(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2020 007 543 B3** 2022.03.17

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 007 543.6**
(22) Anmeldetag: **08.12.2020**
(43) Offenlegungstag: **–**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **17.03.2022**

(51) Int Cl.: ***F03D 3/06*** (2006.01)

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

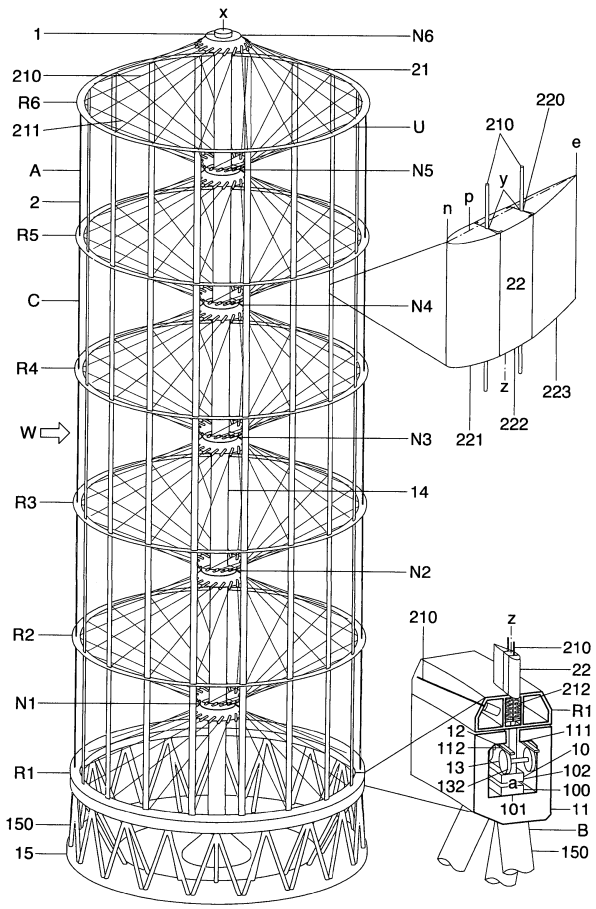
(73) Patentinhaber:
Grimm, Friedrich B., 70376 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **WINDKRAFTANLAGE MIT EINER VERTIKALEN ROTATIONSACHSE**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage (1) mit einer vertikalen Rotationsachse (x) und mit einem Tragwerk (A) für eine in einem Baugrund verankerbare Basis (B) und für einen Rotor (R). Die Basis (B) weist ein ringförmiges, nach oben offenes Hohlprofil (11) für die Aufnahme von Stator (100) und Läufer (102) von mindestens einem Motorgenerator (10) mit einem Fahrweg (101) für ein Fahrwerk (13) auf. Der Rotor (R) erstreckt sich mit einem konstanten oder mit einem wechselnden Radius (r) zu der vertikalen Rotationsachse (x) über eine Höhe (h) zwischen einem unteren, der Basis (B) zugewandten Ringträger (R1) und mindestens einem oberen Ringträger (R2-Rn) und weist eine Vielzahl von dreiteilig ausgebildeten Rotorblättern (2) auf, die sich mit einem variablen Flügelprofil (22) entlang einer geraden Längsmittelachse (z) mit einer Profilsehne (p) erstrecken. Die mittleren Flügelsegmente (222) der Rotorblätter (2) sind mit den Ringträgern (R1-Rn) verbunden und weisen entweder Tragprofile (200) für eine selbsttragende Gitterschale (20) oder paarweise angeordnete Tragseile (210) für ein von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten Mast (14) abgespanntes Seiltragwerk (21) auf. Der untere Ringträger (R1) ist mit dem Läufer (102) und das ringförmige, nach oben offene Hohlprofil (11) mit dem Stator (100) des Motorgenerators (10) verbunden, sodass das Fahrwerk (13) mit einem Hinterschnitt (111) in das ringförmige Hohlprofil (11) ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**10 2017 002 797**	**B3**
DE	**38 25 241**	**A1**
DE	**10 2010 011 708**	**A1**
DE	**10 2011 117 631**	**A1**
US	**7 726 934**	**B2**
US	**9 267 490**	**B1**
US	**2008 / 0 095 608**	**A1**
US	**2008 / 0 267 777**	**A1**
US	**2010 / 0 322 770**	**A1**
US	**2011 / 0 280 708**	**A1**
US	**2012 / 0 091 726**	**A1**
US	**2013 / 0 183 164**	**A1**
US	**4 383 801**	**A**
WO	**2017/ 089 047**	**A1**

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Windkraftanlage mit einer vertikalen Rotationsachse und mit einer Vielzahl von Rotorblättern, bei der jedes einzelne Rotorblatt, vergleichbar mit einem Segelboot, beständig eine vertikale Achse umrundet und dabei einen Fahrweg auf einer kreisförmigen Umlaufbahn zurücklegt. Aus der Analogie zu einem Fahrzeug leitet sich die im Rahmen der Patentanmeldung benutzte Terminologie ab: Der Rotor hat dementsprechend ein von mindestens einem Motorgenerator gebildetes Fahrwerk, bei dem der Stator des Motorgenerators jeweils einen Fahrweg für den Läufer des Motorgenerators bildet und der Läufer über das Fahrwerk mit dem unteren Ringträger des Rotors verbunden und an einem Hinterschnitt des ringförmigen Hohlprofils der Basis gelagert ist. Dem Hauptanspruch entsprechend hat die Windkraftanlage ein Tragwerk für die in einem Baugrund verankerbare Basis und für den Rotor. Die Basis weist ein ringförmiges, nach oben offenes Hohlprofil auf, das insbesondere als ein ringförmiges C-Profil für die Aufnahme von Stator und Läufer von mindestens einem Motorgenerator mit einem Fahrweg für ein Fahrwerk ausgebildet ist. Der Rotor erstreckt sich mit einem konstanten oder mit einem wechselnden Radius zu der vertikalen Rotationsachse über eine Höhe zwischen einem unteren, der Basis zugewandten Ringträger und mindestens einem oberen Ringträger und hat eine Vielzahl von dreiteilig ausgebildeten Rotorblättern, die jeweils ein vorderes Flügelsegment mit einer Flügelnase, ein mittleres Flügelsegment mit einer maximalen Profildicke und ein hinteres Flügelsegment mit einer Flügelhinterkante aufweisen und sich mit einem variablen Flügel- profil entlang einer geraden Längsmittelachse mit einer Profilsehne zwischen der Flügelnase und der Flügelhinterkante erstrecken. Die mittleren Flügelsegmente sind entweder als Tragprofile einer selbsttragenden Gitterschale, oder als paarweise angeordnete Tragseile eines von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Mast abgespannten Seiltragwerks ausgebildet. Dabei ist der untere Ringträger mit dem Läufer und das ringförmige, nach oben offene Hohlprofil mit dem Stator des Motorgenerators verbunden, sodass das Fahrwerk des Rotors mit einem Hinterschnitt in das nach oben offene Hohlprofil eingreift und eine Kippsicherung für den Rotor bildet und ein Luftspalt mit einem definierten Spaltmaß zwischen dem Stator und dem Läufer dadurch sicherstellt, dass der Rotor im Betrieb der Windkraftanlage elektromagnetisch an den Fahrweg herangezogen wird. Die Erfindung betrifft Windkraftanlagen, die entsprechend der Beaufort-Skala bei Windstärken von 4-12 betrieben und in unterschiedlichen Größen hergestellt werden können.

[0002] Windkraftanlagen mit einer vertikalen Rotationsachse sind als sog. Darrieus-Rotoren nach ihrem Erfinder benannt und haben im Vergleich zu Windkraftanlagen mit einer horizontalen Rotationsachse den großen Vorteil, dass sie unabhängig von der jeweiligen Strömungsrichtung arbeiten. Dabei sind die Rotorblätter mit einem radialen Abstand zu der Rotationsachse angeordnet und haben ein symmetrisches Flügelprofil. Ausgehend von dem Betz'schen Gesetz, das für die Nutzung der in einer Strömung gespeicherten kinetischen Energie eine theoretische Obergrenze von knapp 60% feststellt, erreichen bekannte Vertikalachsrotoren nur einen Wirkungsgrad von etwa 30% bis maximal 45%, während der maximale Wirkungsgrad bei Horizontalachsrotoren mit einem asymmetrischen Flügelprofil bei etwa 50% liegt. Bei einer Windkraftanlage mit vertikaler Rotationsachse addieren sich die von den Rotorblättern bewirkten Sogkräfte zu einer großen, leeseitig wirksamen Schubkraft, die von der Tragkonstruktion aufgenommen werden muss. Darüber hinaus können periodisch auftretende Lastwechsel zu Schwingungen führen, die insbesondere bei größeren Turbinen schwer zu beherrschen sind. Bei bekannten, um eine horizontale Drehachse rotierenden Windkraftanlagen sind in der Regel drei in einem Winkel von 120 Grad radial voneinander beabstandete und über einen Rotorkopf mit der Nabe verbundene Rotorblätter vorgesehen. Auch hier bewirken die Rotorblätter sehr hohe, luvseitig wirksame Schubkräfte, die von dem Mast der Windkraftanlage aufgenommen werden müssen. Ein am Baugrund eingespannter Mast mit einem Azimutlager an seinem oberen Ende nimmt die leeseitig wirkende Schubkraft auf und trägt sie in den Baugrund ab. Dieses Tragwerk, bei dem sowohl der Mast als auch die Rotorblätter als biegebeanspruchte Tragglieder ausgebildet sind, gelangt ab einem Rotordurchmesser von etwa 170 m an eine strukturell bedingte Obergrenze. Mit zunehmender Höhe wächst die für eine am Baugrund eingespannte Mastkonstruktion erforderliche Masse im Vergleich zu der Masse des Rotors überproportional, sodass der Mast bzw. der Turm einen zunehmenden Anteil an den Erstellungskosten verursacht und auch optisch das dominierende Element der Windkraftanlage darstellt. Im Jahr 2018 betrug die installierte Leistung bei der Windenergie 52,5 GW an Land und auf See 6,4 GW. In der Summe hatte damit die Windenergie im Jahr 2018 einen Anteil von 18,6% am deutschen Strombedarf. In Zukunft kann, selbst bei Einhaltung restriktiver Flächennutzungskriterien, dieser Anteil auf 400 TWh/a gesteigert werden, sodass die Windkraft dann 60% des deutschen Strombedarfs erzeugen würde. Die größten Einzelanlagen, wie z.B. die Enercon E126, haben eine Nennleistung von 7580 kW bei einem Rotordurchmesser von 127 m und einer Nabenhöhe von 135 m. Das bedeutet, dass für den weiteren Aus-

bau der Windenergie auch zukünftig eine große Anzahl von Einzelanlagen erforderlich sein wird. Es ist daher wünschenswert, die Leistung einer einzelnen Windkraftanlage zu vervielfachen, um die Anzahl der Windkraftanlagen zu begrenzen. Der Ausbau der Windenergie stößt in der Bevölkerung auf Widerstand überall dort, wo die Windkraftanlagen in unmittelbarer Nähe zu Wohngebieten aufgestellt werden. Beklagt werden einerseits die Lärmentwicklung durch Schlaggeräusche, die von den am Mast vorbeilaufenden Rotorblättern hervorgerufen werden und andererseits optische Beeinträchtigungen durch den dynamischen Schattenwurf der Rotorblätter und die unübersehbare Drehbewegung des Rotors. Mit vorwiegend biegezug- und biegedruckbeanspruchten Bauteilen haben herkömmliche Windkraftanlagen heute eine strukturell bedingte Obergrenze erreicht. Aktuelle Entwicklungen zielen darauf ab, den Rotordurchmesser dreiflügeliger Windkraftanlagen auf mehr als 200 m zu erweitern. Schwerkraft und Dynamik werden diesen rotorbrechenden Experimenten physikalische Grenzen aufzeigen. Den Zusammenhang zwischen Größe und Strukturform hat bereits Galileo Galilei in der 1638 erstmals, in Leiden erschienenen Veröffentlichung „discorsie demonstrationi mathematiche...“ und in der 1890 in deutscher Übersetzung in Leipzig erschienenen Veröffentlichung „Unterredung und mathematische Demonstration über zwei Wissenszweige die Mathematik und die Fallgesetze betreffend“ erläutert, wenn er auf einen Knochen bezugnehmend feststellt: „Hieraus erkennen wir nun, wie weder Kunst noch Natur ihre Werke unermesslich vergrößern können, sodass es unmöglich erscheint, immense Schiffe, Paläste oder Tempel zu erbauen, deren Ruder, Rahen, Gebälk, Eisenverkettung und andere Teile bestehen könnten, wie andererseits die Natur keine Bäume von übermäßiger Größe entstehen lassen kann, denn die Zweige würden schließlich durch das Eigengewicht zerbrechen; auch können die Knochen der Menschen, Pferde und anderer Tiere nicht übermäßig groß sein und ihrem Zweck entsprechen, denn solche Tiere könnten nur dann so bedeutend vergrößert werden, wenn die Materie fester wäre und widerstandsfähiger als gewöhnlich; sonst müssten bedeutende Verdickungen der Knochen gedacht werden, damit keine Deformationen eintreten. Zur Erläuterung habe ich euch einen Knochen gezeichnet...“. Die Erkenntnis, dass man ein Tragsystem, das für eine bestimmte Größe optimal ausgelegt ist, nicht einfach skalieren kann, gilt insbesondere auch für Windturbinen mit horizontaler Rotationsachse. Für ein „Repowering“, bei dem es gilt vorhandene Windkraftanlagen durch neuere und leistungsstärkere zu ersetzen, eignen sich Windkraftanlagen, die als Einzelanlagen 10 bis 20 herkömmliche Windkraftanlagen ersetzen können, als Pioniere einer nächsten Generation von Windkraftanlagen besonders gut.

[0003] Aus der DE 10 2011 117 631 A1 geht eine Windkraftanlage mit vertikaler Rotationsachse hervor, bei der die aerodynamisch wirksamen Flügel einteilig sind und ein statisch wirksames Netzgitter aus Dreiecksmaschen bilden.

[0004] Aus der US 4 383 801 A geht ein verschwenkbares Rotorblatt für eine Windturbine mit vertikaler Rotationsachse hervor, das in der bevorzugten Ausführungsform einteilig ausgebildet ist, aber wie in **Fig. 4** gezeigt auch zwei- oder dreiteilig ausgebildet sein kann. Der Gedanke eines in sich starren Flügelsegments als integraler Bestandteil der Tragstruktur, ist hier nicht offenbart.

[0005] Aus der WO 2017 / 089 047 A1 geht eine Windkraftanlage mit vertikaler Drehachse hervor, bei der einteilige Rotorblätter drehbar auf einer Kreisbahn gelagert sind und mindestens teilweise mit einer gewölbten Oberseite in Leerichtung ausrichtbar sind.

[0006] Aus der DE 10 2010 011 708 A1 geht eine Turbine mit passiver Schaufelstellung hervor, bei der ein Getriebe mit einem Gestänge eine Verstellung der Rotorblätter derart ermöglicht, dass sich die Saugseite jeweils leeseitig zur Windrichtung ausrichtet.

[0007] Aus der US 2008 / 0 267 777 A1 geht eine Windturbine mit vertikaler Rotationsachse hervor, deren Rotorblätter durch Zugseile gehalten werden und die in einer Reihe von Ausführungsbeispielen an ihrer Basis ein Fahrgestell mit einer kreisförmigen Schiene aufweist.

[0008] Aus der DE 10 2017 002 797 B3 geht ein Strömungskonverter mit einer horizontal oder vertikal angeordneten, ortsfesten Drehimpulsachse und mindestens einer Rotationsachse hervor, der dazu ausgebildet ist, die in einer Wind- oder Wasserströmung enthaltene kinetische Energie in eine Drehbewegung zu wandeln. Die asymmetrischen Flügelprofile sind als Wendeflügel ausgebildet, deren Saugseite regelmäßig von der Außenseite zu der Innenseite der Umlaufbahn wechselt.

[0009] Aus der US 2011 / 0 280 708 A1 geht eine Windkraftanlage mit drei spiralförmig um die vertikale Rotationsachse angeordneten Rotorblättern hervor. Die Umlaufbahn eines Rotorblatts weist von unten nach oben einen zunehmenden Kreisdurchmesser auf, wobei die Profilsehne der Rotorblätter bogenförmig ausgebildet ist und die Saugseite eines Rotorblatts auf der Außenseite der Umlaufbahn liegt.

[0010] Aus der US 2012 / 0 091 726 A1 geht ein Strömungskonverter mit einer Vielzahl von geraden Rotorblättern hervor, die an eine vertikale Rotationsachse angelenkt sind. Die Rotorblätter sind jeweils

asymmetrisch ausgebildet und weisen ein Profil auf, dessen Saugseite zur Rotationsachse ausgerichtet ist.

[0011] Aus der US 2013 / 0 183 164 A1 geht eine Vertikalachsturbine hervor, bei der ein sich um die vertikale Rotationsachse windendes Rotorblatt aus herstellungstechnischen Gründen aus geraden, in sich verwundenen Flügelsegmenten aufgebaut ist.

[0012] Aus der US 9 267 490 B1 gehen unterschiedliche Techniken für die Anordnung der Rotorblätter einer Windkraftanlage um eine vertikale Rotationsachse hervor, die jeweils in Drehrichtung einen wechselnden Steigungswinkel aufweisen. Die Anordnungen der Rotorblätter sollen zyklische Belastungsspitzen verhindern und eine passive Begrenzung der Drehzahl ermöglichen.

[0013] Aus der US 7 726 934 B2 geht eine Vertikalachsturbine hervor, bei der eine Mehrzahl gerader Rotorblätter jeweils an ihrem oberen und an ihrem unteren Ende mit einem Ringträger verbunden sind, wobei der obere Ringträger einen kleineren Durchmesser als der untere Ringträger hat und für die Verbindung mit einer Nabe radiale Speichen vorgesehen sind.

[0014] Aus der US 2010 / 0 322 770 A1 geht eine Turbine insbesondere mit vertikaler Rotationsachse hervor, deren Rotorblätter jeweils ein symmetrisches Flügelprofil aufweisen, dessen aerodynamische Eigenschaften in einem ersten Längsabschnitt durch eine Ausnehmung auf der Außenseite und im zweiten Längsabschnitt durch eine Ausnehmung auf der Innenseite der Umlaufbahn verändert werden. Diese Ausnehmungen sollen einerseits das Anlaufen des Rotors erleichtern und andererseits eine Begrenzung der Rotordrehzahl ermöglichen. Innerhalb eines Rotorblatts wechseln die Ausnehmungen von der Innenseite auf die Außenseite der Umlaufbahn.

[0015] Aus der DE 38 25 241 A1 geht ein Darrieus--Rotor hervor, bei dem das Rotorblatt einen lastabtragenden Kern und eine darauf aufgesetzte aerodynamisch wirksame Schale aufweist, wobei der lastabtragende Kern auch von einem Stahlseil gebildet werden kann.

[0016] Aus der US 2008 / 0 095 608 A1 geht eine Windturbine mit vertikaler Rotationsachse hervor, bei der die einheitlich profilierten Rotorblätter an einem Gelenkarm gelagert sind, der ein Verkippen der Rotorblätter ermöglicht, sodass sich der Abstand der Rotorblätter zur Rotationsachse während eines Umlaufs ändert.

Aufgabenstellung

[0017] Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Windkraftanlage mit vertikaler Rotationachse anzugeben, bei der die einzelnen Teilsysteme, wie das Tragsystem, das von den Rotorblättern des Rotors gebildete aerodynamische System, das Fahrsystem des Rotors und das elektromagnetische System des Motorgenerators auf neuartige Weise zu einem Gesamtsystem integriert sind. Insbesondere besteht die Aufgabe der Erfindung darin, im Betrieb der Windkraftanlage elektromagnetische Anziehungskräfte des Motorgenerators zu nutzen, um den Rotor mit dem Fahrweg der Basis zu verspannen. Weiterhin besteht die Aufgabe der Erfindung darin den Wirkungsgrad der Windkraftanlage so zu verbessen, dass kein Unterschied mehr zu dem Wirkungsgrad einer Windkraftanlage mit horizontaler Rotationsachse besteht und eine Windkraftanlage anzugeben, die gemäß der Beaufort--Skala bereits bei schwachem Wind anläuft und bei der das aerodynamische System im Betrieb der Windkraftanlage an starken Wind und schweren Sturm angepasst werden kann. Schließlich besteht die globale Aufgabe der Erfindung darin, eine Kippsicherung für den Rotor der Windkraftanlage anzugeben, um in allen Betriebszuständen der Windkraftanlage einen Luftspalt mit einem konstanten Spaltmaß zwischen dem Stator und dem Läufer des Motorgenerators zu gewährleisten, sodass einer neuen Generation von Windkraftanlagen mit vertikaler Rotationsachse für die weltweit notwendige Energiewende genutzt werden kann. Diese Aufgaben werden mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen der Erfindung gelöst.

Die Integration der Systeme der Windkraftanlage

[0018] Die Windkraftanlage hat ein Tragsystem für eine in einem Baugrund verankerbare Basis und für einen Rotor. Die Basis weist ein ringförmiges, nach oben offenes Hohlprofil für die Aufnahme von Stator und Läufer eines synchron erregten Motorgenerators mit einem Fahrweg für ein Fahrwerk auf. Der Rotor bildet das aerodynamische System der Windkraftanlage und erstreckt sich mit einem konstanten oder mit einem wechselnden Radius zu der vertikalen Rotationsachse über eine Höhe zwischen einem unteren, der Basis zugewandten Ringträger und mindestens einem oberen Ringträger und weist eine Vielzahl von dreiteiligen Rotorblättern mit variablen Flügelprofilen und mit geraden Längsachsen auf. Das variablen Flügelprofil weist jeweils ein vorderes Flügelsegment mit einer Flügelnase, ein mittleres Flügelsegment mit einer maximalen Profildicke und ein hinteres Flügelsegment mit einer Flügelhinterkante auf. Tragprofile oder Tragseile des Tragsystems bilden einen integralen Bestandteil der mit dem unteren Ringträger verbundenen Rotorblätter des Rotors.

[0019] Das Tragsystem für das aerodynamische System ist entweder als eine selbsttragende, aus Tragprofilen, Ringträgern und Spannseilen aufgebaute Gitterschale oder als ein von Tragseilen, Spannseilen und Ringträgern gebildetes und an mindestens einer Nabe von einem koaxial und konzentrisch zu der vertikalen Rotationsachse angeordneten Mast abgespanntes Seiltragwerk ausgebildet. Die mittleren Flügelsegmente der Rotorblätter sind mit den Ringträgern starr verbunden und sind weisen als ein integraler Bestandteil des Tragwerks entweder Tragprofile für eine selbsttragenden Gitterschale, oder Tragseile für ein von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Mast abgespannten Seiltragwerk auf.

[0020] Dabei ist der untere Ringträger mit dem Läufer und das ringförmige, nach oben offene Hohlprofil mit dem Stator des Motorgenerators verbunden, sodass das Fahrwerk des Rotors mit einem Hinterschnitt in das nach oben offene Hohlprofil eingreift und eine Kippsicherung für den Rotor bildet und ein Luftspalt mit einem definierten Spaltmaß zwischen dem Stator und dem Läufer sicherstellt dass der Rotor im Betrieb der Windkraftanlage elektromagnetisch an den Fahrweg herangezogen wird.

[0021] Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Im Einzelnen hat die Erfindung folgende vorteilhafte Eigenschaften für die folgenden Aufgaben:

- Angabe einer Windkraftanlage, die nach der Beaufort-Skala bei Windstärken von 3-12 betrieben werden kann,
- Angabe eines dreiteiligen Rotorblatts, das auf der Umlaufbahn des Rotors variable Betriebsstellungen für Windstärken von 3-5 und 5-9 sowie 9-12 entsprechend der Beaufort-Skala einnehmen kann,
- Angabe einer pneumatisch, hydraulisch, elektrisch oder mechanisch betreibbaren Blattverstellung für das dreiteilige Rotorblatt,
- Angabe Auftrieb erzeugender Ringträger für den Rotor mit einer gewölbten Oberseite und einer flachen Unterseite,
- Angabe eines Rotors, bei dem Tragprofile oder Tragseile des Tragwerks einen integralen Bestandteil der Rotorblätter bilden,
- Angabe eines Rotors, bei dem das Tragwerk als eine selbsttragende Gitterschale ausgebildet ist,
- Angabe eines Rotors, bei dem das Tragwerk ein von einem Mast abgespanntes Seiltragwerk für die Rotorblätter aufweist,
- Angabe von Tellerfedern zur Vorspannung des Seiltragwerks,
- Angabe einer Speichenradkonstruktion für die Verbindung des Masts mit den Ringträgern des Rotors,
- Angabe eines Seiltragwerks mit vertikalen Abschnitten zwischen den Ringträgern, die an dem Mast aufgehängt und mit dem Mast verspannt sind,
- Angabe eines Seiltragwerks, bei dem der Mast einen Großteil des Rotorschubs und des Kippmoments aufnimmt,
- Angabe eines Hinterschnitts zwischen dem Hohlprofil der Basis und dem Fahrwerk des unteren Ringträgers des Rotors als eine Kippsicherung für die Windkraftanlage, als Kippsicherung für die Windkraftanlage,
- Angabe eines mit dem ringförmigen Sockel verbundenen Fahrwegs,
- Angabe eines von dem Stator des Motorgenerators gebildeten Fahrwegs für den Läufer des Motorgenerators,
- Angabe einer berührungslosen Verbindung zwischen dem Stator und dem Läufer eines Motorgenerators an der Basis der Windkraftanlage,
- Angabe eines Motorgenerators, dessen Stator mit dem ringförmigen Sockel und dessen Läufer mit dem unteren Ringträger des Rotors verbunden ist,
- Angabe eines schaltbaren elektromagnetischen Stabilisierungssystems für den Rotor bei der vier kreisringförmige Motorgeneratoren jeweils in radiale Sektoren unterteilt sind und in Übereinstimmung mit der jeweiligen Windrichtung auf der Luvseite den Rotor an die Basis heranziehen und auf der Leeseite von der Basis abstoßen,
- Angabe eines Motorgenerators, der den Rotor bei schwachem Wind auf die notwendige Anlaufgeschwindigkeit beschleunigt.

Das aerodynamische System der Windkraftanlage

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist das Rotorblatt mehrteilig ausgebildet und besitzt ein aus drei in sich starren Flügelsegmenten aufgebautes variables Flügelprofil. Das dreiteilig aufgebaute Rotorblatt weist zwei gegeneinander verdrehbare und in der jeweiligen Blattstellung feststellbare Blattsegmente auf. Entsprechend ist auch das variable Flügelprofil dreiteilig ausgebildet, wobei zwischen einem vorderen, der Flügelnase zugehörenden Flügelsegment, einem mittleren, im Bereich der maximalen Profildicke mit dem Tragwerk

verbundenen Flügelsegment und einem hinteren Flügelsegment mit der Flügelhinterkante Scharniere mit Drehachsen für einen definierten Drehbereich ausgebildet sind. Das dreiteilige variable Flügelprofil hat in einer Grundstellung ein symmetrisches Flügelprofil, dessen Profilsehne tangential zu der kreisförmigen Umlaufbahn des Rotors ausgerichtet ist, wobei die Profilsehne durch Verschwenken des vorderen und des hinteren Flügelsegments einen positiven Anstellwinkel gegenüber einer Tangente an der Umlaufbahn des Rotors einnimmt, und das variable Flügelprofil zu einem asymmetrischen Flügelprofil variiert ist. In einem Umlauf des Rotors nimmt das variable Flügelprofil unterschiedliche Betriebsstellungen ein und weist in einer Grundstellung ein symmetrisches, tangential zu dem Radius der Umlaufbahn angeordnetes variables Flügelprofil auf, das in ein asymmetrisches Flügelprofil wandelbar ist. Im Betrieb der Windkraftanlage ist die Saugseite des variablen Flügelprofils im luvseitigen Umlauf des Rotors zu der Innenseite der Umlaufbahn orientiert, während die Saugseite des variablen Flügelprofils im leeseitigen Umlauf des Rotors zu der Außenseite der Umlaufbahn orientiert ist. Um die Drehzahl des Rotors zu begrenzen, wird die Saugseite des variablen Flügelprofils im luvseitigen Umlauf des Rotors zu der Außenseite und im leeseitigen Umlauf des Rotors zu der Innenseite der Umlaufbahn orientiert, sodass der Rotor nur noch geringe tangentiale Antriebskräfte generiert und deshalb auch bei Sturm betrieben werden kann. Das vordere und des hintere Flügelsegment sind mittels von Scharnieren an das Tragprofil angelenkt und ermöglichen ein Ein- und Ausdrehen des vorderen und hinteren Flügelsegments jeweils um bis zu sieben Grad auf der Umlaufbahn gegenüber der oben gezeigten symmetrischen Grundstellung des variablen Flügelprofils. Überblattungsstöße stören die laminare Umströmung des variablen Flügelprofils in Form eines Clark YM15-Profils möglichst wenig. Die dreiteilig ausgebildeten Rotorblätter mit dem variablen Flügelprofil und die in der Figurenbeschreibung weiter erläuterten unterschiedlichen Flügelstellungen ermöglicht nicht nur den Wirkungsgrad einer Windkraftanlage mit horizontaler Rotationsachse zu erreichen, sondern auch die Windkraftanlage mit vertikaler Rotationsachse bei jeder Windstärke ab Windstärke 4 zu betreiben. Eine weitere Ausführungsform der Erfindung betrifft eine Rohrkonstruktion für die selbsttragende Gitterschale, die aus dreiteilig ausgebildeten Rotorblättern mit einem variablen Flügelprofil aufgebaut ist. Dabei wird das Tragwerk von konzentrisch und koaxial zu den Längsmittelachsen der Rotorblätter angeordneten Rundhohlprofilen gebildet, die als Tragprofile an Knotenpunkten untereinander verbunden sind und das mittlere Flügelsegment des variablen Flügelprofils bilden, wobei das vordere und das hintere Flügelsegment formschlüssig an die Außenoberfläche des Rundhohlprofils anschließen. Das vordere und das hintere Flügelsegment sind um die Drehachse derart drehbar, dass die Sauseiten der Rotorblätter im luvseitigen Umlauf des Rotors zu der Innenseite und im leeseitigen Umlauf des Rotors zu der Außenseite der Umlaufbahn orientiert sind und das Drehen der Flügelsegmente mechanisch, elektrisch oder hydraulisch erfolgt. Ein Rotorumlauf einer Windkraftanlage mit 200 m Durchmesser dauert etwa 80 Sekunden, sodass genug Zeit bleibt, um am Übergang vom luvseitigen Umlauf in den leeseitigen Umlauf des Rotors die Rotorblätter zu verstellen. Dazu werden abschnittsweise angeordnete Kompressoren, Ventile und eine pneumatische Steuerungseinheit benötigt. Zwei unterschiedliche Tragsysteme für die Windkraftanlage In einer ersten vorteilhaften Ausführungsvariante ist das Tragwerk des Rotors als eine selbsttragende Gitterschale ausgebildet. Dabei sind die mittleren Flügelsegmente des variablen Flügelprofils als im Querschnitt kastenförmige Tragprofile ausgebildet, die mittels von Knotenpunkten untereinander verbunden sind und zusammen mit seilverspannten, querausssteifenden Ringträgern eine selbsttragende Gitterschale bilden, die sich in Form eines Rotationshyperboloids zu dem ringförmigen Sockel hin erweitert. Die auf der Umlaufbahn einander gegenüberliegenden Flansche des kastenförmigen Tragprofils bilden den mittleren Teil der Oberfläche des variablen Flügelprofils. Sind die mittleren Flügelsegmente des variablen Flügelprofils als Rundhohlprofile ausgebildet, wird eine Verflechtung des Tragsytems mit dem aerodynamischen System ermöglicht, bei dem ein vorderes und ein hinteres Flügelsegment an das von dem Rundhohlprofil gebildete mittlere Flügelsegment angelenkt sind. Die selbsttragende Gitterschale hat dreieckige und/oder viereckige Felder. Das Tragsystem der Gitterschale ist einem triangulierten Fachwerk vergleichbar; in Verbindung mit der Schalenbauweise liegt die strukturell bedingte Obergrenze der Bauhöhe für die Windkraftanlage hier bei etwa 600 m. In einer zweiten Ausführungsvariante der Erfindung ist das Tragwerk des Rotors als ein von einem Mast abgespanntes Seiltragwerk ausgebildet. Mittels von Trag- und Spannseilen ist der Rotor an einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Mast aufgehängt. Tragseile auf der Umlaufbahn tragen die Rotorblätter und sind mittels von an den unteren Ringträger angreifenden Tellerfedern derart vorgespannt, dass auch die jeweils leeseitigen Tragseile in allen Betriebszuständen der Windkraftanlage unter Zugspannung stehen. Eine zweite Gruppe von Tragseilen verbinden die Naben mit den Ringträgern und greifen dabei von oben an die Ringträger an, während Spannseile, die die Ringträger mit den Naben verbinden, von unten an die Ringträger angreifen. Die Naben selbst sind mittels von Kegelrollenlagern an Querausssteifungen der Stahlbetonröhre des Masts gelagert. Dabei weisen die jeweils oberen Tragseile und die jeweils unteren Spannseile, bezogen auf einen Radius des Rotors, einen gegensätz-

lichen Versatzwinkel auf. Mittels einer Mehrzahl von hintereinander in Hülsen angeordneten Tellerfedern sind die Trag- und Spannseile vorgespannt und liegen zusammen mit den Ringträgern und den Naben auf der virtuellen Oberfläche eines Rotationsparaboloids. Die torsions-, biege- und schubsteife Ausbildung der Speichenräder überträgt mittels der Naben einen großen Teil des Biegemoments auf den zentralen Mast, der sich bei einigen Ausführungsbeispielen der Erfindung entlang einer Parabel zum Fußpunkt hin erweitert. An der Basis der Windkraftanlage überträgt das Seiltragwerk des Rotors etwa die Hälfte des Biegemoments auf das ringförmige Hohlprofil der Basis, während die zweite Hälfte von dem Mast auf das Fundament übertragen wird. Die oberen Ringträger sind begehbar und dienen als Wartungsgänge für die Inspektion der Rotorblätter. Mit zug- und druckbeanspruchten Tragsystemen gelingt es weitspannende Brücken mit Spannweiten von 1000 bis 2000 m zu bauen. Die vorgeschlagene Windturbine mit einer Bauhöhe von 1000 m und mehr nutzt das arbeitsteilige Prinzip für einen druckbeanspruchten Mast, der als eine schlanke Röhre mit Querausteifungen z.B. aus hochfestem Stahlbeton mit einer Stahlbewehrung der Werkstoffklasse 460 hergestellt werden kann und für einen von Zuggliedern und Rotorblättern gebildeten Rotor. Besonders vorteilhaft ist hier das vorgeschlagene Abspannsystem, bei dem die vertikalen Rotormodule abschnittsweise an dem zentralen Mast aufgehängt sind. Tellerfedern stellen sicher, dass sowohl die luvseitigen als auch die leeseitigen Tragseile unter Zugspannung stehen. Die mit den Tragseilen verbundenen Tellerfedern wirken als Dämpfer, um Lastspitzen zu brechen. Ein Rotorblatt ist jeweils an einem Paar von Tragseilen aufgehängt.

Das Fahrsystem der Windkraftanlage

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung weist der Fahrweg für das Fahrwerk des Motorgenerators mindestens ein innerhalb des ringförmigen Hohlprofils verlegtes Gleis mit zueinander geneigten Fahrschultern von Schienen für Stahlräder mit Spurkränzen des Fahrwerks auf. Das Fahrwerk ist über eine Vielzahl von Fahrgestellen jeweils mit mindestens zwei Radsätzen mit dem unteren Ringträger derart verbunden, dass die Stahlräder mittels von konischen Radlaufflächen formschlüssig auf den zueinander geneigten Fahrschultern der Schienen geführt werden und die Stahlräder im Falle des von einem Mast abgespannten Seiltragwerks an hängenden Schienen geführt werden und die Kippsicherung für den Rotor bilden. Auch im Falle der selbsttragenden Gitterschale werden elektromagnetische Anziehungskräfte des Motorgenerators genutzt um den Rotor mit den Schienen zu verspannen. In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung wird die Kippsicherung des Rotors von einem mit einem Neigungswinkel zu der vertikalen Rotationsachse hin geneigten Gleis gebildet, das senkrecht zu einer Tangente der jeweiligen Tragrichtung der Gitterschale oder des Seiltragwerks angeordnet ist. Das Fahrwerk des unteren Ringträgers ist mit einem Hinterschnitt in dem ringförmigen Hohlprofil der Basis gelagert. Das Tragwerk der Basis leitet die auf das ringförmige Hohlprofil einwirkenden dynamischen Lasten des Rotors mittels von Pfählen über ein Fundament in einen tragfähigen Baugrund ein. Im Falle einer schwimmfähigen Basis ist die Windkraftanlage im Meeresgrund verankerbar. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante der Erfindung wird das Fahrsystem der Windkraftanlage von vier, jeweils mit einem Winkel von 45 Grad zueinander angeordneten Motorgeneratoren gebildet, die im Betrieb der Windkraftanlage eine berührungslose Lagerung des Rotors in dem ringförmigen Hohlprofil der Basis ermöglichen und als ein elektromagnetisches Fahrsystem des Rotors ausgebildet sind.

Das dynamische Stabilisierungssystem der Windkraftanlage

[0024] In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist der Motorgenerator als eine synchron erregte, dreiphasige Drehstrommaschine mit einem Durchmesser von 2 m bis 500 m ausgebildet ausgebildet. Der Läufer der Drehstrommaschine ist entweder mit Permanentmagneten oder mit Tragmagneten mit einer Erregerwicklung bestückt. Der Stator dagegen weist Blechpakete mit dreiphasigen Paketwicklungen für den stählernen Fahrweg auf, sodass der Rotor im Betrieb der Windkraftanlage elektromagnetisch an den Fahrweg herangezogen wird. Eine dynamische Kippsicherung wird mittels einer radialen Unterteilung des Ringgenerators in unabhängig voneinander schaltbare Ringsegmente dadurch ermöglicht, dass in Übereinstimmung mit der Windrichtung jeweils nur die luvseitige Hälfte der Drehstrommaschine als Generator arbeitet. Bei einer auch für sehr große Windkraftanlagen geeigneten Ausführungsvariante der Erfindung sind innerhalb des ringförmigen Hohlprofils vier Motorgeneratoren angeordnet, die ein mit dem unteren Ringträger des Rotors verbundenes Fahrwerk mit zwei oberen und zwei unteren, auf einem polygonalen Hohlprofil jeweils diagonal gegeneinander versetzt angeordneten Statoren mit vier Fahrwegen für vier mit dem Ringträger des Rotors verbundene Läufer aufweisen. Die Motorgeneratoren sind jeweils in eine Mehrzahl ringförmiger Segmente untergliedert, sodass, abhängig von der jeweiligen Windrichtung im luvseitigen Umlauf des Rotors, die beiden unteren Motorgeneratoren aktiviert werden und den Rotor an die Basis heranziehen, während im leeseitigen Umlauf des Rotors die beiden oberen Motorgeneratoren aktiviert werden und den Rotor von der Basis abstoßen. Auf diese Weise wird eine aktive Kippsicherung für den Rotor gebildet, sodass die Stahlräder der Fahr-

gestelle des Fahrwerks exakt auf der von dem Gleis gebildeten Spur geführt werden. In einer besonderen Ausführungsvariante der Erfindung ermöglicht das von vier, jeweils mit einem Winkel von 45 Grad zueinander angeordneten Motorgeneratoren gebildete Fahrwerk im Betrieb der Windkraftanlage eine berührungslose Lagerung des Rotors in dem ringförmigen Hohlprofil der Basis.

[0025] Weitere vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Figuren hervor.

[0026] Es zeigen:

Fig. 1 eine Windkraftanlage in der Übersichtsansicht mit Hervorhebung des variablen Rotorblatts und des Hinterschnitts an der Basis der Windkraftanlage jeweils in isometrischer Darstellung,

Fig. 2 das variable Flügelprofil eines dreiteilig ausgebildeten Rotorblatts in drei unterschiedlichen Flügelstellungen in drei schematischen Querschnitten,

Fig. 3 das variable Flügelprofil nach **Fig. 1-2** in zwölf Umlauf-Positionen des Rotors für die Windstärken 3-6 nach der Beaufort-Skala mit vektorieller Darstellung der aerodynamisch bewirkten Kräfte im Horizontalschnitt,

Fig. 4 das variable Flügelprofil nach **Fig. 1-3** als symmetrisches Flügelprofil in zwölf Umlauf-Positionen des Rotors für die Windstärken 7-9 nach der Beaufort-Skala mit vektorieller Darstellung der aerodynamisch bewirkten Kräfte im Horizontalschnitt,

Fig. 5 das variable Flügelprofil nach **Fig. 1-4** in zwölf Umlauf-Positionen des Rotors für die Windstärken 10-12 nach der Beaufort-Skala mit vektorieller Darstellung der aerodynamisch bewirkten Kräfte im Horizontalschnitt,

Fig. 6 die Windkraftanlage nach **Fig. 1-4** in einem Detail der Verbindung des Rotors mit der Basis und mit einem Motorgenerator mit einem Fahrwerk in einer abgewickelten Perspektive,

Fig. 7 die Windkraftanlage nach **Fig. 1-6**, oben als Ausschnittdetail der Verbindung zwischen dem Mast und dem Rotor in zusammenhängenden perspektivischen Details und unten in einem Schnitt durch einen Ringträger des Rotors,

Fig. 8 die Windkraftanlage nach **Fig. 1-7** in einem Ausschnittdetail der Verbindung zwischen dem dreiteiligen Rotorblatt und dem Ringträger des Rotors in einer Ausschnittperspektive,

Fig. 9 eine Windkraftanlage, deren Tragwerk als eine von einem Mast abgespannte Seilkonstruktion mit einem rotationshyperboloidförmigen Rotor ausgebildet ist, in der isometrischen Übersicht,

Fig. 10 die Windkraftanlage nach **Fig. 9** in einem Detail der Verbindung des Rotors mit der Basis und mit einem Motorgenerator mit einem Fahrwerk in einer abgewickelten Perspektive,

Fig. 11 eine Windkraftanlage, deren Tragwerk als selbsttragende Gitterschale ausgebildet ist und aus zwei übereinandergestapelten Rotationshyperboloiden besteht, in der isometrischen Übersicht,

Fig. 12 das variable Flügelprofil der Windkraftanlage nach **Fig. 11** als ein dreiteilig ausgebildetes Rotorblatt, bei dem das mittlere Flügelsegment als Kastenträger ausgebildet ist, in drei schematischen Querschnitten,

Fig. 13 die Windkraftanlage nach **Fig. 11-12** im Detail mit dem Knotenpunkt der Gitterschale in einer perspektivischen Ausschnittdarstellung,

Fig. 14 die Windkraftanlage nach **Fig. 11-13** in einem Detail der Verbindung des Rotors mit der Basis und mit vier mit einem Fahrwerk verbundenen Motorgeneratoren in einer abgewickelten Ausschnittperspektive,

Fig. 15 eine Windkraftanlage, deren Tragwerk als eine selbsttragende Gitterschale mit einem rotationshyperboloidförmigen Rotor ausgebildet ist, in der isometrischen Übersicht,

Fig. 16 ein variables Flügelprofil der Windkraftanlage nach **Fig. 15** mit einem zweiteilig ausgebildeten Rotorblatt und einem mittleren Flügelsegment, das als Rundhohlprofil ausgebildet ist, in drei schematischen Querschnitten,

Fig. 17 die Windkraftanlage nach **Fig. 15-16** im Detail mit einem Knotenpunkt der von Rundhohlprofilen gebildeten Gitterschale in einer perspektivischen Ausschnittdarstellung.

[0027] Fig. 1 zeigt eine Windkraftanlage 1 mit vertikaler Rotationsachse x, deren Tragwerk A ein von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse x angeordneten Mast 14 abgespanntes Seiltragwerk 21 aufweist. Das Seiltragwerk 21 ist mittels von sechs Naben N1-N6 mit Tragseilen 210, die jeweils von oben an äußere Ringträger R1-R6 angreifen und mittels von Spannseilen 211, die jeweils von unten an die äußeren Ringträger R1-C6 angreifen und mittels von paarweise angeordneten Spannseilen 211, die auf der Umlaufbahn U der variablen Rotorblätter 2 den obersten Ringträger R6 mit dem untersten Ringträger R1 verbinden, mit dem Mast 14 verspannt. Der untere Ringträger R1 greift mittels einer Hinterschneidung 111 in ein ringförmiges Hohlprofil 11 einer ortsfesten Basis B der Wind-

kraftanlage 1 ein. Die Basis B zeigt eine von einem Fundament 15, Pfählen 150 und dem ringförmigen Hohlprofil 11 gebildete Fachwerkstruktur, mit der es gelingt, die Vorspannkräfte der Tragseile 210 in einen tragfähigen Baugrund am Meeresboden einzuleiten. Die Basis B des Masts 14 hat ein kegelförmig erweitertes Fundament 15. Während der Mast 14 etwa ein Drittel des Kippmoments an der Basis 15 aufnimmt, werden zwei Drittel des Kippmoments von den paarweise angeordneten Tragseilen 210 aufgenommen. Diese Tragseile 210 sind, wie in **Fig. 2** gezeigt, mit dem mittleren Flügelsegment 222 des variablen Rotorblatts 2 kraftschlüssig verbunden. Das vordere Flügelsegment 221 und das hintere Flügelsegment 223 sind jeweils mit einem Scharnier 220 an das mittlere Flügelsegment 222 angelenkt. Entsprechend der zur Basis B hin zunehmenden Beanspruchung nimmt der Durchmesser der Tragseile 210 von dem obersten Ringträger R6 bis zu dem untersten Ringträger R1 zu. Mittels einer Mehrzahl von Tellerfedern 212, die innerhalb einer Hülse angeordnet sind, werden die Tragseile 210 der variablen Rotorblätter 2 derartig vorgespannt, dass im Betrieb der Windkraftanlage 1 sowohl die luvseitigen als auch die leeseitigen Rotorblätter 2 unter Zugspannung stehen. Der untere Ringträger R1 des Rotors R ist mittels eines Fahrwerks 13 in einem Hinterschnitt 111 des ringförmigen Hohlprofil 11 derart gelagert, dass eine Kippsicherung 12 für den Rotor R und ein Luftspalt a zwischen dem von dem Stator 100 des Motorgenerators 10 gebildeten Fahrweg 101 und dem mit dem Fahrwerk 13 und dem Läufer 102 des Motorgenerators 10 verbundenen unteren Ringträger R1 des Rotors R gebildet wird, wobei ein Gleis 110 mit hängenden Schienen 112 für das von Radsätzen 131 mit Stahlrädern 132 gebildete Fahrwerk 13 des Rotors R vorgesehen ist.

[0028] Fig. 2 zeigt das dreiteilig ausgebildete, variable Rotorblatt 2 mit einem variablen Flügelprofil 22 nach **Fig. 1** in drei unterschiedlichen Blattstellungen: Oben als symmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22, dessen Profilsehne p als Tangente zu der Umlaufbahn U einen rechten Winkel zu dem Radius der Umlaufbahn aufweist, in der Mitte als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber einer Tangente an der Umlaufbahn U und unten als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber einer Tangente an der Umlaufbahn U. Das mittlere Flügelsegment 222 ist im Bereich der maximalen Profildicke q mittels nicht näher dargestellter Seilklemmen kraftschlüssig mit paarweise angeordneten Tragseilen 210 verbunden. Scharniere 220, die ebenfalls kraftschlüssig mit den Tragseilen 210 verbunden sind, ermöglichen das Ein- und Ausdrehen des vorderen und des hinteren Flügelsegments 221,223 auf der Umlaufbahn U um bis zu sieben Grad gegenüber der oben gezeigten symmetrischen Grundstellung des variablen Flügelprofils 22. Überblattungsstöße 226 ermöglichen die Ausbildung von Haarfugen an der Flügeloberfläche, die eine möglichst geringe Störung der laminaren Umströmung des variablen Flügelprofils 22 verursachen. Als asymmetrisches Flügelprofil 22 zeigt das variable Flügelprofil 22 den Querschnitt eines Clark YM15-Profils. Teilt man, wie in **Fig. 3-5** gezeigt, die Umlaufbahn des variablen Rotorblatts 2 analog zu dem Zifferblatt einer Uhr in zwölf unterschiedliche Umlaufpositionen I-XII ein, ist das variable Flügelprofil 22 von IX Uhr bis III Uhr mit der Saugseite zur Außenseite der Umlaufbahn U orientiert, während das variable Flügelprofil 22 im luvseitigen Umlauf als asymmetrisches Flügelprofil mit der Saugseite zu der Innenseite der Umlaufbahn U orientiert ist. Als Übergangsstellung weist das variable Flügelprofil 22 bei Position III und bei Position IX jeweils ein symmetrisches Flügelprofil 22 auf. Für das Ein- und Ausdrehen des vorderen und des hinteren Flügelsegments 221,223 auf der Umlaufbahn U ist jeweils ein Paar einander auf der Umlaufbahn U gegenüberliegender Schläuche 224 vorgesehen, wobei durch Druckänderung der in den Schläuchen 224 eingeschlossenen Luft die Drehbewegung ausgelöst wird und die Flügelsegmente 221,223 in der jeweiligen Betriebsstellung gehalten werden.

[0029] Fig. 3 zeigt zwölf unterschiedliche Umlaufpositionen I-XII des variablen Flügelprofils 22 auf der durch den Radius r definierten kreisförmigen Umlaufbahn U. Bezogen auf die Windrichtung W ist die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils 22 im luvseitigen Umlauf zur Innenseite der Umlaufbahn U und im leeseitigen Umlauf zur Außenseite der Umlaufbahn U ausgerichtet, sodass das variable Flügelprofil 22 als Clark YM15-Profil bei Windstärken 3-6 eine durch Pfeile in Drehrichtung gekennzeichnete maximale tangentiale Antriebskraft bewirkt. An der Umlaufposition III und IX wechselt die Saugseite des variablen Flügelprofils 22 von der Außenseite auf die Innenseite der Umlaufban U, während an der Umlaufposition IX die Saugseite des variablen Flügelprofils 22 von der Innenseite auf die Außenseite der Umlaufban U wechselt und dabei jeweils die Grundstellung eines symmetrischen Flügelprofils 22 durchläuft. Im luv- und leeseitigen Umlauf bewirkt deshalb die resultierende Anströmung als Vektorsumme aus der Windgeschwindigkeit und der Umlaufgeschwindigkeit des Rotors R eine in Drehrichtung geneigte Auftriebskraft, die bei dem asymmetrischen Flügelprofil 22 etwa um ein Drittel größer ist als bei dem in **Fig. 4** betrachteten symmetrischen Flügelprofil 22. Daraus folgt ein wesentlich verbesserter Wirkungsgrad der erfindungsgemäßen Windkraftanlage 1 gegenüber einem herkömmlichen Darrieus-Rotor.

[0030] **Fig. 4** zeigt das variable Flügelprofil 22 nach **Fig. 1-3** in zwölf Umlaufpositionen I-XII, die jeweils ein symmetrisches Flügelprofil aufweisen. Im Vergleich zu den in **Fig. 3** dargestellten asymmetrischen Flügelstellungen bewirkt das variable Flügelprofil 22 als symmetrisches Flügelprofil 22 auf den Umlaufpositionen I-XII eine um etwa ein Drittel reduzierte Auftriebskraft und ist für die Windstärken 6-9 nach der Beaufort-Skala vorgesehen. Der reduzierte Auftrieb des symmetrischen Flügelprofils 22 führt zu einem geringeren Kippmoment an der Basis der Windkraftanlage und reduziert die Schubbeanspruchung entsprechend.

[0031] **Fig. 5** zeigt zwölf unterschiedliche Umlaufpositionen I-XII des variablen Flügelprofils 22 auf der durch den Radius r definierten kreisförmigen Umlaufbahn U des Rotors R. Bezogen auf die Windrichtung W ist die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils 22 im luvseitigen Umlauf zur Außenseite der Umlaufbahn U und ist im leeseitigen Umlauf zur Innenseite der Umlaufbahn U ausgerichtet, sodass das variable Flügelprofil 22 als Clark YM15-Profil mit Ausnahme der Umlaufpositionen IX und III bei extremen Windstärken 9-12 nach der Beaufort-Skala auf den Umlauf-Positionen V-VIII und X-I eine durch Pfeile in Drehrichtung gekennzeichnete minimale tangentiale Antriebskraft bewirkt, der auf den Umlauf-Positionen III,IV und IX ein entgegen der Drehrichtung wirkender tangentialer Widerstand entgegen steht. Da die tangentiale Antriebskraft überwiegt, dreht sich die Windkraftanlage 1 auch bei Orkan und selbst bei einem Hurrikane entsprechend der Safir-Simpson-Hurrikanskala und wandelt einen Teil der kinetischen Energie des Sturms in eine Drehbewegung um, was günstiger ist als ein Stillstand der Windkraftanlage 1.

[0032] **Fig. 6** zeigt eine Abwicklungsperspektive des unteren Ringträgers R1 des Rotors R und dem ringförmigen Hohlprofil 11 der Basis B mit dem Hinterschnitt 111. An einer dem unteren Ringträger R1 des Rotors R zugewandten oberen Öffnung des ringförmigen Hohlprofils 11 greift das Fahrwerk 13 des unteren Ringträgers R1 in das ringförmige Hohlprofil 11 derart ein, dass eine Kippsicherung 12 für den Rotor R zwischen den hängenden Schienen 112 des Gleises 110 und den Radsätzen 131 der Fahrgestelle 130 des Fahrwerks 13 gebildet wird. Die Stahlräder 132 haben Spurkränze 133 und werden an den zueinander geneigten Fahrschultern der Schienen 112 geführt. Das untere Ende des Fahrwerks 13 trägt den Läufer 102 des Motorgenerators 10 und weist eine Erregerwicklung 103 auf. Der Stator 100 des Motorgenerators 10 besteht aus einem stählernen Fahrweg 101, der von einem Statorblechpaket mit einer dreiphasigen Paketwicklung gebildet wird. Diese Anordnung vergrößert im luvseitigen Umlauf des Rotors R die Vorspannkraft einer Reihe von Tellerfedern 212, die am unteren Ende der variablen Rotorblätter 2 die Tragseile 210 gegen den unteren Ringträger R1 vorspannen. Zwischen dem Läufer 102 und dem Stator 100 des Motorgenerators 10 ist ein Luftspalt a mit einem konstanten Spaltmaß vorgesehen. Das ringförmige Hohlprofil 11 der Basis ist mittels von fachwerkartig angeordneten Pfählen 150 mit dem in **Fig. 1** dargestellten Fundament 15 verbunden.

[0033] **Fig. 7** zeigt oben und in der Mitte zwei Längsabschnitte des koaxial und konzentrisch zu der vertikalen Rotationsachse x angeordneten, ortsfesten Masts 14 der Windkraftanlage 1 nach **Fig. 1-6** sowie unten einen exemplarischen Querschnitt durch einen der oberen Ringträger C2-Cn. Die Ausschnittisometrie oben zeigt ein Kegelrollenlager 140, das im Bereich einer Queraussteifung 141 des von einer Stahlbetonröhre gebildeten Masts 14 als Lager für die Naben N1-Nn angeordnet ist. Die Ausschnittisometrie in der Mitte zeigt die Verbindung des Masts 14 mit einer oberen und einer unteren Nabe N1-Nn und mit den oberen Ringträgern C2-Cn. Eine Vielzahl von Tragseilen 210 greift mit einem Versatzwinkel δ von oben an einen der oberen Ringträger C2-Cn an, während Spannseile 211, die mit der unteren Nabe N1-Nn verbunden sind, von unten an den oberen Ringträger C2-Cn angreifen. Die Trag- und Spannseile 210,211 weisen jeweils einen gegensinnigen Versatzwinkel 5 gegenüber dem Radius r des Ringträgers R2-Rn auf, sodass ein biege-, schub- und torsionssteifes Speichenrad für die Abspannung der hier nicht dargestellten mehrteiligen Rotorblätter gebildet wird. Die oberen Ringträger R1-R2 weisen im Querschnitt ein aerodynamisch wirksames Ringflügelprofil auf. Unabhängig von der jeweiligen Windrichtung W erzeugt der Ringflügel 23 im luvseitigen und im leeseitigen Umlauf des Rotors R Auftrieb, der sich entlastend auf die globale Vertikallast der Windkraftanlage 1 auswirkt. Dabei geht die Umlaufgeschwindigkeit des Rotors R in die resultierende Anströmung der oberen Ringträger R1-C2 mit ein, sodass der Ringflügel 23 diagonal überströmt wird und deshalb eine sehr große Flügeloberfläche aufweist.

[0034] **Fig. 8** zeigt den Anschluss des variablen Flügelprofils 22 der Windkraftanlage 1 nach **Fig. 1-7** an einen oberen Ringträger R1-Rn. Das mittlere Flügelsegment 222 des variablen Flügelprofils 22 ist mit nicht näher dargestellten Seilklemmen kraftschlüssig mit integrierten Tragseilen 210 verbunden, während das vordere Flügelsegment 221 und das hintere Flügelsegment 223, wie in **Fig. 2** dargestellt, mittels eines Scharniers 220 an das mittlere Flügelsegment 222 angelenkt sind. An diesem Knotenpunkt des Seiltragwerks 21 greifen Tragseile 210 von oben und Spannseile 211 von unten an einen Ringträger R1-Rn an, sodass, wie in **Fig. 7** gezeigt, ein biege- und torsionssteifes Speichenrad für die Aufhängung der in der symmetrischen Grundstellung tangential

zu der Umlaufbahn U ausgerichteten variablen Rotorblätter 2 gebildet wird.

[0035] Fig. 9 zeigt eine Windkraftanlage 1, deren Tragwerk A als ein von einem konzentrisch und koaxial zu der Rotationsachse x ausgebildeten Mast 14 abgespannten Seiltragwerk 21 ausgebildet ist. Insgesamt fünf Naben N1-N5 sind, wie in **Fig. 7** gezeigt, mittels von Kegelrollenlagern 140 an Querausseifungen 141 des als Stahlbetonröhre ausgebildeten Masts 14 gelagert. Die Naben N1-N7 sind mittels von Tragseilen 210 und Spannseilen 211 mit Ringträgern R1-R5 verbunden, die die Umlaufbahn U des sich zu dem unteren Ringträger R1 hin auf einer hyperbolischen Kurve erweiternden Rotors R definieren. Während die Tragseile 210 mit den Ringträgern R1-R5 von oben nach unten verlaufen, weisen die Spannseile 211 jeweils einen Verlauf von unten nach oben auf. Die ortsfeste Basis B der Windkraftanlage 1 zeigt ein von Pfählen 150 gebildetes Fachwerk, dessen Obergurt von dem ringförmigen Hohlprofil 11 gebildet wird. Das zugbeanspruchte Tragwerk A des Rotors R ermöglicht die Ausbildung einer sehr großen und hohen Windkraftanlage 1, die mit einer Höhe von bis zu 1.000 m gebaut werden kann. Im Inneren des als schlanke Stahlbetonröhre ausgebildeten Masts 14 sind Aufzüge, Treppen und Versorgungsleitungen untergebracht, sodass eine Montage des modular aufgebauten Tragwerks A ermöglicht wird. Das als Rotationshyperboloid ausgebildete Seiltragwerk 21 des Rotors R mit rautenförmigen und dreieckigen Maschen wird durch vier torsionssteif ausgebildete Speichenräder mittels der Ringträger R1-R5 ausgesteift. Wie in **Fig. 10** dargestellt, ist der Fahrweg 101 des Motorgenerators 10 in das ringförmige Hohlprofil 11 der Basis A integriert, während das Fahrwerk 13 mit dem unteren Ringträger R1 verbunden ist. Die Verbreiterung des Rotationshyperboloids an der Basis A erhöht die Stabilität der Windkraftanlage 1.

[0036] Fig. 10 zeigt die Windkraftanlage 1 nach **Fig. 9** mit dem Detail des Hinterschnitts 111 zwischen dem unteren Ringträger R1 des Rotors R und dem ringförmigen Hohlprofil 11 der Basis B. An einer dem unteren Ringträger R1 des Rotors R zugewandten oberen Öffnung des ringförmigen Hohlprofils 11 greift das mit dem unteren Ringträger R1 verbundene Fahrwerk 13 des Motorgenerators 10 derart in das ringförmige Hohlprofil 11 ein, dass der Hinterschnitt 111 zwischen dem von hängenden Schienen 112 gebildeten Gleis 110 und dem von Fahrgestellen 130 mit Radsätzen 131 für Stahlräder 132 gebildeten Fahrwerk 13 des Rotors R die Kippsicherung 12 des Rotors R bildet. Das Gleis 110 ist mit einem Neigungswinkel β gegenüber der Horizontalen geneigt, wobei die Stahlräder 132 mit Spurkränzen 133 an den zueinander geneigten Fahrschultern der Schienen 112 geführt werden. Das untere Ende des Fahrwerks 13 trägt den Läufer 102 des Motorgenerators 10 und weist eine Erregerwicklung 103 aus Kupfer für Eisenkerne auf. Alternativ kann der Läufer 102 mit Permanentmagneten 104 bestückt werden. Der Stator 100 des Motorgenerators 10 ist als ein kreisringförmiger stählerner Fahrweg 101 mit einem Statorblechpaket und einer dreiphasigen Paketwicklung ausgebildet. Der Fußpunkt des Rotationshyperboloids ist, wie in **Fig. 9** gezeigt, an der Basis B stark erweitert, sodass die Kippsicherheit der Windkraftanlage 1 erhöht wird. Die Neigung des Gleises 110 mit dem Neigungswinkel β verläuft senkrecht zu der Tragrichtung der Tragseile 210. Zwischen dem Läufer 102 und dem Stator 100 des Motorgenerators 10 kann deshalb im Betrieb der Windkraftanlage 1 ein Luftspalt a mit einem konstanten Spaltmaß realisiert werden. Fachwerkartig angeordnete Pfähle 150 des Fundaments 15 der Basis B folgen der erzeugenden Kurve des Rotationshyperboloids, sodass die aus der Zug-, Druck- und Schubbeanspruchung der Windkraftanlage 1 resultierenden Kräfte direkt in einen tragfähigen Baugrund eingeleitet werden können.

[0037] Fig. 11 zeigt eine Windkraftanlage 1, deren Tragwerk A als eine selbsttragende Gitterschale 20 ausgebildet ist, in der isometrischen Übersicht. Die Rotorblätter R weisen, wie in **Fig. 12** gezeigt, ein dreiteiliges variables Flügelprofil 22 auf, wobei das mittlere Flügelsegment 222 als kastenförmiges Tragprofil 200 das Tragwerk A der Windkraftanlage 1 bildet, die sich über eine Höhe h zwischen einem unteren Ringträger R1 und zwei oberen Ringträgern C2,C3 erstreckt. Die Ringträger R1-C3 sind jeweils mittels radialer Spannseile 211 ausgesteift. Die kastenförmigen Tragprofile 200 der Gitterschale 20 sind, wie in **Fig. 13** gezeigt, an Knotenpunkten 201 untereinander verbunden und weisen eine gerade Längsachse z auf. Der Rotor R der Windkraftanlage 1 besteht aus zwei übereinander gestapelten Modulen jeweils in Form eines Rotationshyperboloids. Rotorblätter 2 als integraler Bestandteil des Tragwerks A, die an den Knotenpunkten 201 zu einer Gitterschale 20 mit rautenförmigen und dreieckigen Feldern verbunden sind, ermöglichen durch eine Verschmelzung des Tragwerks A mit den Rotorblättern 2 eine radikale Vereinfachung des strukturellen Aufbaus der Windkraftanlage1. Wie in **Fig. 12** gezeigt, weist der Hinterschnitt 111 zwischen dem ringförmigen Hohlprofil 11 der Basis B und dem unteren Ringträger R1 des Rotors R eine aktive Kippsicherung 12 auf, sodass die Windkraftanlage 1 mit den variablen Flügelprofilen 22 von Windstärke 4-12 und darüber hinaus betrieben werden kann.

[0038] Fig. 12 zeigt das dreiteilig ausgebildete, variable Flügelprofil 22 der Rotorblätter R die Windkraftanlage 1 nach **Fig. 11** in drei unterschiedlichen Flügelstellungen: Oben als symmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22, dessen Profilsehne p als Tangente zu der Umlaufbahn U einen rechten Winkel

zu dem Radius der Umlaufbahn aufweist, in der Mitte als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber der Außenseite der Umlaufbahn U und unten als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber der Innenseite der Umlaufbahn U. Das mittlere Flügelsegment 222 ist im Bereich der maximalen Profildicke q als ein kastenförmiges Tragprofil 200 ausgebildet, dessen auf der Umlaufbahn U einander gegenüberliegenden Flansche den ortsfesten mittleren Abschnitt der Flügeloberfläche bilden. Das vordere und des hintere Flügelsegment 221,223 sind mittels von Scharnieren 220, an das Tragprofil 200 angelenkt und ermöglichen das Aus- und Eindrehen des vorderen und hinteren Flügelsegments 221,223 auf der Umlaufbahn U jeweils um bis zu sieben Grad gegenüber der oben gezeigten symmetrischen Grundstellung des variablen Flügelprofils 22. Die Überblattungsstöße 226 stören die laminare Umströmung des variablen Flügelprofils 22 in Form eines Clark YM15-Profils möglichst wenig. Aus **Fig. 3-5** geht die aerodynamische Wirkung der unterschiedlichen Flügelstellungen auf der beispielhaft in zwölf unterschiedliche Umlaufpositionen I-XII eingeteilten Umlaufbahn U hervor.

[0039] Fig. 13 zeigt die Windkraftanlage 1 nach **Fig. 11-12** mit einem Knotenpunkt 201 der selbsttragenden Gitterschale 20. Wie in **Fig. 12** gezeigt, ist das mittlere Flügelsegment 222 als ein kastenförmiges Tragprofil 200 der selbsttragenden Gitterschale 20 ausgebildet. An dem Knotenpunkt 201 sind vier kastenförmige Tragprofil 200 kraftschlüssig miteinander verbunden. Wie auch in **Fig. 12** gezeigt, sind das vordere Flügelsegment 221 und das hintere Flügelsegment 223 mittels von Scharnieren 220 mit Drehachsen y an das mittlere Flügelsegment 222 angelenkt, wobei dehnbare Schläuche 224 dazu ausgebildet sind, das vordere Flügelsegment 221 und das hintere Flügelsegment 223 derart zu drehen, dass das variable Flügelprofil 22 aus einer symmetrischen Flügelstellung in asymmetrische Flügelstellungen gedreht und in der jeweiligen Flügelstellung arretiert werden kann. Dies geschieht allein durch eine Kompressor unterstützte Umverteilung der in den Schläuchen 224 gespeicherten Druckluft. Wie bereits in **Fig. 2** erläutert, bewirkt das Ein- und Ausdrehen der vorderen und hinteren Flügelsegmente 221,223 auf der Umlaufbahn U jeweils einen positiven Anstellwinkel α des variablen Flügelprofils 22 in Bezug zu einer tangentialen Grundstellung der Profilsehne p des mittleren Flügelsegments 222, sodass, wie in **Fig. 3** gezeigt, die Saugseite des variablen Flügelprofils 22 vom luvseitigen Umlauf zum leeseitigen Umlauf die Orientierung von der Innenseite zur Außenseite der Umlaufbahn U wechselt.

[0040] Fig. 14 zeigt die Windkraftanlage 1 nach **Fig. 11-13** mit dem Detail der Verbindung zwischen dem unteren Ringträger R1 des Rotors R und dem ringförmigen nach oben offenen Hohlprofil 11, das vier Motorgeneratoren 10 aufnimmt, die jeweils diagonal zueinander versetzt auf einem polygonalen Hohlprofil des Fahrwerks 13 angeordnet sind. Die beiden unteren Motorgeneratoren 10 ziehen den Rotor 2 im Betrieb der Windkraftanlage 1 an die Basis B heran und die beiden oberen Motorgeneratoren 10 stoßen den Rotor R von der Basis B ab. Diese Anordnung ermöglicht eine aktive Kippsicherung 12 in Übereinstimmung mit der jeweiligen Windrichtung. Die Einteilung der ringförmigen Motorgeneratoren 10 in eine Mehrzahl radialer Sektoren ermöglicht eine an die jeweilige Windrichtung angepasste Schaltung dieser Form eines Ringgenerators, sodass im luvseitigen Umlauf des Rotors 2 die beiden unteren Motorgeneratoren 10 Strom erzeugen und im leeseitigen Umlauf des Rotors R die beiden oberen Motorgeneratoren 10 Strom erzeugen, wobei von dem Fahrwerk 13 mit Stahlrädern 133 lediglich Differenzkräfte auf das Gleis 110 übertragen werden müssen. Das ringförmige Hohlprofil 11 der Basis B ist als ein Hohlkammerprofil ausgebildet und weist seitliche Wartungsgänge für die Motorgeneratoren und das Fahrwerk 13 sowie vier Kanäle für Kabel 105 auf und ist mit der Basis B mittels von Pfählen 150 mit dem in **Fig. 11** dargestellten Fundament 15 verbunden.

[0041] Fig. 15 zeigt eine Windkraftanlage 1, deren Rotor R als eine selbsttragende Gitterschale 20 in Form eines sich zu dem unteren Ringträger R1 hin erweiternden Rotationshyperboloids ausgebildet ist. Die ortsfeste Basis B der Windkraftanlage 1 zeigt ein von Pfählen 150 gebildetes Fachwerk, dessen Obergurt von dem ringförmigen Hohlprofil 11 der Basis B und dessen Untergurt von einem ringförmig ausgebildeten Fundament 15 gebildet wird. Als zug-, druck- und biegesteifes Schalentragwerk ermöglicht die Gitterschale 20 den Bau sehr großer Windkraftanlagen 1 mit einer Höhe von etwa sechshundert Metern, die an der Basis einen Durchmesser von zweihundert bis dreihundert Metern aufweisen. Vier Ringträger R1-R4 steifen die selbsttragende Gitterschale 20 aus und sind ihrerseits mit radial verlaufenden Spannseilen 211 ausgesteift. Die Gitterschale 20 weist dreieckige und rautenförmige Felder auf, die, wie in **Fig. 16** gezeigt, von variablen Flügelprofilen 22 gebildet werden. Wie in **Fig. 17** gezeigt, ist die Gitterschale 20 als eine Rohrkonstruktion mit Knotenpunkten 201 ausgebildet, deren Tragprofile 200 aus Rundhohlprofilen bestehen, die das mittlere Flügelsegment 222 bilden, sodass die Längsachsen der Rundhohlprofile mit den Längsachsen z der Rotorblätter 2 identisch sind. Die Verbreiterung des Rotationshyperboloids an der Basis A erhöht die Stabilität der Windkraftanlage 1.

[0042] **Fig. 16** zeigt das Rotorblatt 2 der Windkraftanlage 1 nach **Fig. 15** mit einem dreiteilig ausgebildeten, variablen Flügelprofil 22 in drei unterschiedlichen Blattstellungen: Oben als symmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22, dessen Profilsehne p als Tangente zu der Umlaufbahn U einen rechten Winkel zu dem Radius der Umlaufbahn aufweist, in der Mitte als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber der Außenseite der Umlaufbahn U und unten als asymmetrisch ausgebildetes Flügelprofil 22 mit einem positiven Anstellwinkel α der Profilsehne p gegenüber der Innenseite der Umlaufbahn U. Das mittlere Flügelsegment 222 im Bereich der maximalen Profildicke q weist ein als Tragprofil 200 ausgebildetes Rundhohlprofil auf, dessen auf der Umlaufbahn U einander gegenüberliegenden Außenoberflächen einen ortsfesten mittleren Abschnitt der Flügeloberfläche bilden. Das vordere und des hintere Flügelsegment 221,223 sind mittels eines nicht näher dargestellten Drehgelenks mit der Drehachse y an das Rundhohlprofil angelenkt und ermöglichen das Aus-und Eindrehen des vorderen und hinteren Flügelsegments 221,223 auf der Umlaufbahn U jeweils um bis zu 7 Grad gegenüber der oben gezeigten symmetrischen Grundstellung des variablen Flügelprofils 22. Der formschlüssige Anschluss des vordere und des hinteren Flügelsegments 221,223 an das Rundhohlprofil begünstigt die laminare Umströmung des variablen Flügelprofils 22, das als asymmetrisches Flügelprofil die Form eines Clark YM15-Profils aufweist. Aus **Fig. 3-5** geht die aerodynamische Wirkung der unterschiedlichen Flügelstellungen auf der beispielhaft in zwölf unterschiedliche Umlaufpositionen I-XII eingeteilten Umlaufbahn U hervor.

[0043] **Fig. 17** zeigt die Windkraftanlage 1 nach **Fig. 15-16** mit einem Knotenpunkt 201 der selbsttragenden Gitterschale 20. Wie in **Fig. 16** gezeigt, weist das Tragprofil 200 der Gitterschale 20 ein Rundhohlprofil auf und bildet das mittlere Flügelsegment 222 des dreiteilig aufgebauten variablen Flügelprofils 22 eines Rotorblatts 2. An dem Knotenpunkt 201 sind vier Rundhohlprofile kraftschlüssig miteinander verbunden. Wie in **Fig. 16** gezeigt, sind das vordere Flügelsegment 221 und das hintere Flügelsegment 223 mittels nicht näher dargestellter Drehgelenke mit Drehachsen y an das Tragprofil 200 angelenkt. Bei dem Drehen des vorderen und des hinteren Flügelsegments 221,223 bildet die Außenoberfläche des Rundhohlprofils die ortsfeste Flügeloberfläche eines mittleren Flügelsegments 222 an die die Flügeloberflächen des vorderen und des hinteren Flügelsegments 221,223 nahtlos anschließen.

Bezugszeichenliste

1	Windkraftanlage
x	Vertikale Rotationsachse
A	Tragwerk
B	Basis
β	Neigungswinkel
W	Windrichtung
a	Luftspalt
10	Motorgenerator
100	Stator
101	Fahrweg
102	Läufer
103	Erregerwicklung
104	Permanentmagnet
105	Kabel
11	Hohlprofil
110	Gleis
111	Hinterschneidung
112	Schiene
12	Kippsicherung
13	Fahrwerk
130	Fahrgestell
131	Radsatz
132	Stahlrad
134	Spurkranz
14	Mast
140	Kegelrollenlager
141	Queraussteifung
15	Fundament
150	Pfahl
I-XII	Umlaufposition
2	Rotorblatt
R	Rotor
R1-Rn	Ringträger
N1-Nn	Nabe
z	Längsachse
δ	Versatzwinkel
y	Drehachse
r	Radius
h	Höhe
U	Umlaufbahn
n	Flügelnase
e	Flügelhinterkante

p	Profilsehne
q	Profildicke
α	Positiver Anstellwinkel
20	Gitterschale
200	Tragprofil
201	Knotenpunkt
21	Seiltragwerk
210	Tragseil
211	Spannseil
212	Tellerfeder
22	Variables Flügelprofil
220	Scharnier
221	Vorderes Flügelsegment
222	Mittleres Flügelsegment
223	Hinteres Flügelsegment
224	Schlauch
226	Überblattungsstoß
23	Ringflügel

Patentansprüche

1. Windkraftanlage (1) mit einer vertikalen Rotationsachse (x) und mit einem Tragwerk (A) für eine in einem Baugrund verankerbare Basis (B) und für einen Rotor (R), welche Basis (B) ein ringförmiges, nach oben offenes Hohlprofil (11) für die Aufnahme von Stator (100) und Läufer (102) von mindestens einem Motorgenerator (10) mit einem Fahrweg (101) für ein Fahrwerk (13) aufweist und welcher Rotor (R) sich mit einem konstanten oder mit einem wechselnden Radius (r) zu der vertikalen Rotations-achse (x) über eine Höhe (h) zwischen einem unteren, der Basis (B) zugewandten Ringträger (R1) und mindestens einem oberen Ringträger (R2-Rn) erstreckt und eine Vielzahl von dreiteilig ausgebildeten Rotorblättern (2) aufweist, die jeweils ein vorderes Flügelsegment (221) mit einer Flügelnase (n), ein mittleres Flügelsegment (222) mit einer maximalen Profildicke (q) und ein hinteres Flügelsegment (223) mit einer Flügelhinterkante (e) haben und sich mit einem variablen Flügelprofil (22) entlang einer geraden Längsmittelachse (z) mit einer Profilsehne (p) erstrecken, wobei die mittleren Flügelsegmente (222) der Rotorblätter (2) mit den Ringträgern (R1-Rn) verbunden sind und entweder Tragprofile (200) für eine selbsttragende Gitterschale (20) oder paarweise angeordnete Tragseile (210) für ein von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten Mast (14) abgespanntes Seiltragwerk (21) aufweisen und der untere Ringträger (R1) mit dem Läufer (102) und das ringförmige, nach oben offene Hohlprofil (11) mit dem Stator (100) des Motorgenerators (10) verbunden ist, sodass das Fahrwerk (13) des Rotors (R) mit einem Hinterschnitt (111) in das Hohlprofil (11) eingreift und eine Kippsicherung (12) für den Rotor (R) bildet, wobei ein Luftspalt (a) mit einem definierten Spaltmaß zwischen dem Stator (100) und dem Läufer (102) sicherstellt, dass der Rotor (R) im Betrieb der Windkraftanlage (1) elektromagnetisch an den Fahrweg (101) herangezogen wird.

2. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 1,
bei der das mittlere Flügelsegment (222) des variablen Flügelprofils (22) als ein integraler Bestandteil der mit dem unteren Ringträger (R1) des Rotors (R) verbundenen Rotorblätter (2) ausgebildet ist und das vordere und das hintere Flügelsegment (221,223) mittels von Scharnieren (220) mit Drehachsen (y) für einen definierten Schwenkbereich und mittels von Überblattungsstößen (226) an den Flügeloberflächen derart an das mittlere Flügelsegment (222) angelenkt sind, dass das variable Flügelprofil (22) in einem Umlauf des Rotors (R) unterschiedliche Betriebsstellungen einnimmt und in einer Grundstellung ein symmetrisches, mit der Profilsehne (p) tangential zu der kreisförmigen Umlaufbahn (U) des Rotors (R) ausgerichtetes Flügelprofil (22) aufweist, das im luv- und leeseitigen Umlauf des Rotors (R) jeweils in ein asymmetrisches Flügelprofil (22) gewandelt wird, sodass die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils (22) im Regelbetrieb der Windkraftanlage (1) im luvseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Innenseite und im leeseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Außenseite der Umlaufbahn (U) orientiert ist und die Saugseite im Sturmbetrieb für eine Begrenzung der Drehzahl des Rotors (R) im luvseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Außenseite und im leeseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Innenseite der Umlaufbahn (U) orientierbar ist, wobei die Scharniere (220) für die Drehbewegung des vorderen und des hinteren Flügelsegments (221,223) jeweils mittels von zwei auf der Umlaufbahn (U) einander gegenüberliegenden elastischen Schläuchen (224) betätigt werden, indem Druckluft von einem Schlauch (224) in den jeweils gegenüberliegenden Schlauch (224) gepumpt wird, sodass der Durchmesser des entleerten Schlauchs (224) abnimmt und der Durchmesser des aufgepumpten Schlauchs (224) zunimmt und die Flügelsegmente (221,223) auf diese Weise jeweils um maximal 7 Grad gegenüber dem mittleren mit dem Tragwerk (A) verbundenen Flügelsegment (222) verschwenkbar sind.

3. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 1,
bei der das variable Flügelprofil (22) des dreiteiligen Rotorblatts (2) in einer Grundstellung ein symmetrisches Flügelprofil (22) aufweist, dessen Profilsehne (p) tangential zu der kreisförmigen Umlaufbahn (U) des Rotors (R) ausgerichtet ist und die Profilsehne (p) bei einem durch Ein- und Ausdrehen des vorde-

ren und hinteren Flügelsegments (221,223) auf der Umlaufbahn (U) variierten asymmetrischen Flügelprofil (22) einen positiven Anstellwinkel (α) gegenüber einer Tangente an der Umlaufbahn (U) des Rotors (R) aufweist, wobei das mittlere Flügelsegment (222) im Falle einer Gitterschale (20) als ein kastenförmiges Tragprofil (200) ausgebildet ist, dessen auf der Umlaufbahn (U) einander gegenüberliegenden Flansche einen Teil der Oberfläche des variablen Flügelprofils (22) bilden und eine Vielzahl von Tragprofilen (200) durch Knotenpunkte (201) untereinander und mit den querausteifenden, seilverspannten Ringträgern (R1-Rn) verbunden sind, um die selbsttragende Gitterschale (20) zu bilden, die sich in Form eines Rotationshyperboloids zu dem ringförmigen Sockel (B) hin erweitert und dreieckige und/oder viereckige Felder hat.

4. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der, die Tragprofile (200) als Rundholprofile ausgebildet sind die an Knotenpunkten (201) untereinander zu der selbsttragenden Gitterschale (20) verbunden sind und das vordere und das hintere Flügelsegment (221,223) formschlüssig an die Außenoberfläche des Rundhohlprofils anschließen, wobei die gerade Längsmittelachse (z) des Rotorblatts (2) konzentrisch und koaxial zu einer gemeinsamen Drehachse (y) für das vordere und das hintere Flügelsegment (221,223) verläuft und zugleich die Längsmittelachse (z) des Rundhohlprofils bildet und das vordere und das hintere Flügelsegment (221,223) an dem mittleren Flügelsegment (222) drehbar gelagert sind, sodass die Saugseiten der Rotorblätter (2) im luvseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Innenseite und im leeseitigen Umlauf des Rotors (R) zu der Außenseite der Umlaufbahn (U) orientierbar sind und das Drehen der Flügelsegmente (221,223) mechanisch, elektrisch oder hydraulisch erfolgt.

5. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der die oberen Ringträger (R2-Rn) als Ringflügel (23) mit einer sich horizontal zwischen einer luvseitigen Flügelnase (n) und einer leeseitigen Flügelhinterkante (e) erstreckenden Profilsehne (p), einer symmetrisch gewölbten Saugseite und einer horizontalen Druckseite eines Flügelprofils ausgebildet sind, sodass die oberen Ringträger (R2-Rn) unabhängig von der jeweiligen Windrichtung (W) im luvseitigen und im leeseitigen Umlauf des Rotors (R) Auftrieb erzeugen, um der globalen Vertikallast des Rotors (R) entgegenzuwirken.

6. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der der Rotor (R) ein Seiltragwerk (21) aufweist, das mittels von Trag- und Spannseilen (210,211) von einem koaxial und konzentrisch zu der Rotationsachse (x) angeordneten Mast (14) abgespannt ist und eine erste Gruppe von Tragseilen (210) die Rotorblätter (2) trägt und mittels von an den unteren Ringträger (R1) angreifenden Tellerfedern (212) derart vorgespannt ist, dass auch die jeweils leeseitigen Tragseile (210) in allen Betriebszuständen der Windkraftanlage (1) unter Zugspannung stehen und eine zweite Gruppe von Tragseilen (210) die Naben (N1-Nn) mit den Ringträgern (R1-Rn) verbindet und von oben an die Ringträger (R1-Rn) angreift, während Spannseile (211), die die Ringträger (R1-Rn) mit den Naben (N1-Nn) verbinden, von unten an die Ringträger (R1-Rn) angreifen und die Naben (N1-Nn) mittels von Kegelrollenlagern (140) an Querausteifungen (141) des von einer Stahlbetonröhre gebildeten Masts (14) gelagert und mit dem Mast (14) verbunden sind, wobei die oberen und die unteren Trag- und Spannseile (210,211) gegenüber dem Radius (r) der Ringträger (R1-Rn) jeweils einen gegensätzlichen Versatzwinkel (δ) aufweisen und die Trag- und Spannseile (210,211) mittels einer Mehrzahl von hintereinander in Hülsen angeordneten Tellerfedern (212) vorgespannt sind und zusammen mit den Ringträgern (R1-Rn) und den Naben (N1-Nn) torsionssteife Speichenräder bilden, die das von den Rotorblättern (2) erzeugte Drehmoment aufnehmen.

7. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der das dreiteilige Rotorblatt (2) mit dem variablen Flügelprofil (22) Steuerungseinheiten für eine abschnittsweise angeordnete, pneumatisch, hydraulisch, elektrisch, oder mechanisch betreibbare Blattverstellung zwischen den Knotenpunkten (201) des Tragwerks (A) aufweist.

8. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der der Fahrweg (101) des Motorgenerators (10) mindestens ein innerhalb des ringförmigen Hohlprofils (11) verlegtes Gleis (110) mit zueinander geneigten Fahrschultern von Schienen (112) für Stahlräder (132) mit Spurkränzen (133) des Fahrwerks (13) aufweist und das Fahrwerk (13) über eine Vielzahl von Fahrgestellen (130) jeweils mit mindestens zwei Radsätzen (131) mit dem unteren Ringträger (R1) derart verbunden ist, dass die Stahlräder (132) mittels von konischen Radlaufflächen formschlüssig auf den zueinander geneigten Fahrschultern der Schienen (112) geführt werden und die Stahlräder (132) im Falle des von einem Mast (14) abgespannten Seiltragwerks (21) in dem Hinterschnitt (111) des ringförmigen Hohlprofils (11) an hängenden Schienen (112) geführt werden und die Kippsicherung (12) für den Rotor (R) bilden, wobei und im Falle der selbsttragenden Gitterschale (20) und des Seiltragwerks (21) im Betrieb der Windkraftanlage (1) elektromagnetische Anziehungskräfte des Motorgenerators (10) aktiviert werden, um den Rotor (R) mit den Schienen (112) zu verspannen.

9. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, mit einer Kippsicherung (12), die ein mit einem Neigungswinkel (β) zu der vertikalen Rotationsachse (x) hin geneigtes Gleis (110) aufweist, das senkrecht zu einer Tangente der jeweiligen Tragrichtung der Gitterschale (20) oder des Seiltragwerks (21) angeordnet ist, wobei das Fahrwerk (13) des unteren Ringträgers (R1) mit dem Hinterschnitt (111) in dem ringförmigen Hohlprofil (11) der Basis (B) geführt wird, sodass das Tragwerk (A) der Basis (B) die auf das ringförmige Hohlprofil (11) einwirkenden Kräfte mittels von Pfählen (150) eines Fundaments (15) in einen tragfähigen Baugrund einleitet und im Falle einer schwimmfähigen Basis (B) im Meeresgrund verankerbar ist.

10. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der der Motorgenerator (10) als eine synchron erregte, dreiphasige Drehstrommaschine mit einem Durchmesser von 2 m bis 500 m ausgebildet ist, wobei der Läufer (102) der Drehstrommaschine entweder Tragmagnete mit einer Erregerwicklungen (103) oder Permanentmagnete (104) aufweist und der Stator (100) Blechpakete (100) mit dreiphasigen Paketwicklungen für den stählernen Fahrweg (101) aufweist, sodass der Rotor (R) im Betrieb der Windkraftanlage (1) elektromagnetisch an den Fahrweg (101) herangezogen wird und eine aktive Kippsicherung (12) dadurch gebildet wird, dass in Übereinstimmung mit der Windrichtung (W) jeweils nur die luvseitige Hälfte des Motorgenerators (10) aktiviert ist.

11. Windkraftanlage (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei der innerhalb des ringförmigen Hohlprofils (11) vier Motorgeneratoren (10) angeordnet sind, die ein mit dem unteren Ringträger (R1) des Rotors (R) verbundenes Fahrwerk (13) mit zwei oberen und zwei unteren, auf einem im Querschnitt polygonalen Hohlprofil (11) jeweils diagonal gegeneinander versetzt angeordneten Statoren (100) mit vier Fahrwegen (101) für vier mit dem Ringträger (R1) des Rotors (R) verbundene Läufer (102) der Motorgeneratoren (10) aufweisen, wobei die Motorgeneratoren (10) jeweils in eine Mehrzahl ringförmiger Segmente untergliedert sind, sodass, abhängig von der jeweiligen Windrichtung (W) im luvseitigen Umlauf des Rotors (R), die beiden unteren Motorgeneratoren (10) aktiviert werden und den Rotor (R) an die Basis (B) heranziehen, während im leeseitigen Umlauf des Rotors (R) die beiden oberen Motorgeneratoren (10) aktiviert werden und den Rotor (R) von der Basis (B) abstoßen und auf diese Weise eine aktive Kippsicherung (12) für den Rotor (R) gebildet wird, wobei die Stahlräder (132) die Fahrgestelle (130) des Fahrwerks (13) exakt auf der von dem Gleis (110) gebildeten Spur halten.

12. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 11, bei der das von vier jeweils mit einem Winkel von 45 Grad zueinander angeordneten Motorgeneratoren (10) gebildete Fahrwerk (13) im Betrieb der Windkraftanlage (1) eine berührungslose Lagerung des Rotors (R) in dem ringförmigen Hohlprofil (11) der Basis (B) ermöglicht.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

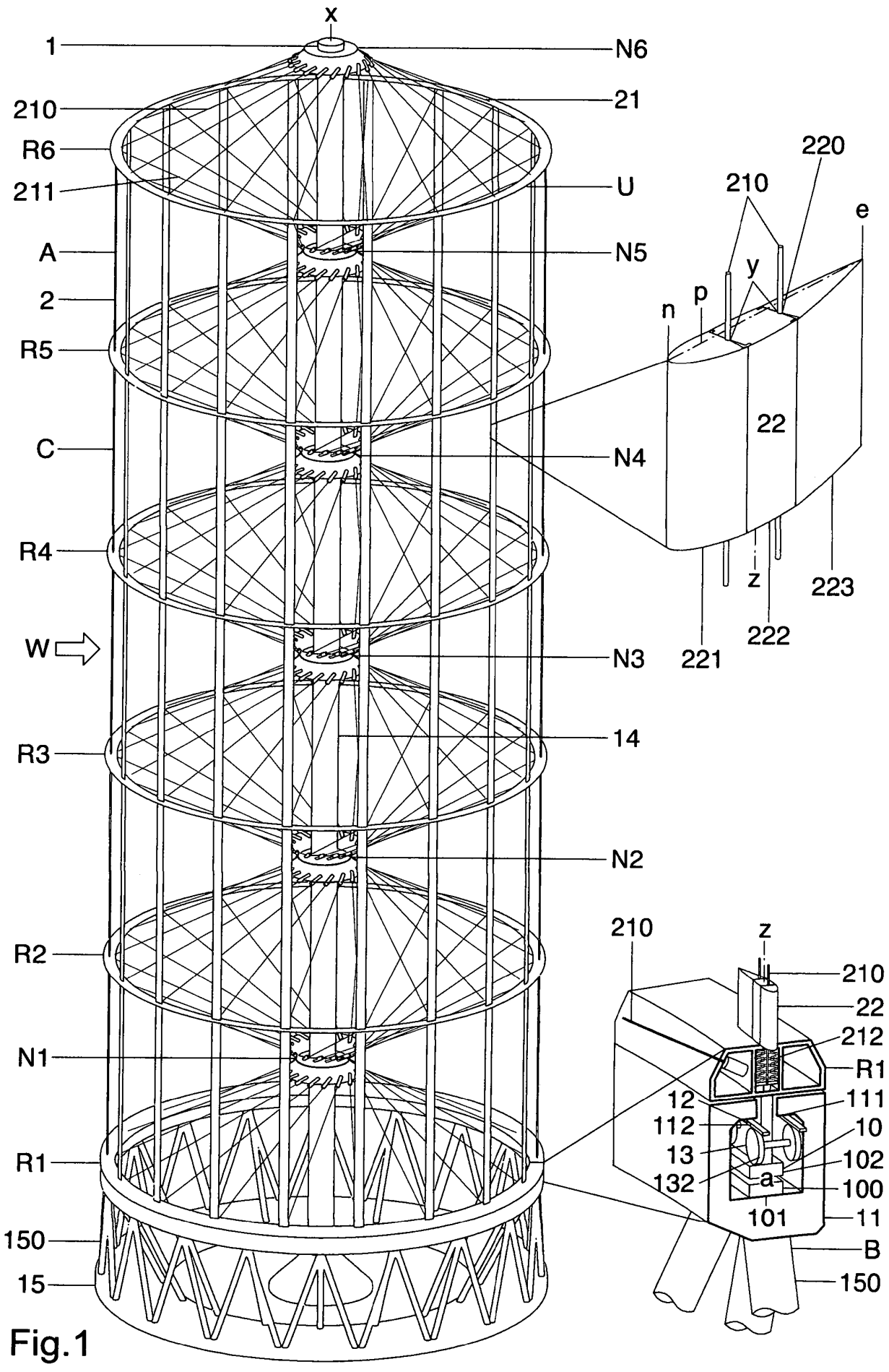


Fig.1

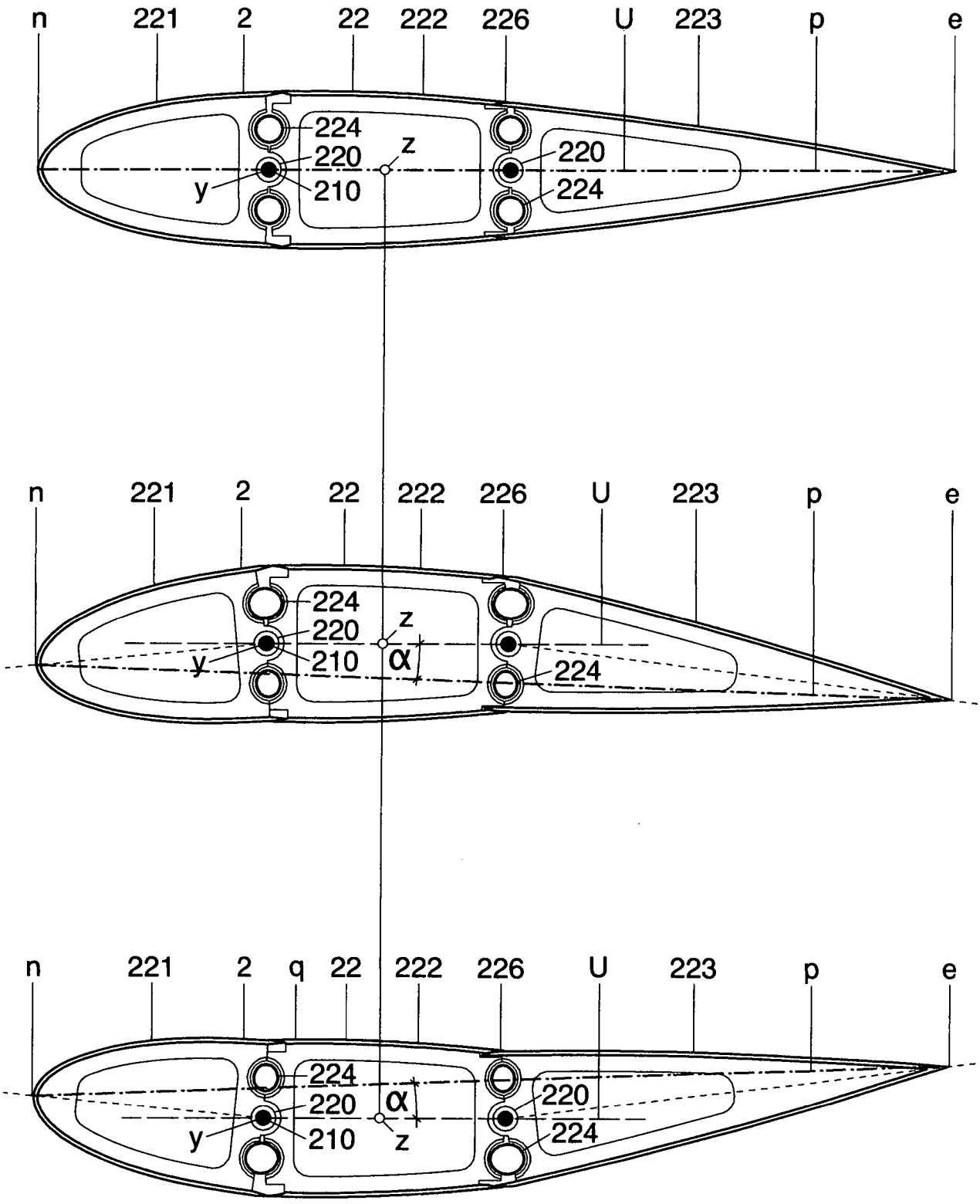


Fig.2

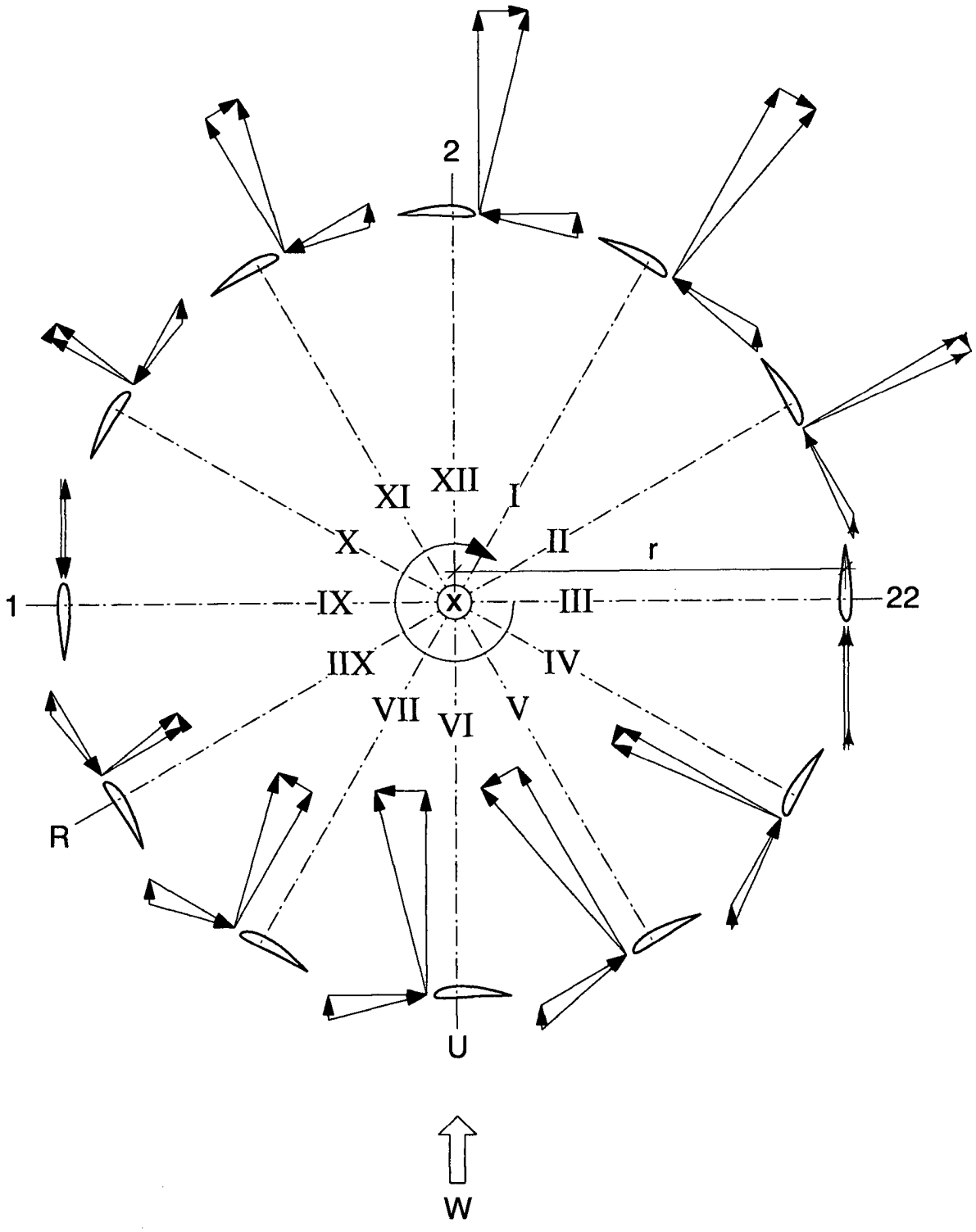


Fig.3

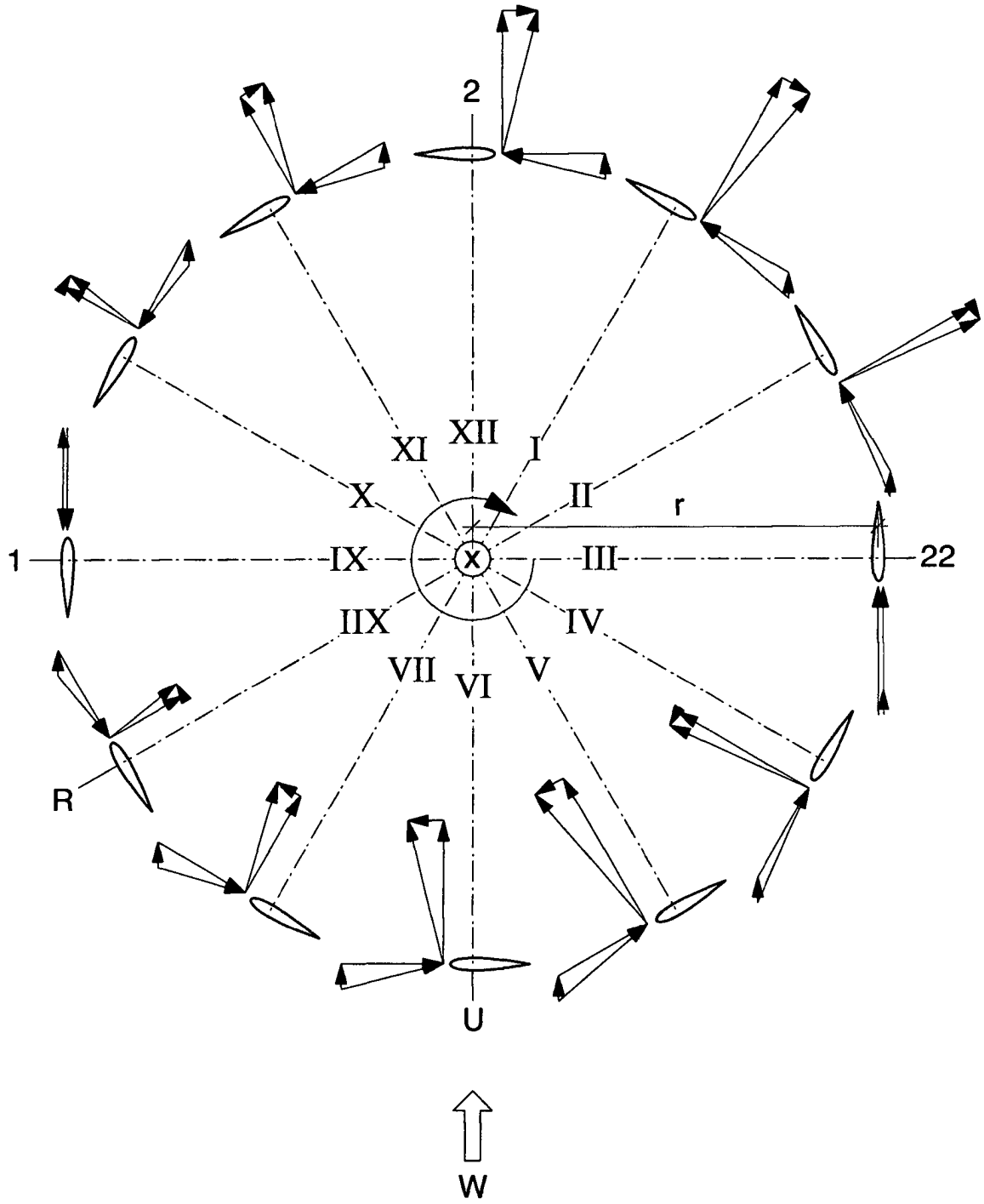


Fig.4

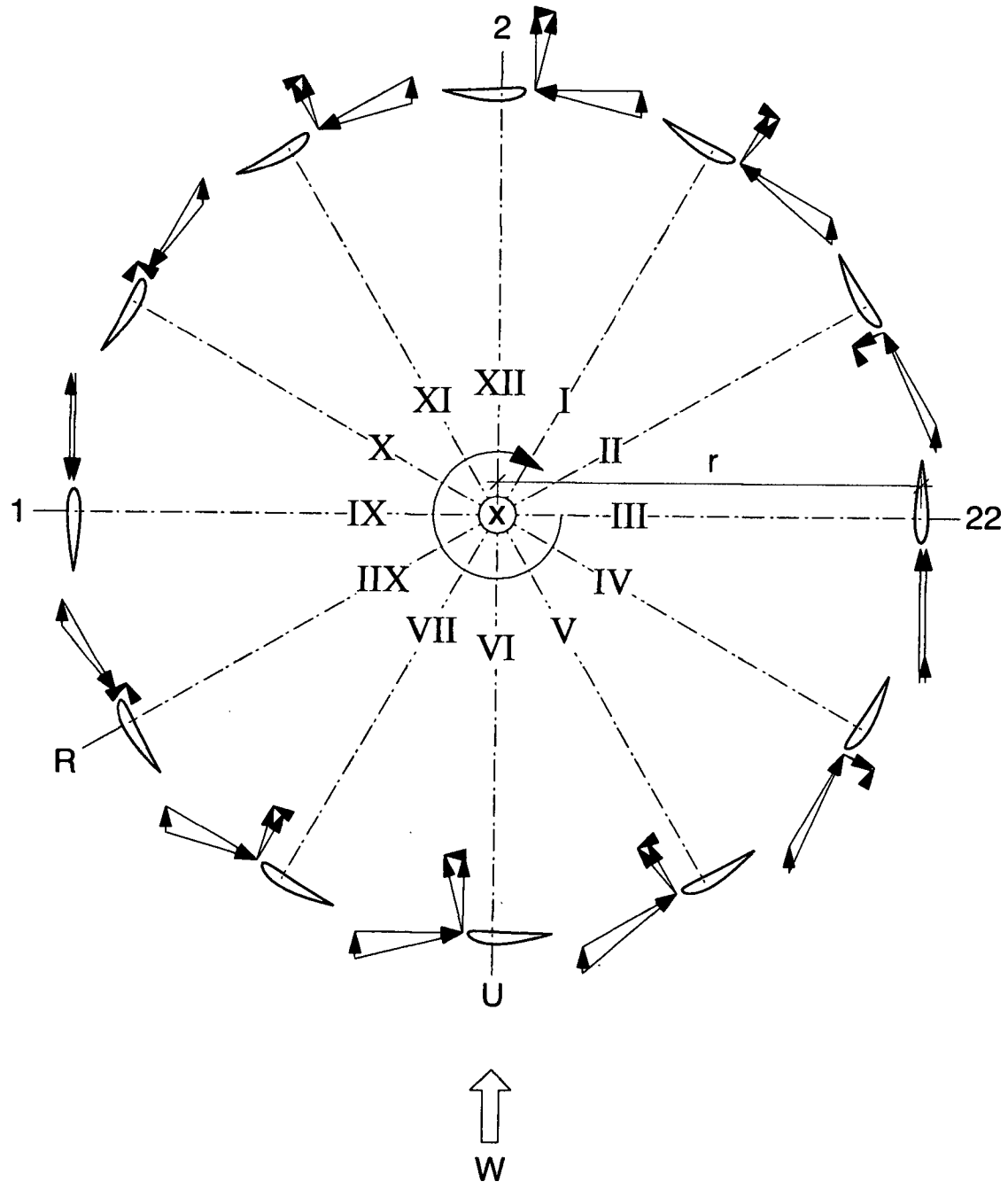


Fig.5

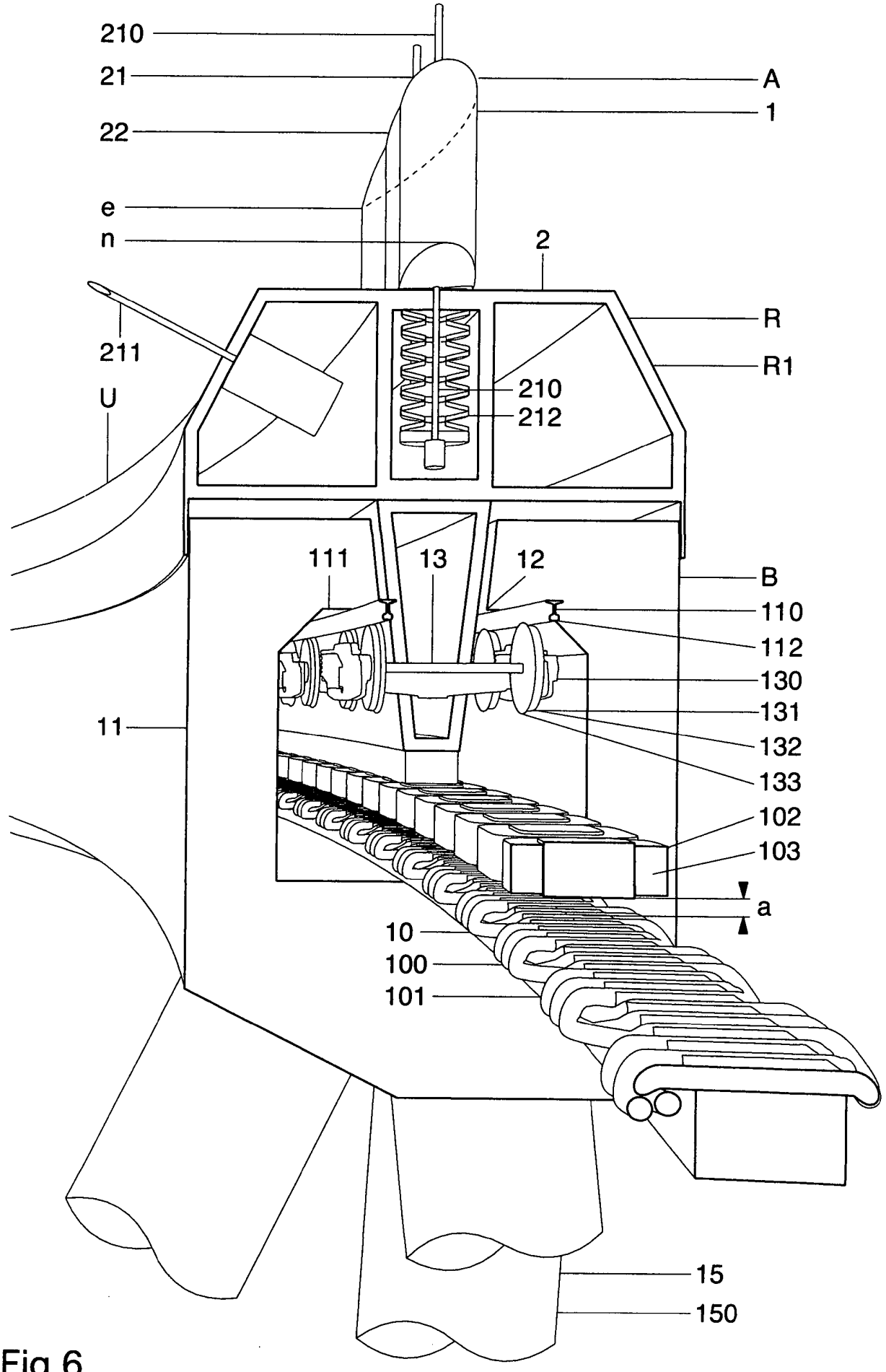

210
21
22
e
n
211
U
A
1
2
R
R1
210
212
111
13
12
B
110
112
130
131
132
133
11
102
103
a
10
100
101
15
150

Fig.6

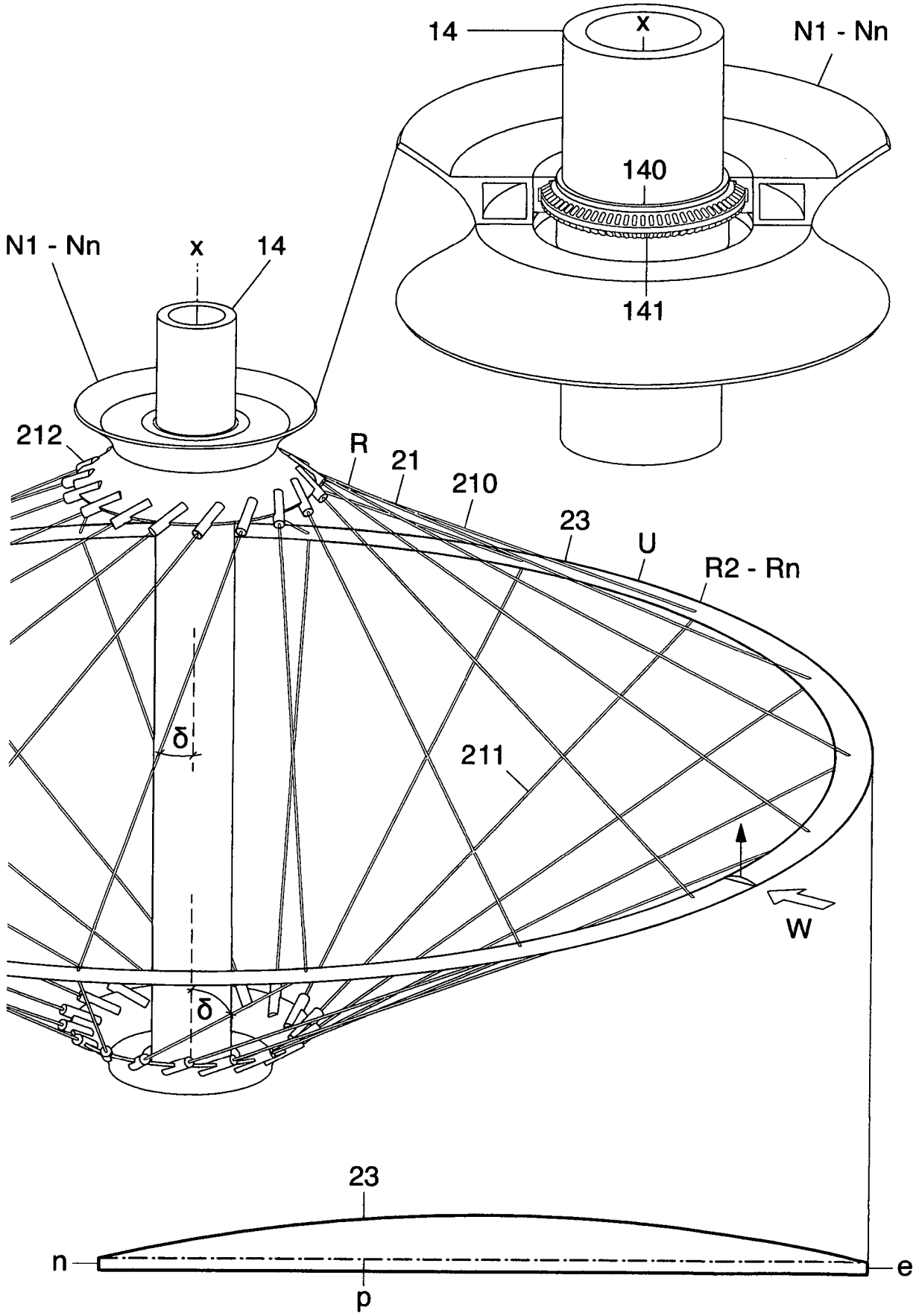


Fig.7

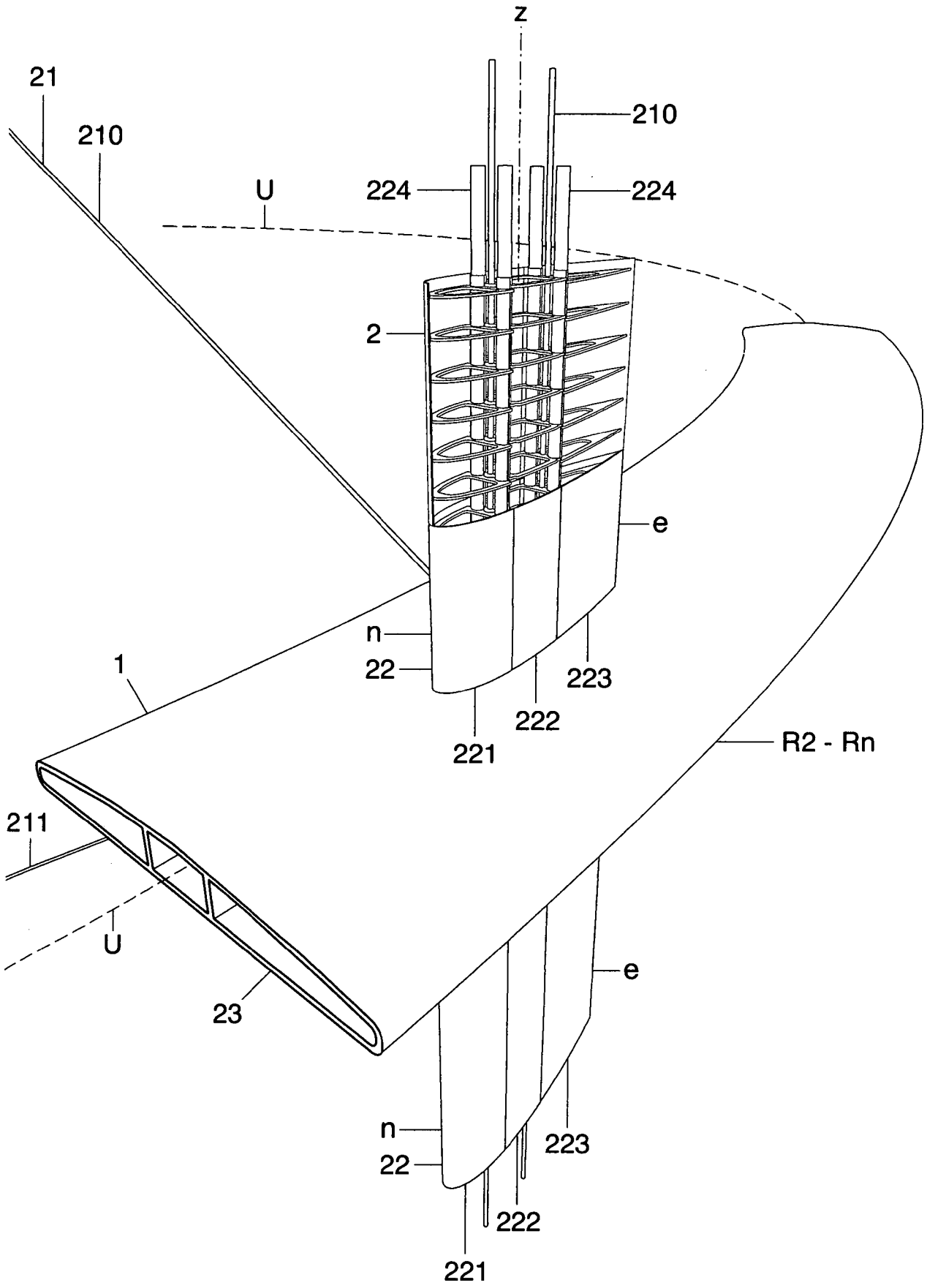

z
21
210
210
U
224
224
2
e
n
22
223
222
221
1
R2 - Rn
211
U
23
e
n
22
223
222
221

Fig.8

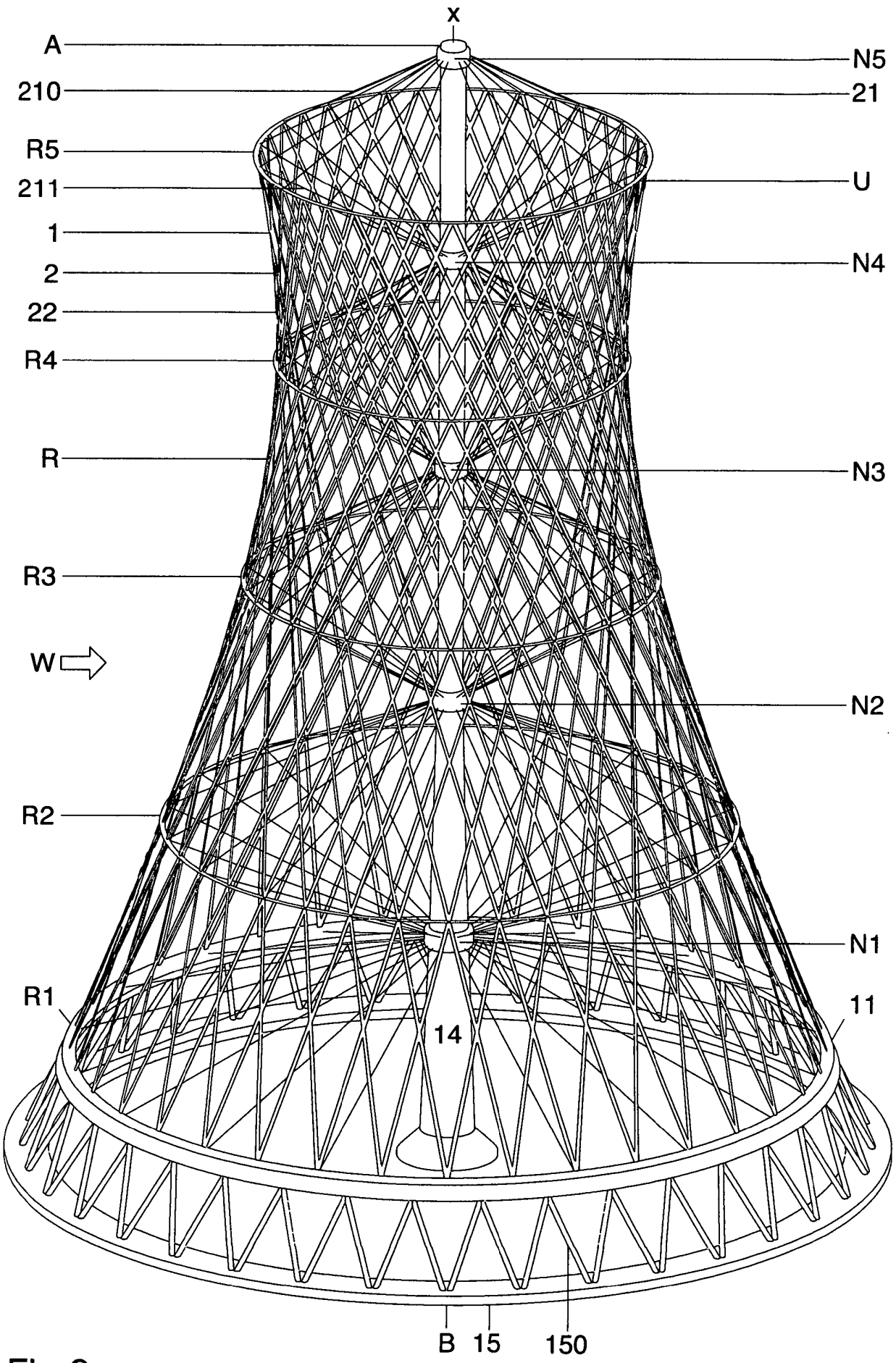


Fig.9

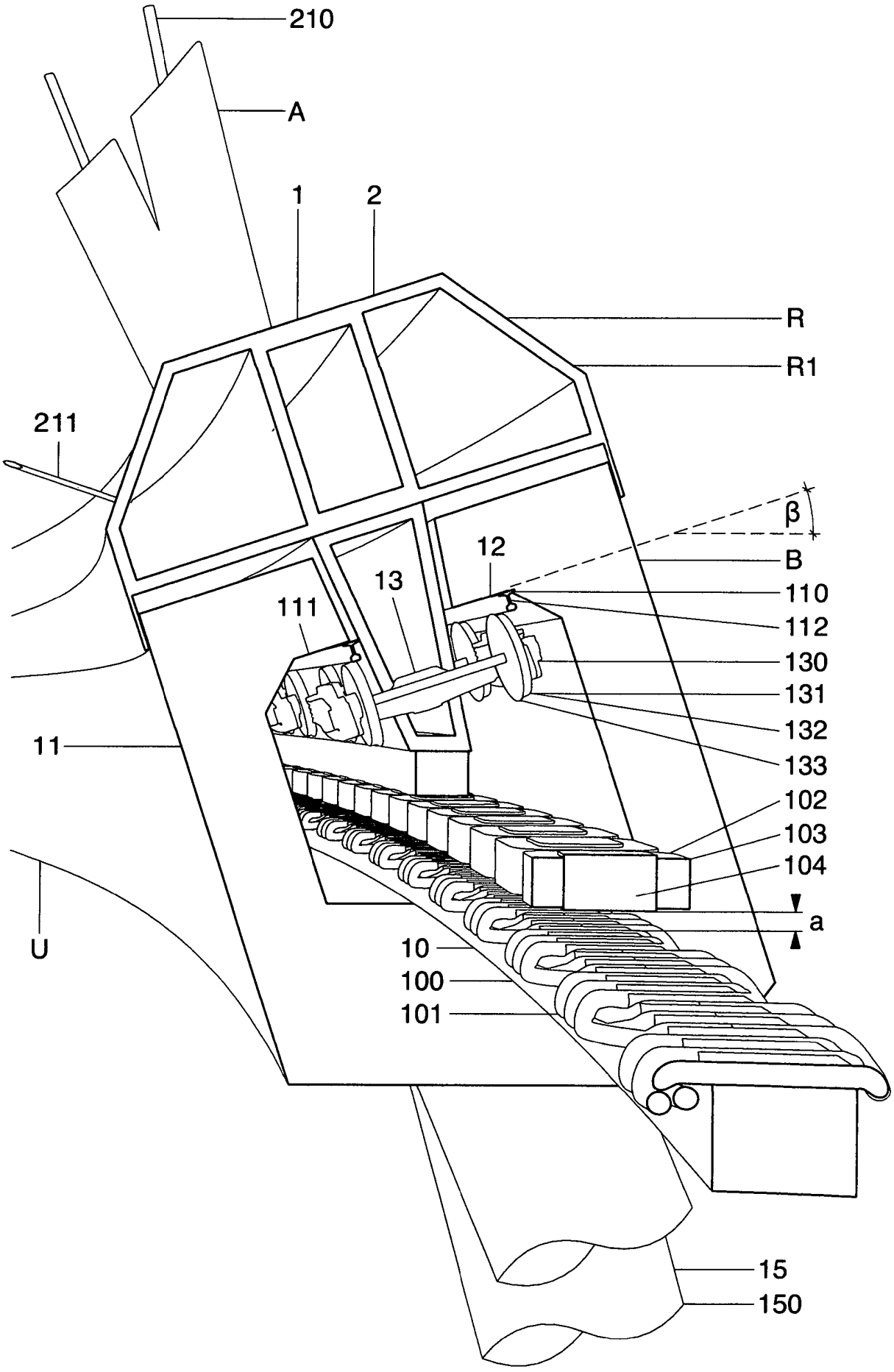

210
A
1
2
R
R1
211
β
12
B
13
111
110
112
130
131
132
133
11
102
103
104
a
U
10
100
101
15
150

Fig.10

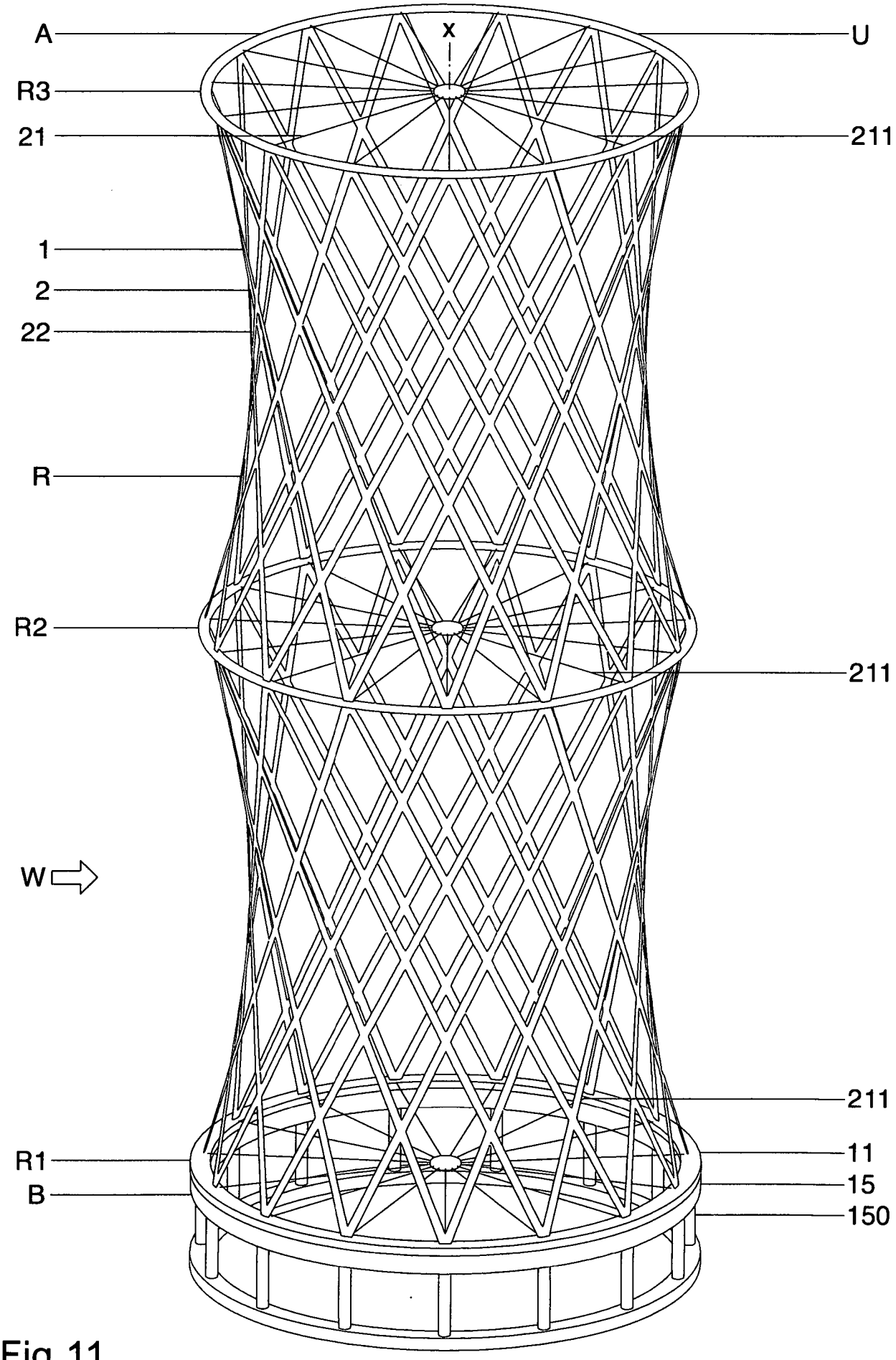


Fig.11

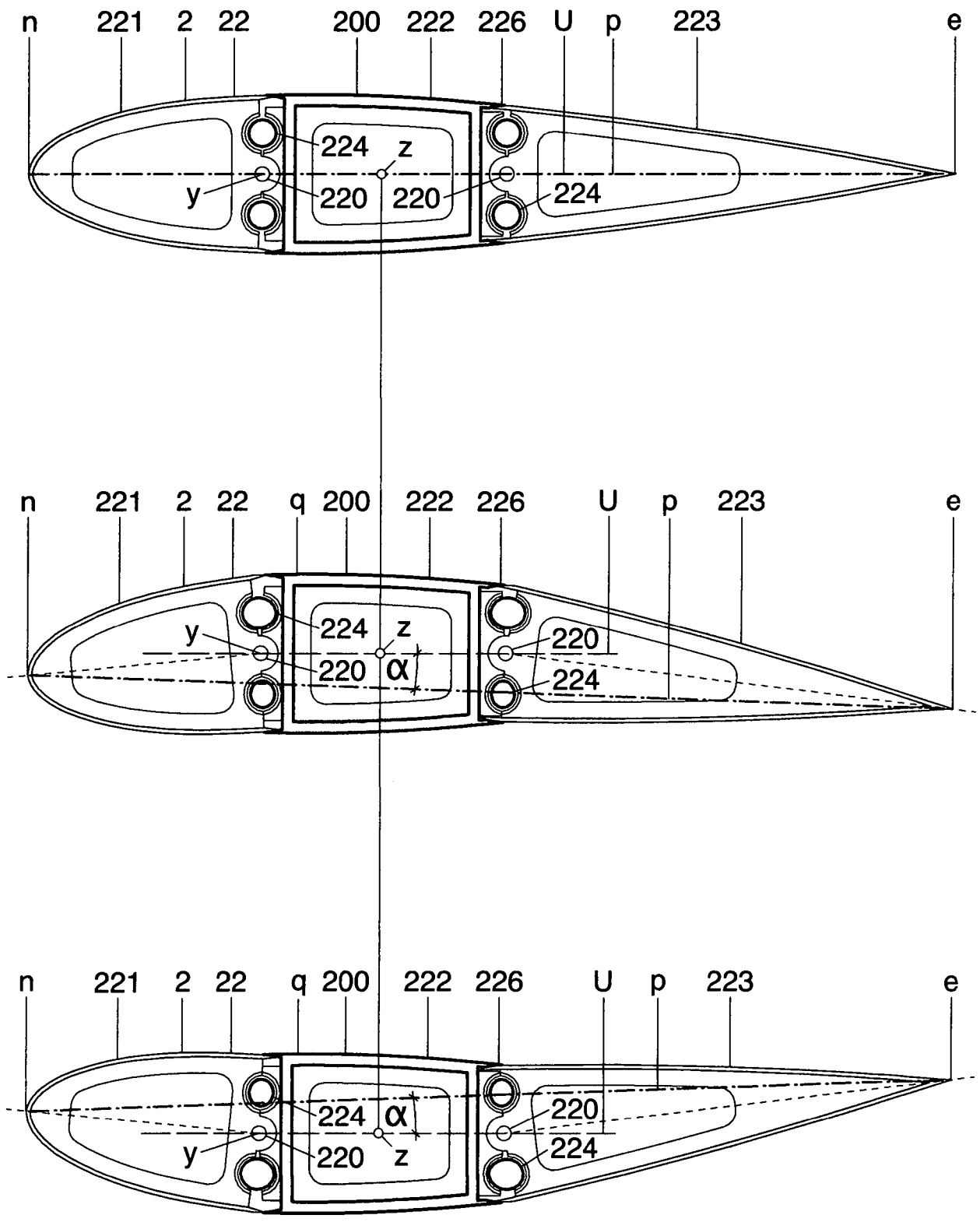

n
221
2
22
200
222
226
U
p
223
e
224
z
y
220
220
224
n
221
2
22
q
200
222
226
U
p
223
e
y
224
z
220
α
220
224
n
221
2
22
q
200
222
226
U
p
223
e
224
α
220
y
220
z
224

Fig.12

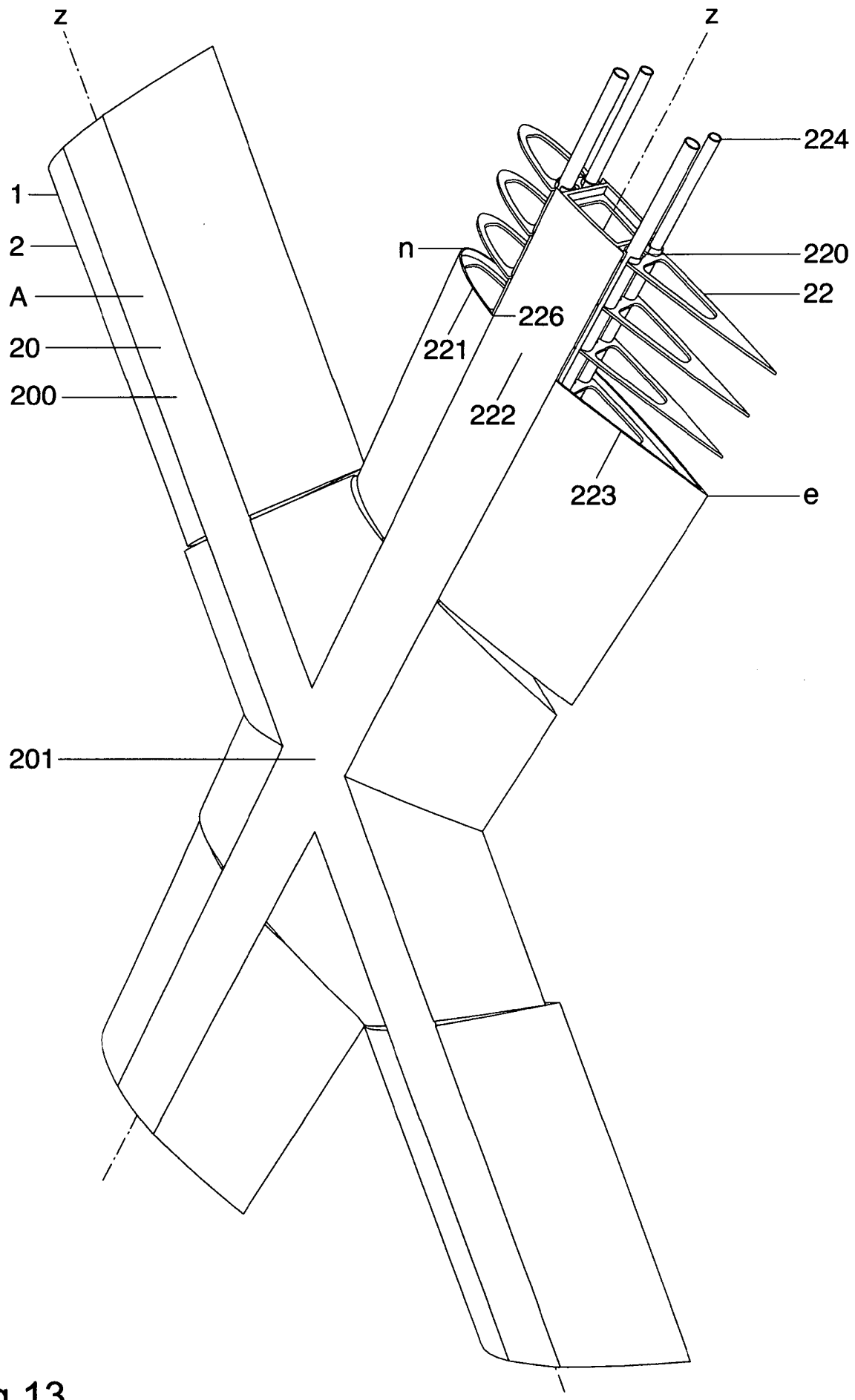


Fig.13

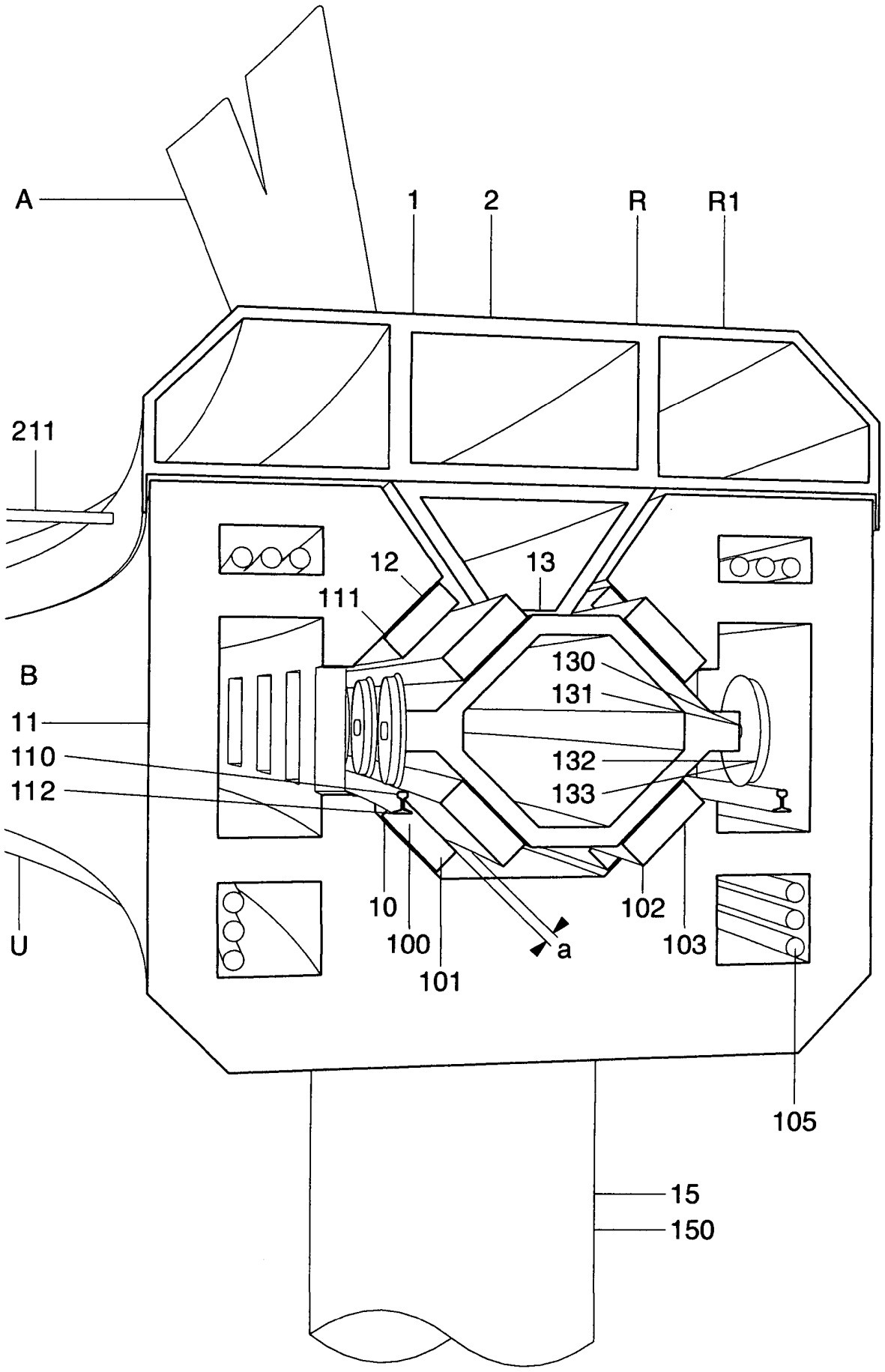

A
1
2
R
R1
211
12
13
111
130
131
B
11
110
112
132
133
U
10
100
101
a
102
103
105
15
150

Fig.14

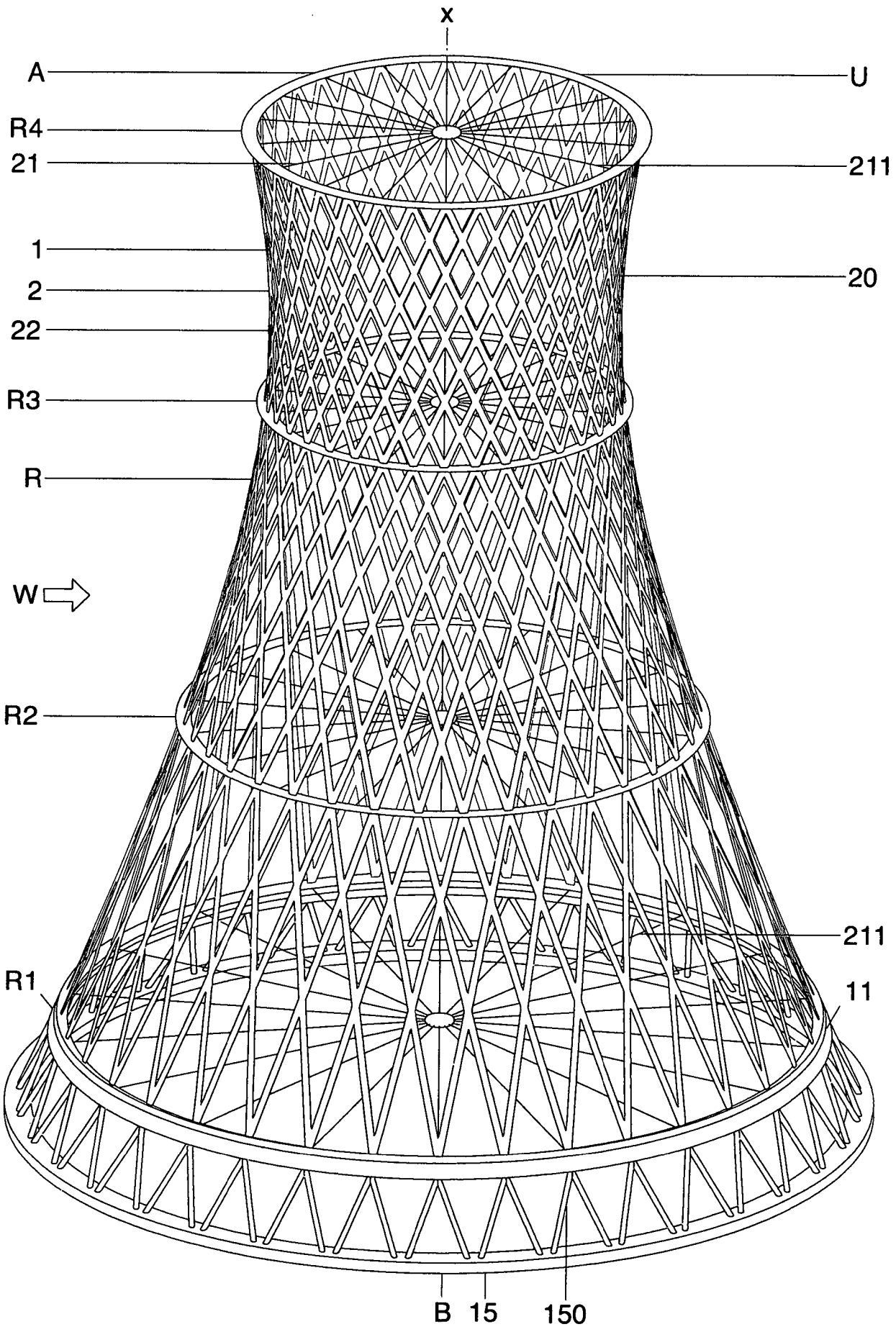


Fig.15

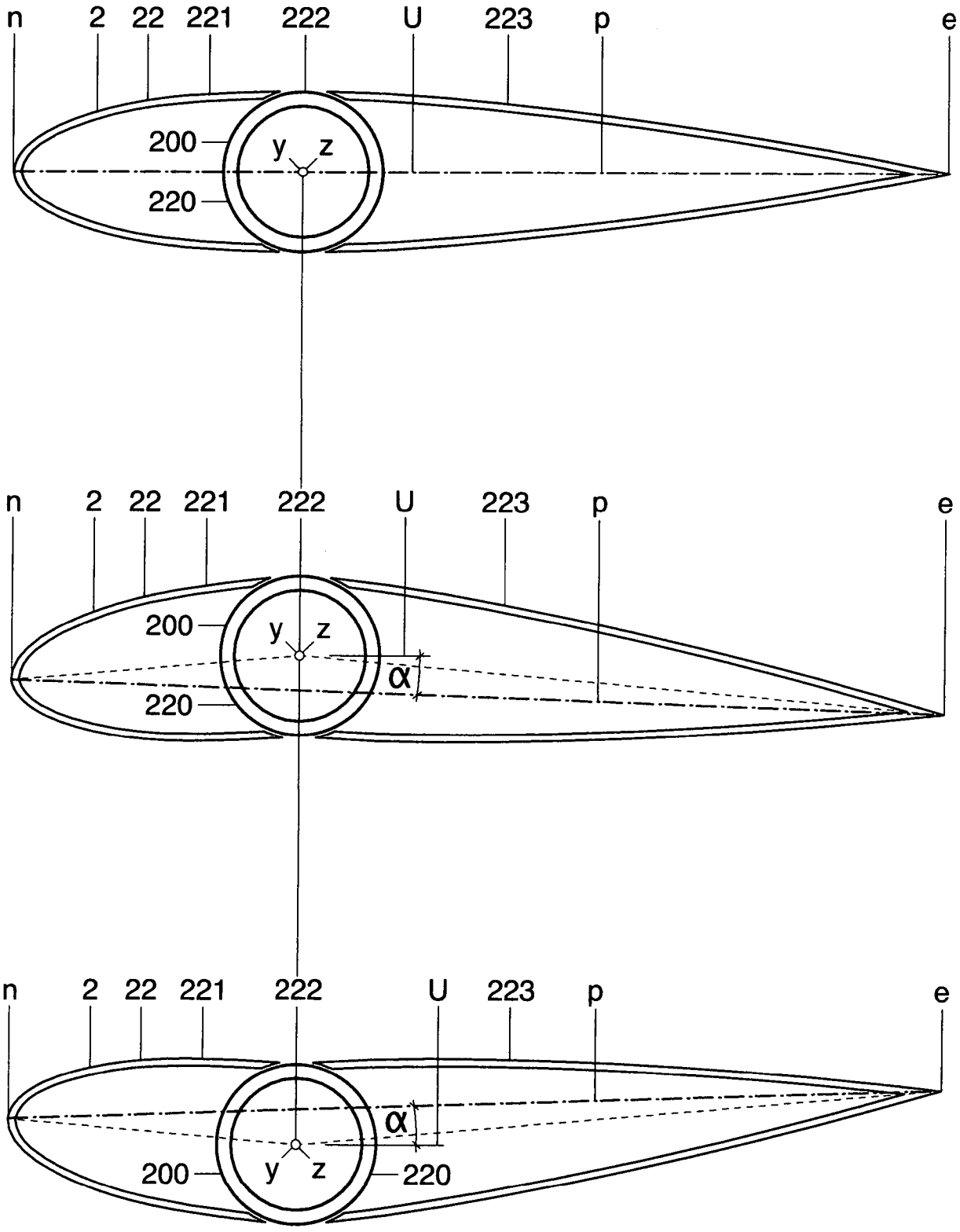


Fig.16

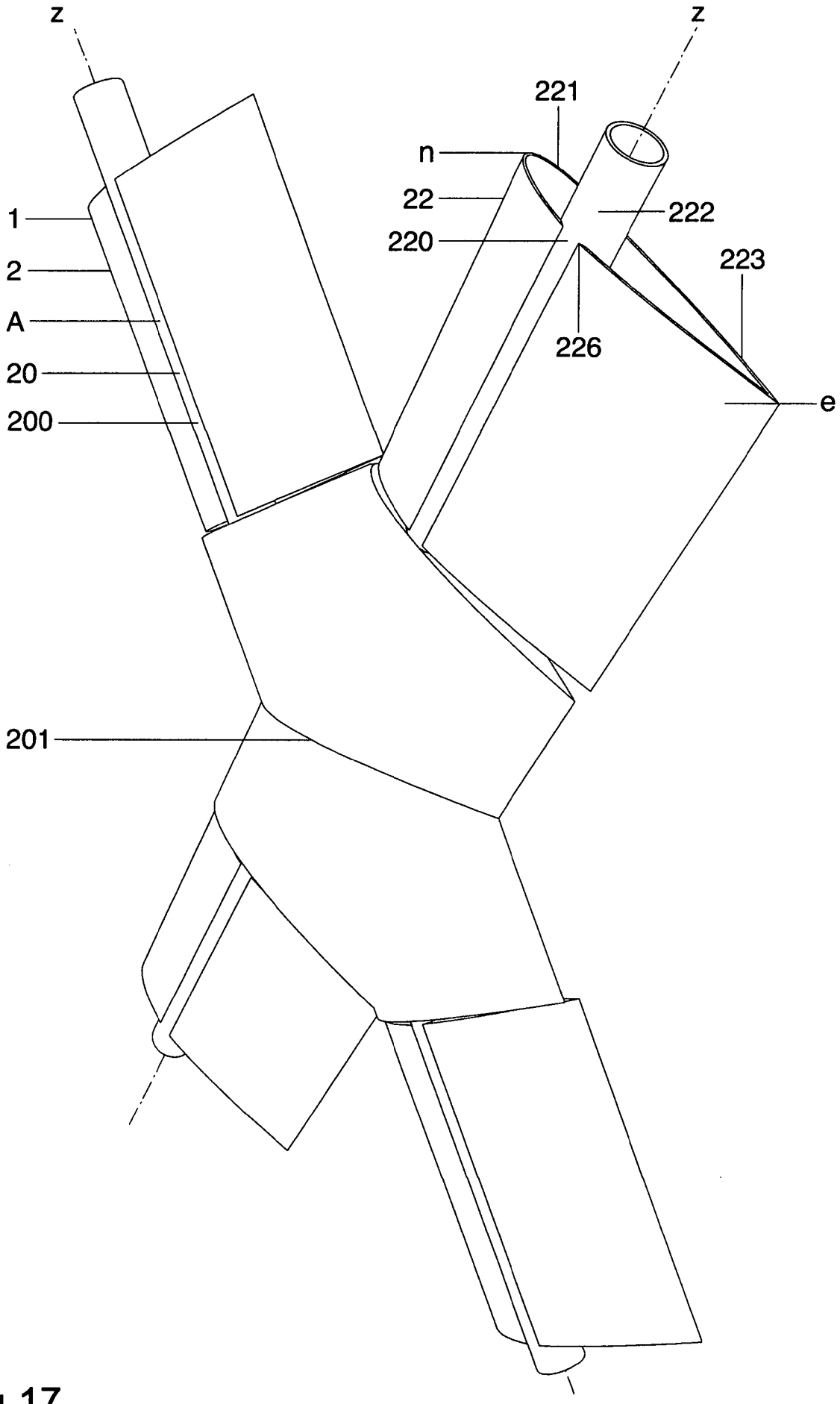


Fig.17

 Das Dokument wurde durch die Firma Jouve hergestellt.