



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 202 11 510 U1 2004.01.08**

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(22) Anmeldetag: **13.07.2002**

(47) Eintragungstag: **27.11.2003**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **08.01.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **F16C 32/04**  
**H02K 7/09**

(71) Name und Wohnsitz des Inhabers:  
**Leybold Vakuum GmbH, 50968 Köln, DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:  
**Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
 50667 Köln**

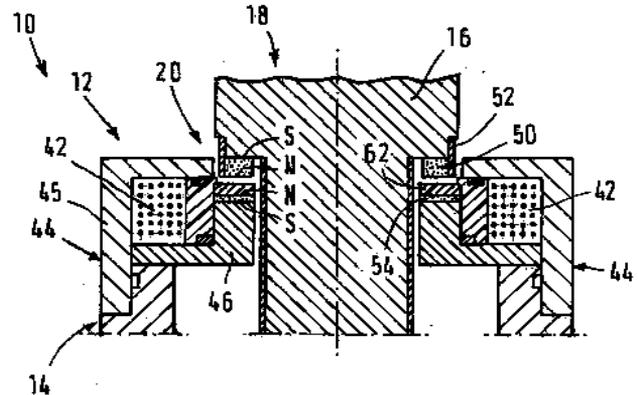
(56) Recherchenergebnisse nach § 7 Abs. 2 GbrMG:

**DE 25 37 367 B2**  
**DE 198 25 854 A1**  
**DE 100 43 235 A1**  
**DE 33 41 716 A1**  
**EP 06 64 410 A1**  
**JP 2000-2 83 162 A**

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

(54) Bezeichnung: **Magnetlager**

(57) Hauptanspruch: Magnetlager mit einem feststehenden ersten Lagerteil (12) und einem beweglichen zweiten Lagerteil (18), das an dem ersten Lagerteil (12) berührungslos gelagert ist, wobei das erste Lagerteil (12) eine ein Magnetfeld erzeugende Magnetspule (42) mit einem Joch Eisen aufweist, und das zweite Lagerteil (18) einen Permanentmagneten (50) aufweist, der in Ausrichtung mit dem Joch Eisen (44) magnetisiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass an dem ersten Lagerteil (12) ein permanent magnetisierter Kompensationsmagnet (54) vorgesehen ist, der dem Permanentmagneten (50) des zweiten Lagerteiles (18) gegensinnig magnetisiert gegenüberliegt.



**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Magnetlager mit einem feststehenden ersten Lagerteil und einem beweglichen zweiten Lagerteil, das an dem ersten Lagerteil berührungslos gelagert ist.

[0002] Magnetlager werden beispielsweise zur Lagerung von Motorrotoren, Pumpenrotoren oder anderen rotierenden Teilen eingesetzt, werden jedoch auch zur Lagerung von nicht-rotierenden Teilen eingesetzt, beispielsweise als Dämpfungs- und Federvorrichtung zwischen zwei nicht-rotierenden Teilen. Ein Magnetlager besteht im Allgemeinen aus einem feststehenden ersten Lagerteil, das eine ein Magnetfeld erzeugende Magnetspule aufweist, deren Magnetfeld durch ein Jocheisen kanalisiert wird und einem zweiten beweglichen Lagerteil. Das zweite Lagerteil weist einen Permanentmagneten auf, der in Ausrichtung mit dem Jocheisen magnetisiert ist. Je nach Richtung des durch die Magnetspule des ersten Lagerteiles erzeugten Magnetfeldes wird hierdurch der Permanentmagnet des zweiten Lagerteiles angezogen oder abgestoßen, so dass von dem ersten Lagerteil auf das zweite Lagerteil sowohl anziehende als auch abstoßende Kräfte generiert werden können. Nachteilig an dieser Konstruktion ist, dass der Permanentmagnet des zweiten Lagerteiles anziehend wirkt auf das Jocheisen des ersten Lagerteiles, so dass stets erhebliche Anziehungskräfte auftreten. Diese Anziehungskräfte stellen eine Vorspannungskraft dar, die durch ein entsprechendes Magnetfeld der Magnetspule des ersten Lagerteiles entgegengewirkt werden muss, was eine höhere Instabilität, einen höheren Regelungsaufwand und einen höheren Energieverbrauch verursacht.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, das Magnetlager zu verbessern.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Bei dem erfindungsgemäßen Magnetlager ist an dem ersten Lagerteil ein permanentmagnetisierter Kompensationsmagnet vorgesehen, der dem Permanentmagneten des zweiten Lagerteils gegensinnig magnetisiert gegenüberliegt. Der Kompensationsmagnet kompensiert die Kraftwirkung des Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles auf das Jocheisen. Dies erfolgt dadurch, dass der Kompensationsmagnet gegensinnig polarisiert zu dem Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles ist, so dass sich der Permanentmagnet des zweiten Lagerteiles und der Kompensationsmagnet, und damit das zweite Lagerteil und das erste Lagerteil gegensinnig abstoßen. Der Kompensationsmagnet kann dem Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles durch einen Luftspalt getrennt direkt gegenüberliegend angeordnet sein, kann jedoch auch im Verlauf des Jocheisens an anderer Stelle angeordnet sein. Der Kompensationsmagnet kompensiert annähernd vollständig die axialen Anziehungskräfte zwischen dem Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles und dem

Jocheisen des ersten Lagerteiles. Dadurch kann die axiale Vorspannung im Magnetlager auf ein Minimum reduziert werden. Auf diese Weise kann durch entsprechende Steuerung der Magnetspule das zweite Lagerteil in einer vorspannungsfreien Mittellage gehalten werden. Durch den Wegfall der Vorspannung können zur sicheren Regelung der Mittellage des zweiten Lagerteiles kleinere Magnetspulen verwendet werden. Wegen der geringeren aufzubringenden Regelungskräfte der Magnetspule wird auch der Energieaufwand, und die Wärmeentwicklung durch die Magnetspule erheblich reduziert.

[0006] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist das Magnetlager ringförmig ausgebildet und sind die Magnetspule, das Jocheisen, der Permanentmagnet des zweiten Lagerteiles sowie der Kompensationsmagnet ringartig angeordnet. Hierdurch wird eine große Kippstabilität des zweiten Lagerteiles zu dem ersten Lagerteil realisiert. Das zweite Lagerteil kann sich gleichzeitig gegenüber dem ersten Lagerteil drehen.

[0007] Vorzugsweise sind mehrere Magnetspulen mit segmentartigen Jocheisen vorgesehen, die zu einem Ring zusammengesetzt sind. Ferner können über den Ringumfang mehrere Abstandssensoren zur Erfassung der Position des zweiten Lagerteiles im Raum vorgesehen und mit einer Steuervorrichtung verbunden sein, die die Magnetspulen zur Kompensation von Kippbewegungen des zweiten Lagerteiles ansteuert. Auf diese Weise können Kippbewegungen des zweiten Lagerteiles ausgeglichen werden.

[0008] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung weist das erste Lagerteil eine Wirbelstrom-Dämpfungsscheibe aus elektrisch leitendem Material auf, die axial zwischen den Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles und dem Jocheisen des ersten Lagerteiles angeordnet ist. Die Wirbelstrom-Dämpfungsscheibe bewirkt eine Dämpfung radialer Bewegungen des zweiten Lagerteiles durch die bei radialen Bewegungen des zweiten Lagerteiles in der Dämpfungsscheibe induzierten Wirbelströme. Auf diese Weise wird eine wirkungsvolle radiale Dämpfung in der Ebene des ringartigen Magnetlagers realisiert.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist ein freies Ende des Jocheisens axial und das andere freie Ende des Jocheisens radial des Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles angeordnet. Durch die Anordnung des freien Jocheisenendes radial außen oder radial innen des Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles wird eine unverschachtelte Anordnung der Teile des Magnetlagers realisiert. Das zweite Lagerteil kann komplett von einer Seite aus in das erste Lagerteil eingesetzt bzw. aus diesem herausgenommen werden. Dadurch wird eine einfache Montage des zweiten Lagerteiles an dem ersten Lagerteil ermöglicht.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Magnetspule radial außen oder radial innen des Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles

angeordnet sein. Die Anordnung der Magnetspule und der Permanentmagnete erfolgt ungefähr in einer Ebene. Hierdurch wird eine kompakte Bauweise realisiert.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Luftspalt zwischen dem Jocheisen und dem Kompensationsmagneten zur Querebene des ringförmigen Magnetlagers geneigt. Durch die Neigung des Luftspaltes zur Querebene wird der Luftspalt in seiner Fläche vergrößert, d.h. die einander gegenüberliegenden Wirkflächen des Jocheisens, des Kompensationsmagneten und des Permanentmagneten des zweiten Lagerteiles sind vergrößert. Hierdurch wird die Verwendung größerer Magnete und die Realisierung größerer Magnetkräfte mit einem Anteil an radialen Kraftkomponenten ermöglicht.

[0012] Vorzugsweise ist das Magnetlager ein Wellenlager, wobei das erste Lagerteil statorseitig und das zweite Lagerteil wellenseitig angeordnet ist. Die Welle kann Teil eines Elektromotors, einer Pumpe oder anderer Maschinen sein. Das Magnetlager eignet sich insbesondere für schnelllaufende Wellen von Elektromotoren und Vakuumpumpen. Vorzugsweise ist das Wellen-Magnetlager ein Axiallager.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist das Axiallager annähernd radial des Schwerpunktes der Welle und zwischen zwei Wellen-Radiallagern angeordnet, die jeweils axial beabstandet zu dem Wellenschwerpunkt angeordnet sind. Der Schwerpunkt der Welle befindet sich also zwischen den beiden Radiallagern, während das Axiallager ungefähr in der Schwerpunktquerebene liegt. Bei dieser Anordnung wird eine hohe Kippstabilität der Welle realisiert. Gleichzeitig ist das Axiallager derart angeordnet, dass es ein hohes Drehmoment zur Erzeugung eines entsprechenden Wellen-Kippmomentes bewirken kann.

[0014] Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

[0015] Es zeigen:

[0016] **Fig. 1** eine erste Ausführungsform eines Magnetlagers mit einer einzigen Magnetspule,

[0017] **Fig. 2** eine zweite Ausführungsform eines Magnetlagers mit drei Magnetspulen,

[0018] **Fig. 3** die drei Magnetspulen mit zugehörigen Jocheisen des Magnetlagers der **Fig. 2**,

[0019] **Fig. 4** eine dritte Ausführungsform eines Magnetlagers, bei dem der Permanentmagnet des zweiten Lagerteiles und der Kompensationsmagnet radial außen der Magnetspule angeordnet sind, und

[0020] **Fig. 5** ein viertes Ausführungsbeispiel eines Magnetlagers mit zur Radialen geneigten Magnetspaltflächen.

[0021] In den **Fig. 1-5** sind vier Ausführungsbeispiele von Magnetlagern **20,120,220,320** dargestellt, bei denen es sich um Wellenlager **10,110,210,310** handelt. Die Magnetlager **20,120,220,320** arbeiten berührunglos und sind daher insbesondere für hohe Drehzahlen von 100.000 Umdrehungen pro Minute

und mehr geeignet. Sie finden insbesondere Einsatz zur Lagerung von Wellen in Vakuumpumpen, schnelllaufenden Antriebsmotoren, Spindellagerungen etc.

[0022] Bei den Magnetlagern **20,120,220,320** der **Fig. 1 - 5** handelt es sich jeweils um Axiallager einer schnelllaufenden Pumpe, beispielsweise einer Vakuumpumpe, es kann sich aber auch um Lager anderer Maschinenteile handeln. Radiallager zur radialen Lagerung der Wellen sind nicht dargestellt.

[0023] Das Wellenlager **10** der **Fig. 1** weist ein als feststehendes Lagerelement **14** ausgebildetes feststehendes erstes Lagerteil **12**, ein als rotierende Welle **16** ausgebildetes bewegliches zweites Lagerteil **18** und das Magnetlager **20** zur axialen Lagerung des zweiten Lagerteiles **18** an dem ersten Lagerteil **12** auf.

[0024] Das Magnetlager **20** weist eine ein torusförmiges Magnetfeld erzeugende ringförmige Magnetspule **42** auf, die von einem Jocheisen **44** umgeben ist. Die Magnetspule **42** ist in dem ringförmigen Hohlraum des Jocheisens **44** angeordnet. Das Jocheisen **44** besteht aus zwei im Querschnitt L-förmigen Ringen **45,46**, die einen im Querschnitt rechteckigen Rahmen bilden. An einer radial inneren Ecke ist das Jocheisen unterbrochen, also offen ausgebildet. Das Jocheisen **44** besteht vorzugsweise aus einem Eisen-Verbund-Werkstoff mit einem 5 %igen Kunststoffanteil. Dadurch wird die Induktion von Wirbelströmen gering gehalten und die Regelung des Magnetlagers **20** beschleunigt.

[0025] An der Welle **16** ist, dem Jocheisen **44** axial gegenüberliegend, ein axial magnetisierter ringförmiger Permanentmagnet **50** befestigt, der von einer Hülse **52** an der Welle **16** befestigt ist und gehalten wird. Das von der Magnetspule **42** erzeugte Magnetfeld wirkt auf den wellenseitigen ringförmigen Permanentmagneten **50** in axialer Richtung anziehend oder abstoßend, je nach Polarisierung des erzeugten Magnetfeldes, also je nach Stromrichtung in der Magnetspule **42**.

[0026] An der axialen Stirnseite des inneren Jocheisenringes **46** im Bereich der Unterbrechung des Ringes ist ein permanent axial magnetisierter ringförmiger Kompensationsmagnet **54** befestigt, der zu dem wellenseitigen Permanentmagneten **50** gegensinnig polarisiert ist, so dass sich der Wellen-Permanentmagnet **50** und der Kompensationsmagnet **54** abstoßen. Auf diese Weise werden die zwischen dem ringförmigen Wellen-Permanentmagneten **50** und dem inneren Jocheisenring **46** wirkenden magnetischen Anziehungskräfte annähernd durch entsprechende Abstoßungskräfte zwischen dem Wellen-Permanentmagneten **50** und dem Kompensationsmagneten **54** kompensiert.

[0027] Damit ist ein aktives axiales Magnetlager realisiert, das in beide axiale Richtungen regeln kann, also sowohl anziehend als auch abstoßend. Durch Vorsehen des Kompensationsmagneten **54** kann die Regelung um eine annähernd vorspannungsfreie axiale Mittellage herum erfolgen. Durch die Vorspan-

nungsfreiheit sind zur Einhaltung der axialen Mittellage der Welle 16 nur relativ kleine axiale Regelkräfte erforderlich. Hierdurch wird die Verwendung einer kleinen Magnetspule 42 ermöglicht. Durch die insgesamt verringerte erforderliche Regelleistung wird die Wärmezeugung in der Magnetspule 42 reduziert.

[0028] Die axiale Lage der Welle 16 im Verhältnis zu dem feststehenden Lagerelement 14 wird durch einen nicht dargestellten Abstandssensor ermittelt, der ein entsprechendes Messsignal an eine nicht dargestellte Steuervorrichtung überträgt. Die Steuervorrichtung steuert in Abhängigkeit von der ermittelten axialen Position, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung der Welle 16 einen entsprechenden Steuerstrom zu der Magnetspule 42, um die axiale Lage der Welle 16 zu korrigieren und die Welle 16 in ihrer axialen Mittellage zu halten.

[0029] Axial vor dem Kompensationsmagneten 54 weist das feststehende erste Lagerteil 12 eine Wirbelstrom-Dämpfungsscheibe 62 aus einem elektrisch gut leitenden Material auf, beispielsweise aus Kupfer. Die Dämpfungsscheibe 62 ist also axial zwischen dem wellenseitigen Permanentmagneten 50 und dem statorseitigen Kompensationsmagneten 54 angeordnet. Bei radialen Bewegungen bzw. Vibrationen der Welle 16 werden durch den Wellen-Permanentmagneten 50 in der Dämpfungsscheibe 62 elektrische Wirbelströme induziert. Dadurch wird die mechanische Energie der Welle 16 induktiv auf die Dämpfungsscheibe 62 übertragen und dort in Wärme umgewandelt. Auf diese Weise werden Vibrationen und Schwingungen der Welle 16 wirksam gedämpft.

[0030] Bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel eines Wellenlagers 110 ist das Magnetlager 120 insoweit anders aufgebaut, als es nicht eine, sondern drei Magnetspulen 141, 142, 143, drei Jocheisen 144, entsprechende Jocheisen-Innenring-Abschnitte 146<sub>1</sub>, 146<sub>2</sub>, 146<sub>3</sub> und entsprechende Jocheisen-Außenring-Abschnitte 145<sub>1</sub>, 145<sub>2</sub>, 145<sub>3</sub> aufweist, wie auch in Fig. 3 erkennbar ist. Die übrigen Teile entsprechen im Wesentlichen denen des Wellenlagers 10 der Fig. 1 und sind mit den entsprechenden, um 100 erhöhten Bezugszeichen versehen. Zwischen den Jocheisen-Innenring-Abschnitten 146<sub>1</sub>, 146<sub>3</sub> sind Segmente 147 aus nichtmagnetischem Material angeordnet, die die Jocheisen-Ring-Abschnitte 146<sub>1</sub>, 146<sub>3</sub> magnetisch voneinander trennen. Ferner sind drei Abstandssensoren 160 vorgesehen, die ungefähr in der Querebene des Magnetlagers 120 den axialen Abstand der Welle 116 zum feststehenden zweiten Lagerteil 118 ermitteln. Durch die insgesamt drei axialen Abstandssensoren 160 kann die Wellenposition dreidimensional erfasst werden, so dass nicht nur axiale Abweichungen von der Mittellage, sondern auch Kippbewegungen der Welle 116 erfasst werden können. Durch die separat durch eine Steuervorrichtung ansteuerbaren Magnetspulen 141-143 lassen sich Kippbewegungen bzw. Kippschwingungen der Welle 116 kompensieren.

[0031] Bei der in Fig. 4 dargestellten dritten Ausführungsform eines Wellenlagers 210 weist das Magnetlager 220 radial innen drei Magnetspulen 241, 242, einen Wellen-Permanentmagneten 250, einen Kompensationsmagneten 254 und eine Dämpfungsscheibe 262 radial außen der Magnetspulen 242 auf.

Durch die außenseitige Anordnung können größere Permanentmagnete eingesetzt werden, die ein größeres Drehmoment auf die Welle 216 und damit eine größere stabilisierende Wirkung erzeugen. Durch die größeren Permanentmagnete wird die Tragkraft des Axiallagers erhöht. Die Teile dieses Wellenlagers 210 entsprechen im Wesentlichen denen des Wellenlagers 10 der Fig. 1 und sind mit den entsprechenden, um 200 erhöhten Bezugszeichen versehen.

[0032] In der in Fig. 5 dargestellten vierten Ausführungsform eines Wellenlagers 310 sind der Wellen-Permanentmagnet 350, der Kompensationsmagnet 354 und die Dämpfungsscheibe 362 und damit der zwischen der Dämpfungsscheibe 362 und dem Wellen-Permanentmagneten 350 gebildete Spalt 370 nicht genau in einer Querebene liegend, sondern in einem Winkel von ungefähr 15 Grad dazu geneigt angeordnet. Die Magnetisierungsrichtung der Magnete 350, 354 ist ebenfalls in 15 Grad zur Querebene geneigt. Die zwischen dem feststehenden Lagerteil 312 und der Welle 316 übertragenen Magnetkräfte werden dadurch vergrößert und weisen sowohl eine axiale als auch eine kleinere radiale Komponente auf. Auf diese Weise lassen sich durch eine geeignete Regelung der Magnetspulen 342 sowohl die axiale Lage der Welle 316 als auch die radiale Lage der Welle 316 im Verhältnis zu dem feststehenden Lagerteil 312 regeln. Damit lassen sich radiale Ausbrüche und Schwingungen der Welle 316 auf ein Minimum reduzieren. Die übrigen Teile entsprechen im Wesentlichen denen des Wellenlagers 10 der Fig. 1 und sind mit den entsprechenden, um 300 erhöhten Bezugszeichen versehen.

[0033] Durch die Kompensation der Anziehungskräfte zwischen Wellen-Permanentmagneten und Jocheisen durch einen Kompensationsmagneten ist die Welle in ihrer axialen Mittellage vorspannungsfrei. Dadurch kann die axiale Mittellage des Rotors mit relativ kleinen Magnetspulen-Strömen geregelt werden. Dies ermöglicht kleine Magnetspulen, bewirkt eine geringere Wärmeentwicklung und reduziert die erforderliche Leistungsaufnahme des Axiallagers.

### Schutzansprüche

1. Magnetlager mit einem feststehenden ersten Lagerteil (12) und einem beweglichen zweiten Lagerteil (18), das an dem ersten Lagerteil (12) berührungslos gelagert ist, wobei das erste Lagerteil (12) eine ein Magnetfeld erzeugende Magnetspule (42) mit einem Jocheisen aufweist, und das zweite Lagerteil (18) einen Permanentmagneten (50) aufweist, der in Ausrichtung mit dem Jocheisen (44) magnetisiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem ersten Lagerteil (12) ein permanent magnetisierter Kom-

pensationsmagnet (54) vorgesehen ist, der dem Permanentmagneten (50) des zweiten Lagerteiles (18) gegensinnig magnetisiert gegenüberliegt.

2. Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetlager ringförmig ausgebildet ist und die Magnetspule (42), das Jocheisen (44), der Permanentmagnet (50) des zweiten Lagerteiles (18) und der Kompensationsmagnet (54) ringartig angeordnet sind.

3. Magnetlager nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Magnetspulen (141, 142, 143) mit Jocheisen (144) ringartig angeordnet sind.

4. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Lagerteil (12) eine Wirbelstrom-Dämpfungsscheibe (62) aus elektrisch leitendem Material aufweist, die axial zwischen dem Permanentmagneten (50) des zweiten Lagerteiles (18) und dem Jocheisen (44) angeordnet ist.

5. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Abstandssensoren (160) in einer einzigen Querebene zur Erfassung der Position des zweiten Lagerteiles (118) vorgesehen und mit einer Steuervorrichtung verbunden sind, die die Magnetspulen (142) zur Kompensation von Kippbewegungen des zweiten Lagerteiles (118) ansteuert.

6. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, dass ein freies Ende des Jocheisens (44) axial und das andere freie Ende des Jocheisens (44) radial des Permanentmagneten (50) des zweiten Lagerteiles (18) angeordnet ist.

7. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetspule radial außen oder radial innen des Permanentmagneten (50) des zweiten Lagerteiles (18) angeordnet ist.

8. Magnetlager nach einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt (360) zwischen dem Jocheisen (344) und dem Kompensationsmagneten (354) zur Querebene geneigt ist.

9. Wellenlager mit einem Magnetlager (20) nach Anspruch 1, wobei das erste Lagerteil (12) statorseitig und das zweite Lagerteil (18) wellenseitig angeordnet ist.

10. Wellenlager nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Wellen-Magnetlager (20) ein Axiallager ist.

11. Wellenlager nach Anspruch 9 oder 10, gekennzeichnet durch die Merkmale einer der Ansprüche

2-8.

12. Wellenlager nach einem der Ansprüche 9-11, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetlager (20) annähernd radial des Schwerpunktes der Welle (16) und zwischen zwei Wellen-Radiallagern angeordnet ist, die jeweils axial beabstandet zu dem Wellen-Schwerpunkt angeordnet sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

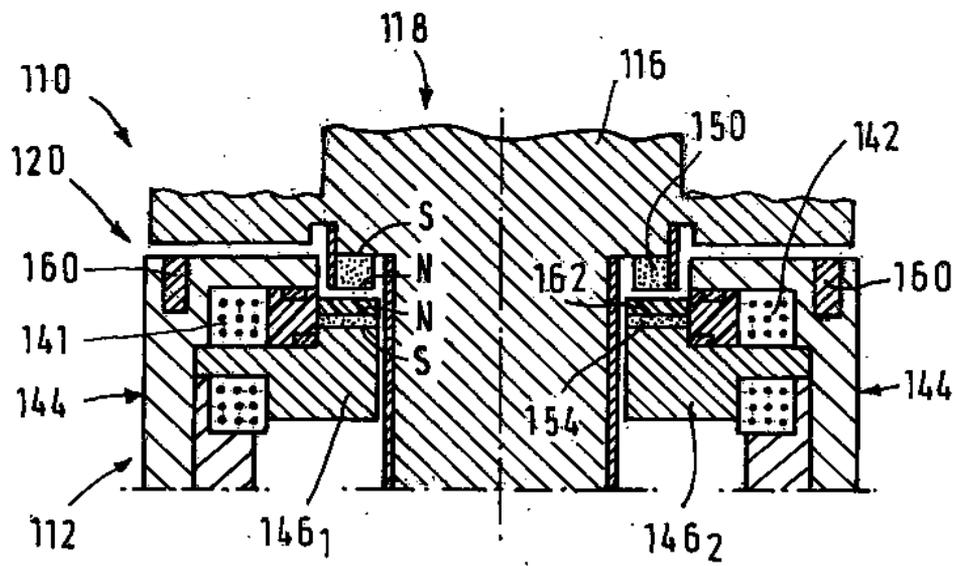
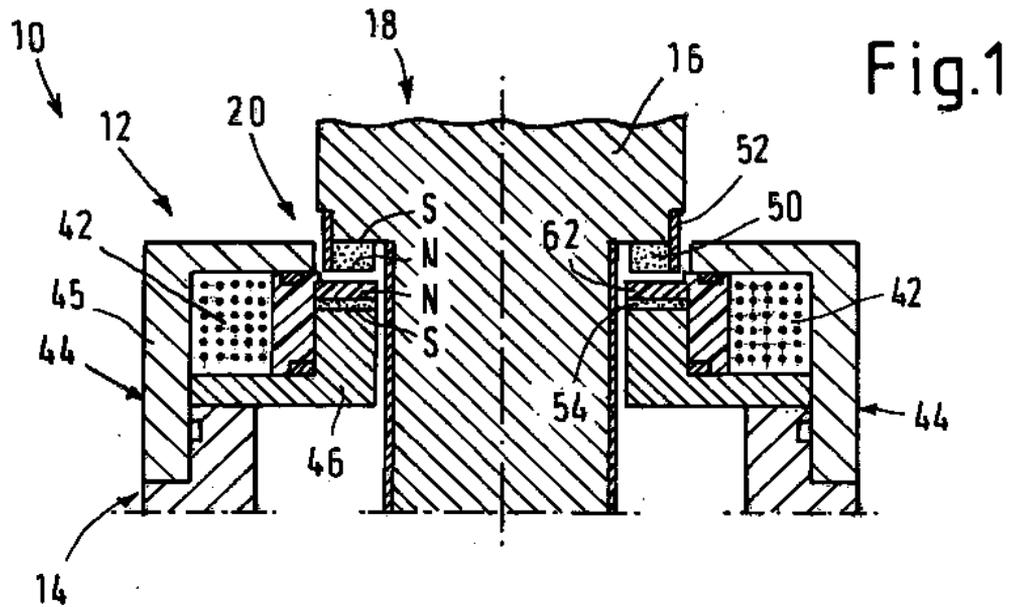


Fig. 3

