

(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
9. Juni 2011 (09.06.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/066979 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16C 19/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/007339

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. Dezember 2010 (03.12.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 056 824.7
4. Dezember 2009 (04.12.2009) DE
10 2010 013 741.3 31. März 2010 (31.03.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): IMO HOLDING GMBH [DE/DE]; Imostrasse
1, 91350 Gremsdorf (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HUBERTUS, Frank
[DE/DE]; Toppauer Str. 8, 91315 Höchstadt (DE).

(74) Anwalt: KÜCHLER, Stefan, T.; Färberstrasse 20,
90402 Nürnberg (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, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
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,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

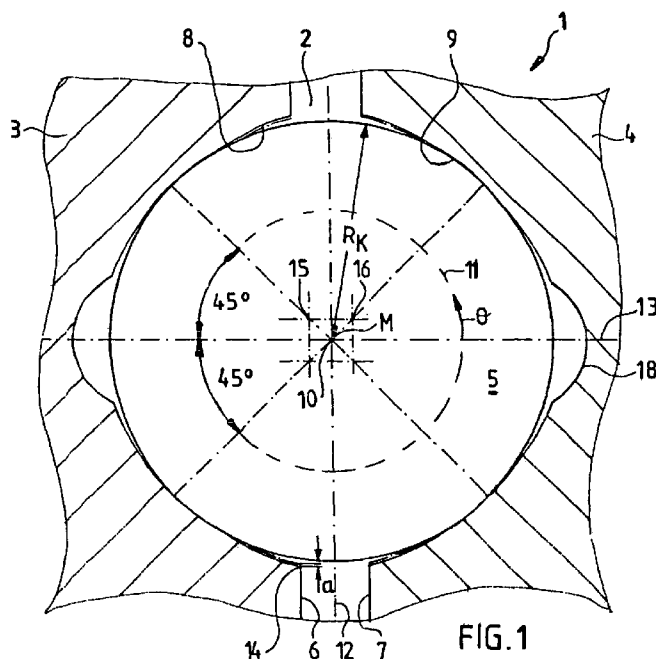
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BALL BEARING

(54) Bezeichnung : KUGELLAGER



(57) Abstract: The invention relates to a ball bearing having a first and a second race and at least one row of balls arranged in the gap between both races, said balls having a radius R_K and rolling along on tracks, which are facing each other, of both races, wherein the centres of the balls of a row move on a circular path which is surrounded by a torus encompassing all balls of said row and having the toroidal radius R_K , the toroidal angular coordinate φ and a poloidal angular coordinate θ , and wherein each track has with each ball two nearly punctiform contact areas or contact points $P_1, P_2; P_3, P_4$ under the respective angle of support $\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ and θ_{P4} , and wherein the cross-section of the track in the area of the contact points $P_1... P_4$ has in each case a finite radius of the transversely convex arch $R_{L1}... R_{L4}$, with $R_{Lv} > R_K$, and wherein the radius of the transversely convex arch R_L has in the surroundings of a contact point $P_1... P_4$ in each case a continuous differentiated function of the poloidal angular coordinate θ : $R_L = R_L(\theta)$, which increases in each case starting from the respective contact point $P_1... P_4$ in both poloidal directions: $R_L(\theta) \geq R_L(\theta_{Pv})$.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung richtet sich
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

auf ein Kugellager mit einem ersten und einem zweiten Laufring und wenigstens einer Reihe von in dem Spalt zwischen beiden Laufringen angeordneten Kugeln vom Radius R_K , welche entlang von einander zugewandten Laufbahnen der beiden Laufringe abrollen, wobei sich die Mittelpunkte der Kugeln einer Reihe auf einer Kreisbahn bewegen, die von einem sämtlichen Kugeln dieser Reihe umschriebenen Torus umgeben ist mit dem toroidalen Radius R_K , einer toroidalen Winkelkoordinate φ und einer poloidalen Winkelkoordinate θ , und wobei jede Laufbahn mit jeder Kugel je zwei nahezu punktförmige Berührungsbereiche oder Berührungspunkte P_1, P_2, P_3, P_4 aufweist unter dem jeweiligen Tragwinkel $\theta_{P1}, \theta_{P2}, \theta_{P3}$ und θ_{P4} , und wobei der Laufbahnquerschnitt im Bereich der Berührungspunkte $P_1 \dots P_4$ je einen endlichen Querwölbungsradius $R_{L1} \dots R_{L4}$ aufweist mit $R_{Lv} > R_K$, und wobei schließlich in der Umgebung eines Berührungspunktes $P_1 \dots P_4$ der Querwölbungsradius R_L jeweils eine stetige und differenzierbare Funktion der poloidalen Winkelkoordinate θ ist: $R_L = R_L(\theta)$, die von dem jeweiligen Berührungspunkt $P_1 \dots P_4$ ausgehend in beiden poloidalen Richtungen jeweils zunimmt: $R_L(\theta) \geq R_L(\theta_{Pv})$.

Kugellager

Die Erfindung richtet sich auf ein Kugellager mit einem ersten und einem
5 zweiten Laufring und wenigstens einer Reihe von in dem Spalt zwischen
beiden Laufringen angeordneten Kugeln vom Radius R_K , welche entlang von
einander zugewandten Laufbahnen der beiden Laufringe abrollen, wobei sich
die Mittelpunkte der Kugeln einer Reihe auf einer Kreisbahn bewegen, die von
10 einem sämtlichen Kugeln dieser Reihe umbeschriebenen Torus umgeben ist
mit dem toroidalen Radius R_K , einer toroidalen Winkelkoordinate φ und einer
poloidalen Winkelkoordinate θ , und wobei jede Laufbahn mit jeder Kugel je
zwei nahezu punktförmige Berührungsbereiche oder Berührungspunkte $P_1, P_2;$
 P_3, P_4 aufweist unter dem jeweiligen Tragwinkel $\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ und θ_{P4} , und wobei
im Bereich der Tragwinkel $\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ und θ_{P4} die Laufbahnquerschnitte
15 Querwölbungen aufweisen mit endlichen Wölbungsradien $R_{L1} \dots R_{L4}$, welche
jeweils größer sind als der Kugelradius R_K : $R_{Lv} > R_K$.

Derartige Vierpunktlager gibt es in verschiedenen Bauformen, bspw. als ein-
oder mehrreihiges Kugellager. Nicht selten weisen die dabei verwendeten
20 Laufbahnen ein gotisches Profil auf, d.h. die Querwölbung folgt
abschnittsweise je einem Kreisbahnausschnitt; zwei derartige
Kreisbahnsegmente schließen jedoch etwa auf der Mitte der Bahn einen
spitzen Winkel miteinander ein, entsprechend einem gotischen Bogen.
Dadurch ist es möglich, trotz Wölbungsradien $R_{L1} \dots R_{L4}$, welche jeweils größer
25 sind als der Kugelradius R_K : $R_{Lv} > R_K$, zwei Berührungspunkte zwischen einer
Laufbahn und einer Kugel zu realisieren.

Der poloidale Winkel, an dem sich ein Berührungspunkt oder -bereich einstellt,
wird im Allgemeinen als Tragwinkel bezeichnet. Häufig liegen die Tragwinkel
30 etwa zwischen 40° und 50° , insbesondere bei etwa 45° , bzw. zwischen -40°
und -50° , insbesondere bei etwa -45° , bezogen auf die durch die
Kugelmittelpunkte einer Reihe verlaufende Ebene.

Infolge dieser bevorzugten Lage der Tragwinkel ergeben sich bei der Übertragung von Lasten stets Lastkomponenten in axialer und radialer Richtung. Selbst bei einer rein axialen Belastung ergeben sich dadurch stets auch radiale Lastkomponenten, welche bei großem Lagerdurchmesser von bspw. mehr als 0,5 m, vorzugsweise 1,0 m oder mehr, insbesondere 2,0 m oder mehr, zu einer radialen Aufweitung des Außenrings einerseits und zu einer Einschnürung des Innenrings andererseits führen.

Bei kombinierter Belastung, also überlagerten Axial-, Radial- und/oder Kippmomentbelastungen, ergeben sich Verformungen der Laufringe in Form je einer Ellipse. Dort, wo die höchste Belastung übertragen wird, weitet sich der äußere Laufring am stärksten auf und der innere Laufring schnürt sich am stärksten ein. Beide Lagerringe verformen sich dabei zu Ellipsen, deren Hauptachsen jedoch gegeneinander verdreht sind, insbesondere um etwa 90° , so dass bspw. die großen Halbachsen des äußeren Lagerrings etwa mit den kleinen Halbachsen des inneren Lagerrings zusammenfallen und demnach die Weite des Spaltes zwischen beiden Lagerringen in Abhängigkeit vom toroidalen Winkel φ variiert.

Da sich die beiden Lagerringe in denjenigen Bereichen, wo die höchste Belastung übertragen wird, relativ zueinander am weitesten aufweiten, verschieben sich die Tragwinkel an diesen Stellen am stärksten. Dabei können sich je nach Verformung und Steifigkeit der Anschlußkonstruktion die Tragwinkel bis hin zu $\pm 65^\circ$ oder $\pm 70^\circ$, sogar bis $\pm 75^\circ$ oder noch darüber hinaus verschieben.

Bei starken Beanspruchungen oder einer gewissen Vorspannung ergibt sich anstelle eines Berührungspunktes zwischen Kugel und Lauffläche ein flächiger Berührungsbereich, vorzugsweise von etwa elliptischer Form, die sog. Druckellipse. Wenn sich bei einer großen Verschiebung der Tragwinkel dieser Berührungsbereich bzw. die Druckellipse dem Lagerspalt nähert, kann sie

durch die Kante zwischen Laufbahn und Lagerspalt beschnitten wird. Tritt dieser Fall ein, so steigt nicht nur die Belastung der Kugel in dem verbleibenden Kontaktbereich, sondern es ergeben sich insbesondere auch erhöhte Kantenpressungen, welche rasch zu einer Beschädigung der Kugeln und Laufbahnen führen. Dieser Effekt ist um so stärker, je größer der Durchmesser des Kugellagers ist, und je geringer die Struktursteifigkeit einer Anschlußkonstruktion ist. Bei ungünstigen Verhältnissen muß daher anstelle eines Vierpunktlagers eine aufwendigere und teurere Lagerbauform gewählt werden, bspw. ein mehrreihiges Rollenlager mit wenigstens einer Rollenreihe mit einem Tragwinkel von 90° für Axial- und Kippmomentbelastungen sowie mit wenigstens einer Rollenreihe mit einem Tragwinkel von 0° zur Übertragung von Radialbelastungen.

Aus den Nachteilen des beschriebenen Standes der Technik resultiert das die Erfindung initiiierende Problem, ein gattungsgemäßes Kugellager derart weiterzubilden, dass die beschriebenen Nachteile bekannter Vierpunktlager vermieden werden. Insbesondere wäre es wünschenswert, die Anordnung derart zu treffen, dass sich trotz starker Belastung die Tragwinkel des Vierpunktlagers nicht allzu weit von ihrer normalen Lage entfernen.

20

Die Lösung dieses Problems gelingt dadurch, dass der Querkwölbungsradius R_L der Laufbahn(en) in der Umgebung der Tragwinkel θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} jeweils eine stetige und differenzierbare Funktion der poloidalen Winkelkoordinate θ ist: $R_L = R_L(\theta)$, die von dem jeweiligen Tragwinkelbereich θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} ausgehend in beiden poloidalen Richtungen jeweils zunimmt: $R_L(\theta) \geq R_L(\theta_{Pv})$, ggf. sogar über einen Wendepunkt P_W bei einem poloidalen Winkel θ_W mit einem Querkwölbungsradius $R_L(\theta_W) = \pm \infty$ bis hin zu konvexen Querkwölbungsradien $R_L(\theta) < 0$.

Demnach weicht die Oberfläche der Laufbahn jeweils von einem voreingestellten Tragwinkel θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} in beiden poloidalen Richtungen gegenüber einem kreisförmigen Querschnittsverlauf, wie er bspw.

bei einem Torus vorzufinden ist, zurück. Obwohl diese Zurückweichung nicht sehr groß sein muß, hat sie doch den Effekt, dass sich bei einer Verformung der Ringe bspw. infolge äußerer Radial- oder Axialkräfte oder Kippmomente die tatsächlichen Tragwinkel weniger verschieben als bei einem kreisförmigen Querschnittsverlauf der Laufbahnen, insbesondere nicht zu extrem hohen Werten im Bereich von 75° oder mehr. Die Laufbahnkante ist daher selbst bei sehr hohen Belastungen und geringer Steifigkeit der Anschlußkonstruktion nicht überlastet.

- 10 Ein Effekt der geringeren Tragwinkelverschiebung ist, dass die Kugeln mit geringeren Gleitanteilen entlang der Laufbahnen abrollen können. Infolge eines geringeren Gleitanteils verbessert sich das gesamte Abrollverhalten der Kugeln, so dass der Verschleiß der Laufbahn reduziert und die praktisch nutzbare Lebensdauer des Kugellagers verlängert wird.

15

- Aufgrund der besseren Abrolleigenschaften ist außerdem der Drehwiderstand eines derartigen Kugellagers geringer als bei einem konventionellen Vierpunktlager. Damit kann bei motorisch angetriebenen Geräten, Maschinen oder Anlagen auf einen schwächeren, d.h. preisgünstigeren Antrieb zurückgegriffen werden; der Energieverbrauch sinkt, wodurch die Umwelt geschont wird. Beim Einsatz in Wind- oder Wasserkraftanlagen wird dadurch der Eigenverbrauch an Energie reduziert und damit der Wirkungsgrad gesteigert.

20

- 25 Aufgrund der obigen Vorschrift kann die Laufbahnquerwölbung also konkav sein mit einem Querwölbungsradius R_L größer als dem Kugelradius R_K , sowie zumindest bereichsweise konvex mit einem Querwölbungsradius R_L kleiner als 0. Der dazwischen liegende Wertebereich $[0; R_K]$ ist jedoch ausgenommen bzw. für den Querwölbungsradius R_L ungeeignet.

30

Es hat sich als günstig erwiesen, dass die Laufbahnkontur eine endliche Schmiegun g $S = (R_K/R_L) \cdot 100\% \neq 0$ aufweist, ggf. mit Ausnahme von

Wendepunkten der Laufbahnkontur. Die Schmiegun g ist dabei definiert als Verhältnis aus Kugelradius R_K und lokalem Querwölbungsradius R_L der Laufbahn, multipliziert mit 100 % und verändert sich daher bei einem erfindungsgemäßen Kugellager in Abhängigkeit von dem poloidalen Winkel θ .

5

Eine bevorzugte Konstruktionsvorschrift sieht vor, dass die Laufbahnkontur im Bereich der Tragwinkel, d.h., bei $\theta_{pv} - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_{pv} + 5^\circ$, jeweils eine Schmiegun g $S = (R_K/R_L) \cdot 100\%$ zwischen 98 % bis 90 % aufweist, vorzugsweise eine Schmiegun g S von 97 % bis 92 %, insbesondere eine
10 Schmiegun g S von 96 % bis 94 %. Derart hohe Schmiegun gen - wobei also der Querwölbungsradius R_L der Laufbahn nur um wenige Prozent größer ist als der Kugelradius R_K - würden bei einem konventionellen Vierpunktlager schnell zu einer starken Verschiebung der Tragwinkel infolge von Lagerbelastungen führen und können daher nur in Verbindung mit dem
15 erfindungsgemäßen Lehre erreicht werden.

Die Erfindung läßt sich dahingehend weiterbilden, dass die Laufbahnkontur in der Nähe des Lagerspalts eine Schmiegun g $S = (R_K/R_L) \cdot 100\%$ zwischen 90 % bis 50 % aufweist, vorzugsweise eine Schmiegun g S von 90 % bis 60 %,
20 insbesondere eine Schmiegun g S von 90 % bis 70 %. Wie man daraus ersehen kann, darf der Querwölbungsradius R_L der Laufbahn im Bereich des Lagerspalts erheblich größer sein als der Kugelradius, bspw. um 10 % bis 50 %. Dank der erfindungsgemäßen Konstruktion werden diese Bereiche der Laufbahn von den Kugeln so gut wie niemals berührt.

25

Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass die Querwölbung der Laufbahn(en) in der Umgebung der Tragwinkelbereiche θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} keine kreisförmige Kontur aufweist, insbesondere auch nicht abschnittsweise. Eben durch die Abkehr von einer kreisförmigen Kontur lassen sich erfindungsgemäß die
30 gestellten Probleme lösen.

Die Erfindung sieht weiterhin vor, dass die Querkwölbung der Laufbahnkontur in der Umgebung der Tragwinkelbereiche θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} einer stetigen und differenzierbaren Funktion folgt, vorzugsweise einer Potenz- oder Polynomfunktion, bspw. $P(\theta) = a_0 + a_1 \cdot \theta + a_2 \cdot \theta^2 + \dots + a_n \cdot \theta^n$, oder einer
5 Exponentialfunktion, bspw. $E(\theta) = e^{f(\theta)}$, oder einer Ellipsenkurve oder einer Summenfunktion $S(\theta) = \sum f_v(\theta)$ oder einer sonstigen Kombination von zwei oder mehr derartigen Funktionen. Wichtig ist die Stetigkeit und Differenzierbarkeit im Bereich der Tragwinkel θ_{P1} , θ_{P2} , θ_{P3} und θ_{P4} und deren Umgebungen.

10

Eine besonders einfache Anordnung ergibt sich, wenn die Querkwölbung der Laufbahnkontur symmetrisch ist. Die Symmetrieebene verläuft dann innerhalb der Ringebeine, und zwar mittig zwischen den zwei Berührungspunkten einer Kugel mit einer Laufbahn.

15

Andererseits kann die Querkwölbung der Laufbahnkontur auch asymmetrisch sein, bspw. falls die axiale Belastung des Lagers asymmetrisch ist, d.h. überwiegend in einer axialen Richtung auftritt.

20 Die Erfindung lässt sich dahingehend weiterbilden, dass die Querkwölbung der Laufbahnkontur wenigstens einen Wendepunkt aufweist. Ein solcher Wendepunkt bedeutet eine Änderung der Laufbahnquerkwölbung über $R_L = \infty$ hinweg und von $R_L = -\infty$ weiter zu einer negativen Querkwölbung mit kleiner werdendem Krümmungsradius, d.h., die Laufbahnquerkwölbung ist ab dem
25 Wendepunkt bzw. jenseits desselben nicht mehr konkav wie in der unmittelbaren Umgebung des Tragwinkels, sondern wird ab dort dann konvex.

In Weiterverfolgung dieses Erfindungsgedankens kann ferner vorgesehen sein, dass sich wenigstens ein Wendepunkt der Querkwölbung der
30 Laufbahnkontur in der Nähe des Lagerspalts befindet, also deutlich von dem betreffenden Tragwinkel θ_v entfernt. Die Schmiegun g S könnte dort dann sogar negativ werden, wodurch die Ausbildung einer scharfen Kante vermieden wird,

was ebenfalls eine Maßnahme zur Steigerung der erreichbaren Betriebsdauer darstellt.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Kugellager um ein Radiallager.
5 Andererseits kann die Erfindung auch bei Axiallagern eingesetzt werden, insbesondere mit zwei Scheiben, zwischen denen die Wälzkörper abrollen, bspw. einer Wellenscheibe und einer Gehäusescheibe.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass ein oder vorzugsweise beide Laufringe
10 jeweils eine ebene Anlagefläche zum Anschluß an ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil aufweist (-en). Damit wird einerseits die von dem erfindungsgemäßen Kugellager geleistete (Dreh-) Führung auf die betreffenden Anlagenteile übertragen. Andererseits kann auf diesem Weg ein massives und dadurch stabiles Anschlußelement seine
15 Struktursteifigkeit auf das Kugellager übertragen, um dieses vor Verformungen und sonstigen Überlastungen zu schützen.

Bevorzugt weist (-en) die ebene(n) Anlagefläche(n) Befestigungsmittel zur
Verbindung mit einem Fundament, Chassis oder sonstigem Maschinen- oder
20 Anlagenteil auf. Erst dadurch wird ein Kräfteaustausch zwischen dem erfindungsgemäßen Kugellager und einem Anschlußelement ermöglicht.

Die Erfindung empfiehlt, die Befestigungsmittel als kranzförmig verteilte
Bohrungen auszugestalten. Eine größere Anzahl derartiger, vorzugsweise
25 äquidistant über einen Lagerring verteilter Befestigungsbohrungen schafft eine innige Verbindung zwischen den betreffenden Teilen, wodurch Axial- und Kippkräfte und - über den durch die zusammengepreßten Teile verursachten Reibschluß auch Drehmomente und Radialkräfte übertragen werden können.

30 Die der Befestigung dienenden Bohrungen können sowohl als Durchgangs- oder als Sacklochbohrungen ausgebildet sein. Bevorzugt dienen sie der

Fixierung mittels durchgesteckter oder eingeschraubter Maschinenschrauben, Gewindebolzen od. dgl.

5 Zu diesem zweck sieht eine erfindungsgemäße Konstruktionsvorschrift vor, die Bohrungen, insbesondere Sacklochbohrungen, mit einem Innengewinde zu versehen. Bei Durchgangsbohrungen können stattdessen zur Festlegung auf das durchgesteckte Ende aufgeschraubte Kontermuttern verwendet werden.

10 Es hat sich bewährt, dass die ebenen Anlageflächen beider Laufringe zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil an beiden Laufringen in entgegengesetzten (Achs-) Richtungen weisen. Durch diese Maßnahme bildet die Ebene des erfindungsgemäßen Kugellagers quasi eine Trennungsebene zwischen den gegeneinander verdrehbaren Maschinen- oder Anlagenteilen, wobei sich ein Anlagenteil 15 oberhalb der Kugellagerebene und das andere unterhalb derselben befindet.

Weitere Vorteile ergeben sich dadurch, dass die ebene Anlagefläche eines Laufrings zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil in (Achs-) Richtung des Kugellagers gegenüber 20 der betreffenden Ringfläche des anderen Laufrings erhaben ist. Dadurch wird einem Entlangstreifen der nicht als Anschlußfläche dienenden Stirnseite eines Lagerrings an dem betreffenden Anlagenteil vorgebeugt.

Schließlich entspricht es der Lehre der Erfindung, dass die ebenen 25 Anlageflächen beider Laufringe zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil an beiden Laufringen in entgegengesetzten (Achs-) Richtungen gegeneinander versetzt sind, also bspw. die obere Anschlußfläche nach oben, die untere dagegen nach unten. Dadurch ist es möglich, dass beide Lagerringe etwa die gleiche Höhe 30 aufweisen und damit etwa den selben Querschnitt sowie schließlich auch eine annähernd identische Stabilität.

Weitere Merkmale, Einzelheiten, Vorteile und Wirkungen auf der Basis der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sowie anhand der Zeichnung. Hierbei zeigt:

5 Fig. 1 einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Kugellager, teilweise abgebrochen;

Fig. 2 eine Vergrößerung des Details II aus Fig. 1; sowie

10 Fig. 3 eine andere Ausführungsform der Erfindung, etwa in einer der Fig. 2 entsprechenden Darstellung.

Der Schnitt gemäß Fig. 1 führt quer durch ein erfindungsgemäßes Kugellager 1, und ist dabei beschränkt auf jeweils eine Ringhälfte des Kugellagers 1 und begrenzt auf ein Detail in der Umgebung des Spaltes 2 zwischen den beiden
15 Kugellagerringen 3, 4, worin eine Kugel 5 mit dem Kugelradius R_K stellvertretend für eine Kugelreihe zu sehen ist sowie deren Umgebung. Bei dem dargestellten Kugellager 1 handelt es sich um ein Radiallager, wobei die Lagerdrehachse vertikal verläuft, allerdings - bedingt durch den großen
20 Durchmesser des erfindungsgemäßen Kugellagers 1 - weit jenseits einer vertikalen Kante des Zeichenblattes. Dabei entspricht bspw. der links in abgebrochener Form dargestellte Ring 3 dem Außenring, und der rechts ebenfalls abgebrochen wiedergegebene Ring 4 dem Innenring; die Kugellagerdrehachse wäre dann rechts außerhalb des sichtbaren
25 Zeichenbereichs. Für die vorliegende Erfindung ist allerdings die Frage, welches der Innenring ist und welches der Außenring, von untergeordneter Bedeutung.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die jeweils dem Spalt 2 zugewandte Fläche
30 6, 7 der beiden Lagerringe 3, 4 jeweils eine rundum laufende Laufbahn-Vertiefung 8, 9 aufweist. Die Kugeln 5 finden in diesem beiden Laufbahn-Vertiefungen 8, 9 Platz, so dass die Breite B des Spaltes 2 zwischen den

beiden Lagerringen 3, 4 kleiner ist als der Kugeldurchmesser $D_K = 2 \cdot R_K$, vorzugsweise sogar kleiner als der Kugelradius R_K .

5 Während die Kugeln 5 zwischen den beiden Laufbahnen 8, 9 abrollen, bewegen sich ihre Mittelpunkte M auf einer Kreisbahn 10, welche in Fig. 1 die Zeichenebene lotrecht durchsetzt. Die Kugelkörper bewegen sich dabei innerhalb eines gedachten Torus, der die Kreisbahn 10 mit konstantem toroidalem Radius R_K umgibt. Die Punkte auf der Oberfläche dieses gedachten
10 Torus lassen sich identifizieren mittels eines Koordinatensystems, bestehend aus der toroidalen Winkelkoordinate φ und der poloidalen Winkelkoordinate θ . Der toroidale Winkel φ wird entlang der Kreisbahn 10 gemessen, der poloidale Winkel θ entlang einer Kreisbahn 11, deren Ebene jeweils lotrecht von der Kreisbahn 10 durchsetzt wird; in Fig. 1 liegt diese Kreisbahn 11 in der Zeichenebene. Verallgemeinert man den toroidalen Radius R_K zu einer
15 Radialkoordinate r , so kann das die Oberfläche des gedachten Torus bedeckende Koordinatensystem φ , θ auf den gesamten dreidimensionalen Raum extrapoliert werden, zumindest in der Umgebung des gedachten Torus bzw. Innerhalb des Kugellagers 1. Daher kann jedem Punkt des Kugellagers 1 und damit auch jedem Punkt der beiden Laufbahnen 8, 9 jeweils
20 ein toroidaler Winkel φ und ein poloidaler Winkel θ zugeordnet werden.

Das in Fig. 1 dargestellte Kugellager 1 weist symmetrische Laufbahnen 8, 9 auf, was allerdings nicht unbedingt zwingend ist. Dies bedeutet bei dem dargestellten Beispiel, dass die Querschnitte der beiden Laufbahnkonturen 8, 9
25 zueinander symmetrisch sind, und zwar bezüglich einer ersten Symmetrieachse 12, die mittig entlang des Spaltes 2 verläuft, also gleiche Abstände zu den beiden einander zugewandten Flächen 6, 7 der beiden Lagerringe 3, 4 einhält. Lotrecht zu dieser Symmetrieachse 12, und zwar auf Höhe des Kugelmittelpunktes M bzw. der Kreisbahn 10, verläuft eine zweite
30 Symmetrieachse 13; diese Symmetrieachse 13 verläuft damit parallel zu der Grundebene des Kugellagers 1. Wie man Fig. 1 entnehmen kann, bilden diese Symmetrieachsen 12, 13 eine Art Koordinatenkreuz eines lokalen kartesischen

Koordinatensystems, dessen dritte Koordinatenachse die Tangente an die Kreisbahn 10 wäre. Der poloidale Winkel θ wird vorzugsweise von der in Fig. 1 horizontal verlaufenden Koordinatenachse 13 aus gezählt, also von derjenigen Koordinatenachse, welche radial zum Mittelpunkt der Kugellagerringe 3, 4 bzw. zu der Drehachse des Kugellagers 1 hin verläuft.

Durch die Symmetrieachse 13 werden die beiden Laufbahnen 8, 9 jeweils in zwei Abschnitte unterteilt, nämlich in einen oberen Abschnitt und einen unteren Abschnitt, welche vorzugsweise symmetrisch zueinander sind bezüglich der Symmetrieachse 13.

Im Querschnitt gemäß Fig. 1 ergeben sich durch die einander schneidenden Symmetrieachsen 12, 13 insgesamt vier Quadranten. Beide Laufbahnen 8, 9 sind nun derart gestaltet, dass in jedem dieser vier Quadranten je ein Berührungspunkt einer Laufbahn 8, 9 mit der Kugel 5 liegt, nämlich die Berührungspunkte P_1 , P_2 , P_3 und P_4 , welche jeweils unter den poloidalen Winkeln θ_1 , θ_2 , θ_3 und θ_4 zu finden sind.

In Fig. 1 ist der von äußeren Kräften freie Zustand des Kugellagers 1 zu sehen, wobei die Tragwinkel θ_1 , θ_2 , θ_3 und θ_4 sich bei den dafür vorgesehenen Werten befinden, im dargestellten Beispiel jeweils um einen Tragwinkel von etwa $\pm 45^\circ$ von der mittigen Lagerebene 13 nach oben bzw. nach unten versetzt, entsprechend der Anordnung eines Vierpunktlagers.

In der Umgebung dieser Tragwinkel, also bspw. innerhalb der Bereiche $[\theta_1 - \Delta, \theta_1 + \Delta]$, $[\theta_2 - \Delta, \theta_2 + \Delta]$, $[\theta_3 - \Delta, \theta_3 + \Delta]$, und $[\theta_4 - \Delta, \theta_4 + \Delta]$, bspw. mit $\Delta = 1^\circ$ oder $\Delta = 2^\circ$ oder $\Delta = 5^\circ$ od. dgl., haben die Laufbahnen 8, 9 je einen Querwölbungsradius von $R_{LT} \approx R_K$, jedoch geringfügig größer als jener: $R_{LT} > R_K$. Die dortige Schmiegun g S liegt bei 98 % bis 99 %.

Von diesen Bereich aus erhöht sich der Querwölbungsradius R_L zunehmend, und zwar gemäß einer stetigen und differenzierbaren Funktion. Demzufolge

weichen die Konturen der Laufbahnen 8, 9 von den Tragwinkelbereichen $[\theta_1 - \Delta, \theta_1 + \Delta]$, $[\theta_2 - \Delta, \theta_2 + \Delta]$, $[\theta_3 - \Delta, \theta_3 + \Delta]$, und $[\theta_4 - \Delta, \theta_4 + \Delta]$ aus in beiden Richtungen nach außen (bezogen auf den Kugelmittelpunkt M) gegenüber einer Kreislinie mit Radius R_{LT} zurück, da in diesen Bereichen jenseits bzw.
5 fern der Tragwinkelbereiche gilt: $R_L > R_{LT}$.

Man kann in Fig. 2 erkennen, dass sich dadurch im Bereich der Laufbahnkante 14, also dort, wo eine Laufbahn 8, 9 in die Begrenzungsflächen 6, 7 des Spaltes 2 übergeht, eine Abweichung $a > 0$ gegenüber der in Fig. 2 gestrichelt
10 eingetragenen Kreislinie mit dem Radius R_{LT} ergibt. Aufgrund dieses Zurückweichens fällt auch der hypothetische Mittelpunkt der lokalen Querwölbung einer Laufbahn 8, 9 außerhalb der Tragwinkelbereiche $[\theta_1 - \Delta, \theta_1 + \Delta]$, $[\theta_2 - \Delta, \theta_2 + \Delta]$, $[\theta_3 - \Delta, \theta_3 + \Delta]$, und $[\theta_4 - \Delta, \theta_4 + \Delta]$ nicht mit der Kreislinie
15 diesem ab. Mehrere derartige, abweichende Krümmungsmittelpunkte 15, 16 sind in Fig. 1 eingetragen. Im Bereich der Laufbahnkante 14 liegt die Schmiegun g S nur noch bei 90 % bis 50 %.

In Fig. 3 ist eine weiter abgewandelte Ausführungsform der Erfindung
20 wiedergegeben, wobei sich in der Querschnittskontur einer Laufbahn 8, 9 ein Wendepunkt W ergibt und die Laufbahn 8, 9 jenseits desselben zumindest bereichsweise einen konvex gekrümmten Querwölbungsverlauf aufweist. Dieser konvexe Bereich 17 kann sich entweder bis zu der Laufbahnkante 14 erstrecken oder nach einem weiteren Wendepunkt alsdann wieder durch eine
25 konkave Kurve fortgesetzt werden.

Im Bereich des Äquators der Kugel 5, d.h. bei der zur Lagergrundebene parallelen Symmetrieachse 13, weisen die Laufbahnen 8, 9 je eine flache, rillenförmige Vertiefung 18 auf, die als Vorratstasche für Schmierfett dienen
30 kann.

Bezugszeichenliste

- 1 Kugellager
- 2 Spalt
- 3 Lagerring
- 4 Lagerring
- 5 Kugel
- 6 Fläche
- 7 Fläche
- 8 Laufbahn
- 9 Laufbahn
- 10 Kreisbahn
- 11 Kreisbahn
- 12 Symmetrieachse
- 13 Symmetrieachse
- 14 Laufbahnkante
- 15 verschobener Mittelpunkt
- 16 verschobener Mittelpunkt
- 17 Bereich
- 18 rillenförmige Vertiefung

Patentansprüche

1. Kugellager (1) mit einem ersten und einem zweiten Laufring (3,4) und
 5 wenigstens einer Reihe von in dem Spalt (2) zwischen beiden Laufringen
 (3,4) angeordneten Kugeln (5) vom Radius R_K , welche entlang von
 einander zugewandten Laufbahnen (8,9) der beiden Laufringe (3,4)
 abrollen, wobei sich die Mittelpunkte (M) der Kugeln (5) einer Reihe auf
 10 einer Kreisbahn (10) bewegen, die von einem sämtlichen Kugeln (5)
 dieser Reihe umbeschriebenen Torus umgeben ist mit dem toroidalen
 Radius R_K , einer toroidalen Winkelkoordinate φ und einer poloidalen
 Winkelkoordinate θ , und wobei jede Laufbahn (8,9) mit jeder Kugel (5) je
 zwei nahezu punktförmige Berührungsbereiche oder Berührungspunkte
 15 ($P_1, P_2; P_3, P_4$) aufweist unter dem jeweiligen Tragwinkel ($\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$
 und θ_{P4}), und wobei im Bereich der Tragwinkel ($\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ und θ_{P4}) die
 Laufbahnquerschnitte Querwölbungen aufweisen mit endlichen
 Wölbungsradien ($R_{L1} \dots R_{L4}$), welche jeweils größer sind als der
 Kugelradius (R_K): $R_{Lv} > R_K$, **dadurch gekennzeichnet**, dass der
 Querwölbungsradius (R_L) der Laufbahn(en) (8,9) in der Umgebung der
 20 Tragwinkel ($\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ und θ_{P4}) jeweils eine stetige und
 differenzierbare Funktion der poloidalen Winkelkoordinate θ ist: $R_L =$
 $R_L(\theta)$, die von dem jeweiligen Tragwinkelbereich ($\theta_{P1}, \theta_{P2}; \theta_{P3}$ und θ_{P4})
 ausgehend in beiden poloidalen Richtungen jeweils zunimmt: $R_L(\theta) \geq$
 $R_L(\theta_{Pv})$, ggf. sogar bis hin zu konvexen Querwölbungsradien $R_L < 0$.
 25
2. Kugellager (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
 Laufbahnkontur eine endliche Schmiegun $S = (R_K/R_L) \cdot 100\% \neq 0$
 aufweist, ggf. mit Ausnahme von Wendepunkten (W) der
 Laufbahnkontur.
3. Kugellager (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 30 die Laufbahnkontur im Bereich der Tragwinkel, d.h., bei $\theta_{Pv} - 5^\circ \leq \theta \leq \theta_{Pv}$

+ 5°, jeweils eine Schmiegun g $S = (R_K/R_L) \cdot 100\%$ zwischen 98 % bis 90 % aufweist, vorzugsweise eine Schmiegun g S von 97 % bis 92 %, insbesondere eine Schmiegun g S von 96 % bis 94 %.

- 5 4. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufbahnkontur in der Nähe des Lagerspalts (2) eine Schmiegun g $S = (R_K/R_L) \cdot 100\%$ zwischen 90 % bis 50 % aufweist, vorzugsweise eine Schmiegun g S von 90 % bis 60 %, insbesondere eine Schmiegun g S von 90 % bis 70 %.
- 10
5. Kugellager (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Querwölbung der Laufbahn(en) in der Umgebung der Tragwinkelbereiche θ_{P1} , θ_{P2} ; θ_{P3} und θ_{P4} keine kreisförmige Kontur aufweist, insbesondere auch nicht abschnittsweise.
- 15
6. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Querwölbung der Laufbahnkontur in der Umgebung der Tragwinkelbereiche θ_{P1} , θ_{P2} ; θ_{P3} und θ_{P4} einer stetigen und differenzierbaren Funktion folgt, vorzugsweise einer
- 20 Potentialfunktion oder einer Reihe oder einer Exponentialfunktion oder elliptischen Kontur oder einer Kombination von zwei oder mehr derartigen Funktionen.
7. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
- 25 gekennzeichnet, dass die Querwölbung der Laufbahnkontur symmetrisch ist.
8. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Querwölbung der Laufbahnkontur
- 30 asymmetrisch ist.

9. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Querwölbung der Laufbahnkontur wenigstens einen Wendepunkt (W) aufweist.
- 5 10. Kugellager (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sich wenigstens ein Wendepunkt (W) der Querwölbung der Laufbahnkontur in der Nähe des Lagerspalts (2) befindet.
- 10 11. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Kugellager (1) ein Radiallager oder ein Axiallager ist.
- 15 12. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder vorzugsweise beide Laufringe jeweils eine ebene Anlagefläche zum Anschluß an ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil aufweist.
- 20 13. Kugellager (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die ebene(n) Anlagefläche(n) Befestigungsmittel zur Verbindung mit einem Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil aufweist (-en).
- 25 14. Kugellager (1) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Befestigungsmittel als kranzförmig verteilte Bohrungen ausgestaltet sind.
15. Kugellager (1) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Bohrungen als Durchgangs- oder Sacklochbohrungen ausgebildet sind.
- 30 16. Kugellager (1) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bohrungen, insbesondere Sacklochbohrungen, mit einem Innengewinde versehen sind.

17. Kugellager (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die ebenen Anlageflächen beider Laufringe zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil an beiden Laufringen in entgegengesetzten (Achs-) Richtungen weisen.
18. Kugellager (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die ebenen Anlageflächen beider Laufringe zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil an beiden Laufringen in entgegengesetzten (Achs-) Richtungen gegeneinander versetzt sind.
19. Kugellager (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ebene Anlagefläche eines Laufrings zum Anschluß an je ein Fundament, Chassis oder sonstiges Maschinen- oder Anlagenteil in (Achs-) Richtung des Kugellagers gegenüber der betreffenden Ringfläche des anderen Laufrings erhaben ist.
