(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
23. Juli 2015 (23.07.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/106741 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16C 17/03 (2006.01) *F16C 17/04* (2006.01)
F16C 17/06 (2006.01) *F16C 17/10* (2006.01)
F16C 17/24 (2006.01) *G01L 5/00* (2006.01)
F16C 17/02 (2006.01) *F16C 41/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2014/200588

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Oktober 2014 (22.10.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 200 712.7
16. Januar 2014 (16.01.2014) DE

(71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder: **CLAUS, Sven**; Paracelsusstraße 5, 90431 Nürnberg (DE). **GIERL, Jürgen**; Saarstraße 14, 91052 Erlangen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HYDRODYNAMIC PLAIN BEARING AND METHOD FOR MONITORING THE OPERATING STATE OF A HYDRODYNAMIC PLAIN BEARING

(54) Bezeichnung : HYDRODYNAMISCHES GLEITLAGER UND VERFAHREN ZUR BETRIEBSZUSTANDSÜBERWACHUNG EINES HYDRODYNAMISCHEN GLEITLAGERS

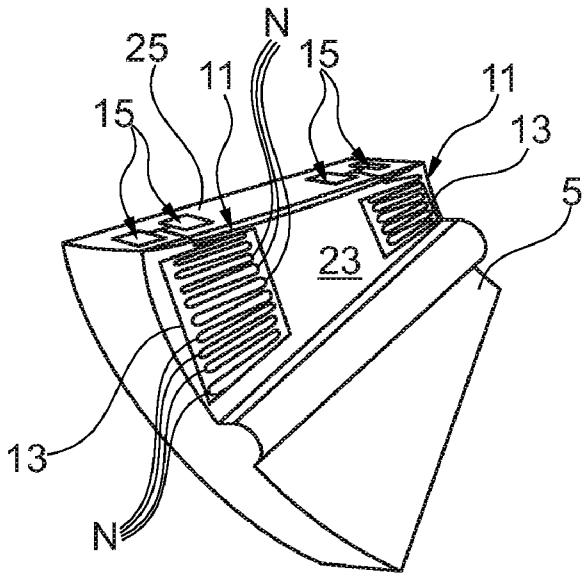


Fig. 4

(57) **Abstract**: The invention relates to a hydrodynamic plain bearing (1) for supporting a shaft (9), which hydrodynamic plain bearing comprises at least one sliding element (5) having a sliding surface (6). According to the invention, at least one sensor (11), which is constructed from a functional layer system (13), is attached to at least one sliding element (5). The measured values are then conducted to an evaluating unit (19) from a signal-tapping element (15) of the sensor (11) via at least one electrical line (17). Then, in the evaluating unit (19), the measured values are evaluated and statements about the operating state of the hydrodynamic plain bearing (1) with regard to load, deformation, and temperature are derived therefrom during the operation of the hydrodynamic plain bearing (1).

(57) **Zusammenfassung**: Es ist ein hydrodynamisches Gleitlager (1) zur Lagerung einer Welle (9) offenbart, das mindestens ein Gleitelement (5) mit einer Gleitfläche (6) umfasst. Erfindungsgemäß

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/106741 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

ist auf mindestens einen Gleitelement (5) mindestens ein Sensor (11) aufgebracht, der aus einem funktionellen Schichtsystem (13) aufgebaut ist.. Von einem Signalabgriffselement (15) des Sensors (11) werden dann über mindestens eine elektrische Leitung (17) die Messwerte an eine Auswerteeinheit (19) geleitet. Anschließend werden in der Auswerteeinheit (19) die Messwerte ausgewertet und daraus im Betrieb des hydrodynamischen Gleitlagers (1) Aussagen über den Betriebszustand des hydrodynamischen Gleitlagers (1) mit Blick auf Lasten, Verformung und Temperatur abgeleitet.

Hydrodynamisches Gleitlager und Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein hydrodynamisches Gleitlager zur Lagerung einer Welle, das mindestens ein Gleitelement mit einer Gleitfläche umfasst.

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers.

Hintergrund der Erfindung

Allgemeine Anwendungsgebiete der klassischen Hydrodynamik sind große Elektromotoren und Generatoren (im Mega-Watt-Bereich), Turbinen, Verbrennungsmotoren für Automobile, Nutzfahrzeuge, Trucks, Schiffe und Bahn sowie für große Industriegebiete. Soll aber in einer Lagerung eine Reibung zwischen relativ zueinander bewegten Elementen (insbesondere im An- und Auslauf) gesenkt werden, finden häufig hydrostatische Lagerungen Anwendung, wie beispielsweise bei Anfahr- und Auslaufvorgängen, beim Anfahren unter Last oder beim Auftreten von Betriebs- und Randbedingungen.

Ein solches hydrostatisches Gleitlager weist einen aktiven Schmierstoffkreislauf aus, welcher mit einer externen Pumpe aufrechterhalten wird und der durch den Lagerspalt zwischen den relativ zueinander bewegten Elementen geführt wird. Im Lagerspalt baut sich ein dünner hydrostatischer Tragfilm auf, welcher die Reibung zwischen relativ zueinander bewegten Elementen senkt. Zur Schadensprävention von hydrostatischen Gleitlagern werden Systeme ein-

gesetzt, die abnormale Lagerzustände erkennen und entsprechende sichernde Maßnahmen gegen Schäden und Lagerausfällen einleiten. Messtechnisch sind dann Sensoren für die Messung von Temperaturen im Bereich der sich verengenden Spalten bekannt. Ferner ist aus dem Bereich von Versuchseinrichtungen bekannt, dass Schmierfilmdickenhöhen mittels Hydrostatik und durch Verwendung kapazitiver Abstandsmessung eingesetzt werden.

Aber auch bei hydrodynamischen Gleitlagern, bei denen der Schmierfilm erst durch die Bewegung des Gleitlagers erzeugt wird, werden bereits Betriebszustandsgrößen gemessen. So erfolgt beispielswiese die Temperaturmessung in mindestens einem Gleitelement des hydrodynamischen Gleitlagers, wie z. B. in einer Lagerschale nahe einer Gleitflächenzone. Ferner ist auch die Messung einer Wellenverlagerung in verschiedene Richtungen als Indikator für das Vorherrschen der Hydrodynamik, sprich das Vorhandensein eines trennenden Schmierfilms, gängig. Allerdings ist die dafür zu verwendende Sensorik oft recht aufwendig eingebracht, wie beispielsweise in kleine Bohrungen in den Gleitelementen, wie in einer Lagerschale oder in einem Kippsegment eines Kippsegmentlagers, in denen ein Temperatursensor (z. B: ein PT100) eingesteckt ist. Die Herausforderung ist hier, nahe an die Gleitfläche zu kommen, aber nicht mit der Bohrung durchzudrücken bzw. diese Stelle nahe der Bohrung nicht zu schwächen. Bisher angewandte Wellenverlagerungssensoriken werden von außen auf die Welle gerichtet. Oft sitzen die Sensoren dann außerhalb eines Gehäuses eines hydrodynamischen Gleitlagers. Dabei schauen dann oft Kabel heraus und die verwendete Sensorik/Auswertetechnik ist zudem sehr teuer. Um Verformungen sicher messen zu können, werden Dehnmessstreifen eingesetzt, die aufwendig angeordnet und verklebt werden müssen. Dabei ist die Verklebestelle immer recht heikel (z. B. Lösen der Klebeverbindung unter Fliehkrafteinfluss). Zudem stehen diese Dehnmessstreifen immer hervor und stellen potenzielle Gefahrenstellen dar.

Eine Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist daher, ein hydrodynamisches Gleitlager zu schaffen, das im Betrieb Messdaten zum Zustand des hydrodynamischen Gleitlagers sammelt und so in einfacher Weise die Überwachung von Lasten und Lastverteilung im hydrodynamischen Gleitlager erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch ein hydrodynamisches Gleitlager gelöst, das die Merkmale im Anspruch 1 umfasst.

Eine weitere Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist, ein einfaches Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers anzugeben, das Lagerbelastungen kontinuierlich misst und somit den Gleitlagerzustand überwacht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers, das die Merkmale im Anspruch 10 umfasst.

Das erfindungsgemäße hydrodynamische Gleitlager zur Lagerung einer Welle umfasst mindestens ein Gleitelement mit einer Gleitfläche

Insbesondere ist das erfindungsgemäße hydrodynamische Gleitlager ein Kippsegmentlager, wie beispielsweise ein Axial-Kippsegmentlager, ein Radial-Kippsegmentlager oder eine Kombination eines Axial-Kippsegmentlagers und Radial-Kippsegmentlagers. Ebenso ist aber auch denkbar, dass das erfindungsgemäße hydrodynamische Gleitlager als ein Festsegmentlager oder ein Einflächengleitlager ausgebildet ist. Neue potenzielle und zukunftsträchtige Anwendungsfeder für derartige hydrodynamische Gleitlager sind Windkraftanlagen sowie Meereskraft- und Strömungskraftwerke, bei denen diese Lager in der Hauptrotorlagerung Anwendung finden.

Da bei hydrodynamischen Gleitlagern nicht wie im Falle von Wälzlagern eine Ermüdungstheorie angesetzt werden kann, bei der eine Vollschmierung oder Mischreibung angenommen wird und die Werkstoffeigenschaften, wie Festigkeit etc., der Lagerkomponenten bekannt sind, müssen diese Gleitlager mit ei-

ner minimalen Schmierfilmdicke ausgelegt werden, um somit Bearbeitungsungenauigkeiten (Rundlauf, Rundheit, ...) und Oberflächenbeschaffenheiten (Ra, Rz, Rpk, ...) vergleichen zu können. Daraus lassen sich dann erst Aussagen zum Betriebszustand eines hydrodynamischen Gleitlagers ableiten. Einflussparameter auf das sich einstellende Betriebsspiel und die Leistungsfähigkeit des hydrodynamischen Gleitlagers im Betrieb sind Temperatur, örtliche Pressungen im Kontaktbereich (Keilspalt) und die Schmierfilmhöhe.

Erfindungsgemäß ist auf dem mindestens einen Gleitelement mindestens ein Sensor aufgebracht, der aus einem funktionellen Schichtsystem aufgebaut ist. Dieses funktionelle Schichtsystem zeichnet sich dadurch aus, dass das nur mit wenigen Mikrometern beschichtete Gleitelement des hydrodynamischen Gleitlagers dann nicht nur Kräfte überträgt, sondern auch physikalische Größen wie Drehmomente, Kräfte, Dehnung oder Temperatur erfasst und überträgt. So können die Lagerbelastungen kontinuierlich gemessen und überwacht werden.

Um Messsignale abgreifen zu können, besteht jeder Sensor neben einer verformungssensitiven Messschicht, die das funktionelle Schichtsystem ist, aus wenigstens einem Signalabgriffselement. Dabei kann die verformungssensitive Messschicht insbesondere aus einem metallischen Material oder einem Halbleitermaterial bestehen. Insbesondere kann die verformungssensitive Messschicht aus einer Nickel-Legierung oder aus Titanoxinitrid bestehen.

Diese formungssensitive Messschicht verformt sich im Betrieb entsprechend einer Verformung des mindestens einen Gleitelements. D. h. eine Verformung des Gleitelements wird auf die formungssensitive Messschicht „übertragen". Die verformungssensitive Messschicht wird somit, je nach Verformung, positiv (Streckung) oder negativ (Stauchung) gedehnt.

Auch kann das mindestens eine Gleitelement des erfindungsgemäßen hydrodynamischen Gleitlagers eine Schutzschicht vorsehen. Diese Schutzschicht ist dann auf der formungssensitiven Messschicht aufgebracht und dient im We-

sentlichen dem Schutz der formungssensitiven Messschicht vor Verunreinigungen, Korrosion und mechanischer Beschädigung, sowie vor ungewollten Kontakt der formungssensitiven Messschicht mit leitfähigem Material. Dabei ist aber anzumerken, dass diese formungssensitive Messschicht nicht zwangsläufig eine Schutzschicht vorsehen muss. Diese Schutzschicht ist somit in speziellen Anwendungen optional aufzutragen.

Ferner weist jedes Gleitelement mit mindestens einem Sensor eine elektrische Leitung auf, um Messdaten von dem wenigstens einen Signalabgriffselement jedes Sensors an eine Auswerteeinheit zu leiten.

Insbesondere ist bei der Erfindung jeder Sensor derart ausgestaltet, dass die verformungssensitive Messschicht mindestens eine Windung aufweist. Vorzugsweise weist die verformungssensitive Messschicht aber mehrere Windungen auf.

Bei dem erfindungsgemäßen hydrodynamischen Gleitlager ist zumindest die verformungssensitive Messschicht eines Sensors auf einer Oberseite, einer Unterseite oder auf einer Stirnfläche, die mit einem Reibpartner zusammenwirkt, des Gleitelements aufgebracht. Das wenigstens eine Signalabgriffselement eines Sensors ist auf einer Oberseite, einer Unterseite oder auf wenigstens einer von vier Stirnflächen des Gleitelements aufgebacht.

Folglich sind diverse Ausführungsformen der aufzubringenden verformungssensitiven Messschicht und des wenigstens einem Signalabgriffselement eines Sensors denkbar. So ist in einer Ausführungsform die verformungssensitive Messschicht und das Signalabgriffselement eines Sensors auf der Oberseite, Unterseite oder der Stirnfläche aufgebracht, hingegen in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung die verformungssensitive Messschicht auf der Oberseite oder der Unterseite und das Signalabgriffselement an einer der vier Stirnflächen des Gleitelements aufgebacht ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen hydrodynamischen Gleitlagers ist das Gleitelement aus einer Mehrzahl von Kippsegmenten aufgebaut, wie beispielsweise bei einem Axial-Kippsegmentlager. Dabei umfasst das Axial-Kippsegmentlager eine Trägerscheibe mit einer Mehrzahl von Kippsegmenten mit diesem funktionellen Schichtsystem, die auf dem Radius der Trägerscheibe angeordnet sind. Dabei ist dann die Trägerscheibe ortsfest mit einem Gehäuse des hydrodynamischen Axial-Kippsegmentlagers verbunden. Ferner ist dann vorgesehen, dass eine Wellenscheibe, die mit einer Welle verdrehsteif verbunden ist (alternativ durch die Geometrie der Welle selbst bereit gestellt, so dass keine Wellenscheibe benötigt wird) und sich relativ zur Trägerscheibe und den Kippsegmenten bewegt.

Allgemein ist somit anzumerken, dass dieses funktionelle Schichtsystem so auf mindestens einem Gleitelement (Lagerschale, Kippsegment) eines hydrodynamischen Gleitlagers aufgebracht ist, dass es zwar die Vorformung des Gleitelements aufnimmt, aber nicht wie bisher bekannt und gebräuchlich, im direkten Gleitkontakt sitzt, wo es verschlissen und zerstört wird. Da Kippsegmente oder auch Bereiche von Festsegmentlagern durch eine Belastung des Gegenläufers verformt werden, muss der Sensor nicht zwangsweise im Kontakt sitzen. Aus diesem Grund ist eine bevorzugte Ausführungsform, den erfindungsgemäßen Sensor an eine Unterseite eines Kippsegments aufzubringen oder auch an den Stirnflächen (Axialflächen) eines Radiallagers. Dort kann dann die Verformung aufgenommen werden ohne im direkten Gleitkontakt zu stehen (ein direkter Gleitkontakt zwischen Gleitelement und der Wellenscheibe entsteht bspw. beim Anlauf, wenn noch kein trennender Schmierfilm vorliegt).

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung des zuvor beschriebenen hydrodynamischen Gleitlagers zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus. Durch mindestens einen Sensor, der aus einem funktionellen Schichtsystem aufgebaut ist und auf mindestens einen Gleitelement des hydrodynamischen Gleitlagers aufgebracht ist, werden Messwerte über den

Zustand des hydrodynamischen Gleitlagers erzeugt. Von einem Signalabgriffselement des Sensors werden dann über mindestens eine elektrische Leitung die Messwerte an eine Auswerteeinheit geleitet. In der Auswerteeinheit werden die Messwerte ausgewertet und daraus im Betrieb des hydrodynamischen Gleitlagers Aussagen über den Betriebszustand des hydrodynamischen Gleitlagers mit Blick auf Lasten, Verformung und Temperatur abgeleitet.

Grundsätzlich werden mit der Erfindung zwei Messaufgaben gelöst. Zum einen ermöglicht eine 3D-Sensorierung mindestens eines Gleitelements, vorzugsweise eine Mehrzahl von Kippsegmenten, eine Bestimmung der Dehnung in verschiedenen Richtungen und an verschiedenen Stellen des Gleitelements bzw. der Kippsegmente und zum anderen ermöglicht eine Sensorierung des Auflagedrucks sowie der Auflagepressung des Gleitelements bzw. der Kippsegmente, die aus dem sich im verengenden Schmierspalt bildenden Druckaufbau resultieren, die Detektierung der Gleitelement- bzw. Kippsegmentbelastung.

Die 3D-Sensorierung dient insbesondere dazu Rückschlüsse auf den Schmierstoffdruck und ggf. auf die Schmierspalte zu ziehen. Anzumerken ist auch, dass das funktionelle Schichtsystem keinen zusätzlichen Verschleißschutz bietet. Somit dürfen die Sensoren auf dem Gleitelement bzw. den Kippsegmenten nicht kontaktiert oder überglitten werden, wie z.B. beim Anlauf. Das Gleitelement bzw. die Kippsegmente dürfen nur Druckkräfte erfahren. Dadurch sollte das funktionelle Schichtsystem nicht an Stellen angebracht werden, die bei einem Stillstand des hydrodynamischen Gleitlagers im Kontakt mit dem Gegenlaufpartner stehen (d. h. nicht auf Rastflächen). Die Aufbringung der verformungssensitiven Messschicht, sprich des funktionellen Schichtsystems, bietet sich daher an einer Unterseite des Gleitelements bzw. Kippsegments an, wobei ein Aufbringen des funktionellen Schichtsystems auf einer Oberseite des Gleitelements bzw. Kippsegments aber mit obiger Einschränkung ebenso möglich ist.

Die Sensorierung zur Detektierung der Gleitelement- bzw. Kippsegmentbelastung dient dem Rückschluss auf die Belastung des hydrodynamischen Gleitlagers insgesamt sowie der Erkennung von Wellenverkippungen. Diese Messaufgabe kann mit der vorstehenden verschriebenen Messaufgabe kombiniert als auch alleinstehend die Verwendung eines piezoresistiven Schichtsystems vorsehen.

Durch die Erfindung ist somit ein Sensor geschaffen, der einen hohen Integrationsgrad hat, da er kein eigenes Bauteil mehr darstellt und im direkten Umfeld des Gleitkontakts sitzt. Über Verformung können somit Last und Lastverteilung gemessen werden.

Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern. Die Größenverhältnisse in den Figuren entsprechen nicht immer den realen Größenverhältnissen, da einige Formen vereinfacht und andere Formen zur besseren Veranschaulichung vergrößert im Verhältnis zu anderen Elementen dargestellt sind. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Perspektivansicht einer Trägerscheibe eines hydrodynamischen Gleitlagers, auf der ein Gleitelement in Form von einer Mehrzahl von Kippsegmenten angeordnet ist;

Fig. 2 eine Perspektivansicht einer Wellenscheibe des hydrodynamischen Gleitlagers, die mit der in Fig. 1 dargestellten Trägerscheibe und den Kippsegmenten das hydrodynamische Gleitlager bildet;

Fig. 3 eine Perspektivansicht eines Kippsegments mit einem an einer Unterseite des Kippsegments ausgebildeten Kippsteg; und

Fig. 4 bis 10 verschiedene Ausführungsformen mindestens eines auf einem Kippsegment aufbrachten Sensors des erfindungsgemäßen hydrodynamischen Gleitlagers.

Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren dargestellt, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind. Die dargestellten Ausführungsformen stellen lediglich Beispiele dar, wie das erfindungsgemäße hydrodynamische Gleitlager sowie das erfindungsgemäße Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers ausgestaltet sein können und stellen somit keine abschließende Begrenzung der Erfindung dar.

Obwohl sich die nachfolgende Beschreibung auf ein Gleitelement bezieht, das aus mehreren Kippsegmenten aufgebaut ist und bei einem Axial-Kippsegmentlager, Radial-Kippsegmentlager oder bei einer Kombination eines Axial-Kippsegmentlagers und Radial-Kippsegmentlagers Anwendung findet, soll dies nicht als Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden.

Figur 1 zeigt eine Perspektivansicht einer Trägerscheibe 3 eines hydrodynamischen Gleitlagers 1, auf der auf einem Radius R ein Gleitelement 5 mit einer Gleitfläche 6 in Form von einer Mehrzahl von Kippsegmenten 5 mit jeweils einer Gleitfläche 6 angeordnet ist. Dabei ist dann die Trägerscheibe 3 mit einem hier nicht dargestellten Gehäuse ortsfest verbunden.

Figur 2 zeigt eine Perspektivansicht einer Wellenscheibe 7 des hydrodynamischen Gleitlagers 1. Die Wellenscheibe 7 ist dabei mit einer Welle 9 verdrehsteif verbunden. Die Wellenscheibe 7 bildet mit der in Fig. 1 dargestellten Trägerscheibe 3 und den Kippsegmenten 5 das hydrodynamische Gleitlager 1. Im Betrieb bewegt sich die Wellenscheibe 7 relativ zur Trägerscheibe 3 und den Kippsegmenten 5, wobei andere Ausführungsformen der Erfindung auch keine

Wellenscheibe 7 vorsehen, nämlich dann, wenn die Welle 9 eine geeignete Geometrie für die Trägerscheibe 3 oder beispielsweise auch für eine Lagerschale aufweist.

Figur 3 zeigt eine Perspektivansicht eines Kippsegments 5 mit einem an einer Unterseite 23 des Kippsegments 5 ausgebildeten Kippsteg 27, der auf der Trägerscheibe 3 beim Drehen vermittels der in Fig. 2 dargestellten Welle 9 eine Kippbewegung des Kippsegments 5 ermöglicht.

Figur 4 bis 10 zeigen verschiedene Ausführungsformen mindestens eines auf einem Kippsegment 5 aufgebrachten Sensors 11 des erfindungsgemäßen hydrodynamischen Gleitlagers 1. Der Sensor 11 ist erfindungsgemäß aus einem funktionellen Schichtsystem 13 aufgebaut. Dabei besteht jeder Sensor 11 aus einer verformungssensitiven Messschicht 13, die das funktionelle Schichtsystem ist, und wenigstens einem Signalabgriffselement 15. Zudem weist jedes Kippsegment 5 mit mindestens einem Sensor 11 eine elektrische Leitung 17 auf. Dies ist exemplarisch in Fig. 1 dargestellt. Diese elektrische Leitung 17 dient dazu, um Messdaten von dem wenigstens einen Signalabgriffselement 15 jedes Sensors 11 an eine Auswerteeinheit 19 (siehe ebenfalls Fig. 1) zu leiten. In der Auswerteeinheit 19 werden die Messwerte ausgewertet und daraus im Betrieb des hydrodynamischen Gleitlagers 1 Aussagen über den Betriebszustand des hydrodynamischen Gleitlagers 1 mit Blick auf von Lasten, Lastverteilung (Verkippung) Verformung und Temperatur abgeleitet.

Bei der in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsform sind auf dem Kippsegment 5 zwei Sensoren 11 aufgebracht. Wie bereits zuvor erwähnt, besteht jeder Sensor 11 aus der verformungssensitiven Messschicht 13, die das funktionelle Schichtsystem ist, und wenigstens einem Signalabgriffselement 15. Die hier gezeigten Sensoren 11 sind derart ausgestaltet, dass die verformungssensitive Messschicht 13 mehrere Windungen N aufweist. Insbesondere ist hier die verformungssensitive Messschicht 13 auf einer Unterseite 23 und zwei Signalab-

griffselemente 15 jedes Sensors 11 auf einer Stirnfläche 25 des Kippsegments 5 aufgebracht.

In der in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsform, sind auf dem Kippsegment 5 sechs Sensoren 11 aufgebracht. Dabei ist die verformungssensitive Messschicht 13 aller sechs Sensoren 11 auf einer Oberseite 21 des Kippsegments 5 aufgebracht, hingegen alle Signalabgriffselemente 15 auf allen vier Stirnfläche 25 des Kippsegments 5 verteilt aufgebracht sind.

Das Kippsegment 5 in **Fig. 6** weist drei Sensoren 11 auf, bei denen jede verformungssensitive Messschicht 13 auf der Oberseite 21 und jedes Signalabgriffselement 15 auf der Stirnfläche 25 des Kippsegmentes 5 aufgebracht ist. Bei dieser Stirnfläche 25, handelt es sich um diejenige, die mit der in Fig. 2 dargestellten Wellenscheibe als Reibpartner 7 zusammenwirkt. In dieser Ausführungsform weist jede der drei verformungssensitiven Messschichten 13 im Gegensatz zu den vorherigen gezeigten verformungssensitiven Messschichten 13 nur eine Windung N auf.

In der in **Fig. 7** dargestellten Ausführungsform, sind auf dem Kippsegment 5 zwei Sensoren 11 aufgebracht. Da die hier dargestellte Ausführungsform der Anbringung der verformungssensitiven Messschicht 13 und der Signalabgriffselemente 15 der Fig. 6 gleich ist, wird auf eine erneute Beschreibung an dieser Stelle verzichtet.

Bei der in **Fig. 8** dargestellten Ausführungsform sind auf dem Kippsegment 5 vier Sensoren 11 aufgebracht. Hier ist sowohl jede verformungssensitive Messschicht 13 als auch jede der zwei Signalabgriffselemente 15 jedes Sensors 11 auf der Unterseite 23 eines Kippsegments 5 aufgebracht.

Das Kippsegment 5 in **Fig. 9** hat zwei Sensoren 11 aufgebracht. Die verformungssensitive Messschicht 13 jedes Sensors 11 ist auf der Oberseite 21 des Kippsegments 5 aufgebracht. Beide Signalabgriffselemente 15 jedes Sensors

11 sind auf der Stirnfläche 25 des Kippsegmentes 5 aufgebracht, die mit der Wellenscheibe 7 (s. Fig. 2) als Reibpartner zusammenwirkt.

In der in **Fig. 10** dargestellten Ausführungsform sind zwei Sensoren 11, einschließlich jede verformungssensitive Messschicht 13 als auch jedes Signalabgriffselement 15, auf der Stirnfläche 25 des Kippsegmentes 5 aufgebracht ist, die mit der Wellenscheibe 7 (s. Fig. 2) als Reibpartner zusammenwirkt.

Durch die in den Fig. 4 bis 10 diversen dargestellten Ausführungsformen der auf einem Kippsegment 5 aufgebrachten Sensoren 11, ist selbstverständlich, dass noch viele weitere Ausführungsformen denkbar sind, ohne diese explizit aufführen zu müssen.

Bezugszeichenliste

1 hydrodynamisches Gleitlager
3 Trägerscheibe
5 Gleitelement, Kippsegment
6 Gleitfläche
7 Reibpartner, Wellenscheibe
9 Welle
11 Sensor
13 Messschicht, funktionelle Schichtsystem
15 Signalabgriffselement
17 elektrische Leitung
19 Auswerteeinhei
21 Oberseite
23 Unterseite
25 Stirnfläche
27 Kippsteg
R Radius der Trägerscheibe
N Windung

Patentansprüche

1. Hydrodynamisches Gleitlager (1) zur Lagerung einer Welle (9), mit mindestens einem Gleitelement (5) mit einer Gleitfläche (6),

dadurch gekennzeichnet, dass

auf dem mindestens einen Gleitelement (5) mindestens ein Sensor (11) aufgebracht ist, der aus einem funktionellen Schichtsystem (13) aufgebaut ist.

2. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach Anspruch 1, wobei jeder Sensor (11) aus einer verformungssensitiven Messschicht (13), die das funktionelle Schichtsystem ist, und wenigstens einem Signalabgriffselement (15) besteht.

3. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei jedes Gleitelement (5) mit mindestens einem Sensor (11) eine elektrische Leitung (17) aufweist, um Messdaten von dem wenigstens einen Signalabgriffselement (15) jedes Sensors (11) an eine Auswerteeinheit (19) zu leiten.

4. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Sensor (11) derart ausgestaltet ist, dass die verformungssensitive Messschicht (13) mindestens eine Windung (N) aufweist.

5. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zumindest die verformungssensitive Messschicht (13) eines Sensors (11) auf einer Oberseite (21), einer Unterseite (23) oder auf einer Stirnfläche (25) des Gleitelements (5) aufgebracht ist, die mit einem Reibpartner (7) zusammenwirkt.

6. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Signalabgriffselement (15) eines Sensors (11) auf einer Oberseite (21), einer Unterseite (23) oder auf wenigstens einer von vier Stirnflächen (25) des Gleitelements (5) aufgebacht ist.

7. Hydrodynamisches Gleitlager (1) nach Anspruch 5 oder 6, wobei die verformungssensitive Messschicht (13) und das Signalabgriffselement (15) eines Sensors (11) auf der Oberseite (23), Unterseite (23) oder der Stirnfläche (25) des Gleitelements (5) aufgebracht sind.

8. Hydrodynamisches Gleitlage (1) nach Anspruch 6 oder 7, wobei die verformungssensitive Messschicht (13) auf der Oberseite (21) oder der Unterseite (23) und das Signalabgriffselement (15) an einer der vier Stirnflächen (25) des Gleitelements (5) aufgebacht ist.

9. Hydrodynamische Gleitlager (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Gleitelement aus einer Mehrzahl von Kippsegmenten (5) aufgebaut ist.

10. Verfahren zur Betriebszustandsüberwachung eines hydrodynamischen Gleitlagers (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch die folgenden Schritte,

dass durch mindestens einen Sensor (11), der aus einem funktionellen Schichtsystem (13) aufgebaut ist und auf mindestens einem Gleitelement (5) des hydrodynamischen Gleitlagers (1) aufgebracht ist, Messwerte über den Zustand des hydrodynamischen Gleitlagers (1) erzeugt werden;

dass von einem Signalabgriffselement (15) des Sensors (11) über mindestens eine elektrische Leitung (17) die Messwerte an eine Auswerteeinheit (19) geleitet werden und

dass in der Auswerteeinheit (19) die Messwerte ausgewertet und daraus im Betrieb des hydrodynamischen Gleitlagers (1) Aussagen über den Betriebszustand des hydrodynamischen Gleitlagers (1) mit Blick auf Lasten, Verformung und Temperatur abgeleitet werden.

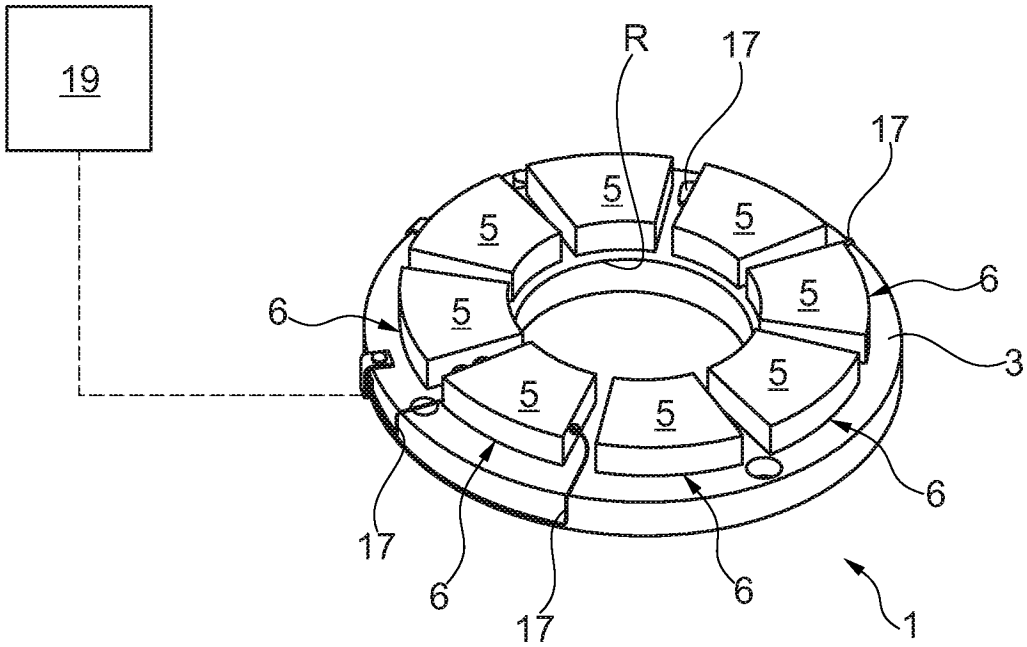


Fig. 1

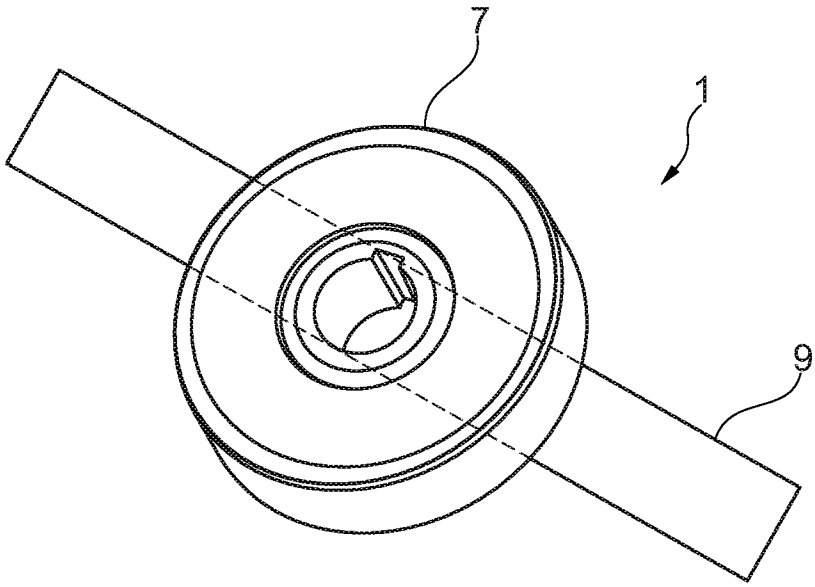


Fig. 2

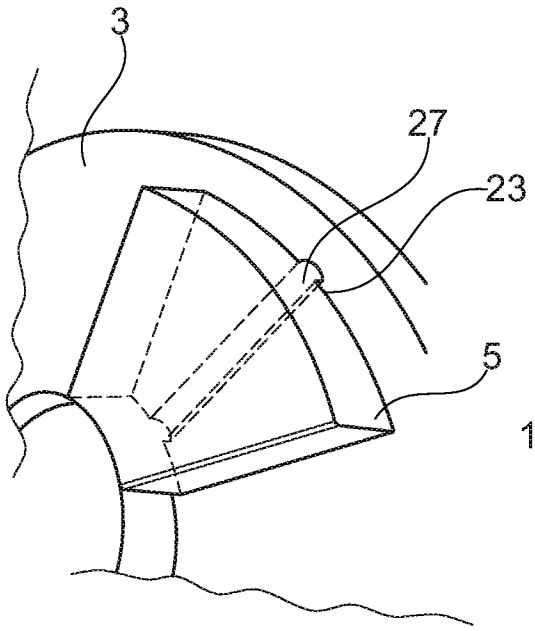


Fig. 3

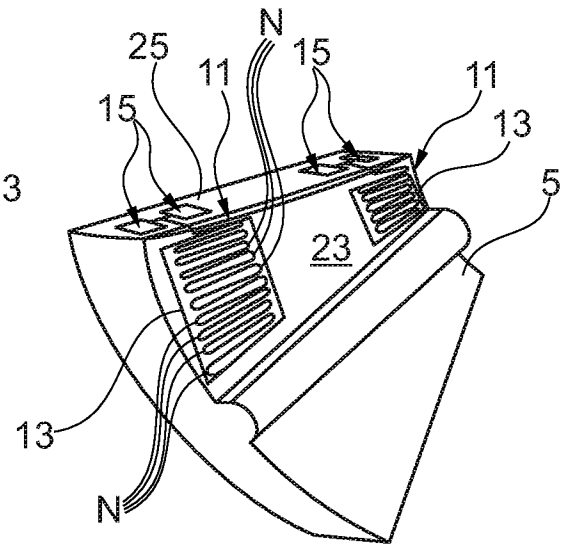


Fig. 4

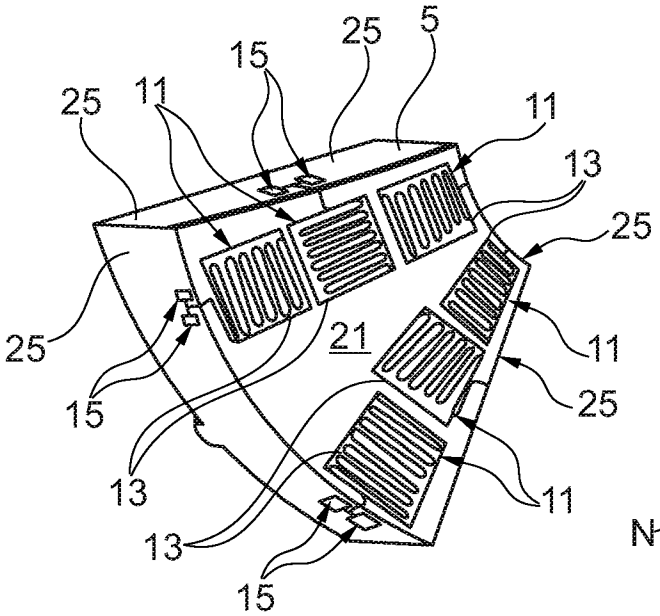


Fig. 5

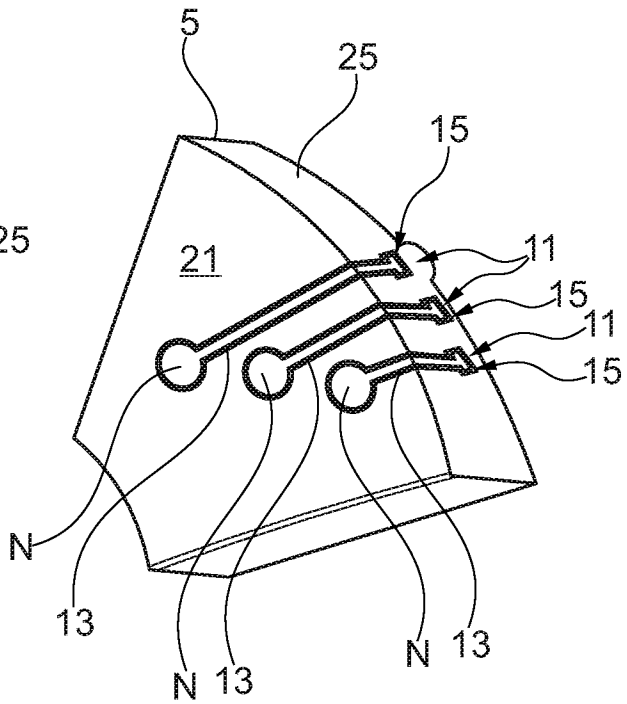


Fig. 6

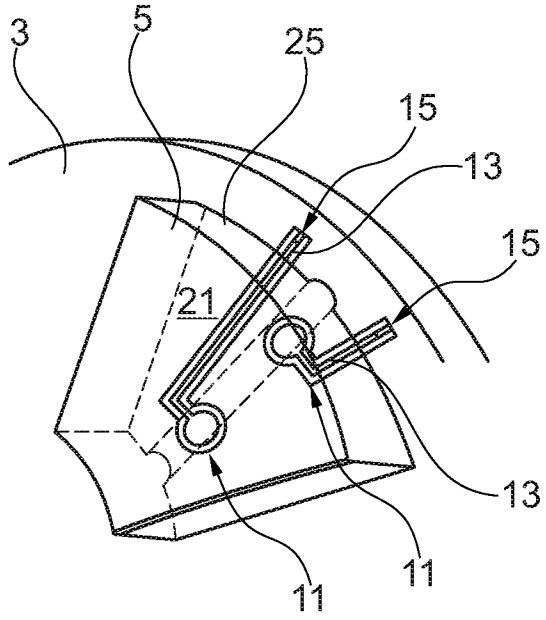


Fig. 7

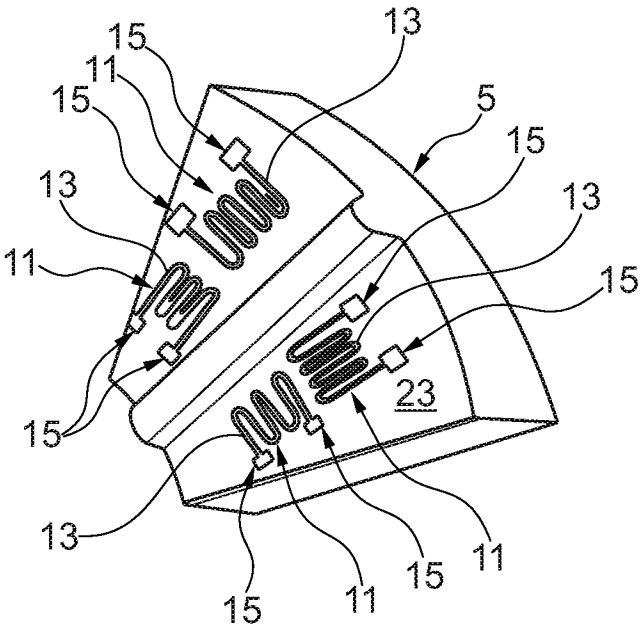


Fig. 8

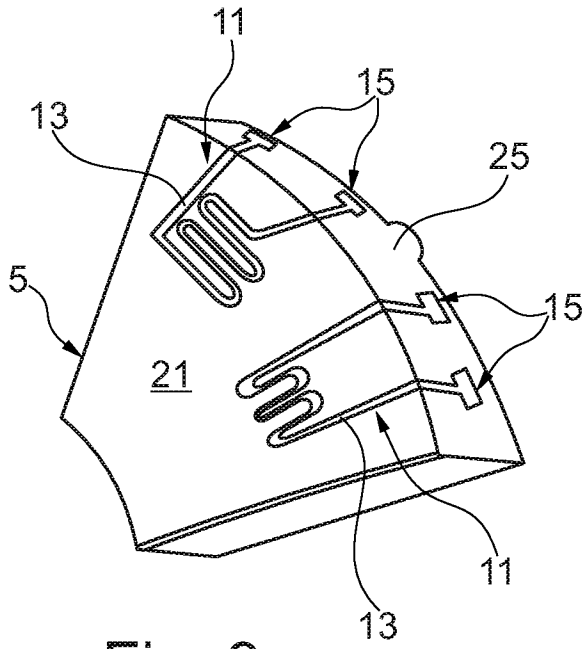


Fig. 9

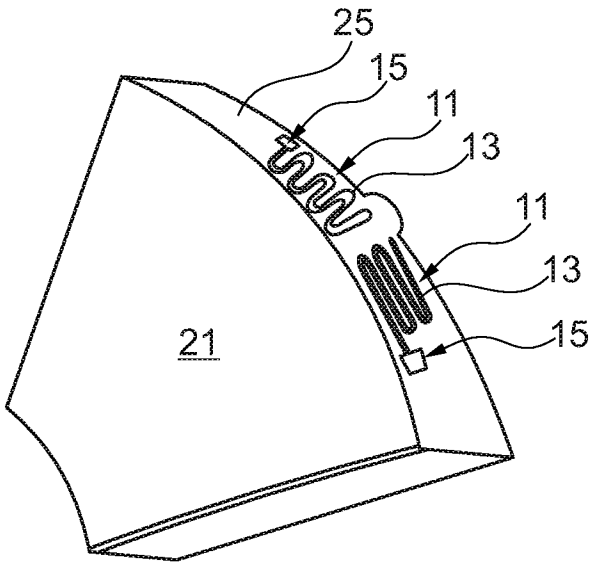


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/200588

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16C17/03 F16C17/06 F16C17/24 F16C17/02 F16C17/04
F16C17/10 G01L5/00 F16C41/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F16C G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2012/050917 A2 (WAUKESHA BEARINGS CORP [US]; KIM JONG SOO [US]) 19 April 2012 (2012-04-19) page 10, line 1 - page 10, line 7; figure 5	1-10
A	US 2006/056959 A1 (SABOL STEPHEN M [US] ET AL) 16 March 2006 (2006-03-16) abstract; figure 7	1-10
A	DE 195 05 543 A1 (WILO GMBH [DE]) 22 August 1996 (1996-08-22) abstract; figure 1	1-10
A	WO 03/025408 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; MEYER KLAUS [DE]; NEMZOV JULIUS [DE]; MUELLER) 27 March 2003 (2003-03-27) abstract; figure 2	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 January 2015	04/02/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Moro, Valerio

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2014/200588

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2012050917 A2	19-04-2012	CN 103180625 A	26-06-2013
		EP 2622236 A2	07-08-2013
		JP 2013539847 A	28-10-2013
		WO 2012050917 A2	19-04-2012
US 2006056959 A1	16-03-2006	NONE	
DE 19505543 A1	22-08-1996	NONE	
WO 03025408 A1	27-03-2003	DE 10144269 A1	27-03-2003
		EP 1436515 A1	14-07-2004
		JP 4399261 B2	13-01-2010
		JP 2005502892 A	27-01-2005
		US 2004031311 A1	19-02-2004
		WO 03025408 A1	27-03-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2014/200588

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16C17/03 F16C17/06 F16C17/24 F16C17/02 F16C17/04
F16C17/10 G01L5/00 F16C41/00
ADD.
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16C G01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2012/050917 A2 (WAUKESHA BEARINGS CORP [US]; KIM JONG SOO [US]) 19. April 2012 (2012-04-19) Seite 10, Zeile 1 - Seite 10, Zeile 7; Abbildung 5	1-10
A	US 2006/056959 A1 (SABOL STEPHEN M [US] ET AL) 16. März 2006 (2006-03-16) Zusammenfassung; Abbildung 7	1-10
A	DE 195 05 543 A1 (WILO GMBH [DE]) 22. August 1996 (1996-08-22) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-10
A	WO 03/025408 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; MEYER KLAUS [DE]; NEMZOV JULIUS [DE]; MUELLER) 27. März 2003 (2003-03-27) Zusammenfassung; Abbildung 2	1-10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28. Januar 2015	04/02/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Moro, Valerio

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2014/200588

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2012050917 A2	19-04-2012	CN 103180625 A	26-06-2013
		EP 2622236 A2	07-08-2013
		JP 2013539847 A	28-10-2013
		WO 2012050917 A2	19-04-2012
US 2006056959 A1	16-03-2006	KEINE	
DE 19505543 A1	22-08-1996	KEINE	
WO 03025408 A1	27-03-2003	DE 10144269 A1	27-03-2003
		EP 1436515 A1	14-07-2004
		JP 4399261 B2	13-01-2010
		JP 2005502892 A	27-01-2005
		US 2004031311 A1	19-02-2004
		WO 03025408 A1	27-03-2003