



(10) **DE 10 2011 016 141 B4** 2013.06.06

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 016 141.4**  
(22) Anmeldetag: **24.03.2011**  
(43) Offenlegungstag: **27.09.2012**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **06.06.2013**

(51) Int Cl.: **F03D 1/04** (2006.01)  
**F03D 9/00** (2006.01)

Innerhalb von drei 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, Prof. Dipl.-Ing., 70376, Stuttgart,  
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**siehe Folgeseiten**

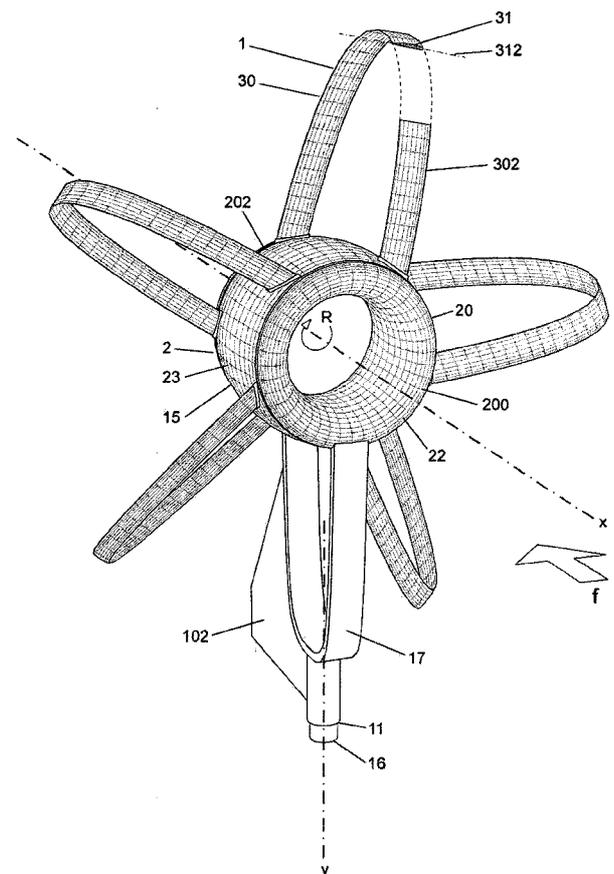
(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(54) Bezeichnung: **Windturbine mit einem Düsenkörper**

(57) Hauptanspruch: Windturbine (1) zur Umwandlung der in einer Anströmung (f) enthaltenen kinetischen Energie in elektrische Energie, die mit einer vertikalen Drehachse (y) zur Anströmung (f) ausrichtbar ist und mindestens ein, einer horizontalen Rotationsachse (x) zugeordnetes Rotorblatt (30) aufweist,

bei der ein konzentrisch und koaxial zur Rotationsachse (x) angeordneter Düsenkörper (2) vorgesehen ist, der ein frei durchströmtes Venturi-Rohr (21) umschließt und ein Ringflügelprofil (20) mit einer Flügel Nase (200), einer Dickenrücklage (201), einer Flügelhinterkante (202) und einer Profildicke (203) aufweist und dabei mit einem Statorteil (22) und einem Rotorteil (23) ein Gehäuse für den Ständering (32) und den Läufering (33) eines Synchrongenerators (3) bildet, wobei der Ständering (32) von dem Statorteil (22) und der Läufering (33) von dem Rotorteil (23) aufgenommen werden und beide Teile (22, 23) über mindestens ein Drehlager (24) untereinander verbunden sind und die Rotorblätter (30) im Wesentlichen auf der Außenseite des Düsenkörpers (2) angeordnet und an den Rotorteil (23) des Düsenkörpers (2) angeschlossen sind,

wobei sich die Anströmung (f) an der Flügel Nase (200) des Ringflügelprofils (20) in einen ungebremsten, den Düsenkörper (2) von innen durchquerenden Luftstrom und einen von den Rotorblättern (30) verlangsamten, den Düsenkörper (2) von außen umströmenden Luftstrom teilt, sodass an der Flügelhinterkante (202) ein sich von der Rotationsachse (x) weg in Richtung der Flügel Nase (200) des Ringflügelprofils (20) und der Saugseite der Rotorblätter (30) eindrehender Ringwirbel (V) bildet.



(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>40 34 383</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>197 11 869</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 024 528</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>883 428</b>	<b>B</b>
<b>US</b>	<b>7 218 011</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>4 075 500</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>6 053 700</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>1 365 106</b>	<b>B1</b>
<b>EP</b>	<b>1 394 406</b>	<b>A2</b>
<b>WO</b>	<b>2010/ 037 254</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2010/ 065 647</b>	<b>A2</b>
<b>JP</b>	<b>2002- 332 953</b>	<b>A</b>

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine zur Anströmung ausrichtbare Windturbine mit horizontaler Rotationsachse zur Umwandlung der in einer Windströmung enthaltenen kinetischen Energie in elektrische Energie mit einem konzentrisch und koaxial zur Rotationsachse der Rotorblätter angeordneten, frei durchströmten Düsenkörper. Der Düsenkörper ist als Ringflügel ausgebildet und dabei so profiliert, dass der Sogbereich des Ringflügelprofils ein Venturi-Rohr umschließt und die Rotorblätter der äußeren Seite des Ringflügelprofils mit Druckbereichen zugeordnet sind. Durch den Venturi-Effekt im Inneren des Düsenkörpers wird der Luftstrom beschleunigt und erhält dabei einen Drall von der Rotationsachse weg. Die Rotorblätter ihrerseits nehmen Energie aus dem den Ringflügel von außen umströmenden Luftstrom auf, wobei sich die Anströmung verlangsamt und auf der Leeseite der Rotorblätter eine Sogzone entsteht. Bei Anströmung der Windturbine treibt das Gefälle zwischen einem Unterdruck innerhalb des Düsenkörpers und einem Überdruck auf der Außenseite des Düsenkörpers eine Zirkulationsströmung um den Düsenkörper an. Diese Zirkulationsströmung schwächt den Sog auf der Saugseite der Rotorblätter ab, sodass eine höhere Drehzahl der Rotorblätter und damit ein verbesserter Wirkungsgrad einer Windturbine ermöglicht werden. An dem Düsenkörper selbst ruft diese Zirkulationsströmung einen Ringwirbel hervor, welcher seinerseits einen sich von der Luvseite her aufbauenden und um die Rotationsachse drehenden Wirbel verursacht. Ausgehend von dem Venturi-Rohr breitet sich dadurch eine Unterdruckzone von Luv nach Lee aus, sodass die anströmende Luft von dem Düsenkörper angesaugt und auf die Rotorblätter gelenkt wird. Dieser aerodynamische Effekt wirkt sich an Windturbinen unterschiedlicher Bauart und Größe vorteilhaft aus.

## Stand der Technik

**[0002]** Unter den zahlreichen Möglichkeiten, Energie CO<sub>2</sub>-frei zu erzeugen, zeichnet sich die Windenergie durch eine besonders hohe Effektivität aus. Im Unterschied zur Sonnenenergie, deren Verfügbarkeit durch den Wechsel von Tag und Nacht eingeschränkt ist und beispielsweise bei der Konzentrator-technik auf eine strahlende Sonne angewiesen ist, was in Deutschland an etwa nur 1000–1500 Stunden im Jahr der Fall ist, zeichnet sich die Windenergie mit einer Betriebsdauer von ca. 8000 Stunden pro Jahr, wovon 2000 Stunden als Volllaststunden angegeben werden, durch eine wesentlich höhere Verfügbarkeit aus.

**[0003]** Der Primärenergieumsatz beträgt gegenwärtig in Deutschland etwa 4000 TWh/a. Auf den Strom entfallen dabei 621 TWh/a, was etwa 15% des Gesamtenergieumsatzes ausmacht. Um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern weiter zu reduzieren, besteht ein gesellschaftlicher Konsens darüber, den Anteil regenerativ erzeugten Stroms zu erhöhen. Heute sind in Deutschland ca. 23.000 Windenergieanlagen mit einem Jahresenergieertrag von ca. 30.000 Megawatt installiert. Damit erreicht die Windenergie einen Anteil von etwa 9% am Bruttostromverbrauch.

**[0004]** Die Nutzung der Windenergie stößt dort an ihre Grenzen, wo vergleichsweise wenig Wind weht und wo durch die Nähe zu Siedlungen und Naturschutzgebieten eine weitere Nutzung des Landschaftsraums durch große Anlagen fragwürdig erscheint. Lärmemissionen und optische Beeinträchtigungen sind wesentliche Faktoren, die vielerorts den weiteren Ausbau der Windenergie verhindern.

**[0005]** Die Stromerzeugung mit Windkraftanlagen basiert fast ausschließlich auf dreiflügeligen Windkraftanlagen mit großem Rotordurchmesser. Durch das Betzsche Gesetz ist der maximale Wirkungsgrad dieser Anlagen auf etwa 59,3% beschränkt. Dies ist auch deshalb der Fall, weil ein großer Teil der auf ein Hindernis treffenden Windströmung um das Hindernis herum gelenkt wird und die Luftströmung großräumig verwirbelt, sodass herkömmliche Windkraftanlagen in einem großen Abstand zueinander angeordnet werden müssen. Eine wesentlich bessere Energieausbeute bezogen auf den zur Verfügung stehenden Rotordurchmesser liefern sog. Mantelturbinen. Hier hat man erkannt, dass der Luftstrom in einer Venturi-Düse gebündelt und mit höherer Geschwindigkeit bzw. Energie auf die Rotorblätter gelenkt werden kann. Um den Luftstrom am Rotorblatt selbst nicht abrupt abzubremsen, ist eine Anordnung von Leit- und Laufrad sinnvoll, wobei der Luftstrom am Leitrad einen Drall erhält, der es ermöglicht, die Rotorblätter steiler zur Anströmung auszurichten, sodass die Luft beim Durchströmen von Leit- und Laufrad nicht wesentlich abgebremst wird. Günstig wirkt sich auch ein hinter dem Laufrad angeordneter Diffusorraum aus, in dem die Luft allmählich zur umgebenden Strömungsgeschwindigkeit zurückkehrt.

**[0006]** Im Zusammenhang mit einer ummantelten Turbine sind auch Techniken bekannt, bei denen ein zweiter Ring um den Ausgang der ersten Düse gelegt wird, um Luft von außen in den Diffusorraum zu lenken und den Druck im Abstrombereich der Windturbine weiter abzusenken. Mantelturbinen, deren Mantel sich in Richtung der Anströmung erweitert, oder Turbinen, bei denen zwei und mehr Ringe vorgesehen sind, um die anströ-

mende Luft von der Rotationsachse wegzuleiten, dienen diesem Effekt. Wegen des großen Materialaufwands, den die Ummantelung einer Windturbine erfordert, ist diese Bauart jedoch auf Turbinen kleiner bzw. mittlerer Größe beschränkt.

**[0007]** Zur Erklärung des Auftriebs an einer Tragfläche bietet die Wissenschaft drei unterschiedliche Modelle an. Das einfachste Modell erläutert den Auftrieb als eine sich einstellende Änderung des Drucks mit Unterdruck an einer gewölbten Flügeloberseite und Überdruck an einer flacheren Flügelunterseite. Der Auftrieb resultiert in diesem Fall aus der Druckdifferenz.

**[0008]** Das zweite Modell beruht auf dem Prinzip von Actio und Reactio bei der Kollision bewegter und ruhender Luftteilchen. Mit diesem Wechselwirkungsgesetz oder auch Impulssatz kann durch eine multiple vektorielle Kraftzerlegung zwischen unendlich vielen Luftteilchen gezeigt werden, dass an der Oberseite der Tragfläche eine nach oben gerichtete Kraft resultiert. Diese beiden Modelle reichen jedoch nicht aus, um die an der gewölbten Oberseite einer Tragfläche beobachtete und nachweisbare, schnellere Strömung der Luft, die sich mit beginnender Anströmung auch in einem zur Flügelunterseite gerichteten Anfahrwirbel zeigt, zu erläutern.

**[0009]** Erst die Annahme einer Zirkulationsströmung als drittes Modell, die an der flachen Flügelseite entgegen der Anströmung gerichtet ist, erklärt alle mit dem Auftrieb verbundenen aerodynamischen Effekte. Die Theorie der Zirkulationsströmung geht davon aus, dass ein Flügel laminar umströmt wird. Die Luft in unmittelbarer Nähe zum Flügel wird durch Reibung mit der Flügeloberfläche verzögert und reißt ab einer bestimmten Geschwindigkeit an der Flügelhinterkante ab. Weiter außen liegende Luftschichten werden durch Reibung weniger abgebremst, reißen an der Flügelhinterkante nicht ab und folgen einer Bewegung um die Flügelhinterkante herum.

**[0010]** Für die Ausbildung der an einem angeströmten Flügelprofil sich einstellenden Druckverhältnisse ist deshalb eine Flügelprofilierung mit einer Flügelnase, einer Dickenrücklage und einer scharfen Flügelhinterkante von entscheidender Bedeutung.

#### Mantelturbinen

**[0011]** Aus der DE 883 428 B ist eine Mantelturbine mit einem dreistufigen Venturi-Rohr mit Konfusor, Düsenverengung und Diffusor, das von einem aerodynamisch profilierten Düsenkörper ummantelt wird, bekannt. Ein Laufrad mit radial angeordneten Rotorblättern ist an der engsten Stelle des Düsenkörpers angeordnet. Anspruch 8 dieser Patentschrift offenbart den Gedanken, das Flügelrad als Läufer eines Synchrongenerators auszubilden, wobei der Ständering des Generators mit den Statorwicklungen innerhalb des Düsenkörpers auf der den Flügelspitzen gegenüberliegenden Seite angeordnet ist. Die Venturi-Düse erhöht zwar in diesem Fall die kinetische Energie der Anströmung, das Laufrad an der engsten Stelle entzieht jedoch der Anströmung Energie, sodass die Luft an der Hinterkante des Düsenkörpers eher zur Rotationsachse hin als von der Rotationsachse wegströmt.

**[0012]** In der US 4 075 500 A werden die Strömungsverhältnisse an einem sich in Richtung der Anströmung trichterartig erweiternden Mantel erläutert. Lufteinlassdüsen sorgen hier für die Zuleitung von Außenluft in den Diffusorraum der Turbine, um kinetische Energie im Abstrombereich des Rotors für eine Druckabsenkung zu mobilisieren.

**[0013]** Die DE 40 34 383 A1 zeigt eine Mantelturbine mit Leit- und Laufrad an der engsten Stelle eines Düsenkörpers und einen mit Abstand zum Düsenkörper angeordneten Konfusorring, der Luft von außen in den Abstrombereich des Laufrads leitet, um die Luftgeschwindigkeit in diesem Bereich zu erhöhen, d. h. den Druck lokal abzusenken.

**[0014]** Aus der US 7 218 011 B2 geht eine Mantelturbine mit einem Düsenkörper zur Aufnahme von Stator- und Rotorring eines permanenterregten Synchrongenerators hervor. Die Rotorblätter kragen hier von der inneren Mantelfläche des Rotorrings ab, sodass eine Unterstützung im Bereich der Rotationsachse nicht mehr erforderlich ist.

**[0015]** Aus der WO 2010/065 647 A2 geht eine Mantelturbine hervor, bei der ein Leitrad und ein Laufrad zusammenwirken, um der Luftströmung Energie zu entziehen und auf einen elektrischen Generator zu übertragen, dessen Läufer mit den Rotorblattspitzen des Laufrads verbunden ist und dessen Ständering in einen segmentierten Ring mit Flügelprofilierung integriert ist. Die einzelnen Segmente des Rings dienen hier dazu, die anströmende Luft in zwei Richtungen aufzuspalten und die in einem spitzen Winkel aufeinander treffenden Luftströme zu mischen. Ein zweiter, nachgeordneter Diffusorring mit Flügelprofilierung leitet die Luft von der

Rotationsachse weg oder ist wiederum segmentiert ausgebildet, um als ein zweiter Mischerring zu wirken. Durch diese Anordnung soll im Abströmbereich der Mantelturbine ein Wirbel entstehen. Die Segmentierung des Ringflügels verhindert die Ausbildung einer Zirkulationsströmung um den Flügel herum.

**[0016]** Aus der US 6 053 700 A geht eine Windturbine hervor, bei der ein durchströmbarer Düsenkörper dazu ausgebildet ist, die durchströmende Luft zu beschleunigen und von der Rotationsachse weg nach außen zu lenken. Im Anschluss des Düsenkörpers ist ein Lüfterrad vorgesehen, dessen Rotorblätter parallel zur Rotationsachse angeordnet sind. Weitere Rotorblätter sind auf der Außenseite des Düsenkörpers angeordnet. Diese Anordnung besteht ausschließlich aus rotierenden Teilen. Zur Übertragung des Drehmoments der Windturbine zu einer Nutzanwendung ist eine zentrale Welle vorgesehen, die ihrerseits über eine Vielzahl von Speichen mit der Innenseite des Düsenkörpers verbunden ist. Diese Speichen innerhalb der Düse führen zu unerwünschten Verwirbelungen der Luft im Windkanal und schmälern zusammen mit der auf der Rotationsachse angeordneten Welle den gewünschten aerodynamischen Effekt erheblich. Die Profilierung des Düsenkörpers als Ringflügel geht aus dieser Druckschrift nicht hervor.

**[0017]** Die EP 1 365 106 B1 zeigt eine Windturbine mit schlaufenförmigen Rotorblättern, die jeweils mit einem vorderen und einem hinteren Ende an einer konzentrisch und koaxial zur Rotationsachse angeordneten Rotorwelle befestigt sind. Durch diese Rotorblattanordnung entsteht in dem von den Rotorblättern umkreisten Bereich ein Unterdruck, sodass Luft von außen angesaugt wird. Die japanische Druckschrift JP 2002 332 953 A zeigt eine Weiterentwicklung dieser Rotorblattanordnung zu einem Rotationskörper. Dieser Rotationskörper ist an einer zentralen Welle beidseitig gelagert und mit einem zur Anströmung ausgerichteten Generator verbunden.

**[0018]** Die WO 2010/037 254 A1 zeigt unterschiedliche Formen von Rotationskörpern, die jeweils an ihrem vorderen und hinteren Ende an einer zentralen, mit dem Synchrongenerator verbundenen Welle gelagert sind. Verbindungselemente, die jeweils am leeseitigen Ende der Rotationskörper eine Verbindung zur Welle herstellen, sind aerodynamisch ungünstig.

**[0019]** Die DE 10 2007 024 528 A1 zeigt eine Energieerzeugungsanlage, die von einer Wind- oder Wasserströmung angetrieben wird, bei der ein Synchrongenerator mit einem Außenläufer vorgesehen ist, der eine ringförmige Stützstruktur für die Turbine bildet. Die DE 197 11 869 A1 zeigt eine Windenergieanlage mit einem Synchrongenerator, der aus einem Innen- und einem Außenring besteht, bei dem die Rotorblätter starr an den drehenden äußeren Ring des Generators angeschlossen sind, wobei ein Innenring vorgesehen ist, der die Funktion der Turmanbindung übernimmt. Die aerodynamische Wirkung eines Ringflügelprofils geht aus dieser Schrift nicht hervor.

**[0020]** In der EP 1 394 406 A2 ist eine Windenergieanlage offenbart, bei der die Flügel eines Windrotors direkt oder mit einer axialen Verlängerung auf dem Läufering eines Synchrongenerators angeordnet sind.

**[0021]** Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die sich an einem Düsenkörper mit einem Ringflügelprofil unter Anströmung einstellende Druckverteilung mit einem Staudruck an der Flügel Nase, Unterdruck an der inneren Mantelfläche und Überdruck an der äußeren Mantelfläche zu nutzen, um einen sich an der Flügelhinterkante zu den Rotorblättern hin eindrehenden Ringwirbel zu erzeugen, der die auf der Außenseite des Düsenkörpers angeordneten Rotorblätter leeseitig beeinflusst. Dabei teilt sich die Anströmung an der Flügel Nase in einen Luftstrom, der den Düsenkörper frei durchströmt und einen Luftstrom der den Düsenkörper von außen umströmt. Während dem äußeren Luftstrom seitens der Rotorblätter Energie entzogen wird und er sich dadurch verlangsamt, wird dem Luftstrom innerhalb des Düsenkörpers in einer dreistufigen Abfolge aus Konfuserstufe, Düsenverengung und Diffuserstufe ein Drall von der Rotationsachse weg aufgeprägt. Der Luftstrom wird dabei nicht nur beschleunigt, sondern spreizt sich zur Hinterkante des Düsenkörpers garbenartig auf. Die auf der Saugseite der Rotorblätter entstehende Sogzone verstärkt das Eindrehen der Zirkulationsströmung an der Flügelhinterkante des Düsenkörpers in einer zur Flügel Nase gerichteten Rückströmung – der gewünschte Ringwirbel baut sich auf.

**[0022]** Da sich der Ringwirbel als Zirkulationsströmung weiträumig um den Düsenkörper herum ausbildet, wird die Saugseite der Rotorblätter so beeinflusst, dass eine höhere Drehzahl ermöglicht wird. Die Zirkulationsströmung kehrt in einem Ringwirbel wieder zur Einströmöffnung des Düsenkörpers zurück, wobei als beschleunigendes Moment der Pirouetteneffekt ins Spiel kommt. Hier spielt die Masse der Luftteilchen eine Rolle, die in einer Ringströmung ins Zentrum gelenkt werden, wobei sich ihre kinetische Energie erhöht. Luvseitig wird die Anströmung weiträumig auf die Rotorblätter gelenkt und weicht diesen, wie bisher gegeben, nicht mehr aus.

**[0023]** Im Einzelnen werden durch die Erfindung folgende Aufgaben gelöst:

- Aerodynamische Nutzung eines Düsenkörpers mit Ringflügelprofil im Zentrum einer Windturbine
- Schaffung eines Unterdruckbereichs im Luv- und Leebereich einer Windturbine
- Erzeugung eines Ringwirbels an einem Düsenkörper mit Ringflügelprofil
- Generatorlauf bereits bei Windgeschwindigkeiten unter 4 m/s durch die Düsenwirkung am Ringflügelprofil
- Vergleichsweise kleinerer Rotordurchmesser bei einer vorgegebenen elektrischen Leistung
- Wegfall schwerer Konstruktionselemente, wie Welle und Getriebe
- Sicherer Betrieb, auch bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Geräuscharmer Lauf bei gekammerten Ausführungsvarianten
- Nutzung der hohen Formstabilität eines Düsenkörpers mit zweiachsig gekrümmten Mantelflächen für die Aufnahme und Lagerung von Ständer- und Läufering eines Synchrongenerators
- Leichtbautechniken mit ausgeschäumten Kunststoff-Schalenkörpern
- Höheres Drehmoment am Synchrongenerator aufgrund eines radialen Hebelarms zwischen Rotationsachse und Rotorblattwurzel
- Weniger Luftwiderstand am Mast bzw. an der Aufhängekonstruktion der Windturbine durch die Verwendung von Flügelprofilen als Windfahne zur selbsttätigen Ausrichtung der Windturbine zum Wind.
- Herstellung einer direkten Verbindung zwischen den Rotorblättern, der Rotornabe und dem Läufering eines Synchrongenerators
- Aerodynamische Formgebung aller Teile einer Windturbine mit geringstmöglichem Widerstandsbeiwert  $c_w$

**[0024]** Diese Aufgaben werden mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen einer Windturbine gelöst. Weitere vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Das neuartige aerodynamische Wirkprinzip für eine Windturbine kann mit Vorteil an Windturbinen unterschiedlicher Bauart und Größe eingesetzt werden. Bisher unterscheidet man bei Windturbinen Luv- und Leeläufer. Im Rahmen der Erfindung wird diese Typologie erweitert.

– Luvläufer

**[0025]** Bei einem Luvläufer können die Rotorblätter in einer Rotationsebene angeordnet sein, wobei über ein Drehgelenk an der Rotorblattwurzel eine Stall-Pitch-Regelung zur Begrenzung der Rotordrehzahl, wie bei herkömmlichen Windkraftanlagen, vorgesehen ist. Sind die Rotorblätter starr mit dem Rotorteil des Düsenkörpers verbunden und luvseitig geneigt und durch Konfusorringe untereinander verbunden, wird eine dynamische Konfusorstufe des Venturi-Rohrs gebildet. Ein erhöhter Staudruck am Düseneinlauf verstärkt den Ringwirbel, der sich um den Düsenkörper herum bildet. Die luvseitigen Konfusorringe haben die Aufgabe, die anströmende Luft in den luvseitigen Rotorkorb hinein zu leiten. Zusammen mit den Rotorblättern bilden sie eine steife und formstabile Gitterschale, die auch höchster Windbeanspruchung standhalten kann.

– Leeläufer

**[0026]** Analog zu einem Luvläufer ist ein erfindungsgemäßer Leeläufer aufgebaut. Auch hier kann z. B. eine dreiflügelige Anlage über eine Stall-Pitch-Regelung verfügen. Sind die Rotorblätter zur Leeseite geneigt und durch Konfusorringe untereinander verbunden, wird ein leeseitiger Rotorkorb gebildet, in dem der Düsenstrahl mit einem Drall von der Rotationsachse weg auf eine durch die Konfusorringe und die Rotorblätter nach innen geleitete Luftströmung trifft, sodass sich innerhalb des Rotorkorbs ein um die Rotationsachse herum drehender Wirbel bildet. Dieser Wirbel verursacht auf der Leeseite einen großen Unterdruck, sodass die Luft großräumig auf die Windturbine gelenkt und von der Düsenöffnung regelrecht angesaugt wird.

– Düsenläufer

**[0027]** Bei einem Düsenläufer ist ein äußerer Konfusorring vorgesehen, der das gleiche Ringflügelprofil aufweisen kann, wie der innere Düsenkörper. Beide Ringflügelprofile sind durch die Leitschaufeln eines Leittrads starr untereinander verbunden. Unmittelbar hinter diesem Leitrad befindet sich ein Laufrad mit entgegengesetzter Profilierung der Rotorblätter. Am Leitrad erhält die Anströmung einen Drall, der bei der Energieaufnahme am Laufrad wieder abgebaut wird, sodass der Luftströmung Energie entnommen werden kann ohne sie dadurch wesentlich abzubremesen. Der Staudruck an den Flügelnasen der beiden Ringflügelprofile und die Sogzone hinter den Rotorblättern treiben zwei um die Ringflügelprofile drehende Zirkulationsströmungen an. Aus der Wechselwirkung dieser beiden Ringwirbel resultiert ein um die Rotationsachse drehender Wirbel.

## – Außenläufer

**[0028]** Bei einem Außenläufer ist das dreistufige Venturi-Rohr des Düsenkörpers starr ausgebildet. Ein sich im Wesentlichen von der Flügel Nase bis zur Flügelhinterkante erstreckender Rotor teil auf der Außenseite eines Ringflügelprofils ist luv- und leeseitig mit schlaufenförmigen Rotorblättern verbunden. Bei Anströmung der Windturbine setzt das Druckgefälle zwischen dem im Inneren des Venturi-Rohrs vorherrschenden Unterdruck und einem Überdruck im Bereich des von den Rotorblättern umfangenen Luftraums eine Zirkulationsströmung in Gang, die einen sich von der Flügelhinterkante des Düsenkörpers in Richtung der Flügel Nase eindrehenden Ringwirbel erzeugt.

**[0029]** Die Erfindung ist immer dann verwirklicht, wenn das Druckgefälle zwischen einer energiereichen, ein Ringflügelprofil von innen frei durchströmenden Luftströmung und einer durch die Energieentnahme seitens der Rotorblätter energiearmen, das Ringflügelprofil von außen umströmenden Luftströmung eine Zirkulationsströmung um das Ringflügelprofil herum bewirkt.

## – Elektrik

**[0030]** Bei drehzahlvariablen Windkraftanlagen mit Synchrongenerator schwankt der vom Synchrongenerator erzeugte Wechselstrom in Frequenz und Betrag ständig. Deshalb ist eine Umwandlung durch einen Gleichrichter in Gleichstrom erforderlich. Für die Einspeisung ins Netz wiederum wird ein Wechselrichter benötigt. Bei kleineren Windturbinen kann ein Synchrongenerator als bürstenloser, permanenterregter Generator ausgebildet werden, dessen z. B. dreiphasige Wechselspannung über eine integrierte Diodenbrücke gleichgerichtet wird. Bei einem derartigen Synchrongenerator trägt der Läufer ring Neodymium-Magnete. Bei größeren Windkraftanlagen rotiert der Läufer ring in einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung, wie in den Fig. 16–Fig. 18 gezeigt, innerhalb des Ständer rings. Grundsätzlich kann der Läufer ring aber auch um den Ständer ring herum angeordnet werden, wobei zur Vermeidung von Wirbelstromverlusten eine sog. Blechung erforderlich wird. Bei einer Transversalflussmaschine (TFM) als Generator kann jedoch ein äußerer Läufer ring, wie in Fig. 21 gezeigt, besonders vorteilhaft sein, da eine ringförmige Rotornabe einerseits den Läufer ring aufnehmen und andererseits unmittelbar mit den Rotorköpfen der Rotorblätter verbunden werden kann. Im Rahmen der Erfindung sind unterschiedliche Varianten für die Anordnung von Läufer- und Ständer ring eines Synchrongenerators möglich, wobei der Luftspalt des Generators parallel oder quer zur Rotationsachse angeordnet werden kann. Das Leistungsspektrum erfindungsgemäßer Windkraftanlagen reicht von einigen hundert Watt bis zu mehreren Megawatt.

## – Konstruktion

**[0031]** Die zweiachsig gekrümmte Mantelfläche eines Düsenkörpers wirkt sich vorteilhaft auf die Stabilität des Generatorgehäuses bzw. der Maschinengondel bei größeren Windkraftanlagen aus. Bei kleineren Windkraftanlagen kann der Düsenkörper aus faserverstärktem Kunststoff mit einem ausgeschäumten Kern hergestellt werden, wobei das Drehlager zwischen Stator- und Rotor teil z. B. aus nichtrostendem Stahl mit dauergeschmierten Rillenkugellagern besteht. Eine derartige Verbundkonstruktion aus Kunststoff und Stahl ist leicht und weitgehend wartungsfrei. Bei einer größeren Windkraftanlage ist die Maschinengondel als Hohlkörper ausgebildet und besitzt aussteifende Rippen bzw. Längs- und Querschotten zur Übertragung der Kräfte auf das Azimutlager des Masts. Öffnbare Klappen in der Mantelfläche des Düsenkörpers ermöglichen in diesem Fall die Zugänglichkeit aller Maschinenteile.

**[0032]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus der Figurenbeschreibung hervor.

**[0033]** Es zeigen:

**[0034]** Fig. 1 eine Windturbine als Außenläufer in der perspektivischen Übersicht

**[0035]** Fig. 2 eine Windturbine als Außenläufer im schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse

**[0036]** Fig. 3 eine Windturbine als Außenläufer mit Darstellung der Druckverteilung an einem angeströmten, konkav-konvexen Ringflügelprofil im schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse

**[0037]** Fig. 4 eine Windturbine als Außenläufer in der luvseitigen perspektivischen Übersicht

**[0038]** Fig. 5 die Windturbine nach Fig. 4 in der leeseitigen perspektivischen Übersicht

- [0039] Fig. 6 die Windturbine nach Fig. 4 und Fig. 5 im perspektivischen Detailschnitt
- [0040] Fig. 7 eine Windturbine als Leeläufer in der perspektivischen Übersicht
- [0041] Fig. 8 die Windturbine nach Fig. 7 im perspektivischen Detailschnitt
- [0042] Fig. 9 die Windturbine nach Fig. 7 und Fig. 8 im Detailschnitt entlang der Rotationsachse
- [0043] Fig. 10 eine Windturbine als Leeläufer in der luvseitigen perspektivischen Übersicht
- [0044] Fig. 11 die Windturbine nach Fig. 10 in einer perspektivischen Seitenansicht
- [0045] Fig. 12 die Windturbine nach Fig. 10 und Fig. 11 im perspektivischen Detailschnitt
- [0046] Fig. 13 eine Windturbine als Luvläufer in der luvseitigen perspektivischen Übersicht
- [0047] Fig. 14 die Windturbine nach Fig. 13 in der leeseitigen perspektivischen Übersicht
- [0048] Fig. 15 die Windturbine nach Fig. 13 und Fig. 14 im perspektivischen Detailschnitt
- [0049] Fig. 16 eine Windturbine als Luvläufer in der luvseitigen perspektivischen Übersicht
- [0050] Fig. 17 die Windturbine nach Fig. 16 im perspektivischen Detailschnitt
- [0051] Fig. 18 die Windturbine nach Fig. 16 und Fig. 17 im schematischen Detailschnitt entlang der Rotationsachse
- [0052] Fig. 19 ein Detail der Windturbine nach Fig. 18 im schematischen Querschnitt
- [0053] Fig. 20 eine Windturbine als Luvläufer in der luvseitigen perspektivischen Übersicht
- [0054] Fig. 21 die Windturbine nach Fig. 20 im schematischen Detailschnitt entlang der Rotationsachse
- [0055] Fig. 1 zeigt eine Windturbine **1** als Außenläufer **15** mit einem Düsenkörper **2**, der von einem bikonvexen Ringflügelprofil **20** gebildet wird. Der Düsenkörper **2** besteht aus einem Statorteil **22** und einem Rotorteil **23**, wobei die einer horizontalen Rotationsachse  $x$  zugeordneten Rotorblätter **30** als Rotorschlaufen **302** ausgebildet sind und jeweils luv- und leeseitig fest mit dem Rotorteil **23** verbunden sind. Die fünf Rotorschlaufen **302** sind bzgl. der Rotationsachse  $x$  schräg angeordnet und besitzen ein Rotorblattprofil **31** mit einer Rotorblattsehne **312**, deren Anstellwinkel  $\alpha$  von der Blattwurzel **310** bis zum Scheitel der Rotorschlaufen **302** kontinuierlich wechselt und am Scheitelpunkt der Rotorschlaufen **302** tangential zum Rotorkreis verläuft. Der Statorteil **22** ist über einen Tragbügel **17** und ein Azimutlager **11** drehbar an einen Mast **16** angelenkt, wobei eine Windfahne **102** die selbsttätige Ausrichtung zur Anströmung  $f$  bewirkt.
- [0056] Fig. 2 zeigt eine Windturbine **1** als Außenläufer **15**, die in der Bauart dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel entspricht in einem schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse  $x$ . Der Düsenkörper **2** besteht aus einem Ringflügelprofil **20** mit einer Flügel Nase **200**, einer Dickenrücklage **201** und einer Flügelhinterkante **202** und umschließt ein dreistufiges Venturi-Rohr **21** mit Konfuserstufe **210**, Düsenverengung **211** und Diffuserstufe **212**. Zur Aufnahme eines Synchrongenerators **3** mit Ständering **32** und Läufering **33** ist der Düsenkörper **2** im Wesentlichen zweiteilig ausgebildet und besitzt einen Statorteil **22** und einen Rotorteil **23**. Während der Rotorteil **23** die Rotornabe **230** bildet, beinhaltet der Statorteil **22** ein Achsrohr **220**. Der Statorteil **22** und der Rotorteil **23** sind durch Drehlager **24** untereinander verbunden, wobei im Bereich des Synchrongenerators **3** ein horizontaler Luftspalt **34** zwischen einem mit Induktionsspulen **320** bestückten Ständering **32** und einem mit Dauermagneten **330** bestückten Läufering **33** vorgesehen ist. Der Düsenkörper **2** ist im Bereich der Flügel Nase **200** und der Flügelhinterkante **202** mit einem Tragbügel **17** verbunden, welcher über ein Azimutlager **11** drehbar an einem Mast **16** gelagert ist. Die aerodynamische Wirkung des Düsenkörpers **2** und der Rotorblätter **30** in der Wechselwirkung mit der Anströmung  $f$  ist in Fig. 3 exemplarisch auch für alle weiteren Ausführungsvarianten einer erfindungsgemäßen Windturbine **1** dargestellt.
- [0057] Fig. 3 zeigt den schematischen Schnitt durch eine Windturbine **1**, die als Außenläufer **15** in der Bauart den in den Fig. 1 und Fig. 2 beschriebenen Beispielen entspricht. Das Ringflügelprofil **20** des Düsenkörpers

**2** hat hier einen konkav-konvexen Zuschnitt und die schlaufenförmigen Rotorblätter **30** sind hufeisenförmig ausgebildet. Der Schnitt zeigt exemplarisch, auch für alle weiteren, in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele der Erfindung, die sich unter Anströmung  $f$  einstellenden Druckbereiche (+) und Sogbereiche (-) an einem Ringflügelprofil **20** und an den Rotorblättern **30** selbst. An der Flügel Nase **200** des Ringflügelprofils **20** teilt sich die Anströmung  $f$  in einen das Venturi-Rohr **21** mit Konfusorstufe **210**, Düsenverengung **211** und Diffusorstufe **212** ungebremst und frei durchquerenden Luftstrahl und eine den Düsenkörper **2** von außen umströmende Luftströmung, deren Energie teilweise von den Rotorschlaufen **302** aufgenommen wird, wobei sich an den Rotorschlaufen **302** jeweils luvseitige Druckbereiche (+) und leeseitige Sogbereiche (-) ausbilden. Während sich eine Unterdruckzone ausgehend von dem Venturi-Rohr **21** um die Rotationsachse  $x$  von Luv nach Lee ausbreitet, entsteht an der äußeren Mantelfläche des Düsenkörpers **2** auch durch die Energieentnahme seitens der Rotorblätter **30** eine Überdruckzone. Diese für alle weiteren Ausführungsbeispiele der Erfindung charakteristische Druckverteilung bewirkt an einem Ringflügelprofil **20** einen Ringwirbel  $V$ , der mit der Anströmung  $f$  interagiert. Die dabei entstehenden aerokinetischen Kräfte mindern den Sog an der Saugseite der Rotorblätter **30** ab und ermöglichen dadurch eine höhere Rotordrehzahl. In einer Rückströmung  $f'$  rollt sich der Ringwirbel  $V$  an der Flügelhinterkante **202** des Ringflügelprofils **20** zur Luvseite ein. Es kommt zu einer Überlagerung der Anströmung  $f$  mit der Rückströmung  $f'$ . Die Anströmung  $f$  selbst wird durch den sich um die Rotationsachse  $x$  herum ausbreitenden Unterdruckbereich gezielt auf die Windturbine **1** gelenkt. Das hier dargestellte neuartige aerodynamische Konzept ermöglicht auch bei den nachfolgend dargestellten Luvläufern **12**, Düsenläufern **13** und Leeläufern **14** einen höheren Energieertrag bei gegebenem Rotordurchmesser im Vergleich zu herkömmlichen Turbinen.

[0058] Fig. 4 zeigt eine Windturbine **1** bestehend aus einem frei durchströmten Düsenkörper **2** und einem konzentrisch um den Düsenkörper **2** angeordneten Konfusorring **101** mit einem Ringflügelprofil **20**. Ein Leitrad **100** dient als starre Verbindung zwischen dem Düsenkörper **2** und dem Konfusorring **101**. Der luvseitige Teil des Konfusorringes **101** einschließlich des Leitrads **100** und der Flügel Nase **200** des Düsenkörpers **2** kann z. B. aus einem Alu-Druckgussteil bestehen, während die leeseitigen Teile des Konfusorringes **101** und des Düsenkörpers **2** als pneumatisch gestützte Konstruktion in der Art eines Reifens über Ringwülste mit dem tragenden Teil der beiden Ringflügelprofile **20** verbunden sind. Bei einem Durchmesser des Konfusorringes **101** von etwa 2 m beträgt die elektrische Leistung 2000–3500 kWh/Jahr. An der engsten Stelle zwischen den beiden konzentrisch angeordneten Ringflügelprofilen **20** des Düsenkörpers **2** und des Konfusorringes **101** ist das Laufrad **300** der Windturbine **1** angeordnet. Während das innere Venturi-Rohr **21** frei durchlüftet ist, wird der Luftstrom zwischen dem Düsenkörper **2** und dem Konfusorring **101** durch die Anordnung von Leitrad **100** und Laufrad **300** abgebremst, wobei aerokinetische Energie auf das Laufrad **300** übertragen wird. Die im Uhrzeigersinn  $R$  drehende Windturbine **1** läuft als Düsenläufer **13** bereits bei wenig Wind gut an und ist über eine Windfahne **102** in einem Azimutlager **11** drehbar an einen Mast **16** angelenkt.

[0059] Fig. 5 zeigt die Windturbine **1** nach Fig. 4 von der Leeseite. Das Laufrad **300** bildet den Rotorteil **23** des Düsenkörpers **2** und ist an der engsten Stelle zwischen dem frei durchlüfteten Düsenkörper **2** und dem umgebenden Konfusorring **101** mit Ringflügelprofilierung angeordnet. Für die Ausbildung der in Fig. 3 erläuterten Zirkulationsströmung um den Düsenkörper **2** und den Konfusorring **101** sind die Flügelhinterkanten **202** des Düsenkörpers **2** und des Konfusorringes **101** von entscheidender Bedeutung. Während die laminare Strömung hier abreißt, rollen sich energiereiche Luftströme, die einerseits den Konfusorring **101** von außen umströmen und andererseits den Düsenkörper **2** in einem Venturi-Rohr **21** von innen durchströmen, jeweils zu den Rotorblättern **30** ein, sodass der Sog auf der Saugseite der Rotorblätter abgebaut und dadurch die Drehzahl des Laufrads **300** erhöht wird. Beim Aufeinandertreffen der die Windturbine **1** von außen und von innen umströmenden Luftströme bildet sich eine um die Achse  $x$  drehende Wirbelströmung aus. Die Tragkonstruktion der Windturbine **1** besteht aus einem kreisrunden Mast **16** aus Stahl, der von einem symmetrischen Flügelprofil als Windfahne **102** umgeben ist, wobei zwischen dem Mast **16** und der Windfahne **102** ein Azimutlager **11** in Form voneinander beabstandeter Drehlager **24** vorgesehen ist. Durch die aerodynamische Ausbildung aller Teile der Windturbine **1** wird die Anströmung  $f$  so wenig wie möglich abgebremst.

[0060] Fig. 6 zeigt die Windturbine **1** nach den Fig. 4 und Fig. 5 in der Schnittperspektive. Der Düsenkörper **2** und der Konfusorring **101** weisen jeweils ein Ringflügelprofil **20** mit symmetrischem Zuschnitt auf. Der Ständering **32** und der Läufering **33** eines Synchrongenerators **3** werden von dem Düsenkörper **2** aufgenommen, wobei der Ständering **32** dem Statorteil **22** zugeordnet ist und der Läufering **33** den Rotorteil **23** des Düsenkörpers **2** bildet. Durch die Schaufeln des Leitrads **100** erhält die Anströmung  $f$  einen Drall, welcher durch eine komplementäre Profilierung der Rotorblätter **30** des Laufrads **300** abgebaut wird, sodass der gebremste Luftstrom stromab des Laufrads **300** wieder parallel zur Rotationsachse  $x$  verläuft. Um beide Ringflügelprofile **20** bildet sich eine Zirkulationsströmung aus, deren Interaktion einen um die Rotationsachse  $x$  drehenden Wirbel verursacht.

[0061] Fig. 7 zeigt eine Windturbine 1 als Leeläufer 14. An den Düsenkörper 2 mit einem Ringflügelprofil 20, einem Statorteil 22 und einem Rotorteil 23 ist ein Rotorkorb 301 angeschlossen. Eine Mehrzahl von Rotorblättern 30 ist durch Verbindungsringe 303 zu einer Gitterschale verbunden. Die Verbindungsringe 303 wirken als Konfusorringe 101 und leiten Luft von außen in den Rotorkorb 301 ein. Auf diese Weise erhält der äußere Luftstrom einen Drall zur Rotationsachse x hin, während der frei durch das Venturi-Rohr 21 strömende Luftstrom einen Drall von der Rotationsachse x weg erhält. Innerhalb des Rotorkorbs 301 treffen beide Luftströme in einem spitzen Winkel aufeinander und verursachen einen um die Rotationsachse x sich entwickelnden Wirbel. Die Windturbine 1 dreht im Uhrzeigersinn R, wobei die Rotorblätter 30 aufgrund ihrer Flügelprofilierung innerhalb des Rotorkorbs 301 einen Unterdruck bewirken. Der Statorteil 22 des Düsenkörpers 2 ist fest mit einer Windfahne 102 verbunden, die ihrerseits über ein Azimutlager 11 an einen eingespannten Mast 16 angelenkt ist. Unter Anströmung f dreht sich die Windturbine 1 um die Drehachse y mit der Flügel Nase 200 des Ringflügelprofils 20 in den Wind. Der Rotorkorb 301 kann bei einer kleinen Windturbine 1 in einem Stück als Kunststoff-Spritzgussteil hergestellt werden

[0062] Fig. 8 zeigt die Windturbine 1 nach Fig. 7 im perspektivischen Detailschnitt. Der Düsenkörper 2 weist ein konkav-konvexes Ringflügelprofil 20 auf und nimmt in seinem Statorteil 22 den Ständering 32 eines Synchronerators 3 auf, wobei der Läufering 33 des Synchronerators 3 dem Rotorteil 23 des Düsenkörpers 2 zugeordnet ist. Eine Vielzahl von Rotorblättern 30 ist jeweils an der Blattwurzel 310 starr mit dem Rotorteil 23 des Düsenkörpers 2 verbunden. Konfusorringe 101 verbinden die Rotorblätter 30 untereinander zu einer steifen Gitterschale. Die Tragkonstruktion mit einem Mast 16 ist durch ein den Mast 16 umgebendes symmetrisches Flügelprofil als Windfahne 102 aerodynamisch gestaltet, sodass die Anströmung f so wenig wie möglich abgebremst wird. Die hohe Formstabilität des Düsenkörpers 2 ermöglicht eine präzise Lagerung von Ständering 32 und Läufering 33 des Synchronerators 3, auch unter Biege-, Schub- und Torsionsbeanspruchung.

[0063] Fig. 9 zeigt die Windturbine 1 nach den Fig. 7 und Fig. 8 in einem Teilschnitt entlang der Rotationsachse x. Der Düsenkörper 2 weist ein Ringflügelprofil 20 mit Flügel Nase 200, Dickenrücklage 201, Flügelhinterkante 202 und Profilschne 203 auf und ist an einem vertikalen Mast 16 über ein Azimutlager 11 und eine Windfahne 102 in Form eines symmetrischen Flügelprofils drehbar gelagert. Der Düsenkörper 2 umschließt ein Venturi-Rohr 21 mit Konfusorstufe 210, Düsenverengung 211 und Diffusorstufe 212. Eine Mehrzahl von Rotorblättern 30 ist durch Verbindungsringe 303 untereinander zu einem Rotorkorb 301 verbunden. Die Rotorblätter 30 sind in einem Neigungswinkel  $\beta$  von etwa 25 Grad gegenüber der Rotationsachse x zur Leeseite geneigt. Die Konfusorringe 101 zeigen im Querschnitt ein asymmetrisches Flügelprofil und sind dazu ausgebildet, die Anströmung f in den Rotorkorb 301 zur Rotationsachse x hinzulenken. Der das Venturi-Rohr 21 frei durchströmende energiereiche Luftstrahl erhält durch das Ringflügelprofil 20 mit einer ebenfalls geneigten Profilschne 203 einen Drall von der Rotationsachse x weg. Beide Luftströme bilden einen sich um die Rotationsachse x ausbildenden Wirbel.

[0064] Fig. 10 zeigt eine Windturbine 1 als Leeläufer 14 von der Luvseite her. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel bildet der Düsenkörper 2 mit einem Statorteil 22 und einem Rotorteil 23 ein frei durchlüftetes Venturi-Rohr 21. Unter Anströmung f richtet sich die Windturbine 1 selbsttätig mit der Flügel Nase 200 des Ringflügelprofils 20 zum Wind aus, wobei die zur Leeseite geneigten, bogenförmig geschwungenen Rotorblätter 30 Energie aus der Anströmung f aufnehmen und Luft zur Rotationsachse x hinlenken. Ein den Düsenkörper 2 frei durchströmender, energiereicher Luftstrahl wird dagegen durch die Düsenwirkung von der Rotationsachse x weg nach außen gelenkt. Treffen beide Luftströme aufeinander, entsteht ein sich um die Rotationsachse x entwickelnder Wirbel, dessen Unterdruck die anströmende Luft auf die Windturbine 1 lenkt.

[0065] Fig. 11 zeigt die Windturbine 1 nach Fig. 10 in der perspektivischen Seitenansicht. Acht bogenförmig geschwungene Rotorblätter 30 mit einem Rotorblattprofil 31 setzen mit einer Blattwurzel 310 am Rotorteil 23 des Düsenkörpers 2 an und sind an ihren Blattspitzen 311 durch einen Verbindungsring 303 in Form eines Konfusorringes 101 untereinander verbunden. Die Windturbine 1 richtet sich über einen Leitapparat 10, bestehend aus einem Konfusorring 101 und einer Windfahne 102 durch ein Azimutlager 11 als Verbindung zu einem feststehenden Mast 16 selbsttätig zur Anströmung f aus. Wie in Fig. 10 gezeigt, weisen die Rotorblätter 30 ein Rotorblattprofil 31 mit einem wechselnden Anstellwinkel  $\alpha$  zur Anströmung f auf. Die Rotorblätter 30 entnehmen der Anströmung f Energie und lenken den Luftstrom zur Rotationsachse x hin, während ein energiereicher, den Düsenkörper 2 ungebremst durchquerender Luftstrom von der Rotationsachse x weggelenkt wird. Am Ringflügelprofil 20 bildet sich eine Zirkulationsströmung aus, sodass sich von der Luvseite her eine um die Rotationsachse x drehende Wirbelwalze bildet.

[0066] Fig. 12 zeigt einen perspektivischen Detailschnitt der in den Fig. 10 und Fig. 11 dargestellten Windturbine 1. Der Düsenkörper 2 umschließt mit einem Ringflügelprofil 20 ein Venturi-Rohr 21 und nimmt in seinem

Statorteil **22** den Ständerring **32** und in seinem Rotorteil **23** den Läufering **33** eines Synchrongenerators **3** auf. Insgesamt acht Rotorblätter **30** mit einer Flügelprofilierung sind an ihrer Blattwurzel **310** starr mit dem Rotorteil **23** des Düsenkörpers **2** und an ihrer Blattspitze **311** mit einem Konfusorring **101** verbunden.

[0067] **Fig. 13** zeigt eine Windturbine **1** als Luvläufer **12**. Das Venturi-Rohr **21** besitzt bei diesem Ausführungsbeispiel eine dynamische Konfusorstufe **210**. Insgesamt sechs Rotorblätter **30** sind starr mit dem Rotorteil **23** des Düsenkörpers **2** verbunden und an der Blattwurzel **310** so erweitert, dass unter Anströmung  $f$  mehr Luft in das Venturi-Rohr **21** hineingeleitet wird. Zur Erhöhung der Formstabilität sind die Rotorblätter **30** durch einen luvseitigen Verbindungsring **303** als Konfusorring **101** untereinander verbunden. Dieser Leitapparat **10** lenkt die anströmende Luft auf den Düsenkörper **2**.

[0068] **Fig. 14** zeigt die in **Fig. 13** dargestellte Windturbine **1** in einer perspektivischen Ansicht von der Lee-seite. Die Flügelhinterkante **202** des Ringflügelprofils **20** ist bei dieser Ausführungsvariante gewellt ausgebildet, um das Herausbilden einer Zirkulationsströmung um das Ringflügelprofil **20** herum zu begünstigen. Der Statorteil **22** des Düsenkörpers **2** ist starr mit einem symmetrischen Flügelprofil, das die Windfahne **102** bildet und über ein nicht näher dargestelltes Azimutlager **11** mit einem feststehenden Stahlrohrmast verbunden.

[0069] **Fig. 15** zeigt die in den **Fig. 13** und **Fig. 14** dargestellte Windturbine **1** in einer Schnittperspektive. An der Flügelhinterkante **202** des Düsenkörpers **2** bildet sich ein Ringwirbel  $V$ , der die Luft zu den luvseitigen Rotorblättern **30** lenkt. Der perspektivische Schnitt zeigt die Anordnung eines Synchrongenerators **3** innerhalb des Düsenkörpers **2** mit Ständerring **32** und Läufering **33**.

[0070] **Fig. 16** zeigt eine Windturbine **1** als Luvläufer **12** mit drei Rotorblättern **30**, die an den Rotorteil **23** eines Düsenkörpers **2** angeschlossen sind. An der Blattwurzel **310** der Rotorblätter **30** ist ein Drehgelenk vorgesehen, mit dem der Anstellwinkel  $\alpha$  der Rotorblätter **30** für eine Stall-Pitch-Regelung variiert werden kann. Der Mast **16** dieser Windturbine **1** wird von einem Flügelprofil als Windfahne **102** umfassen. Der Düsenkörper **2** ist starr mit der Windfahne **102** verbunden und richtet sich gemeinsam mit ihr zur Anströmung  $f$  aus.

[0071] **Fig. 17** zeigt die in **Fig. 16** dargestellte Windturbine **1** im perspektivischen Detailschnitt. Der Düsenkörper **2** bildet bei dieser Windturbine **1** eine Maschinengondel zur Aufnahme eines Synchrongenerators **3** einschließlich aller Steuer- und Leiteinrichtungen einer Windkraftanlage. An der Flügelhinterkante **202** des Ringflügelprofils **20** ist als Leitapparat **10** ein peripherer Konfusorring **101** vorgesehen, der die den Düsenkörper **2** laminar umströmende Luft in einem spitzen Winkel zur Rotationsachse  $x$  hinlenkt. Dieser Luftstrom trifft auf einen energiereichen Luftstrahl, der das Venturi-Rohr **21** frei durchströmt und an der Flügelhinterkante **202** von der Rotationsachse  $x$  weggelenkt wird. Das Aufeinandertreffen beider Luftströme erzeugt einen sich um die Rotationsachse  $x$  entwickelnden Wirbel. Der Läufering **33** des Synchrongenerators **3** ist mit einer ringförmigen Rotornabe **230** verbunden. An der Rotornabe **230** schließen auch die Rotorköpfe der Rotorblätter **30** an. Ein Drehgelenk zwischen dem Rotorkopf und der Blattwurzel **310** ermöglicht über einen variablen Anstellwinkel  $\alpha$  gegenüber der Rotationsebene  $z$  eine aerodynamisch wirksame Stall-Pitch-Regelung der Rotordrehzahl. Der Statorteil **22** des Düsenkörpers **2** ist starr mit einem symmetrischen Flügelprofil als Windfahne **102** verbunden. Der Widerstandsbeiwert  $c_w$  dieses Flügelprofils beträgt ca. 0,04 im Unterschied zu einem angeströmten Rundhohlprofil mit einem  $c_w$ -Wert von 0,6–1,0. Dadurch wird die Anströmung  $f$  wesentlich weniger abgebremst als durch einen zylindrischen bzw. konischen Mast **16**. Über ein nicht näher dargestelltes Azimutlager **11** ist die Windfahne **102** drehbar an einen tragenden Mast **16** angelenkt.

[0072] **Fig. 18** zeigt den schematischen Schnitt durch einen Düsenkörper **2**, der die Maschinengondel einer großen Windturbine **1** bildet, deren aerodynamisches Konzept dem in den **Fig. 16** und **Fig. 17** beschriebenen Beispiel entspricht. Drei Rotorblätter **30** sind über ein Drehgelenk an der Blattwurzel **310** an eine ringförmige Rotornabe **230** angelenkt. Die Rotornabe **230** ist als geschweißtes Stahlkastenprofil ausgebildet. Leeseitig ist ein mit Polschuhen bestückter Läufering **33** direkt an die Rotornabe **230** angeflanscht. Der Läufering **33** läuft innerhalb des über Induktionsspulen **320** erregten Ständerrings **32**. Der Ständerring **32** seinerseits ist mit einem Achsrohr **220** verbunden, das die Rotornabe **230** aufnimmt. Voneinander beabstandete Drehlager **24** ermöglichen eine biege-, schub- und torsionssteife Verbindung von Statorteil **22** und Rotorteil **23** des Düsenkörpers **2**. Das Ringflügelprofil **20** ist als bikonvexes Profil ausgebildet und umschließt mit seiner stärker gewölbten Seite ein dreistufiges Venturi-Rohr **21** mit Konfusorstufe **210**, Düsenverengung **211** und Diffusorstufe **212**. Zur Erzeugung eines um die Rotationsachse  $x$  rotierenden Wirbels weist der Leitapparat **10** Querluftleitungen auf, die im Bereich der Düsenverengung **211** über Querluftdüsen **103** Außenluft tangential in das Venturi-Rohr **21** einleiten. Neben den Querluftdüsen **103** kann der Leitapparat **10** auch einen Konfusorring **101** umfassen. Diese optionalen Zusatzelemente dienen der Unterstützung des aerodynamischen Grundprinzips eines Ringwirbels  $V$  an einem Ringflügelprofil **20**.

[0073] Fig. 19 zeigt eine mögliche schematische Anordnung eines Leitapparats **10** nach Fig. 18 mit acht Querluftdüsen **103** im Bereich des Venturi-Rohrs **21** zur Erzeugung eines um die Achse  $x$  rotierenden Wirbels.

[0074] Fig. 20 zeigt eine dreiflügelige Windturbine **1** als große Windkraftanlage, bei der die Maschinengondel von einem Düsenkörper **2** gebildet wird, der ein Venturi-Rohr **21** umschließt. An der Flügel Nase **200** des Ringflügelprofils **20** staut sich die Anströmung  $f$  in einer Druckzone, wobei ein energiereicher, beschleunigter Luftstrahl das Venturi-Rohr **21** ungebremst durchströmt und an der Flügelhinterkante **202** des Ringflügelprofils **20** von der Rotationsachse  $x$  weg nach außen getrieben wird, sich dabei einrollt, und den Sog auf der Saugseite der Rotorblätter **30** abbaut, um sich in einer großräumig ausgebildeten Zirkulationsströmung mit der Anströmung  $f$  zu vereinigen. Der Düsenkörper **2** ist über ein Azimutlager **11** drehbar mit einem Mast **16** verbunden. Drehgelenke an der Blattwurzel **310** ermöglichen das Verstellen der Rotorblätter **30** im Sinne einer Stall-Pitch-Regelung. Das aerodynamische Konzept des Düsenkörpers **2** erleichtert das Anlaufen der Windturbine **1** bereits bei schwachem Wind, erhöht das Drehmoment des Rotors und ermöglicht beispielsweise auch ein „Downsizing“ einer Windkraftanlage bei vorgegebener Leistung im Vergleich zu einer herkömmlichen Windturbine.

[0075] Fig. 21 zeigt einen schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse  $x$  der in Fig. 20 dargestellten Windturbine **1**. Die Rotorblätter **30** sind über ein nicht näher dargestelltes Drehgelenk in der Rotationsebene  $z$  mit einer ringförmigen Rotornabe **230** verbunden, welche ihrerseits über voneinander beabstandete Drehlager **24** mit einem Achsrohr **220** des Statorteils **22** des Düsenkörpers **2** verbunden ist. Im Falle einer Transversalflussmaschine (TFM) bietet die Anordnung eines äußeren Läuferings **33** besondere Vorteile, da zur Vermeidung von Wirbelstromverlusten eine außenseitige Blechung unmittelbar in eine ringförmige Rotornabe **230** integriert werden kann, wobei die Rotornabe **230** in der Rotationsebene  $z$  über Rotorköpfe direkt mit den Rotorblättern **30** verbunden ist. Bei einer größeren Windkraftanlage bildet das Ringflügelprofil **20** die Maschinengondel und nimmt als aerodynamisch geformtes Gehäuse neben dem Synchrongenerator **3** alle Steuerungs- und Leiteinrichtungen einer Windkraftanlage auf. Die Profilversehnung **203** des bikonvexen Ringflügelprofils **20** ist leicht gegenüber der Rotationsachse  $x$  zur Luvseite geneigt. Das Ringflügelprofil **20** zeigt eine Dickenrücklage **201** und umschließt ein dreistufiges Venturi-Rohr **21** mit Konfusorstufe **210**, Düsenverengung **211** und Diffusorstufe **212**. Die Anströmung  $f$  wird in dem Venturi-Rohr **21** beschleunigt und von der Rotationsachse  $x$  weggelenkt. An der Flügelhinterkante **202** bildet sich durch die in Fig. 3 näher erläuterten Druck- und Sogverhältnisse an einem Ringflügelprofil **20** ein Ringwirbel  $V$  aus.

#### Bezugszeichenübersicht

Windturbine	<b>1</b>	Düsenkörper	<b>2</b>	Synchrongenerator	<b>3</b>
Leitapparat	<b>10</b>	Ringflügelprofil	<b>20</b>	Rotorblatt	<b>30</b>
Leitrad	<b>100</b>	Flügel Nase	<b>200</b>	Lauf rad	<b>300</b>
Konfusorring	<b>101</b>	Dickenrücklage	<b>201</b>	Rotorkorb	<b>301</b>
Windfahne	<b>102</b>	Flügelhinterkante	<b>202</b>	Rotorschlaufe	<b>302</b>
Querluftdüse	<b>103</b>	Profilversehnung	<b>203</b>	Verbindungsring	<b>303</b>
Azimutlager	<b>11</b>	Venturi-Rohr	<b>21</b>	Rotorblattprofil	<b>31</b>
Luvläufer	<b>12</b>	Konfusorstufe	<b>210</b>	Blattwurzel	<b>310</b>
Düsenläufer	<b>13</b>	Düsenverengung	<b>211</b>	Blattspitze	<b>311</b>
Leeläufer	<b>14</b>	Diffusorstufe	<b>212</b>	Rotorblattsehne	<b>312</b>
Außenläufer	<b>15</b>	Statorteil	<b>22</b>	Ständering	<b>32</b>
Mast	<b>16</b>	Achsrohr	<b>220</b>	Induktionsspule	<b>320</b>
Tragbügel	<b>17</b>	Rotorteil	<b>23</b>	Läufering	<b>33</b>
Rotationsachse	$x$	Rotornabe	<b>230</b>	Dauermagnet	<b>330</b>
Drehachse	$y$	Drehlager	<b>24</b>	Luftspalt	<b>34</b>

Rotationsebene	z	Sogbereich	(-)	Anstellwinkel	$\alpha$
Anströmung	f	Druckbereich	(+)	Neigungswinkel	$\beta$
Rückströmung	f'	Ringwirbel	V	Rotationsrichtung	R

### Patentansprüche

- Windturbine (1) zur Umwandlung der in einer Anströmung (f) enthaltenen kinetischen Energie in elektrische Energie, die mit einer vertikalen Drehachse (y) zur Anströmung (f) ausrichtbar ist und mindestens ein, einer horizontalen Rotationsachse (x) zugeordnetes Rotorblatt (30) aufweist, bei der ein konzentrisch und koaxial zur Rotationsachse (x) angeordneter Düsenkörper (2) vorgesehen ist, der ein frei durchströmtes Venturi-Rohr (21) umschließt und ein Ringflügelprofil (20) mit einer Flügelnase (200), einer Dickenrücklage (201), einer Flügelhinterkante (202) und einer Profilhöhle (203) aufweist und dabei mit einem Statorteil (22) und einem Rotorteil (23) ein Gehäuse für den Ständering (32) und den Läufering (33) eines Synchrongenerators (3) bildet, wobei der Ständering (32) von dem Statorteil (22) und der Läufering (33) von dem Rotorteil (23) aufgenommen werden und beide Teile (22, 23) über mindestens ein Drehlager (24) untereinander verbunden sind und die Rotorblätter (30) im Wesentlichen auf der Außenseite des Düsenkörpers (2) angeordnet und an den Rotorteil (23) des Düsenkörpers (2) angeschlossen sind, wobei sich die Anströmung (f) an der Flügelnase (200) des Ringflügelprofils (20) in einen ungebremsten, den Düsenkörper (2) von innen durchquerenden Luftstrom und einen von den Rotorblättern (30) verlangsamten, den Düsenkörper (2) von außen umströmenden Luftstrom teilt, sodass an der Flügelhinterkante (202) ein sich von der Rotationsachse (x) weg in Richtung der Flügelnase (200) des Ringflügelprofils (20) und der Saugseite der Rotorblätter (30) eindrehender Ringwirbel (V) bildet.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Venturi-Rohr (21) dreistufig ausgebildet ist und unter Anströmung (f) von Luv nach Lee eine Konfusorstufe (210), eine Düsenverengung (211) und eine Diffusorstufe (212) aufweist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenseite des Ringflügelprofils (20) als Sogbereich (-) ausgebildet ist und die Mantelfläche des Venturi-Rohrs (21) bildet, während die Außenseite des Ringflügelprofils (20) überwiegend Druckbereiche (+) aufweist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Venturi-Rohr (21) eine dynamische Konfusorstufe (210) aufweist, wobei ein luvseitiger Rotorteil (23) des Düsenkörpers (2) mit den Rotorblättern (30) verbunden ist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Venturi-Rohr (21) eine dynamische Diffusorstufe (212) aufweist, wobei ein leeseitiger Rotorteil (23) des Düsenkörpers (2) mit den Rotorblättern (30) verbunden ist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ringflügelprofil (20) im Querschnitt ein symmetrisches, ein asymmetrisches, ein plankonvexes, ein bikonvexes oder ein konkav-konvexes Ringflügelprofil (20) aufweist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Profilhöhle (203) des Ringflügelprofils (20) bezüglich der Rotationsachse (x) parallel oder geneigt angeordnet ist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rotorblatt (30) bzgl. der Rotationsachse (x) bei einem Luvläufer (12) in einem spitzen Winkel ( $\beta$ ) zur Luvseite und bei einem Leeläufer (14) in einem spitzen Winkel ( $\beta$ ) zur Leeseite geneigt ist.
- Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Luvläufer (12) und bei einem Leeläufer (14) die Rotorblätter (30) gegenüber der Rotationsachse (x) geneigt angeordnet und untereinander zu einem Rotorkorb (301) verbunden sind, wobei Verbindungsringe (303) als Konfusorringe (101) mit einem Flügelprofil die einzelnen Rotorblätter (30) zu einer Gitterschale verbinden.

10. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Luvläufer (12) und bei einem Leeläufer (14) die Rotorblätter (30) im Wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse (x) in einer Rotationsebene (z) angeordnet und mit einer luv- bzw. leeseitigen Rotornabe (230) verbunden sind, wobei ein Drehgelenk an der Blattwurzel (310) eine Stall- und Pitchregelung der Rotorblätter (30) ermöglicht.

11. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rotorblatt (30) fest mit einer Rotornabe (230) verbunden ist und im Querschnitt ein Rotorblattprofil (31) mit einer sich zwischen seiner Flügel-nase (200) und seiner Flügelhinterkante erstreckenden Rotorblattsehne (312) aufweist, wobei an der Druck-seite ein Anstellwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber der Rotationsebene (z) vorgesehen ist, dessen Betrag mit zunehmender radialer Entfernung von der Rotationsachse (x) abnimmt.

12. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mit der Außenseite des Düsenkörpers (2) verbundenen Rotorblätter (30) Energie aus der Anströmung (f) aufnehmen und mit einer luv- oder lee-seitigen Neigung die Anströmung (f) zur Rotationsachse (x) hinlenken, während ein energiereicher, innerhalb des Venturi-Rohrs (21) beschleunigter Luftstrom von der Rotationsachse (x) weggelenkt wird.

13. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Düsenläufer (13) ein Leitrad (100) mit einem Laufrad (300) zusammenwirkt und das Leitrad (100) eine kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Düsenkörper (2) und einem äußeren Konfusorring (101) herstellt.

14. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Außenläufer (15) ein Rotorblatt (30) eine Rotorschlaufe (302) aufweist, die jeweils an ihrem luvseitigen und leeseitigen Ende mit dem Rotorteil (23) des Düsenkörpers (2) verbunden ist.

15. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Ausrichtung zur Anströmung (f) eine starr mit dem Statorteil (22) des Düsenkörpers (2) verbundene Windfahne (102) mit einem symmetrischen Flügelprofilquerschnitt vorgesehen ist, die über ein Azimutlager (11) an einen Mast (16) angelenkt ist.

16. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Statorteil (22) ein Achsrohr (220) und der Rotorteil (23) eine Rotornabe (230) aufweist und beide Teile in sich jeweils mehrteilig ausgebildet sind.

17. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehlager (24) als Verbindung zwischen Stator- und Rotorteil (22, 23) des Düsenkörpers (2) als Kugel-, Kegel- oder Rollenlager ausgebildet ist und zur Aufnahme von Biege-, Schub- und Torsionskräften vertikal oder horizontal voneinander beabstandete Lagerschalen aufweist.

18. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Synchrongenerator (3) am Ständer-ring (32) Induktionsspulen (320) und am Läufer-ring (33) Polschuhe oder Dauermagnete (330) aufweist und auch als Transversalflossmaschine TFM ausgebildet sein kann, wobei der Luftspalt (34) zwischen dem Ständer-ring (32) und dem Läufer-ring (33) quer oder parallel zur Rotationsachse (x) angeordnet werden kann.

19. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Querluftleitungen Luft über Öffnungen an der äußeren Mantelfläche des Düsenkörpers (2) an die Düsenverengung (211) des Düsenkörpers (2) lenken, wobei Querluftdüsen (103) Luft radial oder tangential in das Venturi-Rohr (21) einleiten, um eine Rotation des Luftstroms um die Rotationsachse (x) zu bewirken.

20. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Konfusorring (101) ein ringförmiges Flügelprofil aufweist, dessen Flügel-nase (200) zur Anströmung (f) ausgerichtet ist und dessen Flügelwölbung auf der der Rotationsachse (x) abgewandten Seite des Düsenkörpers (2) angeordnet ist.

21. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein bikonvexes Ringflügelprofil (20) vorgesehen ist, wobei dem das Venturi-Rohr (21) laminar durchströmenden Luftstrom ein Drall von der Rotationsachse (x) weg und dem das Ringflügelprofil (20) von außen laminar umströmenden Luftstrom ein Drall zur Rotationsachse (x) hin aufgeprägt werden und beide laminaren Luftströme an der Flügelhinterkante (202) abreißen und in einem spitzen Winkel aufeinander treffen.

22. Windturbine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an der Flügelhinterkante (202) eines Ringflügelprofils (20) ein Leitapparat (10) mit einem auf der Außenseite des Ringflügelprofils (20) angeordneten Konfusorring (101) vorgesehen ist.

Es folgen 20 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

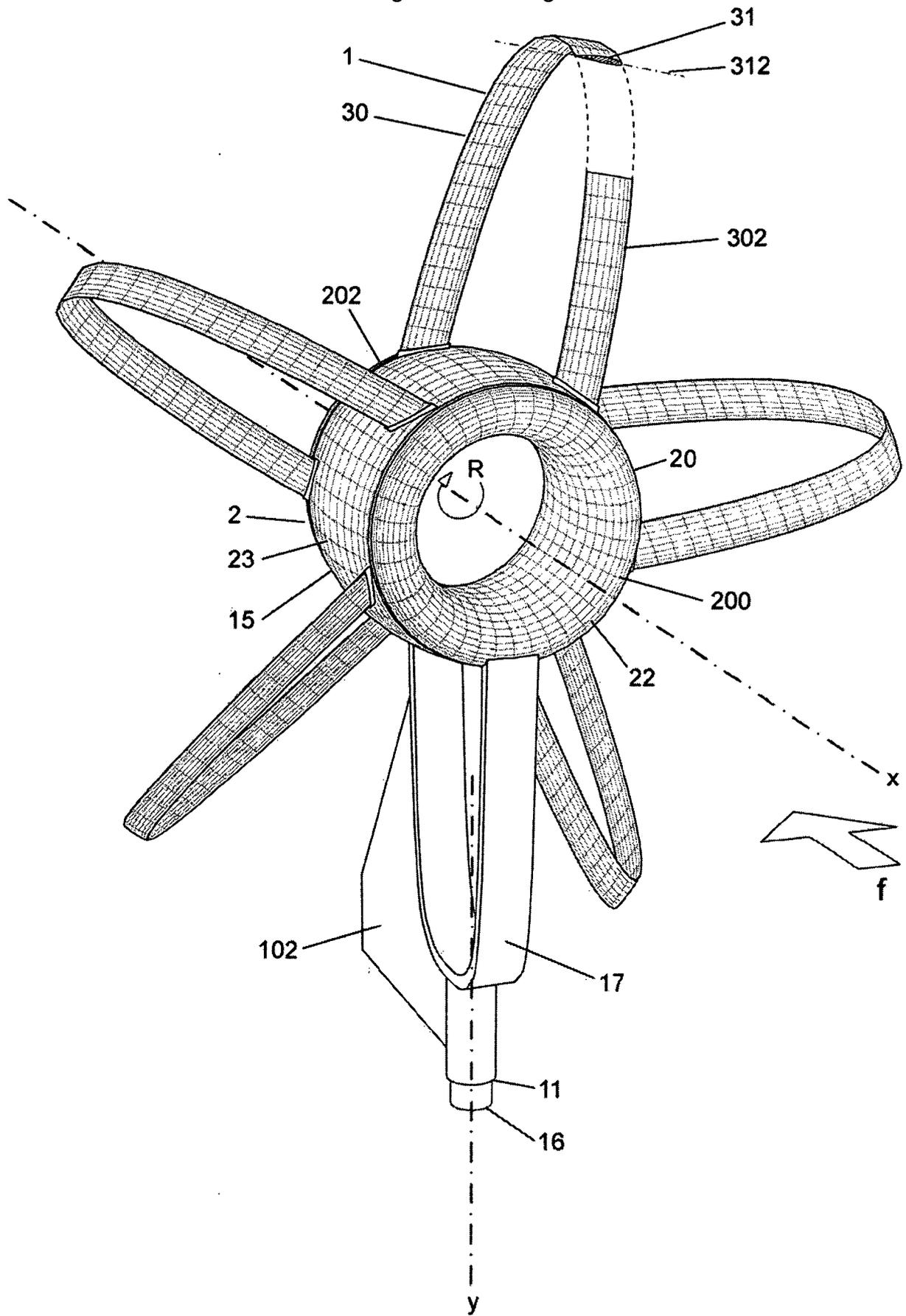


Fig. 1

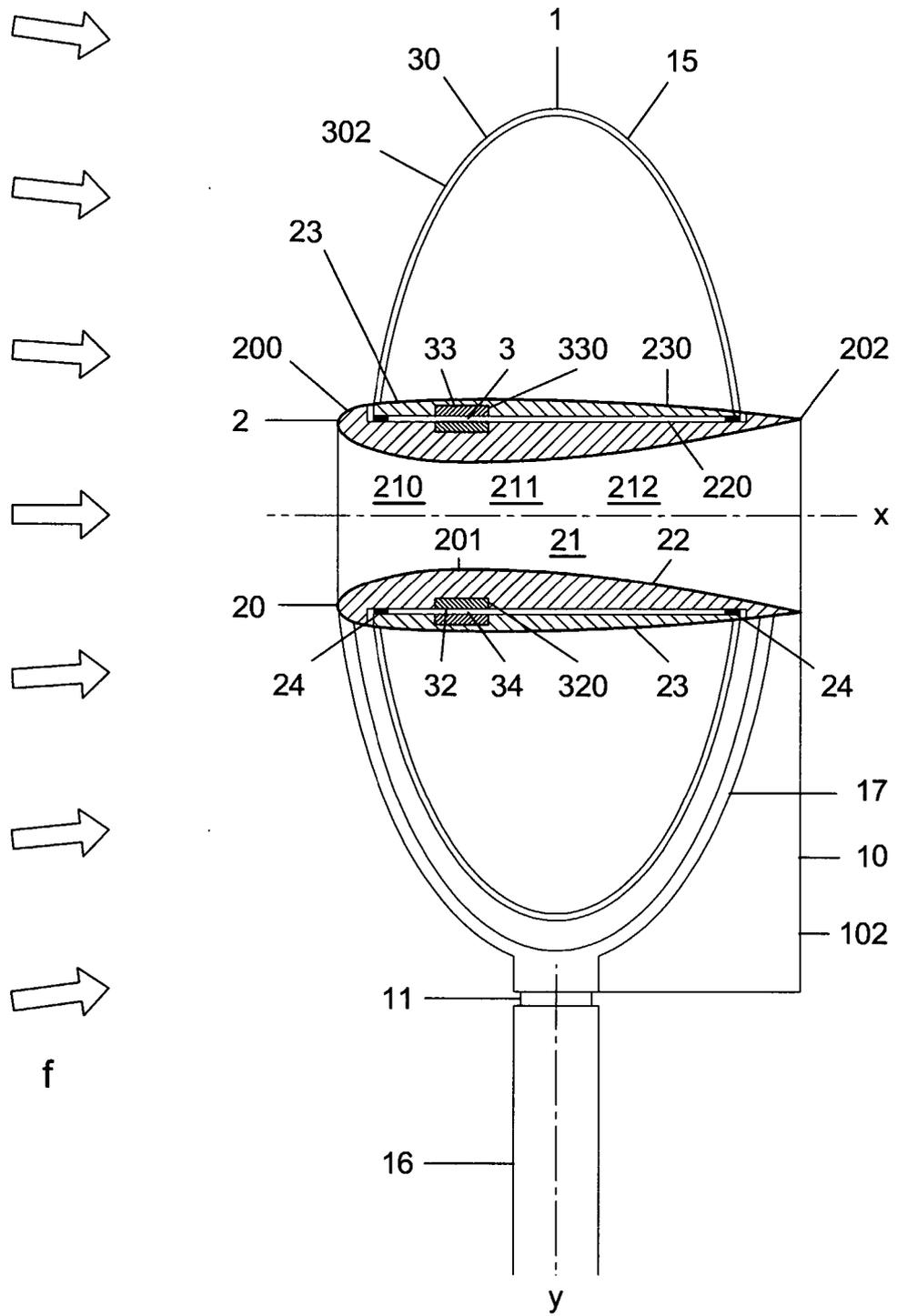


Fig. 2

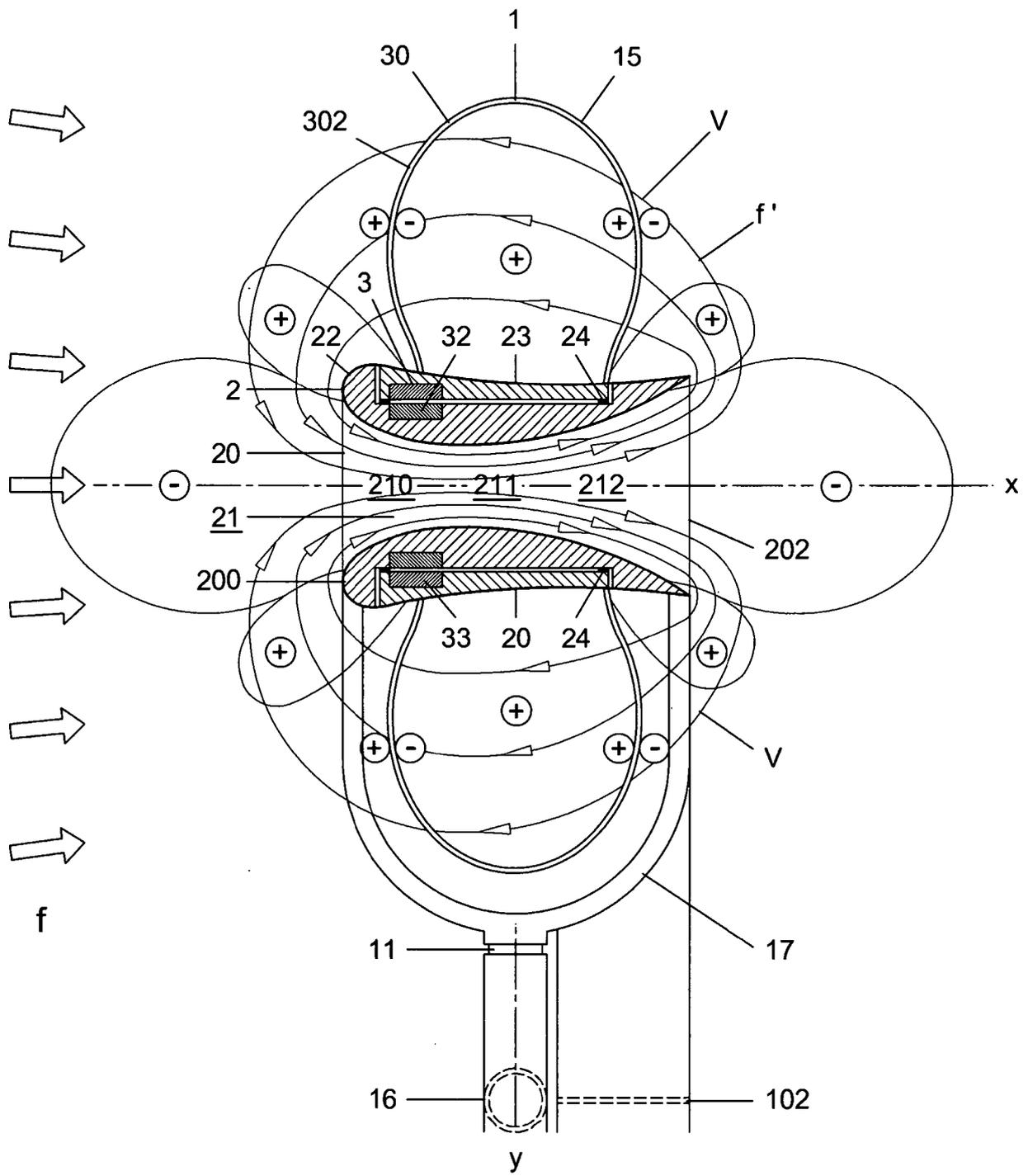


Fig. 3

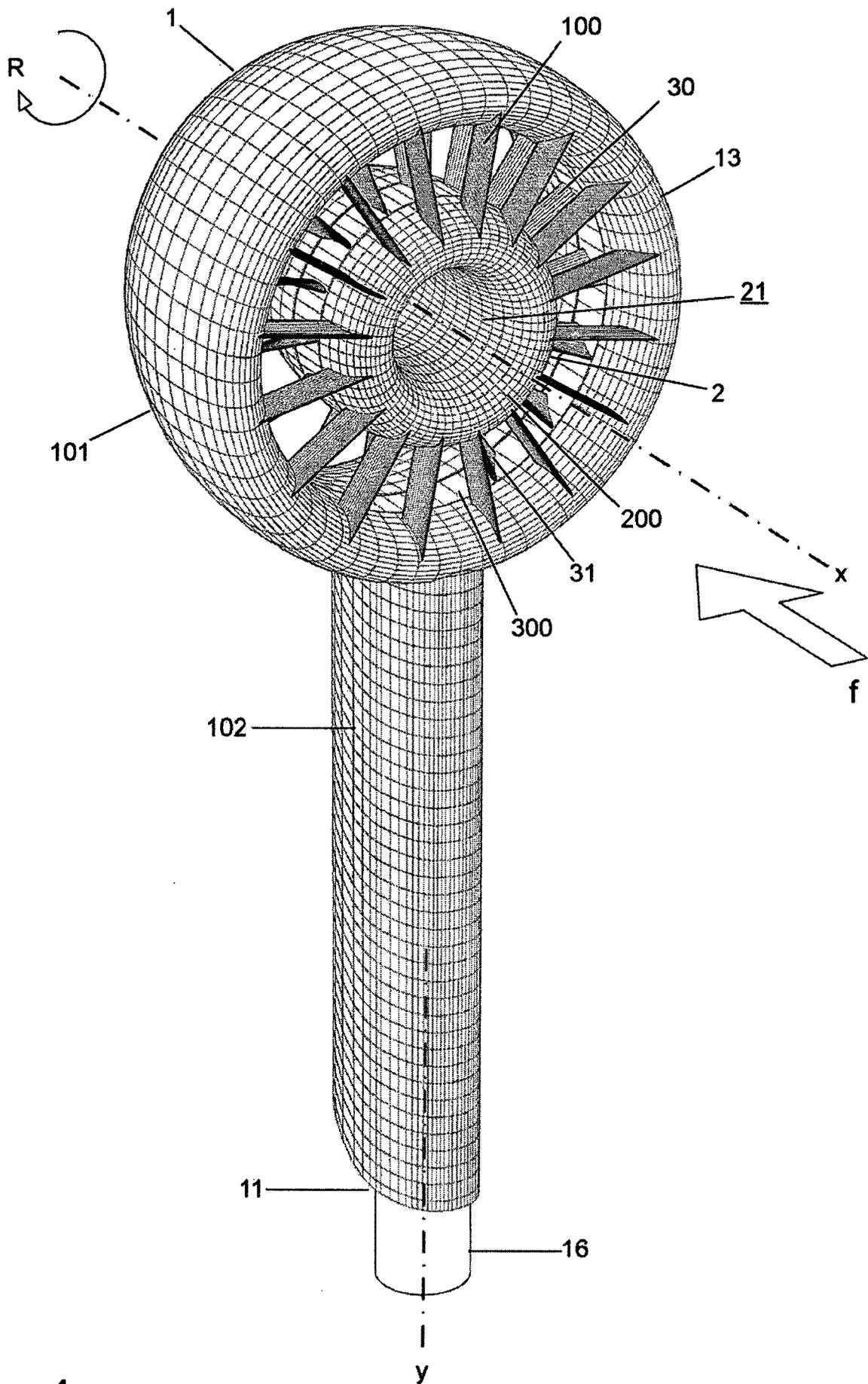


Fig. 4

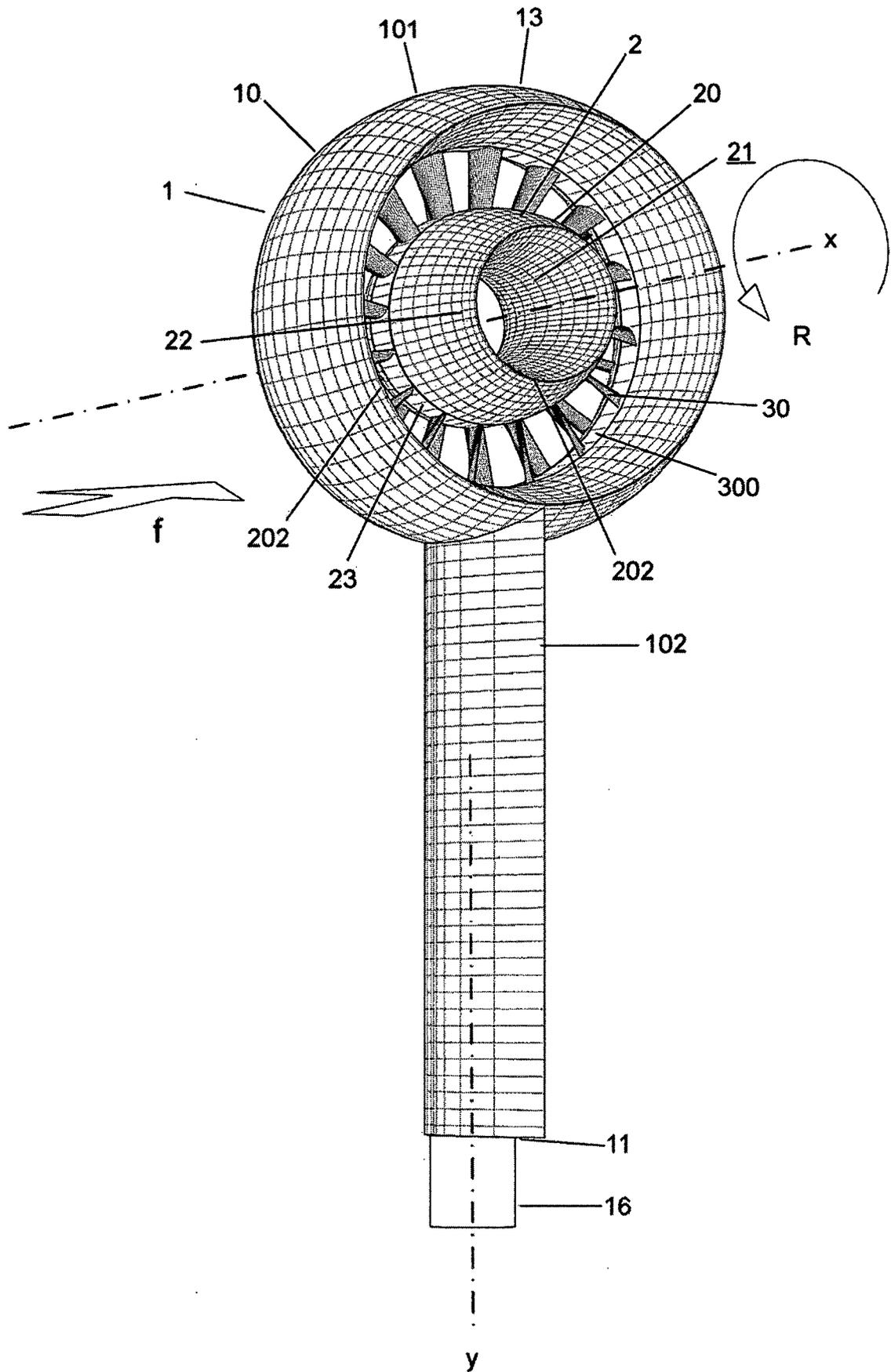


Fig. 5

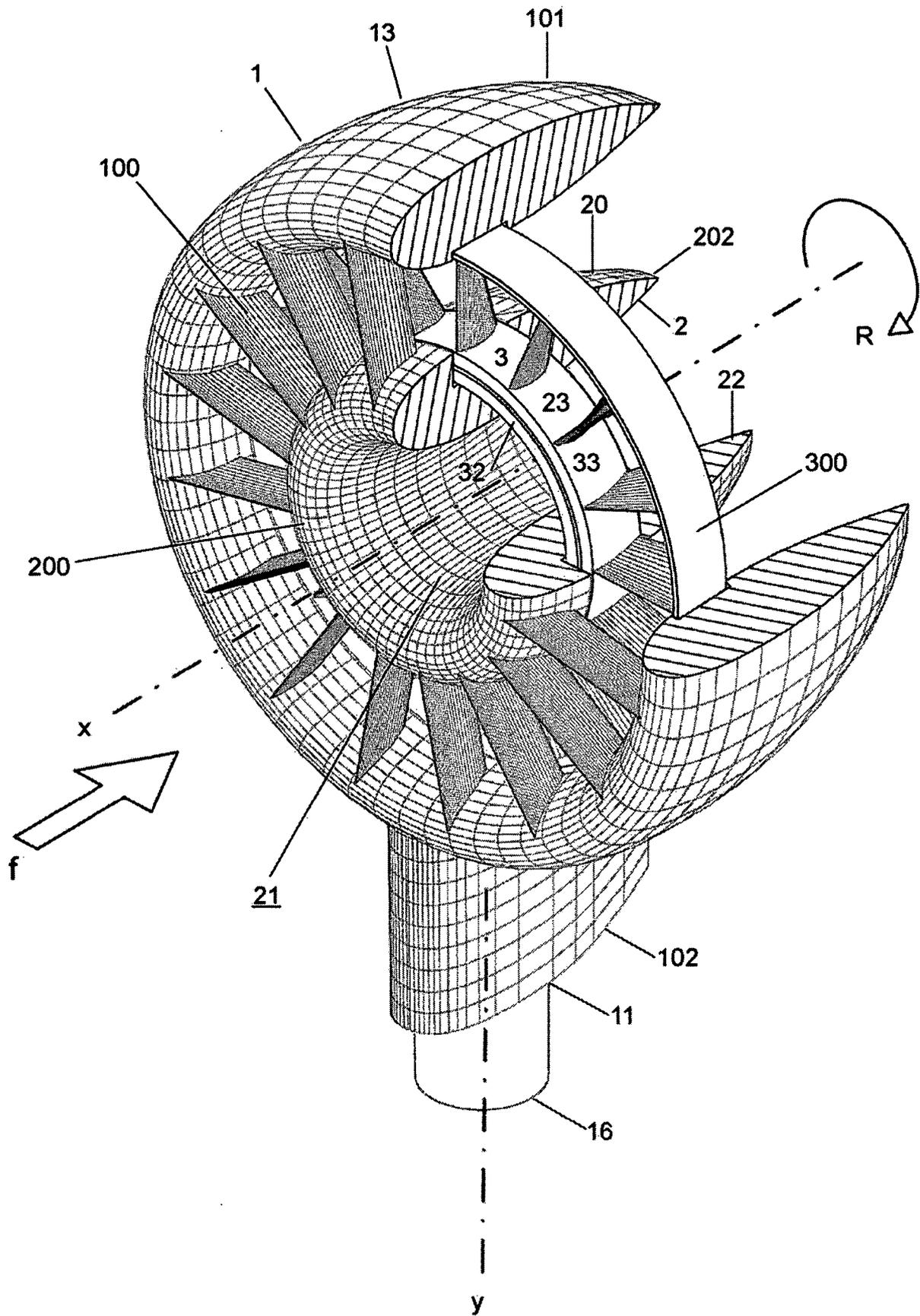


Fig. 6



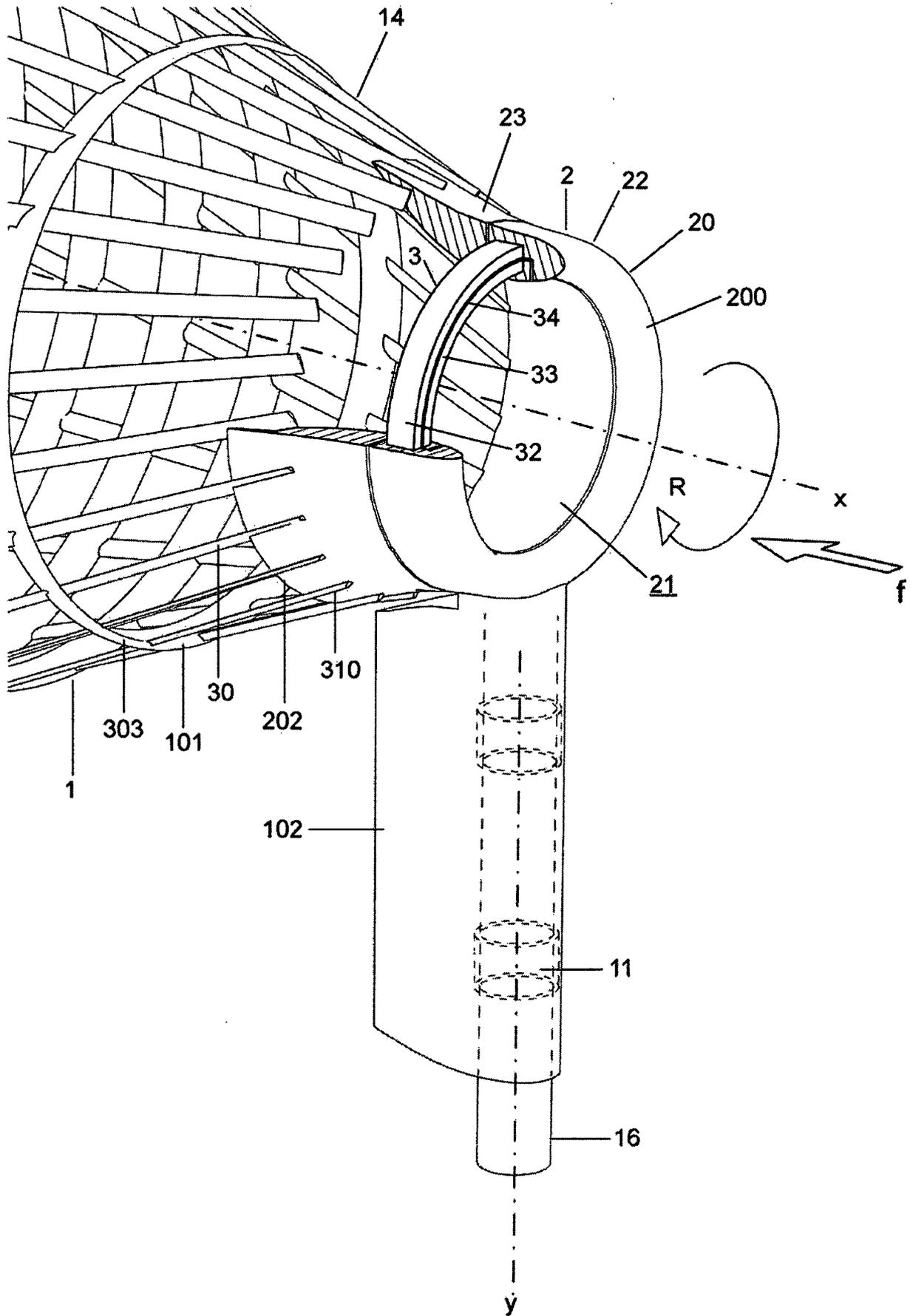


Fig. 8



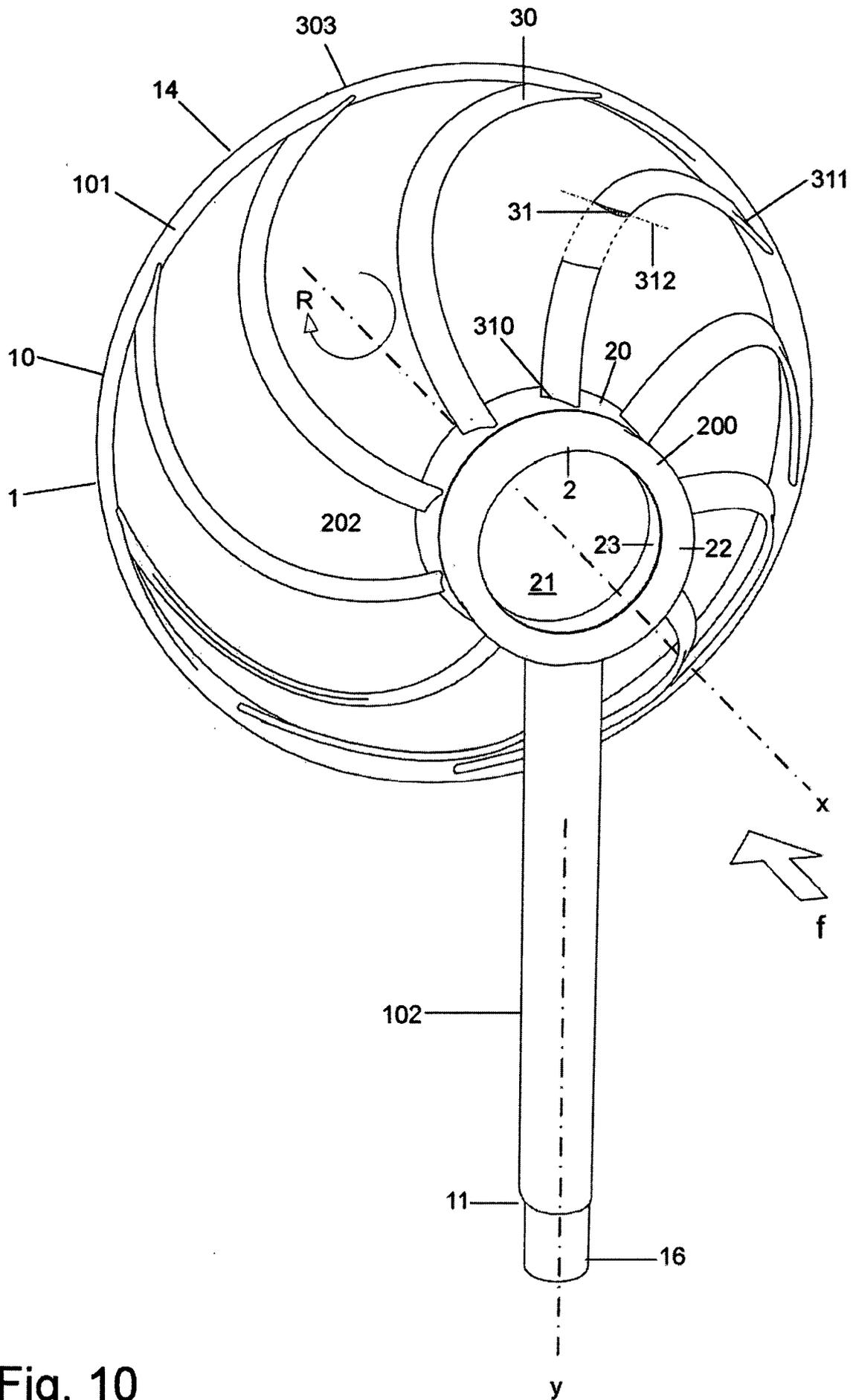


Fig. 10

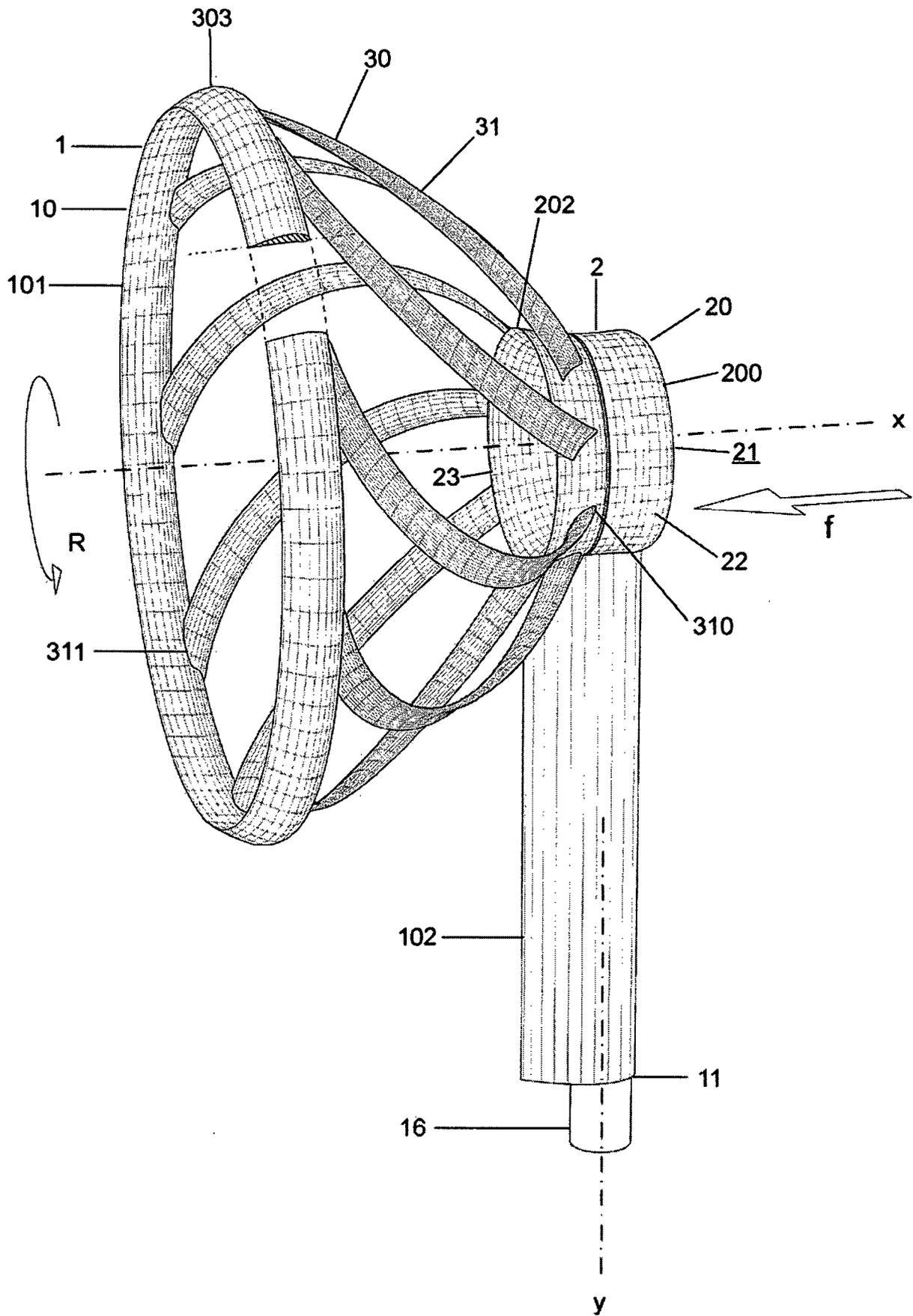


Fig. 11

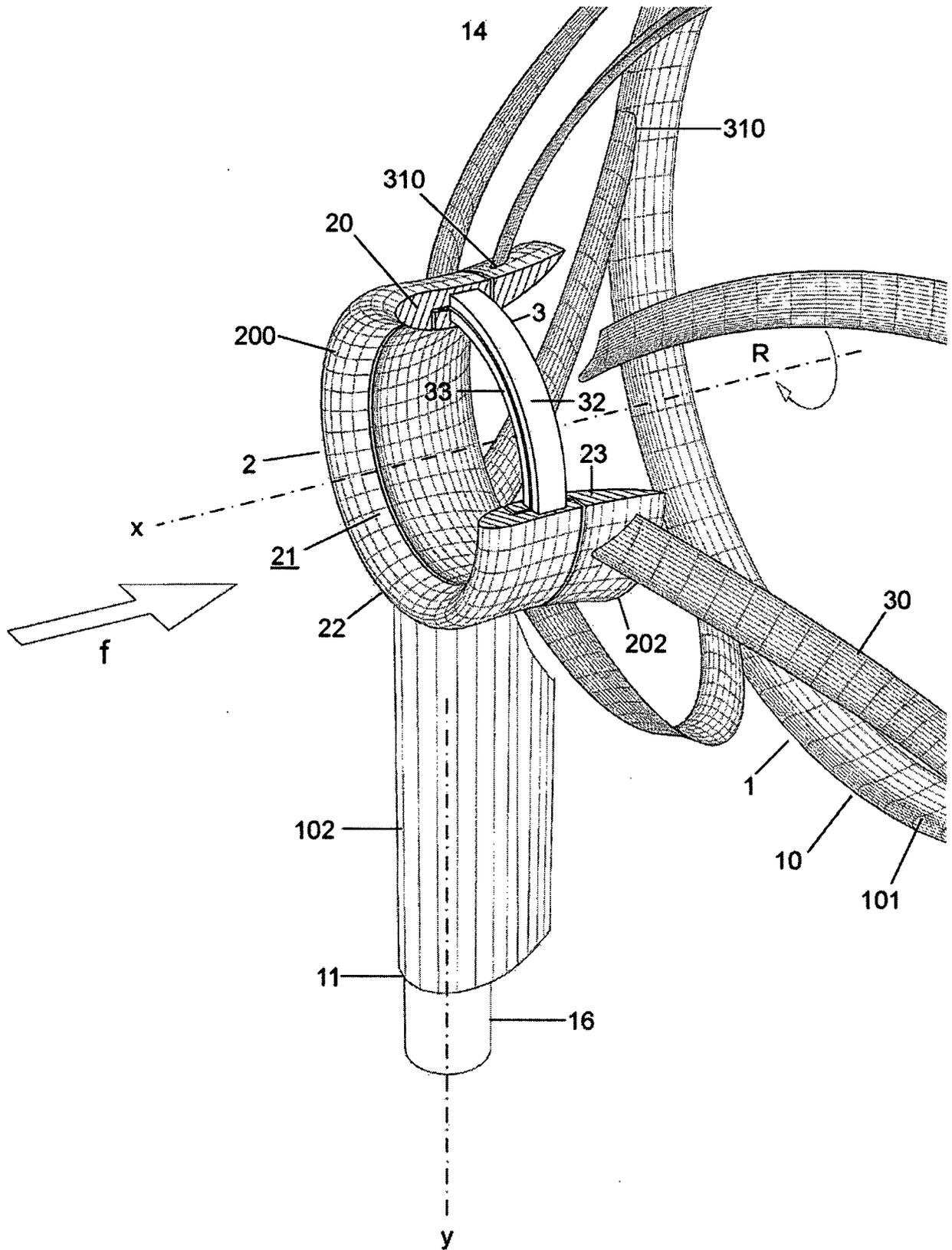


Fig. 12

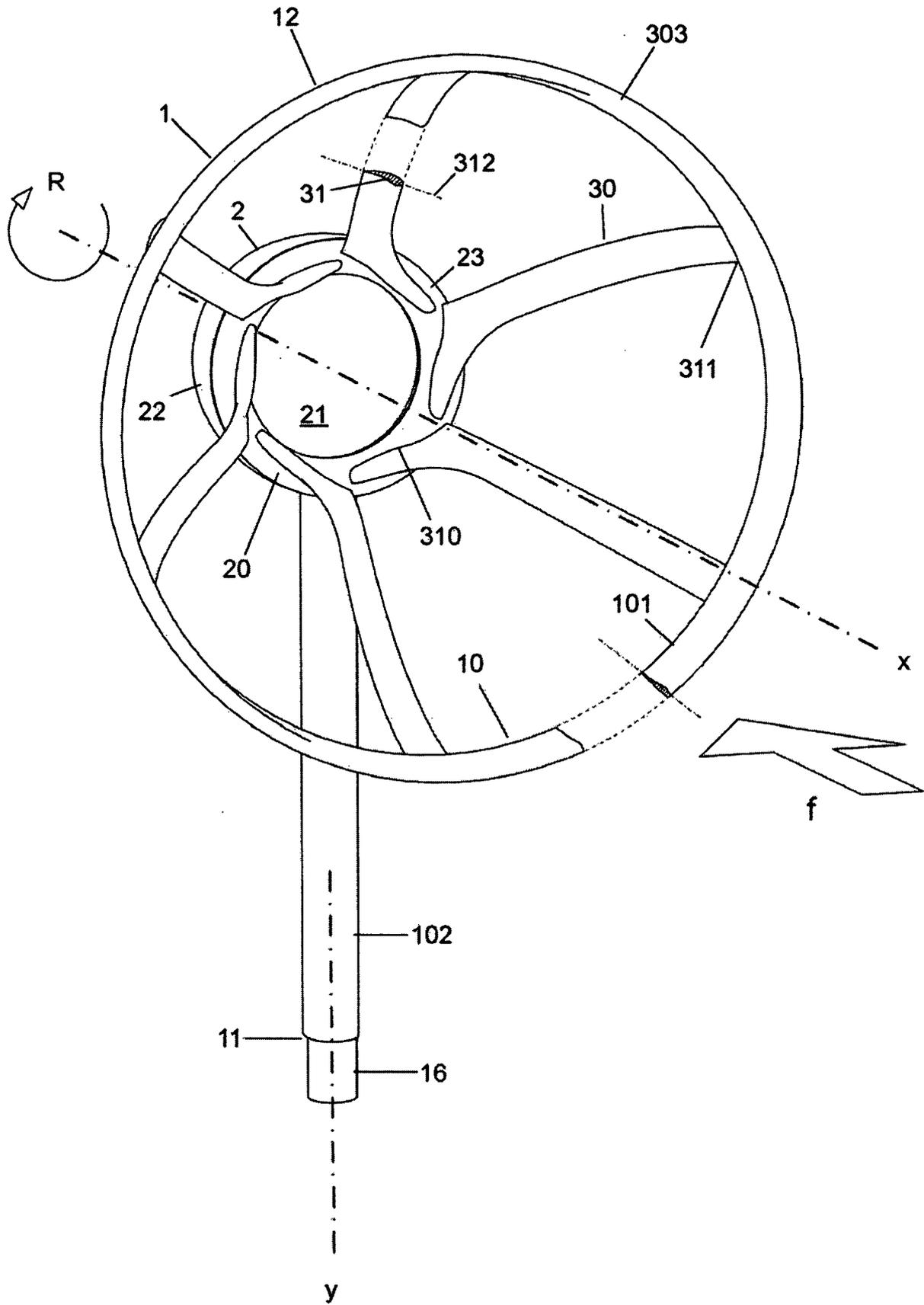


Fig. 13

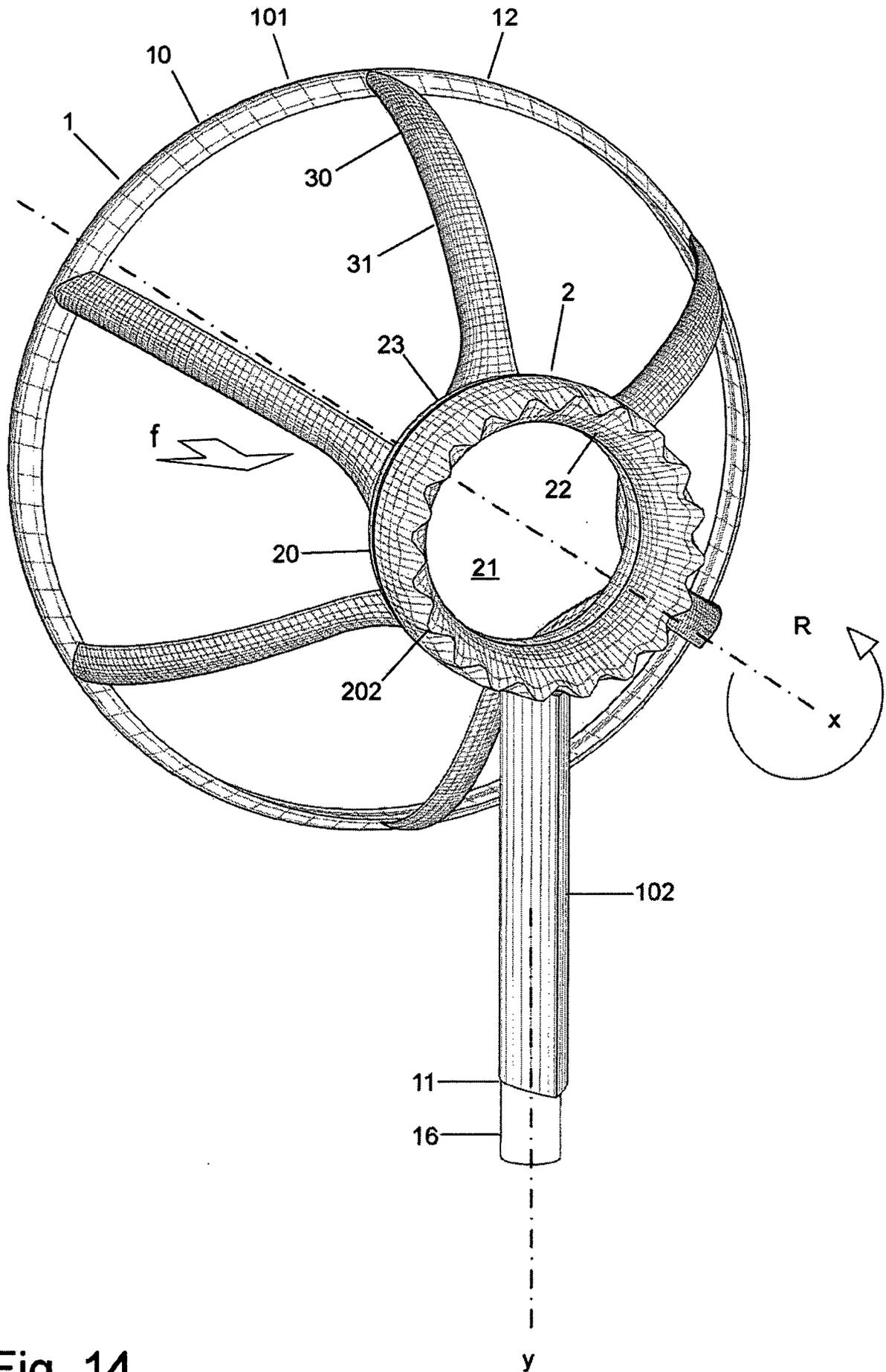


Fig. 14

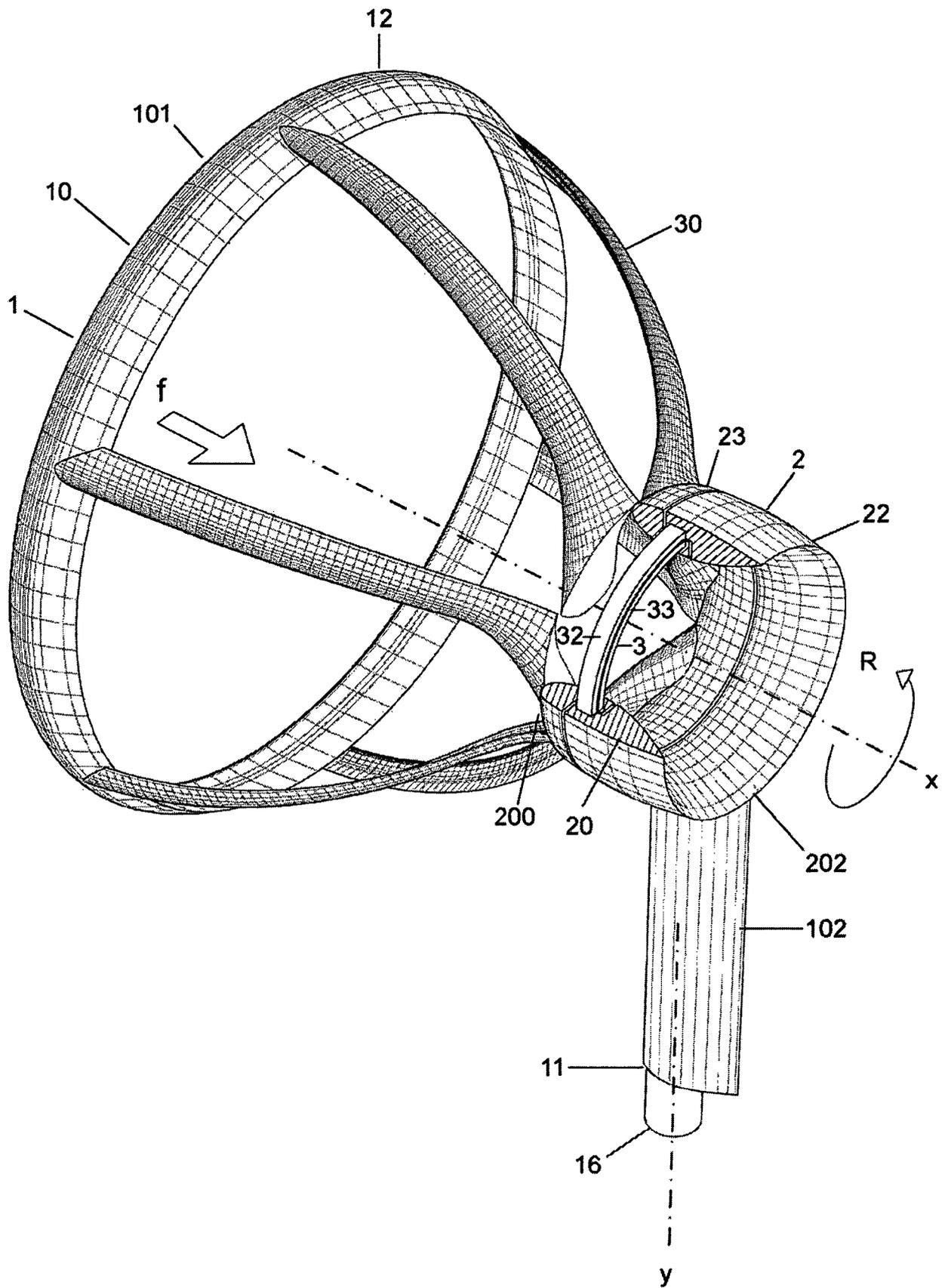


Fig. 15

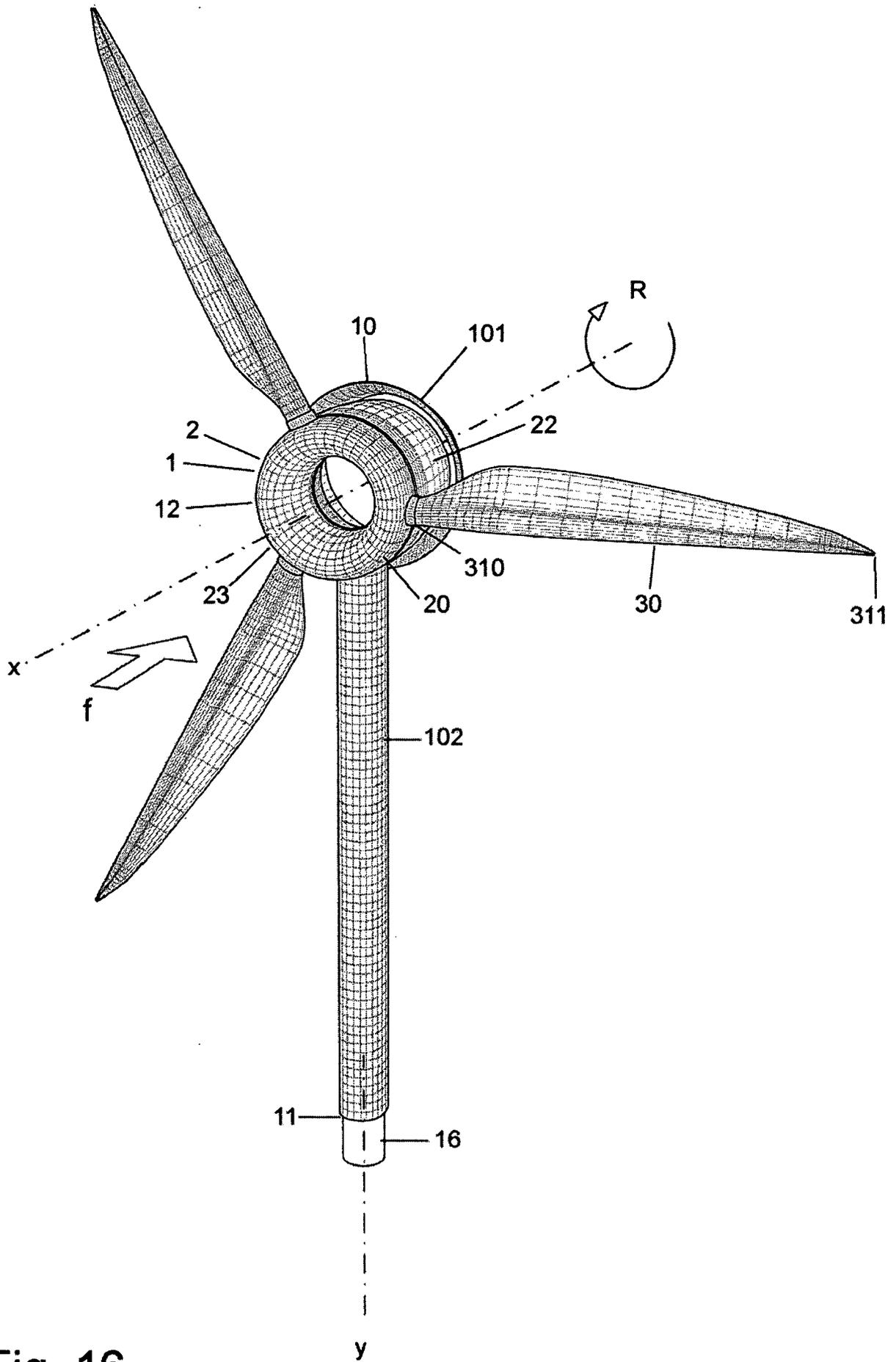


Fig. 16

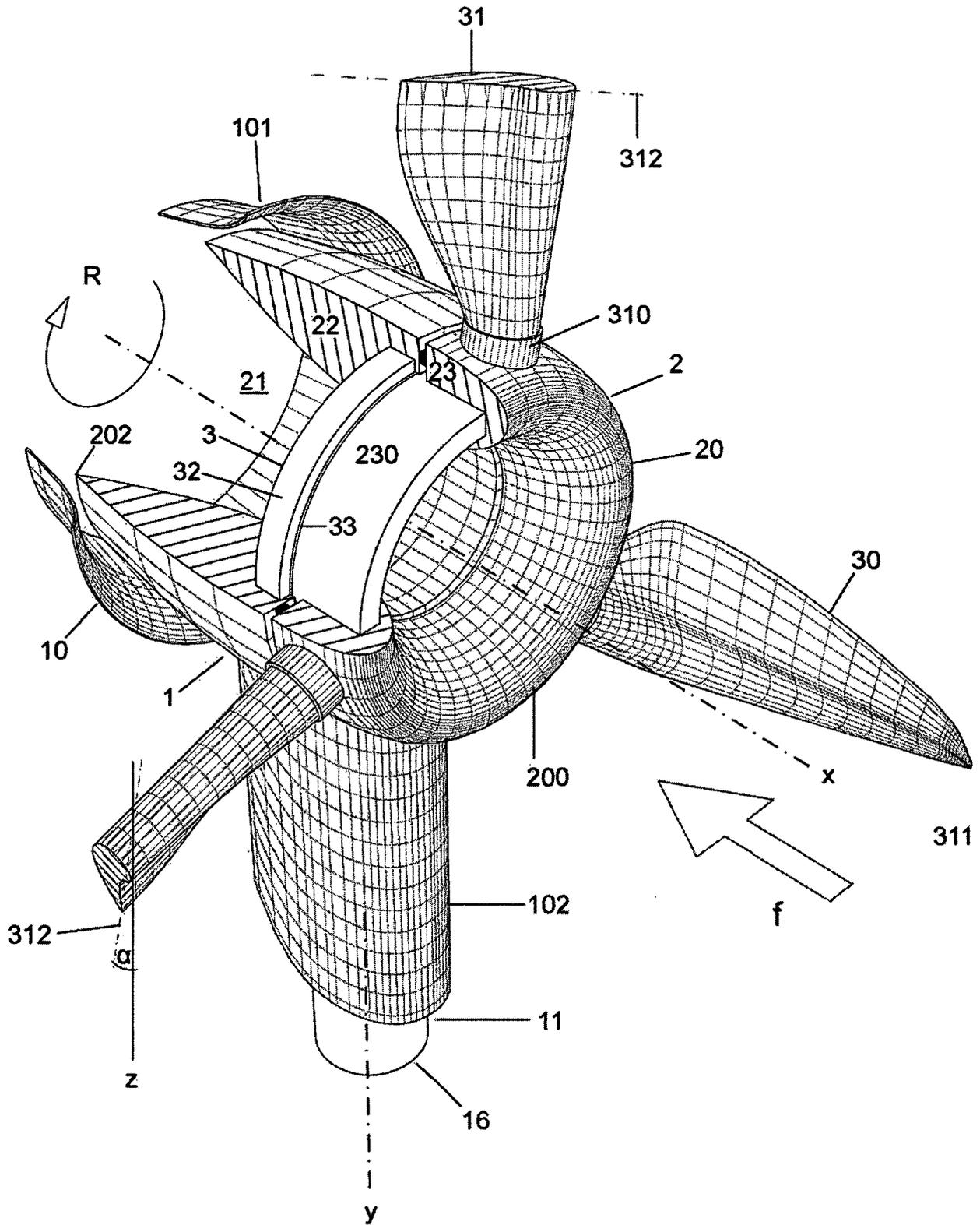


Fig. 17

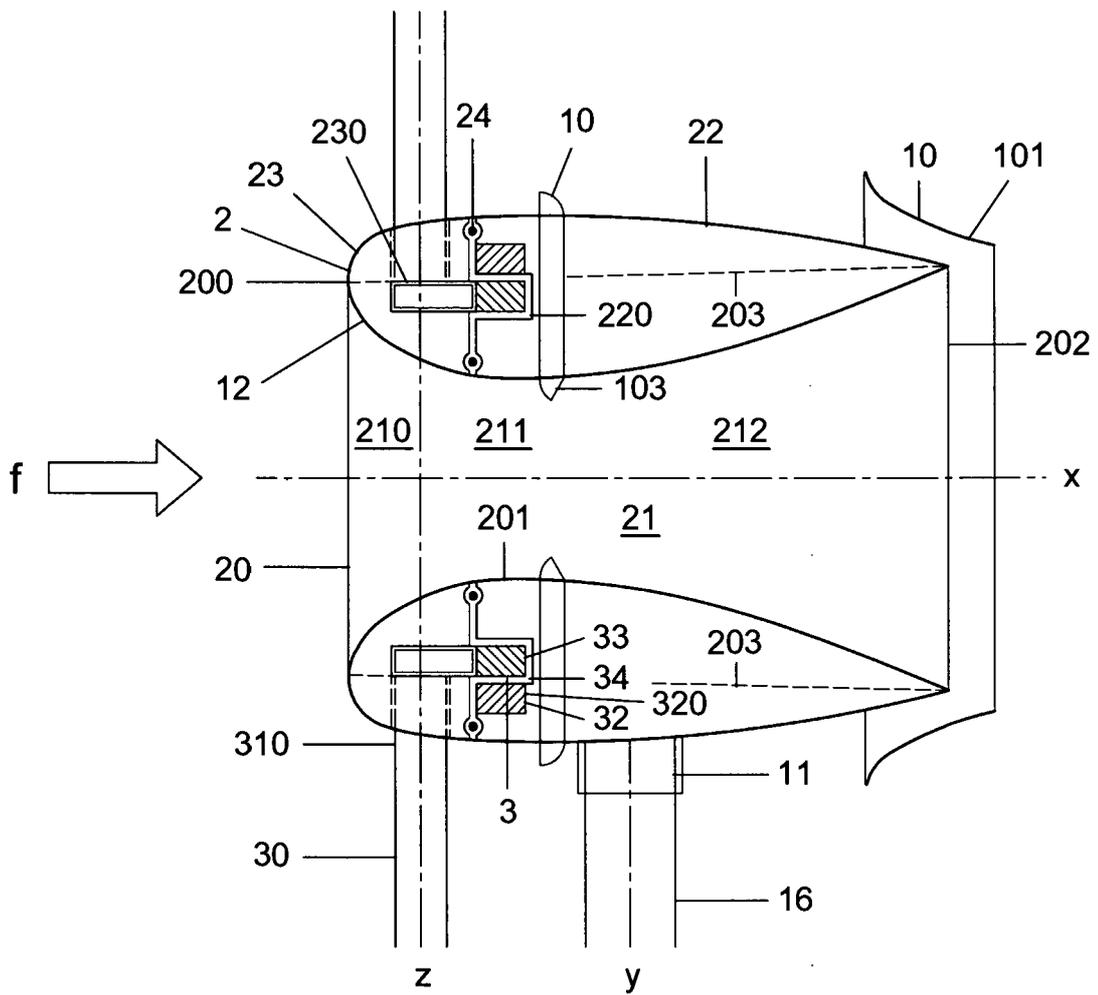


Fig. 18

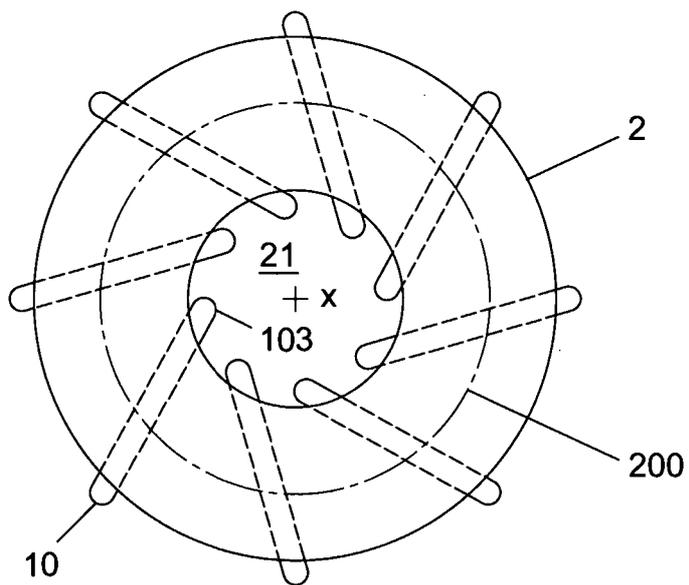


Fig. 19



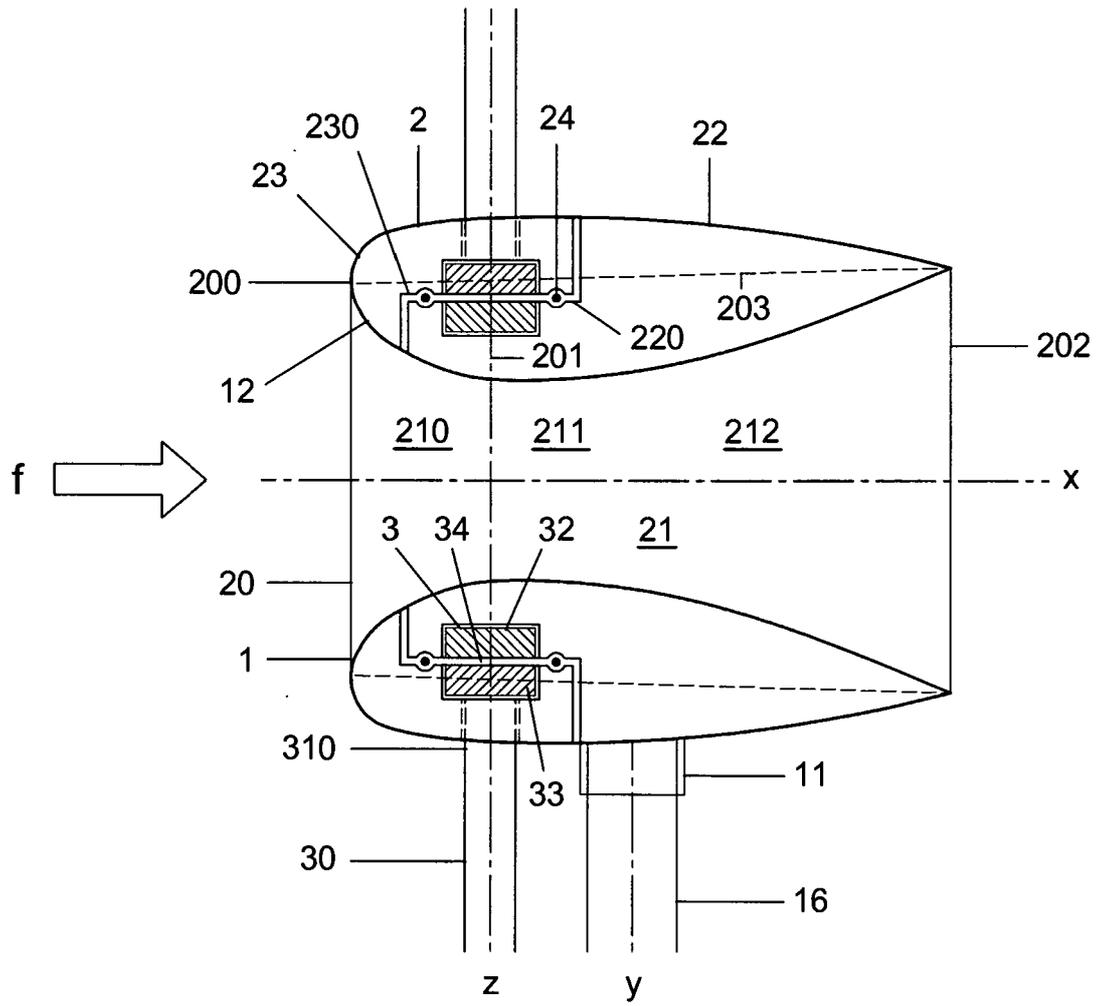


Fig. 21