

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Dezember 2008 (31.12.2008)

PCT

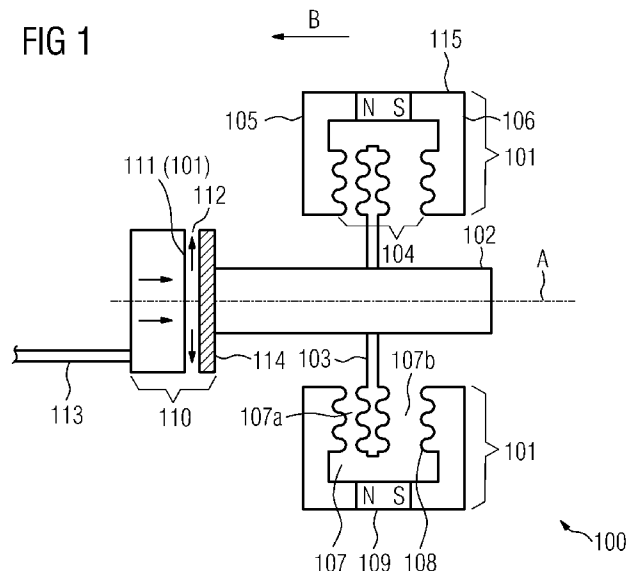
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/000711 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F16C 32/04 (2006.01) *F16C 32/06* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/057647
- (22) Internationales Anmeldedatum:
18. Juni 2008 (18.06.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2007 028 905.9 22. Juni 2007 (22.06.2007) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KUMMETH, Peter [DE/DE]; Langenzenner Str. 19, 91074 Herzogenaurach (DE). LEGHISSA, Martino [DE/DE]; Am Gaubach 26, 91369 Wiesenthau (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BEARING DEVICE FOR THE CONTACTLESS BEARING OF A ROTOR IN RELATION TO A STATOR

(54) Bezeichnung: LAGEREINRICHTUNG ZUR BERÜHRUNGSFREIEN LAGERUNG EINES ROTORS GEGEN EINEN STATOR



(57) Abstract: The invention relates to a bearing device (100) for the contactless bearing of a rotor in relation to a stator (101). Said bearing device (100) comprises a rotor provided with a shaft (102) and at least one rotor disk (103), and a stator (101) provided with at least two stator disks (105, 106). Said stator (101) at least partially surrounds the rotor at a certain distance and the rotor disks (103) protrude into the intermediate chamber (104) between the rotor disks thus forming a bearing gap (107). Said bearing device (100) also comprises a magnetic bearing part for bearing the rotor in a radial manner and an air bearing part for bearing the rotor in an axial manner.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/000711 A2



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Lagereinrichtung (100) zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator (101). Die Lagereinrichtung (100) weist einen Rotor mit einer Welle (102) und zumindest einer Rotorscheibe (103) sowie einen Stator (101) mit zumindest zwei Statorscheiben (105, 106) auf, wobei der Stator (101) den Rotor unter gegenseitiger Beabstandung zumindest teilweise umgibt und die Rotorscheibe (103) unter Ausbildung eines Lagerspalts (107) in den Zwischenraum (104) zwischen den Rotorscheiben (105, 106) ragt. Die Lagereinrichtung (100) weist weiterhin ein Magnetlagerteil zu einer radialen Lagerung des Rotors und einen Luftlagerteil zu einer axialen Lagerung des Rotors auf.

Beschreibung

Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator

5

Die Erfindung betrifft eine Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator. Der Rotor weist zumindest eine um eine Achse drehbare Welle auf, wobei zumindest eine Rotorscheibe mit der Welle mechanisch verbunden ist. Der Stator weist zumindest zwei in axialer Richtung unter Ausbildung eines Zwischenraums beabstandete Statorscheiben auf. Die zumindest eine Rotorscheibe ragt unter Ausbildung eines Lagerspalts in den Zwischenraum. Eine derartige Lagereinrichtung geht beispielsweise aus der

10

15 DE 10 2005 028 209 A1 hervor.

Lagereinrichtungen zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator erlauben eine berührungs- und verschleißfreie Lagerung des Rotors, benötigen keine Schmiermittel und können reibungsarm oder nahezu reibungsfrei konstruiert werden. Derartige Lagereinrichtungen können beispielsweise Magnetlager sein. Magnetlagereinrichtungen können unter Verwendung von permanentmagnetischen Elementen, magnetfelderzeugenden Wicklungen oder auch als supraleitende Magnetlager konstruiert sein.

20

25

Magnetlager können aktiv geregelt sein oder teilweise eigenstabil ausgelegt sein.

Aktive geregelte Magnetlager weisen eine Regelvorrichtung auf, mit welcher die magnetischen Lagerkräfte zu einer aktiven Stabilisierung des Rotors entsprechend geregelt werden. Eine aktive Regelung beinhaltet typischerweise eine aufwändige Regelungselektronik, und ist daher kostenintensiv. Um

30

35 einen Absturz des Rotors bei Versagen der Regelungselektronik zu vermeiden, weisen aktive geregelte Magnetlager zusätzliche mechanische Fanglager auf. Ein zusätzliches mechanisches

Fanglager stellt einen erhöhten Konstruktionsaufwand für das Magnetlagers dar und verursacht daher zusätzliche Kosten.

Teilweise eigenstabile Magnetlager können in Radialrichtung
5 oder Axialrichtung zur Drehachse des Rotors eigenstabil sein.
Ist ein solches Lager beispielsweise in radialer Richtung
eigenstabil, so weist es zur axialen Stabilisierung des Ro-
tors beispielsweise ein Ferrofluidlager oder ein Nadellager
auf. Im Gegensatz zu dem berührungslos ausgelegten magneti-
10 schen Lagerteil verursacht der mechanische Lagerteil Rei-
bungsverluste. Derartige teilweise eigenstabile Lagereinrich-
tungen gehen beispielsweise aus M. Siebert et. al.: A Passive
Magnetic Bearing Flywheel. NASA/TM-2002-211159, 2001. hervor.
Ein weiteres in radialer Richtung eigenstabiles Magnetlager,
15 welches zusätzlich eine hohe Lagerkraft aufweist, geht bei-
spielsweise aus der DE 10 2005 028 209 A1 hervor.

Ein radial eigenstabiles Magnetlager, welches eine aktive Re-
gelung zur axialen Stabilisierung aufweist, geht beispiels-
20 weise aus der DE 10 2005 030 139 A1 hervor.

Sowohl ein aktiv geregeltes Magnetlager, wie auch ein mecha-
nisch stabilisiertes, teilweise eigenstabiles Magnetlager,
setzen die eigentlichen Vorteile eines Magnetlagers nur teil-
25 weise um.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine eigenstabile
Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors
gegen einen Stator anzugeben, die in Bezug auf die in dem
30 Stand der Technik vorhandenen technischen Probleme verbessert
ist. Insbesondere soll die Lagereinrichtung auf mechanische
Lagerkomponenten sowie auf eine aktive elektronische Regelung
eines Magnetlagerteils verzichten.

35 Die vorgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in An-
spruch 1 oder Anspruch 4 angegebenen Maßnahmen gelöst.

Der Erfindung liegt dabei die Überlegung zugrunde, eine Lagereinrichtung, welche einen in radialer Richtung eigenstabilen Magnetlagerteil aufweist, zusätzlich mit einem Luftlager zu versehen, welches den magnetisch gegenüber dem Stator gelagerten Rotor in eine axiale Richtung stabilisiert. Die axiale Stabilisierung des Rotors mittels eines Luftlagers kann sowohl einseitig wie auch in beide axiale Richtungen erfolgen. Zu einer einseitigen Stabilisierung des Rotors wird der Magnetlagerteil der erfindungsgemäßen Lagereinrichtung derart ausgelegt, dass der Rotor in eine axiale Vorzugsrichtung eine permanente magnetische Kraft erfährt. Auf diese Weise muss der Rotor lediglich entgegen dieser Vorzugsrichtung mittels einer Luftlagereinrichtung abgestützt werden.

Erfindungsgemäß soll die Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator nach Anspruch 1 die folgenden Merkmale aufweisen.

Die Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator umfasst einen Rotor, einen Stator, einen Magnetlagerteil und einen Luftlagerteil. Der Rotor weist zumindest eine um eine Achse drehbare Welle auf, mit der zumindest eine Rotorscheibe mechanisch verbunden ist. Der Stator weist zumindest zwei in axialer Richtung unter Ausbildung eines Zwischenraumes beabstandete Statorscheiben auf, wobei die zumindest eine Rotorscheibe unter Ausbildung eines Lagerspalts in den Zwischenraum ragt. Der Magnetlagerteil dient zu einer Lagerung des Rotors in eine radiale Richtung zu der Achse, der Luftlagerteil dient zu einer Lagerung des Rotors in eine axiale Richtung zu der Achse. Als Teil des Magnetlagerteils weisen die zumindest eine Rotorscheibe und die Statorscheiben auf ihren einander zugewandten Seiten ringförmige, sich über einen Lagerspalt gegenüberstehende, zahnartige Fortsätze auf. Weiterhin enthält der Rotor oder der Stator magnetfelderzeugende Mittel zur Erzeugung eines magnetischen Halteflusses, der zwischen der zumindest einen Rotorscheibe und den Statorscheiben im Wesentlichen in eine axiale Richtung gerichtet ist. Als Teil des Luftlagerteils

weist der Stator zumindest eine Lagerfläche auf, deren Flächennormale im Wesentlichen in eine axiale Richtung orientiert ist. Weiterhin weist der Rotor zumindest einen Lagerkörper auf, welcher von der Lagerfläche unter Ausbildung eines Luftlagerspaltes beabstandet ist. Der Lagerkörper ist gegenüber der Lagerfläche durch ein in dem Luftlagerspalt vorhandenes Luftpolster gelagert.

Alternativ kann die erfindungsgemäße Lagereinrichtung nach Anspruch 4 die folgenden Merkmale aufweisen:

Die Lagereinrichtung zur berührungsfreien Lagerung eines Stators gegen einen Rotor umfasst einen Rotor, einen Stator, einen Magnetlagerteil und einen Luftlagerteil. Der Rotor weist zumindest eine um eine Achse drehbare Welle auf, wobei zumindest zwei in Richtung der Achse unter Ausbildung eines Zwischenraumes beabstandete Rotorscheiben mit der Welle mechanisch verbunden sind. Der Stator weist zumindest eine Statorscheibe auf, die unter Ausbildung eines Lagerspalts in den Zwischenraum ragt. Der Magnetlagerteil dient zu einer Lagerung des Rotors in eine radiale Richtung zu der Achse, der Luftlagerteil dient zu einer Lagerung des Rotors in eine axiale Richtung zu der Achse. Als Teil des Magnetlagerteils sind die zumindest zwei Rotorscheiben und die zumindest eine Statorscheibe auf ihren einander zugewandten Seiten mit ringförmigen, sich jeweils über einen Lagerspalt gegenüberstehenden zahnartigen Fortsätzen versehen. Weiterhin enthält der Rotor oder der Stator magnetfelderzeugende Mittel zur Erzeugung eines magnetischen Halteflusses, der zwischen der zumindest einen Statorscheibe und den zumindest zwei Rotorscheiben im Wesentlichen in eine axiale Richtung gerichtet ist. Als Teil des Luftlagerteils weist der Stator zumindest eine Lagerfläche auf, deren Flächennormale im Wesentlichen in eine axiale Richtung orientiert ist. Der Rotor weist zumindest einen von der Lagerfläche unter Ausbildung eines Luftlagerspaltes beabstandeten Lagerkörper auf, der gegenüber der Lagerfläche durch ein in dem Luftlagerspalt vorhandenes Luftpolster gelagert ist.

Die mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen verbundenen Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass die Lagereinrichtung eine vollständig berührungsfreie Lagerung eines Rotors gegenüber einem Stator ermöglicht. Die Lagereinrichtung ist einfach zu konstruieren, und erlaubt eine vollständig eigenstabile Lagerung des Rotors gegenüber dem Stator.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lagereinrichtung gehen aus den von Anspruch 1 und 4 abhängigen Ansprüchen hervor. Dabei können die Ausführungsformen nach Anspruch 1 bzw. Anspruch 4 mit den Merkmalen eines, insbesondere mit denen mehrerer Unteransprüche kombiniert werden.

Demgemäß kann die Lagereinrichtung noch die folgenden Merkmale aufweisen:

- Die Lagereinrichtung kann $n > 2$ Statorscheiben aufweisen, die in Richtung der Achse unter Ausbildung von Zwischenräumen beabstandet sind, wobei in diese Zwischenräume jeweils unter Ausbildung von Lagerspalten $n-1$ Rotorscheiben ragen. Alternativ und gleichwertig kann die Lagereinrichtung $n > 2$ Rotorscheiben aufweisen, die in Richtung der Achse unter Ausbildung von Zwischenräumen beabstandet sind, wobei in die derart gebildeten Zwischenräume $n-1$ Statorscheiben unter Ausbildung von Lagerspalten ragen. Durch eine Ausgestaltung der Lagereinrichtung mit einer Vielzahl von Stator- und Rotorscheiben kann die Lagerkraft der Lagereinrichtung erhöht werden.

- Die Lagereinrichtung kann zwei oder mehr in Richtung der Achse untereinander beabstandete Statorscheibenpaare aufweisen, welche jeweils aus zwei Statorscheiben gebildet sind. Zwischen den Statorscheiben, welche ein Statorscheibenpaar ausbilden, befindet sich jeweils ein Zwischenraum, in welchen jeweils eine Rotorscheibe unter Ausbildung eines Lagerspaltes hineinragt. Alternativ

können zwei oder mehr in Richtung der Achse untereinander beabstandete Rotorscheibenpaare durch jeweils zwei Rotorscheiben gebildet sein. Die die Rotorscheibenpaare bildenden Rotorscheiben weisen jeweils einen Zwischenraum zwischen einander auf in welchen jeweils eine Statorscheibe unter Ausbildung eines Lagerspaltes hineintragt. Durch einen Aufbau der Lagereinrichtung mit Statorscheibenpaaren bzw. Rotorscheibenpaaren kann ein modularer und somit fertigungstechnisch flexibler Aufbau der Lagereinrichtung angegeben werden.

- Die axiale Ausdehnung des Lagerspalts kann in einer Vorzugsrichtung geringer als in eine dazu entgegengesetzte Richtung sein. Der Luftlagerteil der Lagereinrichtung kann stirnseitig mit einem Endteil der Welle verbunden sein, welches ausgehend von dem Magnetlagerteil in Richtung der Vorzugsrichtung liegt. Durch eine asymmetrische Ausgestaltung des Lagerspalts des Magnetlagerteils der Lagereinrichtung erfährt der magnetisch gelagerte Rotor in Vorzugsrichtung eine permanente magnetische Kraft. Entsprechend muss der Rotor lediglich entgegen dieser Vorzugsrichtung mittels eines Luftlagerteiles abgestützt werden. Eine derartige einseitige Lagerung des Rotors mittels eines Luftlagers stellt eine konstruktiv einfache und kostengünstige Lösung dar.

- Die Lagerfläche des Luftlagerteils kann von den Teilflächen der zahnartigen Fortsätze zumindest einer Statorscheibe gebildet sein, wobei lediglich diejenigen Teilflächen der zahnartigen Fortsätze die Lagerfläche des Luftlagerteils bilden, deren Flächennormalen in eine axiale Richtung zeigen. Weiterhin werden lediglich diejenigen Teile der zahnartigen Fortsätze als Lagerfläche für den Luftlagerteil verwendet, die ausgehend von der zugehörigen Rotorscheibe in Richtung der Vorzugsrichtung liegen. Gemäß dem vorgenannten Ausführungsbeispiel wird die zur Luftlagerung verwendete Lagerfläche im Bereich der zahnartigen Fortsätze der Statorscheiben realisiert.

Auf diese Weise kann eine platzsparende und kompakte Lagereinrichtung angegeben werden.

- 5 - Der Luftlagerteil kann stirnseitig mit beiden Endteilen der Welle verbunden sein. Durch eine beidseitige Luftlagerung des Rotors kann ein vollständig eigenstabiles Lager angegeben werden.

- 10 - Die Lagerfläche des Luftlagerteils kann von denjenigen Teilflächen der zahnartigen Fortsätze zumindest zweier Statorscheiben gebildet sein, deren Flächennormalen in entgegengesetzte axiale Richtungen zeigen. Gemäß der vorgenannten Ausführungsform kann ein in beide axiale Richtungen eigenstabiles Lager angegeben werden, welches
15 weiterhin durch Integration der Luftlagerflächen in den Bereich der zahnartigen Fortsätze der Lagerscheiben besonders kompakt ausgestaltet werden kann.

- 20 - Der Stator kann magnetfelderzeugende Mittel in Form von Permanentmagneten oder der Wicklung eines Elektromagneten umfassen, der Rotor kann magnetfelderzeugende Mittel in Form von Permanentmagneten umfassen. Durch eine flexible Auslegung der magnetfelderzeugenden Mittel, wahlweise als Teil des Stators oder des Rotors, kann eine
25 flexible Anpassung der magnetischen Flussführung an weitere konstruktive Randbedingungen der Lagereinrichtung erfolgen.

- 30 - Der Luftlagerteil kann nach der Art eines Folienluftlagers ausgebildet sein. Vorteilhaft erlaubt ein Folienluftlager eine berührungsfreie Lagerung bewegter Bauteile, ohne dass eine externe Druckluftversorgung benötigt wird.

- 35 - Der Stator kann mit einer Druckluftversorgung zur Erzeugung des Luftpolsters verbunden sein, wobei die Druckluftversorgung ein Puffervolumen zur zeitlich begrenzten Aufrechterhaltung des Luftpolsters umfasst. Mittels

eines Puffervolumens als Teil der Druckluftversorgung kann die Lagereinrichtung gemäß der vorstehenden Ausführungsform gegen den Ausfall der Druckluftversorgung abgesichert werden. Auf diese Weise kann die Zuverlässigkeit der Lagereinrichtung erhöht werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lagereinrichtung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen sowie insbesondere aus der Zeichnung hervor. Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die Zeichnung Bezug genommen, in der bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Lagereinrichtung schematisch dargestellt sind. Dabei zeigt deren

Figur 1 bis 6 Lagereinrichtungen, deren Rotor einseitig mittels eines Luftlagers abgestützt sein,
Figur 7 bis 9 Lagereinrichtungen, deren Rotor in beide axiale Richtungen mittels einer Luftlagereinrichtung abgestützt ist und
Figur 10 die Druckluftversorgung einer Luftlagereinrichtung.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen. Nicht näher ausgeführte Teile sind allgemein bekannter Stand der Technik.

Figur 1 zeigt eine Lagereinrichtung 100 zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator 101. Der Rotor weist zumindest eine um eine Achse A drehbar gelagerte Welle 102 auf, mit welcher eine Rotorscheibe 103 mechanisch verbunden ist. Der Stator 101 weist zwei in Richtung der Achse A unter Ausbildung eines Zwischenraumes 104 beabstandete Statorscheiben 105, 106 auf. Die Statorscheiben 105, 106 sind an ihren radial äußeren Bereichen mit einem Jochkörper 115 verbunden. Der Stator 101 umgibt den Rotor zumindest teilweise. Insbesondere kann der Stator 101 mit den Statorscheiben 105, 106 ein im Querschnitt betrachtet, U-profilförmiges Bauteil ausbilden, welches die Rotorscheibe 103 in Umfangsrichtung voll-

ständig umgibt. Die Rotorscheibe 103 ragt unter Ausbildung eines Lagerspaltes 107 in den Zwischenraum 104 zwischen den Statorscheiben 105, 106. Die Rotorscheibe 103, sowie die Statorscheiben 105, 106 weisen auf ihren einander zugewandten
5 Seiten sich gegenüberstehende zahnartige Fortsätze 108 auf. Die zahnartigen Fortsätze 108 können jeweils als bezüglich der Achse A ringförmige Fortsätze ausgebildet sein. Der Stator 101 umfasst als magnetfelderzeugendes Mittel einen Permanentmagneten 109, welcher insbesondere als ringförmiger, den
10 Rotor in Umfangsrichtung umschließender Teil des Stators 101 ausgebildet sein kann. Mittels des Permanentmagneten 109 ist ein magnetischer Fluss zu erzeugen, welcher im Bereich des Lagerspalts 107 zwischen den zahnartigen Fortsätzen der Statorscheiben 105, 106 und der Rotorscheibe 103 im Wesentlichen
15 in eine axiale Richtung gerichtet ist. Der magnetische Fluss wird über den Jochkörper 115, der Teil des Stators 101 ist, geschlossen.

Die Lagereinrichtung 100 weist weiterhin ein mit einem Endteil der Welle 102 verbundenes Luftlager 110 auf. Das Luftlager 110 umfasst eine mit dem Stator 101 mechanisch verbundene Lagerfläche 111. Die Lagerfläche 111 ist derart orientiert, dass ihre Flächennormale im Wesentlichen parallel zu der Achse A orientiert ist. Die Lagerfläche 111 kann insbesondere
25 mit Einströmdüsen versehen sein, Einströmkammern aufweisen, und/oder mit diversen Kanälen, Mikrokanälen oder auch Mikrodüsen versehen sein. Bei der Lagerfläche 111 kann es sich weiterhin um eine poröse, gesinterte Fläche handeln, durch welche die für das Luftlager 110 notwendige Druckluft in den
30 Luftlagerspalt 112 strömen kann. Die Lagerfläche 111 ist Teil des statischen Teils des Luftlagers 110 und ist zur Druckluftversorgung über eine Versorgungsleitung 113 mit einer Druckluftversorgung verbunden. Das Luftlager 110 umfasst weiterhin einen Lagerkörper 114, der Teil des Rotors ist, oder
35 mit diesem mechanisch verbunden ist. Zur Lagerung des Lagerkörpers 114 gegen die Lagerfläche 111 wird mittels Druckluft in dem Luftlagerspalt 112 ein Luftpolster erzeugt.

Alternativ kann der Luftlagerteil nach der Art eines Folienluftlagers (foil air bearing) ausgestaltet sein. Ein derartiges Folienluftlager erlaubt die berührungsfreie Lagerung einer bewegten Welle 102 durch ein sich selbst aufbauendes
5 Luftpolster. Bei einem Folienluftlager wird durch die Rotation der Welle 102 im Luftlagerspalt 112 hydrodynamisch ein Luftpolster aufgebaut. Ein Folienluftlager verzichtet typischerweise auf zusätzliche mechanische Fanglager. Beim Anlaufen/Beschleunigen der Welle 102 arbeitet das Folienluftlager
10 zunächst nach der Art eines Gleitlagers, solange bis sich hydrodynamisch ein entsprechend tragfähiges Luftpolster in dem Luftlagerspalt 112 aufgebaut hat.

Die Lagereinrichtung 100 gemäß Figur 1 ist derart ausgestaltet,
15 dass der Lagerspalt 107 von der Rotorscheibe 103 aus betrachtet in einer axialen Vorzugsrichtung B eine geringere Ausdehnung aufweist als entgegen der Vorzugsrichtung B. Folglich ist der Teil 107a des Lagerspaltes 107, welcher sich zwischen der Rotorscheibe 103 und der dem Luftlager 110 zuge-
20 wandten Rotorscheibe 105 befindet, in axialer Richtung kleiner als derjenige Teil 107b des Lagerspaltes 107, welcher sich zwischen der Rotorscheibe 103 und der dem Luftlager 110 abgewandten Statorscheibe 106 befindet. Aufgrund der unterschiedlichen axialen Größen der Lagerspalte 107a, 107b er-
25 fährt die Welle 102 dauerhaft eine magnetische Kraftwirkung in Richtung der Vorzugsrichtung B. Diese dauerhaft auf den Rotor wirkende Magnetkraft wird durch das am Endbereich der Welle 102 vorhandene Luftlager 110 abgestützt.

30 Figur 2 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100, deren Stator 101 zwei Statorscheibenpaare 201a, 201b, 202a, 202b aufweist. Die Lagereinrichtung 100 umfasst weiterhin zwei Rotorscheiben 203, 204, welche jeweils in den zwischen den Statorscheibenpaaren 201a, 201b bzw. 202a, 202b vorhandenen Zwischenraum
35 104 unter Ausbildung eines Lagerspaltes 107 hineinragen.

Die Statorscheibenpaare 201a, 201b, 202a, 202b, die Teile des Stators 101 sind, weisen jeweils magnetfelderzeugende Mittel in Form von Permanentmagneten 109 auf.

5 Die in Figur 2 gezeigte weitere Lagereinrichtung 100 weist ebenso wie die in Figur 1 gezeigte Lagereinrichtung 100 Lagerspalte 107a, 107b auf, welche in eine axiale Richtung eine unterschiedliche Größe aufweisen. Die Welle 102 erfährt in-
10 folgedessen in Richtung der Vorzugsrichtung B eine Kraftwirkung, die durch das endseitig der Welle 102 angebrachte Luftlager 110 abgestützt wird.

Die Lagereinrichtung 100 kann, ohne dass dies in Figur 2 gezeigt ist, ebenfalls weitere Statorscheibenpaare 201a, 201b,
15 202a, 202b aufweisen, so dass die Lagereinrichtung 100 eine erhöhte Lagerkraft aufweist.

Figur 3 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100, welche analog zu der in Figur 1 dargestellten Lagereinrichtung 100 aufgebaut sein kann. Lediglich die magnetfelderzeugenden Mittel
20 in Form eines Permanentmagneten 109 sind als Teil der Rotorscheibe 103 ausgebildet.

Die magnetfelderzeugenden Mittel können, wenn sie ein Teil
25 des Stators 101 sind durch Permanentmagnete und/oder durch die Wicklung eines Elektromagneten gebildet sein. Sind die magnetfelderzeugenden Mittel Teil des Rotors, so können sie ebenfalls durch Permanentmagnete und/oder durch die Wicklung eines Elektromagneten gebildet sein.

30 Figur 4 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100, welche über zwei magnetische Teillager 401, 402 verfügt. Jedes der magnetischen Teillager 401, 402 weist jeweils zwei mit der Welle 102 verbundene Rotorscheiben 403, 404 bzw. 405, 406 auf, die
35 in einem Zwischenraum 104 zwischen den jeweiligen Statorscheiben 407 bis 412 ragen. Als magnetfelderzeugende Mittel weist jedes der Teillager 401, 402 jeweils einen Permanentmagneten 109 auf. Endseitig der Welle 102 befindet sich ein

Luftlager 110, mit welchem die Welle 102 in die Vorzugsrichtung B abgestützt ist. Analog zu den Ausführungen bezüglich der Figuren 1 bis 3 sind die zwischen den Statorscheiben 407 bis 412 und den Rotorscheiben 403 bis 406 ausgebildeten Lagerspalte 107 von den Rotorscheiben 403 bis 406 in Richtung der Statorscheiben 407 bis 412 betrachtet, in Richtung der Vorzugsrichtung B kleiner als entgegen der Vorzugsrichtung B. Die auf die Welle 102 ausgeübte Kraft in Vorzugsrichtung B wird durch das an einem Ende der Welle 102 vorhandene Luftlager 110 abgestützt.

Figur 5 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100 mit einem Rotor, welcher um eine Achse A drehbar gelagert ist. Der Rotor umfasst eine Welle 102 mit der mechanisch Rotorscheiben 501 bis 503 verbunden sind. Der Stator 101 umfasst zwei Statorscheiben 504, 505, welche in den zwischen den Rotorscheiben 501 bis 503 jeweils vorhandenen Zwischenraum 104 ragen. Der Stator 101 umgibt den Rotor in Umfangsrichtung zumindest teilweise. In axialer Richtung sind die Statorscheiben 504, 505 von den Rotorscheiben 101 bis 103 eingeschlossen. Die zwischen den Rotorscheiben 501 bis 503 und den Statorscheiben 504, 505 ausgebildeten Lagerspalte 107 sind derart ausgebildet, dass der Lagerspalt ausgehend von einer Statorscheibe 504, 505 in eine Vorzugsrichtung B, eine geringere Größe aufweist als entgegen der Vorzugsrichtung B. So ist der Lagerspalt 107a zwischen der Rotorscheibe 501 und der Statorscheibe 504 kleiner als der Lagerspalt 107b zwischen der Statorscheibe 504 und der Rotorscheibe 502. Die durch die unterschiedliche Größe der Lagerspalte 107a, 107b entstehende Kraftwirkung in Richtung der Vorzugsrichtung B wird von einem endseitig mit der Welle 102 verbundenen Luftlager 110 abgestützt.

Als magnetfelderzeugende Mittel weist die in Figur 5 gezeigte Lagereinrichtung 100 Permanentmagnete 109 auf, welche jeweils ein Teil der Rotorscheiben 501 bis 503 sind. Mittels der Permanentmagnete 109 wird ein magnetischer Haltefluss M erzeugt, welcher zwischen den zahnartigen Fortsätzen 108 der Rotor-

scheiben 501 bis 503 und der Statorscheiben 504, 505 im Wesentlichen in eine axiale Richtung gerichtet ist. Gemäß dem in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel wird der magnetische Haltefluss M über Teile der Welle 102 geschlossen.

5

Figur 6 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100, welche bezüglich ihres magnetischen Teils mit der in Figur 2 gezeigten Lagereinrichtung vergleichbar ist. Die mit der Welle 102 verbundenen Rotorscheiben 103 ragen jeweils in Zwischenräume 104, die zwischen den Statorscheiben 105, 106 ausgebildet sind. Die zwischen den Rotorscheiben 103 und den Statorscheiben 105, 106 gebildeten Lagerspalte 107a, 107b weisen in axialer Richtung unterschiedliche Größen auf. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Lagerspalte 107a, 107b erfährt die Welle 102 eine Kraftwirkung in Richtung der Vorzugsrichtung B. Der Luftlagerteil der in Figur 6 gezeigten Lagereinrichtung 100 ist in die zahnartigen Fortsätze 601 einer Rotorscheibe integriert. Die zahnartigen Fortsätze 108 der Statorscheibe 105 weisen Düsen oder Auslässe auf, so dass sich in dem Lagerspalt 107a ein Luftpolster mit der Wirkung eines Luftlagers aufbauen kann. Die speziell ausgeformten zahnartigen Fortsätze 601 der Statorscheibe 105 können dabei auf ihren Flächen, deren Flächennormalen im Wesentlichen parallel zu der Achse A verlaufen, in gleicher Weise wie die Lagerfläche 111 ausgestaltet sein. So können die speziellen zahnartigen Fortsätze 601 mit Düsen, Kanälen, Ausnehmungen, Mikrodüsen oder weiteren Maßnahmen versehen sein, um ein Luftpolster zur Luftlagerung in dem Lagerspalt 107a zu erzeugen. Die besonderen zahnartigen Fortsätze 601 können weiterhin aus einem porösen, luftdurchlässigen Sintermaterial gefertigt sein.

Die Lagereinrichtung 100 gemäß Figur 6 weist eine Lagerscheibe 105 auf, die derart ausgestaltet ist, dass ihre zahnartigen Fortsätze 601 zur Erzeugung eines Luftpolsters in dem Lagerspalt 107a dienen. Die Lagereinrichtung kann weiterhin derart ausgestaltet sein, dass weitere Lagerscheiben 105 entsprechend ausgestaltete zahnartige Fortsätze 601 aufweisen.

Figur 7 zeigt eine weitere Lagereinrichtung 100. Eine mit der Welle 102 verbundene Rotorscheibe 103 ragt unter Ausbildung eines Lagerspaltes 107 in den Zwischenraum 104 zwischen den Statorscheiben 105, 106. Die Statorscheiben 105, 106 sind an ihren zahnartigen Fortsätzen 601 mit Luftauslässen, vergleichbar einem Luftlager, versehen. Auf diese Weise kann der Lagerspalt 107 zwischen der Rotorscheibe 103 und beiden Statorscheiben 105, 106 gleich groß gehalten werden. Die Welle 102 bzw. die mit der Welle 102 verbundene Rotorscheibe 103 kann durch diese beidseitige Luftlagerung in axialer Richtung stabil gehalten werden. Beide Statorscheiben 105, 106 sind zum Zweck der Luftlagerung durch eine Versorgungsleitung 113 mit einer Druckluftversorgung verbunden.

Figur 8 zeigt im Wesentlichen die aus Figur 7 bekannte Lagereinrichtung 100. Die weitere in Figur 8 gezeigte Lagereinrichtung 100 weist zwei Teillager 801, 802 auf. Wahlweise kann bzw. können eins oder auch beide Teillager 801, 802 sowohl zur magnetischen Lagerung der Welle 102, wie auch zur magnetischen und zur Luftlagerung der Welle 102 beitragen.

Entsprechend kann wahlweise eins oder beide Teillager 801, 802 zahnartigen Fortsätze 601 aufweisen, die zur Erzeugung eines Luftpolsters in dem Lagerspalt 107 mit Düsen oder weiteren geeigneten Maßnahmen ausgestaltet sind.

Figur 9 zeigt eine Lagereinrichtung 100, wobei mit einer um eine Achse A drehbar gelagerten Welle 102 zwei Rotorscheiben 105, 106 verbunden sind, welche als magnetfelderzeugende Mittel jeweils einen Permanentmagneten 109 aufweisen. Der Rotor wird in Umfangsrichtung von einem Stator 101 zumindest teilweise umschlossen. In axiale Richtung wird die Statorscheibe 901 von den Rotorscheiben 902, 903 eingeschlossen. Die Statorscheibe 901 ist an ihren zahnartigen Fortsätzen 601 mit Luftauslässen versehen, so dass die Rotorscheiben 902, 903 in beide axiale Richtungen mit einem zwischen den zahnartigen Fortsätzen entstehenden Luftpolster gehalten werden können.

Figur 10 zeigt einen Teil eines Luftlagers 110, welches endseitig mit einer Welle 102 verbunden ist. Das Luftlager 110 ist über eine Versorgungsleitung 113 mit einer Druckluftversorgung 1000 verbunden. Die Druckluftversorgung 1000 wird
5 mittels einer Pumpe 1001 gespeist. Die Druckluftversorgung 1000 ist weiterhin mit einem Puffervolumen 1002 verbunden. So kann bei Ausfall der Pumpe 1001 die Druckluftversorgung 1000 mittels des Puffervolumens 1002 gespeist werden kann. Das
10 Puffervolumen 1002 kann weiterhin derart dimensioniert sein, dass die Druckluftversorgung 1000 mittels des Puffervolumens 1002 derart lang gespeist werden kann, dass binnen einer auf diese Weise erreichbaren Versorgungszeit beispielsweise die Pumpe 1001 repariert, ausgetauscht oder auf andere Weise wieder in Funktion gesetzt werden kann.

Patentansprüche

1. Lagereinrichtung (100) zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator (101), umfassend:

- 5 a) einem Rotor mit einer um eine Achse (A) drehbaren Welle (102) und zumindest einer mit der Welle (102) mechanisch verbundenen Rotorscheibe (103),
- b) einem Stator (101) mit zumindest zwei in axialer Richtung unter Ausbildung eines Zwischenraumes (104) beabstandeten
10 Statorscheiben (105, 106), wobei die zumindest eine Rotorscheibe (103) unter Ausbildung eines Lagerspalts (107) in den Zwischenraum (104) ragt,
- c) einen Magnetlagerteil zu einer Lagerung des Rotors in eine radiale Richtung zu der Achse (A)
- 15 sowie
- d) einen Luftlagerteil zu einer Lagerung des Rotors in eine axiale Richtung zu der Achse (A)
- wobei
- e) als Teil des Magnetlagerteils
20 - die zumindest eine Rotorscheibe (103) und die Statorscheiben (105) auf ihren einander zugewandten Seiten mit ringförmigen, sich jeweils über den Lagerspalt (107) gegenüberstehenden zahnartigen Fortsätzen (108) versehen sind
- 25 und
- der Rotor oder der Stator (101) magnetfelderzeugende Mittel (109) enthält, zur Erzeugung eines zwischen der zumindest einen Rotorscheibe (103) und den Statorscheiben (105, 106) im Wesentlichen in eine axiale Richtung
30 gerichteten magnetischen Halteflusses (M)
- und
- f) als Teil des Luftlagerteils
- der Stator (101) zumindest eine Lagerfläche (111), deren Flächennormale im Wesentlichen in eine axiale Richtung
35 orientiert ist, aufweist
- und
- der Rotor zumindest einen von der Lagerfläche (111) unter Ausbildung eines Luftlagerspaltes (112) beabstande-

ten Lagerkörper (114) aufweist, der gegenüber der Lagerfläche (111) durch ein in dem Luftlagerspalt (112) vorhandenes Luftpolster gelagert ist.

5 2. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch $n > 2$ Statorscheiben (201a, 201b, 202a, 202b), die in Richtung der Achse (A) unter Ausbildung von Zwischenräumen (104) beabstandet sind, und $n-1$ Rotorscheiben (203, 204), die unter Ausbildung von Lagerspalten (107) in die Zwischenräume
10 (104) ragen.

3. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch zwei oder mehr in Richtung der Achse (A) untereinander beabstandete Statorscheibenpaare, gebildet aus jeweils zwei
15 Statorscheiben (201a, 201b, 202a, 202b), wobei die die Statorscheibenpaare bildenden Statorscheiben (201a, 201b, 202a, 202b) paarweise Zwischenräume (104) ausbilden, in welche zwei oder mehr Rotorscheiben (203, 204), jeweils unter Ausbildung eines Lagerspaltes (107), hineinragen.

20

4. Lagereinrichtung (100) zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors gegen einen Stator (101), umfassend:

- a) einen Rotor mit einer um eine Achse (A) drehbaren Welle (102) und zumindest zwei in Richtung der Achse (A) unter
25 Ausbildung eines Zwischenraumes (104) beabstandeten, mit der Welle (102) mechanisch verbundenen Rotorscheiben (902, 903) und
- b) einem Stator (101) mit zumindest einer Statorscheibe (901), wobei die zumindest eine Statorscheibe (901) unter
30 Ausbildung eines Lagerspaltes (107) in den Zwischenraum (104) ragt,
- c) einen Magnetlagerteil zu einer Lagerung des Rotors in eine radiale Richtung zu der Achse (A)
- und
- 35 d) einen Luftlagerteil zu einer Lagerung des Rotors in eine axiale Richtung zu der Achse (A)
- wobei
- e) als Teil des Magnetlagerteils

- die zumindest zwei Rotorscheiben (902, 903) und die zumindest eine Statorscheibe (901) auf ihren einander zugewandten Seiten mit ringförmigen, sich jeweils über den Lagerspalt gegenüberstehenden zahnartigen Fortsätzen (108) versehen sind

und

- der Rotor oder der Stator (101) magnetfelderzeugende Mittel (109) enthält, zur Erzeugung eines im Wesentlichen in eine axiale Richtung gerichteten magnetischen Halteflusses (M) zwischen der zumindest einen Statorscheibe (901) und den zumindest zwei Rotorscheiben (902, 903)

und

f) als Teil des Luftlagerteils

- der Stator (101) zumindest eine Lagerfläche (111) aufweist, deren Flächennormale im Wesentlichen in eine axiale Richtung orientiert ist

und

- der Rotor zumindest einen von der Lagerfläche (111) unter Ausbildung eines Luftlagerspaltes (112) beabstandeten Lagerkörper (114) aufweist, der gegenüber der Lagerfläche (111) durch ein in dem Luftlagerspalt (112) vorhandenes Luftpolster gelagert ist.

5. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch $n > 2$ Rotorscheiben (501, 502, 503), die in Richtung der Achse (A) unter Ausbildung von Zwischenräumen (104) beabstandet sind und $n-1$ Statorscheiben (504, 505), die unter Ausbildung von Lagerspalten (107) in die Zwischenräume (104) ragen.

6. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch zwei oder mehr in Richtung der Achse (A) untereinander beabstandete Rotorscheibenpaare, gebildet aus jeweils zwei Rotorscheiben (902, 903), wobei die die Rotorscheibenpaare bildenden Rotorscheiben (902, 903) paarweise Zwischenräume (104) ausbilden, in welche zwei oder mehr Statorscheiben (901) unter Ausbildung eines Lagerspaltes (107) hineinragen.

7. Lagereinrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- die axiale Ausdehnung des Lagerspalts (107) in einer Vorzugsrichtung (B) geringer als in die dazu entgegengesetzte Richtung ist und
- der Luftlagerteil stirnseitig mit einem Endteil der Welle verbunden ist, welches ausgehend von dem Magnetlagerteil in der Vorzugsrichtung (B) liegt.

8. Lagereinrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- die axiale Ausdehnung des Lagerspalts (107) in einer Vorzugsrichtung (B) geringer als in eine zu dieser entgegengesetzten Richtung ist und

- die Lagerfläche (111) des Luftlagerteils von denjenigen Teilflächen der zahnartigen Fortsätze (601) zumindest einer Statorscheibe (105) gebildet sind, deren Flächennormale in axiale Richtung (A) zeigt, wobei

- diejenigen Teilflächen der Statorscheibe (105) als Lagerfläche (111) dienen, die ausgehend von der zu der Statorscheibe (105) gehörigen Rotorscheibe (103) in Richtung der Vorzugsrichtung (B) liegen.

9. Lagereinrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass

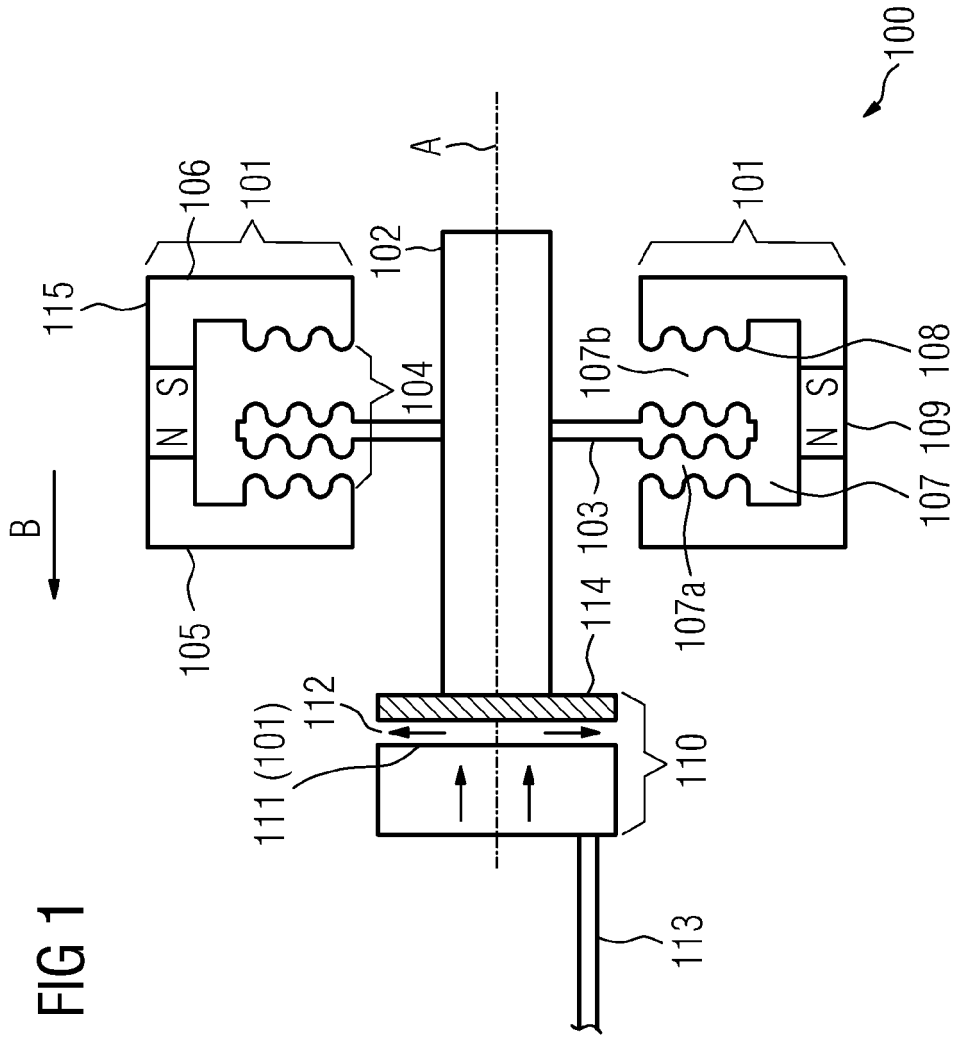
- der Luftlagerteil stirnseitig mit beiden Endteilen der Welle (102) verbunden ist.

10. Lagereinrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Lagerfläche (111) des Luftlagerteils von denjenigen Teilflächen der zahnartigen Fortsätze (611) zumindest zweier Statorscheiben (105, 106) gebildet ist, deren Flächennormalen in entgegengesetzt axiale Richtungen zeigen.

11. Lagereinrichtung (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (101) magnetfelderzeugende Mittel umfasst.

12. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetfelderzeugenden Mittel durch Permanentmagnete (109) oder die Wicklung eines Elektromagneten gebildet sind.
13. Lagereinrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor magnetfelderzeugende Mittel umfasst.
14. Lagereinrichtung (100) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die magnetfelderzeugenden Mittel durch Permanentmagnete (109) gebildet sind.
15. Lagereinrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (101) mit einer Druckluftversorgung (1000) zur Erzeugung des Luftpolsters in dem Luftlagerspalt (112) verbunden ist, wobei die Druckluftversorgung (1000) mit einem Puffervolumen (1002) zur zeitlich begrenzten Aufrechterhaltung des Luftpolsters verbunden ist.
16. Lagereinrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Ausbildung des Luftlager- teils nach der Art eines Folienluftlagers.



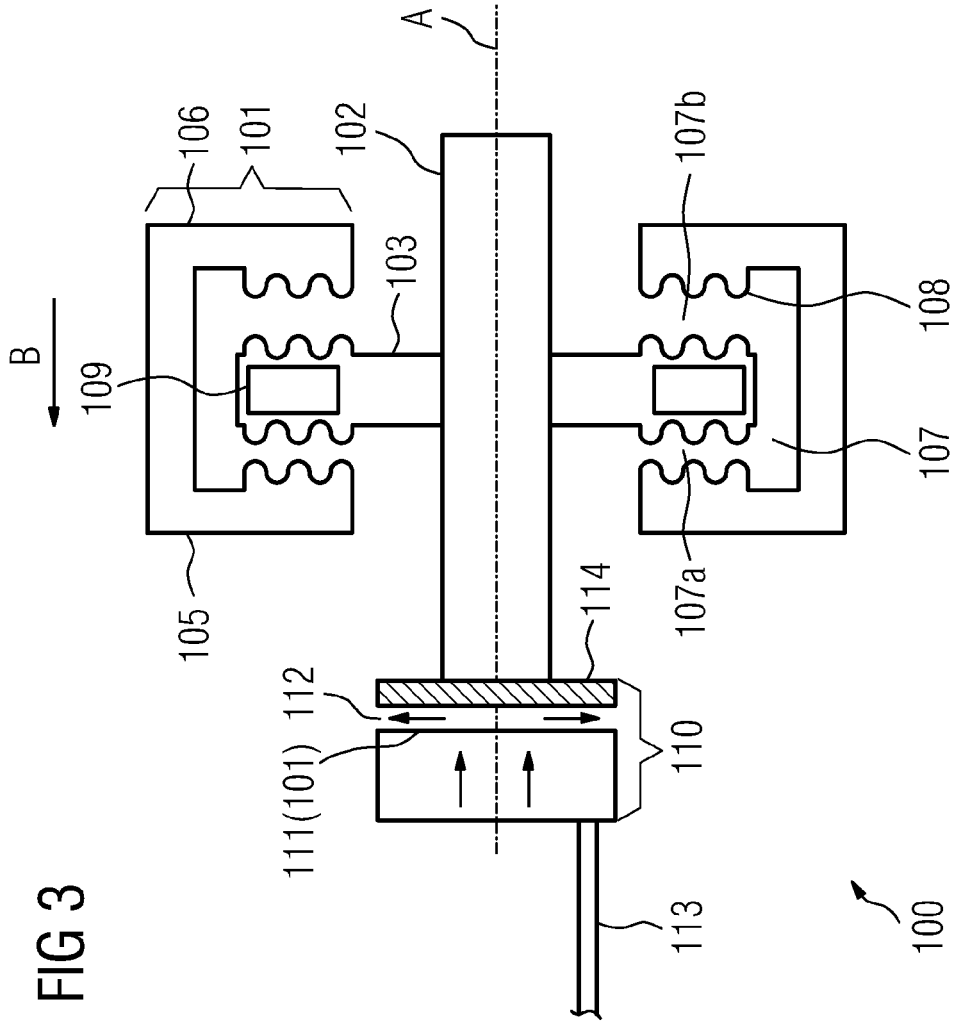
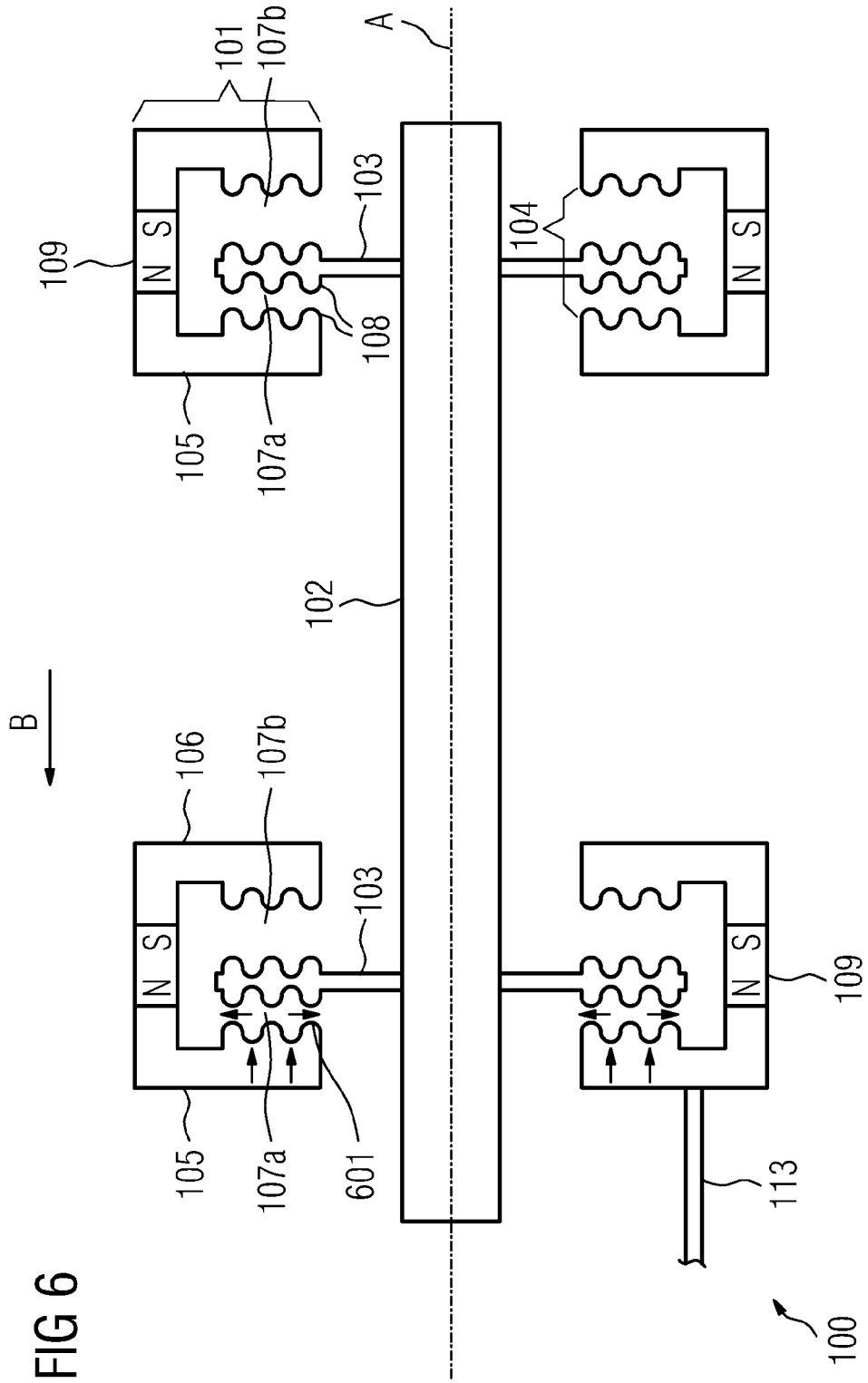


FIG 3

100



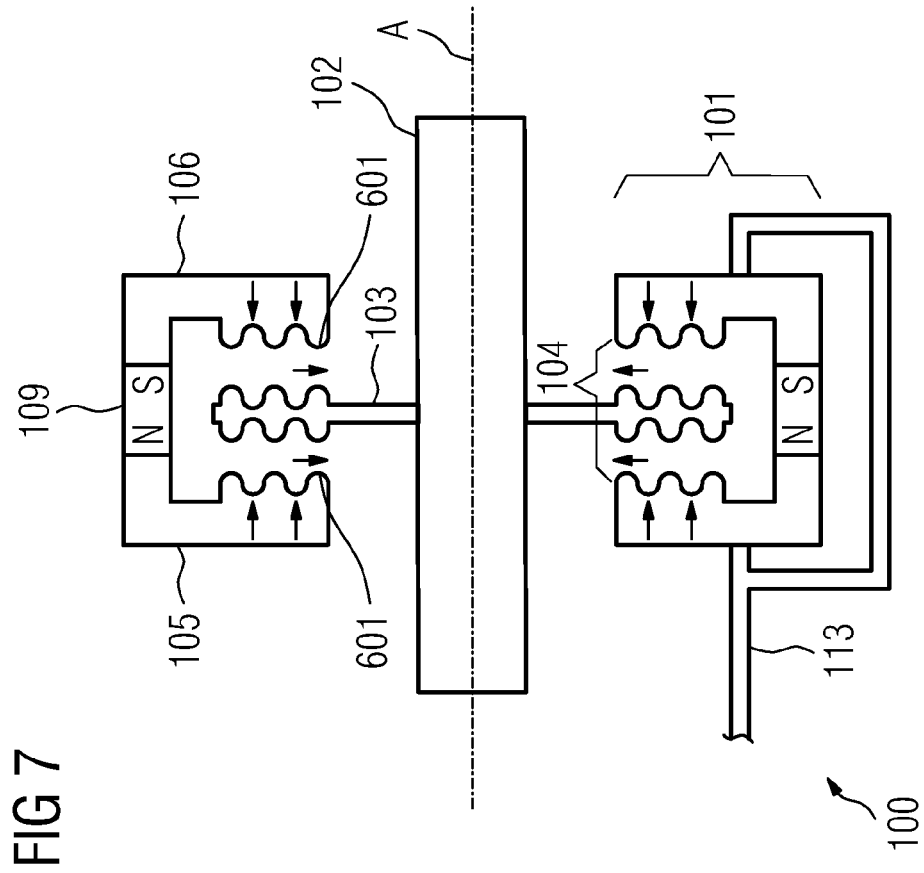


FIG 7

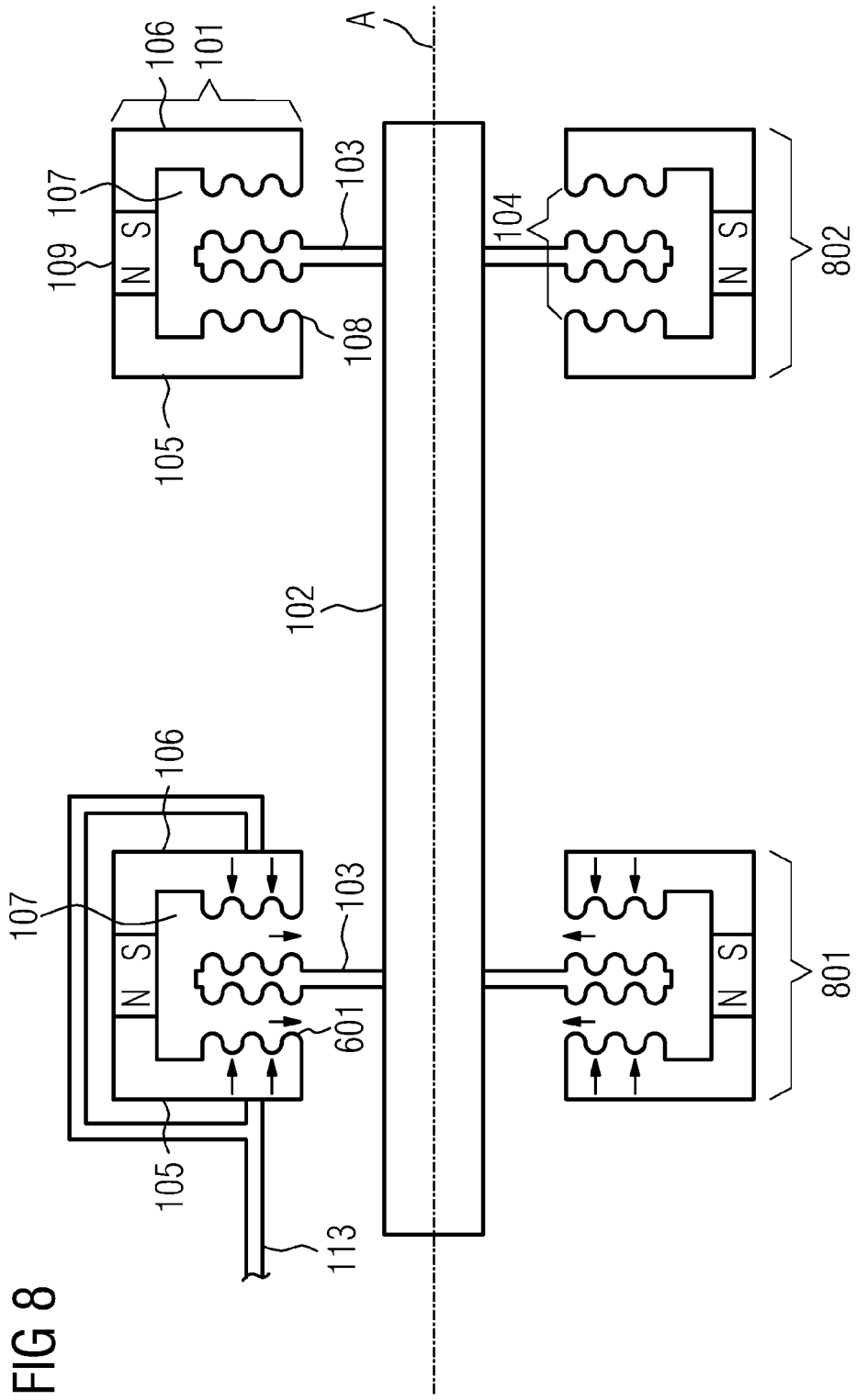


FIG 8

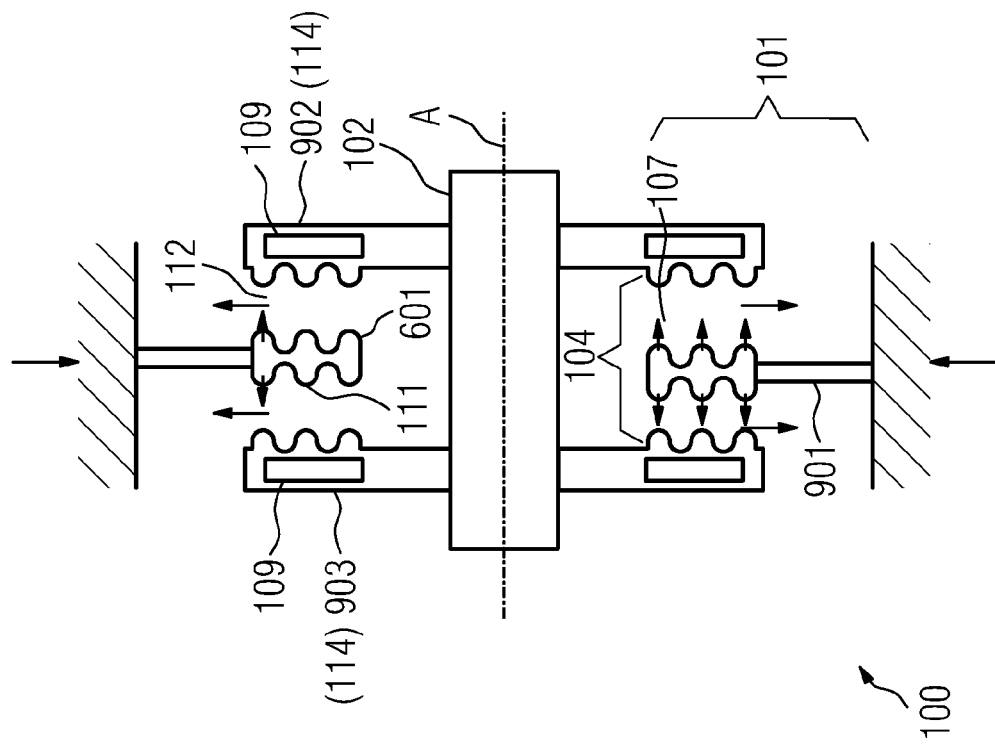


FIG 9

FIG 10

