



(10) **DE 10 2009 040 515 A1** 2011.03.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 040 515.1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F03D 1/06 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **03.09.2009**

(43) Offenlegungstag: **10.03.2011**

(71) Anmelder:

**Grimm, Friedrich, Prof. Dipl.-Ing., 70376 Stuttgart,  
DE**

(72) Erfinder:

**gleich Anmelder**

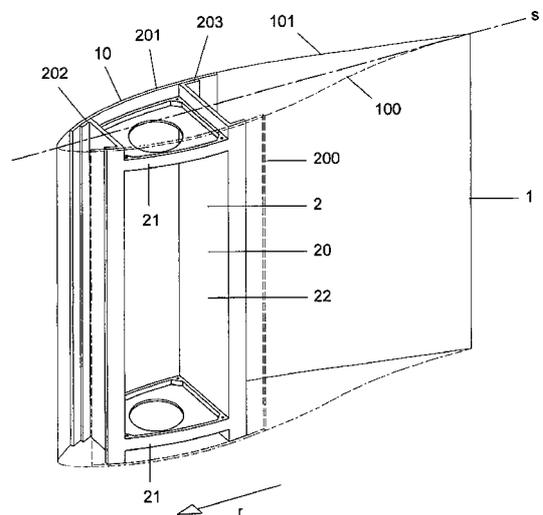
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Rotorblatt für eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt (1) für eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse, bei dem ein aerodynamisch geformter Schalenkörper mit Flügelprofil (10) jeweils im Bereich der maximalen Profildicke durch ein Hohlprofil (2) mit Kastenquerschnitt (20) der Länge nach ausgesteift wird.

Der Kastenquerschnitt (20) wird von Gurtungen (200, 201), die jeweils mit einem Abstand zur Profilsehne (s) des Flügelprofils (10) den Schalenkörper auf der Druck- und Saugseite (100, 101) verstärken und von Stegen (202, 203), die die beiden Gurtungen (100, 101) quer zur Schlagrichtung (r) des Rotorblatts (1) untereinander verbinden, gebildet.

Erfindungsgemäß wird das Hohlprofil (2) durch in Längsrichtung voneinander beabstandete Querschotte (21), die allseitig biegesteif mit den inneren Wandungen des Kastenquerschnitts (20) verbunden sind, so ausgesteift, dass zwischen jeweils zwei Querschotten (21) eine biege-, schub- und torsionssteife Zelle (22) gebildet wird, die als Einzelelement eine lokale Aussteifung und als Regelelement eine globale Aussteifung des Rotorblatts (1) bewirkt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse, bestehend aus einem aerodynamisch geformten Schalenkörper mit Flügelprofilquerschnitt, der eine innere Versteifungsstruktur aufweist.

### Stand der Technik

**[0002]** Dreiflügelige Windturbinen mit Rotorblättern, die aus glasfaser- und bereichsweise auch aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen hergestellt werden sind effiziente Anlagen zur Umwandlung der im Wind enthaltenen kinetischen Energie in eine Rotationsbewegung. Einseitig am Rotorkopf, drehbar gelagert ist ein Rotorblatt unter den wechselnden Betriebsbedingungen einer Windkraftanlage extremen Belastungen ausgesetzt, die sich limitierend sowohl auf seine Größe, als auch auf seine Betriebsdauer auswirken. Jeder Windstoß beansprucht die umlaufenden Rotorblätter mehrfach, sodass bei einer angenommenen Anzahl von einer Milliarde Last wechsel die Auswechslung eines Rotorblatts in der Regel nach 20 Jahren erforderlich wird. Diese hohen mechanischen Belastungen können an der Rotorblattoberfläche zu Spannungsrissen führen, in die Wasser eindringen kann. Weil glasfaserverstärkter Kunststoff Wasser aufnehmen kann und dabei quillt, wird das strukturelle Gefüge eines Rotorblatts allmählich zerstört. Die strukturelle Obergrenze eines aus Kunststoffverbundwerkstoffen hergestellten Rotorblatts liegt heute bei etwa 70 m Länge. Transport und Montage stellen einen weiteren Problemkreis für ein derart großes Fertigteil dar. Üblicherweise wird ein Rotorblatt aus zwei in Hohlformen laminierten Halbschalen, die untereinander verklebt werden, hergestellt. Mit einem Vakuumverfahren kann ein Schalenkörper mit Flügelprofil in einem Stück hergestellt werden. Ein formgebender Stützkörper dient dabei als Lehre und wird nach dem Laminieren unter Vakuum wieder entfernt. Dieses Herstellungsverfahren bietet den Vorteil nahtloser Oberflächen an einem Rotorblatt. Aus dem Anwendungsbereich der Luft- und Raumfahrt sind stabförmige Strukturelemente aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) bekannt, die als Leichtbauelemente eine Massenreduktion schnell bewegter Teile einer Konstruktion ermöglichen. Die Firma Schütze GmbH in Braunschweig stellt derartige Faserverbund-Strukturelemente her. Integrierte Piezo-Aktuatoren ermöglichen die aktive Verformungsbegrenzung einer Tragstruktur.

**[0003]** In der DE 203 20 714 U1 ist ein Rotorblatt dargestellt, dessen Längsversteifung einen Hohlkastenquerschnitt aufweist. Gurtungen im Bereich der einander gegenüber liegenden Oberflächen des Flügelprofils werden dabei mit Z-förmigen Stegen verbunden. Aussteifende Querschotte sind bei diesem Rotorblatt nicht vorgesehen.

**[0004]** Die DE 10 2005 061 679 B3 offenbart ein Blitzschutzsystem für das Rotorblatt einer Windkraftanlage. Dieses Blitzschutzsystem erstreckt sich von der Blattspitze bis zur Blattwurzel und umfasst eine Halteleine mit einem Federelement. Bei einem Bruch des Rotorblatts hält die Halteleine die Bruchstücke zurück. In der DE 29 21 152 C2 ist ein Rotorblatt für Windkraftanlagen beschrieben, das aus einzelnen Rotorblattabschnitten zusammengesetzt ist, die durch in Blattlängsrichtung angeordnete Spannelemente miteinander verspannt werden. Diese Spannelemente sind in einen zweischaligen Wandaufbau des Flügelprofils integriert und werden in Führungsrohren geführt. Nachteilig an dieser Lösung für ein vorgespanntes Rotorblatt ist die Tatsache, dass eine Vielzahl von Spanngliedern erforderlich ist, um das Rotorblatt vorzuspannen und dass heftige Bewegungen zwischen den Spanngliedern und den Führungsrohren die Betriebsdauer der Konstruktion limitieren.

**[0005]** In der DE 2007 036 917 A1 wird ein Rotorblatt für Windkraftanlagen vorgestellt, bei dem ein aussteifendes Hohlprofil vorgesehen ist, dessen Wandungen eine Vielzahl von Spannritzen aufnimmt. Die Spannglieder sind jeweils in Führungsrohren angeordnet und erstrecken sich von der Blattwurzel bis zur Rotorblattspitze. Eine Anpassung der Vorspannkräfte an den sich verjüngenden Blattquerschnitt ist bei dieser Anordnung nicht möglich.

### Aufgabenstellung

**[0006]** Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik ist es die Aufgabe der Erfindung, ein strukturelles System vorzuschlagen, das die Biege- und Torsionssteifigkeit, sowie das elastische Verhalten einer Rotorblattkonstruktion als lokal wirksame Maßnahme und als globale Maßnahme verbessert. Ein erfindungsgemäß ausgesteiftes Rotorblatt ermöglicht nicht nur die Konstruktion von sehr großen Rotorblättern, sondern führt zu einem höheren aerodynamischen Wirkungsgrad, indem die aus dem Wind aufgenommene Energie möglichst vollständig in ein erhöhtes Drehmoment umgesetzt wird.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst. Weitere vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung werden im Folgenden erläutert und gehen auch aus den Unteransprüchen hervor.

#### Aussteifung

**[0008]** Ein erfindungsgemäßes Rotorblatt wird durch Querschotte ausgesteift. Querschotte, die wie bei einem Bambusrohr in regelmäßigen Abständen angeordnet sind, bilden untereinander biege-, schub- und torsionssteife Zellen, die bei Windbeanspruchung eine regelmäßige Kraftzerlegung zwischen den beiden Gurten eines Rotorblatts ermöglichen, wobei alle Wandungen einer Zelle einschließlich der Querschotte selbst einer Biege-Zug-, bzw. Biege-Druck-Beanspruchung unterworfen werden. Die Querschotte erhöhen auch die Torsionssteifigkeit des Rotorblatts.

**[0009]** Dementsprechend kann eine erfindungsgemäße Zelle an besonders beanspruchten Längsabschnitten eines Rotorblatts als Einzelelement gezielt zur lokalen Verstärkung eingesetzt werden. Von besonderem Vorteil ist die regelmäßige Anordnung der Querschotte über die gesamte Länge des Hohlprofils. Ihr Abstand kann auf die unterschiedliche Beanspruchung in den Längenabschnitten eines Rotorblatts abgestimmt werden. Dabei gilt, dass ein kleinerer Abstand der Querschotte eine höhere Steifigkeit bewirkt, wobei die Querschotte die Funktion von Beulsteifen übernehmen. Die Wandungen des Hohlkastens werden zu Schubfeldern und können durch überkreuz diagonal angeordnete Glasfaserlagen gezielt an die Aussteifungsstruktur angepasst werden. Die Querschotte selbst werden aus glasfaser- oder kohlefaserverstärktem Kunststoff hergestellt und haben erweiterte Anschlussflächen für die Herstellung einer biegesteifen Klebeverbindung mit den inneren Wandungen des Kastenquerschnitts. Vouten, Rippen und Stege können dabei die Querschotte verstärken. Jeweils zwei voneinander beabstandete Querschotte bilden eine Zelle, die aussteifende Füllelemente aufnehmen kann. Die Füllelemente können aus Seilen, Stäben, Flächen oder aus einem Schaumkörper bestehen, der allseitig kraftschlüssig mit den Wandungen einer Zelle verbunden ist.

**[0010]** Eine dem Konstruieren mit faserverstärkten Kunststoffen entsprechende Möglichkeit zur Aussteifung einer Zelle besteht in der Anordnung von Flächen als Füllelemente. Dabei kann eine Fläche als zusätzliches Längsschott ausgebildet sein oder in der Art einer Fachwerkkonstruktion jeweils die Gurtungen an der Saug- und Druckseite des Rotorblatts verbinden. Bei einer ultraleichten Rotorblattkonstruktion werden die luftdichte Zellen mit einem Überdruck beaufschlagt, um die Steifigkeit des Rotorblatts zu erhöhen.

#### Vorspannung

**[0011]** Seile, Stäbe und Flächen sind Füllelemente, mit denen ein Rotorblatt abschnittsweise in Längsrichtung vorgespannt werden kann. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung wird vorgeschlagen, eine Zelle durch Zugglieder, die als Raumdiagonalen die acht Ecken der Zelle untereinander verbindet, zu verspannen. Dabei ist am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ein Spannschloss vorgesehen, mit dem alle Zugglieder gleichzeitig vorgespannt werden können. Minimale, verschließbare Öffnungen in dem Flügelprofil reichen aus, um ein quer zur Blattlängsrichtung angeordnetes Spannschloss zu betätigen. Mit einem Momentenschlüssel kann die Vorspannkraft in einer Zelle auch zu Revisionszwecken kontrolliert werden.

**[0012]** Die diagonale Vorspannung einer Zelle bewirkt nicht nur eine fachwerkartige Kraftzerlegung zwischen den Gurtungen und Stegen, sondern hat auch eine resultierende Vorspannung der Wandungen des Hohlprofils zur Folge. Endbeschläge an den Zuggliedern, wie z. B. Gabelköpfe oder Gewindehülsen, unterbrechen die Vorspannkraft an den Knotenpunkten mit den Querschotten. Von besonderem Vorteil ist jedoch die Durchführung der Seile als Diagonalenzug, der sich über mehrere Zellen erstreckt. In diesem Fall tragen die Seile Hülsen mit integrierten Seilumlenkflächen, sodass am Knotenpunkt mit den Querschotten nur Differenzkräfte übertragen werden müssen. Rundlitzenseile mit einem niedrigen E-Modul können sich elastisch längen und entfalten dabei als diagonale Spannglieder eine rückstellende Wirkung. Alternativ zu elastisch verformbaren Seilen können Teller- oder Spiralfedern im Zusammenwirken mit dem Spannschloss eine konstante Vorspannkraft, auch bei extremer Verformung des Rotorblatts, sicherstellen.

**[0013]** Anstelle von Stahl- oder Kunststoffseilen kann eine Zelle auch durch Kohlefaserstäbe vorgespannt werden, wobei am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ein Elastomerlager vorgesehen ist. Eine weitere Möglichkeit zur Vorspannung des Rotorblatts ist ein Seil, das das Rotorblatt im Inneren des Hohlkastens von der Blattspitze bis zur Blattwurzel durchquert und dabei z. B. in drei Spannabschnitte untergliedert ist, wobei die Vorspannkraft zur Blattwurzel hin abschnittsweise zunimmt. Als Krafteinleitungspunkte dienen in diesem Fall jeweils Zellen, in denen ein trichterförmiger Schalenkörper das zentrisch im Hohlprofil geführte Seil aufnimmt. Tellerfedern, die zwischen einer Hülse und einem trichterförmigen Schalenkörper angeordnet sind, halten in

jedem Betriebszustand die Vorspannung des Seils konstant. Ein derartiges Spannseil durchquert mehrere Zellen und ist über Elastomerlager mit den Querschotten verbunden. Eine trichterförmige Schale an der Rotorblattwurzel nimmt die maximale Vorspannkraft im ersten Spannabschnitt auf.

**[0014]** Das Vorspannen eines Rotorblatts ermöglicht auch die Elementierung des Schalenkörpers in zwei oder mehrere Segmente, die ineinander gesteckt und verklebt werden können. Hier gewährleistet das Überdrücken des Schalenkörpers die Stabilität der Stoßfugen zwischen den Blattsegmenten. Seile, Stäbe und Schalen können mit Piezo-Aktuatoren ausgerüstet werden, um eine sensorgesteuerte, aktive Verformungskontrolle zu ermöglichen.

#### Herstellung

**[0015]** Bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen Rotorblatts ist von Bedeutung, in welcher Reihenfolge die Wandungen des Kastenquerschnitts mit dem Schalenkörper des Flügelprofils verbunden werden. Dazu wird vorgeschlagen, zunächst die Stege mit den Querschotten kraftschlüssig zu verbinden, sodass ein formgebendes, steifes, an zwei Seiten offenes Hohlprofil gebildet wird, das anschließend mit den beiden Hälften des Flügelprofils, die jeweils durch Gurtungen verstärkt sind, verbunden wird. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, den Kastenquerschnitt als Ganzes einschließlich der Gurtungen, Stege und Querschotte und ggf. auch der Füllelemente vorzufertigen und in ein einstückig hergestelltes Flügelprofil einzuführen und mit diesem zu verkleben. Bei einem vorgespannten Rotorblatt können die Vorspannkraft während des Zusammenbaus von einem Montagerahmen, der innerhalb oder außerhalb des Kastenquerschnitts ansetzt, temporär aufgenommen werden.

**[0016]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der beigefügten Zeichnungen.

**[0017]** Es zeigen:

**[0018]** Fig. 1 den Längenschnitt eines Rotorblatts mit einer aussteifenden Zelle in schematischer isometrischer Darstellung

**[0019]** Fig. 2 ein aus Segmenten zusammengesetztes Rotorblatt mit aussteifenden Zellen im schematischen Längsschnitt

**[0020]** Fig. 3 den Längenschnitt eines mittels von Seilen vorgespannten Rotorblatts in perspektivischer Darstellung

**[0021]** Fig. 4 ein Rotorblatt nach Fig. 3 mit einzelnen Spannabschnitten im schematischen Längsschnitt

**[0022]** Fig. 5 das Spannschloss eines Rotorblatts nach den Fig. 3 und Fig. 4 in der isometrischen Übersicht

**[0023]** Fig. 6 den Längenschnitt eines mittels von Stäben vorgespannten Rotorblatts in isometrischer Darstellung

**[0024]** Fig. 7 ein Rotorblatt nach Fig. 6 mit einzelnen Spannabschnitten im schematischen Längsschnitt

**[0025]** Fig. 8 eine Zelle zur Aufnahme eines zentrisch angeordneten Spannseils in der isometrischen Übersicht

**[0026]** Fig. 9 ein Rotorblatt nach Fig. 8 mit einem über mehrere Zellen sich erstreckenden Spannabschnitt im schematischen Längsschnitt

**[0027]** Fig. 1 zeigt eine Zelle **22** in einem Längenschnitt eines Rotorblatts **1**. Das Rotorblatts **1** besteht aus einem Schalenkörper mit Flügelprofil **10**, dessen von der Profilhöhle **s** beabstandeten Druck- und Saugseiten **100**, **101** jeweils durch Gurtungen **200**, **201** verstärkt sind. Zwei U-förmige Stege **202**, **203** bilden zusammen mit den Gurtungen **200**, **201** ein Hohlprofil **2** mit Kastenquerschnitt **20**. Zwei mit einem Längsabstand zueinander angeordnete Querschotte **21** sind allseitig und biegesteif mit den inneren Wandungen des Kastenquerschnitts **20** verbunden und bilden die Zelle **22**. Die Zelle **22** als Einzelelement oder als Regelelement zur Aussteifung eines Rotorblatts **1** ermöglicht eine Kraftzerlegung in der Art eines Vierendeel-Trägers sowohl zwischen den einander gegenüber liegenden Gurtungen **200**, **201** als auch zwischen den Stegen **202**, **203**. Die Querschotte

**21** wirken dabei als Beulsteifen an den Wandungen des Kastenquerschnitts **20** und erhöhen die Torsionssteifigkeit des Rotorblatts erheblich.

**[0028]** **Fig. 2** zeigt ein durch Zellen **22** ausgesteiftes Rotorblatt **1** nach **Fig. 1** im Übersichtsschnitt entlang der Profilschne s. Das Hohlprofil **2** verjüngt sich von der Blattwurzel **11** bis zur Rotorblattspitze **13** und ist regelmäßig durch Querschotte **21** ausgesteift. Drei Rotorblattsegmente **12** werden als Fertigteile am Einbauort zusammengefügt. An den Verbindungsstellen ermöglichen Füllelemente **3** als Diagonalezüge **300** die räumliche Verspannung der Zellen **22**. Die daraus resultierende Vorspannung in dem Hohlprofil **2** wird an der Nahtstelle der Rotorblattsegmente **12** zur Sicherung einer nicht näher dargestellten, formschlüssigen Klebe-Steck-Verbindung genutzt. Als Regelelement zur Aussteifung des Hohlprofils **2** erhöhen die Querschotte **21** die Biege-, Schub- und Torsionssteifigkeit des Rotorblatts **1** als Ganzes, sowohl in Schlagrichtung  $r$  des Rotorblatts **1** als vor allem auch in Windrichtung quer zur Schlagrichtung  $r$ .

**[0029]** **Fig. 3** zeigt den Längenschnitt eines Rotorblatts **1** mit zwei erfindungsgemäßen Zellen **22**, die von drei mit einem Abstand zueinander angeordneten Querschotten **21** gebildet werden. Die Querschotte **21** steifen das Hohlprofil **2** mit Kastenquerschnitt **20** aus, wobei sie über einen verstärkten Rand mit den Gurtungen **200**, **201** und den U-förmigen Stegen **202**, **203** allseitig verbunden sind. Analog zu einem Fachwerkträger, bei dem Ober- und Untergurt durch Füllstäbe untereinander verbunden sind, dienen hier Füllelemente **3**, die als Seile **30** ausgebildet sind, der räumlichen Verspannung der Zellen **22**. Durch die Vorspannung der vier, jeweils als Diagonalezug **300** über mehrere Zellen **22** durchlaufenden Seile **30** mittels eines Spannschlusses **302** am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen wird das Rotorblatt **1** in Längsrichtung vorgespannt. Kraftschlüssig mit den Seilen **30** verbundene Hülsen **301** mit integrierten Seilumlenkflächen werden dabei abwechselnd in den verstärkten Ecken der Querschotte **21** und in den Lagerschalen des Spannschlusses **302** verankert. Bei einer Biegebeanspruchung durch Wind wird deshalb auf der Windangriffsseite **100** erst die in das Flügelprofil **10** eingetragene Druckkraft aufgezehrt, bevor eine Zugbeanspruchung in der Gurtung **200** auftritt. Wie in **Fig. 4** dargestellt, definiert dabei eine Zelle **22** einen Spannschnitt **3.1–3.n**, sodass die Vorspannkraft abschnittsweise an die jeweilige Beanspruchung des Längenschnitts eines Rotorblatts **1** angepasst werden kann.

**[0030]** **Fig. 4** zeigt ein Rotorblatt **1** nach **Fig. 3** im schematischen Längsschnitt entlang der Profilschne s. Das sich von der Blattwurzel **11** bis zur Blattspitze **13** verjüngende Hohlprofil **2** ist durch Querschotte **21** in eine Anzahl von Zellen **22** unterteilt. Wie in **Fig. 3** dargestellt, bilden die Querschotte **21** jeweils das Widerlager für Seile **30**, die in einem Diagonalezug **300** jeweils über mehrere Zellen durchlaufen. Ein Diagonalezug **300** mit einem Rundlitzenseil **30** mit einem Durchmesser von 12 mm erstreckt sich dabei z. B. über die Spannschnitte **3.1–3.4**. In den Spannschnitten **3.5–3.9** wird eine geringere Vorspannkraft benötigt, wobei der Seildurchmesser des Diagonalezugs **300** z. B. auf 8 mm reduziert werden kann. Wie in **Fig. 3** dargestellt, befindet sich am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ein Spannschloss **302**, mit dem alle vier Diagonalezüge **300** innerhalb einer Zelle **22** vorgespannt werden. Bei dem gezeigten Beispiel ist sichergestellt, dass die maximal beanspruchten Teile des Rotorblatts **1** durch die Seile **30** zusätzlich ausgesteift werden. Eine Erweiterung des Systems über die gesamte Rotorblattlänge ist ohne weiteres möglich.

**[0031]** **Fig. 5** zeigt ein Spannschloss **302** am Kreuzungspunkt der von Seilen **30** gebildeten Raumdiagonalen einer Zelle **22** entsprechend dem in den **Fig. 3** und **Fig. 4** erläuterten Ausführungsbeispiel. Das Spannschloss **302** besteht aus zwei Lagerschalen **303**, in die Presshülsen **301** mit integrierten Seilumlenkflächen formschlüssig eingelegt werden. Mittels einer Spannhülse **304** werden vier Diagonalezüge **300** gleichzeitig vorgespannt. Nicht näher dargestellte Feder-elemente auf der Achse der Spannschraube können eine konstante Vorspannkraft in den Seilen **30** auch bei extremen Verformungen eines Rotorblatts sicherstellen. Als aktive Maßnahme zur Verformungskontrolle wird vorgeschlagen, einzelne Seile **30** mit einem Piezo-Aktuator **35** auszurüsten, der durch Anlegen einer elektrischen Spannung seine Länge ändern kann.

**[0032]** **Fig. 6** zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Füllelemente **3** aus druck- und zugsteifen Stäben **31** bestehen, die als Raum diagonalen eine Zelle **22** aussteifen. Am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ist ein Spannschloss **302** vorgesehen, bei dem eine nicht näher dargestellte, in Blattlängsrichtung ausgerichtete Spannschraube mit einem Elastomerlager **33** zusammenwirkt. Während die Querschotte **21** ein starres Widerlager für die Stäbe **31** bilden, ermöglicht das Elastomerlager **33** eine Verformung des Rotorblatts **1** ohne dabei übermäßige Druckspannungen auf die Stäbe **31** zu übertragen. Leichte, hochbelastbare CFK-Stäbe **31** mit einem stützenden Schaumkern eignen sich besonders gut zur Aussteifung einer Zelle **22**. Im Zusammenwirken mit dem zentralen Spannschloss **302** kann das gesamte Rotorblatt **1** in Längsrichtung vorgespannt werden, sodass bei Windbeanspruchung in den Gurtungen **200**, **201**, in den Stegen **202**, **203** und in dem umgebenden Schalenkörper mit Flügelprofil **10** zuerst Druckspannungen abgebaut werden müssen, bevor das Faserverbundmaterial auf Zug beansprucht wird.

**[0033]** Fig. 7 zeigt das in Fig. 6 als Längsabschnitt dargestellte Rotorblatt 1 im Übersichtsschnitt entlang der Profilversehnung s. In der unteren Blatthälfte sind sechs Spannabschnitte 3.1–3.6 dargestellt, die der Aussteifung und der abschnittswisen Vorspannung der Zellen 22 dienen. In der oberen Blatthälfte wird das sich von der Blattwurzel 11 bis zur Blattspitze 13 verjüngende Hohlprofil 2 mit Kastenquerschnitt 20 durch Querschotte 21 ausgesteift. Der schematische Längsschnitt stellt nur eine mögliche Anordnung der Zellen 22 und der Füllelemente 3 dar. Gegebenenfalls kann das Rotorblatt 1 von der Blattwurzel 11 bis zur Blattspitze 13 durch die Füllelemente 3 vorgespannt werden.

**[0034]** Fig. 8 zeigt das Widerlager für ein Seil 30, mit dem ein Rotorblatt 1 in Längsrichtung vorgespannt wird. Das Widerlager besteht aus einer Zelle 22, die durch einen pyramidenförmigen Schalenkörper 32 aus GFK ausgesteift wird. Der Schalenkörper 32 ist an beiden Enden kraftschlüssig mit den Querschotten 21 verbunden, sodass die Vorspannkraft aus dem Seil 30 in die Gurtungen 200, 201 und die Stege 202, 203, sowie in den umgebenden Schalenkörper mit Flügelprofil 10 eingetragen werden können. Die Endverbindung des Seils 30 besteht aus einer Hülse 301, die über Tellerfedern 330 in dem Schalenkörper 32 gelagert ist. Wie in Fig. 9 dargestellt, erstreckt sich das Seil 30 über mehrere Zellen 22, wobei es jeweils an den Querschotten 21 über ein Elastomerlager 34 elastisch gelagert ist.

**[0035]** Fig. 9 zeigt ein abschnittsweise vorgespanntes Rotorblatt 1, bei dem acht Zellen 22 im unteren Blattabschnitt zu einem Spannabschnitt 3.1 zusammengefasst sind. Das in Fig. 8 mit seinem oberen Widerlager dargestellte Seil 30 ist innerhalb des Hohlprofils 2 mit Kastenquerschnitt 20 angeordnet und durchquert mehrere Zellen 22, wobei jeweils an den Querschotten 21 Elastomerlager 34 vorgesehen sind. An der Rotorblattwurzel 11 dient ein trichterförmiger Schalenkörper 32 zur Einleitung der Vorspannkraft in das Hohlprofil 2. Auch hier stellen Tellerfedern 330 eine gleichbleibende Vorspannkraft in dem Seil 30 unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen des Rotorblatts 1 sicher.

#### Bezugszeichenübersicht

Rotorblatt	1
Flügelprofil	10
Druckseite	100
Saugseite	101
Blattwurzel	11
Blattsegment	12
Blattspitze	13
Profilversehnung	s
Schlagrichtung	r
Hohlprofil	2
Kastenquerschnitt	20
Gurtungen	200, 201
Stege	202, 203
Querschott	21
Zelle	22
Füllelement	3
Seil	30
Diagonaleanzug	300
Hülse	301
Spannschloss	302
Lagerschale	303
Spannhülse	304
Stab	31

Schalenkörper	<b>32</b>
Federelement	<b>33</b>
Tellerfeder	<b>330</b>
Elastomerlager	<b>34</b>
Piezo-Aktuator	<b>35</b>
Spannabschnitt	<b>3.1–3.n</b>

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 20320714 U1 [0003]
- DE 102005061679 B3 [0004]
- DE 2921152 C2 [0004]
- DE 2007036917 A1 [0005]

## Patentansprüche

1. Rotorblatt (1) für eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse, bei dem ein aerodynamisch geformter Schalenkörper mit Flügelprofil (10) jeweils im Bereich der maximalen Profildicke durch ein Hohlprofil (2) mit Kastenquerschnitt (20) der Länge nach ausgesteift wird, wobei der Kastenquerschnitt (20) von Gurtungen (200, 201), die jeweils mit einem Abstand zur Profelsehne (s) des Flügelprofils (10) den Schalenkörper auf der Druck- und Saugseite (100, 101) verstärken und von Stegen (202, 203), die die beiden Gurtungen (100, 101) quer zur Schlagrichtung (r) des Rotorblatts (1) untereinander verbinden, gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hohlprofil (2) durch in Längsrichtung voneinander beabstandete Querschotte (21), die allseitig biegesteif mit den inneren Wandungen des Kastenquerschnitts (20) verbunden sind, ausgesteift wird, sodass zwischen jeweils zwei Querschotten (21) eine biege-, schub- und torsionssteife Zelle (22) gebildet wird, die als Einzelelement eine lokale Aussteifung und als Regelelement eine globale Aussteifung des Rotorblatts (1) bewirkt.
2. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschotte (21) aus faserverstärktem Kunststoff bestehen, einen umlaufend erweiterten Rand besitzen und mit den inneren Wandungen des Kastenquerschnitts (20) allseitig kraftschlüssig verbunden werden.
3. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege (202, 203) aus faserverstärktem Kunststoff bestehen und einen U-förmigen Querschnitt aufweisen, wobei die Schenkel der U-Profile jeweils innerhalb oder außerhalb des Kastenquerschnitts (20) angeordnet sind.
4. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Zelle (22) aussteifende Füllelemente (3) aufnimmt, wobei die Querschotte (21) ein Widerlager für die Füllelemente (3) bilden.
5. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Füllelemente (3) als Seile (30), als Stäbe (31) oder als Schalen (32) ausgebildet sind und eine Vorspannung des Rotorblatts (1) in Längsrichtung ermöglichen.
6. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorspannung des Rotorblatts (1) abschnittsweise erfolgt, wobei ein Spannabschnitt (3.1–3.n) mindestens eine Zelle (22) umfasst.
7. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vorspannung des Rotorblatts (1) mehrere Spannabschnitte (3.1–3.n) vorgesehen sind und die Vorspannkraft von einem Spannabschnitt zum nächsten (z. B. 3.1–3.2) zunimmt, wobei die maximale Vorspannkraft an der Rotorblattwurzel (11) wirksam ist.
8. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Zelle (22) mit vier Seilen (30) als Raumdiagonalen verspannt wird.
9. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am Kreuzungspunkt der Raumdiagonalen ein zentrales Spannschloss (302) mit Spannhülse (304) zur Vorspannung der Seile (30) vorgesehen ist.
10. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Diagonalenzug (300) über mehrere Zellen (22) durchläuft und Seilhülsen (301) mit integrierten Seilumlenflächen trägt, die jeweils kraftschlüssig mit den Querschotten (21) und dem Spannschloss (302) verbunden werden.
11. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Seil (30) als Diagonalenzug (300) einen niedrigen E-Modul aufweist und als rückstellendes Federelement das Verformungsverhalten des Rotorblatts (1) günstig beeinflusst.
12. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine konstante Vorspannkraft innerhalb eines Spannabschnitts (3.1–3.n) durch Federelemente (33), die als Tellerfedern (310) oder als Spiralfedern ausgebildet sind, sichergestellt wird.
13. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Zelle (22) durch überkreuz angeordnete diagonale CFK-Stäbe (31), die die Druckseite (100) mit der Saugseite (101) des Flügelprofils (10) verbinden, fachwerkartig ausgesteift wird.

14. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Füllelement (3) mit einem Piezo-Aktuator (35) ausgerüstet ist, der eine gezielte Längenänderung einzelner Füllelemente (3) ermöglicht.

15. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein in Blattlängsrichtung über mehrere Zellen (22) durchlaufendes Seil (30) vorgesehen ist, bei dem jeweils an den Endpunkten trichterförmige Schalen (32) die Vorspannkraft in das Hohlprofil (2) einleiten und Elastomerlager (34) am Kreuzungspunkt mit den Querschotten (21) elastische Zwischenlager des Seils (30) bilden.

16. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Flügelprofil (10) aus mehreren Segmenten (12) zusammengesetzt ist, wobei an den Querstößen für die Montage am Einbauort Klebeverbindungen vorgesehen sind.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

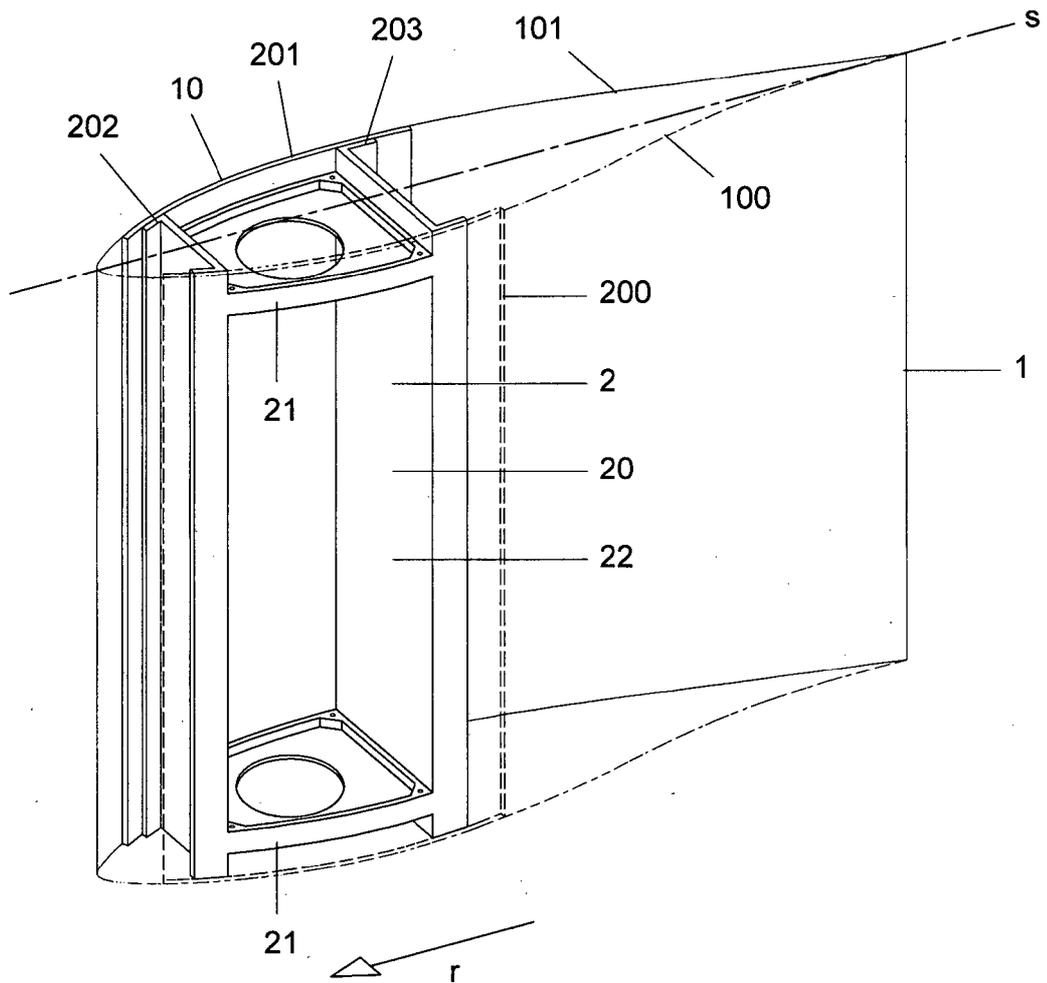


FIG. 1

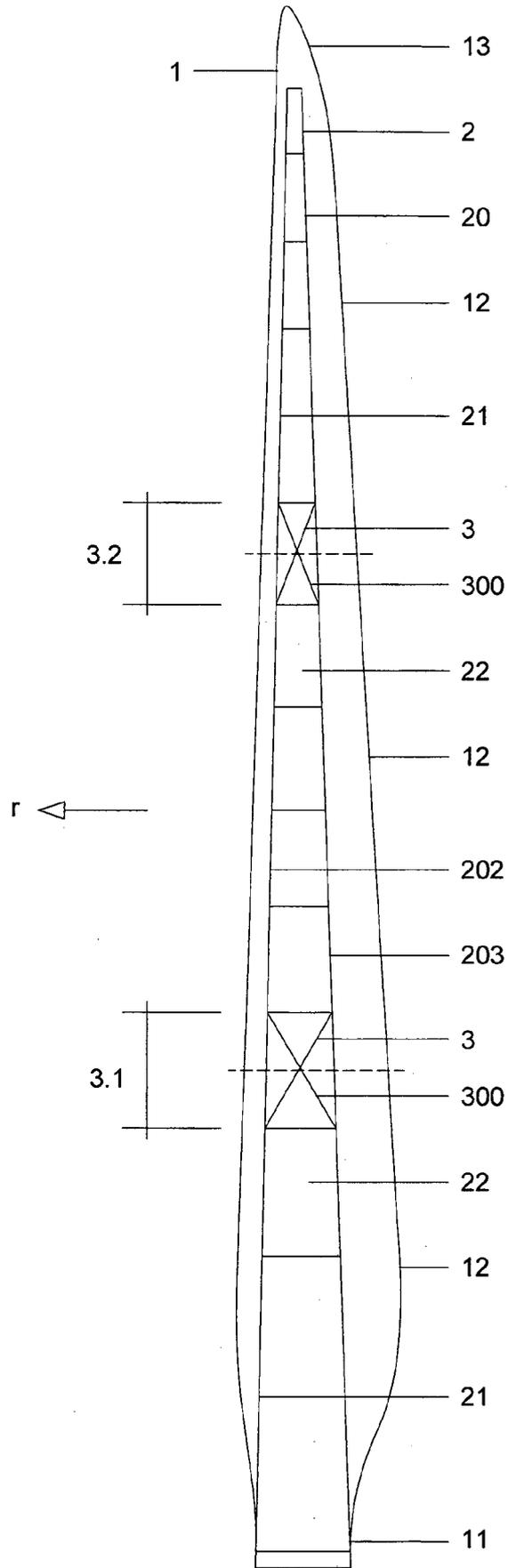


FIG. 2



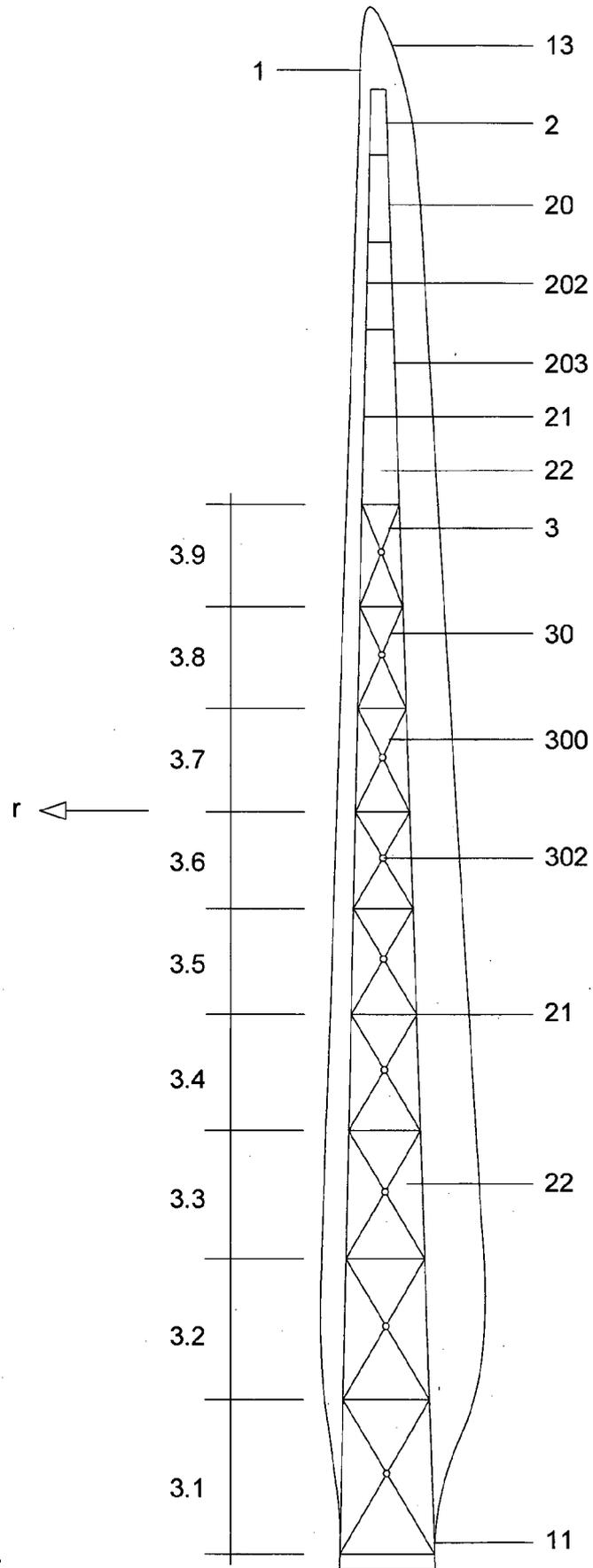


FIG. 4

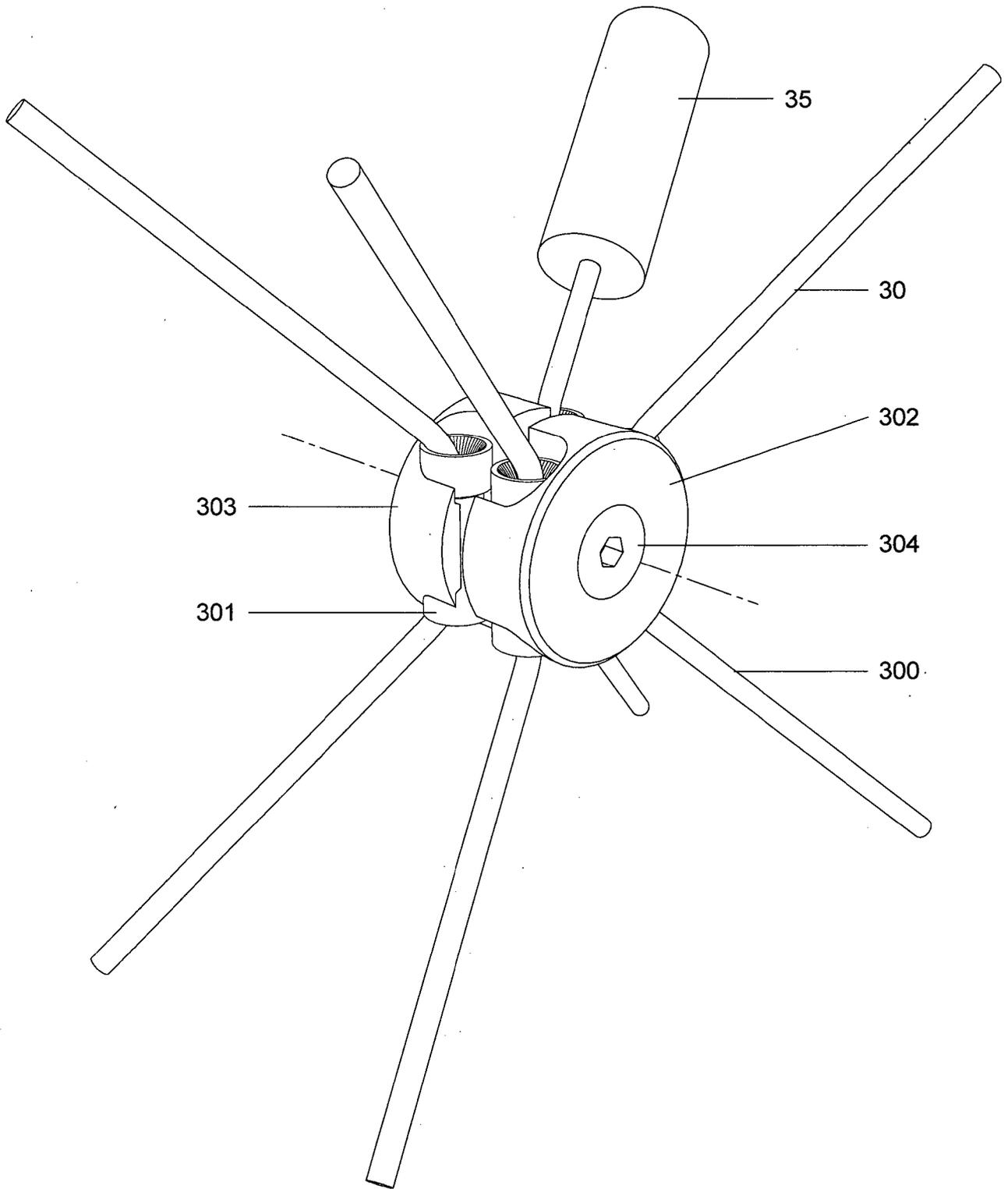


FIG. 5

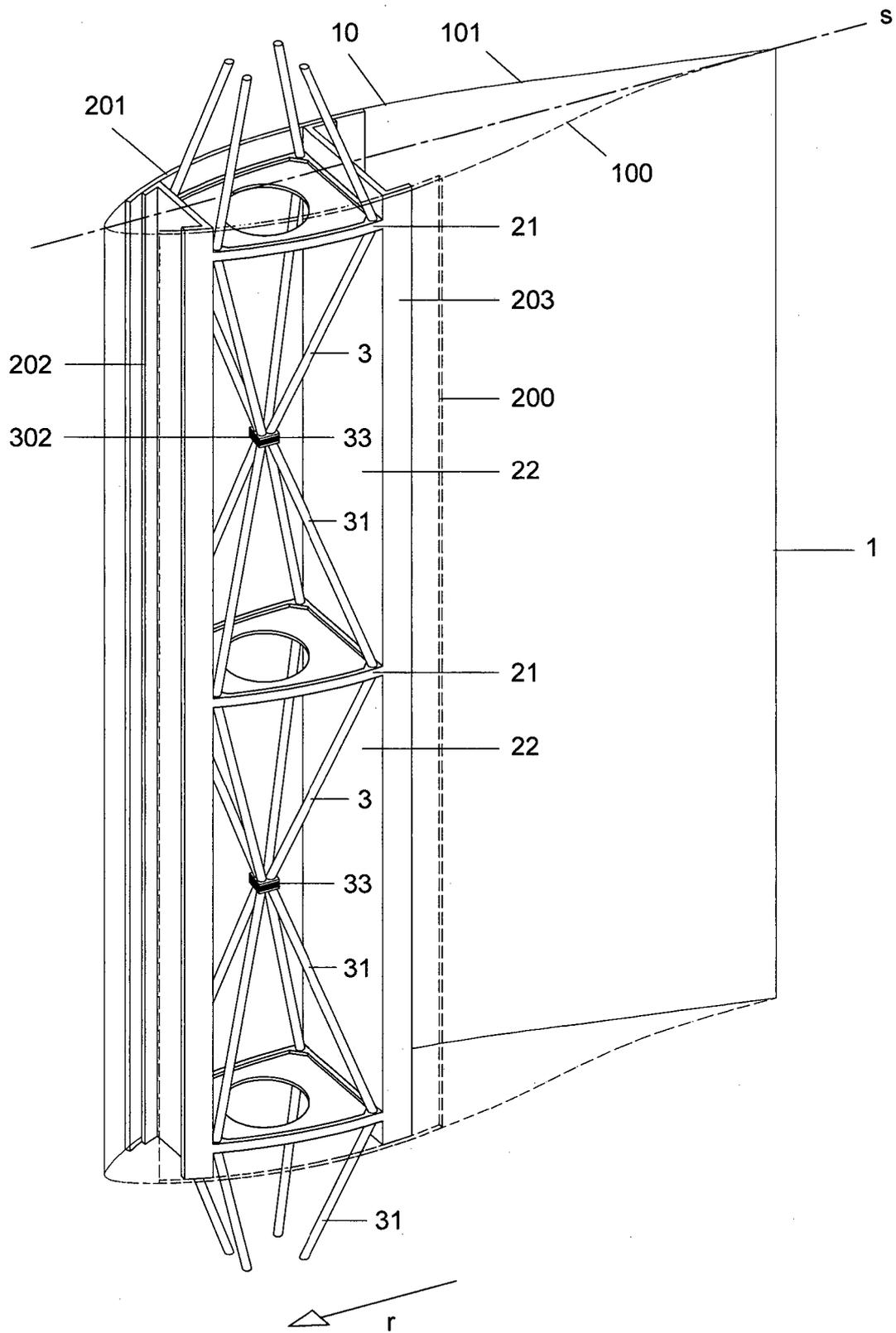


FIG. 6



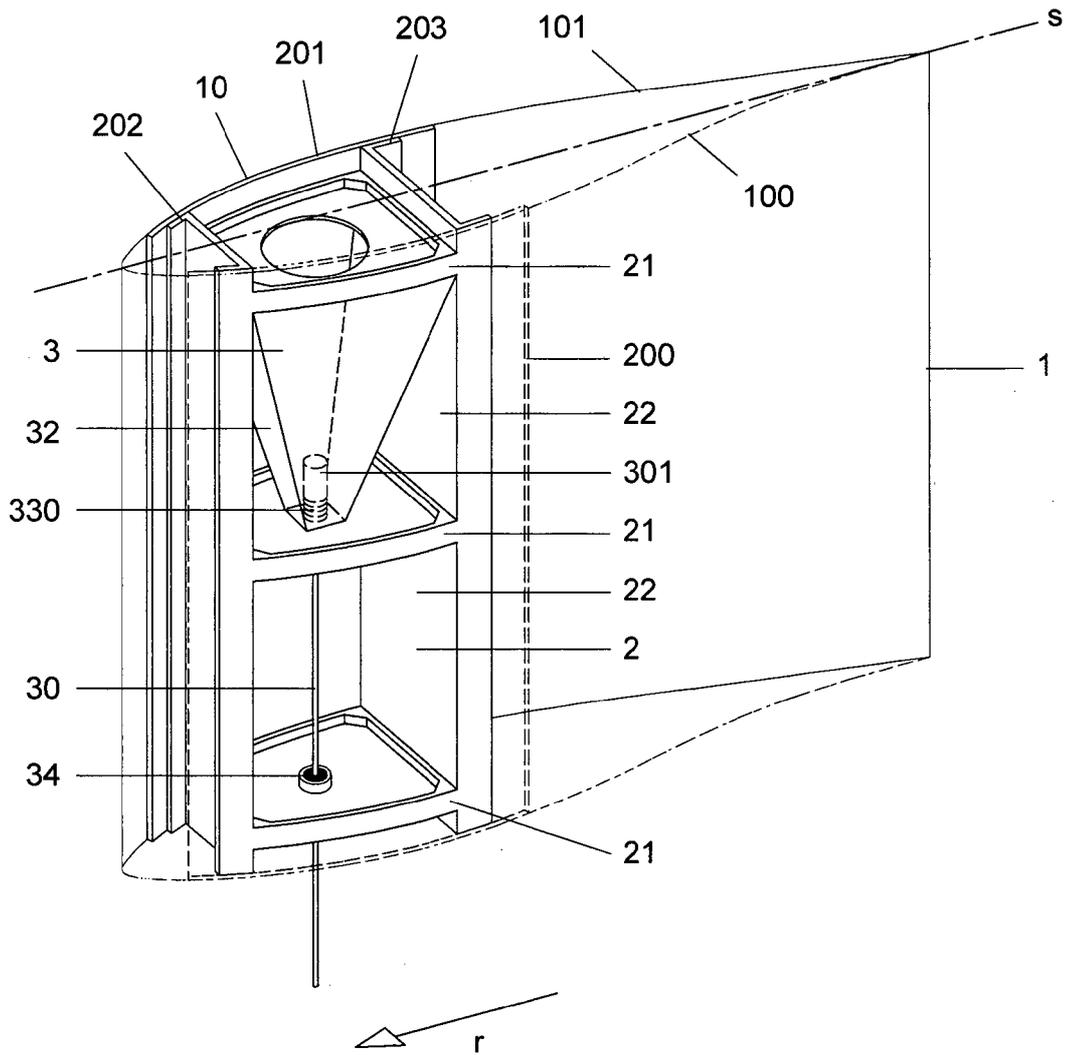


FIG. 8

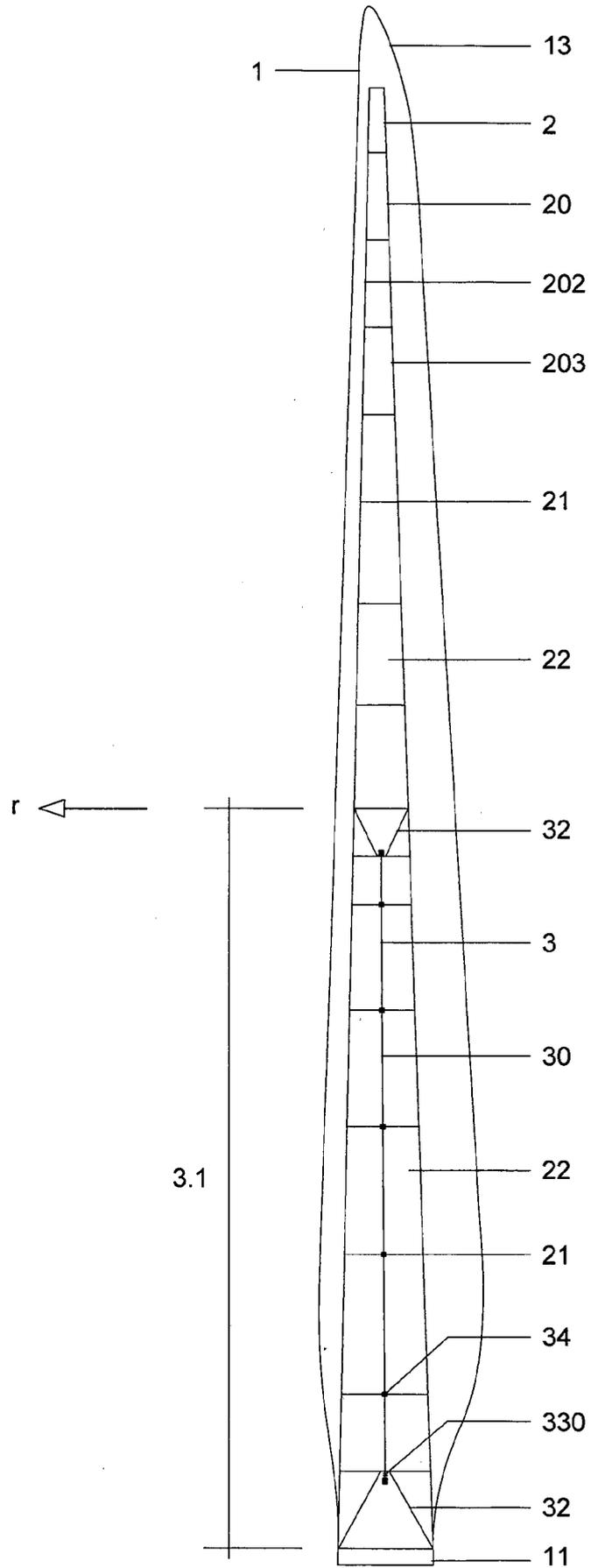


FIG. 9