



(10) **DE 10 2017 106 962 A1** 2018.10.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 106 962.3**

(22) Anmeldetag: **31.03.2017**

(43) Offenlegungstag: **04.10.2018**

(51) Int Cl.: **F16C 33/36** (2006.01)

**F16C 19/00** (2006.01)

**F16C 19/38** (2006.01)

**F16C 13/02** (2006.01)

**F03D 80/70** (2016.01)

(71) Anmelder:

**thyssenkrupp AG, 45143 Essen, DE;**  
**thyssenkrupp Rothe Erde GmbH, 44137**  
**Dortmund, DE**

(74) Vertreter:

**Kutzenberger Wolff & Partner**  
**Patentanwaltspartnerschaft mbB, 50668 Köln, DE**

(72) Erfinder:

**Busemann, Nico, 59065 Hamm, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	44 40 260	A1
DE	10 2007 049 087	A1
DE	10 2010 054 948	A1
DE	10 2013 201 326	A1
DE	10 2014 104 862	A1
DE	10 2014 106 558	A1
JP	2013- 96 448	A

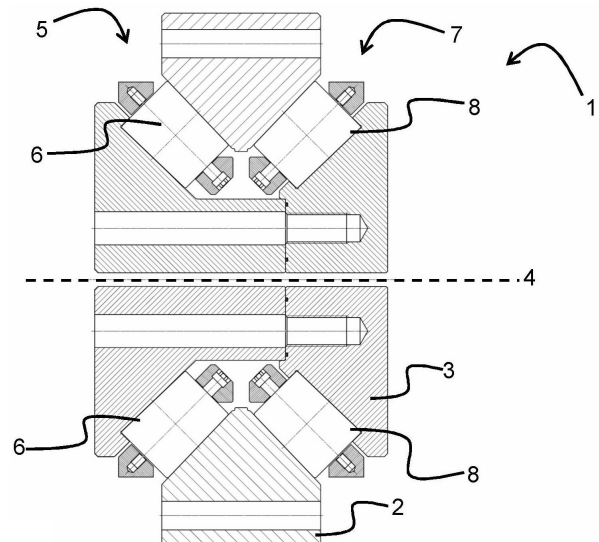
**Norm DIN 26281 2010-11-00. Wälzlager**  
**- Dynamische Tragzahlen und nominelle**  
**Lebensdauer-Berechnung der modifizierten**  
**nominellen Referenz-Lebensdauer für Wälzlager**  
**(ISO/TS 16281:2008 + Cor. 1:2009). S. 1-25.**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Wälzlageranordnung und Windkraftanlage**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Wälzlageranordnung (1) für eine Windkraftanlage (10) aufweisend einen Außenring (2) und einen zumindest teilweise innerhalb des Außenrings (2) gelagerten Innenring (3) vorgeschlagen, wobei der Außenring (2) und der Innenring (3) um eine Drehachse (4) relativ zueinander drehbar sind, wobei zwischen dem Außenring (2) und dem Innenring (3) ein erstes Kegelrollenlager (5) mit ersten Kegelrollen (6) und ein zweites Kegelrollenlager (7) mit zweiten Kegelrollen (8) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass im unbelasteten Zustand der Wälzlageranordnung (1) die ersten Kegelrollen (6) ein erstes logarithmisches Rollenprofil und die zweiten Kegelrollen (8) ein von dem ersten logarithmischen Rollenprofil abweichendes zweites logarithmisches Rollenprofil aufweisen. Ferner wird eine die Wälzlageranordnung (1) aufweisende Windkraftanlage (10) vorgeschlagen.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einer Wälzlageranordnung für eine Windkraftanlage aufweisend einen Außenring und einen zumindest teilweise innerhalb des Außenrings gelagerten Innenring, wobei der Außenring und der Innenring um eine Drehachse relativ zueinander drehbar sind, wobei zwischen dem Außenring und dem Innenring ein erstes Kegelrollenlager mit ersten Kegelrollen und ein zweites Kegelrollenlager mit zweiten Kegelrollen angeordnet ist.

**[0002]** Solche Wälzlageranordnungen sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt. Beispielsweise offenbart die Druckschrift DE 10 2014 106 558 A1 eine Lageranordnung zur drehbaren Verbindung eines Innenrings mit einem Außenring, wobei der Innenring und der Außenring mittels zweier axial zueinander versetzter Kegelrollenlager gelagert sind, so dass der Außenring gegenüber dem Innenring drehbar gelagert ist. Wenn der Außenring gegenüber dem Innenring oder der Innenring gegenüber dem Außenring gedreht wird, wälzen der Außenring und der Innenring mit ihren Laufbahnen auf den Kegelrollen der beiden Kegelrollenlager ab. Die beiden Kegelrollenlager sind dabei entweder in einer o-förmigen Anordnung oder in einer x-förmigen Anordnung relativ zueinander positioniert. Es wird in der Druckschrift ferner erwähnt, dass diese Lageranordnung zur Lagerung einer Rotorwelle einer Windkraftanlage eingesetzt werden kann. Eine ähnliche Lageranordnung ist ferner aus der Druckschrift DE 10 2007 049 087 A1 bekannt. Die Ausbildung und Formgebung der Kegelrollen erfolgt typischerweise entsprechend der deutschen DIN-Norm 26281. In der DIN-Norm 26281 von November 2010 wird in Abschnitt 6.5 die Ausbildung des Rollenprofils der Kegelrolle eines Kegelrollenlagers durch eine Profilkurve beschrieben.

**[0003]** Derartige Wälzlageranordnungen werden beispielsweise in Form von sogenannten Großwälzlager zur Lagerung der Rotorwelle einer Windkraftanlage verwendet. Windkraftanlagen weisen üblicherweise einen Turm und eine auf dem Turm drehbar angeordnete und als Maschinenträger fungierende Gondel auf. Die in der Gondel angeordnete Rotorwelle ist an einem Ende mit einer Rotornabe verbunden, welche die vom Wind angetriebenen Rotorblätter trägt, während das andere Ende über ein etwaiges Getriebe direkt oder indirekt mit einem Generator zur Stromerzeugung gekoppelt ist.

**[0004]** Aus dem zitierten Stand der Technik ist bekannt, die Rotorwelle mittels der zweireihigen Kegelrollenlager zu lagern, um sowohl die axialen, als auch die radialen Kräfte aufzunehmen. Die beiden Kegelrollenlager sind dabei symmetrisch aufgebaut. Durch

die bei einer Windkraftanlage auf das Rotorlager einwirkende asymmetrische Lastverteilung (Windkraft einerseits und Kippkräfte andererseits), werden die beiden symmetrischen Kegelrollenlager nachteiligerweise ungleichmäßig belastet und nutzen sich daher auch ungleich ab. Ferner orientiert man sich bei der Dimensionierung der Kegelrollenlager stets an den höchsten zu erwartenden Kräften, so dass eines der beiden Lager in unnötiger Weise zu stark dimensioniert wird.

**[0005]** Die Druckschrift DE 10 2014 104 862 A1 schlägt daher vor, die Wälzkörper in den beiden Kegelrollenlagern unterschiedlich zu dimensionieren, um sie an die bei Windkraftanlagen auftretenden ungleichmäßigen Belastungen einzeln anzupassen. Beispielsweise soll dasjenige Kegelrollenlager, welches näher an der mit den Rotorflügeln versehenen Rotornabe angeordnet ist, größer dimensioniert und somit eine höhere Lebensdauer aufweisen, als das andere Kegelrollenlager, welches sich näher am Generator befindet.

**[0006]** Nachteilig an dieser Herangehensweise ist, dass bei jeder Anpassung und Optimierung der einzelnen Wälzkörper auch die Laufbahnen im Innenring und Außenring entsprechend geändert und angepasst werden müssen. Hierdurch ändert sich häufig auch die Gesamtgeometrie der Wälzlageranordnung, welche sodann ebenfalls entsprechend angepasst und neu aufgebaut werden muss. Möglicherweise müssen infolge der geänderten Gesamtgeometrie auch die Lageraufnahmen jeweils modifiziert werden. Solche „Einzelfertigungen“ sind daher vergleichsweise aufwändig und teuer.

**[0007]** Die Asymmetrie hinsichtlich der Anforderungen an das jeweilige Kegelrollenlager wird ferner noch durch unterschiedliche Betriebsarten der Windkraftanlage verstärkt. Im Normalbetrieb der Windkraftanlage (rotierende Rotornabe) wird beispielsweise das der Rotornabe zugewandte Kegelrollenlager stärker abgenutzt, so dass hier die Herausforderung insbesondere in der maximalen Lebensdauer des Lagers und weniger in seiner maximalen Tragkraft liegt. Bei einer Abschaltung der Windkraftanlage (Rotornabe steht still) wegen extremen Wetters, wie beispielsweise einem Orkan, muss das dem Generator zugewandte Kegelrollenlager jedoch extreme Lastspitzen aufnehmen. Diese Lastspitzen treten zwar nur selten auf, aber sind dafür sehr hoch, so dass bei diesem Kegelrollenlager insbesondere die Anforderung in einer maximalen Tragkraft und weniger in einer maximalen Lebensdauer liegt.

## Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Es ist also eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Wälzlageranordnung und eine Windkraftanlage mit einer Wälzlageranordnung bereitzu-

stellen, bei welcher die im Zusammenhang mit dem Stand der Technik genannten Nachteile nicht auftreten, sondern stattdessen eine einfache individuelle Anpassung und Optimierung jedes der beiden Kegelrollenlager an die zu erwartenden Anforderungen erlaubt.

**[0009]** Gelöst wird diese Aufgabe mit einer Wälzlageranordnung für eine Windkraftanlage aufweisend einen Außenring und einen zumindest teilweise innerhalb des Außenrings gelagerten Innenring, wobei der Außenring und der Innenring um eine Drehachse relativ zueinander drehbar sind, wobei zwischen dem Außenring und dem Innenring ein erstes Kegelrollenlager mit ersten Kegelrollen und ein zweites Kegelrollenlager mit zweiten Kegelrollen angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass im unbelasteten Zustand der Wälzlageranordnung die ersten Kegelrollen ein erstes logarithmisches Rollenprofil und die zweiten Kegelrollen ein von dem ersten logarithmischen Rollenprofil abweichendes zweites logarithmisches Rollenprofil aufweisen.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass nicht zwangsläufig die gesamte Dimensionierung der Kegelrollen und der zugehörigen Laufbahnen angepasst wird, sondern dass das Rollenprofil der ersten und zweiten Kegelrollen unterschiedlich ausgebildet und somit an die im Zusammenhang mit dem Stand der Technik erwähnten unterschiedlichen Anforderungen adaptiert und optimiert ist. Eine Änderung des Rollenprofils kann vorteilhafterweise realisiert werden, ohne dass sich die Geometrien der Laufbahnen oder überhaupt des Innen- und Außenrings ändern, so dass die erfindungsgemäße Wälzlageranordnung vergleichsweise kostengünstig und einfach zu implementieren ist. Insbesondere kann somit dem Umstand Rechnung getragen werden, dass beide Kegelrollenlager aufgrund der Asymmetrie einer Windkraftanlage und aufgrund unterschiedlicher Betriebsmodi einer Windkraftanlage unterschiedliche Anforderungen erfüllen müssen. So können beispielsweise die ersten Kegelrollen im Hinblick auf die Langlebigkeit des ersten Kegelrollenlagers bei „normalen“ Belastungen und im Normalbetrieb (rotierende Rotornabe) optimiert werden, während die zweiten Kegelrollen im Hinblick auf maximale Tragfähigkeit des zweiten Kegelrollenlagers bei extremen und kurzzeitigen Lastspitzen im abgeschalteten Modus (Rotornabe rotiert nicht und ist insbesondere festgestellt) optimiert werden. Die erfindungsgemäße Wälzlageranordnung ist insbesondere als Rotor- und/oder Hauptlager der Rotorwelle der Windkraftanlage vorgesehen.

**[0011]** Mit anderen Worten: Herkömmlicherweise werden häufig zwei gleich dimensionierte Kegelrollenlager als Rotorlage in einer Windkraftmaschine verwendet. Dabei stellt sich das Problem, dass die Kegelrollenlager nach dem maximal zu erwartenden

Lastfall dimensioniert werden müssen, da das Rotorlager auch einen Orkan schadlos überstehen können muss. Das Kegelrollenlager, welches der Rotornabe zugewandt ist und im normalen Betrieb hauptsächlich belastet wird, wird in diesem normalen Betrieb aber stets deutlich unterhalb dieser maximal zu erwartenden Lastspitze belastet, so dass eine zu große Profilierung (auch als Konvexität oder Bombierung bezeichnet) der Kegelrollen in diesem Lager zu einem erhöhten Verschleiß in der Laufbahn führt, da sich diese Kegelrollen aufgrund der geringeren Belastung zu wenig deformieren und somit nur eine verkleinerte Kontaktfläche zur Laufbahn ausbilden. Eine geringere Profilierung oder Verkleinerung des Lagers kann aber nicht gewählt werden, da andernfalls der maximal zu erwartende Lastfall nicht abdeckt ist. Insofern wird erfindungsgemäß dasjenige Kegelrollenlager, welches im Normalbetrieb die Hauptlast trägt (hier das erste Kegelrollenlager), mit kleinerer Profilierung ausgebildet, damit die Langlebigkeit dieses Kegelrollenlagers im Normalbetrieb, d.h. bei normalen und geringeren Lasten, optimiert wird. Zudem wird das andere Kegelrollenlager, welches aufgrund seiner Position hauptsächlich bei einem Stillstand der Windkraftanlage und in einem kritischen Maximallastfall (bspw. bei einem Orkan) mit hohen Lasten belastet wird (hier das zweite Kegelrollenlager), mit größerer Profilierung ausgebildet, so dass sich in diesem Lager bei einer starken Deformation der Kegelrollen aufgrund einer hohen Last jeweils eine große Kontaktfläche zwischen den Kegelrollen und der Laufbahn ausbildet und somit eine geringere Flächenpressung bei hohen Lasten erzielt wird.

**[0012]** Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen entnehmbar.

**[0013]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das erste logarithmische Rollenprofil im unbelasteten Zustand der Profilkurve

$$P_1(x) = c_1 \cdot D_{we1} \cdot \log \frac{1}{1 - \left( \frac{2 \cdot x}{L_{we1}} \right)^2}$$

genügt, wobei  $D_{we1}$  dem maximalen Durchmesser der ersten Kegelrollen (in Millimetern) und  $L_{we1}$  der effektiven Länge der ersten Kegelrollen (in Millimetern) entsprechen und wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen ungleich eines Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  von 0,00045 ist. Die Profilkurve  $P(x)$  gibt das Profil der Kegelrolle in Millimetern an. Die Profilkurve und die in die Profilkurve einzusetzenden Parameter sind dem Fachmann grundsätzlich und nicht zuletzt aus der DIN-Norm 26281 wohlbekannt. Bei der erfindungsgemäßen Wälzlager-

anordnung wird nun ein Logarithmuskoeffizient  $c_1$  bei den ersten Kegelrollen verwendet, welcher von dem üblichen Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  abweicht.

**[0014]** Vorzugsweise genügt analog das zweite logarithmische Rollenprofil im unbelasteten Zustand der Profilkurve

$$P_2(x) = c_2 \cdot D_{we2} \cdot \log \frac{1}{1 - \left( \frac{2 \cdot x}{L_{we2}} \right)^2}$$

wobei  $D_{we2}$  dem maximalen Durchmesser der zweiten Kegelrollen und  $L_{we2}$  der effektiven Länge der zweiten Kegelrollen entsprechen und wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen ungleich des Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  von 0,00045 ist. Bei der erfindungsgemäßen Wälzlageranordnung wird nun ein Logarithmuskoeffizient  $c_2$  bei den zweiten Kegelrollen verwendet, welcher von dem üblichen Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  abweicht.

**[0015]** Vorzugsweise unterscheiden sich die ersten und zweiten Kegelrollen nur in ihrer Rollenprofilierung. Das bedeutet, dass die ersten und zweiten Kegelrollen abgesehen von der unterschiedlichen Rollenprofilierung ansonsten eine identische Geometrie aufweisen. Vorzugsweise ist somit der maximale Durchmesser  $D_{we2}$  der zweiten Kegelrollen gleich dem maximalen Durchmesser  $D_{we1}$  der ersten Kegelrollen ( $D_{we2} = D_{we1}$ ) und die effektive Länge  $L_{we2}$  der zweiten Kegelrollen gleich der effektiven Länge  $L_{we1}$  der ersten Kegelrollen ( $L_{we2} = L_{we1}$ ).

**[0016]** Vorteilhafterweise kann durch die Wahl eines entsprechenden Logarithmuskoeffizient  $c_{1,2}$  für die ersten und/oder zweiten Kegelrollen, welcher insbesondere von dem Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  abweicht, speziell die für diese Kegelrollen zu erwartende Belastungssituation berücksichtigt werden.

**[0017]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen kleiner als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  ist und der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen größer als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  ist.

**[0018]** Beispielweise werden somit diejenigen Kegelrollen, welche insbesondere eine hohe Lebensdauer im Normalbetrieb unter „normalen“ Lasten aufweisen sollen, mit einem etwas reduzierten Logarithmuskoeffizient  $c$  versehen, so dass diese Kegelrollen eine etwas reduzierte Konvexität (auch als Profilierung oder Bombierung bezeichnet) im unbelasteten Zustand aufweisen und somit eine längere Lebensdauer bei niedrigeren Lasten haben. Dies wird dadurch erzielt, dass die reduzierte Konvexität dazu

führt, dass ihre Laufflächen bei niedrigeren Lasten und somit geringerer Verformung der Kegelrolle flächig auf den Laufflächen abwälzt. Ferner werden diejenigen Kegelrollen, welche insbesondere eine hohe Tragfähigkeit bei kurzzeitig auftretenden Lastspitzen im abgeschalteten Modus bieten sollen, mit einem etwas erhöhten Logarithmuskoeffizient  $c$  versehen, so dass diese Kegelrollen eine etwas erhöhte Konvexität (auch als Profilierung oder Bombierung bezeichnet) im unbelasteten Zustand aufweisen. Vorteilhafterweise wird hierdurch erzielt, dass die unter Extremast im kritischen Lastfall stark deformierte Kegelrolle eine höhere Kontaktfläche mit der Laufbahn aufweist und damit eine reduzierte Flächenpressung in diesem kritischen Lastfall hervorgerufen wird.

**[0019]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  des ersten Kegelrollenlagers zwischen 0,0001 und 0,0004, vorzugsweise zwischen 0,00025 und 0,00035 und besonders bevorzugt bei im Wesentlichen 0,0003 liegt. Es hat sich gezeigt, dass ein Logarithmuskoeffizient  $c_1$  innerhalb der vorstehend definierten Bereiche insbesondere für jenes Kegelrollenlager besonders vorteilhaft ist, welches im Normalbetrieb eine hohe Lebensdauer aufweisen soll. Hierbei handelt es sich insbesondere um dasjenige Kegelrollenlager, welches in axialer Richtung auf der der Rotornabe der Windkraftanlage zugewandten Seite der Wälzlageranordnung angeordnet ist. Alternativ könnte das erste Kegelrollenlager aber auch dasjenige Kegelrollenlager sein, welches in axialer Richtung auf der dem Generator der Windkraftanlage zugewandten Seite der Wälzlageranordnung angeordnet ist.

**[0020]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  des zweiten Kegelrollenlagers zwischen 0,0005 und 0,0009, vorzugsweise zwischen 0,0006 und 0,0008 und besonders bevorzugt bei im Wesentlichen 0,0007 liegt. Es hat sich gezeigt, dass ein Logarithmuskoeffizient  $c_2$  innerhalb der vorstehend definierten Bereiche insbesondere für jenes Kegelrollenlager besonders vorteilhaft ist, welches im abgeschalteten Betrieb hohe Lastspitzen aufzunehmen hat. Hierbei handelt es sich insbesondere um dasjenige Kegelrollenlager, welches in axialer Richtung auf der dem Generator der Windkraftanlage zugewandten Seite der Wälzlageranordnung angeordnet ist. Alternativ könnte das zweite Kegelrollenlager aber auch dasjenige Kegelrollenlager sein, welches in axialer Richtung auf der der Rotornabe der Windkraftanlage zugewandten Seite der Wälzlageranordnung angeordnet ist.

**[0021]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das erste und das zweite Kegelrollenlager derart relativ zueinander positioniert sind, dass die

ersten und zweiten Kegelrollen in einem zur Drehachse parallelen Längsschnitt durch die Wälzlageranordnung x-förmig angeordnet sind.

**[0022]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das erste und das zweite Kegelrollenlager derart zueinander ausgerichtet sind, dass die ersten und zweiten Kegelrollen in einem zur Drehachse parallelen Längsschnitt durch die Wälzlageranordnung o-förmig angeordnet sind.

**[0023]** Vorzugsweise ist der Innenring und/oder der Außenring mehrteilig ausgebildet.

**[0024]** Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Windkraftanlage aufweisend eine Rotornabe, an welcher wenigstens ein Rotorblatt befestigt ist, und einen Generator, welcher zur Umsetzung von kinetischer Energie in elektrische Energie ausgebildet ist, wobei ein Rotor des Generators drehfest mit der Rotornabe über eine Rotorwelle der Windkraftanlage verbunden ist, wobei die Rotornabe und/oder die Rotorwelle mittels der erfindungsgemäßen Wälzlageranordnung gelagert ist.

**[0025]** Vorzugsweise ist der Innenring drehfest mit der Rotorwelle verbunden. Alternativ wäre aber auch denkbar, dass der Außenring drehfest mit der Rotorwelle verbunden ist.

**[0026]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das erste Kegelrollenlager auf einer der Rotornabe zugewandten Seite der Wälzlageranordnung und das zweite Kegelrollenlager auf einer dem Generator zugewandten Seite der Wälzlageranordnung angeordnet ist. Denkbar ist, dass das erste Kegelrollenlager somit das sogenannte Traglager bildet, während das zweite Kegelrollenlager somit das Haltelager darstellt.

**[0027]** Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Zeichnungen, sowie aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen anhand der Zeichnungen. Die Zeichnungen illustrieren dabei lediglich beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung, welche den wesentlichen Erfindungsgedanken nicht einschränken.

#### Figurenliste

**Fig. 1** zeigt eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung gemäß einer beispielhaften ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung gemäß einer

beispielhaften zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 3a bis Fig. 3c** zeigen schematisch erste und zweite Kegelrollen der Wälzlageranordnung gemäß der ersten und zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu einem Wälzkörper des Standes der Technik

**Fig. 4** zeigt eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung gemäß einer beispielhaften dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 5** zeigt eine schematische Ansicht einer Windkraftanlage aufweisend eine Wälzlageranordnung gemäß der beispielhaften dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0028]** In den verschiedenen Figuren sind gleiche Teile stets mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden daher in der Regel auch jeweils nur einmal benannt bzw. erwähnt.

**[0029]** In **Fig. 1** ist eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung **1** zur Rotorwellenlagerung in einer Windkraftanlage gemäß einer beispielhaften ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt.

**[0030]** Die Wälzlageranordnung **1** umfasst einen Außenring **2** und einen Innenring **3**. Der Außenring **2** und der Innenring **3** sind um eine Drehachse **4** relativ zueinander drehbar, beispielsweise kann entweder der Innenring **3** gegenüber dem Außenring **2** oder der Außenring **2** gegenüber dem Innenring **3** gedreht werden. Der Innenring **3** ist in radialer Richtung innerhalb des Außenrings **2** angeordnet und überlappt in axialer Richtung zumindest teilweise mit dem Außenring **2**.

**[0031]** Zwischen dem Außenring **2** und dem Innenring **3** sind ein erstes Kegelrollenlager **5** und ein zweites Kegelrollenlager **7** ausgebildet. Das erste und das zweite Kegelrollenlager **5**, **7** sind in axialer Richtung zueinander versetzt angeordnet.

**[0032]** Das erste Kegelrollenlager **5** umfasst als Wälzkörper eine Mehrzahl erster Kegelrollen **6**. Die ersten Kegelrollen **6** sind in einer umlaufenden Reihe von Wälzkörpern angeordnet, die jeweils vorzugsweise durch Käfige oder Distanzstücke voneinander beabstandet sind. Die ersten Kegelrollen **6** sind in radialer Richtung jeweils zwischen einer am Außenring **2** ausgebildeten umlaufenden Laufbahn und einer am Innenring **3** ausgebildeten umlaufenden Laufbahn angeordnet sind, so dass die ersten Kegelrollen **6** mit ihren Laufflächen jeweils auf den Laufbahnen abwälzen. Die Rotationsachsen der ersten Kegelrollen **6** sind dabei gegenüber der Drehachse **4** der Wälzlageranordnung **1** jeweils geneigt.

**[0033]** Das zweite Kegelrollenlager **7** ist analog aber im Wesentlichen spiegelverkehrt zum ersten Kegelrollenlager **5** aufgebaut. Das zweite Kegelrollenlager **7** umfasst als Wälzkörper eine Mehrzahl zweiter Kegelrollen **8**. Die zweiten Kegelrollen **8** sind ebenfalls in einer umlaufenden Reihe von Wälzkörpern angeordnet, die jeweils vorzugsweise durch Käfige oder Distanzstücke voneinander beabstandet sind. Die zweiten Kegelrollen **8** sind in radialer Richtung auch jeweils zwischen einer am Außenring **2** ausgebildeten umlaufenden Laufbahn und einer am Innenring **3** ausgebildeten umlaufenden Laufbahn angeordnet sind, so dass die zweiten Kegelrollen **8** mit ihren Laufflächen jeweils auf den Laufbahnen abwälzen. Die Rotationsachsen der zweiten Kegelrollen **8** sind dabei gegenüber der Drehachse **4** der Wälzlageranordnung **1** ebenfalls jeweils geneigt.

**[0034]** Die in **Fig. 1** illustrierte Schnittdarstellung entspricht einem Schnitt durch die um die Drehachse **4** im Wesentlichen drehsymmetrische Wälzlageranordnung **1** entlang der Drehachse **4**. Es ist dabei zu erkennen, dass das erste und zweite Kegelrollenlager **5, 7** bei der Wälzlageranordnung **1** gemäß der ersten Ausführungsform derart zueinander angeordnet sind, dass die ersten und zweiten Kegelrollen **6, 8** in der Schnittdarstellung ein „X“ bilden, wobei die Drehachse **4** durch das Zentrum des „X“ verläuft. Die gezeigte Anordnung wird gemeinhin als O-Anordnung bezeichnet, da die zur jeweiligen Rotationsachse der Kegelrollen **6, 8** senkrecht verlaufende Kraftfluss (verläuft direkt zwischen den Kontaktflächen mit den Laufbahnen) in der abgebildeten **Fig. 1** ein „O“ bilden.

**[0035]** Die ersten Kegelrollen **6** und die zweiten Kegelrollen **8** haben beide ein logarithmisches Rollenprofil. Die Wälzlageranordnung **1** gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unterscheidet sich vom Stand der Technik dadurch, dass sich das logarithmische Rollenprofil der ersten Kegelrollen **6** von dem logarithmischen Rollenprofil der zweiten Kegelrollen **8** unterscheidet. Das bedeutet, dass die ersten Kegelrollen **6** eine Konvexität (auch als Profilierung oder Bombierung bezeichnet) aufweisen, die von der Konvexität der zweiten Kegelrollen **8** abweicht. Diese geometrischen Unterschiede sind allerdings zumindest derart gering, dass sie in der Prinzipskizze von **Fig. 1** mit bloßem Auge nicht ohne Weiteres zu erkennen sind.

**[0036]** Das logarithmische Rollenprofil einer Kegelrolle wird bei Kegelrollenlagern grundsätzlich durch die Profilkurve  $P_0(x)$  beschrieben, welche gemäß Abschnitt 6.5 der deutschen DIN-Norm 26281 (November 2010) die konvexe Oberflächenwölbung der Lauffläche als Funktion der Variablen  $x$  in Millimetern beschreibt:

$$P_0(x) = c_0 \cdot D_{we} \cdot \log \frac{1}{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{L_{we}}\right)^2}$$

**[0037]** Dabei ist  $D_{we}$  der maximale Durchmesser der betreffenden Kegelrolle, während  $L_{we}$  die effektive Länge der betreffenden Kegelrolle beschreibt. Die Variable  $c_0$  steht für eine dimensionslose Konstante, welche die Konvexität beschreibt und daher in der vorliegenden Beschreibung als Logarithmuskoeffizient bezeichnet wird. Aus der genannten DIN-Norm 26281 geht hervor, dass stets ein Logarithmuskoeffizient  $c_0$  in Höhe von  $c_0 = 0,00045$ , welcher im Folgenden als Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  bezeichnet wird, verwendet wird. Die aus dem Stand der Technik bekannten Kegelrollen weisen somit eine bestimmte Konvexität auf.

**[0038]** Die ersten Kegelrollen **6** der Wälzlageranordnung **1** gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind nun derart ausgebildet, dass sich ihre Profilkurve  $P_1(x)$  nicht nur von der Profilkurve  $P_2(x)$  der zweiten Kegelrollen **8** sondern vorzugsweise auch von der Profilkurve  $P_0(x)$  mit einem Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0 = 0,00045$  unterscheidet. Für die Profilkurve  $P_1(x)$  gilt:

$$P_1(x) = c_1 \cdot D_{we1} \cdot \log \frac{1}{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{L_{we1}}\right)^2}$$

mit  $c_1 \neq c_2$  und  $c_1 \neq c_0$  und  $c_0 = 0,00045$

**[0039]**  $D_{we1}$  steht dabei für den maximalen Durchmesser der ersten Kegelrollen **6**, während  $L_{we1}$  für die effektive Länge der ersten Kegelrollen **6** steht.

**[0040]** Das Gleiche gilt auch für die zweiten Kegelrollen **8**. Auch die zweiten Kegelrollen **8** der Wälzlageranordnung **1** gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind derart ausgebildet, dass sich ihre Profilkurve  $P_2(x)$  nicht nur von der Profilkurve  $P_1(x)$  der ersten Kegelrollen **6** sondern vorzugsweise auch von der Profilkurve  $P_0(x)$  mit einem Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0 = 0,00045$  unterscheidet. Für die Profilkurve  $P_2(x)$  gilt:

$$P_2(x) = c_2 \cdot D_{we2} \cdot \log \frac{1}{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{L_{we2}}\right)^2}$$

mit  $c_2 \neq c_1$  und  $c_2 \neq c_0$  und  $c_0 = 0,00045$

**[0041]**  $D_{we1}$  steht dabei für den maximalen Durchmesser der zweiten Kegelrollen **8**, während  $L_{we2}$  für die effektive Länge der zweiten Kegelrollen **8** steht.

**[0042]** Der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen **6** ist vorzugsweise kleiner als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$ , während der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen **8** größer als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  ist. Die ersten Kegelrollen **6** weisen somit eine geringere Konvexität als die zweiten Kegelrollen **8** auf. Zudem weisen die ersten Kegelrollen **6** eine geringere Konvexität als Kegelrollen gemäß einer Profildfunktion mit Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0=0,00045$  auf. Die zweiten Kegelrollen **8** weisen ferner eine höhere Konvexität als die ersten Kegelrollen **6** und auch eine höhere Konvexität als Kegelrollen gemäß einer Profildfunktion mit Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0=0,00045$  auf.

**[0043]** Insbesondere ist die Wälzlageranordnung **1** gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung derart ausgebildet, dass der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen **6** zwischen 0,0001 und 0,0004, vorzugsweise zwischen 0,00025 und 0,00035 liegt, während der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen **8** zwischen 0,0005 und 0,0009, vorzugsweise zwischen 0,0006 und 0,0008 liegt.

**[0044]** Denkbar ist, dass die Wälzlageranordnung **1** als Hauptlager einer Rotorwelle einer Windkraftanlage dient.

**[0045]** In **Fig. 2** ist eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung **1** gemäß einer beispielhaften zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die zweite Ausführungsform gleicht im Wesentlichen der anhand von **Fig. 1** erläuterten ersten Ausführungsform, wobei lediglich das erste und zweite Kegelrollenlager **5, 7** bei der Wälzlageranordnung **1** gemäß der zweiten Ausführungsform derart zueinander angeordnet sind, dass die ersten und zweiten Kegelrollen **6, 8** in der Schnittdarstellung ein „O“ anstelle des in **Fig. 1** gezeigten „X“ bilden. Die gezeigte Anordnung wird gemeinhin als X-Anordnung bezeichnet, da die zur jeweiligen Rotationsachse der Kegelrollen **6, 8** senkrecht verlaufende Kraftfluss (verläuft direkt zwischen den Kontaktflächen mit den Laufbahnen) in der abgebildeten **Fig. 2** ein „X“ bilden.

**[0046]** Die Ausbildung und insbesondere die Profilierung der ersten und zweiten Kegelrollen **6, 8** entsprechen der ersten Ausführungsform.

**[0047]** In **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** sind nun verschiedene Rollenprofile von Kegelrollen schematisch dargestellt.

**[0048]** In **Fig. 3a** ist eine der ersten Kegelrollen **6** dargestellt, während in **Fig. 3c** eine der zweiten Kegelrollen **8** dargestellt ist. Die beiden **Fig. 3a, Fig. 3c** veranschaulichen, dass die zweiten Kegelrollen **8** aufgrund des im Vergleich zum Logarithmuskoeffizient  $c_1$  höheren Logarithmuskoeffizient  $c_2$  eine deutlich höhere Konvexität als die ersten Kegelrollen **6** aufweisen. Die Unterschiede in der Konvexität sind normalerweise mit bloßen Auge nur schlecht zu erkennen. Aus diesem Grund wurden die Konvexität in den **Fig. 3a, Fig. 3b** und **Fig. 3c** stark übertrieben dargestellt.

**[0049]** In **Fig. 3b** ist zudem eine aus dem Stand der Technik bekannte typische Kegelrolle mit einem Referenzrollenprofil mit Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0=0,00045$  illustriert. Die in **Fig. 3b** gezeigte Kegelrolle hat somit das in Abschnitt 6.5 der deutschen DIN-Norm 26281 (November 2010) definierte Rollenprofil.

**[0050]** Der Vergleich der **Fig. 3b** mit den **Fig. 3a** und **Fig. 3c** zeigt, dass die ersten Kegelrollen **6** eine geringere Konvexität und die zweiten Kegelrollen **8** eine höhere Konvexität als die Kegelrolle mit dem Referenzrollenprofil aufweisen.

**[0051]** In **Fig. 4** ist eine schematische Schnittbildansicht einer Wälzlageranordnung gemäß einer beispielhaften dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die dritte Ausführungsform entspricht der anhand von **Fig. 1** erläuterten ersten Ausführungsform, wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen **6** im Wesentlichen 0,0003 entspricht, während der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen **8** im Wesentlichen 0,0007 entspricht. Die Wälzlageranordnung **1** ist dabei Teil der in **Fig. 5** schematisch illustrierten Windkraftanlage **10** gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0052]** Der Innenring **3** der Wälzlageranordnung **1** ist zweigeteilt ausgebildet und mit einer Rotorwelle der Windkraftanlage fest verbunden. Der Innenring **3** dreht somit gegenüber dem feststehenden Außenring **2**. Die Rotorwelle verbindet eine Rotornabe **9** der Windkraftanlage **10** mit dem Rotor eines in einer Gondel **11** der Windkraftanlage **10** angeordneten Generators. An der Rotornabe **9** sind eine Mehrzahl von Rotorblättern **12** befestigt, über welche die Rotornabe **9** mittels Windkraft zur Rotation angetrieben wird. Die Rotationsbewegung wird über die Rotorwelle auf den Rotor des Generators übertragen. Der Generator setzt sodann die kinetische Energie der Rotationsbewegung in elektrische Energie um.

**[0053]** Die Wälzlageranordnung **1** bildet das Hauptlager für die Rotorwelle. Das erste und zweite Kegelrollenlager **5, 7** sind dabei derart positioniert, dass das erste Kegelrollenlager **5** in axialer Richtung der

Rotorwelle auf einer der Rotornabe **9** zugewandten Seite der Wälzlageranordnung **1** angeordnet ist, während das zweite Kegelrollenlager **7** in axialer Richtung der Rotorwelle auf einer dem Generator zugewandten Seite der Wälzlageranordnung **1** angeordnet ist.

**[0054]** Aufgrund der höheren Konvexität der zweiten Kegelrollen **8** ist das zweite Kegelrollenlager **7** für die Aufnahme großer Lastspitzen, insbesondere wenn das Windkraftanlage **1** aufgrund von starkem Sturm abgeschaltet ist, ausgebildet, ohne dass die Gefahr besteht, dass die maximal zulässige Pressung in der Laufbahn überschritten wird. Ferner führt die geringere Konvexität der ersten Kegelrollen **6** dazu, dass im Normalbetrieb, d.h. bei geringeren Lasten, ein reduzierter Verschleiß und somit eine maximierte Standzeit erzielt wird.

#### Bezugszeichenliste

- 1** Wälzlageranordnung
- 2** Außenring
- 3** Innenring
- 4** Drehachse
- 5** Erstes Kegelrollenlager
- 6** Erste Kegelrollen
- 7** Zweites Kegelrollenlager
- 8** Zweite Kegelrollen
- 9** Rotornabe
- 10** Windkraftanlage
- 11** Gondel
- 12** Rotorblätter

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102014106558 A1 [0002]
- DE 102007049087 A1 [0002]
- DE 102014104862 A1 [0005]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- DIN-Norm 26281 [0002, 0036]

### Patentansprüche

1. Wälzlageranordnung (1) für eine Windkraftanlage (10) aufweisend einen Außenring (2) und einen zumindest teilweise innerhalb des Außenrings (2) gelagerten Innenring (3), wobei der Außenring (2) und der Innenring (3) um eine Drehachse (4) relativ zueinander drehbar sind, wobei zwischen dem Außenring (2) und dem Innenring (3) ein erstes Kegelrollenlager (5) mit ersten Kegelrollen (6) und ein zweites Kegelrollenlager (7) mit zweiten Kegelrollen (8) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass im unbelasteten Zustand der Wälzlageranordnung (1) die ersten Kegelrollen (6) ein erstes logarithmisches Rollenprofil und die zweiten Kegelrollen (8) ein von dem ersten logarithmischen Rollenprofil abweichendes zweites logarithmisches Rollenprofil aufweisen.

2. Wälzlageranordnung (1) nach Anspruch 1, wobei das erste logarithmische Rollenprofil im unbelasteten Zustand der Profilkurve

$$P_1(x) = c_1 \cdot D_{we1} \cdot \log \frac{1}{1 - \left( \frac{2 \cdot x}{L_{we1}} \right)^2}$$

genügt, wobei  $D_{we1}$  dem maximalen Durchmesser der ersten Kegelrollen (6) und  $L_{we1}$  der effektiven Länge der ersten Kegelrollen (6) entsprechen und wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen (5) ungleich eines Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  von 0,00045 ist.

3. Wälzlageranordnung (1) nach Anspruch 1, wobei das zweite logarithmische Rollenprofil im unbelasteten Zustand der Profilkurve

$$P_2(x) = c_2 \cdot D_{we2} \cdot \log \frac{1}{1 - \left( \frac{2 \cdot x}{L_{we2}} \right)^2}$$

genügt, wobei  $D_{we2}$  dem maximalen Durchmesser der zweiten Kegelrollen (8) und  $L_{we2}$  der effektiven Länge der zweiten Kegelrollen (8) entsprechen und wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen (8) ungleich des Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  von 0,00045 ist.

4. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_1$  der ersten Kegelrollen (6) kleiner als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  ist und der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen (8) größer als der Referenzlogarithmuskoeffizient  $c_0$  ist.

5. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Logarithmuskoeffi-

zient  $c_1$  der ersten Kegelrollen (6) zwischen 0,0001 und 0,0004, vorzugsweise zwischen 0,00025 und 0,00035 und besonders bevorzugt bei im Wesentlichen 0,0003 liegt.

6. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Logarithmuskoeffizient  $c_2$  der zweiten Kegelrollen (8) zwischen 0,0005 und 0,0009, vorzugsweise zwischen 0,0006 und 0,0008 und besonders bevorzugt bei im Wesentlichen 0,0007 liegt.

7. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sich die ersten und zweiten Kegelrollen (6, 8) nur in ihrer Rollenprofilierung voneinander unterscheiden und insbesondere die gleiche effektive Länge  $L_{we1,2}$  und den gleichen maximalen Durchmesser  $D_{we1,2}$  aufweisen.

8. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste und das zweite Kegelrollenlager (5, 7) derart relativ zueinander positioniert sind, dass die ersten und zweiten Kegelrollen (6, 8) in einem zur Drehachse (4) parallelen Längsschnitt durch die Wälzlageranordnung (1) x-förmig angeordnet sind.

9. Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste und das zweite Kegelrollenlager (5, 7) derart zueinander ausgerichtet sind, dass die ersten und zweiten Kegelrollen (6, 8) in einem zur Drehachse (4) parallelen Längsschnitt durch die Wälzlageranordnung (1) o-förmig angeordnet sind.

10. Windkraftanlage (10) aufweisend eine Rotornabe (9), an welcher wenigstens ein Rotorblatt (12) befestigt ist, und einen Generator, welcher zur Umsetzung von kinetischer Energie in elektrische Energie ausgebildet ist, wobei ein Rotor des Generators drehfest mit der Rotornabe (9) über eine Rotorwelle der Windkraftanlage (10) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotornabe (9) und/oder die Rotorwelle mittels der Wälzlageranordnung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche gelagert ist.

11. Windkraftanlage (10) nach Anspruch 10, wobei der Innenring (3) oder der Außenring (2) drehfest mit der Rotorwelle verbunden ist.

12. Windkraftanlage (10) nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei das erste Kegelrollenlager (5) auf einer der Rotornabe (9) zugewandten Seite der Wälzlageranordnung (1) und das zweite Kegelrollenlager (6) auf einer dem Generator zugewandten Seite der Wälzlageranordnung (1) angeordnet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

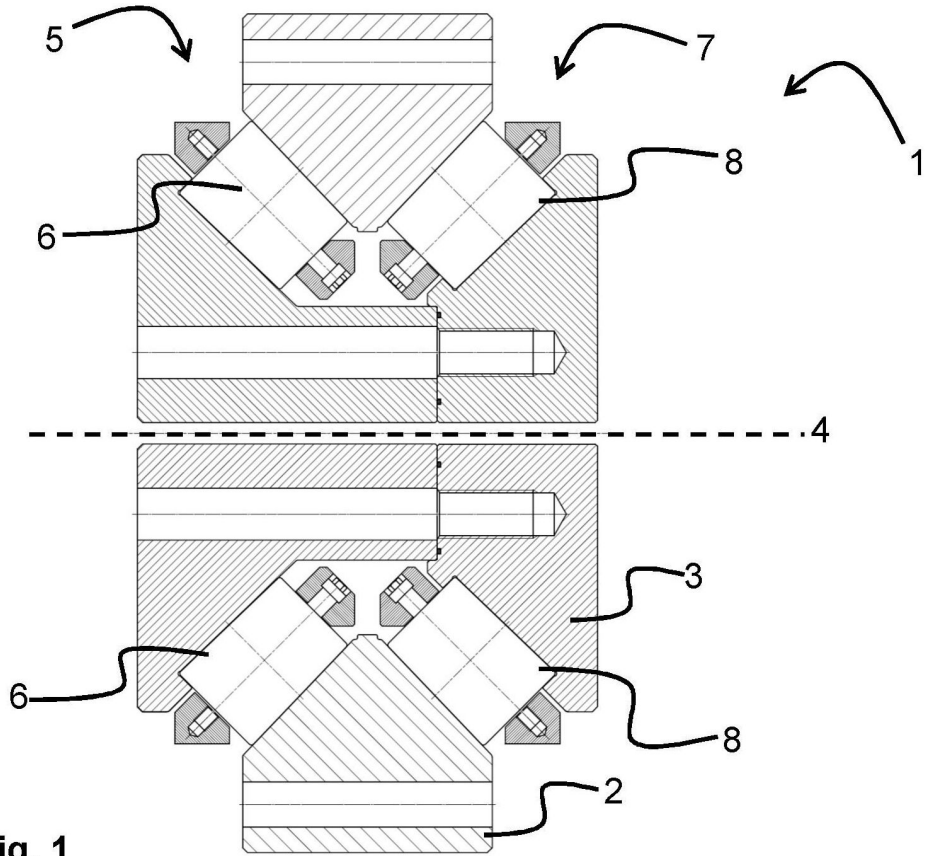


Fig. 1

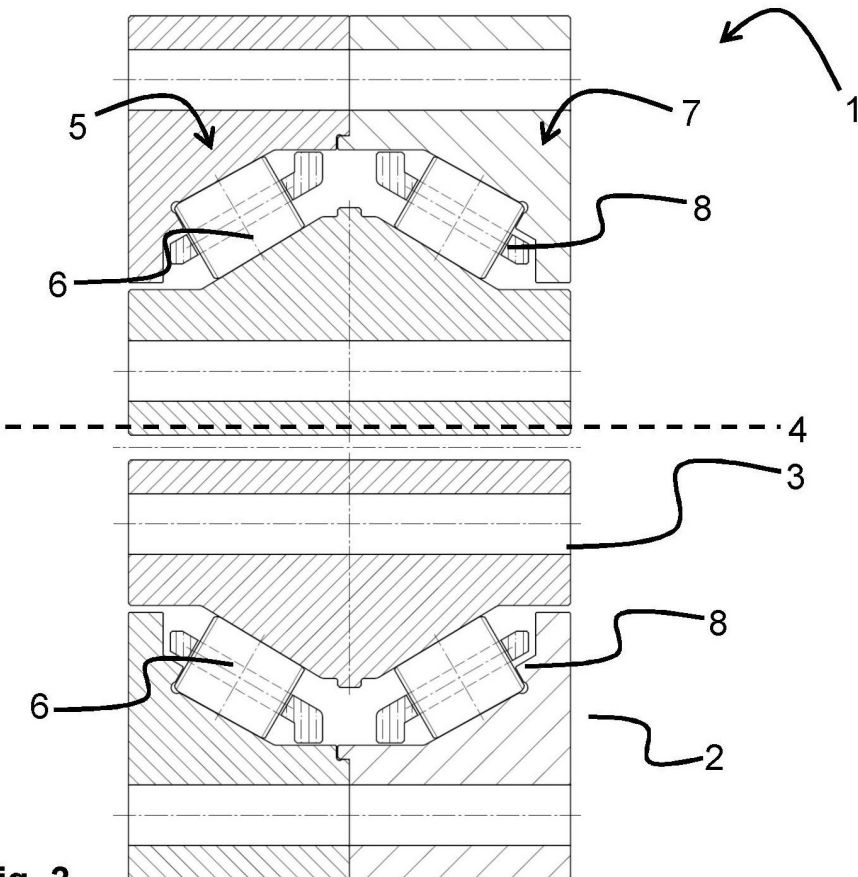


Fig. 2

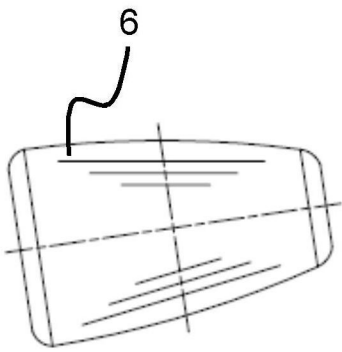


Fig. 3a

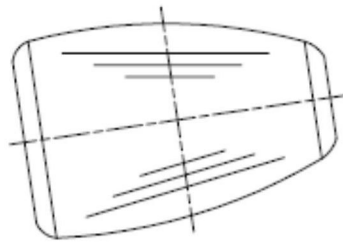


Fig. 3b

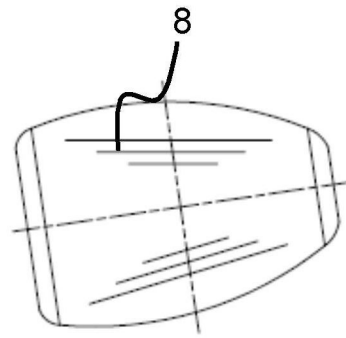


Fig. 3c

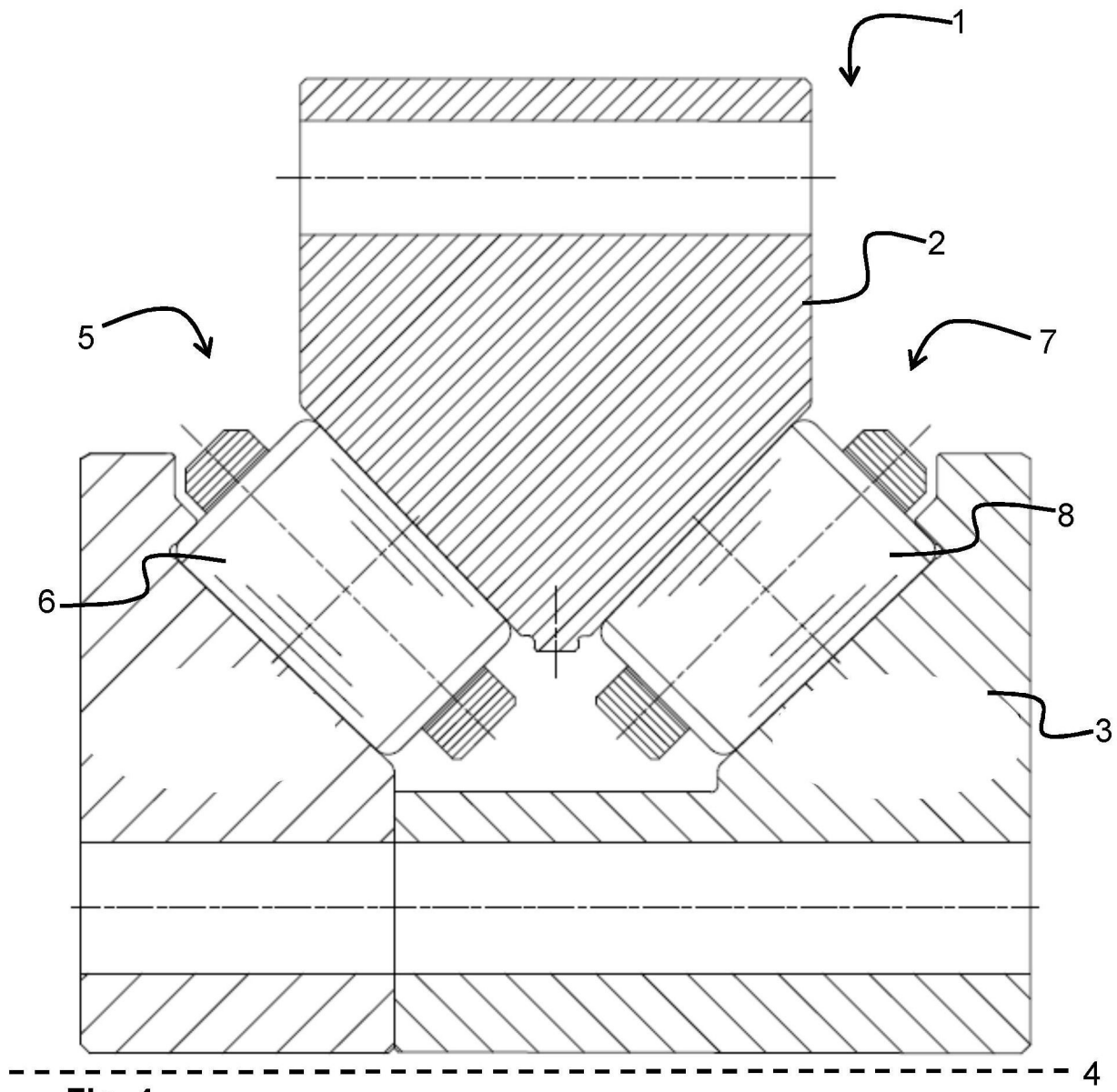
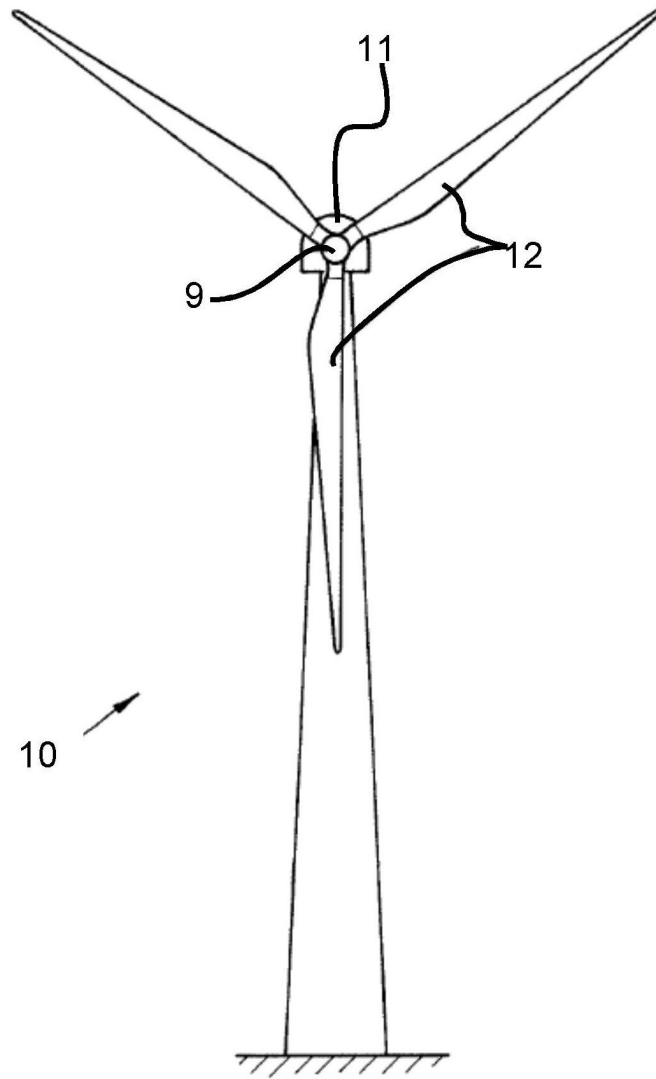


Fig. 4



**Fig. 5**