



(10) **DE 10 2005 026 141 B4** 2019.07.25

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 026 141.8**
(22) Anmeldetag: **06.06.2005**
(43) Offenlegungstag: **07.12.2006**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **25.07.2019**

(51) Int Cl.: **F03D 1/06 (2006.01)**
F03D 7/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(62) Teilung in:
10 2005 063 678.0

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

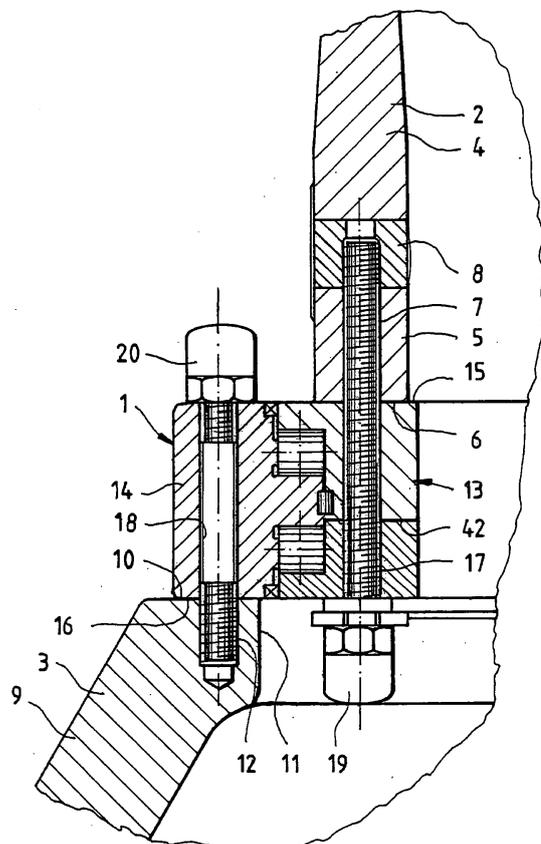
(73) Patentinhaber:
IMO Momentenlager GmbH, 91350 Gremsdorf, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Windkraftanlage mit einer Lagereinheit für ein langgestrecktes Rotorblatt**

(57) Hauptanspruch: Windkraftanlage mit einer Lagereinheit (1; 1') als Blattlager zum verdrehbaren Anschluss eines langgestreckten Rotorblatts (2) an einer Rotornabe (3) die Lagereinheit (1; 1') umfassend:

- wenigstens zwei axial gegeneinander versetzte Laufbahnen (22, 23, 37) mit umlaufenden Wälzkörpern (24, 25), die zwei gegeneinander verdrehbare, ringförmige Anschlusselemente (13, 14; 13', 14'), zum mittelbaren oder unmittelbaren Anschluss an dem rückwärtigen Ende (5) des betreffenden Rotorblatts (2) einerseits und an der Rotornabe (3) andererseits, wobei
- die ringförmigen Anschlusselemente (13, 14; 13', 14') einander abgewandte Stirnseiten (15, 16) aufweisen, die als Anschlussflächen zu der Rotornabe (3) einerseits und zu dem betreffenden Rotorblatt (2) andererseits dienen, und
- zwischen den beiden Anschlusselementen (13, 14; 13', 14') ein jeweils im Bereich der beiden Anschlussflächen abgedichteter Ringspalt gebildet ist, wobei
- die Wälzkörper (24, 25) zweier axial gegeneinander versetzter Laufbahnen (22, 23, 37) eine etwa zylindrische Gestalt aufweisen, mit je einer Mantelfläche (26), die rotations-symmetrisch zu genau einer Rotationsachse (31) ist, wobei
- diese Wälzkörper (24, 25) derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachse (31) die Längsachse des betreffenden Rotorblatts (2) unter einem Winkel schneiden, der zwischen 30° und 90° liegt, und an der dem anderen Anschlusselement (13; 14') zugewandten Mantelseite eines Anschlusselements (14; 13') eine vorspringende, ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	31 04 097	C2
DE	34 23 433	C2
DE	39 09 664	C1
DE	26 48 144	A1
DE	30 09 922	A1
DE	36 09 781	A1
DE	37 32 730	A1
DE	42 02 098	A1
DE	101 40 793	A1
DE	197 39 164	A1
DE	956 390	B
DE	20 11 141	A
DE	123 805	A
US	3 652 141	A
US	4 573 811	A
US	4 463 995	A
US	4 422 697	A
US	381 488	A
EP	1 259 741	B1
EP	0 238 725	A2
EP	1 286 048	A1
EP	1 398 499	A1
WO	01/ 42 647	A2
CA	2 536 058	A1

Dubbel: " Taschenbuch für den
Maschinenbau", Springer-Verlag ISBN 978-3-642-
17305-9

Erich Hau: "Windkraftanlagen Grundlagen,
Techik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit", Springer-
Verlag; ISBN 978-3-662-53153-2

Erich Hau: Wind-Turbines, Fundamentals,
Technologies, Application, Economics"; Springer-
Verlag, ISBN 978-3-642-27150-2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung ist gerichtet auf eine Windkraftanlage mit einer Lagereinheit für ein langgestrecktes Rotorblatt, mit zwei gegeneinander verdrehbaren, ringförmigen Elementen zum mittelbaren oder unmittelbaren Anschluss an eine Rotorblattnabe einerseits und an das Rotorblatt andererseits, und mit wenigstens zwei axial gegeneinander versetzten Laufbahnen mit umlaufenden Wälzkörpern von etwa zylindrischer Gestalt, d. h., mit je einer Mantelfläche, die rotationssymmetrisch zu genau einer Rotationsachse ist (Zylinder-, Kegel-, Nadel- oder Tonnenform), wobei zur vollständigen Aufnahme des vom Winddruck auf das Rotorblatt herrührenden und auf die Lagereinheit herrührenden Kippmoments und ggf. zur Aufnahme weiterer Kräfte (Blattgewicht, Fliehkraft etc.) und weiterer Momente (beispielsweise aufgrund der zeitweilig gegenüber der Vertikalen geneigten Stellung eines Blattes), zwei zwischen den beiden Anschlusselementen angeordnete, axial gegeneinander versetzte Laufbahnen mit umlaufenden Wälzkörpern von etwa zylindrischer Gestalt dienen, wobei diese Wälzkörper derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet sind. Während des Betriebs einer Windkraftanlage mit wenigstens einer derartigen Rotorblatt-Lagerung wird das/die betreffende(n) Rotorblatt(-blätter) beständig um seine/ihre Längsachse(n) verdreht.

[0002] Windkraftanlagen - und damit insbesondere deren Rotordurchmesser - werden immer größer. Dementsprechend steigt auch die Beanspruchung sämtlicher Trag- und Lagereinheiten. Dies trifft auch auf die Blattlager zu, welche der Verstellung des Blattstellwinkels dienen und eine Anpassung an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten erlauben, einerseits für eine optimale Leistungsregelung und andererseits in Form einer Sturmwindabschaltung. Hierbei ist die größte Belastung das Kippmoment, welches die im Zentrum des Winddrucks (center of pressure C_p , etwa in der Mitte der Rotorblattlänge) konzentrierte Windlast auf die Blattlager einleitet. Bezüglich dieses Kippmomentes sind die Blattlager als Angelpunkt zu betrachten, und aufgrund des beträchtlichen Hebelarms resultiert aus der Windlast eine sehr hohe Biegebeanspruchung der Blattwurzel und der Blattlager. Die Biegemomente sind an den Blattlagern dadurch weitaus schwieriger als an den Lagerungen für den Rotor insgesamt, weil sich dort die von den um gleiche Drehwinkel gegeneinander versetzt montierten Rotorblättern erzeugten Biegemomente weitgehend kompensieren. Außerdem dreht sich der Rotor einer Windkraftanlage während der Drehmomenteinleitung stets, so dass die dortigen Wälzkörper dabei in Bewegung sind und keine lokalen Dauerbelastungen zu befürchten sind im Gegensatz zu den Rotorblattlagerungen, welche

üblicherweise nur dann zur Verstellung des Rotorblatt-Anstellwinkels verdreht werden, wenn sich der Mittelwert der Windstärke merklich ändert, also eher selten.

[0003] Die DE 37 32 730 A1 zeigt eine Tragzapfenlagerung für die Rotorblätter von Windkraftanlagen. Bei einer Ausführungsform sind zwei in axialer Richtung bezüglich der Drehachse voneinander beabstandete Lagereinheiten offenbart, bestehend jeweils aus einem Schräggelenklager, einem Zylinderrollenlager und einem Nadellager, wobei das Zylinderrollenlager Radialkräfte und das Nadellager Axialkräfte von einer äußeren Ringeinheit auf den Außenring des Schräggelenklagers übertragen, dessen Innenring diese Kräfte gemeinsam an die Nabe weitergibt. Um die beträchtlichen, von der Windlast herrührenden Kippmomente zu beherrschen, sind zwei Lagereinheiten vorgesehen. Da jede derartige Lagereinheit ein Axiallager und ein Radiallager aufweist, ruft jedes von der Windlast herrührende Kippmoment bzw. Wurzelbiegemoment ein Paar zu einander entgegengesetzter Radialkräfte hervor (an jedem Radiallager eine Radialkraft) sowie ein Paar zu einander entgegengesetzter Axialkräfte (an jedem Axiallager eines). Da sich hierbei das Kipp- bzw. Wurzelbiegemoment an allen vier Lagerstellen - bedingt durch die geometrischen Abstände der Lager zueinander - auf jeweils Kräfte in einer vergleichbaren Größenordnung aufteilt, sind alle Radial- und Axiallager für vergleichsweise große Belastungen auszulegen. Um diese Belastungen auf ein erträgliches Maß zu reduzieren, muss ein Mindestabstand der beiden Lagereinheiten eingehalten werden, welcher deren Trennung erforderlich macht. Die Verwendung von zwei Lagereinheiten mit insgesamt vier Lagerstellen, welche allesamt für hohe Beanspruchungen auszulegen sind, bringt aber einen erhöhten Konstruktionsaufwand mit sich, zumal jedes der Lager einen separaten Innen- und Außenring als Laufbahn benötigt.

[0004] US 3 652 141 A betrifft eine Lagereinheit, umfassend zwei axial gegeneinander versetzte Laufbahnen mit umlaufenden Wälzkörpern, wobei zwei gegeneinander verdrehbare, ringförmige Elemente zum mittelbaren oder unmittelbaren Anschluss der zu lagernden Teile angeordnet sind, die Wälzkörper zweier axial gegeneinander versetzter Laufbahnen eine etwa zylindrische Gestalt aufweisen, d.h. mit je einer Mantelfläche, die rotationssymmetrisch zu genau einer Rotationsachse ist und wobei diese Wälzkörper derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen etwa radial, d. h. etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden zu lagernden Teils gerichtet sind. Eine ähnliche Anordnung zeigt DE 39 09 664 C1.

[0005] DE 123 805 A und DE 37 32 730 A1 betreffen zwar Windkraftanlagen, zeigen aber kein Rotorblatt.

[0006] DE 956 390 B zeigt zwar ein Rotorblatt, aber keine Einzelheiten der Lagerung. Dabei ist eine Drehlagerung an einem dem eigentlichen Rotorblatt vorgeschalteten Schaft veranschaulicht. Weiterer technischer Hintergrund ist DE 101 40 793 A1, DE 36 09 781 A1 DE 3 1 04 097 C2, DE 34 23 433 C2, US 4 573 811 A, US 4 463 995 A, US 4 422 697 A, CA 2 536 058 A1, DE 197 39 164 A1, EP 1 286 048 A1, US 3 652 141 A, EP 1 259 741 B1, DE 20 11 141 A1, DE 26 48 144 A1, EP 0 238 725 A2, DE 3 0 09 922 A1, EP 1 286 048 A1 zu entnehmen.

[0007] Erich Hau: „Windturbinen“, Springer Verlag, Seiten 138- 139, 228-234, 330, 457-459: In **Fig. 8.15** auf Seite **234** ist eine Rotorblattlagerung mit Schrägzylinder- und Kreuzrollenlager gezeigt. In Abschnitt **7.5** sind aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen hergestellte Rotorblätter gezeigt. **Fig. 7.14** auf Seite **202** zeigt einen typischen Rotorblattaufbau. Das abgebildete Rotorblatt hat eine Mantelfläche, die einen inneren Hohlraum umgibt, die an einem rückwärtigen Ende des Rotorblatts des Rotorblatts in einen zylindermantelförmigen Verlauf übergeht bis zu einer ebenen, rückwärtigen Anschlussfläche. In Abschnitt **7.7** auf Seite **207** ist ein Querbolzenanschluss, gezeigt in der **Fig. 7.20** erläutert. Die rückwärtige Anschlussfläche ist mit Bohrungen versehen, die einerseits zu einem in das Rotorblatt eingesetzten Verankerungskörper aus einem harten Material führen, worin sie sich als Innengewindebohrungen fortsetzen. Aus der **Fig. 7.22** geht hervor, dass die Bohrungen kränzförmig angeordnet sind. Nach Abschnitt **15.2.2** auf Seiten **457** bis **459** erfolgt eine entsprechende Veränderung der Anstellwinkel der Rotorblätter während der Rotation, um den Wirkungsgrad der Windkraftanlage weiter zu erhöhen.

[0008] Erich Hau: „Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit“, 2. Auflage, Springer Verlag, Seiten 1, 2, 81-83, 198-209, 232-235, zeigt in **Fig. 8.15**, dass die Wälzkörper der zwei axial zueinander versetzten Laufbahnen derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen radial und lotrecht in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet sind. **Fig. 8.15** zeigt auch, dass die beiden Anschlusselemente konzentrisch ineinander angeordnet sind, und dass die Bohrungen ebenfalls kränzförmig angeordnet sind. **Fig. 8.15** zeigt, dass der Ringspalt zwischen den Anschlusselementen abgedichtet ist, und dass das innere Anschlusselement eine vorspringende Nase hat, die dem anderen Anschlusselement zugewandt ist. Die Nase dient als Lauffläche für die beiden Wälzlagerreihen. In **Fig. 8.15** verlaufen die Laufbahnen entlang ebener Kreisringflächen lotrecht zur Längsachse des Rotorblatts, und eine dritte Lagerstelle ist zwischen den beiden Laufbahnen und zwischen den Mantelflächen der Anschlusselemente angeordnet. Diese dritte Lagerstelle hat Wälzkörper mit parallel zur Längsachse des Rotorblatts verlaufender Rotationsachse.

Diese Wälzkörper sind kleiner als die Wälzkörper der anderen Lager. Dieses Dokument nennt theoretische Möglichkeiten zum Verwenden bestimmter Lagertypen und lässt Nachteile einzelner Lagertypen außer Betracht. Hier wird beschrieben, dass mehrreihige Zylinderrollenlager zwar hohe Momentenbelastungen ermöglichen, aber aufwendig und teuer sind; wobei eine ähnliche Belastbarkeit bei deutlich geringeren Kosten mit Kugellagern erzielbar sei.

[0009] EP 1 398 499 A1 betrifft eine Windkraftanlage mit einem Rotor und drei an dem Rotor befestigten Rotorblättern. Die Rotorblätter sind jeweils aus einem faserverstärkten Verbundmaterial gefertigt und weisen eine Flügelprofilform auf, welche im Bereich eines Rotorblattanschlusses zur Befestigung am Rotor rohrförmig ausgestaltet ist. Im Bereich des Rotorblattanschlusses weist der Rotor einen mit Durchgangsbohrungen versehenen Flanschabschnitt auf. In der Mantelfläche des Rotorblatts sind mit den Durchgangsbohrungen fluchtende Sacklochbohrungen angeordnet. Die Sacklochbohrungen führen zu einem in das Rotorblatt eingesetzten Verankerungskörper. Die Sacklochbohrungen und auch die Durchgangsbohrungen sind jeweils kränzförmig angeordnet.

[0010] WO 20 0 1 / 426 47 A2, DE 3 1 04 097 C2, DE 34 23 433 C2, US 4 573 811 A, US 4 463 995 A, US 4 422 697 A betreffen die Verwendung von Verankerungselementen, Sacklochbohrungen und Durchgangsbohrungen zur Befestigung eines Rotorblatts an einer Rotoreinheit.

[0011] US 3 81 488 A zeigt Füllmaterial, „fillers“, im Ringspalt zwischen den beiden Lagerteilen.

[0012] Dubbel „Taschenbuch für den Maschinenbau“, 20. Auflage, Springer Verlag, Seiten **G80** bis **G1 06** betrifft unter anderem im Kapitel „Wälzlager“, Seiten **G80** bis **G84** Wälzkörper mit Übergangsbereichen oder Bombierungen, und Wälzkörper mit abgerundeten Stirnflächen. Die Führungsborde sollen nur ein möglichst kleines Axialspiel erlauben bzw. möglichst eng gebaut sein. Aus **Fig. 2** auf Seite **G80** und **Fig. 4** auf Seite **G81** sind Abstandsmittel bekannt, welche zwischen den Wälzkörper angeordnet sind.

[0013] DE 42 02 098 A1 betrifft ein Lager mit hohlen Wälzkörpern, wobei die Wälzkörper durch stirnseitig eingreifende Verbindungselemente miteinander verbunden und in einen Käfig eingebunden sind.

[0014] Aus den Nachteilen des beschriebenen Standes der Technik resultiert das die Erfindung initiierte Problem, ein Rotorblattlager für Windkraftanlagen zu schaffen, welches den besonderen Anforderungen an derartige Bauteile, insbesondere dem viel höheren Kippmoment bei starker Windlast als bspw. an den Rotorlagern, dauerhaft genügen und dem re-

lativ schwierigen Belastungsfall mit langer Betriebsdauer Stand halten kann.

[0015] Die Lösung dieses Problems gelingt bei einer gattungsgemäßen Windkraftanlage mit einer Lagereinheit durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Hier sind zwei gegeneinander verdrehbare, ringförmige Elemente zum mittelbaren oder unmittelbaren Anschluss an die Rotorblattnabe einerseits und an ein Rotorblatt andererseits vorgesehen; wobei die Wälzkörper zweier axial gegeneinander versetzter Laufbahnen eine etwa zylindrische Gestalt aufweisen, d.h., mit je einer Mantelfläche, die rotationssymmetrisch zu genau einer Rotationsachse ist (Zylinder-, Kegel-, Nadel- oder Tonnenform); und wobei zur vollständigen Aufnahme des vom Winddruck auf das Rotorblatt herrührenden und auf die Lagereinheit einwirkenden Kippmoments, (sowie ggf. zur Aufnahme weiterer Kräfte wie Blattgewicht, Fliehkraft, etc., und/oder Momente, bspw. aufgrund der zeitweilig gegenüber der Vertikalen geneigten Stellung eines Rotorblatts), zwei zwischen den beiden Anschlusselementen angeordnete, axial gegeneinander versetzte Laufbahnen mit umlaufenden Wälzkörpern von etwa zylindrischer Gestalt dienen, wobei diese Wälzkörper derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen etwa radial, d.h. etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet sind.

[0016] Durch die Ausrichtung der Längsachsen dieser Wälzkörper werden von diesen keinerlei Radialkräfte übertragen, sondern ausschließlich Axialkräfte, wobei die beiden Laufbahn-Paare für die Wälzkörper derart an den beiden gegeneinander verdrehbaren Anschlusselementen angeordnet sind, dass eine solche Wälzkörperreihe axiale Druckkräfte in einer Richtung, das andere ebensolche Druckkräfte diametral gegenüberliegend und in entgegengesetzter Richtung entlang der gemeinsamen Drehachse wirkend übertragen kann. Hierbei liegt der Anordnung zugrunde, dass ein Rotorblatt auch einen nicht unerheblichen Durchmesser von bspw. 2 m bis 3 m hat, wobei die Angelpunkte am Blattlager für das von der Windlast herrührende Kippmoment sich etwa an einer durch die Mittellängsachse des Rotorblattes gehenden, quer zur Rotorachse verlaufenden Linie befindet. Es ist daher nicht erforderlich, zusätzlich zwei Radiallager vorzusehen. Außerdem hat das vom Wind ausgelöste, starke Kippmoment ein Biegemoment an der Wurzel des Rotorblattes um diese Angelpunkte bzw. um deren Verbindungslinie zur Folge, die sich an den gegenüber der die Angelpunkte definierenden Linie um 90° versetzten Bereichen des Blattlagers als axiale Zugkräfte bzw. - an der gegenüberliegenden Seite - als axiale Druckkräfte äußern. Diese axialen Kräfte nehmen die beiden erfindungsgemäßen Lagerstellen auf. Das vom Winddruck erzeugte Kippmoment wird ausschließlich durch ein Axialkraftpaar abgestützt. Es wird vermieden, dass Radi-

alkräfte entstehen, welche die Lagerringe radial aufweiten und die Abdichtung erschweren. Dieser Vorteil wird gerade durch den Verzicht auf ein Radiallagerpaar bewirkt. Ferner wird es dank der Erfindung möglich, auch an den nur selten verstellten und daher belastungstechnisch sehr ungünstigen Blattlagern auf Schräggelenklager zu verzichten. Darüber hinaus ist kein Achszapfen erforderlich. Da das Kippmoment vollständig durch das Axialkraftpaar abgestützt ist, kann hier auf eine zweite Lagereinheit verzichtet werden, wodurch sich die Teileanzahl und damit auch die Anfälligkeit der Lagereinheit erheblich reduziert; die Bauweise wird äußerst kompakt, eine gegenseitige Einstellung mehrerer Lagerstellen entfällt.

[0017] Indem die beiden Anschlusselemente konzentrisch ineinander angeordnet sind, finden die beiden, in axialer Richtung gegeneinander versetzten Lagerstellen beide zwischen den Anschlusselementen Platz.

[0018] Es hat sich als günstig erwiesen, dass die beiden Anschlusselemente jeweils kranzförmig angeordnete Befestigungsbohrungen aufweisen. Hierbei kann es sich um mit Gewinde versehene Sacklochbohrungen oder bevorzugt um Durchgangsbohrungen für Schrauben, Bolzen od. ähnliches handeln, welche in ein Rotorblatt oder in die Rotornabe eingeschraubt oder daran verankert werden.

[0019] Erfindungsgemäß dienen einander abgewandte Stirnseiten der ringförmigen Anschlusselemente als Anschlussflächen zu der Rotorblattnabe einerseits und zu dem betreffenden Rotorblatt andererseits. Dadurch kann die Lagereinheit zwischen diesen beiden Bauteilen eingefügt werden.

[0020] Da erfindungsgemäß der Ringspalt zwischen den beiden Anschlusselementen jeweils im Bereich der beiden Anschlussflächen abgedichtet ist, laufen die Wälzkörper in einem gegenüber der Umgebung völlig abgeschlossenen Raum. Damit werden diese dem Einfluss von bspw. salzhaltiger und damit korrodierender Seeluft entzogen, das Eindringen von Staub wird verhindert, und das Schmierfett oder sonstige Schmiermittel werden im Bereich der Wälzkörper zurückgehalten.

[0021] Weitere Vorteile ergeben sich daraus, dass an der dem anderen Anschlusselement zugewandten Mantelseite wenigstens eines Anschlusselements wenigstens eine vorspringende, rundum laufende Nase vorgesehen ist. Über deren Seitenflächen kann eine Axialkraft in das betreffende Anschlusselement eingeleitet werden.

[0022] In Weiterverfolgung dieses Erfindungsgedankens kann ferner vorgesehen sein, dass die axiale Erstreckung der Nase dem axialen Abstand zwischen den Wälzkörpern der beiden Lager entspricht.

Dadurch ist es möglich, die beiden kreisringförmigen Seitenflächen der Nase als Lauffläche für die etwa zylindrischen Wälzkörper je einer Lagerstelle zu verwenden bzw. zu gestalten.

[0023] Die Erfindung lässt sich dahingehend weiterbilden, dass die Laufbahnen für die etwa zylindrischen Wälzkörper entlang von etwa ebenen Kreisringflächen verlaufen, die von der Längsachse des betreffenden Rotorblattes etwa lotrecht durchsetzt werden. Ebene Flächen sind herstellungstechnisch einfacher zu realisieren als gewölbte Flächen; andererseits werden bei der Erfindung von den betreffenden Lagern nur Axialkräfte übertragen, so dass keine Veranlassung besteht, die Laufflächen mit einer Wölbung zu versehen, oder unter einem (großen) Winkel, bspw. in der Größenordnung von etwa 45° zur Längsachse des betreffenden Rotorblattes auszuführen, wie es bspw. bei Doppelschräggrollenlagern der Fall ist.

[0024] Vorzugsweise verfügt das erfindungsgemäße Lager über wenigstens eine dritte Lagerstelle, die zwischen zwei einander zugewandten Mantelflächen der beiden Anschlusselemente eingefügt ist. Im Gegensatz zu den vorab beschriebenen Lagern obliegt es letzterem, den mit der Windlast ebenfalls verbundenen Winddruck von dem betreffenden Rotorblatt auf die Rotornabe zu übertragen. Die Belastung des Lagers durch die Windkraft selbst ist zwar bedeutend geringer als die durch das von der Windlast herrührende Kippmoment verursachte Belastung, kann aber dennoch nicht vernachlässigt werden, weil die erfindungsgemäße Lager mit etwa zylinderförmigen Wälzkörpern keine Radialkräfte übertragen können. Hierfür dient stattdessen das zusätzlich Lager.

[0025] Die Erfindung bevorzugt eine Anordnung, bei welcher sich die dritte Lagerstelle zwischen den beiden Laufbahnen für etwa zylindrische Wälzkörper befindet, welche derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen etwa radial in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes orientiert sind. Das Ergebnis ist eine sehr platzsparende Bauweise, indem die dritte bzw. zusätzliche Lagerstelle in axialer Richtung zwischen den beiden ersten plaziert wird, insbesondere im Bereich einer Nase zwischen den beiden ersten Lagern.

[0026] Die dritte Lagerstelle kann ebenfalls als Wälzlager ausgebildet sein, um eine möglichst leichtgängige Rotorblattverstellung zu gewährleisten, wobei die Rotationsachsen ihrer Wälzkörper etwa parallel zu der Längsachse des Rotorblatts sind. Da andererseits die von dem dritten Lager zu übertragenden Kräfte geringer sind als die von den beiden zuerst beschriebenen, kann ein Wälzkörper des dritten Lagers ein kleineres Volumen aufweisen als ein Wälzkörper eines der Lager mit den Wälzkörpern in etwa radia-

ler Orientierung der Rotationsachse gegenüber der Längsachse des Rotorblatts.

[0027] Andererseits besteht auch die Möglichkeit, die dritte Lagerstelle als Gleitlager auszubilden. Denn da dieses Lager nur vergleichsweise geringen Kräften ausgesetzt ist, werden darin auch keine großen Reibungskräfte erzeugt.

[0028] Eine weitere Folge der geringeren Belastung der dritten bzw. zusätzlichen Lagerstelle ist, dass die effektive Breite der Laufbahn oder Gleitfläche einer Lagerstelle, die zwischen zwei einander zugewandten Mantelflächen der beiden Anschlusselemente eingefügt ist, geringer dimensioniert werden kann als die effektive Breite einer Laufbahn, welche in Kontakt mit einem Wälzkörper tritt, dessen Rotationsachse etwa radial in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet ist.

[0029] Um den Zusammenbau der beiden ringförmigen Anschlusselemente samt dazwischen angeordneter Wälzkörper und ggf. Abstandhalter bzw. Wälzkörperkäfige zu erleichtern, empfiehlt die Erfindung, ein Anschlusselement entlang einer etwa lotrecht zu der Längsachse des Rotorblatts orientierten Ebene unterteilt auszuführen, so dass die beiden Hälften zum Einsetzen der Wälzkörper voneinander entfernt werden können.

[0030] Damit die Wälzkörper gerade unter Last möglichst verkantungsfrei parallel gegenüber den Laufbahnen ausgerichtet sind, ist erfindungsgemäß der Querschnitt der zum Einlegen von Wälzkörpern vorgesehenen Laufbahnen derart gestaltet, dass er zumindest bereichsweise nicht dem Längsschnitt eines dort einzulegenden Wälzkörpers entspricht, sondern vorzugsweise in axialer Richtung enger ist und damit gegen die Wälzkörper vorgespannt ist. Weitet sich die Laufbahn dann - einerseits unter dem Einfluß der Wälzkörper selbst, andererseits aber evtl. auch unter Belastung - auf, so liegt sie dennoch formschlüssig an den Wälzkörpern an, so dass diese sich nicht verkanten können. Zu diesem Zweck ist erfindungsgemäß die axiale Erstreckung des Querschnitts der zum Einlegen von Wälzkörpern vorgesehenen Laufbahnen zumindest bereichsweise kleiner gewählt als der Durchmesser des damit korrespondierenden Abschnitts eines Wälzkörpers.

[0031] Um die Lebensdauer des erfindungsgemäßen Lagers zu erhöhen, sollten die Wälzkörper, deren Rotationsachsen etwa radial in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet sind, zumindest einen bombierten Übergangsbereich zwischen der Mantelfläche und wenigstens einer angrenzenden Stirnseite aufweisen, d.h., eine Abflachung oder Abrundung. Dadurch wird eine Kantenpressung gegen die Laufbahn bei elastischer Verformung der Lagereinheit im Betrieb toleriert, indem

auch für diesen Fall im Bereich des abgerundeten Übergangs eine ausreichende Kontaktfläche zu den Laufflächen sichergestellt ist.

[0032] Eine andere Maßnahme zur Reduzierung des Verschleißes in der erfindungsgemäßen Lagerung besteht darin, dass die Wälzkörper, deren Rotationsachsen etwa radial in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes gerichtet sind, zumindest eine kalottenförmige Stirnseite aufweisen. Damit wird die Gleitfläche vergrößert, indem die radial außen liegenden Stirnflächen eines Wälzkörpers an der Innenseite des dortigen Anschlusselements entlanggleiten und daher nur einem geringen Verschleiß unterliegen. In diesem Sinne ist es von Vorteil, wenn der Wölbungsradius der kalottenförmigen Stirnseite etwa dem Radius der Innenseite des Außenrings entspricht oder kleiner ist als jener.

[0033] Verschleißmindernd wirkt auch eine Erhöhung der Elastizität der Wälzkörper, weil diese dann bei hoher Belastung und damit hoher elastischer Verformung der Lagereinheit zumindest in begrenztem Umfang elastisch nachgeben und anschließend ohne bleibende Verformung wieder zurückfedern können. Die Elastizität wird bspw. dadurch erhöht, dass die Wälzkörper, deren Rotationsachsen etwa radial in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblatts gerichtet sind, als Hohlkörper ausgebildet sind. Dies läßt sich bspw. durch koaxiales Durchbohren entlang ihrer Rotationsachse erreichen. Je nach Dicke der Bohrung bzw. des verbleibenden Mantels kann die Elastizität genau eingestellt werden.

[0034] Solche Hohlräume können dafür verwendet werden, um benachbarte, hohle Wälzkörper durch stirnseitige Verbindungselemente aneinander zu führen und so auf einem definierten Abstand zu halten, indem diese Verbindungselemente zumindest bereichsweise in die Hohlräume der Wälzkörper eingreifen. Sie können im einfachsten Fall bspw. die Gestalt C-förmiger Klammern aufweisen, deren Enden in je eine zentrale bzw. koaxiale Bohrung zweier benachbarter rollen- bzw. etwa zylinderförmigen Wälzkörper eingreifen.

[0035] Derartige Verbindungselemente bieten wiederum die Möglichkeit, untereinander zu einem oder mehreren Käfigen oder Käfigsegmenten zusammengefasst zu werden. Solche Käfigsegmente erstrecken sich bspw. nur über einen begrenzten Zentrumswinkel und nicht über den gesamten Umfang einer Wälzkörperreihe, und/oder sie umgreifen die Wälzkörper an deren innenliegenden oder an ihren außenliegenden Stirnseiten oder beidseitig.

[0036] Alternativ dazu läßt sich zwischen benachbarten Wälzkörpern je ein Distanzstück einfügen, dessen radialer Längsschnitt kleiner oder genauso groß ist als/wie der radiale Längsschnitt eines Wälz-

körpers. In diesem Fall können die Wälzkörper selbst jeweils länger und also mit einem maximalen Volumen ausgebildet sein, so dass größere Kräfte übertragen werden können, da in einem festgelegten Einbauraum kein Platz für einen Käfig verloren geht.

[0037] Im Rahmen einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist an keinem Anschlusselement eine Verzahnung vorgesehen; solchenfalls kann die Rotorblattverstellung bspw. mittels eines Hydraulikzylinders erfolgen, der an dem Rotorblatt exzentrisch zu dessen Längsachse angelenkt ist und sich an der Rotor-nabe abstützt, oder umgekehrt.

[0038] Andererseits kann zum Zweck der Rotorblattverstellung auch an einem Anschlusselement, vorzugsweise an der Innenseite des Innenrings, eine Verzahnung vorgesehen sein, zum Eingriff eines verzahnten Abtriebseslementes eines Antriebsmotors, bspw. eines Ritzels.

[0039] Im Betrieb der Windkraftanlage mit wenigstens der Lagereinheit wird/ werden das/die betreffende(n) Rotorblatt (-blätter) während des Betriebs der Windkraftanlage beständig um seine/ihre Längsachse(n) verdreht.

[0040] Eine beständige, d.h., ununterbrochene (kleine) Verdrehung der Rotorblätter unterstützt die erfindungsgemäße Rotorblatt-Lagerung, indem sich der Schmierfilm zwischen Wälzkörpern und Laufflächen fortwährend regenerieren kann und damit einem zeitweisen Trockenlauf vorgebeugt wird. Dies gilt insbesondere auch für den Fall, dass sich bei gleich bleibenden Windverhältnissen der Blattverstellwinkel kaum ändert und die Blattlager somitin einer Stellung verharren. Selbst bei einem solchen quasikonstanten Blattverstellwinkel kann es zu einem nachteiligen Laufbahnverschleiß in den Blattlagern kommen, da beim Vorbeistreichen des Rotorblattes am Turm durch aerodynamischen Sog und Druck eine Kippmomentbelastung auf die stillstehenden (nicht drehenden) Blattlager einwirkt, die ohne das erfindungsgemäße Verfahren den Schmierfilm zwischen den Wälzkörpern und der Laufbahn aufheben würde und dann Laufbahnschäden durch so genanntes „False Brinelling“ auftreten würden, also Degeneration der Laufbahn durch hohe Hertzsche Pressung der Wälzkörper auf die Laufbahnen) infolge auf das Wälzlager wiederkehrend einwirkender wechselnder Lasten, die während des Stillstandes des Wälzlagers schnell zur Schmierfilmverdrängung führen.

[0041] Dieses sogenannte „False Brinelling“ tritt dann auf, wenn die Windkraftanlage aus welchen Gründen auch immer, bspw. bei Wartungs-/Reparaturarbeiten oder während einer Sturmwindphase, abgeschaltet ist und der Rotor mit den Blättern langsam frei dreht („freewheeling“), ohne elektrische Energie zu generieren. Auch in diesem Fall kann die Anwen-

derung des erfindungsgemäßen Verfahrens während der Stillstandszeiten der Windkraftanlage Laufbahnschäden durch False Brinelling vorbeugen bzw. verhindern.

[0042] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Verhinderung des Laufbahnverschleißes durch die so genannte „Fretting Corrosion“. Diese tritt auf durch elastische Verformung der Lagereinheit/deren Anschlusskonstruktion und einer damit oft hervorgerufenen Gleitbewegung der Wälzkörper in Richtung von deren Längsachse und damit entlang der Laufbahn. Das erfindungsgemäße Verfahren gewährleistet immer auch eine Rollbewegung der Wälzkörper und damit den Aufbau des notwendigen Schmierfilmes zwischen Wälzkörpern und Laufflächen auch dann, wenn die Wälzkörper nachteiligen Gleitbewegungen entlang ihrer Längsachse ausgesetzt sind und zwar unabhängig davon, ob die Windkraftanlage in Betrieb ist oder nicht, oder ob die Rotorblätter verstellt werden müssen oder nicht, so lange eben, wie die beständige, d.h. ununterbrochene (kleine) Verstellung der Rotorblätter vorteilhafterweise durchgeführt wird.

[0043] Die beständige Verdrehung wird durch eine entsprechende Ansteuerung des Motors oder Zylinders für die Rotorblattverstellung bewirkt. Hierbei bietet es sich an, als beständige Verdrehung eine periodische Bewegung einzuprägen, weil eine daraus folgende, oszillierende Bewegung eines Rotorblatts einen besonders günstigen Schmierfilmaufbau zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen zur Folge hat.

[0044] Die Erfindung läßt sich dadurch optimieren, dass die Periode der oszillierenden Verdrehung des Rotorblattes der Umdrehungsperiode des Windrades entspricht. Dadurch wird eine gegenseitige Angleichung der von den unterschiedlichen Rotorblättern hervorgerufenen Last erreicht, zwecks Minimierung der resultierenden Strukturlast. Andererseits sollte bei stillstehendem Windrad (bspw. bei Flaute) die periodische Bewegung fortgesetzt werden. Dies bedingt im unteren Drehzahlbereich des Windrades ggf. eine Entkoppelung der periodischen Verstellung von der Drehzahl des Windrades, bspw. dergestalt, dass eine unterste Verstellfrequenz niemals unterschritten wird. Diese unterste Verstellfrequenz kann beim Anlauf des Windrades ggf. so lange fortgesetzt werden bis sich schließlich eine mit der Winkellage des Windrads synchrone Winkelposition ergibt, um anschließend die Verstellung des Anstellwinkels dieser Winkelposition des Windrads nachzuführen.

[0045] Während der periodischen Verdrehung eines Rotorblatts oszilliert dessen Anstellwinkel zwischen zwei Extremwerten. Eine gegenseitige Kompensation unterschiedlicher Auslenkungen der verschiedenen Rotorblätter kann erreicht werden, wenn die Maxima der periodischen Anstellwinkel-Auslenkung

für alle Rotorblätter jeweils an einem vorgegebenen Drehwinkel des betreffenden Rotorblattes um die Rotorachse erreicht werden. Eine solche, etwa sinusförmige Auslenkung führt bspw. bei drei Rotorblättern dazu, dass sich zu jedem Zeitpunkt die periodischen Abweichungen benachbarter Rotorblätter von dem Mittelwert gegeneinander um 120° unterscheiden, allgemein, d.h. bei n Rotorblättern, um $360^\circ/n$.

[0046] Sehr gute Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn die Extrema der periodischen Anstellwinkel-Auslenkung in etwa an dem höchsten und am tiefsten Punkt des Rotorblattes erreicht werden. Dabei sollte die Anstellung des Rotorblattes am höchsten Punkt einer größeren Windstärke, die an dem niedrigsten Punkt einer verringerten Windstärke entsprechen. Denn tatsächlich ist naturgemäß die Windstärke in zunehmender Höhe größer als in Bodennähe.

[0047] Eine Optimierung des einzelnen Blattanstellwinkels wird erreicht, wenn die Amplitude der periodischen Auslenkung des Rotorblatt-Anstellwinkels von der mit zunehmender Höhe steigenden Windgeschwindigkeit abhängt, bspw. etwa proportional zu jener ist. Bei einer solchen Steuerung sollte Sorge dafür getragen werden, dass die Amplitude der Auslenkung einen unteren Grenzwert nicht unterschreitet, selbst wenn die Windgeschwindigkeit bzw. die Differenz zwischen der Windgeschwindigkeit im oberen und unteren Bereich des Windrades gegen Null geht (bspw. bei absoluter Windstille).

[0048] Schließlich entspricht es der Lehre der Erfindung, dass der Mittelwert zwischen den Extremwerten der Verdrehung von der Windgeschwindigkeit abhängt. Wie auch bisher, so wird mit dem Mittelwert des Rotorblatt-Anstellwinkels eine optimale Anpassung der Rotorblattstellung an die konkreten Windverhältnisse angestrebt. Indem als Mittelwert vorzugsweise der bisher statisch eingestellte Rotorblatt-Anstellwinkel gewählt wird, ergeben sich für jedes einzelne Rotorblatt optimale Verhältnisse.

[0049] Weitere Merkmale, Eigenschaften, Vorteile und Wirkungen auf der Basis der Erfindung ergeben sich anhand der folgenden Beschreibung einiger bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung sowie anhand der Zeichnung. Hierbei zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Rotorblattlagereinheit in eingebautem Zustand, teilweise abgebrochen;

Fig. 2 die Blattlagereinheit aus **Fig. 1** in ausgebautem Zustand, ebenfalls abgebrochen;

Fig. 3 eine Ansicht auf die Mantelfläche eines Wälzkörpers der Blattlagereinheit aus den **Fig. 1** und **Fig. 2**; sowie

Fig. 4 eine der **Fig. 1** entsprechende Ansicht auf eine abgewandelte Ausführungsform der Erfindung.

[0050] Ein erfindungsgemäßes Blattlager **1** gelangt bei Windkraftanlagen zum Einsatz und dient dort dem verdrehbaren Anschluss eines Rotorblattes **2** an der Rotornabe **3**.

[0051] Das Rotorblatt **2** besteht üblicherweise aus Faserverbundwerkstoff und ist nach Art eines Flügels gestaltet. Zur Gewichtsersparnis ist das Rotorblatt **2** als einen inneren Hohlraum umgebende Mantelfläche **4** ausgebildet, die an dem rückwärtigen Ende **5** des Rotorblattes **2** in einen zylindermantelförmigen Verlauf mit einem Durchmesser von bspw. etwa 2 m bis 3 m übergeht. Demzufolge hat die ebene rückwärtige Anschlussfläche **6** einen kreisringförmigen Umriß. In dieser Anschlussfläche **6** befinden sich kranzförmig angeordnete Sacklochbohrungen **7**, welche jeweils bis zu einem in das Rotorblatt **2** eingesetzten Verankerungskörper **8** aus einem harten Material führen, bspw. aus Eisen. Die Sacklochbohrungen **7** setzen sich in den Verankerungskörpern **8** als Innengewindebohrungen fort.

[0052] Die Rotornabe **3** verfügt über eine steife Ausbuchtung **9** mit je einer ebenen, kreisringförmigen Anschlussfläche **10** für jedes Rotorblatt **2**, welche eine kreisförmige Öffnung **11** umgibt. Auch in diesen Anschlussflächen **10** befinden sich kranzförmig angeordnete Sacklochbohrungen **12**, die mit einem Innengewinde versehen sind.

[0053] Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Innendurchmesser einer solchen kreisförmigen Öffnung **11** größer als der Außendurchmesser des Rotorblattes **2** an dessen rückwärtigem Ende **5**. Zwischen den beiden Anschlussflächen **6**, **10** befindet sich die Lagereinheit **1**, die zwei ringförmige, zueinander konzentrische und gegeneinander verdrehbare Anschlusselemente **13**, **14** aufweist. Je eine von zwei voneinander abgewandte Stirnseiten **15**, **16** dieser Anschlusselemente **13**, **14** liegen jeweils vollflächig an je einer Anschlussfläche **6**, **10** an.

[0054] Zur festen Verbindung der Anschlusselemente **13**, **14** mit dem Rotorblatt **2** einerseits und der Rotornabe **3** andererseits sind in den beiden Anschlusselementen **13**, **14** jeweils kranzförmig angeordnete Durchgangsbohrungen **17**, **18** vorgesehen. Die Durchgangsbohrungen **17** des innenliegenden Anschlusselements **13** stimmen hinsichtlich Anzahl, Durchmesser und Ausrichtung mit den Sacklochbohrungen **7** in der Anschlussfläche **6** des Rotorblattes **2** derart überein, dass je eine Durchgangsbohrung **17** mit je einer Sacklochbohrung **7** fluchtet und das

Einstecken eines Stehbolzens **19** erlaubt. Sind alle Muttern auf den Stehbolzen **19** fest angezogen, ist der Innenring **13** fest mit dem rückwärtigen Ende **5** des Rotorblattes **2** verbunden, und zwar vorzugsweise so, dass die Mittelachse des Innenrings **13** mit der Längsachse des Rotorblattes **2** fluchtet.

[0055] Die Durchgangsbohrungen **18** des äußeren Anschlusselements **14** entsprechen hinsichtlich Anzahl, Durchmesser und Ausrichtung den Sacklochbohrungen **12** in der Anschlussfläche **10** der Rotornabe **3** derart überein, dass je eine Durchgangsbohrung **18** mit je einer Sacklochbohrung **12** fluchtend ausgerichtet ist und das Hindurchstecken eines Stehbolzens **20** ermöglicht. Sind alle Muttern auf den Stehbolzen **20** fest angezogen, ist der Außenring **14** fest mit der Ausbuchtung **9** der Rotornabe **3** verbunden.

[0056] Die weiteren Einzelheiten der Lagereinheit **1** sind leichter auf der Darstellung gemäß **Fig. 2** zu erkennen. Deutlich sichtbar ist eine an der Innenseite des äußeren Anschlusselements **14** angeordnete, rundumlaufende, bundförmige Nase **21** mit etwa rechteckigem Querschnitt. Die kreisringförmigen Seitenflächen **22**, **23** dieser Nase **21** dienen als Laufflächen für je eine Reihe von Wälzkörpern **24**, **25**.

[0057] Ein solcher Wälzkörper **24**, **25** ist in **Fig. 3** isoliert wiedergegeben. Man erkennt die etwa zylindrische Form mit einer im Mittelbereich zylindrischen Mantelfläche **26** und den bombierten, d.h. abgerundeten Übergängen **27**, **28** in die Stirnseiten **29**, **30**. Alle Wälzkörper **24**, **25** sind derart orientiert, dass ihre Längsachsen **31** radial zu der Längsachse des Rotorblattes **2** verlaufen. Demnach gibt es an jedem Wälzkörper **24**, **25** je eine radial außen liegende Stirnseite **29** und eine radial innen liegende Stirnseite **30**. Die jeweils außen liegende Stirnseite **29** ist konvex nach außen gewölbt, und zwar kalottenförmig. Der Wölbungsradius dieser kalottenförmigen Erhebung entspricht etwa dem Innendurchmesser des Außenrings **14** seitlich neben der Nase **21** bzw. axial gegenüber dieser versetzt, oder ist geringfügig kleiner als letztere. Daher gibt es im Bereich des Umfangs **27** dieser Stirnfläche keine Berührung mit der Innenseite des Außenrings **14** und damit auch keine Reibung. Zu diesem Zweck können an den betreffenden Stellen des Außenrings **14** zusätzliche, rundumlaufende Vertiefungen **32** vorgesehen sein.

[0058] Die radiale Erstreckung der Nase **21** bezüglich der Lagerdrehachse entspricht etwa der Länge eines Wälzkörpers **24**, **25**. In der innenliegenden Stirnseite **33** der Nase **21** ist eine Lauffläche **34** in Form einer rinnenförmigen Vertiefung für eine weitere Lagerstelle **35** vorgesehen, die vorzugsweise ebenfalls nach Art eines Zylinderrollenlagers aufgebaut ist. Die Breite dieser Lauffläche **34** ist kleiner als die Breite der Laufflächen **22**, **23** der anderen beiden Lagerstellen **24**, **25**.

[0059] Das radial innen liegende Anschlusselement **13** weist an seiner Außenseite eine rundumlaufende Einsenkung **36** von etwa rechteckigem Querschnitt auf. Während die Tiefe dieser Einsenkung **36** etwa der Länge eines Wälzkörpers **24, 25** entspricht, ergibt sich ihre Breite aus der Summe der Durchmesser eines Wälzkörpers **24** der oberen, dem Rotorblatt **2** zugewandten Lagerstelle und eines Wälzkörpers **25** der unteren, der Rotornabe **3** zugewandten Lagerstelle zuzüglich der axialen Erstreckung der dazwischen liegenden Nase **21**. Wenn diese Bedingung möglichst exakt eingehalten wird, rollen die Wälzkörper **24, 25** spielfrei zwischen den Seitenflächen **22, 23** der Nase **21** einerseits und den Seitenflächen **37** der Einsenkung **36** ab.

[0060] Die Einsenkung **36** wird seitlich bzw. in axialer Richtung begrenzt durch je eine bundförmig radial nach außen vorspringende Nase **38, 39**. Zwischen diesen und den korrespondierenden Bereichen der Innenseite des Außenrings befindet sich je ein ringförmiges Abdichtelement **40, 41**.

[0061] Der Innenring **13** ist entlang einer von der Lagerdrehachse lotrecht durchsetzten Mittelebene **42** unterteilt in zwei Hälften, eine obere **43** und eine untere **44**. Diese Hälften **43, 44** werden beim Zusammenbau des Blattlagers **1** voneinander entfernt und erst nach Einsetzen der Wälzkörper **24, 25, 35** wieder zusammengesetzt und mittels axial gerichteter Schrauben **45** aneinander festgelegt. Eine der beiden Hälften **43, 44** enthält auch die radial innenliegende Lauffläche für die dritte Lagerstelle **35**.

[0062] Die Wälzkörper **24, 25, 35** je eines Wälzlagers werden auf Abstand gehalten durch eingelegte Abstandselemente oder durch Käfige.

[0063] Die Wälzkörper **24, 25**, deren Längs- oder Rotationsachsen **31** radial bezüglich der Lagerdrehachse orientiert sind, dienen vornehmlich der Übertragung relativ hoher Kipp- oder Blattwurzelpiegemomente, welche an dem Rotorblatt **2** durch den Winddruck hervorgerufen werden. Die kleineren Wälzkörper **35** übertragen den Winddruck vom Rotorblatt **2** auf die Blattnabe **3**.

[0064] Eine Veränderung des Rotorblattanstellwinkels wird bei dieser Ausführungsform bspw. von einem Hydraulikzylinder bewirkt, der an dem Rotorblatt **2** einerseits und der Rotornabe **3** andererseits angelenkt ist. Vorzugsweise wird dieser Zylinder ständig verstellt, damit sich die Wälzkörper **24, 25, 35** beständig bewegen und dadurch der diese bedeckende Schmierfilm aufrechterhalten wird.

[0065] In Fig. 4 ist eine andere Lagereinheit **1'** mit einer alternativen Mechanik zur Veränderung des Rotorblattanstellwinkels wiedergegeben. Zu diesem Zweck ist an der Innenseite des Innenrings **13'** ei-

ne Innenverzahnung **46** vorgesehen. Eine Antriebseinheit **47** ist gehäuseseitig in der Ausnehmung **11** der Ausbuchtung **9** der Rotornabe **3** festgelegt, während ein Abtriebsritzel **48** mit der Innenverzahnung **46** kämmt. Dadurch wird der Innenring **13'** und mit diesem das Rotorblatt **2** gegenüber der Rotornabe **3** verdreht. Die Antriebseinheit **47** kann aus einem Motor **49**, einem nachgeschalteten Getriebe **50** und einer Bremse **51** bestehen. Vorzugsweise wird auch hierbei der Motor **49** beständig verstellt, um den Schmierfilm an den Wälzkörpern **24, 25, 35** aufrechtzuerhalten. Damit der die Innenverzahnung **46** tragende Ring nicht aus mehreren Teilen zusammengebaut werden muß, was zusätzliche Justierungsprobleme mit sich bringt, ist bei dieser Ausführungsform **1'** die Unterteilung **42'** an dem Außenring **14'** vorzusehen und nicht an dem Innenring **13'**; dementsprechend befindet sich die zentrale Nase **21'** an der Außenseite des Innenrings **13'** anstatt an der Innenseite des Außenrings **14'**.

[0066] Die Erfindung erlaubt eine Reihe weiterer Modifikationen; Bspw. kann auch der Innenring **13** an der Rotornabe **3** und der Außenring **14** an dem Rotorblatt **2** festgelegt sein. Die Ringe **13, 14** können in axialer Richtung gegeneinander versetzt sein oder unterschiedliche, axiale Erstreckungen aufweisen. Einige oder alle Durchgangsbohrungen **17, 18** können durch Sacklochbohrungen ersetzt sein.

[0067] Der an der Nabe **3** befestigte Außenring **14** kann eine Einsenkung **36** aufweisen, wenn umgekehrt der Innenring **13** eine Nase **21** aufweist.

[0068] Der Außenring **14** könnte eine Außenverzahnung ähnlich der des Innenrings **13', 46** aufweisen und mit dem Rotorblatt **2** verbunden sein, wenn umgekehrt der Innenring **13** mit der Rotornabe **3** verbunden wäre.

[0069] Der Ring **44** könnte mit dem Rotorblatt **2** verbunden sein, wenn umgekehrt Ring **43** als Auflagefläche der Mutter des Stehbolzens **19** diene.

[0070] Anstelle der Stehbolzen **19, 20** könnten Schrauben, insbesondere Maschinenschrauben, verwendet werden.

Patentansprüche

1. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit (1; 1') als Blattlager zum verdrehbaren Anschluss eines langgestreckten Rotorblatts (2) an einer Rotornabe (3) die Lagereinheit (1; 1') umfassend:
- wenigstens zwei axial gegeneinander versetzte Laufbahnen (22, 23, 37) mit umlaufenden Wälzkörpern (24, 25), die zwei gegeneinander verdrehbare, ringförmige Anschlusselemente (13, 14; 13', 14'), zum mittelbaren oder unmittelbaren Anschluss an dem rückwärtigen Ende (5) des betreffenden Rotor-

blattes (2) einerseits und an der Rotornabe (3) andererseits, wobei

- die ringförmigen Anschlusselemente (13, 14; 13', 14') einander abgewandte Stirnseiten (15, 16) aufweisen, die als Anschlussflächen zu der Rotornabe (3) einerseits und zu dem betreffenden Rotorblatt (2) andererseits dienen, und

- zwischen den beiden Anschlusselementen (13, 14; 13', 14') ein jeweils im Bereich der beiden Anschlussflächen abgedichteter Ringspalt gebildet ist, wobei

- die Wälzkörper (24, 25) zweier axial gegeneinander versetzter Laufbahnen (22, 23, 37) eine etwa zylindrische Gestalt aufweisen, mit je einer Mantelfläche (26), die rotationssymmetrisch zu genau einer Rotationsachse (31) ist, wobei

- diese Wälzkörper (24, 25) derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachse (31) die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) unter einem Winkel schneiden, der zwischen 30° und 90° liegt, und an der dem anderen Anschlusselement (13; 14') zugewandten Mantelseite eines Anschlusselements (14;13') eine vorspringende, rundum laufende Nase (21;21') vorgesehen ist, wobei die beiden kreisringförmigen Seitenflächen (22, 23) der Nase (21;21') den etwa zylindrischen Wälzkörpern (24, 25) je einer Wälzkörperreihe als Lauffläche dienen, , wobei die die Wälzkörper (24, 25) spielfrei zwischen den Seitenflächen (22, 23) der Nase (21) einerseits und den Seitenflächen (37) einer an einer Außenfläche oder Innenfläche des Anschlusselements (13, 14) vorgesehene rundumlaufende Einsenkung (36) von etwa rechteckigem Querschnitt abrollen, und wobei

- das Rotorblatt (2) als einen inneren Hohlraum umgebende Mantelfläche (4) ausgebildet ist, die an dem rückwärtigen Ende (5) des Rotorblattes (2) in einen zylindermantelförmigen Verlauf übergeht bis zu einer ebenen, rückwärtigen Anschlussfläche (6), wobei in der rückwärtigen Anschlussfläche (6) kranzförmig angeordnete Durchgangsbohrungen für Schrauben, Bolzen oder ähnliches vorgesehen sind, welche in das Rotorblatt (2) oder in die Rotornabe (3) eingeschraubt oder darin verankert sind, oder Sacklochbohrungen (7) vorgesehen sind, welche einerseits bis zu je einem in das Rotorblatt (2) eingesetzten Verankerungskörper (8) aus einem harten Material führen, worin sie sich als Innengewindebohrungen fortsetzen, und die andererseits mit kranzförmig verteilt angeordneten Durchgangsbohrungen (17) in dem betreffenden Anschlusselement (13, 13') hinsichtlich Anzahl, Durchmesser und Ausrichtung derart übereinstimmen, dass sie fluchten und dadurch das Einstecken je eines Stehbolzens (19) erlauben, und

- ein Hydraulikzylinder oder eine Antriebseinheit (47) dazu eingerichtet ist, das Rotorblatt (2) gegenüber der Rotornabe (3) zumindest zeitweise während des Betriebs der Windkraftanlage beständig um seine Längsachse zu verdrehen, damit sich die Wälzkörper (24, 25, 35) beständig und oszillierend bewegen.

2. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Anschlusselemente (13,14;13',14') konzentrisch ineinander angeordnet sind.

3. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Anschlusselemente (13,14; 13',14') jeweils kranzförmig angeordnete Befestigungsbohrungen (17,18) aufweisen.

4. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einander abgewandten Stirnseiten (15,16) der ringförmigen Anschlusselemente (13,14;13',14') als Anschlussflächen zu der Rotornabe (3) einerseits und zu dem betreffenden Rotorblatt (2) andererseits dienen, entweder direkt oder über dazwischenliegende Ringe, Platten od. dgl

5. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ringspalt zwischen den beiden Anschlusselementen (13, 14;13',14') jeweils im Bereich zwischen einer Wälzkörperlaufbahn und der nächstliegenden Anschlussfläche (15,16) abgedichtet ist (40,41).

6. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Laufbahnen (22, 23, 37) für die etwa zylindrischen Wälzkörper (24,25) entlang von etwa ebenen Kreisringflächen verlaufen, die von der Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) etwa lotrecht durchsetzt werden.

7. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine dritte Lagerstelle (35), die zwischen zwei einander zugewandten Mantelflächen (33) der beiden Anschlusselemente (13, 14; 13', 14') eingefügt ist.

8. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Lagerstelle (35) sich zwischen den beiden Laufbahnen für etwa zylindrische Wälzkörper (24, 25) befindet, welche derart ausgerichtet sind, dass ihre Rotationsachsen (31) etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) orientiert sind.

9. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Lagerstelle (35) ebenfalls als Wälzlager ausgebildet ist.

10. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotationsachse (31) der Wälzkörper (35) der dritten La-

gerstelle etwa parallel zu der Längsachse des Rotorblatts (2) orientiert ist.

11. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 5 oder 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wälzkörper (35) der dritten Lagerstelle ein kleineres Volumen aufweist als ein Wälzkörper (24, 25), dessen Rotationsachse (31) etwa radial, also etwa lotrecht, zu der Längsachse des Rotorblatts (2) orientiert ist.

12. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 7 oder 8 **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Lagerstelle (35) als Gleitlager ausgebildet ist.

13. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die effektive Breite der Laufbahn (22, 23, 37), welche in Kontakt mit einem Wälzkörper (24, 25) tritt, dessen Rotationsachse (31) etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) gerichtet ist, größer ist als die effektive Breite der Lauf- oder Gleitbahn (34) einer Lagerstelle (35), die zwischen zwei einander zugewandten Mantelflächen (33) der beiden Anschlusselemente (13, 14; 13', 14') eingefügt ist.

14. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Anschlusselement (13; 14') entlang einer etwa lotrecht zu der Längsachse des Rotorblatts (2) orientierten Ebene (42) unterteilt ist.

15. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der/die Übergangsbereich(e) (27, 28) zwischen der Mantelfläche und einer oder beiden Stirnflächen derjenigen Wälzkörper (24, 25), deren Rotationsachsen (31) etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) gerichtet sind, bombiert ist/sind.

16. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wälzkörper (24, 25), deren Rotationsachsen (31) etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) gerichtet sind, als Hohlkörper ausgebildet sind.

17. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass benachbarte, hohle Wälzkörper (24, 25) durch stirnseitige Verbindungselemente miteinander verbunden sind, welche zumindest bereichsweise in die Hohlräume der Wälzkörper (24, 25) eingreifen.

18. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass die Wälzkörper (24, 25) durch einen Käfig getrennt sind.

19. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wälzkörper (24, 25), deren Rotationsachsen (31) etwa radial, also etwa lotrecht, in Bezug auf die Längsachse des betreffenden Rotorblattes (2) gerichtet sind, zumindest eine kalottenförmig gewölbte Stirnseite (29) aufweisen.

20. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wölbungsradius der kalottenförmigen Stirnseite (29) etwa dem Radius der Innenseite des Außenrings (14) entspricht.

21. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen benachbarten Wälzkörpern (24,25) je ein Distanzstück eingefügt ist, dessen radialer Längsschnitt kleiner ist als der radiale Längsschnitt eines Wälzkörpers (24, 25) oder genauso groß wie jener.

22. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an keinem Anschlusselement (13, 14) eine Verzahnung vorgesehen ist.

23. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass an einem Anschlusselement (13', 14') eine Verzahnung (46) vorgesehen ist.

24. Windkraftanlage mit einer Lagereinheit nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verzahnung (46) an der Innenseite des Innenrings (13') vorgesehen ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

