

Beschreibung

HINTERGRUND

[0001] Der hierin beschriebene Gegenstand bezieht sich im Allgemeinen auf Verfahren und Systeme zum Aufbauen von Rotorblättern und Windturbinen, und insbesondere auf Verfahren und Systemen zum Aufbauen von modularen Rotorblättern und Windturbinen mit modularen Rotorblättern.

[0002] Zumindest einige bekannte Windturbinen umfassen einen Turm und eine Gondel, die auf den Turm befestigt ist. Ein Rotor ist drehbar an der Gondel befestigt und über eine Welle mit einem Generator verbunden. Eine Vielzahl von Blättern erstrecken sich von dem Rotor. Die Blätter sind derart orientiert, dass der Wind, der über die Blätter streicht, den Rotor dreht und die Welle zum Rotieren bringt, womit der Generator betrieben wird, um Elektrizität zu erzeugen.

[0003] Herkömmlicher Weise werden die Blätter in einer Fabrik vorgefertigt und werden zur Errichtungsstelle der Windturbine mittels Land-, Meer- oder Lufttransport transportiert. An der Stelle wird der Rotor typischer Weise am Grund zusammenmontiert, indem die Rotorblätter an der Rotornabe befestigt werden, und der zusammengebaute Rotor wird im Folgenden mit Hilfe von einem Kran an seine Position an der Nabe gehoben.

[0004] Während dieses Verfahrens können eine Anzahl von Schwierigkeiten auftreten, die manchmal an den Eigenschaften des Geländes an der Errichtungsstelle und darum herum liegen. Zum Beispiel müssen Windturbinen in Berggegenden oder an der Küste oft über schmale kurvige Straßen transportiert werden. Der Landtransport ist in diesen Fällen durch die Tatsache behindert, dass die Rotorblätter eine beachtliche Länge aufweisen, was die Möglichkeit eines Transportfahrzeugs, Kurven zu folgen, beschränkt.

[0005] Darüber hinaus kann der Platz an der Errichtungsstelle beschränkt sein, zum Beispiel in Berggegenden. Damit mag es kaum oder überhaupt nicht möglich sein, den Rotor am Grund zusammenzubauen, denn dafür wird ein ebener Platz in der Größe von mehr als einem Durchmesser des Rotors benötigt.

[0006] Daher ist es wünschenswert, Windturbinenrotorblätter, die während des Transportes weniger Platz benötigen, und ein Verfahren zum Zusammenfügen und Zusammenbauen eines Windturbinenrotors in einer Umgebung mit beschränktem Platz für das Zusammenfügenverfahren, zu haben.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0007] Gemäß einem Aspekt wird ein Rotorblatt für eine Windturbine zur Verfügung gestellt. Ein Rotorblatt für eine Windturbine umfasst mindestens zwei Segmente und wenigstens ein Kabel, wobei die wenigstens zwei Segmente ausgelegt sind, miteinander zusammengebaut zu werden, um das Rotorblatt zu bilden, und wobei das wenigstens eine Kabel ausgelegt ist, die wenigstens zwei Segmente zu befestigen, und wobei sich das wenigstens eine Kabel durch wenigstens einen Teil der Segmente erstreckt.

[0008] In einem zweiten Aspekt wird eine Windturbine zur Verfügung gestellt. Sie umfasst wenigstens ein Rotorblatt, wobei das Rotorblatt wenigstens zwei Segmente aufweist und wenigstens ein Kabel, wobei die wenigstens zwei Segmente ausgelegt sind, miteinander zusammengebaut zu werden, um das Rotorblatt zu bilden, und wobei das wenigstens eine Kabel ausgelegt ist, die wenigstens zwei Segmente zu befestigen, und wobei das wenigstens eine Kabel sich durch wenigstens einen Teil der Segmente erstreckt.

[0009] In einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Zusammenfügen eines Rotorblatts für eine Windturbine zur Verfügung gestellt. Das Verfahren umfasst zur Verfügung Stellen wenigstens zweier Segmente, zur Verfügung Stellen wenigstens eines Kabels, Befestigen wenigstens eines ersten Endes des wenigstens einen Kabels an wenigstens einem Segment, Spannen eines wenigstens einen zweiten Endes des Kabels, um die wenigstens zwei Segmente miteinander zu befestigen, und Befestigen des wenigstens einen zweiten Endes des wenigstens einen Kabels.

[0010] Die Erfindung richtet sich auch auf eine Vorrichtung zum Ausführen der offenbarten Verfahren und umfasst Vorrichtungsteile zum Ausführen jeder der beschriebenen Verfahrensschritte. Die Verfahrensschritte können mittels Hardwarekomponenten, einen durch entsprechende Software programmierten Computer, durch eine Kombination der beiden oder in jeglicher anderen Weise ausgeführt werden. Des Weiteren ist die Erfindung auch gerichtet auf Verfahren, nach denen die beschriebenen Vorrichtungen arbeiten, und/oder gemäß denen die beschriebenen Elemente zusammengebaut werden. Es umfasst Verfahrensschritte zum Ausführen von jeder Funktion der Vorrichtung.

[0011] Weitere Aspekte, Vorteile, Details und Merkmale der vorliegenden Erfindung sind aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den begleitenden Figuren ersichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0012] Eine vollständige und für einen Fachmann ausführbare Offenbarung der vorliegenden Erfindung, inklusive der besten Ausführungsart davon, wird in der Beschreibung dargestellt, die Bezug nimmt auf die angehängten Figuren, wobei:

[0013] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen Windturbine;

[0014] [Fig. 2](#) ist eine vergrößerte Schnittansicht eines Teils der in [Fig. 1](#) gezeigten Windturbine;

[0015] [Fig. 3](#) ist eine perspektivische Ansicht eines modularen Rotorblattes gemäß Ausführungsformen;

[0016] [Fig. 4](#) ist eine perspektivische Ansicht eines modularen Rotorblattes gemäß weiteren Ausführungsformen;

[0017] [Fig. 5](#) ist eine perspektivische Ansicht eines modularen Rotorblattes gemäß weiteren Ausführungsformen;

[0018] [Fig. 6](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Windturbinenrotors während der Zusammenfügung gemäß Ausführungsformen;

[0019] [Fig. 7](#) ist eine perspektivische Ansicht des Windturbinenrotors von [Fig. 6](#), nachdem alle Rotorblätter befestigt wurden;

[0020] [Fig. 8](#) bis [Fig. 10](#) sind perspektivische Ansichten einer Windturbine während des Aufbaus gemäß Ausführungsformen; und

[0021] [Fig. 11](#) ist eine perspektivische Ansicht eines modularen Rotorblattes gemäß weiteren Ausführungsformen.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0022] Es wird im Detail Bezug genommen auf Ausführungsformen der Erfindung, zu denen ein oder mehrere Beispiele in den Figuren illustriert sind. Jedes Beispiel dient der Erklärung der Erfindung, nicht der Begrenzung der Erfindung. Zum Beispiel können Merkmale, die als Teil einer Ausführungsform illustriert oder beschrieben werden, in anderen Ausführungsformen benutzt werden, um zu einer weiteren Ausführungsform zu gelangen. Die vorliegende Erfindung soll derartige Modifikationen und Variationen, wie sie innerhalb des Umfangs der angefügten Ansprüche und ihrer Äquivalente liegen, umfassen.

[0023] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen umfassen ein Windturbinensystem, das in Gegenden mit beschränktem Platz für das Aufbauverfahren aufgebaut werden kann. Insbesondere können die mo-

dularen Rotorblätter zur Baustelle an Orten, die nicht leicht zugänglich sind, transportiert werden.

[0024] Hierin soll der Ausdruck „Blatt“ stehen für jegliche Vorrichtung, die eine reaktive Kraft zur Verfügung stellt, wenn sie relativ zu einem umgebenden Fluid bewegt ist. Der Begriff „Windturbine“, wie er hierin benutzt wird, soll stehen für jegliche Vorrichtung, die Rotationsenergie aus Windenergie und insbesondere kinetische Windenergie in mechanische Energie umwandelt. Der Begriff „Windgenerator“, wie er hierin benutzt wird, soll stehen für jede Windturbine, die elektrische Energie aus der Rotationsenergie erzeugt, die aus Windenergie erzeugt wurde, und insbesondere mechanische Energie, die aus kinetischer Windenergie umgewandelt wurde, in elektrische Leistung umwandelt. Der Begriff „modulares Rotorblatt“, wie er hierin benutzt wird, soll stehen für ein Rotorblatt, das wenigstens zwei Segmente umfasst, und wobei das Rotorblatt zusammengefügt wird durch Zusammenbauen der Segmente.

[0025] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Ansicht einer beispielhaften Windturbine **10**. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Windturbine **10** eine Windturbine mit Horizontalachse. Die Windturbine **10** kann alternativ eine Windturbine mit vertikaler Achse sein. In der beispielhaften Ausführungsform umfasst die Windturbine **10** einen Turm **12**, der von einem Auflegesystem **14** ragt, eine Gondel **16**, die auf dem Turm **12** befestigt ist, und einen Rotor **18**, der an die Gondel **16** angeschlossen ist. Der Rotor **18** umfasst eine drehbare Nabe **20** und mindestens ein Rotorblatt **200**, das mit der Nabe **20** verbunden ist und sich davon ausgehend nach außen erstreckt. In der beispielhaften Ausführungsform hat der Rotor **18** drei Rotorblätter **200**, die modulare Rotorblätter sind. In einer alternativen Ausführungsform umfasst der Rotor **18** mehr oder weniger als drei Rotorblätter **200**. In der beispielhaften Ausführungsform ist der Turm **12** aus röhrenförmigen Stahl hergestellt, um einen Hohlraum (nicht gezeigt in [Fig. 1](#)) zwischen der Auflagefläche **14** und der Gondel **16** zu bilden. In einer alternativen Ausführungsform ist der Turm **12** irgendeine geeignete Art eines Turms mit irgendeiner geeigneten Höhe.

[0026] Die Rotorblätter **200** sind um die Nabe **20** herum verteilt, um es den drehenden Rotor **18** zu ermöglichen, dass dieser kinetische Energie in nutzbare mechanische Energie aus dem Wind überführt, und daraufhin in elektrische Energie. Die Rotorblätter **200** werden mit der Nabe **20** verbunden, indem ein Blattwurzelteil **24** mit der Nabe **20** an einer Vielzahl von Lastenübertragungsregionen **26** befestigt wird. Die Lastenübertragungsregionen **26** weisen jeweils eine Nabenlastenübertragungsregion und eine Rotorblattlastenübertragungsregion auf (beide nicht in [Fig. 1](#) gezeigt). Die auf die Rotorblätter **200** wirkenden Lasten werden auf die Nabe **20** über die Lastenübertragungsregionen **26** übertragen.

[0027] In einer Ausführungsform haben die Rotorblätter **200** eine Länge, die zwischen 15 Meter (m) bis ungefähr 91 m liegt. Die Rotorblätter **200** können alternativ jede geeignete Länge aufweisen, die es ermöglicht, dass die Windturbine **10** wie hierin beschrieben arbeitet. Zum Beispiel, andere nichtbeschränkende Beispiele von Blattlängen umfassen 10 m oder weniger, 20 m, 37 m oder eine Länge, die größer als 91 m ist. Wenn Wind aus einer Richtung **28** auf die Rotorblätter **200** fällt, wird der Rotor **18** um eine Drehachse **30** gedreht. Wenn die Rotorblätter **200** gedreht werden und Zentrifugalkräften ausgesetzt sind, sind die Rotorblätter **200** auch verschiedensten Kräften und Momenten ausgesetzt. Daher können sich die Rotorblätter **200** abbiegen und/oder von einer neutralen, oder nicht-abgebogenen Position, zu einer abgebogenen Position drehen.

[0028] Darüber hinaus kann ein Anstellwinkel oder Blattwinkel der Rotorblätter **200**, das heißt, ein Winkel, der eine Stellung der Rotorblätter **200** in Bezug auf die Windrichtung **28** bestimmt, durch ein Anstellwinkelverstellungssystem **32** verändert werden, um die Last und die von der Windturbine **10** erzeugte Energie zu steuern, indem die Winkelposition des mindestens einen Rotorblattes **200** relativ zu Windvektoren angepasst wird. Die Blattwinkelachsen **34** für Rotorblätter **200** sind gezeigt. Während des Betriebs der Windturbine **10** kann das Anstellwinkelverstellungssystem **32** einen Blattwinkel der Rotorblätter **200** derart verändern, dass die Rotorblätter **200** in eine Segelstellung bewegt werden, sodass die Stellung des mindestens einen Rotorblattes **200** relativ zu den Windvektoren eine minimale Oberfläche des Rotorblattes **200** zur Verfügung stellt, die in Richtung der Windvektoren ausgerichtet ist, was das Reduzieren einer Drehgeschwindigkeit des Rotors **18** und/oder das Verhindern eines Abrisses der Strömung von Rotor **18** erleichtert.

[0029] In der beispielhaften Ausführungsform wird der Blattwinkel von jedem Rotorblatt **200** individuell von einem Steuersystem **36** gesteuert. Der Blattwinkel kann alternativ auch für alle Rotorblätter **200** von einem Steuersystem **36** simultan gesteuert werden. In der beispielhaften Ausführungsform kann des Weiteren die Azimutrichtung der Gondel **16** um eine Azimutachse **38** gesteuert werden, um die Rotorblätter **200** bezüglich der Richtung **28** zu positionieren, wenn sich die Richtung **28** ändert.

[0030] In der beispielhaften Ausführungsform wird das Steuersystem **36** als zentral innerhalb der Gondel **16** angeordnet gezeigt. Das Steuersystem **36** kann aber auch ein System sein, das verteilt ist über die Windturbine **10**, auf der Auflagefläche **14**, innerhalb einer Windfarm und/oder an einem entfernten Steuerzentrum. Das Steuersystem **36** umfasst einen Prozessor **40**, der dazu konfiguriert ist, die hierin beschriebenen Verfahren und/oder Schritte durchzuführen.

Des Weiteren umfassen viele der anderen hierin beschriebenen Komponenten einen Prozessor. Der Begriff „Prozessor“, wie er hierin benutzt wird, ist nicht beschränkt auf integrierte Schaltungen, die in dem Gebiet als Computer bezeichnet werden, sondern bezieht sich allgemein auf eine Steuerung, eine Mikrosteuerung, einen Mikrocomputer, eine programmierbare logische Steuerung (PLC), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung, und andere programmierbare Schaltungen, und diese Begriffe werden hier gegenseitig austauschbar benutzt. Es ist wichtig zu verstehen, dass ein Prozessor und/oder ein Steuersystem auch einen Speicher, Eingangskanäle und/oder Ausgangskanäle umfassen können.

[0031] In den hierin beschriebenen Ausführungsformen kann ein Speicher, ohne Beschränkung, ein computerlesbares Medium, wie zum Beispiel ein Random Access Speicher (RAM), und ein computerlesbares nichtvolatiles Medium, wie zum Beispiel einen Flashspeicher umfassen. Alternativer Weise kann auch eine Floppy Diskette, eine Compact Disk mit nur lesbarem Speicher (CD-ROM), eine magnetoptische Disk (MOD), und/oder eine DVD benutzt werden. Auch umfassen in hierin beschriebenen Ausführungsformen Eingangskanäle, ohne Beschränkung, Sensoren und/oder Computerperipheriegeräte, die mit einer Benutzerschnittstelle verbunden sind, wie zum Beispiel einer Maus oder einer Tastatur. Darüber hinaus können die Ausgangskanäle in beispielhaften Ausführungsformen, ohne Beschränkung, eine Steuereinrichtung, ein Benutzerschnittstellenmonitor und/oder eine Anzeige umfassen.

[0032] Hierin beschriebene Prozessoren verarbeiten Informationen, die von einer Vielzahl von elektrischen und elektronischen Vorrichtungen übertragen werden, mitunter und ohne Beschränkung, Sensoren, Aktuatoren, Kompressoren, Steuersysteme und/oder Überwachungseinrichtungen. Solche Prozessoren können physisch positioniert sein, zum Beispiel, in einem Steuersystem, einem Sensor, einer Überwachungseinrichtung, einem Tischcomputer, einem Laptopcomputer, einem programmierbaren Logiksteuerschrank (SPS) und/oder einem verteilten Steuersystemschränk (DCS). RAM und Speichervorrichtungen speichern und übertragen Informationen und Anweisungen, die von den/den Prozessor(en) auszuführen sind. RAM und Speichervorrichtungen können auch benutzt werden, um temporäre Variablen zu speichern und zur Verfügung zu stellen, statische (das heißt nicht wechselnde) Informationen und Anweisungen, oder andere Zwischeninformation für die Prozessoren während der Ausübung der Anweisungen durch den/die Prozessor(en). Anweisungen, die ausgeführt werden, können, ohne Beschränkung, Windturbinen steuersystemsteuerkommandos umfassen. Die Ausführung von Abfolgen von Instruktionen ist nicht auf irgendeine besondere Kombina-

tion aus Hardwareschaltkreisen und Softwareanweisungen beschränkt.

[0033] Fig. 2 ist eine vergrößerte Schnittansicht eines Teiles einer Windturbine 10. In der beispielhaften Ausführungsform umfasst die Windturbine 10 die Gondel 16 und Nabe 20, die rotierbar mit der Gondel 16 verbunden ist. Insbesondere ist die Nabe 20 mit einem elektrischen Generator 42, der innerhalb der Gondel 16 positioniert ist, über eine Rotorwelle 44 (manchmal auch entweder Hauptwelle oder langsam drehende Welle genannt), ein Getriebe 46, eine schnell drehende Welle 48 und eine Kupplung 50 rotierbar verbunden. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Rotorwelle 44 koaxial zur Longitudinalachse 116 angeordnet. Die Rotation der Rotorwelle 44 treibt in rotierender Weise das Getriebe 46, das daraufhin die schnell drehende Welle 48 antreibt. Die schnell drehende Welle 48 treibt in rotierender Weise den Generator 42 über die Kupplung 50, und die Rotation der schnell drehenden Welle 48 erleichtert die Herstellung von elektrischer Leistung durch den Generator 42. Das Getriebe 46 und der Generator 42 werden von einem Träger 52 und einem Träger 54 getragen. In der beispielhaften Ausführungsform nutzt das Getriebe 46 eine Zweipfadgeometrie, um die schnell drehende Welle 48 anzutreiben. Alternativer Weise wird die Rotorwelle 44 direkt mit dem Generator 42 über die Kupplung 50 verbunden.

[0034] Die Gondel 16 umfasst auch einen Azimutverstellmechanismus 56, der benutzt werden kann, um die Gondel 16 und die Nabe 20 um eine Azimutachse 38 zu verstellen (in Fig. 1 gezeigt), um die Ausrichtung der Rotorblätter 200 bezüglich der Windrichtung 28 zu steuern. Die Gondel 16 umfasst auch wenigstens einen meteorologischen Mast 58, der eine Windfahne und Anemometer (nichts davon in Fig. 2 gezeigt) umfasst. Der Mast 58 stellt Information für das Steuersystem 36 zur Verfügung, die die Windrichtung und/oder die Windgeschwindigkeit enthalten kann. In der beispielhaften Ausführungsform kann die Gondel 16 auch ein vorderes Hauptträgerlager 60 und ein hinteres Hauptträgerlager 62 aufweisen.

[0035] Das vordere Trägerlager 60 und hintere Trägerlager 62 erleichtern die radiale Abstützung und Ausrichtung der Rotorwelle 44. Das vordere Trägerlager 60 ist mit der Rotorwelle 44 nahe der Nabe 20 verbunden. Das hintere Trägerlager 62 befindet sich auf der Rotorwelle 44 nahe dem Getriebe 46 und/oder dem Generator 42. Alternativer Weise kann die Gondel 16 jede Anzahl von Trägerlagern umfassen, die es der Windturbine 10 ermöglichen, wie hierin beschrieben zu funktionieren. Die Rotorwelle 44, Generator 42, Getriebe 46, schnell drehende Welle 48, Kupplung 50, und jede zugehörige Befestigung, Träger, und/oder Sicherungseinrichtung wie zum Beispiel Träger 52 und/oder Träger 54, und das vordere

Trägerlager 60 und hintere Trägerlager 62 werden manchmal als Antriebsstrang 64 bezeichnet.

[0036] In der beispielhaften Ausführungsform umfasst die Nabe 20 eine Blattwinkelverstellanordnung 66. Die Blattwinkelverstellanordnung 66 umfasst ein oder mehrere Blattwinkeltriebssysteme 68 und wenigstens einen Sensor 70. Jedes Blattwinkelverstellsystem 68 ist verbunden mit dem entsprechenden Rotorblatt 200 (gezeigt in Fig. 1) zum Anpassen des Blattwinkels des zugehörigen Rotorblatts 200 entlang der Blattwinkelachse 34. In Fig. 2 wird nur einer der drei Blattwinkelverstellsysteme 68 gezeigt.

[0037] In der beispielhaften Ausführungsform umfasst die Blattwinkelverstellanordnung 66 wenigstens ein Blattwinkellager 72, das mit der Nabe 20 und dem entsprechenden Rotorblatt 200 (gezeigt in Fig. 1) verbunden ist, zum Rotieren des entsprechenden Rotorblattes 200 um die Blattwinkelachse 34. Das Blattwinkelverstellsystem 68 umfasst einen Blattwinkelverstellmotor 74, ein Blattwinkelverstellgetriebe 76, und ein Blattwinkelverstellantriebsrad 78. Der Blattwinkelverstellmotor 74 ist derart mit dem Blattwinkelverstellgetriebe 76 verbunden, dass der Blattwinkelverstellmotor 74 mechanische Kraft auf das Blattwinkelverstellgetriebe 76 ausübt. Das Blattwinkelgetriebe 76 ist mit dem Blattwinkelverstellantriebsrad 78 derart verbunden, dass das Blattwinkelverstellantriebsrad 78 von dem Blattwinkelverstellgetriebe 76 gedreht wird. Das Blattwinkellager 72 ist verbunden mit dem Blattwinkelverstellantriebsrad 78 derart, dass die Rotation des Blattwinkelverstellantriebsrad 78 eine Rotation des Blattwinkellagers 72 verursacht. Insbesondere ist in den beispielhaften Ausführungsformen das Blattwinkelverstellantriebsrad 78 mit dem Blattwinkellager 72 derart verbunden, dass die Rotation des Blattwinkelgetriebes 76 das Blattwinkellager 72 und das Rotorblatt 200 um die Blattwinkelachse 34 verdreht, um den Blattwinkel des Blattes 200 zu verändern.

[0038] Das Blattwinkelverstellsystem 68 ist verbunden mit dem Steuersystem 36 zum Anpassen des Blattwinkels des Rotorblattes 200 auf ein oder mehrere Signale von dem Steuersystem 36 hin. In der beispielhaften Ausführungsform ist der Blattwinkelverstellmotor 74 jeder geeignete Motor, der durch elektrische Leistung und/oder von einem hydraulischen System angetrieben wird, das es ermöglicht, dass die Blattwinkelverstellanordnung 66 wie hierin beschrieben funktioniert. Alternativer Weise kann die Blattwinkelverstellanordnung 66 jede geeignete Struktur, Konfiguration, Anordnung, und/oder Komponenten umfassen, wie zum Beispiel, aber nicht hierauf beschränkt, hydraulische Zylinder, Federn, und/oder mit Servo-Mechanismen. Darüber hinaus kann die Blattwinkelverstellanordnung 66 von jedem geeigneten Mitteln angetrieben werden, wie zum Beispiel, aber nicht hierauf beschränkt, hydraulischem Fluid, und/oder mechanischer Leistung, wie zum Beispiel, aber

nicht hierauf beschränkt, eingeleiteten Federkräften und/oder elektromechanischen Kräften. In bestimmten Ausführungsformen wird der Blattwinkelverstellmotor angetrieben durch Energie, die aus der Rotationsmasse der Nabe **20** gezogen wird und/oder einer Quelle für gespeicherte Energie (nicht gezeigt), die Energie an Komponenten der Windturbine **10** liefert.

[0039] **Fig. 3** zeigt eine beispielhafte Ausführungsform eines modularen Rotorblattes **200** während des Zusammenfügevorgangs. In der beispielhaften Ausführungsform umfasst das Rotorblatt **200** drei Segmente **210**, **220**, **230** und ein Kabel **260**. Jedes Segment **210**, **220**, **230** umfasst wenigstens eine Kontaktfläche **240**.

[0040] **Fig. 4** zeigt das Rotorblatt aus **Fig. 3**, wobei die in **Fig. 3** nicht sichtbaren Elemente in gestrichelten Linien dargestellt sind. Das Kabel **260** wird innerhalb des Spitzenelements **230** des Rotorblatts an einem Befestigungselement **290** befestigt. In der Ausführungsform wird diese Befestigung dadurch realisiert, dass das Ende des Kabels an dem Befestigungselement **290** laminiert wird. In anderen Ausführungsformen werden andere Befestigungsverfahren angewandt, wie zum Beispiel Klammern. Das Kabel **260** erstreckt sich von dem Befestigungselement durch die Rohre **280** in Richtung des mittleren Elements **220**. Es erstreckt sich des Weiteren durch eine weitere Röhre **280** in das Mittelelement **220** und erstreckt sich aus dem Mittelelement **220** über eine weitere Röhre **280** heraus. Das Kabel gelangt in das Wurzelement **210** hinein über eine weitere Röhre **280** und verlässt das Element über eine Öffnung **265**. Damit erstreckt sich das Kabel **260** von seinem Befestigungspunkt im Spitzenelement **230** durch die Rotorblattelemente. In der Ausführungsform verlässt das Ende des Kabels **260** an dem gegenüberliegenden Ende, wo es an das Spitzenelement **230** befestigt ist, das Wurzelement **210** über die Öffnung **265**. Die Röhren **280** können unterschiedliche Längen aufweisen. In den Ausführungsformen haben sie jeweils eine Länge von 2 cm bis zur gesamten Länge des entsprechenden Rotorblattsegments. Insbesondere ist die Länge zwischen 5 cm und 1 m, ganz besonders zwischen 10 cm und 40 cm. Das heißt, in einigen Ausführungsformen kann sich die Röhre **280** erstrecken von einem Ende des Segmentes zu dem anderen, während in anderen Ausführungsformen eine Röhre an jedem Endteil des Rotorblattsegments **210**, **220** zur Verfügung gestellt wird. Das Spitzensegment **230** hat typischer Weise nur eine an einem Ende zur Verfügung gestellte Röhre.

[0041] In der beispielhaften Ausführungsform wird das modulare Rotorblatt **200** zusammengebaut, indem die Rotorblattelemente **210**, **220**, **230**, wie in den **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigt, positioniert werden. Das Kabel **260** kann an dem Spitzenelement **230** an oder von der Fabrik befestigt werden, und mag durch

die anderen Elemente **220**, **210** erst an der Baustelle der Windturbine durchgeführt werden. In anderen Ausführungsformen kann das Kabel **260** auch angebracht und an dem Spitzenelement **230** befestigt werden während des Zusammenfügevorgangs an der Stelle. In diesem Fall muss das Spitzenelement **230** derart ausgelegt sein, dass das Kabel an dem Befestigungselement **290** an der Errichtungsstelle der Windturbine angebracht oder befestigt werden kann. Im Folgenden wird eine Kraft auf das Ende des Kabels **260** angewandt, das aus dem Wurzelement **210** heraussteht. Nachdem das andere Ende des Kabels an dem Spitzenelement **230** befestigt ist, werden die Elemente **210**, **220**, **230** zusammengezogen, wobei sich die Lücken **215**, **225** verengen, bis die Lücken geschlossen sind, was bedeutet, dass die Kontaktflächen **240** der Segmente **210**, **220**, **230** an die Kontaktflächen **240** von benachbarten Segmenten **210**, **220**, **230** angrenzen.

[0042] **Fig. 5** zeigt ein modulares Rotorblatt **200** aus den **Fig. 3** und **Fig. 4**, nachdem die Lücken **215**, **225** durch das Spanverfahren geschlossen wurden. Nachdem die Lücken geschlossen wurden, wird mit dem Spannen des Kabels **260** fortgefahren. Nachdem die Blattelemente **210**, **220**, **230** an ihren Kontaktflächen **240** in Kontakt stehen, ist keine weitere Bewegung der Blattelemente möglich. Das Spannen führt dann zu einer Erhöhung der Spannung des Kabels **260**. Wenn eine vordefinierte Spannung erreicht ist, wird das Spanverfahren angehalten und das Kabel **260** befestigt. In der beispielhaften Ausführungsform wird dies erreicht, indem das Kabel **260** mit Hilfe von einem Klemmmechanismus **300** geklemmt wird. Es sind auch andere Befestigungsverfahren möglich. Die vordefinierte Spannung des Kabels **260** hängt stark von den Eigenschaften des modularen Rotorblattes ab, zum Beispiel seiner Form, dem Material und der Bauweise. Die Spannung im Kabel kann mittels des Spanverfahrens gemessen werden mit Hilfe einer Vielzahl von für den Fachmann bekannten Methoden, zum Beispiel mit Hilfe von Belastungselementen. Gemäß einer anderen Ausführungsform wird das Drehmoment der Winde, die zum Spannen oder Ziehen des Kabels **260** benutzt werden kann, benutzt, um den Punkt zu definieren, an dem das Spanverfahren abgeschlossen ist.

[0043] Nachdem das Kabel **260** befestigt wird, während es unter Spannung steht, dient es als Befestigungselement zum Zusammenhängen der Rotorblattelemente **210**, **220**, **230**. Die Spannung des Kabels wird derart berechnet, dass sie groß genug ist, um die Stabilität des zusammengebauten modularen Rotorblattes **200** unter jeder möglichen Bedingung während dem folgenden Aufbau und Betrieb der Windturbine zu gewährleisten. Dies umfasst extreme Lastensituationen, wie zum Beispiel Notstopps während starken Winden oder Ähnlichem. Das Kabel **260** umfasst typischer Weise Stahl, Edelstahl, wie zum

Beispiel V2A oder V4A, Glasfaser, Kohlefaser, oder Kombinationen davon. In Abhängigkeit von der Größe der Windturbineninstallation kann das Kabel **260** einen Durchmesser zwischen 10 mm und 80 mm, typischer Weise zwischen 20 mm und 70 mm aufweisen. Die Röhren **280** haben typischer Weise einen Durchmesser zwischen ungefähr 1 mm bis 50 mm, noch typischer Weise zwischen 3 mm bis 30 mm größer als der Durchmesser des Kabels. Die Röhren können Metall, Glasfaser, oder jedes andere geeignete Material enthalten. Nachdem die Röhren typischer Weise keine erheblichen Lasten führen, müssen sie nicht ausgelegt sein, um eine besonders hohe Stärke oder Steifheit aufzuweisen, sondern sollten in der Lage sein, den Reibkräften, die von dem Kabel **260** beim Bewegen dadurch ausgeübt werden während des Zusammenbauverfahrens zu widerstehen. In anderen Ausführungsformen können die Röhren **280** ersetzt werden durch eine Anordnung von Rollen, die das Kabel **260** führen, wie zum Beispiel, nicht beschränkend, drei zylindrische Relief, die in einem Winkel von 120° Grad zueinander angeordnet sind. In anderen Ausführungsformen werden andere Rollen- oder Röhrenkonfigurationen eingesetzt.

[0044] Die [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen das modulare Rotorblatt **200** und das Prinzip des Zusammenbauverfahrens, jeweils das Spann- oder Ziehverfahren, wobei die angewandten Kräfte durch Pfeile angezeigt werden. Die Rotorblätter, die durch das oben beschriebene Verfahren zusammengefügt werden, werden daraufhin an einer Rotornabe **320** am Grund befestigt. In anderen Ausführungsformen werden die zusammengebauten Rotorblätter individuell zu ihrer Position an dem Windturbinenturm angehoben und an einer Nabe **320** befestigt, die zuvor an der Gondel **16** befestigt wurde.

[0045] In anderen Ausführungsformen kann die Anzahl der Segmente des Blattes **200** sich unterscheiden, zum Beispiel zwischen zwei Elementen bis zu 10 Elementen.

[0046] In den beschriebenen Ausführungsformen wird die Spannkraft durch eine Winde oder einen hydraulischen Zylinder angewandt. Die Spannvorrichtung muss in Bezug auf die Elemente des Rotorblattes derart arrangiert werden, dass die von der Vorrichtung auf das Kabel ausgeübte Kraft nicht zu einer Bewegung des Wurzelrotorblattteils **210** in Bezug auf die Ziehvorrichtung führt. In einer Ausführungsform ist die Ziehvorrichtung, das heißt, eine Winde oder ein hydraulischer Zylinder, gegenüber der vorderen Fläche **295** des Rotorblattelements **210** verspannt. Wenigstens die Rotorblattelemente **220** und **230** werden derart gestützt, dass sie sich frei in der Richtung bewegen können, die nötig ist, um der von dem Kabel **260** ausgeübten Kraft zu folgen. Dazu können die Elemente von Rollen gestützt sein (nicht gezeigt), oder in anderen Ausführungsformen können sie auch

von einem Kran gehalten werden. Der Blattwurzelteil **230** kann stabil auf dem Grund positioniert werden, da er typischer Weise sich nicht während des Spannverfahrens bewegt.

[0047] [Fig. 6](#) zeigt eine weitere beispielhafte Ausführungsform, in der die Rotorblätter **200** auch an der Rotornabe **320** während des Zusammenbauprozesses der Rotorblätter befestigt werden. Die Figur zeigt einen Rotor **350** während des Zusammenbaus. Ein Rotorblatt **360** ist bereits montiert, während ein weiteres Rotorblatt im Begriff steht, montiert zu werden mit Hilfe des Spannverfahrens, wie zuvor beschrieben. Die Rotornabe **320** ist auf dem Grund positioniert, sodass die longitudinale Achse der Flansche oder Öffnungen für die Rotorblätter parallel zum Grund sind. Die Rotorblattelemente **210**, **220**, **230** werden dann nahe der Nabe **320** in der wie in Bezug auf die [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschriebenen Weise positioniert. Das Kabel **260** erstreckt sich von dem Rotorblattelement **210** in die Nabe **320**. Eine Spannvorrichtung **330**, zum Beispiel eine elektrische Winde, eine hydraulische Winde, oder ein hydraulischer Zylinder, dient dem Spannen des Kabels **260**. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Spannvorrichtung **330** außerhalb der Nabe **320** angeordnet. In der Ausführungsform wird das Kabel **260** innerhalb der Nabe **320** mit Hilfe einer Umlenkrolle **345** umgelenkt und daraufhin aus der Nabe **320** über eine Öffnung **335** herausgeführt. Wie zuvor bereits erwähnt, muss die Vorrichtung **330** gegenüber der Nabe **320** fixiert werden (nicht gezeigt), sodass die Ziehkraft nicht zu einem Verschieben der Spannvorrichtung **330** in Bezug auf Nabe **320** führt. In anderen Ausführungsformen kann die Spannvorrichtung **330** innerhalb der Nabe **320** angeordnet sein. Sie kann nach dem Zusammenbau entfernt werden oder für spätere Benutzungen innerhalb der Nabe verbleiben.

[0048] [Fig. 7](#) zeigt einen vollständig zusammengebauten Rotor **350**, der nach dem in [Fig. 6](#) gezeigten Verfahren auf dem Grund liegt. Daraufhin kann der Rotor gehoben werden, zum Beispiel durch einen Kran, an seine Position an dem Windturbinenturm **12**.

[0049] [Fig. 8](#) zeigt eine beispielhafte Ausführungsform eines Zusammenbaus einer Windturbinen mit modularen Rotorblättern. Die modularen Rotorblätter ähneln denen, die in Bezug auf die vorherigen Ausführungsformen beschrieben wurden. Zunächst wird die Nabe **320** an der Gondel **16** befestigt, sodass ein Flansch **370** für ein Rotorblatt zum Grund ausgerichtet ist. Daraufhin wird der Wurzelblattteil **210** vom Grund hoch zur Nabe **320** angehoben. Dazu wird das Kabel **260** durch die Röhren **280** (nicht gezeigt) des Elements geführt und an einem unteren Ende des Elements **210** befestigt. Das Kabel **260** wird dann von einer Winde **330** (nur schematisch gezeigt) gezogen, die in der Nabe **320** oder in der Gondel **16** angeordnet ist. Je nach Ort der Winde **320** muss das

Kabel innerhalb der Nabe und/oder Gondel von einem oder mehreren Umlenkrollen (nicht gezeigt) gelenkt werden. Wenn das Element **210** sich schließlich an seiner vorgesehenen Position an der Nabe befindet, wird es an die Nabe **320** befestigt. Entsprechende Verfahren sind dem Fachmann wohl bekannt. Das Kabel wird dann von Element **210** gelöst und ein Ende wird zum Grund herabgelassen, um das nächste Element zu heben. Darauf hinaus wird das gleiche Verfahren für das Element **220** ausgeführt (welches in [Fig. 8](#) gezeigt ist). Wenn das Element **220** angezogen ist und in Kontakt mit dem Rotorblatt **210** ist, wird es an dieser Position befestigt. Dies kann ausgeführt werden, indem die Elemente **210**, **220** miteinander verbunden werden über Schrauben und Bolzen, oder über ein zusätzliches Kabelhalteelement **220** von der Nabe oder Gondel. Das Kabel **260** wird dann vom Element **220** gelöst.

[0050] [Fig. 9](#) zeigt, wie das Spitzenelement **230** eines zusammenzubauenden Rotorblattes mit den Elementen **210**, **220**, die bereits an der vorgesehenen Stelle sind, zusammengezogen wird. Wie in den in Bezug auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschriebenen Ausführungsformen, wird das Spannverfahren fortgesetzt, wenn das Element **230** in Position ist, bis die Spannung des Kabels **260** einen vordefinierten Wert erreicht hat. Das Kabel **260** wird dann innerhalb der Nabe **320** über einen Klemmmechanismus befestigt. Sobald ein erstes Rotorblatt vervollständigt ist, wird die Nabe **320** gedreht, bis ein weiterer Flansch **370** in Richtung des Grundes ausgerichtet ist, und das nächste Wurzelement **210** wird mit Hilfe des Kabels **260** angehoben. Dies ist beispielhaft in [Fig. 10](#) gezeigt. Zum Drehen der Rotornabe **320** kann ein Extramotor angewandt werden, zum Beispiel im Hochgeschwindigkeitsbereich des Getriebestrangs in der Gondel. Dieser Motor kann entfernt werden, nachdem das Befestigungsverfahren abgeschlossen ist.

[0051] [Fig. 11](#) zeigt ein modulares Rotorblatt **200** gemäß Ausführungsformen. Das Prinzip ist ähnlich zu dem Rotorblatt, wie es in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt wurde, wobei eine zusätzliche Umlenkrolle **380** vorzugsweise rotierbar in dem Spitzenelement **230** befestigt ist. Das Kabel **385** tritt in das Wurzelement **210** bei einer Öffnung **265** ein und erstreckt sich durch die Segmente **210**, **220**, **230**, und wird dann von der Umlenkrolle **380** umgelenkt. Es erstreckt sich dann zurück durch die Elemente **210**, **220**, **230** und der Endteil **385** des Kabels verlässt das Wurzelement **210** durch eine Öffnung **265**. Dabei muss das Kabel nicht an das Spitzenelement **230** durch Klammern oder Ähnliche befestigt werden. Des Weiteren wird die Kraft, die benötigt wird, um die Elemente miteinander durch Ziehen eines Endes des Kabels zu verbinden, wesentlich vermindert, theoretischer Weise (wenn Reibung vernachlässigt wird) auf die Hälfte, da die Umlenkrolle als eine Übersetzung dient. Beide Teile des Kabels können sich durch die gleichen

Röhren **280** erstrecken, oder durch zugeordnete parallele Röhren.

[0052] In Ausführungsformen, wo die Kabel **260** Glasfaser umfassen, kann die Belastung im Kabel während des Spannverfahrens über optische Sensoren gemessen werden, die die optischen Eigenschaften des Glasfaserkabels messen. Diese Sensoren können auch benutzt werden während des Betriebs der Windturbine, um den Zustand der Kabel zu überprüfen.

[0053] Die oben beschriebenen Systeme und Verfahren erleichtern die Installation von Windturbinen in Regionen, die schwer zugänglich sind, und die einen beschränkten Platz während des Aufbaus zur Verfügung stellen.

[0054] Beispielhafte Ausführungsformen von Systemen und Verfahren für Windturbine mit modularen Rotorblättern werden oben im Detail beschrieben. Die Systeme und Verfahren sind nicht beschränkt auf besondere Ausführungsformen, die hierin beschrieben werden, sondern die Komponenten der Systeme und/oder Schritte der Verfahren können unabhängig und getrennt von anderen hierin beschriebenen Komponenten und/oder Schritten benutzt werden. Zum Beispiel sind die modularen Rotorblätter nicht beschränkt auf eine Implementierung mit nur hierin beschriebenen Windturbinensystemen. Vielmehr kann die beispielhafte Ausführungsform implementiert und benutzt werden in Verbindung mit zahlreichen anderen Blattanwendungen.

[0055] Auch wenn spezielle Merkmale von verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung in einigen Zeichnungen gezeigt sein mögen und in anderen nicht, ist dies ausschließlich zur besseren Lesbarkeit. Im Einklang mit den Prinzipien der Erfindung kann jedes Merkmal einer Zeichnung auch in Bezug mit irgendeinem anderen Merkmal einer anderen Zeichnung in Bezug genommen werden und/oder in Anspruch genommen werden.

[0056] Die vorliegende Beschreibung nutzt Beispiele, mitunter die beste Ausführungsform, um die Erfindung zu offenbaren und auch um den Fachmann in die Lage zu versetzen, die Erfindung auszuführen, insbesondere Geräte oder Systeme herzustellen und zu benutzen sowie beinhaltete Verfahren auszuführen. Während zuvor verschiedene spezielle Ausführungsformen beschrieben wurden, wird der Fachmann feststellen, dass der Geist und der Umfang der Ansprüche ähnlich effektive Modifikationen erlauben. Insbesondere können sich paarweise nicht ausschließende Merkmale der oben beschriebenen Ausführungsformen jeweils miteinander kombiniert werden. Der patentierbare Schutzzumfang der Erfindung wird durch die Ansprüche definiert und kann andere Beispiele umfassen, die sich dem Fachmann er-

geben. Solche andere Beispiele sollen innerhalb des Schutzzumfangs der Ansprüche sein, wenn sie Strukturelemente umfassen, die nicht von der wörtlichen Darstellung in den Ansprüchen sich unterscheiden oder wenn sie äquivalente Strukturelemente mit unwesentlichen Unterschieden von der wörtlichen Darstellung in den Ansprüchen enthalten.

Bezugszeichenliste

10	Windturbine
12	Turm
14	Trägersystem
16	Gondel
18	Rotor
20, 320	rotierbare Nabe
22	Rotorblätter
24	Blattwurzelteil
26	Lastenübertragungsregion
28	Richtung
30	Rotationsachse
32	Blattwinkelverstellungssystem
34	Blattwinkelachsen
36	Steuersystem
38	Azimutachse
40	Prozessor
42	elektrischer Generator
44	Rotorwelle
46	Getriebe
48	schnell drehende Welle
50	Kupplung
52	Träger
54	Träger
56	Azimutverstellmechanismus
58	meteorologischer Mast
60	vorderes Trägerlager
62	hinteres Trägerlager
64	Antriebsstrang
66	Blattwinkelverstellanordnung
70	Sensor
72	Blattwinkellager
74	Blattwinkelverstellmotor
76	Blattwinkelverstellgetriebe
78	Blattwinkelverstellrad
80	Höchstgeschwindigkeitssteuersystem
82	Kabel
84	Leistungsgenerator
86	Hohlraum
88	innere Oberfläche
90	äußere Oberfläche
116	Längsachse
200	modulares Rotorblatt
210	Wurzelteilsegment
215, 225	Lücke
220	Mittleres Segment
230	Spitzensegment
240	Kontaktfläche
260	Kabel
265	Öffnung
280	Röhre

290	Befestigungselement
300	Klemmelement
330	Spannvorrichtung
335	Öffnung
345	Umlenkrolle
360	Erstes Rotorblatt
370	Flansch
380	Umlenkrolle
390	Kabel

Patentansprüche

- Ein Rotorblatt für eine Windturbine umfassend;
 - wenigstens zwei Segmente;
 - wenigstens ein Kabel;
 wobei die Segmente ausgelegt sind, miteinander befestigt zu werden, um das Rotorblatt zu bilden, und wobei das wenigstens eine Kabel ausgelegt ist, die wenigstens zwei Segmente miteinander zu verbinden, und wobei sich das Kabel durch wenigstens einen Teil der Segmente erstreckt.
- Das Rotorblatt gemäß Anspruch 1, wobei sich das wenigstens eine Kabel entlang einer longitudinalen Achse des Rotorblattes erstreckt.
- Das Rotorblatt von Anspruch 1 oder 2, wobei das Rotorblatt des Weiteren ein Spitzenteil und ein Wurzelteil umfasst, und wobei das Kabel sich von dem Spitzenteil in Richtung des Wurzelteils erstreckt.
- Das Rotorblatt gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kabel an wenigstens einem Ende mit wenigstens einem der wenigstens zwei Segmente über eine Laminierung und/oder Klammerung befestigt ist.
- Das Rotorblatt gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kabel ein oder mehr Elemente aus der folgenden Liste umfasst: Stahl, Edelstahl, Glasfaser, und Kohlefaser.
- Das Rotorblatt gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens eines der Segmente des Weiteren wenigstens eine Rohre umfasst, und wobei sich das Kabel über wenigstens einen Teil seiner Länge durch die wenigstens eine Röhre erstreckt.
- Das Rotorblatt gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, des Weiteren umfassend einen Sensor zur Spannungsmessung, der zum Detektieren einer Belastung in dem Kabel ausgerichtet ist.
- Eine Windturbine umfassend wenigstens ein Rotorblatt gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7.
- Ein Verfahren zum Zusammenbauen eines Rotorblattes für eine Windturbine umfassend:

- zur Verfügung Stellen wenigstens zweier Segmente;
- zur Verfügung Stellen wenigstens eines Kabels;
- Befestigen wenigstens eines Endes des wenigstens einen Kabels an wenigstens einem Segment;
- Spannen eines wenigstens einen zweiten Endes des Kabels, um die wenigstens zwei Segmente miteinander zu verbinden; und
- Befestigen des wenigstens eines zweiten Endes des wenigstens einen Kabels.

10. Das Verfahren gemäß Anspruch 9 des Weiteren umfassend einen oder mehrere der folgenden Schritte:

- Befestigen einer Nabe einer Windturbine an der Gondel an dem Windturbinenturm;
- Anheben eines ersten Segments eines ersten Rotorblattes zu der Nabe;
- Befestigen des Segments an der Nabe;
- Anheben eines weiteren Segments;
- Drehen der Nabe.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

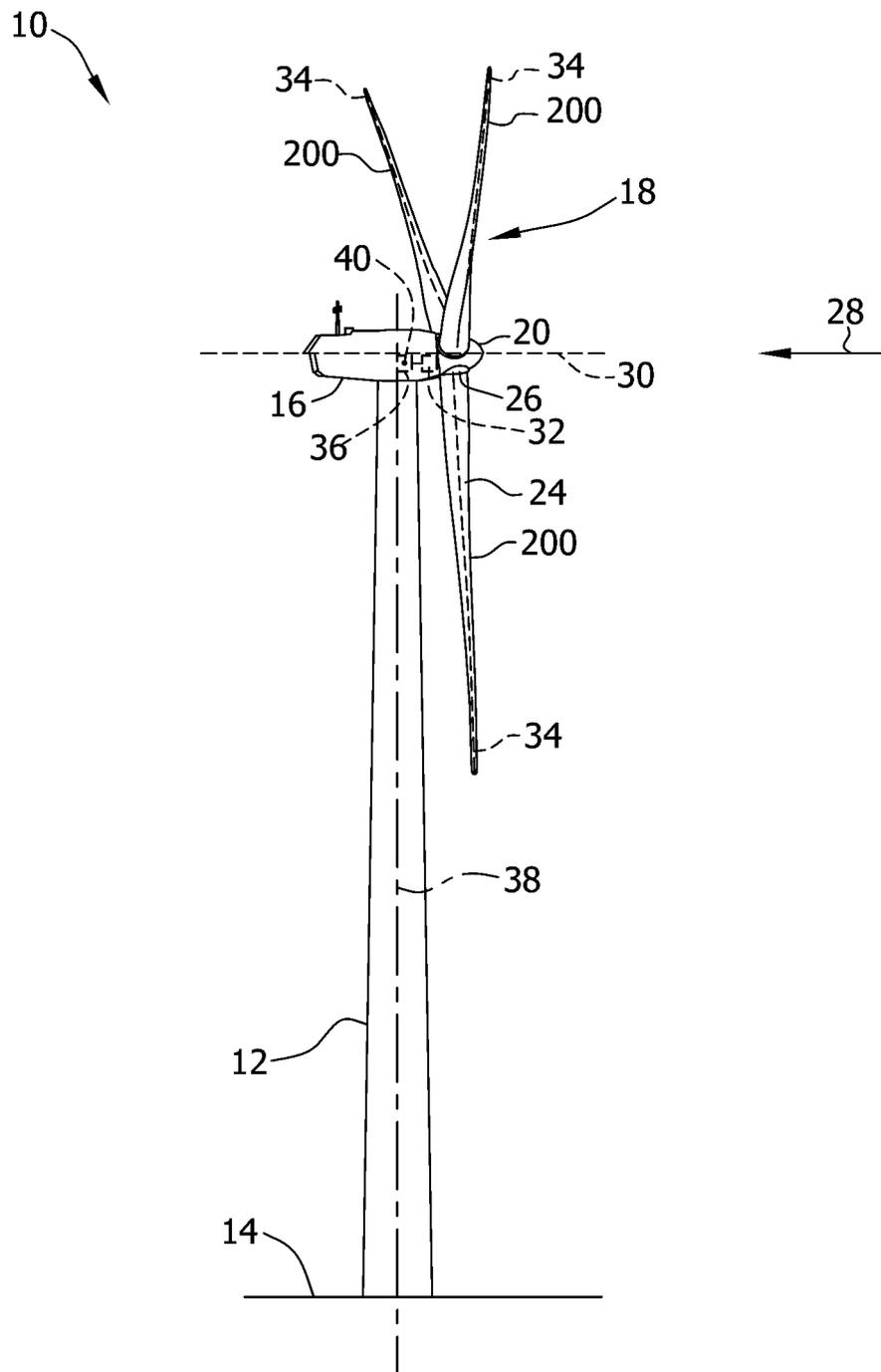


FIG. 2

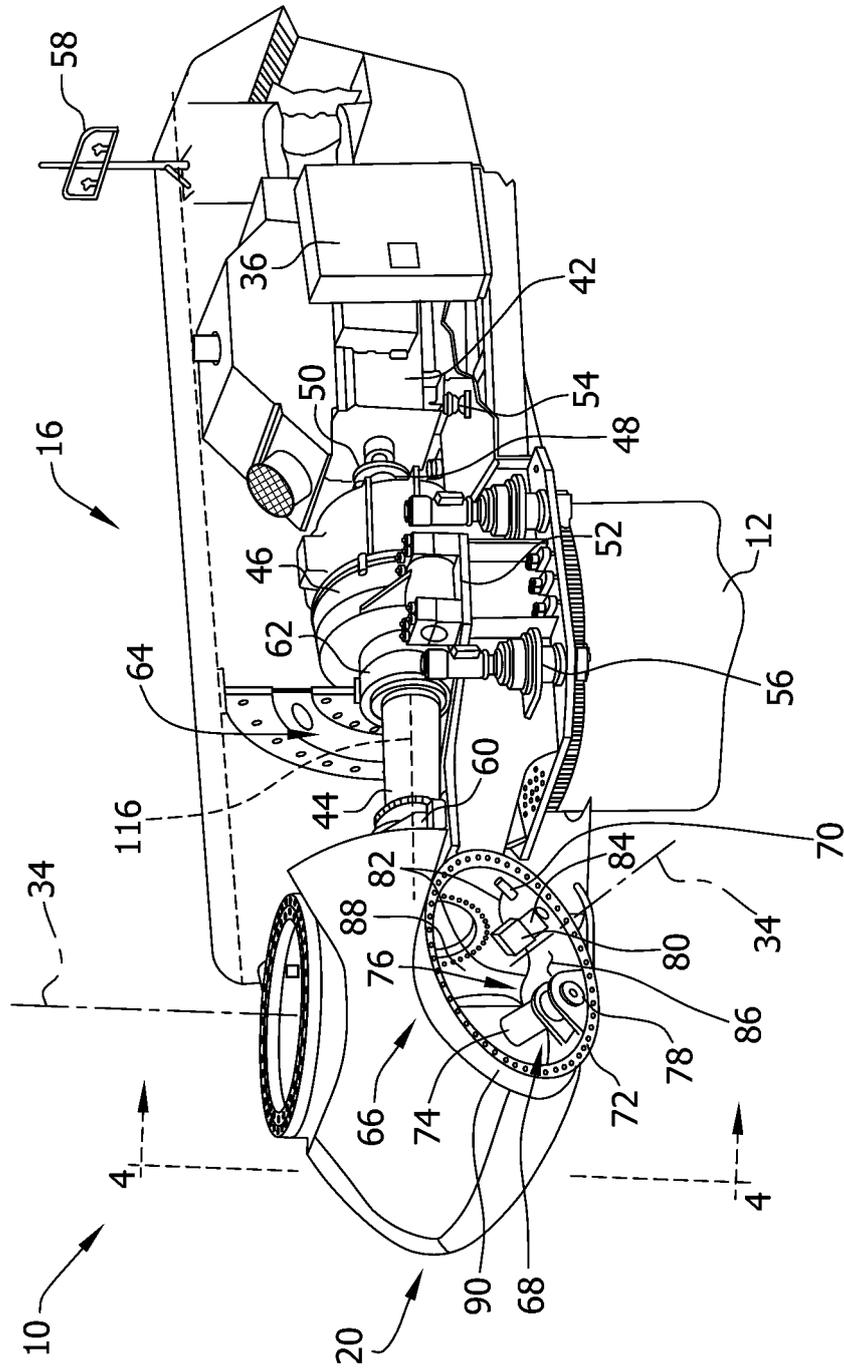


FIG. 3

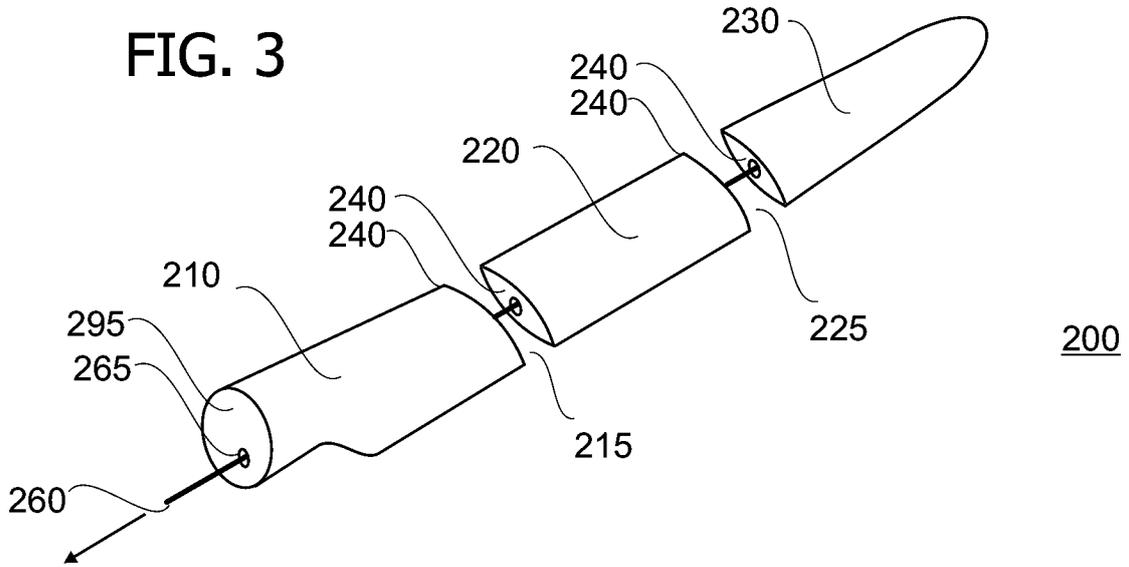


FIG. 4

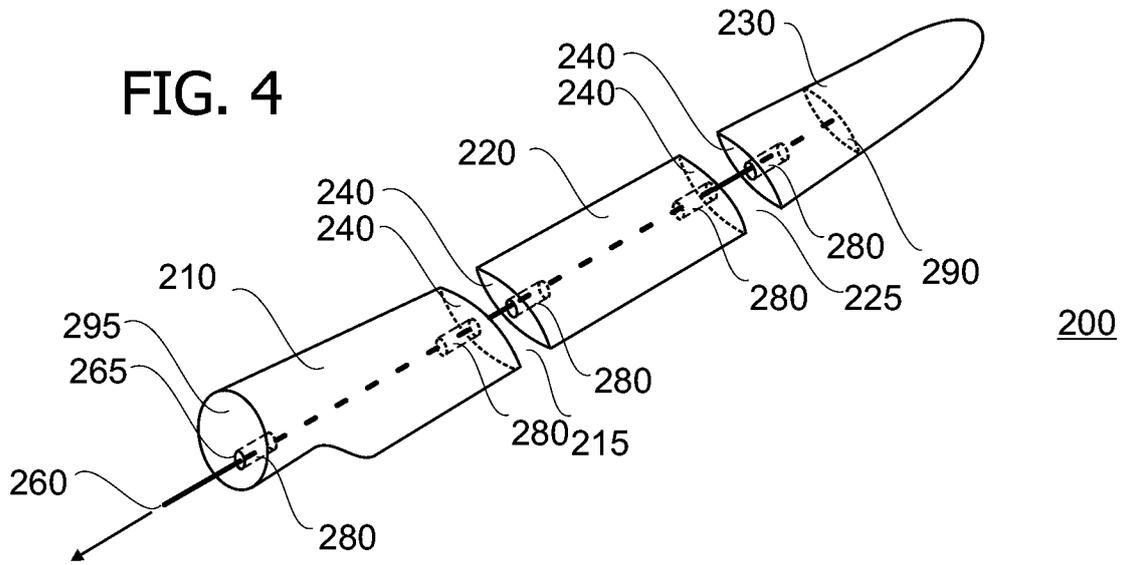
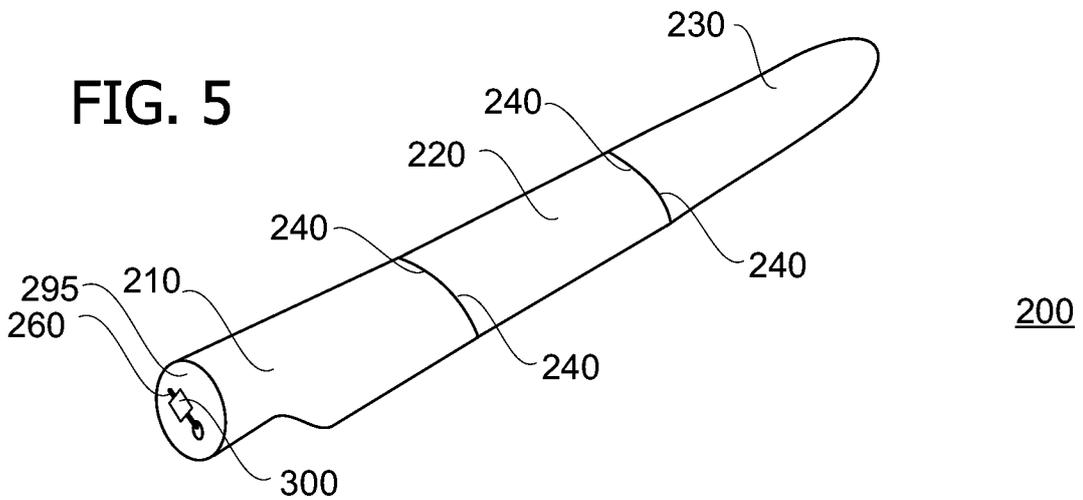


FIG. 5



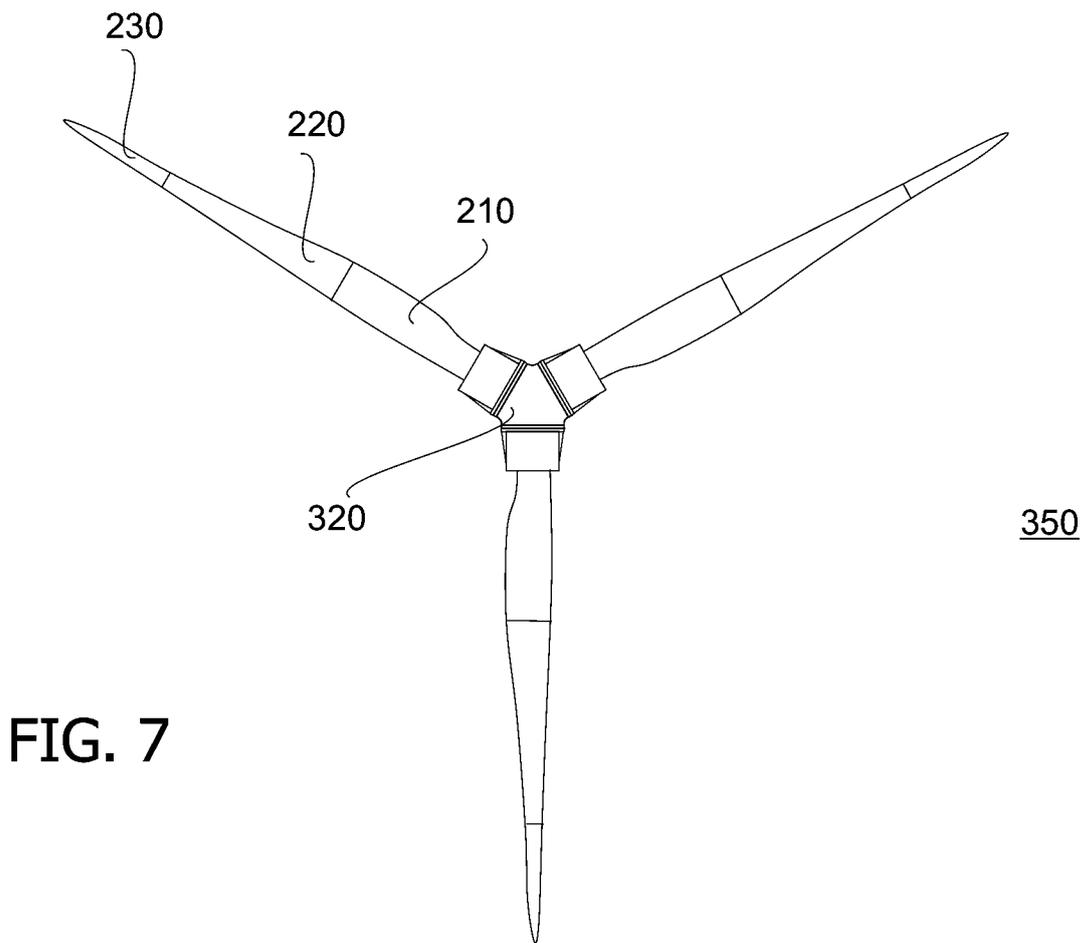
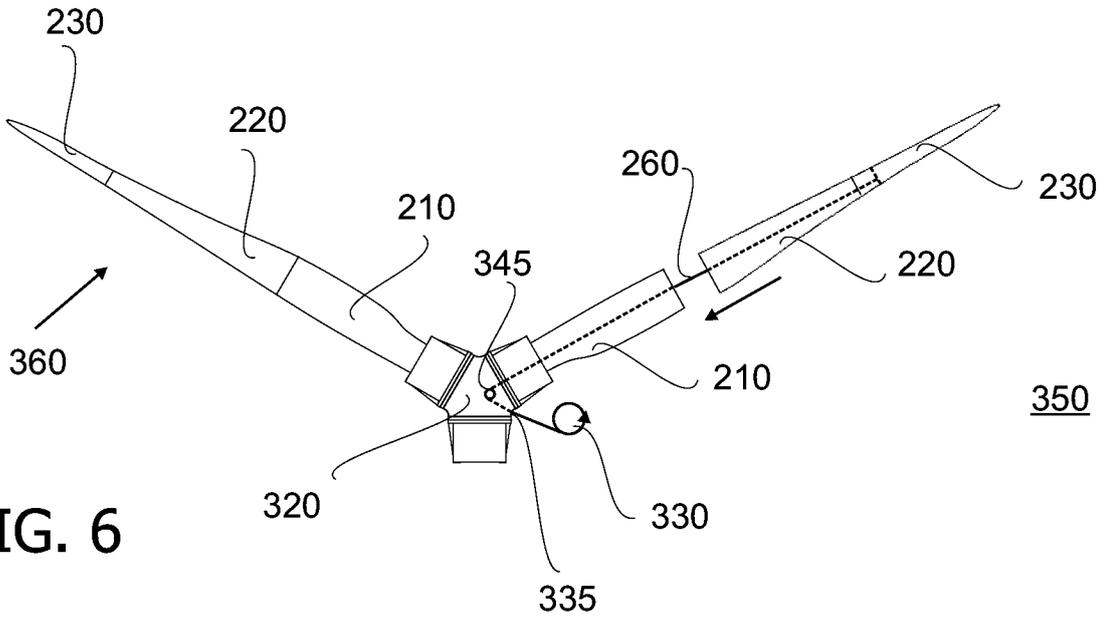


FIG. 8

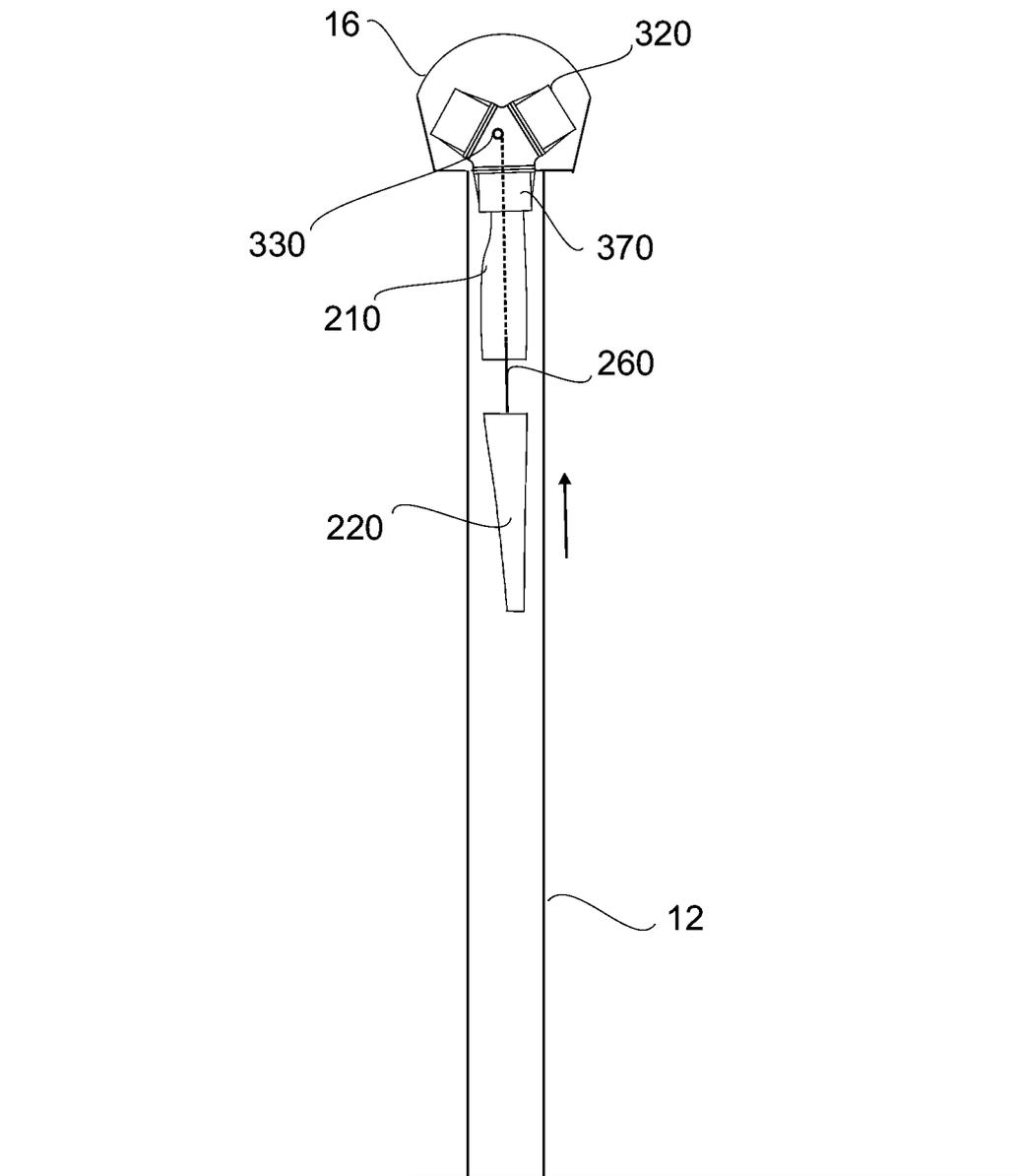


FIG. 9

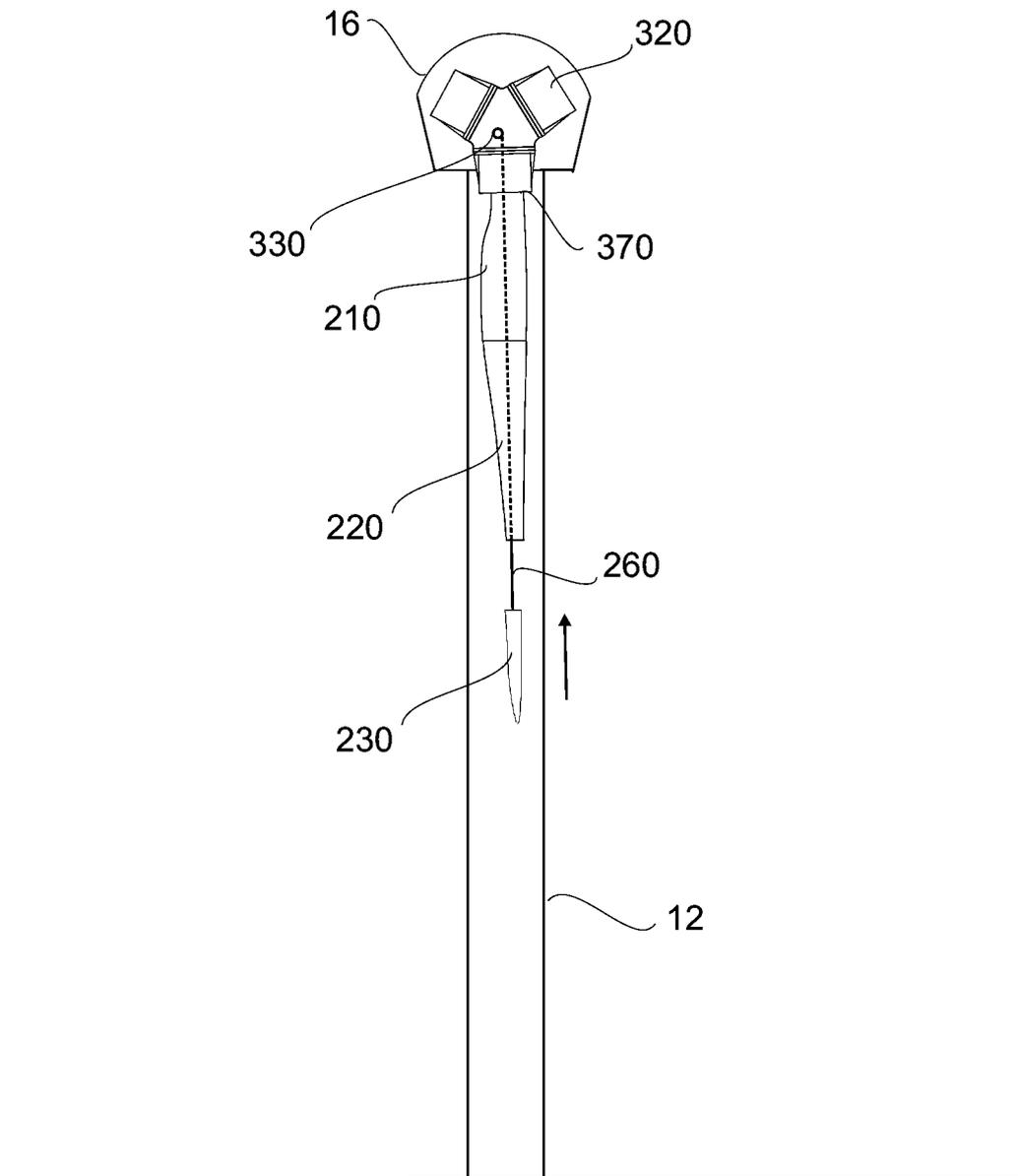


FIG. 10

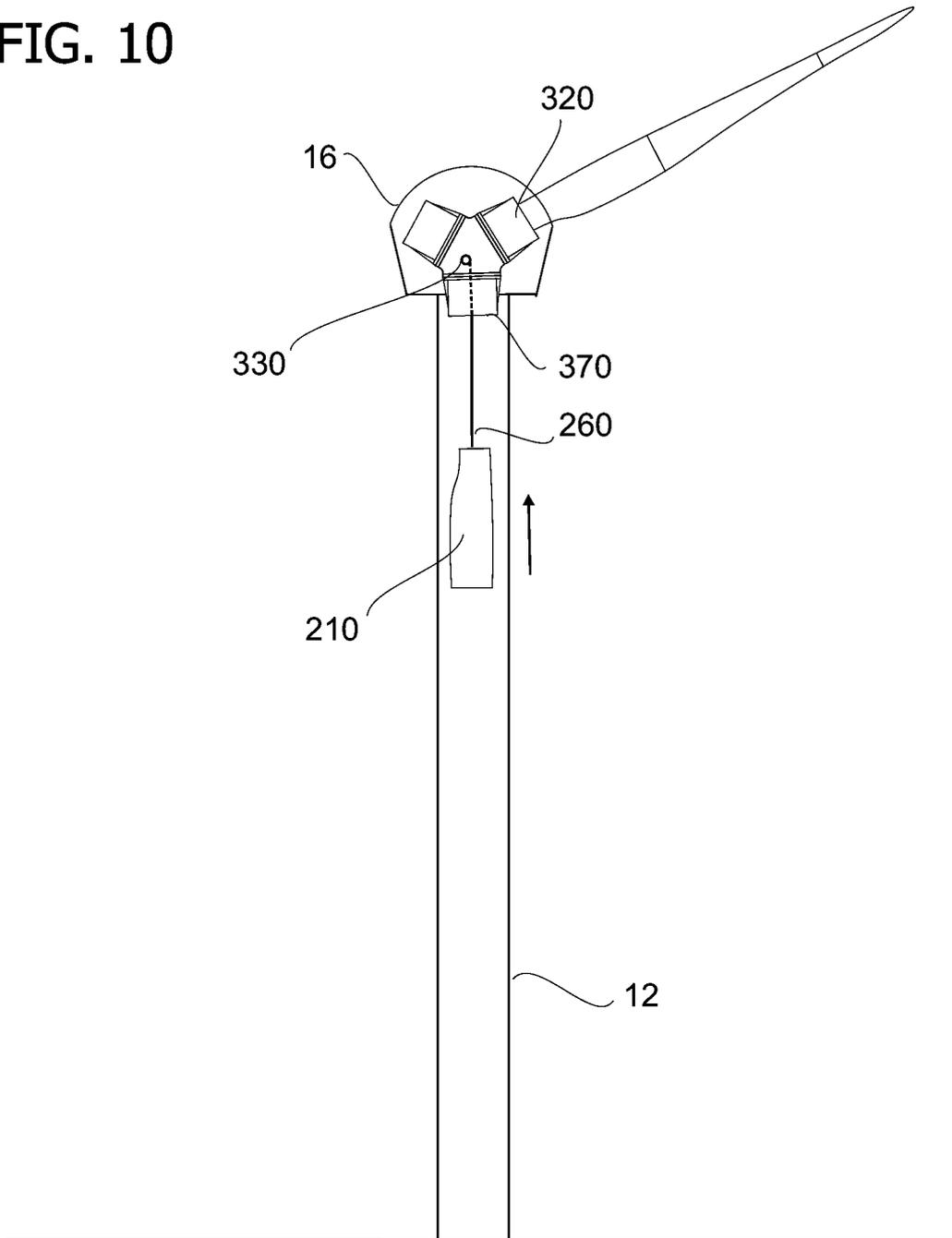


FIG. 11

