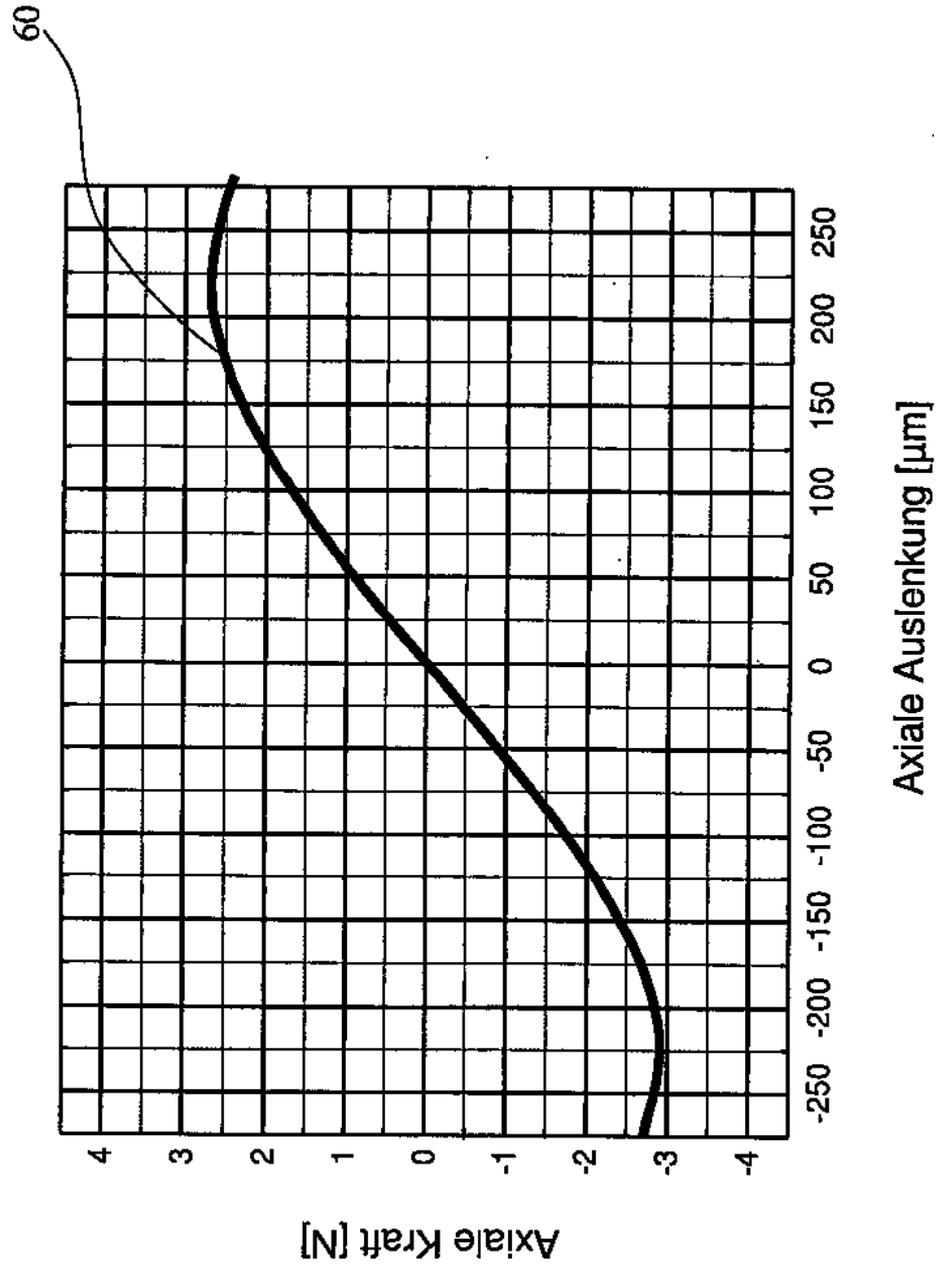


Fig. 11