

19



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU103210

12

**BREVET D'INVENTION****B1**

21

N° de dépôt: LU103210

51

Int. Cl.:  
F03D 1/06, F03D 80/70

22

Date de dépôt: 03/11/2023

30

Priorité:

72

Inventeur(s):  
BECKER Daniel – Deutschland, TÖFKE Matthias –  
Deutschland, BURTCHEN Marco – Deutschland,  
NEIDNICHT Martin – Deutschland

43

Date de mise à disposition du public: 05/05/2025

47

Date de délivrance: 05/05/2025

74

Mandataire(s):  
THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –  
45143 Essen (Deutschland)

73

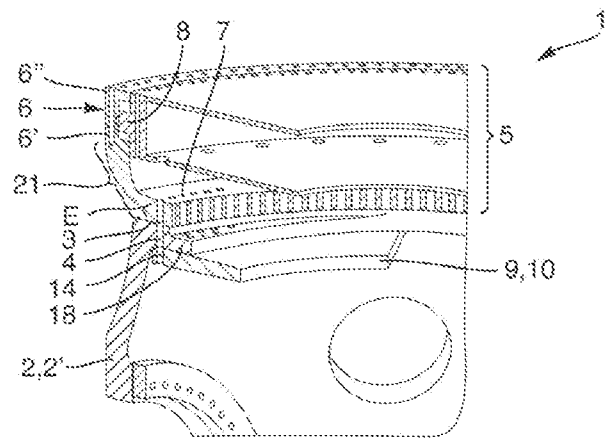
Titulaire(s):  
THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Deutschland),  
THYSSENKRUPP ROTHE ERDE GERMANY GMBH –  
44137 Dortmund (Deutschland)

54

**Nabenanordnung für eine Windenergieanlage.**

57

Die Erfindung betrifft eine Nabenanordnung (1) für eine Windenergieanlage, umfassend einen Nabenkörper (2), mit mindestens einer Anschlussfläche (3), in der ein erster Lochkreis (4) ausgebildet ist, eine blattseitige Extenderlagereinheit (5) umfassend einen ersten Lagerring (6) mit einem zweiten Lochkreis (7), der mit dem ersten Lochkreis (4) fluchtet, und einen zweiten Lagerring (8) zur Befestigung an einem Rotorblatt der Windenergieanlage, wobei der zweite Lagerring (8) koaxial zu dem ersten Lagerring (6) um die gemeinsame Lagerachse verdrehbar angeordnet ist, und eine nabenseitige Extenderlagereinheit (9), wobei der Nabenkörper (2) mit dem ersten Lagerring (6) über den ersten und den zweiten Lochkreis (4, 7) verschraubt ist und wobei die nabenseitige Extenderlagereinheit (9) zumindest zwei Laschen (10) umfasst, die sich jeweils über einen Umfangsabschnitt der Lochkreise (4, 7) erstrecken und einen entsprechenden Lochkreisbogen aufweisen, der mit den Lochkreisen (4, 7) fluchtet, wobei die Laschen (10) in die Verschraubung des Nabenkörpers (2) mit dem ersten Lagerring (6) eingefügt sind.

**Fig. 4**

## Nabenanordnung für eine Windenergieanlage

### Stand der Technik

- 5 Die Erfindung betrifft eine Nabenanordnung für eine Windenergieanlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen werden an dem Nabenkörper mithilfe von Großwälzlagern befestigt. Die Großwälzlager ermöglichen die Verstellung des Anstellwinkels der Rotorblätter zum Wind, der unter anderem zur Leistungsregelung der Windenergieanlage erforderlich ist. Zusätzlich zu dem Lager ist für die Verstellung des Rotorblattes ein üblicherweise hydraulischer oder elektrischer Verstellantrieb vorgesehen.

Aktuell im Markt erhältliche Nabenkörper für Windenergieanlagen sind in der Regel als einteilige Gussformen konstruiert. Bei Bedarf können zur Versteifung an Blatt- und/oder Rotorlageranschlussflächen zusätzlich separat gefertigte Versteifungsplatten mit dem Nabenkörper verschraubt werden. Diese konventionellen Versteifungsplatten haben eine einfache, kreis-scheibenförmige Geometrie, und werden über 360° Lagerumfang über einen Lochkreis mit dem Nabenkörper, dem Rotorblatt oder dem Blattlager verschraubt.

20

Aus WO 2012/069062 A1 ist eine Nabenanordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt. WO 2012/069062 A1 beschreibt ein Blattverstellungssystem zum Drehen eines Blattes einer Windturbine relativ zu einer Nabe, das ein Lager mit einem inneren Lagerring zur Montage an der Nabe, und einen äußeren Lagerring zur Montage an dem Blatt umfasst. Ein erstes plattenförmiges Verbindungselement ist zwischen der Nabe und dem inneren Lagerring angeordnet und deckt die Öffnung der Nabe an der Befestigungsstelle für den inneren Lagerring bis auf eine Öffnung, die den Zugang von der Nabe ins Blatt ermöglicht, ab.

Nachteilig ist, dass das plattenförmige Verbindungselement ein hohes Eigengewicht aufweist, welches die Masse des Nabenkörpers erhöht. Zudem werden Platten mit dem Durchmesser der Blattanschlussfläche durch die technische Entwicklung hin zu immer größer werdenden Nabenkörpern immer schwieriger zu fertigen und zum Standort der Windenergieanlage zu transportieren. Soll auf Versteifungsplatten verzichtet werden, ist es eine konventionelle Lösung, die Wandstärke des Nabenkörpers entsprechend massiver auszulegen, was aber den Nachteil eines besonders hohen Gewichts der Nabe mit sich bringt.

35

Erste Überlegungen für eine segmentierte Bauweise von Naben für Windenergieanlagen sind beispielsweise aus EP 2 691 646 B1, EP 2 516 845 B1 und DE 10 2011 052 668 B4 bekannt. Allen diesen Patentschriften ist gemein, dass die einzelnen Nabensegmente aufwändig durch zusätzliche Verschraubungen miteinander verbunden werden müssen. Um eine  
5 hinreichende Steifigkeit der Nabe zu erzielen, werden die Segmente entweder mit zusätzlichen Flanschen ausgebildet, um diese in den Fügstellen direkt miteinander zu verbinden oder es sind zusätzliche Verbindungsplatten mit mehreren Lochkreisen erforderlich, um eine hinreichend stabile Anschlussfläche für die Blattlager bereitzustellen. Teilweise werden sogar  
10 zusätzliche Versteifungskörper in der Nabe benötigt, die die Zugänglichkeit erschweren. All diese Maßnahmen führen zu einer aufwendigen Fertigung und Montage der segmentierten Naben und einem hohen Gewicht.

### **Offenbarung der Erfindung**

15 Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Nabenanordnung für eine Windenergieanlage anzugeben, die unter Beibehaltung einer ausreichenden Verwindungssteifigkeit der nabenseitigen Blattlager-Anschlussflächen ein reduziertes Gewicht aufweist und zu Vereinfachungen in Herstellung, Transport und Montage führt.

20 Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Nabenanordnung für eine Windenergieanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Hierdurch wird eine Nabenanordnung für eine Windenergieanlage geschaffen, die einen Nabenkörper, eine blattseitige Extenderlagereinheit und eine nabenseitige Extenderlagereinheit  
25 umfasst. Der Nabenkörper ist mit mindestens einer Anschlussfläche ausgestattet, in der ein erster Lochkreis ausgebildet. Die blattseitige Extenderlagereinheit umfasst einen ersten Lagerring mit einem zweiten Lochkreis, der mit diesem ersten Lochkreis der Anschlussfläche fluchtet. Die blattseitige Extenderlagereinheit umfasst ferner einen zweiten Lagerring zur Befestigung an einem Rotorblatt der Windenergieanlage. Der zweite Lagerring ist koaxial zu  
30 dem ersten Lagerring um die gemeinsame Lagerachse verdrehbar angeordnet. Der Nabenkörper ist mit dem ersten Lagerring über den ersten und den zweiten Lochkreis verschraubt. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die nabenseitige Extenderlagereinheit zumindest  
35 zwei Laschen umfasst, die sich jeweils über einen Umfangsabschnitt der Lochkreise erstrecken und einen entsprechenden Lochkreisbogen aufweisen, der mit den Lochkreisen fluchtet. Die Laschen sind in die Verschraubung des Nabenkörpers mit dem ersten Lagerring eingefügt.

Der Erfindung liegt somit die Erkenntnis zugrunde, dass es zur Versteifung der nabenseitigen Blattlager-Anschlussflächen des Nabenkörpers ausreichend ist, lokale Verstärkungen des Nabenkörpers in Form von laschenförmigen Versteifungselementen einer nabenseitigen Extenderlagereinheit vorzusehen, vorausgesetzt, dass diese in die Verschraubung des Nabenkörpers mit dem ersten Lagerring einer blattseitigen Extenderlagereinheit eingefügt sind. Durch die gemeinsame Verschraubung von Nabenkörper, nabenseitiger Extenderlagereinheit und blattseitiger Extenderlagereinheit wird lokal die Kontaktfläche im Reibschluss der Verschraubung erhöht. Die resultierende Erhöhung der Belastbarkeit des Reibschlusses vermindert Verformungen des Nabenkörpers in diesem Bereich. Zudem wird durch die gemeinsame Verschraubung von nabenseitiger und blattseitiger Extenderlagereinheit die versteifende Wirkung der blattseitigen Extenderlagereinheit auf die nabenseitige Anschlussfläche in verbessertem Maße nutzbar gemacht. Da die Belastungen des Nabenkörpers bei der Rotation der Nabe ungleichmäßig über den Umfang der Anschlussfläche auftreten, weil sie zumindest zum Teil durch das Eigengewicht der Rotorblätter bei Rotation um die Nabenachse verursacht werden, hat sich herausgestellt, dass derartige lokale Verstärkungen insbesondere in den strukturell am meisten beanspruchten Umfangsbereichen eine ausreichende Versteifung der nabenseitigen Anschlussfläche gewährleisten. Gleiches gilt analog hierzu für den Fall segmentierter Nabenkörper, bei denen sich die hoch beanspruchten Umfangsbereiche der nabenseitigen Blattlager-Anschlussflächen – bedingt durch die Segmentierung – an den Segmentstößen der benachbarten Nabensegmente ergeben. Eine lokale Versteifung entsprechend der Erfindung gewährleistet auch hier eine ausreichende Versteifung der nabenseitigen Blattlager-Anschlussflächen.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die erfindungsgemäße Nabenanordnung ein verringertes Gesamtgewicht aufweist. Durch die Verwendung von Laschen zur lokalen Versteifung kann Gewicht gegenüber einer herkömmlichen Versteifungsplatte eingespart werden. Auch gegenüber einer Lösung ohne Versteifungselement und entsprechend höherer Wandstärke der Nabe werden Gewichtsvorteile realisiert.

Schließlich bildet die gemeinsame Verschraubung von Nabenkörper mit nabenseitiger und blattseitiger Extenderlagereinheit in einem gemeinsamen Lochkreis Vorteile in der Fertigung durch geringeren Bearbeitungsaufwand zum Fertigen von Verbindungsflanschen und Bohrungen, sowie in der Montage durch die geringere benötigte Schraubenzahl.

35

In bevorzugten Ausführungsformen sind zumindest zwei der Laschen diametral gegenüberliegend zueinander angeordnet. Aufgrund der von der Nabenachse bedingten Vorzugsrichtung der in die Anschlussfläche eingebrachten Belastungen - sei es infolge der äußeren Belastungen der Windenergieanlage oder infolge der Nabensegmentierung - treten die strukturell am meisten beanspruchten Bereiche der nabenseitigen Anschlussfläche typischerweise diametral gegenüberliegend voneinander am Umfang der Anschlussfläche auf.

Ferner ist es bevorzugt, wenn zur radialen Versteifung der Anschlussfläche zumindest zwei der Laschen über einen Steg miteinander verbunden sind. Die Verbindung der Laschen über einen Steg reduziert effektiv radiale Verformungen der Anschlussfläche und beugt so Ovalisierungen vor. Besonders bevorzugt sind die Laschen dabei einteilig mit dem Steg ausgebildet.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn der Steg mindestens eine Rippe zur Erhöhung der Biegesteifigkeit aufweist. Unter einer Rippe ist im Sinne dieser Offenbarung eine in Richtung der Breite des Steges lokale Erhöhung der Dicke des Steges zu verstehen, die sich in Längsrichtung des Steges erstreckt. Rippen bewirken somit eine Erhöhung des Flächenträgheitsmomentes des Steges und versteifen diesen gegenüber Durchbiegung in Dickenrichtung. Die Baugruppe bestehend aus Laschen, Steg und radialer Verrippung stellt darüber hinaus aus Sicht der Fertigungs- und Montagekosten eine besonders vorteilhafte Lösung dar – insbesondere bei großen Nabenstrukturen und demzufolge großen Durchmessern der nabenseitigen Blattlager-Anschlußflächen.

In einigen Ausführungsformen weist der Steg eine Stegbreite auf, die im Bereich von 30 % bis 90% der maximalen Breite der jeweils von den durch den Steg verbundenen Laschen überdeckten Umfangsabschnitte beträgt. Die Stegbreite ist somit kleiner als die Breite sämtlicher durch die Laschen überdeckten Umfangsabschnitte. Da der Steg hauptsächlich zur Aufnahme von Zug- und Druckbelastungen, sowie Biegebelastungen in Längsrichtung des Steges dient, kann die Breite des Steges in dem genannten Bereich gewählt werden, um das Gewicht zu reduzieren.

Vorzugsweise ist der Nabenkörper im Bereich der Laschen mit einem radial gegenüber dem ersten Lagerring vorstehenden Flanschabschnitt ausgebildet und der Flanschabschnitt ist mit den Laschen über eine Mehrzahl von Befestigungsbohrungen verschraubt. Im Bereich des vorstehenden Flanschabschnitts besteht somit eine zusätzliche Verschraubung zwischen dem Nabenkörper und der nabenseitigen Extenderlagereinheit, die gegenüber dem ersten

und zweiten Lochkreis radial beabstandet ist. Die zusätzliche Verbindung zwischen Nabenkörper und Laschen kann die Steifigkeit des Nabenkörpers weiter erhöhen. Bei segmentierter Ausbildung des Nabenkörpers kann die zusätzliche Verschraubung zudem vorteilhaft zur Vormontage des Nabenkörpers vor dem Anschluss der blattseitigen Extenderlagereinheit genutzt werden.

Weiterhin sind Ausführungsformen denkbar, bei denen die nabenseitige Extenderlagereinheit mindestens vier Laschen umfasst, die gleichmäßig oder ungleichmäßig über den Umfang der Lochkreise verteilt angeordnet sind. Insbesondere können die vier Laschen sternförmig miteinander über Stege verbunden sein. Bei einer derartigen Ausbildung ist es vorteilhaft, dass die Kreisform der Anschlussfläche unter Belastungen des Nabenkörpers in mehr als einer Richtung stabilisiert werden.

Bevorzugt erstrecken sich die Laschen über Umfangsabschnitte der Lochkreise mit einem Zentrumswinkel im Bereich von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ . Die Laschen decken damit jeweils nur einen Bruchteil des Umfangs der Lochkreise ab und wirken dementsprechend lokal versteifend.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn die Zentrumswinkel der von den Laschen überdeckten Umfangsabschnitte in der Summe höchstens  $280^\circ$ , besonders bevorzugt höchstens  $230^\circ$  und weiter bevorzugt höchstens  $180^\circ$  betragen.

Besondere weitere Vorzüge der Erfindung ergeben sich in Ausführungsformen, bei denen der Nabenkörper mindestens zwei Nabenkörpersegmente umfasst, an denen jeweils ein Abschnitt des ersten Lochkreises ausgebildet ist, wobei die Abschnitte derart zusammengefügt sind, dass sie gemeinsam den ersten Lochkreis bilden und die Fügstellen jeweils von einer Lasche überbrückt sind. Durch die Segmentierung des Nabenkörpers lassen sich größere Naben in Teilen an den Standort der Windenergieanlage transportieren. Die Nabensegmente sind auch einfacher in der Fertigung, weil kein einteiliger Hohlkörper gegossen werden muss. Das Handling während der Bearbeitung und die Montage sind durch das geringere Gewicht und die geringeren Abmessungen der Segmente im Vergleich zu einem einteiligen Nabenkörper vereinfacht. Bei der erfindungsgemäßen Nabenanordnung ist daher die blattseitige Extenderlagereinheit das im Transportdurchmesser größte an den Standort der Windenergieanlage zu verschaffende Bauteil. Die erfindungsgemäße Nabenanordnung ermöglicht eine besonders einfache Montage, bei der die blattseitige Extenderlagereinheit den Hauptanteil an der Stabilisierung des mehrteiligen Nabenkörpers trägt. In den Fügstellen wird der

Nabenkörper zusätzlich durch die Laschen als lokale Versteifungselemente unterstützt. Es ist somit keine direkte Verschraubung der Nabensegmente miteinander erforderlich und es werden auch keine zusätzlichen konstruktiven Elemente im Inneren der Nabe zur Stabilisierung benötigt.

5

Der Zusammenbau der erfindungsgemäßen Nabenanordnung erfolgt vorteilhaft durch die gemeinsame Verschraubung von den Nabenkörpersegmenten mit blattseitiger und nabenseitiger Extenderlagereinheit.

10

Bevorzugt ist die Anschlussfläche als ein Anschlussflansch mit Durchgangsbohrungen als erstem Lochkreis ausgebildet, wobei die nabenseitige Extenderlagereinheit nabennenseitig des Anschlussflansches und die blattseitige Extenderlagereinheit nabenaußenseitig des Anschlussflansches angeordnet ist. Durch die sandwichartige Anordnung und Verschraubung des Anschlussflansches zwischen der blattseitigen und der nabenseitigen Extenderlagereinheit wird die für den Reibschluss wirksame Fläche weiter vergrößert, da beide axialen Oberflächen des Flansches für die Übertragung von Schub- und Reibkräften nutzbar gemacht werden. Ferner kann bei diesen Ausführungsformen die Biegebeanspruchung der Schraubverbindung, die beide Extenderlagereinheiten mit dem einteiligen Nabenkörper bzw. den Nabensegmenten verbindet, reduziert werden.

20

In alternativen Ausführungsformen ist der erste Lochkreis als Sacklochbohrungen in der Anschlussfläche ausgebildet, wobei die nabenseitige Extenderlagereinheit und die blattseitige Extenderlagereinheit nabenaußenseitig des Nabenkörpers angeordnet sind. Um in diesem Fall eine gleichmäßige Abstützung der blattseitigen Extenderlagereinheit über deren Umfang sicherzustellen, kann die Anschlussfläche am Nabenkörper und/oder die entsprechende Anschlussfläche der blattseitigen Extenderlagereinheit mit Ausnehmungen versehen sein zur Aufnahme der nabenseitigen Extenderlagereinheit. Die Ausnehmungen zur Aufnahme der nabenseitigen Extenderlagereinheit erlauben eine direkte Auflage der blattseitigen Extenderlagereinheit auf dem Nabenkörper in den übrigen Umfangsabschnitten. Alternativ können zum Zweck der gleichmäßigen Abstützung zwischen den Laschen der nabenseitigen Extenderlagereinheit Distanzringelemente vorgesehen sein. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch nur eine bearbeitete nabenseitige Auflagefläche für die Befestigung der Extenderlagereinheiten aus.

25

30

35

Schließlich ist es bevorzugt, wenn der erste Lagerring mit einer Rotornabenverlängerung ausgebildet ist, die sich nabenseitig in Richtung der Lagerachse über den zweiten Lagerring

hinaus erstreckt und in deren nabenseitigem Endbereich der zweite Lochkreis angeordnet ist. Die in der blattseitigen Extenderlagereinheit integrierte Rotornabenverlängerung bewirkt eine erhöhte Steifigkeit der blattseitigen Extenderlagereinheit, die zur Versteifung der nabenseitigen Anschlussfläche beiträgt. Dies erlaubt insbesondere eine verbesserte Aufnahme  
5 der infolge einer Segmentierung des Nabenkörpers auftretenden, zusätzlichen Beanspruchungen. Weiterhin werden durch die Beabstandung der Anschlussfläche von dem an der blattseitigen Extenderlagereinheit angeordneten ersten Lagerring, Verformungen des Lager- rings reduziert, die zu einer Beeinträchtigung der Blattlagerung führen könnten.

10 Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind der nachfolgenden Beschreibung und den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

15

#### **Kurzbeschreibung der Zeichnungen**

- Fig. 1 zeigt schematisch eine Windenergieanlage mit einer erfindungsgemäßen Nabenanordnung,
- 20 Fig. 2 zeigt schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Nabenanordnung in einer perspektivischen Darstellung,
- Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau des Nabenkörpers der Nabenanordnung gemäß Fig. 2 in einer Explosionsdarstellung,
- Fig. 4 zeigt schematisch in einer teilweise geschnittenen, perspektivischen An-  
25 sicht eine Detaildarstellung der Befestigung der blattseitigen und der nabenseitigen Extenderlagereinheit am Nabenkörper der Nabenanordnung gemäß Fig. 2,
- Fig. 5 zeigt schematisch in einer teilweise geschnittenen, perspektivischen An-  
sicht eine Detaildarstellung der als ein Anschlussflansch mit Durchgangs-  
30 bohrungen ausgebildeten Anschlussfläche des Nabenkörpers der Nabenanordnung gemäß Fig. 2,
- Fig. 6 zeigt schematisch in einer teilweise geschnittenen Darstellung ein zweites  
Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Nabenanordnung, bei der der  
erste Lochkreis als Sacklochbohrungen in der Anschlussfläche ausgebildet  
35 ist,

- Fig. 7 zeigt schematisch eine nabenseitige Anschlussfläche eines Nabenkörpers mit einer als zwei Laschen ausgebildeten nabenseitigen Extenderlagereinheit,
- 5 Fig. 8 zeigt schematisch eine nabenseitige Anschlussfläche eines Nabenkörpers mit einer nabenseitigen Extenderlagereinheit, die zwei über einen Steg verbundene Laschen umfasst,
- 10 Fig. 9 zeigt schematisch eine nabenseitige Anschlussfläche eines Nabenkörpers mit einer nabenseitigen Extenderlagereinheit, die zwei über einen Steg verbundene Laschen umfasst, die zusätzlich mit einem radial vorstehenden Flanschabschnitt des Nabenkörpers verschraubt sind, und
- Fig. 10A bis C zeigen schematisch weitere Ausführungsvarianten der nabenseitigen Extenderlagereinheit.

### Ausführungsformen der Erfindung

15

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

20

In **Fig. 1** ist eine Windenergieanlage 100 mit einer erfindungsgemäßen Nabenanordnung 1 dargestellt. Die Windenergieanlage 100 umfasst einen Turm 110, eine Gondel 120 und einen drehbar an der Gondel 120 gelagerten Rotor 130. Der Rotor 130 umfasst die erfindungsgemäße Nabenanordnung 1 und eine Mehrzahl von drehbar an der Nabenanordnung 1 befestigten Rotorblättern 140. Üblicherweise umfasst der Rotor 130 wie dargestellt drei Rotorblätter 140.

25

Die Rotorblätter 140 sind drehbar an der Nabenanordnung 1 gelagert, um eine Leistungsregelung der Windenergieanlage 100 bei schwankenden Windverhältnissen zu ermöglichen. Darüber hinaus ist eine Verstellung der Rotorblätter 140 in die Fahnenstellung, also in Windrichtung, möglich, um die Leistungsaufnahme der Rotorblätter 140 zu minimieren und die

30 Windenergieanlage 100 außer Betrieb zu nehmen.

35

Zur Befestigung mindestens eines der Rotorblätter 140 umfasst die erfindungsgemäße Nabenanordnung 1 eine blattseitige Extenderlagereinheit 5 und eine nabenseitige Extenderlagereinheit 9, die an dem Nabenkörper 2 befestigt sind (vgl. Fig. 4 und 6). Bevorzugt sind alle Rotorblätter 140 an dem Nabenkörper 2 auf diese Weise befestigt.

Der Aufbau der erfindungsgemäßen Nabenanordnung 1 wird nachfolgend im Einzelnen mit Bezug auf die Figuren 2 bis 10 näher erläutert.

Die **Fig. 2 bis 5** zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Nabenanordnung 1. **Fig. 2** zeigt eine perspektivische Außenansicht der Nabenanordnung 1. Um den Aufbau der Nabenanordnung 1 besser zu verdeutlichen, zeigen **Fig. 3** eine Explosionszeichnung und die **Fig. 4 und 5** Detaildarstellungen des Nabenkörpers 2 und der daran angeschlossenen Komponenten. In der Darstellung gemäß **Fig. 3** ist ein Nabenkörpersegment, sowie die blattseitige Extenderlagereinheit der Übersicht halber nicht dargestellt.

10

In dem in den **Fig. 2 bis 5** dargestellten ersten Ausführungsbeispiel ist eine Nabenanordnung 1 für eine Windenergieanlage 100 gezeigt. Die Nabenanordnung 1 umfasst einen Nabenkörper 2, sowie jeweils mindestens eine blattseitige Extenderlagereinheit 5 und eine nabenseitige Extenderlagereinheit 9. Der Nabenkörper 2 weist mindestens eine Anschlussfläche 3 auf, in der ein erster Lochkreis 4 ausgebildet ist.

15

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst der Nabenkörper 2 drei Anschlussflächen 3 die jeweils mit einer blattseitigen Extenderlagereinheit 5 und einer nabenseitigen Extenderlagereinheit 9 in der nachfolgend beschriebenen Weise zusammenwirken. Es sind jedoch auch Ausführungsbeispiele denkbar, bei denen eine von drei verschiedene Anzahl von Rotorblättern mit dem Nabenkörper zu verbinden sind, oder nur einzelne der Rotorblätter über die erfindungsgemäße Zusammenwirkung von Nabenkörper, nabenseitiger Extenderlagereinheit und blattseitiger Extenderlagereinheit an der Nabenanordnung befestigt sind.

20

Die blattseitige Extenderlagereinheit 5 umfasst einen ersten Lagerring 6 mit einem zweiten Lochkreis 7, der mit dem ersten Lochkreis 4 fluchtet, und einen zweiten Lagerring 8 zur Befestigung an einem Rotorblatt 140 der Windenergieanlage 100. Der Nabenkörper 2 ist mit dem ersten Lagerring 6 über den ersten und den zweiten Lochkreis 4, 7 verschraubt. Der zweite Lagerring 8 ist coaxial zu dem ersten Lagerring 6 um die gemeinsame Lagerachse A verdrehbar angeordnet.

25

30

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die nabenseitige Extenderlagereinheit 9 zumindest zwei Laschen 10, 11 umfasst, die sich jeweils über einen Umfangsabschnitt 17 der Lochkreise 4, 7 erstrecken und einen entsprechenden Lochkreisbogen 14 aufweisen, der mit den Lochkreisen 4, 7 fluchtet. Die Laschen 10, 11 sind dabei in die Verschraubung des Nabens-

35

körpers 2 mit dem ersten Lagerring 6 eingefügt (vgl. Fig. 4). Vorzugsweise sind zumindest zwei der Laschen 10, 11 diametral gegenüberliegend zueinander angeordnet.

5 Bevorzugt ist vorgesehen, dass der erste Lagerring 6 der blattseitigen Extenderlagereinheit 5 mit einer Rotornabenverlängerung 21 ausgebildet ist, die sich nabenseitig in Richtung der Lagerachse A über den zweiten Lagerring 8 hinaus erstreckt und in deren nabenseitigem Endbereich E der zweite Lochkreis 7 angeordnet ist. Bevorzugt erstreckt sich die Rotor-  
nabenverlängerung 21 in axialer Richtung A mindestens um die Hälfte der axialen Erstreckung des zweiten Lagerring 8 über diesen hinaus. Hierdurch wird eine axiale Beabstandung  
10 der Lagerringe 6, 8 gegenüber der nabenseitigen Anschlussfläche 3 erreicht, die Verformungen und dadurch hervorgerufene Verschleißbeanspruchungen des Blattlagers reduziert.

Der erste Lagerring 6 kann unterteilt sein in zwei oder mehrere Teilringe 6', 6''. Abhängig von der Lagerbauform kann alternativ oder zusätzlich auch der zweite Lagerring 8 in zwei oder  
15 mehr Teilringe unterteilt sein (nicht dargestellt). Die Unterteilung der Lagerringe vereinfacht den Zusammenbau des Lagers. Beispielhaft ist das aus dem ersten Lagerring 6 und dem zweiten Lagerring 8 zusammengesetzte Lager in den Ausführungsbeispielen als dreireihige Rollendrehverbindung dargestellt. Die Erfindung umfasst jedoch auch andere Lagerbauformen mit beliebigen Wälzkörpern (wie Kugeln oder Rollen) und/oder Gleitlager.

20 Wie insbesondere aus Fig. 3 ersichtlich, kann der Nabenkörper 2 vorzugsweise mindestens zwei Nabenkörpersegmente 2', 2'' umfassen, an denen jeweils ein Abschnitt 4', 4'' des ersten Lochkreises 4 ausgebildet ist. Die Abschnitte 4', 4'' werden dann beim Zusammenbau des Nabenkörpers 2 derart zusammengefügt, dass sie gemeinsam den ersten Lochkreis 4  
25 bilden. Die Fügstellen 20 werden dabei jeweils von einer Lasche 10, 11 überbrückt. Bei einer derartigen segmentierten Ausbildung des Nabenkörpers 2 können die Nabenkörpersegmente 2', 2'' vorzugsweise zusätzlich durch einen oder mehrere Ringe 22 auf der windzugewandten und/oder der windabgewandten Seite des Nabenkörpers 2 miteinander verbunden sein.

30 Den Detaildarstellungen in Fig. 4 und 5 ist zu entnehmen, dass die Anschlussfläche 3 in diesem ersten Ausführungsbeispiel als ein Anschlussflansch mit Durchgangsbohrungen als erstem Lochkreis 4 ausgebildet ist. Die nabenseitige Extenderlagereinheit 9 ist nabenninnenseitig des Anschlussflansches und die blattseitige Extenderlagereinheit 5 nabenaußenseitig des  
35 Anschlussflansches angeordnet. Die nabenseitige und die blattseitige Extenderlagereinheit 9, 5 bilden somit eine sandwichartige Anordnung mit dem die Anschlussfläche 3 bildenden

Anschlussflansch. Ober- und Unterseite des Anschlussflansches werden so nutzbar gemacht zum Aufbau eines Reibschlusses in der Verschraubung.

5 Ebenfalls ist den Fig. 4 und 5 zu entnehmen, dass der Nabenkörper 2 im Bereich der Laschen 10, 11 mit einem radial gegenüber dem ersten Lagerring 6 vorstehenden Flanschabschnitt 18 ausgebildet sein kann, wobei der Flanschabschnitt 18 mit den Laschen 10, 11 über eine Mehrzahl von Befestigungsbohrungen 19 verschraubt ist. Die Befestigung der Flanschabschnitte 18 mit den Laschen 10, 11 liefert eine zusätzliche, von der Verschraubung des ersten Lochkreises 4 unabhängige Stabilisierung des Nabenkörpers 2. Insbesondere  
10 beim Zusammenbau eines mehrteiligen Nabenkörpers, der aus Nabenkörpersegmenten 2', 2'', 2''' zusammengesetzt ist, erlaubt die Verschraubung der Flanschabschnitte 18 mit den Laschen 10, 11 eine Vormontage des Nabenkörpers 2, bevor die blattseitige Extenderlagereinheit 5 über den ersten Lochkreis 4 angebracht wird.

15 **Fig. 6** zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Nabenanordnung 1 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel. Da nur der Unterschied in der Befestigung der blattseitigen Extenderlagereinheit 5 und der nabenseitigen Extenderlagereinheit 9 gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 2 bis 5 verdeutlicht werden soll, ist in der Darstellung gemäß Fig. 6 der besseren Übersicht halber nur ein Nabenkörpersegment 2' des Nabenkörpers  
20 2 dargestellt.

Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel ist in Fig. 6 der erste Lochkreis 4 als Sacklochbohrungen in der nabenseitigen Anschlussfläche 3 ausgebildet. Die nabenseitige Extenderlagereinheit 9 und die blattseitige Extenderlagereinheit 5 sind beide nabenaußenseitig  
25 des Nabenkörpers 2 angeordnet. Die Befestigung erfolgt durch Schrauben 24, die durch die blattseitige Extenderlagereinheit 5 und die nabenseitige Extenderlagereinheit 9 in die Sacklochbohrungen eingreifen. Dies erlaubt eine vereinfachte Fertigung des Nabenkörpers, mit nur einer fein zu bearbeitenden Auflagefläche 3 für die nabenseitige Extenderlagereinheit 9.

30 Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 ist bevorzugt vorgesehen, dass zwischen den Laschen 10, 11 Distanzringabschnitte 23 auf der Anschlussfläche 3 angeordnet werden, die zwischen den Laschen 10, 11 eine zusätzliche Auflagefläche für die blattseitige Extenderlagereinheit 5 bereitstellen. Die Distanzringabschnitte 23 schließen demnach bevorzugt plan mit den Laschen 10, 11 ab. Alternativ dazu kann gemäß einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel die Anschlussfläche Ausnehmungen für zur Aufnahme der Laschen aufweisen,  
35

so dass die Laschen nach Aufnahme in die Ausnehmungen bevorzugt plan mit der Anschlussfläche abschließen.

5 Mit Bezug zu den **Fig. 7 bis 10** werden nachfolgend verschiedene Ausführungsvarianten der nabenseitigen Extenderlagereinheit 9 beschrieben. Sämtliche in den Fig. 7 bis 10 dargestellten Ausführungsvarianten sind mit beiden zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen kombinierbar, d. h. jede der nabenseitigen Extenderlagereinheiten 9 gemäß den Fig. 7 bis 10 ist in den erfindungsgemäßen Nabenanordnungen gemäß den Figuren 2 bis 6 einsetzbar.

10 In **Fig. 7** ist eine Ausführungsvariante gezeigt, bei der die nabenseitige Extenderlagereinheit 9 aus zwei Laschen 10, 11 besteht. Die Laschen 10, 11 erstrecken sich jeweils über einen Umfangsabschnitt 17 des ersten Lochkreises 4 in der Anschlussfläche 3. Durch die umfangs-  
seitige Erstreckung der Laschen 10, 11 ist ein den jeweiligen Laschen 10, 11 zugeordneter  
15 Zentrumswinkel  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  definiert. Bevorzugt erstrecken sich die Laschen 10, 11 über einen Umfangsabschnitt 17 des Lochkreises 4 mit einem Zentrumswinkel  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , im Bereich von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , besonders bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ . Beispielhaft ist die Lasche 11 mit Befestigungsbohrungen 19 ausgestattet, für die Zusammenwirkung mit einem radial innen-  
seitig gegenüber dem ersten Lagerring vorstehenden Flanschabschnitt 18 ausgebildet, wäh-  
20 rend die Lasche 10 solche Befestigungsbohrungen nicht aufweist. Genauso sind Ausführungsvarianten denkbar, bei denen beide Laschen derartige Befestigungsbohrungen aufweisen oder beide Laschen ohne solche Befestigungsbohrungen ausgebildet sind.

In bevorzugten Ausführungsformen erstrecken sich die Laschen 10, 11 über Umfangsabschnitte 17 der Lochkreise 4, 7 mit einem Zentrumswinkel  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  im Bereich von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ ,  
25 bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ . Die Zentrumswinkel  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  der von den Laschen 10, 11 überdeckten Umfangsabschnitte 17 betragen in der Summe vorzugsweise höchstens  $280^\circ$ , weiter bevorzugt höchstens  $230^\circ$  und besonders bevorzugt höchstens  $180^\circ$ .

Die Ausführungsvarianten gemäß **Fig. 8** unterscheidet sich von der vorher beschriebenen  
30 Ausführungsvarianten dadurch, dass zur radialen Versteifung der Anschlussfläche 3 die zwei Laschen 10, 11 über einen Steg 15 miteinander verbunden sind. Dabei ist es bevorzugt, wenn die Laschen 10, 11 mit dem Steg 15 einteilig ausgebildet sind, weil hierdurch besonders hohe Streitigkeiten erreicht werden können. Schließlich kann vorzugsweise der Steg 15 mindestens eine Rippe 16 zur Erhöhung der Biegesteifigkeit aufweisen. Durch die Rippe 16  
35 ergibt sich in Fig. 8 im leicht vergrößert dargestellten Schnitt A-A ein T-Profil des Steges 15.

Der Steg 15 weist vorzugsweise eine Stegbreite  $W_1$  auf, die im Bereich von 30 % bis 90 % der maximalen Breite  $W_2$  der jeweils von den durch den Steg 15 verbundenen Laschen 10, 11 überdeckten Umfangsabschnitte 17 beträgt.

- 5 Die Ausführungsvarianten gemäß **Fig. 9** unterscheidet sich von Fig. 8 dadurch, dass Befestigungsbohrungen 19 vorgesehen sind für eine zusätzliche Verschraubung der Laschen 10, 11 mit dem radial vorstehenden Flanschabschnitt 18 des Nabenkörpers 2.

10 Im Übrigen gelten die Ausführungen zu den vorherigen Ausführungsvarianten für Fig. 8 und 9 entsprechend.

In **Fig. 10A bis 10C** sind 3 weitere Ausführungsvarianten der nabenseitigen Extenderlagereinheit 9 gezeigt.

- 15 **Fig. 10A** zeigt eine Variante mit zwei über einen Steg verbundenen Laschen 10, 11. Im Vergleich zu Fig. 8 und 9 sind die Laschen unsymmetrisch ausgebildet, wobei sich die Lasche 11 über einen wesentlich größeren Umfangsabschnitt mit dem Zentrumswinkel  $\beta_2$  erstreckt, als die Lasche 10.

- 20 Die **Fig. 10B** zeigt eine Ausführungsvarianten der nabenseitigen Extenderlagereinheit 9 mit vier Laschen 10, 11, 12, 13, die gleichmäßig über den Umfang der Lochkreise 4, 7 verteilt angeordnet sind. Die vier Laschen 10, 11, 12, 13 sind sternförmig miteinander über Stege 15, 15' verbunden.

- 25 Zusätzlich sind in Fig. 10B Distanzringabschnitte 23 gestrichelt dargestellt, die bei einer Montage gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel (vgl. Fig. 6) zur Verwendung kommen können. Ähnliche Distanzringabschnitte 23 können auch bei allen übrigen Ausführungsvarianten bei Montage gemäß Fig. 6 zum Einsatz kommen.

- 30 Die Ausführungsvariante gemäß **Fig. 10C** entspricht der Variante gemäß Fig. 10B mit dem Unterschied, dass die Laschen 10, 11, 12', 13' ungleichmäßig über den Umfang der Lochkreise 4, 7 verteilt angeordnet sind. Durch die ungleichmäßige Verteilung kann die Extenderlagereinheit 9 für ungleichmäßige Belastungsfälle optimiert werden.

- 35 Sämtliche Laschen 10, 11, 12, 13, 12', 13' erstrecken sich über Umfangsabschnitte der Lochkreise 4, 7 mit einem Zentrumswinkel  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ , die im Bereich von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , be-

vorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  liegen. Die Zentrumswinkel  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  der von den Laschen 10, 11, 12, 13, 12', 13' überdeckten Umfangsabschnitte betragen in der Summe vorzugsweise höchstens  $280^\circ$ , weiter bevorzugt höchstens  $230^\circ$  und besonders bevorzugt höchstens  $180^\circ$ .

5

Im Übrigen gelten die Ausführungen zu den vorherigen Ausführungsvarianten für Fig. 10A bis 10C entsprechend.

### Bezugszeichenliste

	1	Nabenanordnung
	2	Nabenkörper
5	2', 2'', 2'''	Nabenkörpersegmente
	3	Anschlussfläche
	4	erster Lochkreis
	4', 4''	Abschnitt des ersten Lochkreises
	5	blattseitige Extenderlagereinheit
10	6	erster Lagerring
	6', 6''	Teiltringe
	7	zweiter Lochkreis
	8	zweiter Lagerring
	9	nabenseitige Extenderlagereinheit
15	10 bis 13, 12', 13'	Laschen
	14	Lochkreisbogen
	15	Steg
	16	Rippe
	17	Umfangsabschnitt
20	18	Flanschabschnitt
	19	Befestigungsbohrungen
	20	Fügestelle
	21	Rotornabenverlängerung
	22	Ringe
25	23	Distanzringabschnitte
	24	Schraube
	100	Windenergieanlage
	110	Turm
	120	Gondel
30	130	Rotor
	140	Rotorblatt
	A	Lagerachse
	$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$	Zentrumswinkel
35	E	nabenseitiger Endbereich der Rotornabenverlängerung
	W1	Stegbreite

W2

maximale Breite der Laschen

## PATENTANSPRÜCHE

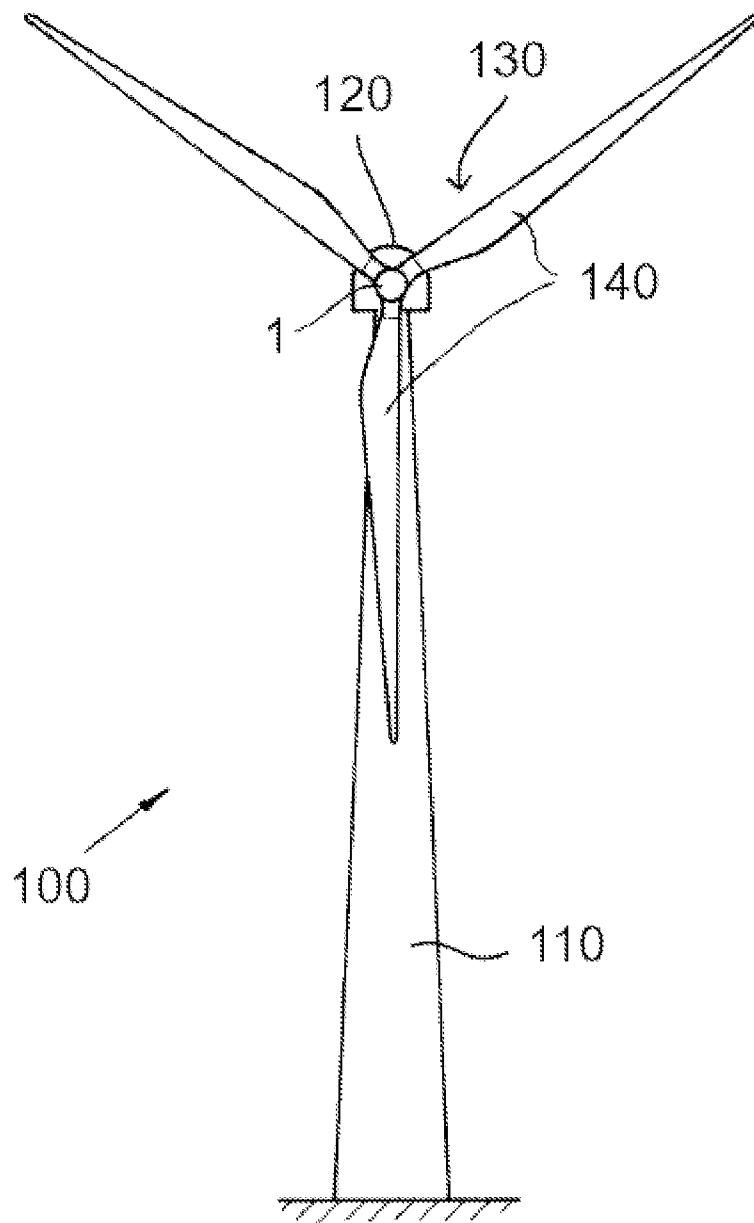
1. Nabenanordnung für eine Windenergieanlage (100), umfassend  
einen Nabenkörper (2), mit mindestens einer Anschlussfläche (3), in der ein erster  
5 Lochkreis (4) ausgebildet ist,  
eine blattseitige Extenderlagereinheit (5) umfassend  
einen ersten Lagerring (6) mit einem zweiten Lochkreis (7), der mit dem ersten Loch-  
kreis (4) fluchtet, und  
einen zweiten Lagerring (8) zur Befestigung an einem Rotorblatt (140) der Windener-  
gieanlage (100), wobei der zweite Lagerring (8) koaxial zu dem ersten Lagerring  
10 (6) um die gemeinsame Lagerachse (A) verdrehbar angeordnet ist, und  
eine nabenseitige Extenderlagereinheit (9),  
wobei der Nabenkörper (2) mit dem ersten Lagerring (6) über den ersten und den zwei-  
ten Lochkreis (4, 7) verschraubt ist,  
15 **dadurch gekennzeichnet, dass** die nabenseitige Extenderlagereinheit (9) zumindest  
zwei Laschen (10, 11, 12, 13) umfasst, die sich jeweils über einen Umfangsab-  
schnitt (17) der Lochkreise (4, 7) erstrecken und einen entsprechenden Loch-  
kreisbogen (14) aufweisen, der mit den Lochkreisen (4, 7) fluchtet und die La-  
schen (10, 11, 12, 13) in die Verschraubung des Nabenkörpers (2) mit dem ers-  
20 ten Lagerring (6) eingefügt sind.
2. Nabenanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei  
der Laschen (10, 11; 12, 13) diametral gegenüberliegend zueinander angeordnet sind.
- 25 3. Nabenanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur radia-  
len Versteifung der Anschlussfläche (3) zumindest zwei der Laschen (10, 11, 12, 13)  
über einen Steg (15) miteinander verbunden sind.
4. Nabenanordnung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laschen (10,  
30 11, 12, 13) mit dem Steg (15) einteilig ausgebildet sind.
5. Nabenanordnung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steg  
(15) mindestens eine Rippe (16) zur Erhöhung der Biegesteifigkeit aufweist.
- 35 6. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Steg (15) eine Stegbreite (W1) aufweist, die im Bereich von 30 % bis 90% der ma-

ximalen Breite (W2) der jeweils von den durch den Steg (15) verbundenen Laschen (10, 11, 12, 13) überdeckten Umfangsabschnitte (17) beträgt.

- 5 7. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nabenkörper (2) im Bereich der Laschen (10, 11, 12, 13) mit einem radial gegenüber dem ersten Lagerring (6) vorstehenden Flanschabschnitt (18) ausgebildet ist und der Flanschabschnitt (18) mit den Laschen (10, 11, 12, 13) über eine Mehrzahl von Befestigungsbohrungen (19) verschraubt ist.
- 10 8. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die nabenseitige Extenderlagereinheit (9) mindestens vier Laschen (10, 11, 12, 13) umfasst, die gleichmäßig oder ungleichmäßig über den Umfang der Lochkreise (4, 7) verteilt angeordnet sind.
- 15 9. Nabenanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vier Laschen (10, 11, 12, 13) sternförmig miteinander über Stege (15, 15') verbunden sind.
- 20 10. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Laschen (10, 11, 12, 13) über Umfangsabschnitte (17) der Lochkreise (4, 7) mit einem Zentrumswinkel ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ) im Bereich von  $20^\circ$  bis  $70^\circ$ , bevorzugt zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ , erstrecken.
- 25 11. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zentrumswinkel ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ) der von den Laschen (10, 11, 12, 13) überdeckten Umfangsabschnitte (17) in der Summe höchstens  $280^\circ$ , bevorzugt höchstens  $230^\circ$  und besonders bevorzugt höchstens  $180^\circ$  betragen.
- 30 12. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nabenkörper (2) mindestens zwei Nabenkörpersegmente ( $2', 2''$ ) umfasst, an denen jeweils ein Abschnitt ( $4', 4''$ ) des ersten Lochkreises (4) ausgebildet ist, wobei die Abschnitte ( $4', 4''$ ) derart zusammengefügt sind, dass sie gemeinsam den ersten Lochkreis (4) bilden, und die Fügstellen (20) jeweils von einer Lasche (10, 11, 12, 13) überbrückt sind.
- 35 13. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschlussfläche (3) als ein Anschlussflansch mit Durchgangsbohrungen als

erstem Lochkreis (4) ausgebildet ist, wobei die nabenseitige Extenderlagereinheit (9) nabeninnenseitig des Anschlussflansches und die blattseitige Extenderlagereinheit (5) nabenaußenseitig des Anschlussflansches angeordnet ist.

- 5 14. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Lochkreis (4) als Sacklochbohrungen in der Anschlussfläche (3) ausgebildet ist, wobei die nabenseitige Extenderlagereinheit (9) und die blattseitige Extenderlagereinheit (5) nabenaußenseitig des Nabenkörpers (2) angeordnet sind.
- 10 15. Nabenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Lagerring (6) mit einer Rotornabenverlängerung (21) ausgebildet ist, die sich nabenseitig in Richtung der Lagerachse (A) über den zweiten Lagerring (8) hinaus erstreckt und in deren nabenseitigem Endbereich (E) der zweite Lochkreis (7) angeordnet ist.

**Fig. 1**

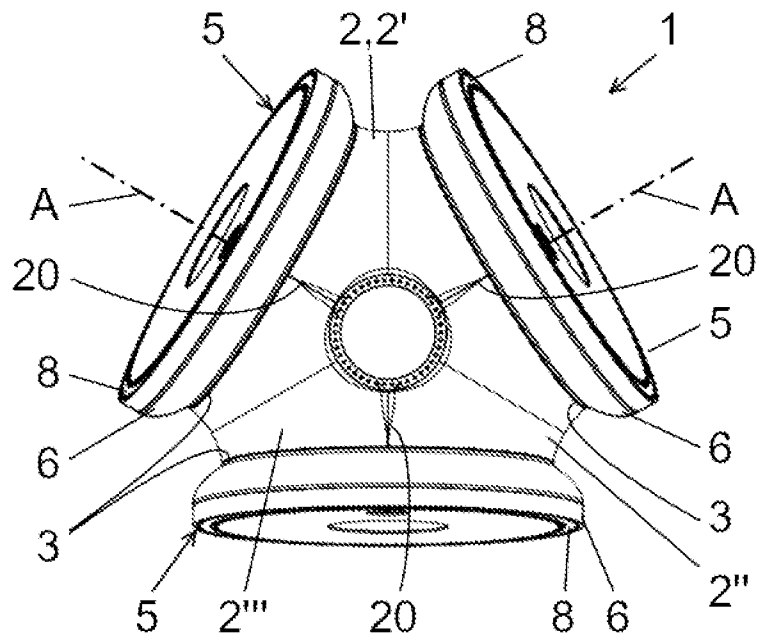


Fig. 2

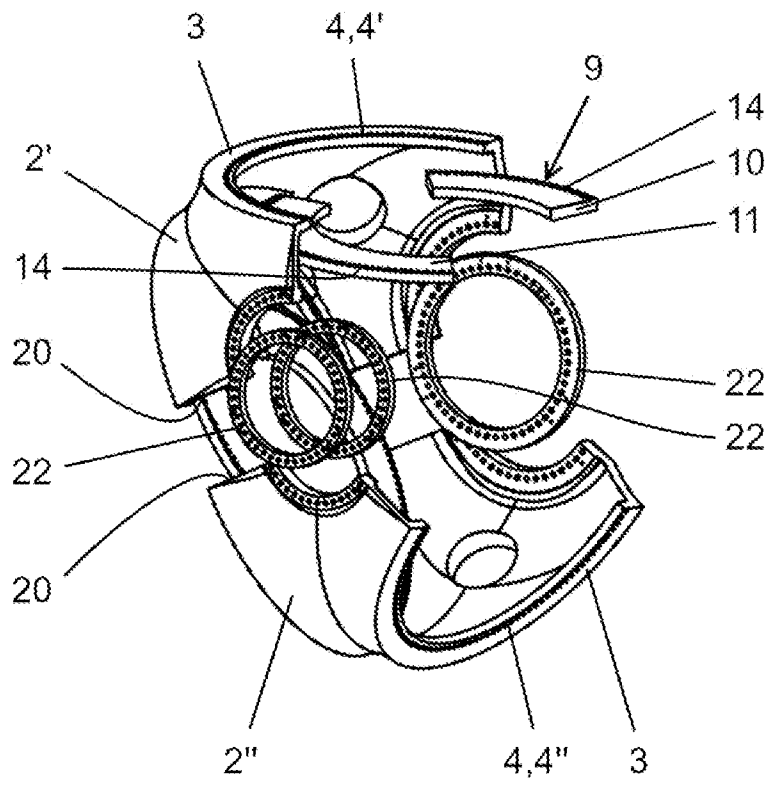
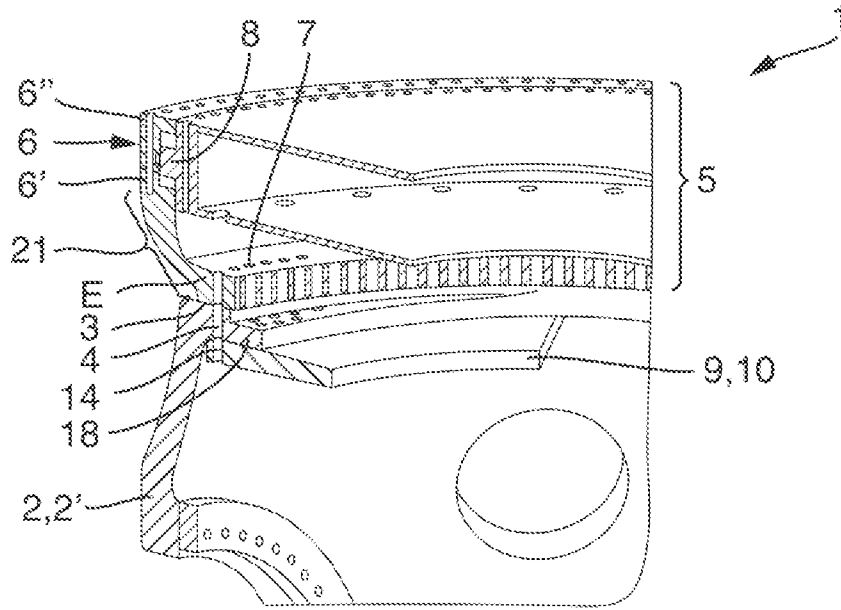
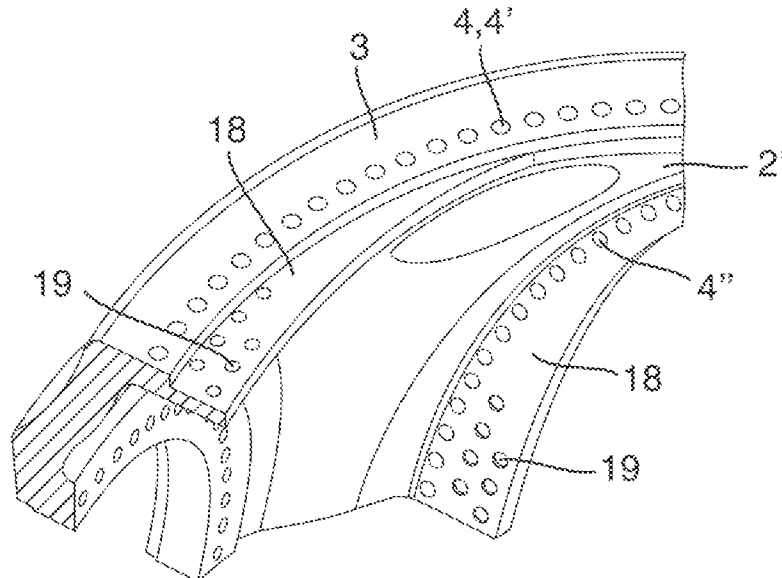


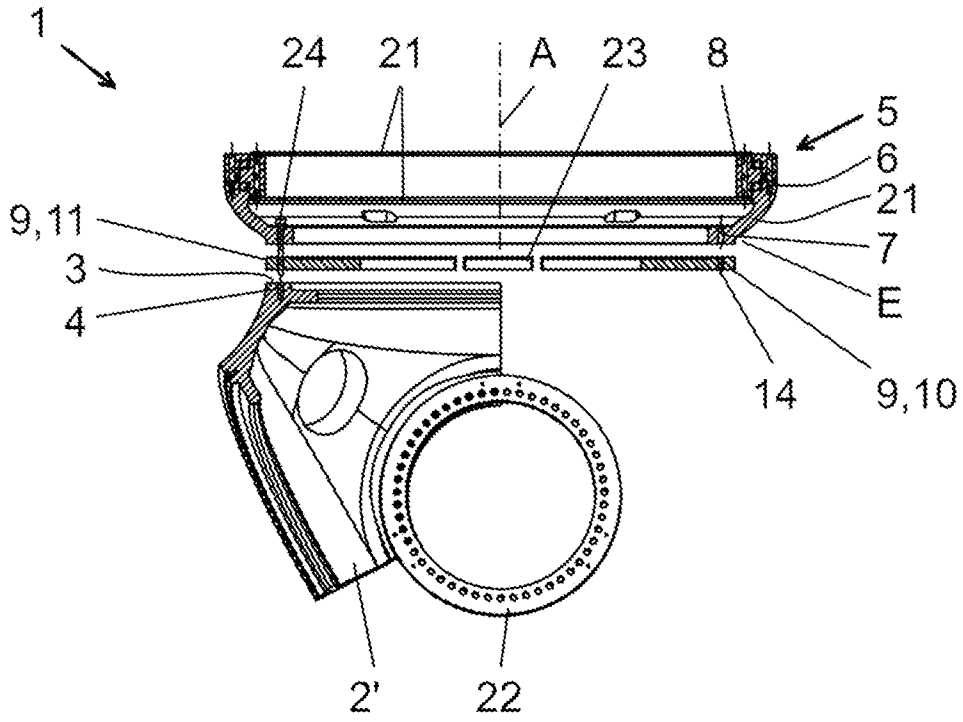
Fig. 3



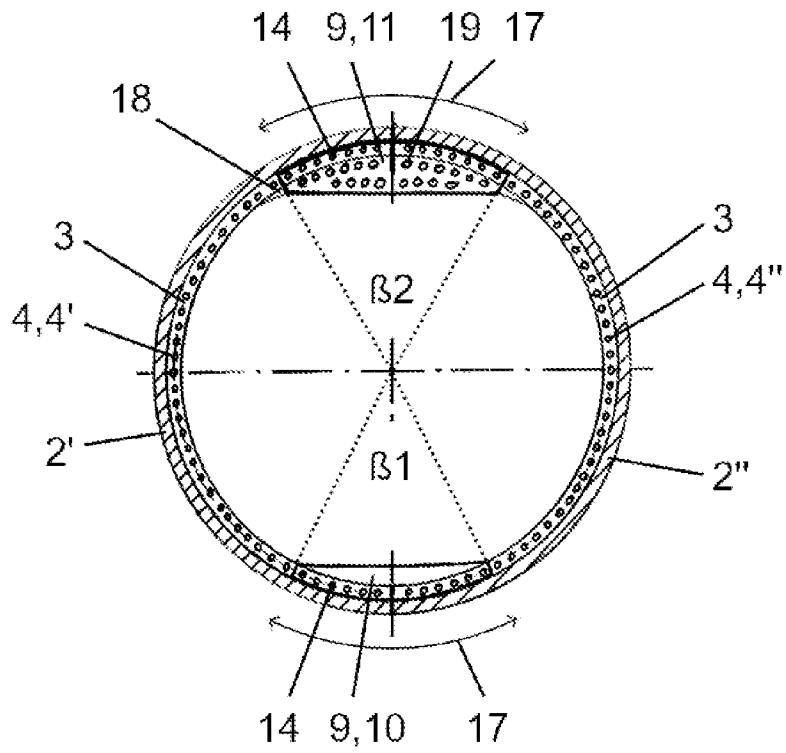
**Fig. 4**



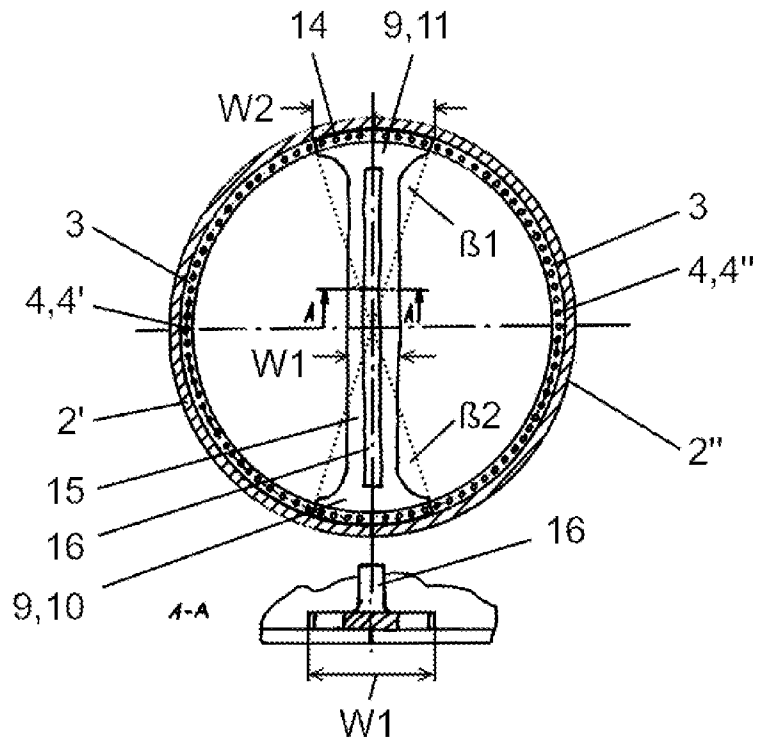
**Fig. 5**



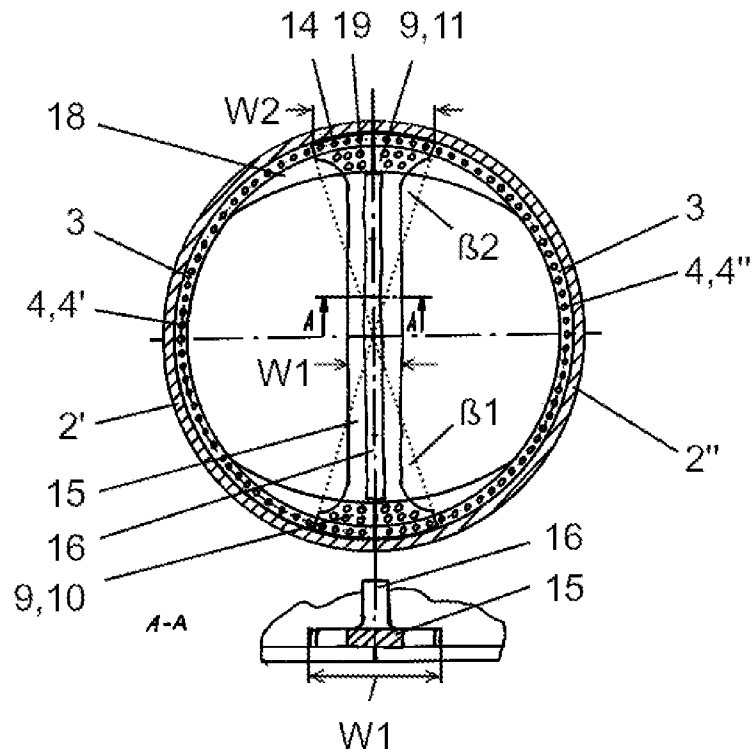
**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

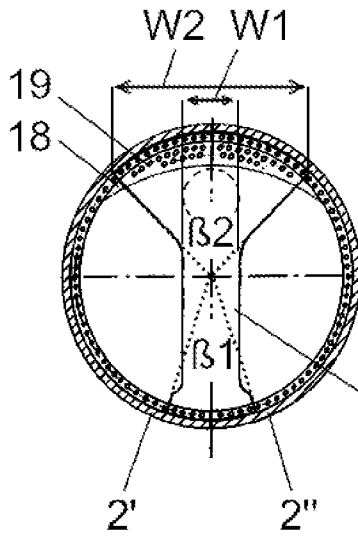


Fig. 10A

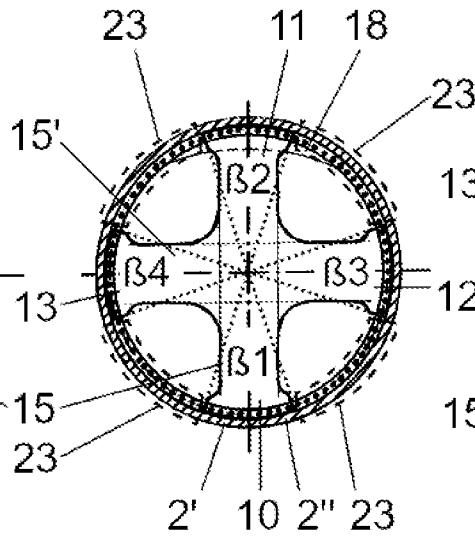


Fig. 10B

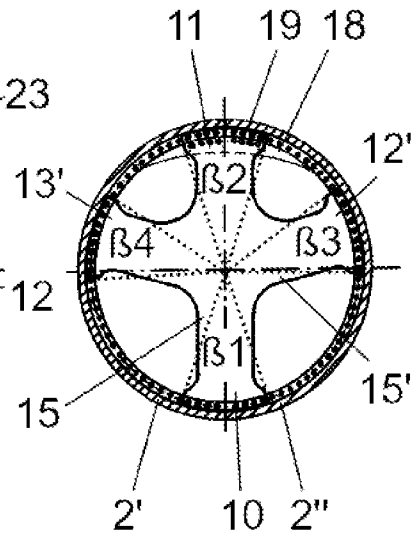


Fig. 10C