



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2010 062 418.7

(51) Int Cl.: F03D 80/50 (2016.01)

(22) Anmelddatum: 03.12.2010

(43) Offenlegungstag: 06.06.2012

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 01.12.2016

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 2010 064 637.7**

(72) Erfinder:  
**Holling, Jochen, 48493 Wettringen, DE**

(73) Patentinhaber:  
**Availon GmbH, 48429 Rheine, DE**

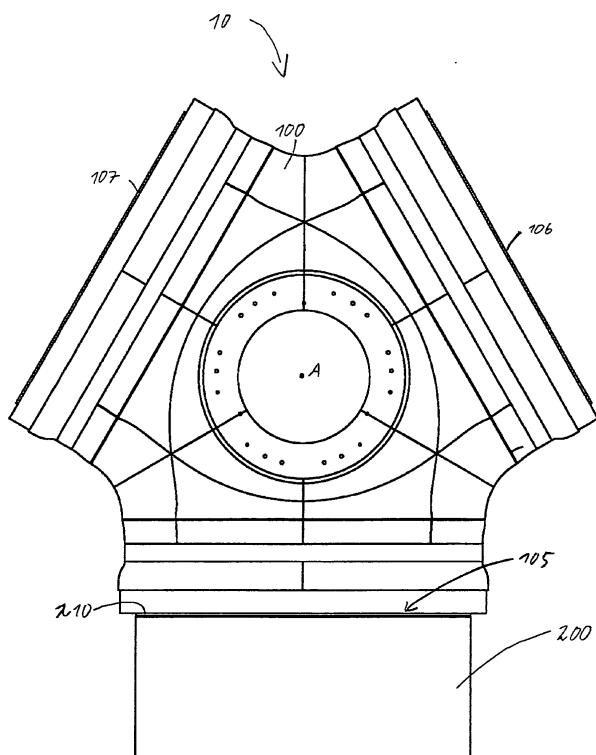
(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**EP 2 224 126 A2**

(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB, 80802 München, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Verdrehen eines Rotorblattlagers an Windenergieanlagen ohne Einsatz eines Autokranes**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Lösen eines Rotorblatts (200) einer Windenergieanlage, wobei das Rotorblatt (200) im Betrieb der Windenergieanlage an einer Nabe (100) der Windenergieanlage mittels eines Drehkranzes (110, 120) anstellwinkelverstellbar befestigt ist, und ein beweglicher Drehkranzteil (120) mit der Nabe (100) drehbar und mit einem Rotorblattflansch (210) des Rotorblatts (200) mittels einer Vielzahl von Schraubbolzen fest verbunden ist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- Ausrichten des Rotorblatts (200) in eine von der Nabe (100) aus gesehen wenigstens annähernd senkrecht nach unten weisenden Position,
- Einschrauben mindestens einer Gewindestange (300, 310, 320) in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch (210),
- Halten des Rotorblatts mittels eines mit wenigstens einer Gewindestange verbundenen Hubmittels (400) in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch (210) an dem Drehkranz (110, 120) anliegt,
- Lösen aller Schraubbolzen, und
- Absenken des Rotorblatts (200) mittels des Hubmittels (400).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft Windenergieanlagen mit einer Rotorblattverstellung (auch Anstellwinkelverstellung oder Pitchverstellung genannt). Solche Windenergieanlagen besitzen für ihr verstellbares Rotorblatt ein Rotorblattlager – auch Drehkranz genannt. Die Erfindung betrifft insbesondere die Instandhaltung solcher Windenergieanlagen.

**[0002]** Windenergieanlagen besitzen typischerweise einen Rotor mit einer Nabe, an der meist mehrere Rotorblätter befestigt sind. Um den Anstellwinkel eines jeweiligen Rotorblatts verändern zu können, ist üblicherweise eine Rotorblattverstellung vorgesehen. Diese kann einen Drehkranz aufweisen, dessen beweglicher Teil über ein Drehlager mit der Nabe verbunden und somit gegenüber der Nabe um eine Rotorblattlängsachse drehbar ist. An dem beweglichen Teil ist das jeweilige Rotorblatt befestigt und somit ebenfalls um seine Längsachse drehbar und gegenüber der Nabe winkelverstellbar.

**[0003]** Derartige an Windenergieanlagen verwendete Drehkränze bilden in der Regel eine Einheit mit dem Drehlager und weisen als Einheit in der Regel einen Innen- und einen Außenring, sowie Wälzkörper, Spacer oder einen Käfig auf. Verstellt wird hierbei der frei drehbare Teil der Einheit, welcher im Folgenden als beweglicher Drehkranzteil bezeichnet wird, und der mit dem Rotorblatt verbunden ist. Das Gegenstück ist starr mit der Nabe verbunden. Die Verstellung erfolgt üblicherweise über eine Verzahnung des Drehkränzes mit Hilfe einer Getriebe-Motoren-Kombination.

**[0004]** An Windenergieanlagen mit elektrischer Rotorblattverstellung kann es zu einem erhöhten Verschleiß der Rotorblattlagerverzahnung, also der Verzahnung des Drehkränzes im Bereich von etwa 0°–5° Rotorblattanstellwinkel (Rotorblattstellung) kommen. Dieses ist bedingt durch die Rotorblattverstellung im oberen Lastbereich der Windenergieanlage.

**[0005]** Der Nutzungsbereich der Verzahnung beträgt bei Windenergieanlagen mit geregelter Rotorblattverstellung in der Regel 90°. Die Rotorblätter werden im Bereich 0° bis 90° verfahren. Als Arbeitsbereich wird der Bereich 0°–5° angesehen. In diesem Bereich kommt es zum höchsten Verschleiß. Im Arbeitsbereich wird durch ein permanentes Verfahren des Antriebes das aufgebrachte Schmiermittel verdrängt, so dass ein erhöhter Abrieb der betroffenen Stelle einsetzt. Bei Erreichen der Verschleißgrenze ist eine Verdrehung der Position Rotorblattlager zum Rotorblatt erforderlich, so dass noch nicht verschlissene Zähne der Verzahnung am Drehkranz mit dem Antrieb in Eingriff kommen.

**[0006]** Derzeitig werden zwei Verfahren angewendet um die Rotorblattlagerverdrehung zu realisieren. In dem ersten Verfahren wird der Rotor der Windenergieanlage demontiert. Die Rotorblätter werden einzeln mit zwei Autokrane demontiert, der bewegliche Drehkranzteil wird verfahren und das Rotorblatt wird wieder montiert. In dem zweiten Verfahren wird das Rotorblatt bei montiertem Rotor mit zwei Kranen oder mit einem Kran – durch Einsatz eines Gestelles, welches das Gleichgewicht des Rotorblattes hält – demontiert, der bewegliche Drehkranzteil wird verfahren und das Rotorblatt wird wieder montiert. Bei beiden Verfahren wird der bewegliche Drehkranzteil in den bis zu diesem Zeitpunkt ungenutzten Bereich verfahren.

**[0007]** Aus der EP 2 224 126 A2 ist beispielsweise eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Absenken und zum Anheben eines Rotorblatts einer Windenergieanlage aus einer 6 Uhr Position bekannt.

**[0008]** Wünschenswert ist eine alternative, vorzugsweise einfache Vorgehensweise beim Instandhalten von Windenergieanlagen.

**[0009]** Gemäß einem ersten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Lösen eines Rotorblatts einer Windenergieanlage, wobei das Rotorblatt im Betrieb der Windenergieanlage an einer Nabe der Windenergieanlage mittels eines Drehkränzes anstellwinkelverstellbar befestigt ist, und ein beweglicher Drehkranzteil mit der Nabe drehbar und mit einem Rotorblattflansch des Rotorblatts mittels einer Vielzahl von Schraubbolzen fest verbunden ist.

**[0010]** Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

- Ausrichten des Rotorblatts in eine von der Nabe aus gesehen wenigstens annähernd senkrecht nach unten weisende Position,
- Einschrauben mindestens einer Gewindestange in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch,
- Halten des Rotorblatts mittels eines mit wenigstens einer Gewindestange verbundenen Hubmittels in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt,
- Lösen aller Schraubbolzen, und
- Absenken des Rotorblatts mittels des Hubmittels.

**[0011]** Das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung ermöglicht ein Lösen des Rotorblatts als Voraussetzung für ein Freigeben des Drehkränzes ohne Zuhilfenahme eines Autokrancs oder ähnlicher schwerer Geräte.

**[0012]** Das Hubmittel ist bevorzugt ein Hydraulikzylinder.

**[0013]** Das Verfahren ist grundsätzlich bei Windenergieanlagen anwendbar, welche eine horizonta-

le Rotationsachse aufweisen. Derartige Windenergieanlagen weisen üblicherweise einen Turm, eine auf dem Turm angebrachte Gondel sowie eine einseitig an der Gondel angebrachte Nabe auf. In der Gondel befinden sich üblicherweise ein Generator, eine Bremse und gegebenenfalls ein Getriebe. An der Nabe sind Rotorblätter angebracht, wobei typische Windenergieanlagen zwei oder drei Rotorblätter aufweisen. Alle Aspekte der Erfindung sind jedoch nicht auf Windenergieanlagen mit einer bestimmten Anzahl von Rotorblättern eingeschränkt. Vielmehr ist die Erfindung grundsätzlich bei Windenergieanlagen mit einer beliebigen Anzahl von Rotorblättern anwendbar.

**[0014]** Während des Betriebs einer Windenergieanlage, auf welche das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung anwendbar ist, ist mindestens ein Rotorblatt an der Nabe der Windenergieanlage mittels eines Drehkranzes anstellwinkelverstellbar befestigt. Der Drehkranz weist typischerweise einen Innenring und einen Außenring auf. Er kann dabei entweder so ausgebildet sein, dass der Außenring fest steht und der Innenring drehbar ist, oder dass der Innenring fest steht und der Außenring drehbar ist. Je nach dem, ob der Außenring oder der Innenring drehbar ist, wird der Außenring oder der Innenring als beweglicher Drehkranzteil bezeichnet. Den Drehkranz zu drehen bedeutet, das bewegliche Drehkranzteil relativ zum jeweils anderen Teil des Drehkranzes und zur Nabe zu drehen. Zum Drehen des Drehkranzes dient üblicherweise ein Elektromotor, welcher mit einem kleinen Zahnrad versehen ist und in einen Zahnrang an dem Drehkranz eingreift.

**[0015]** Das Rotorblatt weist einen Rotorblattflansch auf, welcher zur Befestigung am beweglichen Drehkranzteil dient. Hierzu wird üblicherweise eine Vielzahl von Schraubbolzen verwendet, welche den beweglichen Drehkranzteil mit dem Rotorblattflansch verbinden. Der Rotorblattflansch weist hierzu typischerweise Gewindebohrungen zur Aufnahme der Schraubbolzen auf.

**[0016]** Beim Schritt des Ausrichtens des Rotorblatts in eine von der Nabe aus gesehen wenigstens annähernd senkrecht nach unten weisende Position wird das jeweilige Rotorblatt in eine Position gebracht, in welcher es mit einem von der Nabe entfernten Ende in Richtung der Schwerkraft, also in Richtung auf den Erdmittelpunkt, zeigt, so dass auf dem Rotorblattflansch im Wesentlichen keine Biegekräfte wirken.

**[0017]** Beim Schritt des Einschraubens mindestens einer Gewindestange wird die unmittelbar vorher durch Schraubbolzen bereits sichergestellte Befestigung des Rotorblatts um eine zusätzliche Befestigung durch die Gewindestange erweitert. Das bedeutet, dass vor diesem Schritt das Rotorblatt nur durch alle – falls gesonderte Gewindebohrungen für Gewin-

destangen vorhanden sind – oder einige Schraubbolzen befestigt war, wohingegen es nach diesem Schritt sowohl durch Schraubbolzen wie auch durch die Gewindestange befestigt ist. Dies wird normalerweise nicht mit einer unmittelbaren Bewegung des Rotorblatts verbunden sein. Durch diesen Schritt wird jedoch die Voraussetzung dafür geschaffen, dass alle Schraubbolzen später entfernt werden können.

**[0018]** Die jeweilige Gewindestange ist dabei bevorzugt derart mit je einem Hubmittel verbunden, dass sie eine haltende Kraft auf das Rotorblatt ausüben kann. Dies wird typischerweise dadurch erreicht, dass das Hubmittel ausreichend fest mit der Gewindestange verbunden ist und selbst entweder auf dem Drehkranz oder einem anderen tragenden Teil aufliegt, oder an einem geeigneten tragenden Teil innerhalb der Nabe aufgehängt wird. Durch das Einschrauben der Gewindestange in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch wird auch eine feste Verbindung zwischen der Gewindestange und dem Rotorblatt erzeugt, so dass die Gewindestange das Rotorblatt halten kann. Bevorzugt sind die Gewindestange und das Hubmittel derart ausgelegt, dass bei entsprechender Befestigung des Hubmittels die Gewindestange alleine dazu in der Lage ist, das Rotorblatt zu halten.

**[0019]** Beim Schritt des Haltens des Rotorblatts mittels des Hubmittels in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt, wird der Hydraulikzylinder als bevorzugtes Hubmittel in einen Druckzustand versetzt, in welchem die Gewindestange eine nach oben gerichtete Kraft auf das Rotorblatt ausübt, die der auf die jeweilige Gewindestange wirkenden Schwerkraft entspricht oder diese übersteigt. Üblicherweise weisen Hydraulikzylinder einen Kolben und zwei seitlich an den Kolben angrenzende Druckkammern auf. Für den Zweck des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung ist grundsätzlich eine Kontrolle des Drucks in einer Kammer ausreichend. Typischerweise wird dafür diejenige Kammer verwendet werden, von welcher gilt, dass eine Druckerhöhung in dieser Kammer zu einer nach oben gerichteten Kraft der Gewindestange auf das Rotorblatt führt. Wenn beispielsweise die Gewindestange eine Verlängerung einer Kolbenstange des Hydraulikzylinders ist und der Hydraulikzylinder mit nach unten herausweisender Kolbenstange auf den Drehkranz aufliegt, so wird typischerweise für die Durchführung des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung der Druck in der unteren Kammer des Hydraulikzylinders kontrolliert werden. Zum Halten des Rotorblatts in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt, wird dann der Druck in dieser Kammer erhöht werden. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung einer Hydraulikpumpe erfolgen.

**[0020]** Es sei erwähnt, dass die beschriebene Druckbeaufschlagung des Hydraulikzylinders nicht zwingend ist. Ebenso kann beim Schritt des Haltens des Rotorblatts mittels des Hydraulikzylinders in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt, eine Druckkammer des Hydraulikzylinders mit einem besonders niedrigen Druck versehen werden, sofern das verwendete Hydraulikfluid einen ausreichend niedrigen Dampfdruck besitzt. Es sollte sich dabei um eine Kammer halten, bei welcher eine Verringerung des Drucks in dieser Kammer zu einer nach oben gerichteten Kraft auf das Rotorblatt führt. Beim Schritt des Absenkens des Rotorblatts sollte dann in dieser Kammer der Druck entsprechend erhöht werden. Alternativ können auch beide Druckkammern des Hydraulikzylinders parallel gesteuert und zur Ausführung des Verfahrens verwendet werden.

**[0021]** Wenn das Rotorblatt mittels des Hydraulikzylinders in einer Position gehalten wird, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt, werden alle Schraubbolzen, mit welchen der Rotorblattflansch und der bewegliche Drehkranzteil verbunden sind, gelöst. Das Rotorblatt bewegt sich trotz des Lösen aller Schraubbolzen nicht, weil es mittels des Hydraulikzylinders in seiner Position gehalten wird. Die Gewindestange und der Hydraulikzylinder erfüllen somit nun die Funktion der Schraubbolzen vor deren Lösen.

**[0022]** Der Schritt des Absenkens des Rotorblatts mittels des Hydraulikzylinders wird typischerweise dadurch eingeleitet, dass der Druck in einer Druckkammer des Hydraulikzylinders, welcher beim Schritt des Haltens des Rotorblatts erhöht wurde, abgesenkt wird. Geeigneterweise wird der Druck dabei so abgesenkt, dass die durch die Gewindestange auf das Rotorblatt ausgeübte Kraft die Schwerkraft des Rotorblatts nicht mehr vollständig kompensieren kann. Dadurch bewegt sich das Rotorblatt nach unten.

**[0023]** In einer Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung wird vor dem Einschrauben der Gewindestange ein in die Gewindebohrung eingeschraubter Schraubbolzen herausgeschraubt und entfernt. Diese Ausführungsvariante des Verfahrens kommt dann zum Einsatz, wenn die Gewindestange in eine Gewindebohrung des Rotorblattflansches eingeschraubt werden soll, in der vorher ein Schraubbolzen zum Verbinden des Rotorblattflansches mit dem beweglichen Drehkranzteil eingeschraubt war. Dies ist jedoch nicht zwingend. Alternativ kann beispielsweise die Gewindestange in eine Bohrung des Rotorblattflansches eingeschraubt werden, welche speziell für diesen Zweck vorgesehen ist, oder welche beim Betrieb der Windenergieanlage nicht mit einem Schraubbolzen versehen ist, beispielsweise weil die notwendige Festigkeit der Verbindung des Rotorblatts mit dem Drehkranz auch oh-

ne einen Schraubbolzen in dieser Bohrung erreicht wird.

**[0024]** Bevorzugt werden mindestens zwei Gewindestangen, die mit jeweils einem Hubmittel verbunden sind, in jeweils eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch eingeschraubt. Damit wird die Befestigung des Rotorblatts an dem Drehkranz verbessert, insbesondere wird das Rotorblatt dann an einem weiteren Befestigungspunkt befestigt, wodurch seine Bewegungsfreiheitsgrade eingeschränkt werden. Noch weiter bevorzugt ist es, drei Gewindestangen, welche mit jeweils einem Hubmittel verbunden sind, in jeweils eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch einzuschauben. Damit kann eine Ebene des Rotorblattflansches eindeutig definiert werden, so dass der Rotorblattflansch und damit auch das Rotorblatt keine Bewegungsfreiheitsgrade mehr haben. Durch die Verringerung der Bewegungsfreiheitsgrade des Rotorblatts kann verhindert werden, dass beispielsweise beim Auftreten von Wind, welcher zu einer Biegekraft auf den Rotorblattflansch führt, eine zu große Biegekraft auf die einzelnen Gewindestangen und die Hubmittel ausgeübt wird, welche zum Abreißen der Gewindestange und schlimmstenfalls zum Herunterfallen des Rotorblatts führen könnte. Besonders bevorzugt werden deshalb entweder drei oder vier Gewindestangen, welche mit jeweils einem Hydraulikzylinder verbunden sind, verwendet. Jedoch ist auch jede andere Zahl von Gewindestangen verwendbar.

**[0025]** Auch bei Verwendung mehrerer Gewindestangen, welche mit jeweils einem Hydraulikzylinder verbunden sind, ist es bevorzugt, dass jede der Gewindestangen und die zugehörigen Hubmittel dazu ausgelegt sind, das Rotorblatt auch alleine zu halten. Sollte beispielsweise bei einer der Gewindestangen ein Materialversagen auftreten, so kann das Rotorblatt immer noch an den anderen Gewindestangen gehalten werden.

**[0026]** Das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung kann über das Lösen des Rotorblatts hinaus derart erweitert werden, dass das Rotorblatt nicht nur an einer oder mehreren Gewindestangen hängt, sondern auch durch eine weitere Befestigungskomponente an der Nabe befestigt wird. Hierzu werden nachfolgend zwei Ausführungsformen beschrieben: Das Befestigen mittels mindestens eines Zwischenstücks und das Befestigen mittels mindestens eines Seils.

**[0027]** Gemäß einer Ausführungsvariante wird nach dem Absenken des Rotorblatts mindestens ein Zwischenstück zum Halten des Rotorblatts an der Nabe und an dem Rotorblatt befestigt. Ein geeignetes Zwischenstück ist beispielsweise weiter unten im Zusammenhang mit dem dritten Aspekt der Erfindung beschrieben. Das Zwischenstück sollte sowohl am Ro-

torblatt wie auch an der Nabe derart befestigt sein, dass es in der Lage ist, das Rotorblatt zu halten. Dies kann auf vielfältige Arten erfolgen, beispielsweise durch Festschrauben, Einhängen, Einschieben etc.

**[0028]** Bevorzugt werden mehrere Zwischenstücke verwendet. Durch Verwendung von zwei Zwischenstücken können die Bewegungsfreiheitsgrade des Rotorblatts in einem Zustand, in welchem das Rotorblatt nur noch durch die Zwischenstücke gehalten wird, eingeschränkt werden. Durch die Verwendung von drei oder mehr Zwischenstücken wird erreicht, dass das Rotorblatt in einem Zustand, in welchem es nur noch durch die Zwischenstücke gehalten wird, keine Bewegungsfreiheitsgrade mehr hat. Die damit zu erzielenden Vorteile sind identisch zu denen, welche durch die Verwendung von mehreren Gewindestangen erreicht werden können.

**[0029]** Alternativ kann ein Zwischenstück auch mehrere Befestigungspunkte aufweisen. Ein solches Zwischenstück kann an mehreren Stellen, beispielsweise mit mehreren Schraubbolzen mit dem Rotorblattflansch verbindbar sein, und/oder es kann an mehreren Stellen, beispielsweise mit mehreren Schraubbolzen mit der Nabe verbindbar sein.

**[0030]** Auch bei Verwendung von mehreren Zwischenstücken, und insbesondere bei Verwendung lediglich eines Zwischenstücks, sollten die Zwischenstücke bevorzugt so ausgelegt sein, dass ein einzelnes Zwischenstück dazu in der Lage ist, das Rotorblatt alleine zu halten. Hierdurch wird die Sicherheit erhöht.

**[0031]** In einer Ausführungsform, beispielsweise wenn ein Zwischenstück gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung verwendet wird, wird das Zwischenstück an der Nabe und an dem Rotorblattflansch mit jeweils einem Schraubbolzen befestigt. Dabei dient das Zwischenstück zum Ausgleichen der unterschiedlichen Lochkreisdurchmesser des Rotorblattflansches und des Nabengelenks. Anders ausgedrückt dient das Zwischenstück als Lochkreisadapter. Alternativ kann das Zwischenstück auch nur an dem Rotorblatt oder nur an der Nabe mit einem Schraubbolzen befestigt werden, wobei das Zwischenstück dann an dem jeweils anderen Element auf andere Weise befestigt wird.

**[0032]** Das Zwischenstück wird typischerweise durch Industriekleber befestigt. Alternativ ist es jedoch auch denkbar, dass ein Zwischenstück mit Hilfe einer Seilwinde, eines Roboters oder einer anderen Vorrichtung befestigt wird.

**[0033]** Eine Alternative zur Verwendung eines Zwischenstücks stellt die Verwendung mindestens eines Seils dar. Dabei wird das mindestens eine Seil zum

Halten des Rotorblatts an der Nabe und an dem Rotorblatt befestigt, nachdem das Rotorblatt abgesenkt wurde. Dabei kann entweder ein einziges Seil verwendet werden, oder es können mehrere, beispielsweise zwei, drei oder vier Seile verwendet werden. Auch bei Verwendung mehrerer Seile und insbesondere bei Verwendung nur eines Seils sind die Seile bevorzugt derart ausgelegt, dass ein einziges Seil dazu in der Lage ist, das Rotorblatt alleine zu halten.

**[0034]** Die Befestigung des Seils an der Nabe und an dem Rotorblatt kann jeweils auf unterschiedliche Arten erfolgen. Beispielsweise kann das Seil durch eine Öse durchgezogen werden, es kann mit einem einschraubbaren Abschlussstück versehen sein und in eine Gewindebohrung eingeschraubt werden, oder es kann um eine dafür vorgesehene Stange oder ein ähnliches Element herumgeführt werden.

**[0035]** Bei Verwendung eines Seils wird ferner bevorzugt mindestens eine Führungsschiene an der Nabe und an dem Rotorblatt montiert, um das Rotorblatt gegen Schwingungen zu sichern. Bevorzugt werden dabei mindestens zwei, weiter bevorzugt mindestens drei Führungsschienen verwendet. Die Führungsschienen müssen nicht dafür ausgelegt sein, das Rotorblatt alleine zu halten. Vielmehr sorgen sie für eine Stabilisierung des Rotorblatts, welches ansonsten unter Umständen durch eines oder mehrere Seile nicht stabil genug gehalten wird.

**[0036]** Das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, welches um das Verfahrensmerkmal des Haltens des Rotorblatts an einem weiteren Element, beispielsweise an einem Zwischenstück oder an einem Seil, erweitert wurde, kann ferner erweitert werden, um das Rotorblatt an der Nabe hängend zu befestigen. Hierzu werden nach dem Befestigen des mindestens einen Zwischenstücks oder des mindestens einen Seils, bzw. nach dem Befestigen mehrerer Zwischenstücke oder mehrerer Seile, alle eingeschraubten Gewindestangen wieder herausgeschraubt. Somit wird das Rotorblatt nur noch durch das mindestens eine Zwischenstück oder das mindestens eine Seil an der Nabe gehalten. In diesem Zustand ist das Rotorblatt an der Nabe hängend befestigt.

**[0037]** Vorteilhaft an einer Weiterführung des Verfahrens bis zum hängenden Befestigen des Rotorblatts an der Nabe ist, dass nach Abschluss des Verfahrens der bewegliche Drehkranzteil unabhängig vom Rotorblatt verdreht werden kann. Dies ist möglich, weil keine feste Verbindung mehr zwischen dem beweglichen Drehkranzteil und dem Rotorblatt besteht.

**[0038]** Gemäß einem zweiten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Instandhaltung einer Windenergieanlage, bei welcher mindestens ein

Rotorblatt im Betrieb der Windenergieanlage an einer Nabe der Windenergieanlage mittels eines Drehkranzes anstellwinkelverstellbar befestigt ist, und ein beweglicher Drehkranzteil mit der Nabe drehbar und mit einem Rotorblattflansch des Rotorblatts mittels einer Vielzahl von Schraubbolzen fest verbunden ist. Dieses Verfahren umfasst folgende Schritte:

- hängendes Befestigen des Rotorblatts an der Nabe,
- Drehen des beweglichen Drehkranzteils bezüglich des Rotorblattflansches,
- Befestigen des Rotorblatts an dem Drehkranz.

**[0039]** Das Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ermöglicht es, den Drehkranz zu verdrehen, ohne dass hierfür ein Autokran oder eine ähnliche schwere Einrichtung erforderlich wäre.

**[0040]** Die Ausführungen zu einer Windenergieanlage, bei welcher das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung angewandt werden kann, gelten ebenfalls für eine Windenergieanlage, bei welcher das Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung angewandt werden kann.

**[0041]** Beim hängenden Befestigen des Rotorblatts an der Nabe wird das Rotorblatt, welches normalerweise an dem beweglichen Drehkranzteil befestigt ist, von dem Drehkranz gelöst und anderweitig an der Nabe aufgehängt. Damit ist ein freies Verdrehen des beweglichen Drehkranzteils möglich. In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung wird das Rotorblatt mittels eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, welches bis zum hängenden Befestigen eines Rotorblatts erweitert wird, hängend befestigt.

**[0042]** Beim Schritt des Drehens des beweglichen Drehkranzteils bezüglich des Rotorblattflansches wird der Drehkranz bevorzugt mindestens so weit gedreht, dass ein Zahnrad eines Antriebsmotors, welcher für die Winkelverstellbarkeit sorgt, nach dem Verdrehen des Drehkranzes im Arbeitsbereich an einer Stelle eines Zahnkranzes eingreift, welcher bislang nur wenig benutzt und insbesondere noch nicht verschlissen ist. Bevorzugt wird der Drehkranz dabei um mindesten  $10^\circ$ , besonders bevorzugt um mindestens  $15^\circ$  oder ganz besonders bevorzugt um mindestens  $100^\circ$  verdreht. Zummindest sollte der Drehkranz nicht um  $0^\circ$ ,  $360^\circ$  oder ein ganzzahliges Vielfaches davon verdreht werden. Ebenso sollte der Drehkranz nicht in eine Position gedreht werden, bei welcher das Zahnrad des Antriebsmotors im Arbeitsbereich mit einer Stelle des Zahnkranzes in Eingriff kommen würde, welcher bereits verschlissen ist.

**[0043]** Der Schritt des Drehens des beweglichen Drehkranzteils bezüglich des Rotorblattflansches kann derart ausgeführt werden, dass der bewegliche Drehkranzteil bezüglich der Nabe gedreht wird, wäh-

rend der Rotorblattflansch nicht gedreht wird. Alternativ kann er jedoch auch derart ausgeführt werden, dass der Rotorblattflansch gedreht wird, während der bewegliche Drehkranzteil nicht gedreht wird. Dies ist beispielsweise möglich, wenn das Rotorblatt an Seilen hängend befestigt ist. Auch eine Kombination der beiden Ausführungen ist möglich.

**[0044]** Der Schritt des Befestigens des Rotorblatts umfasst bevorzugt folgende Schritte:

- Einschrauben mindestens einer Gewindestange, welche mit einem Hydraulikzylinder verbunden ist, in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch,
- Entfernen von Zwischenstücken, Seilen oder Führungsschienen, so dass das Rotorblatt nur noch durch eine oder mehrere Gewindestangen gehalten wird,
- Hochziehen des Rotorblatts mittels des mindestens einen Hydraulikzylinders,
- Befestigen des Rotorblatts an dem Drehkranz durch Einschrauben einer Vielzahl von Schraubbolzen.

**[0045]** Hiermit wird im Wesentlichen das Verfahren zum Lösen eines Rotorblatts gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung umgekehrt.

**[0046]** Durch den Schritt des Einschraubens mindestens einer Gewindestange, welche mit einem Hubmittel verbunden ist, wird eine feste Verbindung zwischen der Gewindestange und dem Rotorblatt hergestellt. Bevorzugt werden hierfür mehrere, beispielsweise zwei oder besonders bevorzugt drei oder vier Gewindestangen verwendet. Damit kann das Rotorblatt an den Gewindestangen gehalten werden, wodurch ein Entfernen der Zwischenstücke, der Seile oder der Führungsschienen möglich wird, ohne dass das Rotorblatt herabfällt.

**[0047]** Beim Schritt des Entfernens der Zwischenstücke, der Seile oder der Führungsschienen wird die unmittelbare Verbindung zwischen dem Rotorblatt und der Nabe, welche durch die Zwischenstücke, die Seile oder die Führungsschienen vermittelt wird, aufgehoben. Damit hängt das Rotorblatt fortan nur noch an einer oder mehreren Gewindestangen.

**[0048]** Damit wird auch ermöglicht, dass das Rotorblatt anschließend mittels des mindestens einen Hubmittels hochgezogen wird.

**[0049]** Zum Hochziehen des Rotorblatts mittels des mindestens einen Hubmittels in Form eines Hydraulikzylinders wird üblicherweise ein Druck in einer Druckkammer des Hydraulikzylinders erhöht, so dass die Gewindestange eine nach oben gerichtete Kraft auf das Rotorblatt ausübt, welche größer ist als der auf die jeweilige Gewindestange wirkende Anteil der Schwerkraft des Rotorblatts. Damit wird das Rotor-

blatt angehoben und wieder in die Position zurückgeführt, in welcher der Rotorblattflansch an dem Drehkranz anliegt.

**[0050]** Durch den Schritt des Befestigens des Rotorblatts an dem Drehkranz durch Einschrauben einer Vielzahl von Schraubbolzen wird wieder eine feste Verbindung zwischen dem Rotorblatt und dem Drehkranz hergestellt. Damit kann das Rotorblatt wieder zum Antrieb der Windenergieanlage genutzt werden. Bevorzugt wird dabei der Rotorblattflansch an dem beweglichen Drehkranzteil angeschraubt.

**[0051]** Bevorzugt wird nach dem Schritt des Befestigens des Rotorblatts an dem Drehkranz ein weiterer Verfahrensschritt durchgeführt, in welchem die Gewindestangen entfernt werden. Damit können die Gewindestangen beispielsweise zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem anderen Rotorblatt verwendet werden.

**[0052]** Gemäß einem dritten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf ein Zwischenstück zum hängenden Befestigen eines Rotorblatts an einer Nabe einer Windenergieanlage, welches eine ebene Oberseite und eine dazu parallele ebene Unterseite aufweist, wobei sowohl die Oberseite wie auch die Unterseite jeweils durchdringende Durchgangslöcher vorhanden sind.

**[0053]** Die Durchgangslöcher sind von einem Raum zwischen Ober- und Unterseite aus zugänglich, so dass jeweils ein Schraubbolzen in das Durchgangsloch eingesteckt und in eine angrenzende Gewindebohrung eingeschraubt werden kann.

**[0054]** Das jeweilige Durchgangsloch in der Unterseite ist zum korrespondierenden Durchgangsloch in der Oberseite versetzt angeordnet.

**[0055]** Das Zwischenstück gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung eignet sich besonders zum Durchführen eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, welches um den Schritt des Befestigens eines Zwischenstücks erweitert wird.

**[0056]** Mit Hilfe des Zwischenstücks kann das Rotorblatt an der Nabe aufgehängt werden. Das Zwischenstück kann dabei beispielsweise von Industriekletterern montiert werden. Dies ist wesentlich einfacher als einen Autokran oder eine ähnliche schwere Vorrichtung zu verwenden.

**[0057]** Das Zwischenstück besteht bevorzugt aus einem Metall wie Aluminium oder Stahl. In Abhängigkeit vom Material hat dieses typischerweise eine Masse von etwa 20 bis 40 Kilogramm, um die notwendige Tragkraft zu erreichen. Dies ermöglicht es, dass ein solches Zwischenstück mit einer elek-

trischen Seilwinde innerhalb des Turms oder mit einem Nabenkran in den Arbeitsraum auf Nabenhöhe gebracht wird. Auch damit wird vermieden, dass ein Autokran oder eine ähnliche schwere Vorrichtung benötigt wird.

**[0058]** Die Ausgestaltung des Zwischenstücks kann unterschiedlich sein. Eine typische Funktion des Zwischenstücks ist, dass die unterschiedlichen Lochkreisdurchmesser des Nabengelenks, an dem der feststehende Teil des Drehkrans befestigt ist, und des Rotorblattflansches, der im Betrieb mit dem beweglichen Teil des Drehkrans verbunden ist, überbrückt werden. Außerdem sollten die Durchgangslöcher groß genug sein, damit ausreichend dicke Schraubbolzen hindurchgesteckt werden können, um das Rotorblatt an der Nabe zu halten. Die Durchgangslöcher sollten jedoch nicht nur zugänglich sein, um die Schraubbolzen durchstecken zu können, sondern auch ausreichend zugänglich sein, um einem Monteur ein Verschrauben des Schraubbolzens zu erlauben. Dies wird typischerweise dadurch erreicht, dass ein eingesetzter Kopf eines Schraubbolzens an zumindest einer Seite in einem ausreichenden Winkel zugänglich ist, so dass ein Schraubenschlüssel angesetzt und bewegt werden kann.

**[0059]** Die Oberseite liegt, wenn das Zwischenstück befestigt ist, typischerweise an dem Drehkranz und damit üblicherweise auch an dem Nabengelenk an. Die dazu parallele Unterseite liegt typischerweise an dem Rotorblattflansch an. Durch die versetzte Anordnung der Durchgangslöcher kann ein unterschiedlicher Lochkreisdurchmesser des Nabengelenks zum Lochkreisdurchmesser des Rotorblattflansches ausgeglichen werden.

**[0060]** Das Zwischenstück gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung ist bevorzugt derart ausgebildet, dass es alleine dazu in der Lage ist, das Rotorblatt zu halten. Wenn dann mehrere Zwischenstücke verwendet werden, wird damit die Sicherheit erhöht, da auch bei einem etwaigen Ausfall eines Zwischenstücks, beispielsweise bei Materialversagen oder Bruch, ein einziges weiteres Zwischenstück ausreichen würde, um zu verhindern, dass das Rotorblatt herabfällt.

**[0061]** Gemäß einem vierten Aspekt bezieht sich die Erfindung auf die Verwendung eines Zwischenstücks gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung in einem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, welches um den Schritt des Einfügens eines Zwischenstücks erweitert wird. Besonders vorteilhaft kann ein Zwischenstück gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung in einem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung verwendet werden, in welchem das Zwischenstück an der Nabe und an dem Rotorblattflansch jeweils mit je einem Schraubbolzen befestigt wird.

**[0062]** Die bereits im Zusammenhang mit dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt, dem Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt und dem Verbindungsstück gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung beschriebenen Vorteile eines Zwischenstücks, welches in einem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet wird, gelten auch für die Verwendung eines Zwischenstücks gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung.

**[0063]** Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden aus den nachfolgenden Ausführungsbeispielen ersichtlich, welche mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben werden.

**[0064]** Fig. 1 zeigt eine Rotorblattanordnung mit einer Nabe und einem Rotorblatt im vollständig montierten Zustand.

**[0065]** Fig. 2 zeigt ein Verfahren zum Instandhalten einer Windenergieanlage gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0066]** Fig. 3 zeigt eine Rotorblattanordnung mit einem gelösten Rotorblatt.

**[0067]** Fig. 4 zeigt eine Rotorblattanordnung mit einer montierten Gewindestange mit einem Hydraulikzylinder, wobei das Rotorblatt noch nicht abgesenkt ist.

**[0068]** Fig. 5 zeigt die Rotorblattanordnung von Fig. 4, wobei das Rotorblatt abgesenkt ist.

**[0069]** Fig. 6 zeigt die Rotorblattanordnung von Fig. 5 mit montierten Zwischenstücken.

**[0070]** Fig. 7 zeigt ein montiertes Zwischenstück in größerer Detailliertheit.

**[0071]** Fig. 8 zeigt die Rotorblattanordnung von Fig. 6 mit entfernten Gewindestangen.

**[0072]** Fig. 9 zeigt eine Rotorblattanordnung mit einem Rotorblatt, welches an Seilen befestigt ist.

**[0073]** Fig. 1 zeigt eine Rotorblattanordnung **10** mit einer Nabe **100** und einem Rotorblatt **200**. Die Nabe **100** ist um eine Achse A drehbar.

**[0074]** Die Nabe **100** weist einen Nabenflansch **105** auf, an welcher das Rotorblatt **200** mit einem Rotorblattflansch **210** befestigt ist. Die Nabe **100** weist darüber hinaus zwei weitere Nabenflansche **106, 107** auf, an welchen weitere Rotorblätter befestigt werden können. Die Erfindung wird jedoch nachfolgend nur mit Bezug auf den Nabenflansch **105** beschrieben.

**[0075]** Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Instandhalten einer Windenergieanlage. Gleichzeitig zeigt Fig. 2 Ausfüh-

rungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Lösen eines Rotorblatts und seiner Erweiterungen.

**[0076]** In Schritt S1 wird ein Rotorblatt, an welchem eine Wartung bzw. Instandhaltung durchgeführt werden soll, in eine von der Nabe aus gesehen wenigstens annähernd senkrecht nach unten in Richtung der Schwerkraft weisende Position ausgerichtet. Dies erfolgt durch geeignete Drehung der Nabe und Feststellen einer in der Windenergieanlage üblicherweise vorhandenen Bremse.

**[0077]** In Schritt S2 werden drei Schraubbolzen, mit welchen das Rotorblatt an der Nabe befestigt ist, entfernt. Dies geschieht durch Drehen der Schraubbolzen in einer Richtung, in welcher der Schraubbolzen herausgeschraubt wird. Damit werden Gewindebohrungen in dem Rotorblattflansch frei, in welche nachfolgend Gewindestangen eingeschraubt werden können.

**[0078]** In Schritt S3 werden drei Gewindestangen, welche mit jeweils einem Hydraulikzylinder als Hubmittel verbunden sind, in die Gewindebohrungen eingeschraubt, welche in Schritt S2 freigelegt wurden. Dies erfolgt durch geeignetes Drehen der Gewindestangen. Die Hydraulikzylinder werden dabei auf den Rotorblattflansch aufgelegt, so dass diese sich auf dem Rotorblattflansch abstützen können.

**[0079]** In Schritt S4 wird das Rotorblatt mittels der Hydraulikzylinder in einer Position gehalten, in welcher der Rotorblattflansch an den Drehkranz angrenzt. Hierzu werden untere Druckkammern der Hydraulikzylinder durch Anschließen und Betreiben einer Hydraulikpumpe unter einen ausreichend hohen Druck gesetzt, damit eine durch die Hydraulikstangen auf das Rotorblatt ausgeübte, nach oben gerichtete resultierende Gesamtkraft mindestens so groß ist wie die Schwerkraft des Rotorblatts.

**[0080]** Anschließend werden in Schritt S5 alle Schraubbolzen gelöst. Somit wird nach Durchführung des Schritts S5 das Rotorblatt nur noch durch die Gewindestangen an der Nabe gehalten.

**[0081]** In Schritt S6 wird anschließend das Rotorblatt mittels der Hydraulikzylinder abgesenkt. Dies erfolgt durch Absenken des Drucks in den unteren Kammern der Hydraulikzylinder. Dabei wird der Druck soweit abgesenkt, dass die durch die Gewindestangen auf das Rotorblatt ausgeübte, nach oben gerichtete resultierende Gesamtkraft kleiner wird als die Schwerkraft des Rotorblatts. Damit bewegt sich das Rotorblatt nach unten. Dies erfolgt so lange, bis eine Begrenzung erreicht ist. Damit ist das Rotorblatt abgesenkt und vom Nabenflansch gelöst.

**[0082]** Anschließend werden in Schritt S7 drei Zwischenstücke an dem Rotorblattflansch und an der Nabe befestigt. Die Befestigung erfolgt dabei durch Schraubbolzen, wobei jedes Zwischenstück mit einem Schraubbolzen an dem Rotorblattflansch und mit einem weiteren Schraubbolzen an der Nabe befestigt wird. Damit wird das Rotorblatt nun nicht mehr nur noch durch die drei Gewindestangen, sondern zusätzlich auch durch die drei Zwischenstücke an der Nabe gehalten.

**[0083]** In Schritt S8 werden die drei Gewindestangen ausgeschraubt. Damit wird das Rotorblatt nur noch durch die Zwischenstücke an der Nabe gehalten. In diesem Zustand ist das Rotorblatt hängend an der Nabe befestigt. Ein beweglicher Drehkranzteil in der Nabe ist nun nicht mehr mit dem Rotorblatt verbunden und frei drehbar.

**[0084]** Danach wird in Schritt S9 der bewegliche Drehkranzteil bezüglich des Rotorblatts und der Nabe um einen Drehwinkel von 100° verdreht. Damit wird erreicht, dass ein für die Anstellwinkelverstellung verwendetes Zahnrad einer Motor-Getriebe-Kombination beim üblichen Arbeitsbereich des Rotorblatts von etwa 0° bis 5° an einer Stelle eines Zahnkränzes in Eingriff kommt, welcher noch nicht abgenutzt ist.

**[0085]** Anschließend werden in Schritt S10 die drei Gewindestangen, welche mit jeweils einem Hydraulikzylinder verbunden sind, und welche bereits in Schritt S3 eingeschraubt und in Schritt S8 wieder ausgeschraubt wurden, wieder in die Bohrungen des Rotorblattflansches eingeschraubt. Die Hydraulikzylinder werden dabei wieder auf den Nabengelenkflansch aufgelegt, so dass sie sich an diesem abstützen können. Das Rotorblatt wird damit nicht mehr nur noch durch die Zwischenstücke, sondern zusätzlich auch durch die Gewindestangen an der Nabe gehalten.

**[0086]** In Schritt S11 werden anschließend die Zwischenstücke entfernt. Dies geschieht durch Herausdrehen der jeweiligen Schraubbolzen, mit welchen die Zwischenstücke an der Nabe und an dem Rotorblatt befestigt sind. Nach Durchführung des Schritts S11 hängt das Rotorblatt nur noch an den Gewindestangen.

**[0087]** In Schritt S12 wird anschließend das Rotorblatt mittels der Hydraulikzylinder hochgezogen. Dies erfolgt dadurch, dass in den unteren Druckkammern der Hydraulikzylinder der Druck soweit erhöht wird, dass die Gewindestangen eine nach oben gerichtete Kraft auf das Rotorblatt ausüben, welche größer ist als die Schwerkraft des Rotorblatts. Dadurch bewegt sich das Rotorblatt nach oben, bis es an den Nabengelenkflansch anstößt.

**[0088]** Wenn der Rotorblattflansch wieder an dem Nabengelenkflansch anliegt, werden die Schraubbolzen,

welche in Schritt S5 entfernt wurden, in Schritt S13 wieder in Bohrungen des Rotorblattflansches eingeschraubt. Damit wird das Rotorblatt wieder durch die Schraubbolzen an der Nabe befestigt.

**[0089]** In Schritt S14 werden die Gewindestangen, welche nun nicht mehr zum Halten des Rotorblatts benötigt werden, ausgeschraubt. Auch in die Bohrungen, in welchen die Gewindestangen eingeschraubt waren, werden anschließend wieder Schraubbolzen eingeschraubt.

**[0090]** Die Schritte S1 bis S6 von **Fig. 2** stellen ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens zum Lösen eines Rotorblatts gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung dar. Die Schritte S1 bis S7 stellen ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung dar, welches um das Befestigen von Zwischenstücken erweitert ist. Die Schritte S1 bis S8 stellen ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung dar, welches so erweitert ist, dass das Rotorblatt hängend befestigt wird.

**[0091]** Wenn das in **Fig. 2** dargestellte Verfahren unter Verwendung zweier Zwischenstücke gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung durchgeführt wird, ergibt sich ein Ausführungsbeispiel einer Verwendung gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung.

**[0092]** Der Zustand nach einzelnen Verfahrensschritten wird nun mit Bezug auf die **Fig. 3** bis **Fig. 8** näher erläutert. Auf etwaige Abweichungen zwischen den Darstellungen in den Figuren und den in **Fig. 2** gezeigten Verfahrensschritten wird dabei eingegangen.

**[0093]** **Fig. 3** zeigt die Rotorblattanordnung **10** von **Fig. 1** mit abgesenktem Rotorblatt und damit einen Zustand nach Schritt S6. Das Rotorblatt **200** ist von der Nabe **100** beabstandet und wird durch drei Gewindestangen **300, 310, 320** gehalten. Die Gewindestangen **300, 310, 320** erstrecken sich nach unten aus einem Innenring **120** des Nabengelenkflansches **105**. Der Innenring **120** wird von einem Außenring **110** umgeben. Dabei steht der Außenring **110** bezüglich der Nabe fest, während der Innenring **120** bezüglich der Nabe drehbar ist. Damit bildet der Innenring **120** ein bewegliches Drehkranzteil. Zusammen bilden der Außenring **110** und der Innenring **120** einen Drehkranz.

**[0094]** Der Zustand in **Fig. 3** entspricht demjenigen nach Durchführung des Verfahrens zum Lösen eines Rotorblatts gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung.

**[0095]** **Fig. 4** zeigt die Rotorblattanordnung **10** in Schnittansicht mit montierten Gewindestangen vor dem Absenken des Rotorblatts. Damit zeigt **Fig. 4** den Zustand nach Schritt S3.

**[0096]** Die Gewindestangen **300, 310, 320** sind in dem Rotorblattflansch **210** eingeschraubt. Abweichend von der in **Fig. 2** beschriebenen Ausführung ist jedoch lediglich die Gewindestange **310** mit einem Hydraulikzylinder **400** verbunden. Die anderen beiden Gewindestangen **300, 320** weisen an ihrem vom Rotorblatt entfernten Ende jeweils eine Mutter **305, 325** auf, welche die Beweglichkeit der Gewindestangen nach unten hin begrenzen.

**[0097]** Der Hydraulikzylinder **400** weist einen Kolben **410** mit einer Kolbenstange **420** auf. Die Gewindestange **310** ist dabei unmittelbar in Verlängerung der Kolbenstange **420** ausgebildet.

**[0098]** Des Weiteren weist der Kolben **400** eine Druckkammer **430** auf, welche unterhalb des Kolbens **410** angeordnet ist. Durch Anlegen eines Drucks in der Druckkammer **430** wird eine nach oben gerichtete Kraft auf den Kolben **410** ausgeübt. Die nach oben gerichtete Kraft kann durch die Gewindestange **310** auf das Rotorblatt **200** übertragen werden. Ein Vorfahrensschritt des Haltens des Rotorblatts mittels der Hydraulikzylinder in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch an den Drehkranz angrenzt (vergleiche Schritt S4 von **Fig. 2**) kann somit dadurch durchgeführt werden, dass der Druck in der Druckkammer **430** mit Hilfe einer Pumpe mindestens soweit erhöht wird, dass die nach oben gerichtete Kraft der Gewindestange **310** auf das Rotorblatt **200** die Schwerekraft des Rotorblatts **200** kompensiert.

**[0099]** **Fig. 5** zeigt die Rotorblattanordnung **10** von **Fig. 4**, ebenfalls in Schnittansicht, wobei das Rotorblatt **200** abgesenkt wurde. Damit zeigt **Fig. 5** einen Zustand nach Schritt S6 von **Fig. 2**, wobei die mit Bezug auf **Fig. 4** erklärte Abweichung zu berücksichtigen ist.

**[0100]** Der Kolben **410** befindet sich nun in einer unteren Position. Ebenso befinden sich die Muttern **305, 325** in ihren unteren Positionen, in welchen sie auf dem beweglichen Drehkranzteil **120** aufliegen. Durch die Muttern **305, 325** wird eine zusätzliche Halterung des Rotorblatts in der unteren Position vorgesehen, wodurch der Kolben **410** entlastet wird.

**[0101]** **Fig. 6** zeigt die Rotorblattanordnung **10** von **Fig. 5**, wobei zusätzlich zwei Zwischenstücke **500, 550** befestigt wurden. Der in **Fig. 6** gezeigte Zustand entspricht damit demjenigen nach Durchführung von Schritt S7 in **Fig. 2**, wobei zu berücksichtigen ist, dass in **Fig. 6** lediglich zwei Zwischenstücke **500, 550** dargestellt sind, während **Fig. 2** ein Beispiel mit drei Zwischenstücken beschreibt.

**[0102]** Die beiden Zwischenstücke **500, 550** sind sowohl mit dem Außenring **110** des Nabengelenks **105** wie auch mit dem Rotorblattflansch **210** verbunden. Damit halten sie das Rotorblatt **200** an der Nabe

**100** fest und ermöglichen damit, dass anschließend die Gewindestangen **300, 310, 320** entfernt werden, ohne dass das Rotorblatt herunterfällt.

**[0103]** Die Befestigung des Rotorblatts mit Hilfe des Zwischenstücks **500** ist detaillierter in **Fig. 7** gezeigt. **Fig. 7** zeigt damit auch ein Ausführungsbeispiel des Zwischenstücks gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung.

**[0104]** Das Zwischenstück **500** weist einen Hauptkörper **510** auf, welcher zwei Durchgangslöcher **520, 530** aufweist. Die Durchgangslöcher **520, 530** sind in gegenüberliegenden, zueinander parallelen ebenen Oberflächen ausgebildet und versetzt zueinander angeordnet.

**[0105]** Das Zwischenstück **500** ist mit einem Schraubbolzen **600**, welcher einen Kopf **610** aufweist und durch das Durchgangsloch **520** hindurchgeht, an dem Außenring des Nabengelenks **105** befestigt. Außerdem ist das Zwischenstück **500** mit einem Schraubbolzen **650**, welcher einen Kopf **660** aufweist und durch das Durchgangsloch **530** hindurchgeht, an dem Rotorblattflansch **210** befestigt. Die Köpfe **610, 660** der Schraubbolzen **600, 650** dienen dabei zum Einschrauben und Ausschrauben der Schraubbolzen **600, 650**.

**[0106]** **Fig. 8** zeigt die Rotorblattanordnung **10** von **Fig. 6**, wobei die drei Gewindestangen **300, 310, 320** entfernt sind. Die Zwischenstücke **500, 550** halten nun das Rotorblatt **200** alleine. Damit ist das Rotorblatt hängend an der Nabe befestigt. Der gezeigte Zustand entspricht demjenigen nach Schritt S8 von **Fig. 2**, bei Berücksichtigung des bereits erwähnten Unterschieds, dass in den **Fig. 6** und **Fig. 8** lediglich zwei Zwischenstücke gezeigt sind.

**[0107]** **Fig. 9** zeigt eine alternative hängende Befestigung des Rotorblatts **200** an der Nabe **100**. Anstatt der Zwischenstücke **500, 550**, welche in den **Fig. 6** und **Fig. 8** gezeigt sind, werden nun Seile **700** verwendet. Diese sind innerhalb der Nabe **100** aufgehängt und mit dem Rotorblatt **200** verbunden. Damit kann das Rotorblatt ohne Gewindestangen an den Seilen hängend befestigt werden. Auch dies ermöglicht ein Verdrehen des beweglichen Drehkranzteils **120** relativ zur Nabe **100**, d. h. relativ zum äußeren Drehkranzteil **110** und auch relativ zum Rotorblattflansch **210**. Die Seile haben insbesondere den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu den Zwischenstücken von innerhalb der Nabe aus angebracht werden können, was lediglich Arbeiten innerhalb der Nabe erfordert. Auf den Einsatz von Industriekletterern kann damit verzichtet werden.

## Bezugszeichenliste

A	Achse
10	Rotorblattanordnung
100	Nabe
105	Nabenflansch
106	Nabenflansch
107	Nabenflansch
110	Außenring
120	Innenring, bewegliches Drehkranzteil
200	Rotorblatt
210	Rotorblattflansch
300	Gewindestange
305	Mutter
310	Gewindestange
320	Gewindestange
325	Mutter
400	Hydraulikzylinder
410	Kolben
420	Kolbenstange
430	Druckkammer
500	Zwischenstück
510	Hauptkörper
520	Durchgangsloch
530	Durchgangsloch
550	Zwischenstück
600	Schraubbolzen
610	Kopf
650	Schraubbolzen
660	Kopf

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Lösen eines Rotorblatts (200) einer Windenergieanlage, wobei das Rotorblatt (200) im Betrieb der Windenergieanlage an einer Nabe (100) der Windenergieanlage mittels eines Drehkranzes (110, 120) anstellwinkelverstellbar befestigt ist, und ein beweglicher Drehkranzteil (120) mit der Nabe (100) drehbar und mit einem Rotorblattflansch (210) des Rotorblatts (200) mittels einer Vielzahl von Schraubbolzen fest verbunden ist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- Ausrichten des Rotorblatts (200) in eine von der Nabe (100) aus gesehen wenigstens annähernd senkrecht nach unten weisenden Position,
- Einschrauben mindestens einer Gewindestange (300, 310, 320) in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch (210),
- Halten des Rotorblatts mittels eines mit wenigstens einer Gewindestange verbundenen Hubmittels (400) in einer Position, in welcher der Rotorblattflansch (210) an dem Drehkranz (110, 120) anliegt,
- Lösen aller Schraubbolzen, und
- Absenken des Rotorblatts (200) mittels des Hubmittels (400).

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei vor dem Einschrauben der Gewindestange (300, 310, 320) ein

in die Gewindebohrung eingeschraubter Schraubbolzen herausgeschraubt und entfernt wird.

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens zwei Gewindestangen (300, 310, 320), welche mit jeweils einem Hubmittel (400) verbunden sind, in jeweils eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch (210) eingeschraubt werden.

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Absenken des Rotorblatts (200) mindestens ein Zwischenstück (500, 550) zum Halten des Rotorblatts (200) an der Nabe (100) und an dem Rotorblatt (200) befestigt wird.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei das Zwischenstück (500, 550) an der Nabe (100) oder an dem Rotorblattflansch (210) mit einem Schraubbolzen (600, 650) befestigt wird.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei mindestens zwei Zwischenstücke (500, 550) an der Nabe (100) und an dem Rotorblatt (200) befestigt werden.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei nach dem Absenken des Rotorblatts (200) mindestens ein Seil (700) zum Halten des Rotorblatts (200) an der Nabe (100) und an dem Rotorblatt (200) befestigt wird.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei ferner mindestens eine Führungsschiene an der Nabe (100) und an dem Rotorblatt (200) montiert wird.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 8, wobei nach dem Befestigen des mindestens einen Zwischenstücks (500, 550) oder des mindestens einen Seils (700) alle eingeschraubten Gewindestangen (300, 310, 320) herausgeschraubt werden, so dass das Rotorblatt (200) hängend an der Nabe (100) befestigt ist.

10. Verfahren zur Instandhaltung einer Windenergieanlage, bei welcher mindestens ein Rotorblatt (200) im Betrieb der Windenergieanlage an einer Nabe (100) der Windenergieanlage mittels eines Drehkranzes (110, 120) anstellwinkelverstellbar befestigt ist, und ein beweglicher Drehkranzteil (120) mit der Nabe (100) drehbar und mit einem Rotorblattflansch (210) des Rotorblatts (200) mittels einer Vielzahl von Schraubbolzen fest verbunden ist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- hängendes Befestigen des Rotorblatts (200) an der Nabe (100) mittels eines Verfahrens gemäß Anspruch 9,
- Drehen des beweglichen Drehkranzteils (120) bezüglich des Rotorblattflansches (210),

– Befestigen des Rotorblatts (**200**) an dem Drehkranz (**110, 120**).

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei der bewegliche Drehkranzteil (**120**) um mindestens 10° oder 100° verdreht wird.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 10 bis 11, wobei der Schritt des Befestigens des Rotorblatts (**200**) folgende Schritte umfasst:

- Einschrauben mindestens einer Gewindestange (**300, 310, 320**), welche mit einem Hubmittel (**400**) verbunden ist, in eine Gewindebohrung in dem Rotorblattflansch (**210**),
- Entfernen von Zwischenstücken (**500, 550**), Seilen (**700**) oder Führungsschienen, so dass das Rotorblatt (**200**) nur noch durch eine oder mehrere Gewindestangen (**300, 310, 320**) gehalten wird,
- Hochziehen des Rotorblatts (**200**) mittels des mindestens einen Hubmittels (**400**),
- Befestigen des Rotorblatts (**200**) an dem beweglichen Drehkranzteil (**120**) durch Einschrauben einer Vielzahl von Schraubbolzen.

13. Zwischenstück (**500, 550**) zum hängenden Befestigen eines Rotorblatts (**200**) an einer Nabe (**100**) einer Windenergieanlage zur Verwendung in einem Verfahren gemäß Anspruch 4 oder einem seiner Unteransprüche,  
welches eine ebene Oberseite und eine dazu parallele ebene Unterseite aufweist,  
wobei sowohl in der Oberseite wie auch in der Unterseite jeweils wenigstens ein Durchgangsloch (**520, 530**) ausgebildet ist,  
wobei die Durchgangslöcher (**520, 530**) von einem Raum zwischen Ober- und Unterseite aus zugänglich sind, so dass jeweils ein Schraubbolzen (**600, 650**) in das Durchgangsloch (**520, 530**) eingesteckt und in eine angrenzende Gewindebohrung eingeschraubt werden kann,  
und wobei jeweils ein Durchgangsloch (**530**) in der Unterseite zum korrespondierenden Durchgangsloch (**520**) in der Oberseite versetzt angeordnet ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

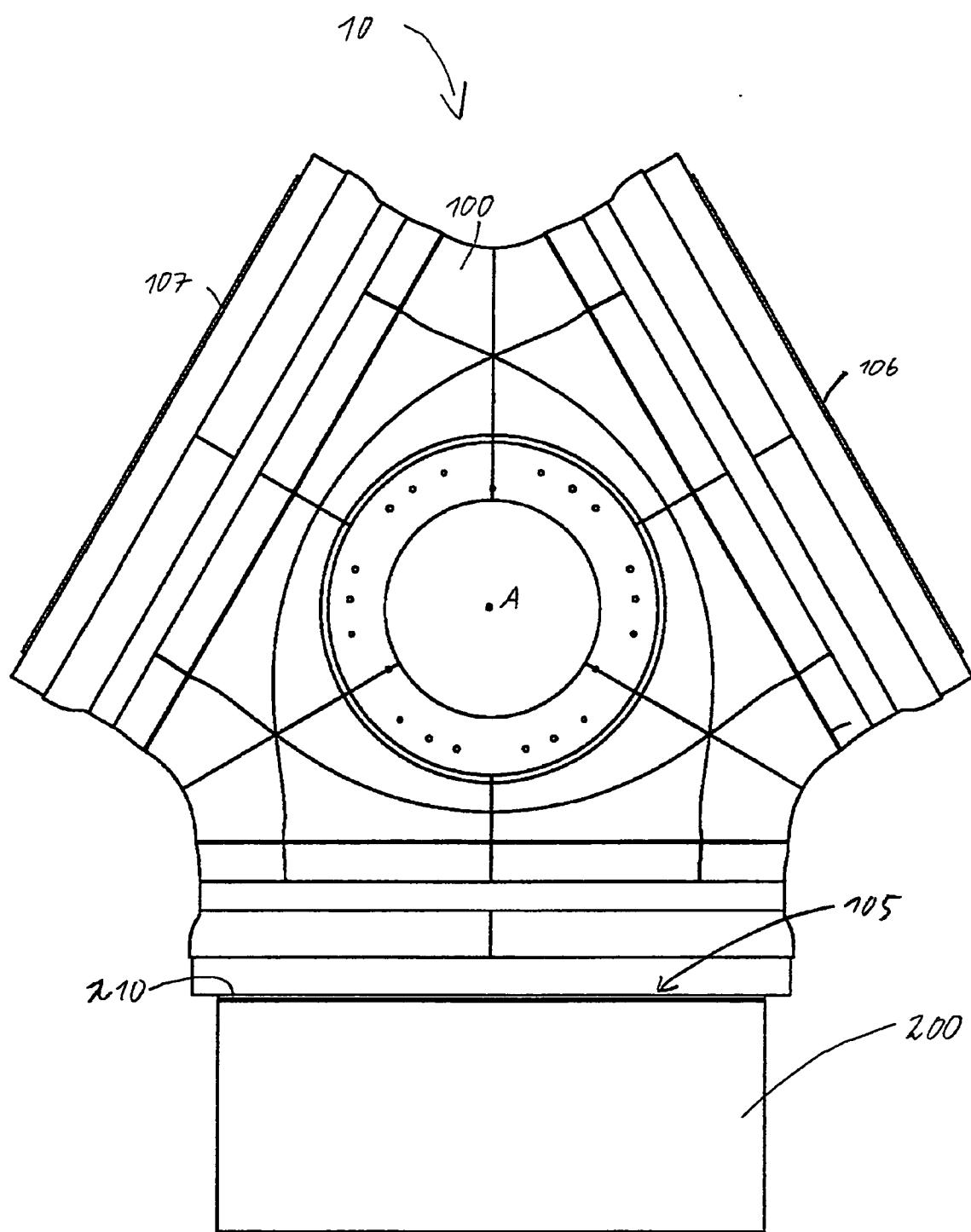


Fig. 7

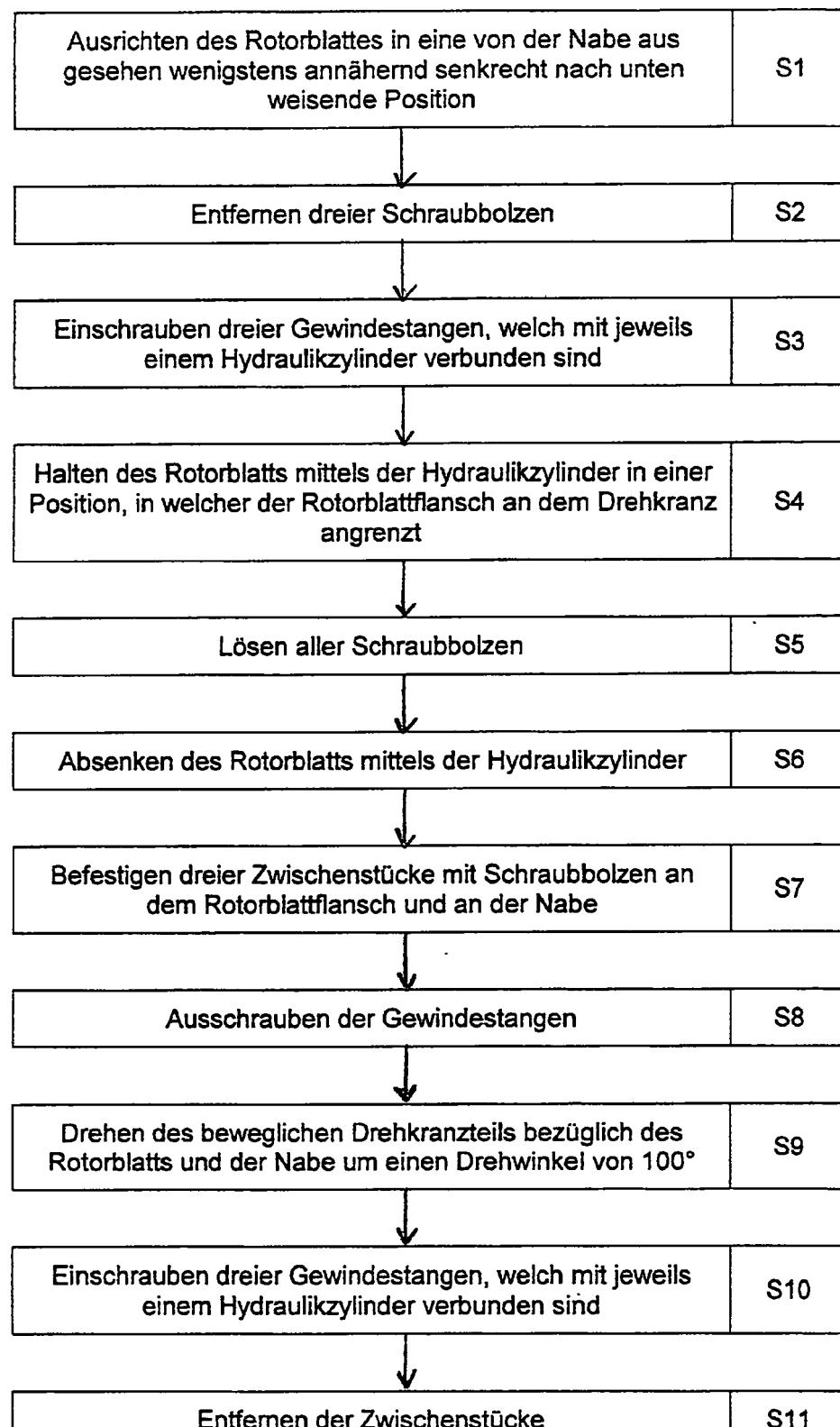


Fig. 2

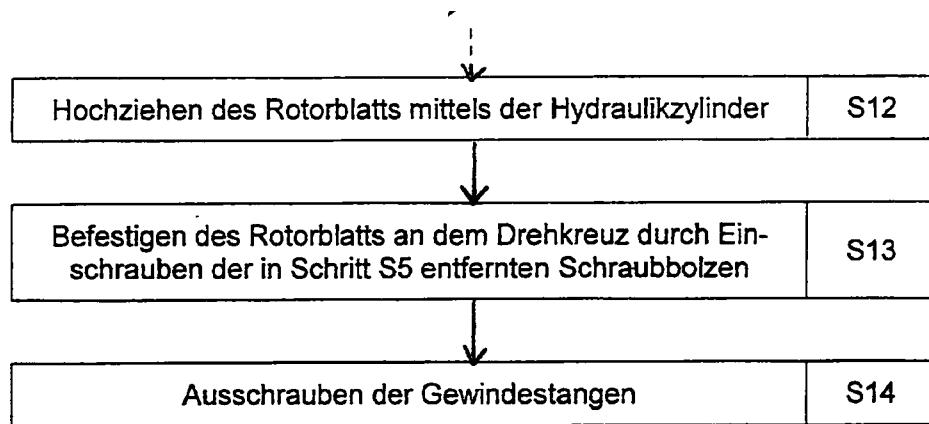


Fig. 2

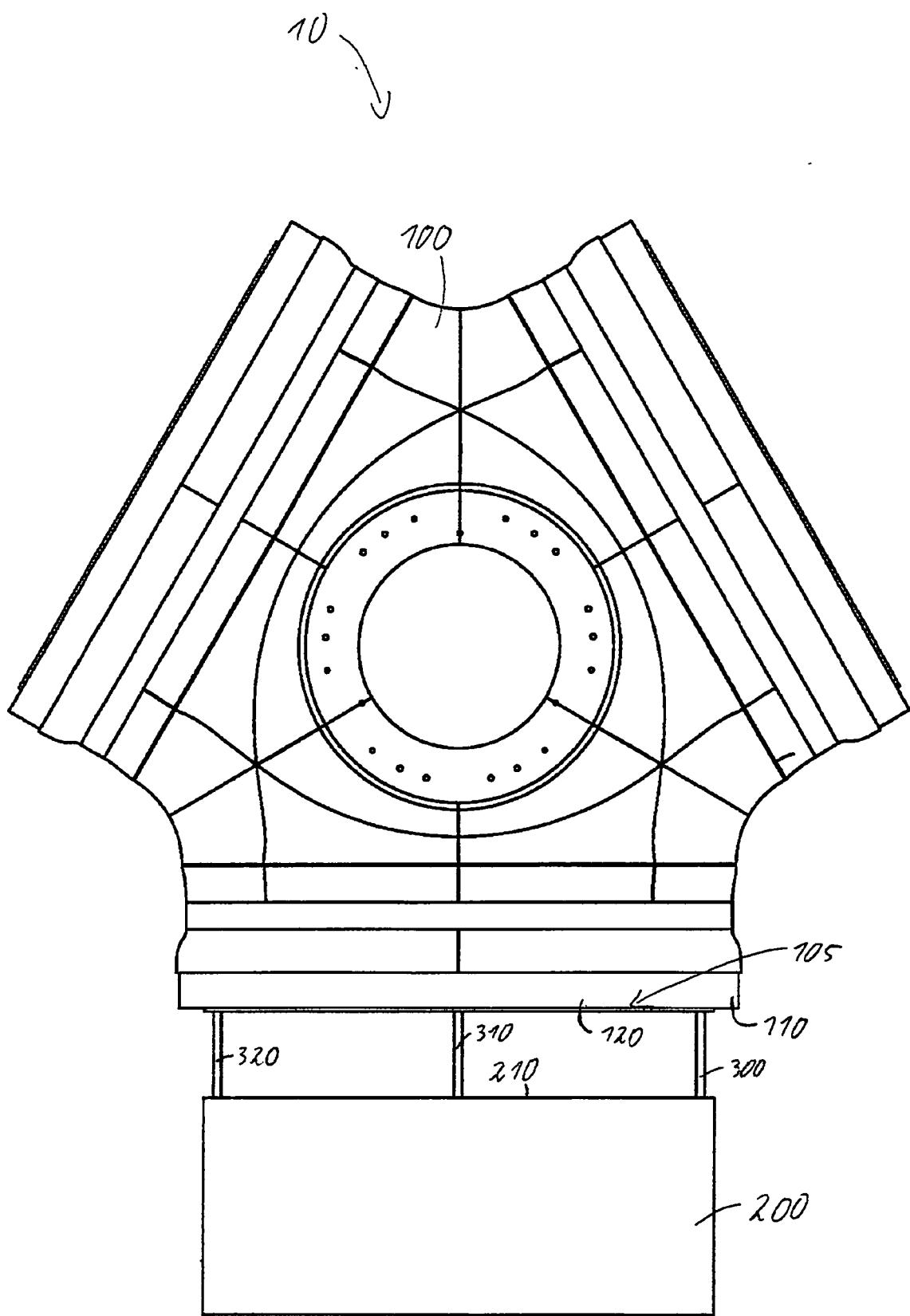


Fig. 3

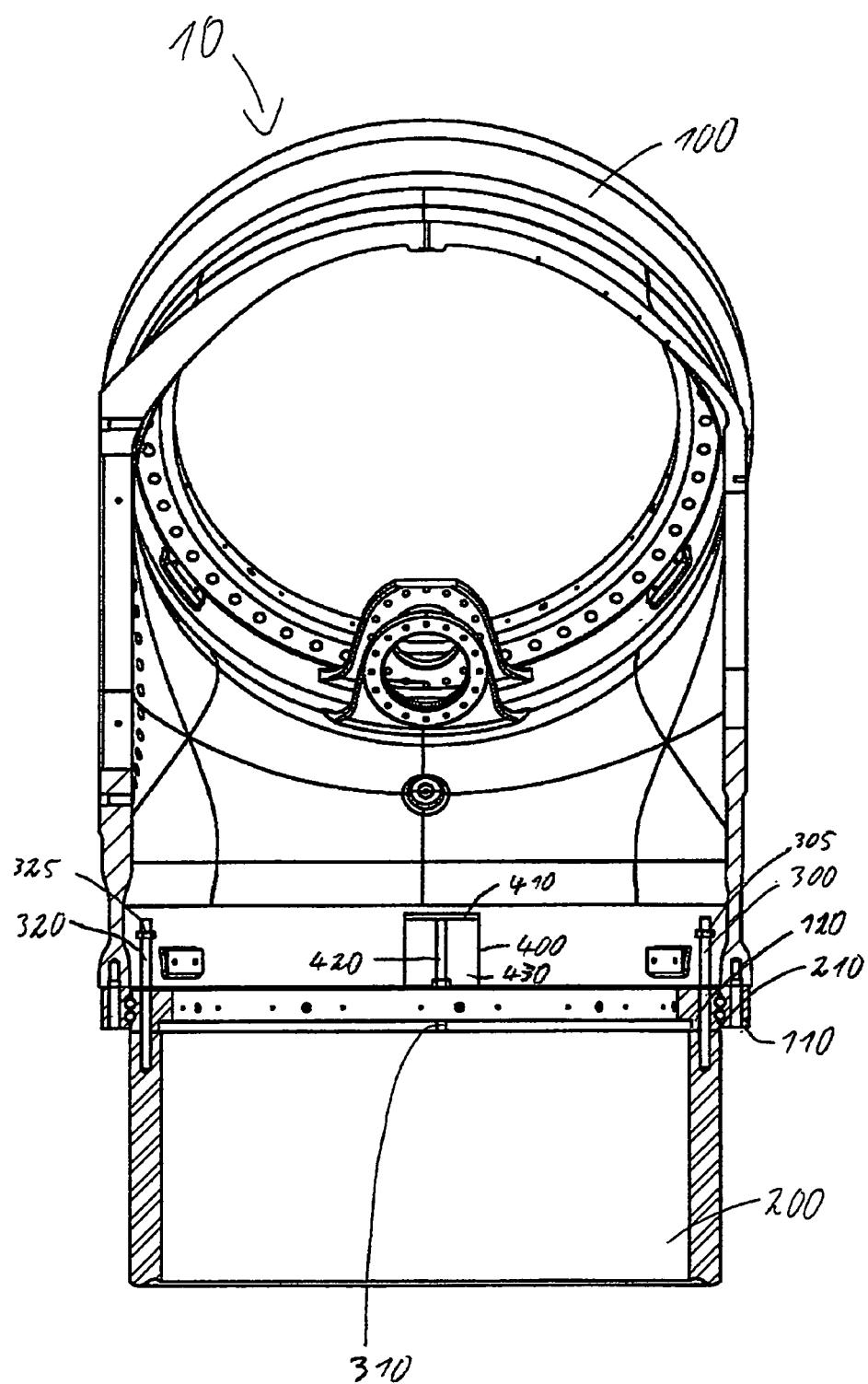


Fig. 4

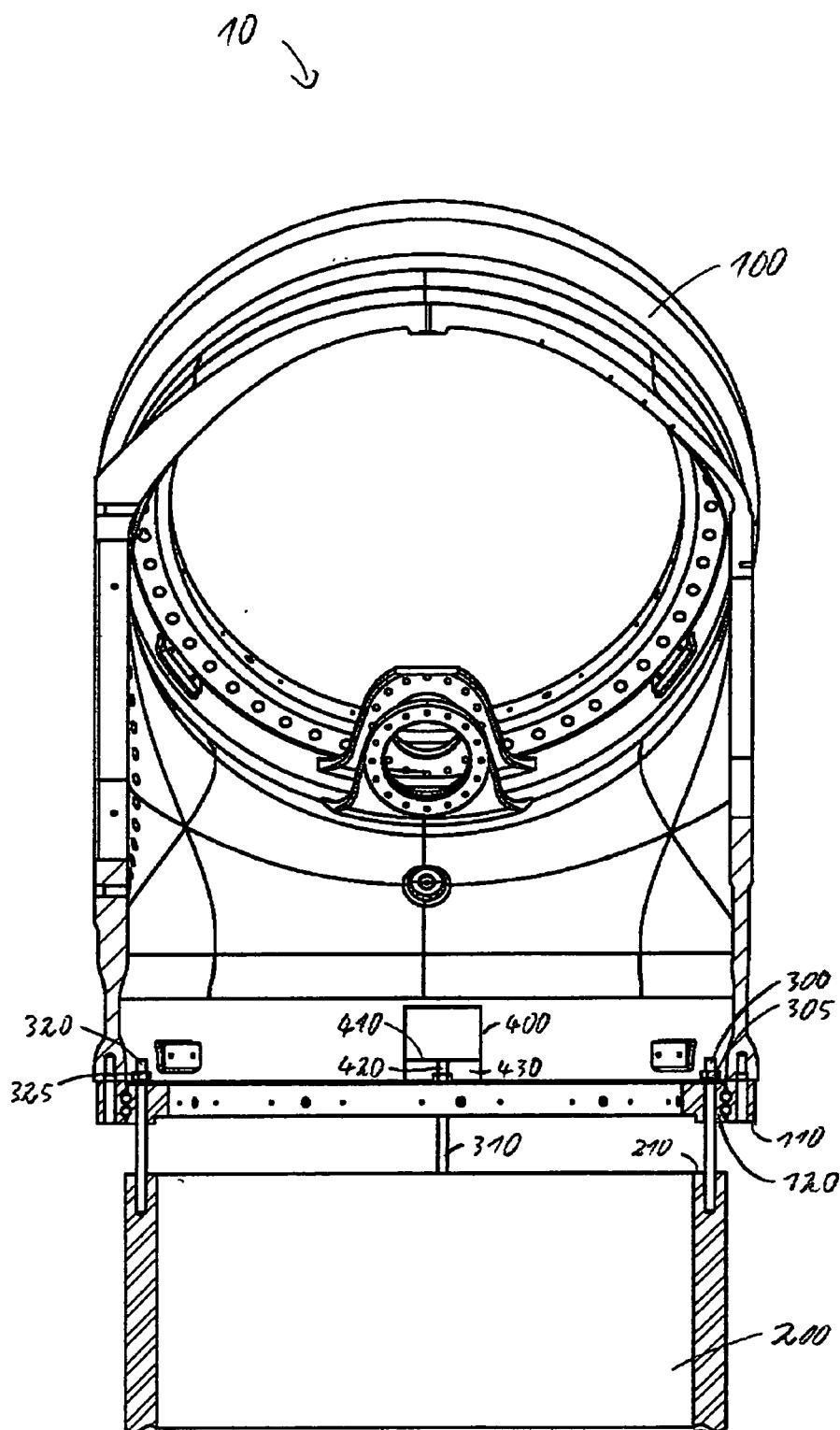


Fig. 5

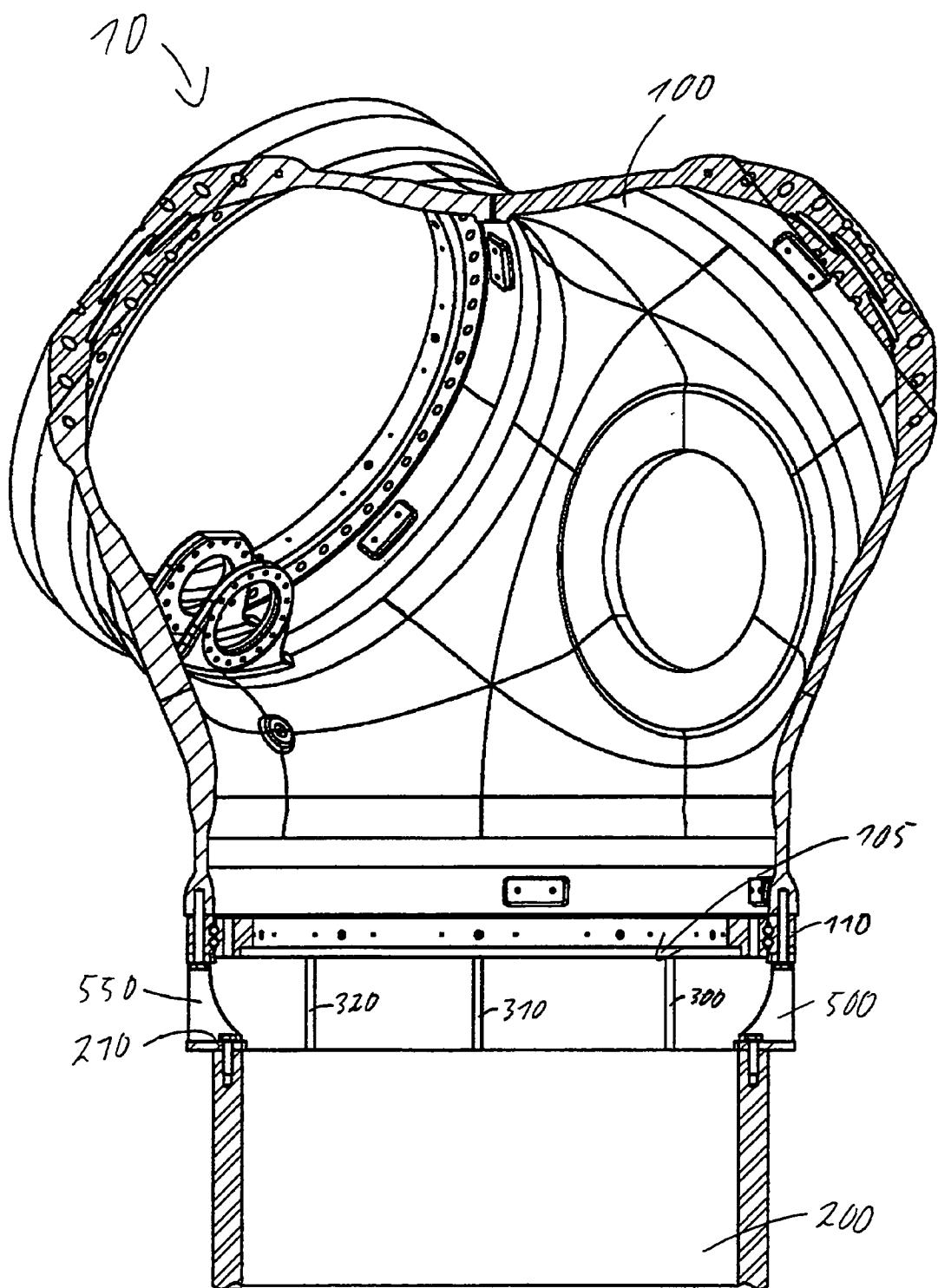


Fig. 6

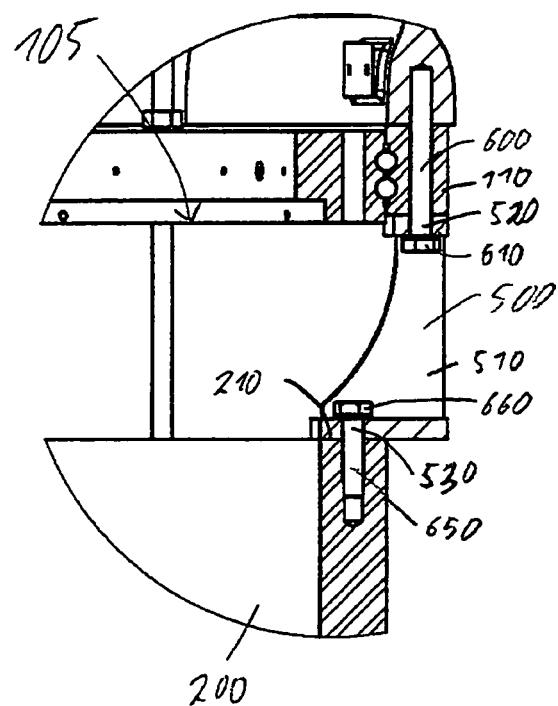


Fig. 7

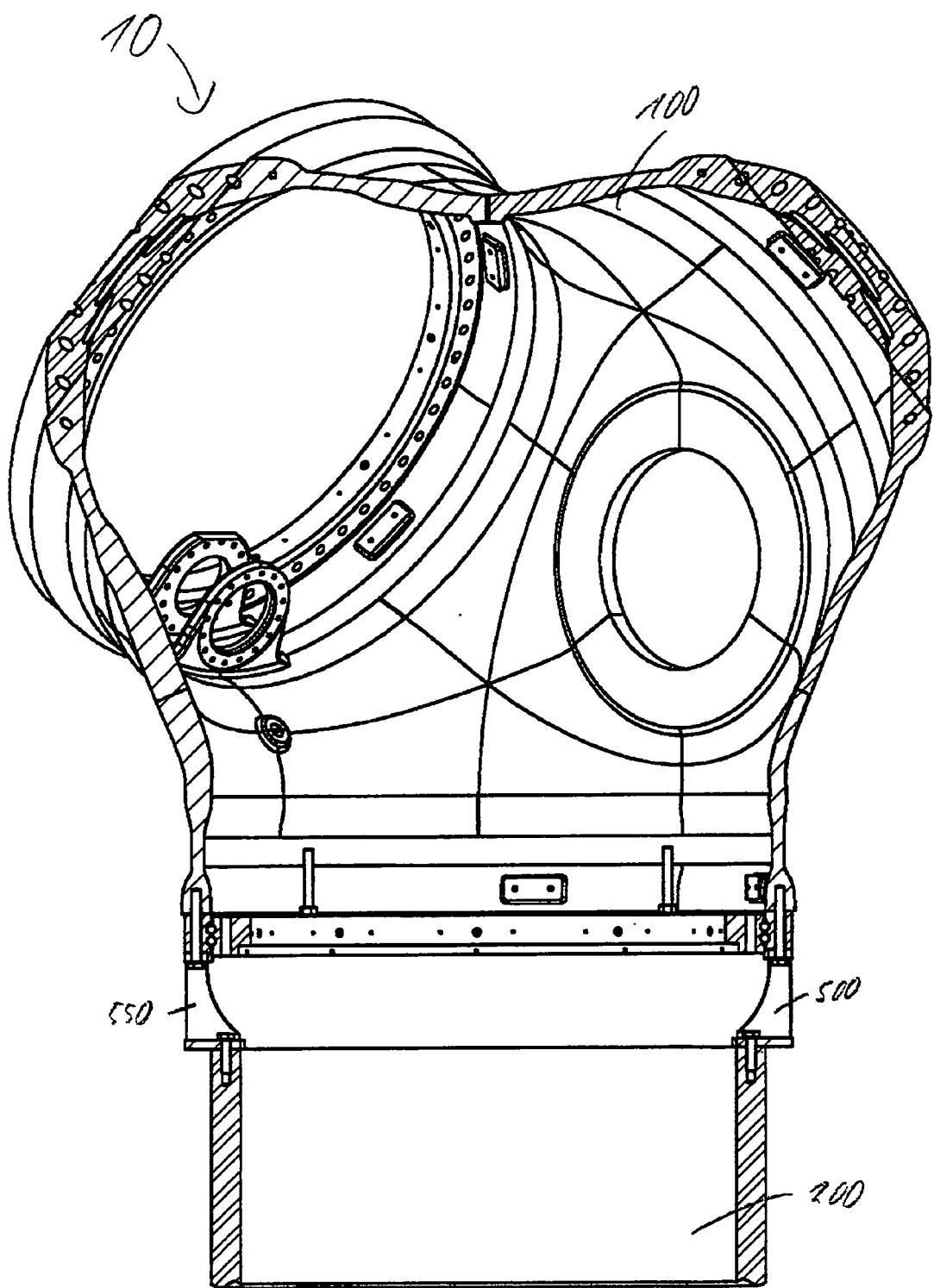


Fig. 8

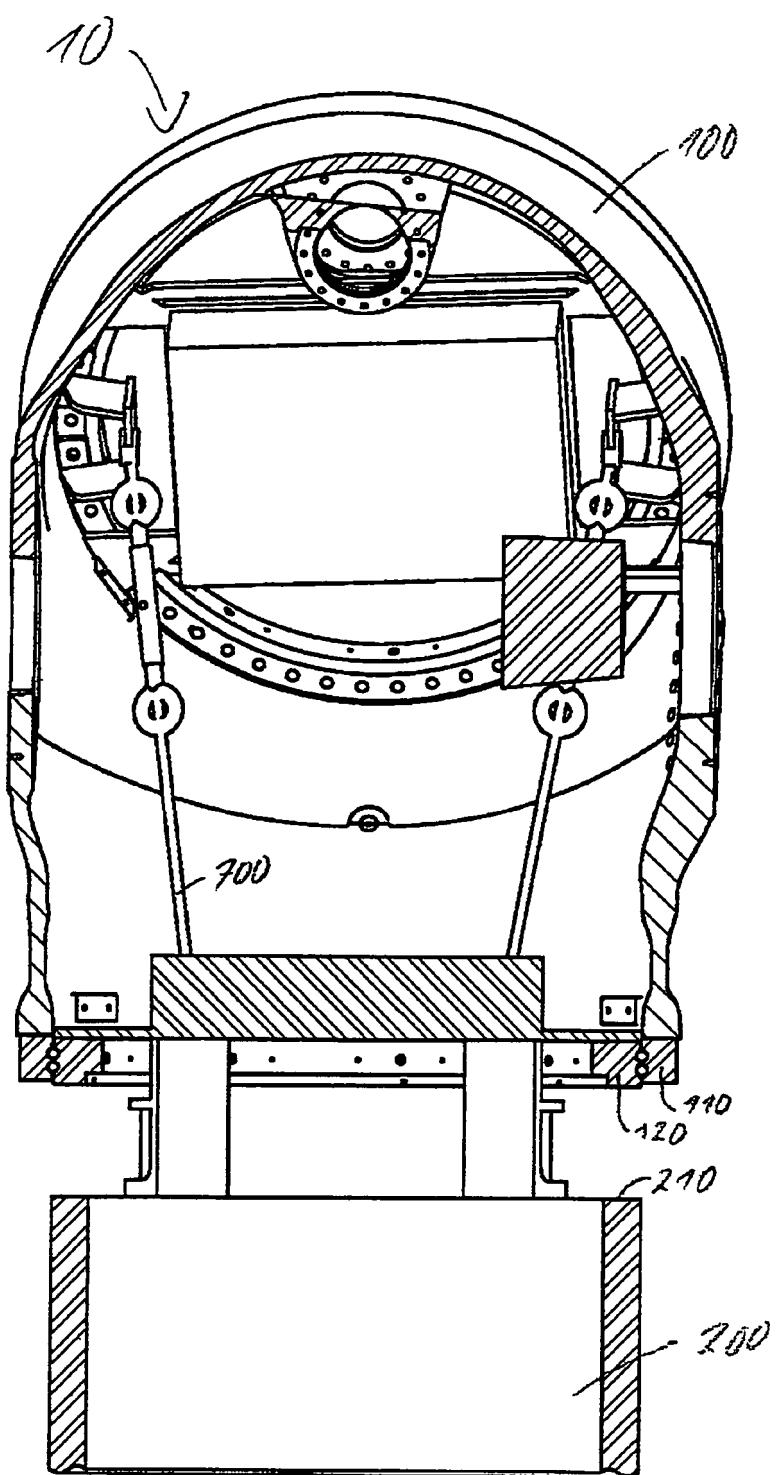


Fig. 9