



(10) **DE 10 2014 203 442 A1** 2015.05.07

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 203 442.6**

(22) Anmeldetag: **26.02.2014**

(43) Offenlegungstag: **07.05.2015**

(51) Int Cl.: **F03D 1/06 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

10 2013 222 375.7 **04.11.2013**

(71) Anmelder:

Senvion SE, 22297 Hamburg, DE

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Seemann & Partner, 20095
Hamburg, DE**

(72) Erfinder:

**Erbslöh, Sascha, 24768 Rendsburg, DE; Korjahn,
Christoph Matthias, 24358 Bistensee, DE;
Petsche, Marc, 24809 Nübbel, DE**

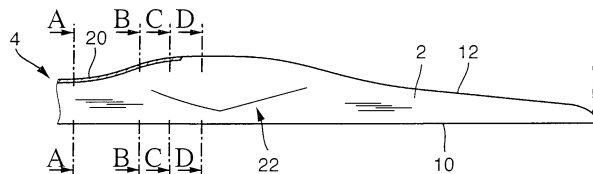
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Rotorblatt einer Windenergieanlage und Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt (2) einer Windenergieanlage mit einer Längserstreckung, die sich von einer Rotorblattwurzel (4) zu einer Rotorblattspitze (6) erstreckt, wobei das Rotorblatt (2) ein in Längsrichtung veränderliches Querschnittsprofil (5, 8, 9) aufweist, das eine Profilvorderkante (10) und eine Profilhinterkante (12) aufweist, die über eine Saugseite (14) und eine Druckseite (16) des Querschnittsprofils (5, 8, 9) verbunden sind, wobei das Rotorblatt (2) in einem rotorblattwurzelnahen Bereich ein rundes oder ovales Profil (5) aufweist, das in Richtung auf die Rotorblattspitze (6) zunächst in einem Übergangsbereich (18) in ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil (9) mit einer stumpfen Hinterkante (13) und weiter in Richtung auf die Rotorblattspitze (6) anschließend in ein aerodynamisches Vollprofil (8) übergeht, bei dem sich die saugseitigen und druckseitigen Profile an der Hinterkante (12) unter einem spitzen Winkel treffen, sowie eine Windenergieanlage und eine Verwendung.

Bei dem erfindungsgemäßen Rotorblatt (2) ist im zylindrischen oder ovalen blattwurzelnahen Bereich an der Druckseite (12) des Rotorblatts (2) wenigstens abschnittsweise eine sich im Wesentlichen in Längsrichtung des Rotorblatts (2) erstreckende Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) angeordnet, die im Übergangsbereich (18) wenigstens abschnittsweise an oder im Bereich der druckseitigen stumpfen Hinterkante (13) des stumpfen aerodynamischen Querschnittsprofils (9) fortgesetzt ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt einer Windenergieanlage mit einer Längserstreckung, die sich von einer Rotorblattwurzel zu einer Rotorblattspitze erstreckt, wobei das Rotorblatt ein in Längsrichtung veränderliches Querschnittsprofil aufweist, das eine Profilvorderkante und eine Profilhinterkante aufweist, die über eine Saugseite und eine Druckseite des Querschnittsprofils verbunden sind, sowie eine Windenergieanlage und eine Verwendung.

[0002] Moderne Windenergieanlagen mit zwei oder mehr Rotorblättern werden im Bereich größerer Windgeschwindigkeiten zur Lastbegrenzung mit veränderlichen Blatteinstellwinkeln, auch Pitchwinkel genannt, betrieben. Durch eine Vergrößerung der Betriebsgröße Blatteinstellwinkel wird der aerodynamische Anstellwinkel bei höheren Windgeschwindigkeiten verkleinert, um den Auftrieb und die entnommene Leistung zu reduzieren. Dabei ist der Anstellwinkel der Winkel zwischen der Anströmrichtung des Windes und der Sehne, also der Verbindungslinie zwischen der Vorderkante und der Hinterkante des aerodynamischen Rotorblattprofils. Im Rahmen der vorliegenden technischen Lehre ist der Zusammenhang zwischen Rotorblatteinstellwinkel und Anstellwinkel wie üblich so definiert, dass eine Erhöhung des Blatteinstellwinkels zu einer Verkleinerung des Anstellwinkels führt. Der Anstellwinkel kann auch negativ werden.

[0003] Rotorblätter von Windenergieanlagen weisen außerdem einen sogenannten Twist bzw. eine Verwindung auf, sind also entlang ihrer Längserstreckung so verwunden, dass die Sehne, also die Verbindungslinie zwischen Profilvorderkante und Profilhinterkante im Verlauf der Längserstreckung des Rotorblatts von der Blattwurzel zur Blattspitze hin rotiert wird. Die durch die Sehne aufgespannte Fläche entlang der Längserstreckung des Rotorblatts bildet somit eine Art verzerrte Schraubenfläche derart, dass der aerodynamische Anstellwinkel an der Blattspitze kleiner ist als an der Blattwurzel. Dadurch wird erreicht, dass das Rotorblatt bei kleinen und mittelgroßen Windgeschwindigkeiten, bei denen noch keine Blattverstellung erfolgt, mit der Rotorblattspitze im Mittel mit einem optimalen Anstellwinkel betrieben wird und hier die größte Leistung entnommen wird. Die in Bezug auf die Rotorfläche inneren Teile des Rotorblatts, also die blattwurzelnahen Bereiche, tragen hierzu weniger bei. In diesem Betriebsmodus trägt der Blatteinstellwinkel vorliegend definitionsgemäß 0° . Ferner kann hier das Rotorblatt in eine windabgewandte Ruheposition, die sogenannte Fahnenstellung, verschwenkt werden, die in etwa einer 90° -Stellung des Blatteinstellwinkels nach der vorliegenden Definition entspricht.

[0004] Zur Steigerung des Jahresenergieertrags der Windenergieanlagen werden moderne Rotorblätter immer größer dimensioniert. Für den Offshore-Betrieb ist dazu noch eine hohe Abschaltgeschwindigkeit wirtschaftlich sinnvoll. Diese Kombination führt, vor allem bei geringer Flächenbelastung des Rotors dazu, dass die Windenergieanlage bei hohen Windgeschwindigkeiten und sehr hohen positiven Pitchwinkeln, beispielsweise größer als 30° , betrieben werden muss. Bei solch hohen positiven Pitchwinkeln ist der Anstellwinkel im Bereich der Rotorblattspitze bereits weit im negativen Bereich, so dass dem Wind vermehrt nur im inneren Bereich des Rotors Energie entzogen wird. Die zunehmend negativeren Anstellwinkel im Blattspitzenbereich können den negativen Stallwinkel α_{sn} unterschreiten. Es findet dann eine Ablösung der Luftströmung auf der Druckseite des Profils statt und der Widerstandskoeffizient C_D steigt schlagartig an. Der hohe negative Gradient $dC_D/d\alpha$ geht mit einer plötzlichen Verringerung der Dämpfung in Edge-Richtung einher und kann eine dimensionierende, also einschränkende, negative Edge-Extremlast sein.

[0005] Die weitere Vergrößerung von Rotorblättern führt somit in extremen Fällen in aerodynamisch instabile Bereiche, die die Rotorblätter stark belasten können. Dieses ist bei dem Design von Rotorblättern zu beachten.

[0006] Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Energieausbeute von Rotorblättern von Windenergieanlagen weiter zu erhöhen, wobei zusätzliche Belastungen, besonders in extremen Situationen des Rotorblatts, kleingehalten werden sollen.

[0007] Diese der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird durch ein Rotorblatt einer Windenergieanlage mit einer Längserstreckung, die sich von einer Rotorblattwurzel zu einer Rotorblattspitze erstreckt, gelöst, wobei das Rotorblatt ein in Längsrichtung veränderliches Querschnittsprofil aufweist, das eine Profilvorderkante und eine Profilhinterkante aufweist, die über eine Saugseite und eine Druckseite des Querschnittsprofils verbunden sind, wobei das Rotorblatt in einem rotorblattwurzelnahen Bereich ein rundes oder ovales Profil aufweist, das in Richtung auf die Rotorblattspitze zunächst in einem Übergangsbereich in ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil mit einer stumpfen Hinterkante und weiter in Richtung auf die Rotorblattspitze anschließend in ein aerodynamisches Vollprofil übergeht, bei dem sich die saugseitigen und druckseitigen Profile an der Hinterkante unter einem spitzen Winkel treffen, das dadurch weitergebildet ist, dass im zylindrischen oder ovalen blattwurzelnahen Bereich an der Druckseite des Rotorblatts wenigstens abschnittsweise eine sich im Wesentlichen in Längsrichtung des Rotorblatts erstreckende Strömungsabrissinduktionsvorrichtung

angeordnet ist, die im Übergangsbereich wenigstens abschnittsweise an oder im Bereich der druckseitigen stumpfen Hinterkante des stumpfen aerodynamischen Querschnittsprofils fortgesetzt ist.

[0008] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die Energieausbeute im wurzelblattnahen Bereich zu optimieren. An der Blattwurzel findet bekanntlich ein Übergang zwischen einem zylindrischen oder ovalen Körper und dem ersten stumpfen Blattwurzelprofil statt. Dieser Übergangsbereich trägt mit konventionellen Profilen bisher fast gar nicht zur Rotorleistung bei, da durch die kreisrunde bzw. ovale Geometrie nur unwesentlich Auftrieb produziert werden kann. Diese Geometrie ist vielmehr ein Widerstand für die umströmende Luft.

[0009] Dadurch, dass erfindungsgemäß nunmehr bereits, vorzugsweise vom Blattanschluss an, im Bereich mit zylindrischem oder ovalem Querschnitt auf der Druckseite eine Strömungsabrissinduktionsvorrichtung vorgesehen ist, wird dem ansonsten in Anströmrichtung symmetrischen Profil eine Asymmetrie gegeben, die dafür sorgt, dass die umströmende Luft stromabwärts des Profils in Richtung der Druckseite abgelenkt wird. Dies geht mit einem Impuls des Profils in Richtung auf die Saugseite einher, so dass ein Auftrieb induziert wird. Die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung erstreckt sich in den Übergangsbereich mit dem stumpfen Profil hinein und legt sich dort an die druckseitige Kante der stumpfen Hinterkante an. Hierdurch wird der auftriebserzeugende Effekt auch in den Übergangsbereich hinein fortgesetzt.

[0010] Die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung trägt wenig zur strukturellen Belastung des Rotorblatts bei. Im Volllastbetrieb wird der Rotorblattwinkel verstellt, so dass die Strömungsabrissvorrichtung aus dem Wind heraus gedreht wird und wenig zur Aerodynamik mehr beiträgt. Die Blattwinkelregelung erfolgt vielmehr in Bezug auf die weiter in Richtung der Rotorblattspitzen herrschenden momentanen Verhältnisse. Im Volllastbereich wird der zusätzliche Auftrieb auch von dem durch das eigentliche aerodynamische Vollprofil erzeugten Auftrieb überlagert. Die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung kann daher an bestehende Rotorblattgeometrien angesetzt werden, ohne dass diese hierauf speziell angepasst werden müssen.

[0011] Vorzugsweise ist die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung als ein, insbesondere in Längsrichtung des Rotorblatts ein- oder mehrfach unterteilter, längserstreckter im Wesentlichen radial vom Profil abstehender Flächenkörper ausgebildet, dessen abstehende Höhe zwischen 1% und 5% der Sehnenlänge des Querschnittsprofils beträgt, insbesondere zwischen 1% und 3% der Sehnenlänge, insbesondere bis zu 2% der Sehnenlänge. Somit ergibt sich ein längserstrecktes, in der Höhe sehr kleinbauen-

des aerodynamisch wirksames Element. Eine solche Strömungsabrissinduktionsvorrichtung wird auch „Tab“ genannt.

[0012] Die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung ist im rotorblattwurzelseitigen zylindrischen oder ovalen Teil des Rotorblatts an der dicksten Stelle des runden oder ovalen Profils angeordnet, in Bezug auf eine Anströmungsrichtung eines Windfeldes bei Betrieb einer Windenergieanlage im Teillastbereich kurz unterhalb ihrer Nennleistung, insbesondere bei zwischen 90% und 100% ihrer Nennleistung. Im Teillastbereich unterhalb der Nennlast findet noch keine Rotorblattwinkelverstellung statt. Das Rotorblatt befindet sich in der 0°-Position. Mit steigender Windgeschwindigkeit verändert sich die Anströmrichtung des anströmenden Windfeldes auf dem rotorblattwurzelnahen Bereich des Rotorblatts. Den stärksten Effekt entfaltet die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung somit kurz vor Erreichen der Nennleistung, also kurz bevor die Blattwinkelverstellung bei höheren Windgeschwindigkeiten beginnt. Bei bekannter Soll-Rotordrehzahl ist der Anströmwinkel bzw. die Anströmrichtung des Windfeldes für diesen Bereich bekannt.

[0013] Vorteilhafterweise ist die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung in Längsrichtung des Rotorblatts in zwei oder mehr Teilflächenkörper mit dazwischen angeordneten Biegungefugen unterteilt, wobei insbesondere die Teilflächenkörper jeweils eine Länge zwischen 30 und 100 cm aufweisen und die Biegungefugen ein Spaltmaß von zwischen 1 und 5 mm, insbesondere zwischen 1 und 3 mm, aufweisen. Mit dieser Unterteilung wird die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung durch Biegungen des Rotorblatts unter Belastung nicht oder nur wenig belastet. Auch die Verbindung der Strömungsabrissinduktionsvorrichtung mit dem Rotorblatt wird dadurch wenig belastet. Die Teilflächenkörper laufen vorteilhafterweise an den Enden dünn aus. Sie haben somit vorteilhafterweise keine konstante Dicke.

[0014] In einer vorteilhaften Ausführung ist die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung auf das Rotorblatt aufgeklebt und/oder auflaminiert und insbesondere unter Verwendung eines GFK-Materials oder eines Spritzgussmaterials hergestellt.

[0015] Vorteilhafterweise ist die von dem Rotorblatt abstehende Höhe der Strömungsabrissinduktionsvorrichtung in Längsrichtung des Rotorblatts konstant oder nimmt zur Rotorblattspitze hin ab.

[0016] In einer vorteilhaften Weiterbildung endet die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung in Richtung auf die Rotorblattspitze im Übergangsbereich an einer Position, an der das Rotorblatt ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil aufweist. Dies bedeutet im vorliegenden Zusammenhang auch,

dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung bereits vor dem Ende des Übergangsbereichs enden kann, also nicht bis zu dem Bereich reichen muss, an dem ein Vollprofil mit „spitzer“ Profilhinterkante ausgebildet ist.

[0017] Damit wird erreicht, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung dem Rotorblatt nicht in einem Bereich einen erhöhten Widerstand verleiht, in dem dies nachteilig ist, wie bei Profilen mit spitzer Hinterkante. Bei stumpfen Profilen ist dies weniger nachteilig.

[0018] In einer bevorzugten Weiterbildung sind in dem Übergangsbereich auf der Saugseite des Rotorblatts wenigstens eine Reihe von Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten angeordnet, wobei sich die Reihe von Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten und die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung in Längsrichtung des Rotorblatts im Übergangsbereich wenigstens teilweise überschneiden, insbesondere bei einer relativen Profildicke von zwischen 60% und 80%, insbesondere zwischen 65% und 75%. Die Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten selbst sind in einer Reihe angeordnet, die, von der Rotorblattwurzel aus gesehen, im Übergangsbereich beginnt und sich in den Vollprofilbereich erstreckt. In diesem Bereich sorgt die Reihe von Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten dafür, dass die Strömung der das Rotorblatt umstreichenden Luft auf der Saugseite länger auf der Rotorblattoberfläche verweilt und sich später ablöst, als dies ohne Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten der Fall wäre. Dies ist insbesondere in Bereichen des Rotorblatts mit relativ starker Oberflächenkrümmung wirksam. Dadurch, dass die Reihe der Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten sich im Übergangsbereich mit der druckseitigen Strömungsabrissinduktionsvorrichtung abschnittsweise überlappt, werden abrupte Strömungsverhältnisänderungen und 3D-Effekte minimiert, die das Auftriebsverhalten des Rotorblatts negativ beeinflussen könnten.

[0019] Ein weiterer Vorteil der Kombination der Vortexgeneratorenreihe und/oder Wirbelkantenreihe mit der druckseitigen Strömungsabrissinduktionsvorrichtung ist, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung kleinbauend gehalten werden kann. Die Kombination ermöglicht es auch, im Wesentlichen kontinuierlich Auftrieb und daher kontinuierliche Induktion fast bis zum Blattanschluss zu generieren und so die Rotorleistung zu verbessern.

[0020] Die Reihe von Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten erstreckt sich vorteilhafterweise in den Bereich, in dem das Rotorblatt ein aerodynamisches Vollprofil aufweist, wobei insbesondere blattspitzenseitig die Reihe der Vortexgeneratoren und/oder Wirbelkanten bei zwischen 30% und 55%, insbesondere

zwischen 40% und 50%, der Rotorblatterstreckung von der Rotorblattwurzel zur Rotorblattspitze endet.

[0021] Durch den hier vorgeschlagenen Einsatz einer Strömungsabrissinduktionsvorrichtung, die als Abrisskante ausgebildet sein kann, wird mit einem relativ kleinen Bauteil von typischerweise nur 2% der Sehnenlänge eines Profils signifikant Auftrieb im Wurzelbereich generiert. Vor allem dem zylindrischen Blattanschluss ermöglicht es hohe Auftriebsbeiwerte von über 1,5 bei einer Gleitzahl von bis zu 3 im Bereich des zylindrischen Profilschnitts.

[0022] Vorzugsweise sind die Wirbelkanten als scharfkantige oder abgerundete Formkörper ausgebildet und/oder weisen einen mit einem faserverstärkten Verbundmaterial überlaminierten Schaumkern auf und/oder sind mittels einer Schicht aus einem faserverstärkten Verbundmaterial auf das Rotorblatt auflaminiert.

[0023] Erfindungsgemäß werden zusätzlich oder alternativ zu Vortexgeneratoren somit als Formkörper ausgebildete Wirbelkanten verwendet. Vortexgeneratoren werden an Rotorblättern im Allgemeinen als dreieckige Flächenkörper eingesetzt, die meist aus einem Kunststoff gegossen sind. In der Reihe der Vortexgeneratoren können die einzelnen Vortexgeneratoren alternierend schräg aufgestellt sein. In Einzelfällen kommt es nach mehreren Jahren zur Materialermüdung und zum Versagen einzelner Vortexgeneratoren der Reihe.

[0024] Alternativ oder zusätzlich hierzu sind somit vorteilhafterweise als Formkörper ausgebildete Wirbelkanten vorgesehen. Diese sind massiver als die als Flächenkörper ausgebildeten Vortexgeneratoren und damit auch länger haltbar. Durch die Ausbildung von scharfen Kanten können ähnliche Effekte der Verwirbelung erzielt werden wie mit Vortexgeneratoren. Vorteilhafte Formen der Formkörper sind beispielsweise keilförmige Formkörper mit dreieckiger Grundfläche, deren Spitze zur Profilverdickungsfläche, also in den anströmenden Wind hinein gerichtet ist. Ebenfalls ist eine Kreisscheibenabschnittsform mit scharfen Seitenkanten mit Vorteil einsetzbar. Alternativ können die Formkörper auch abgerundet sein, etwa hügelartig. Die Erhebungen sorgen ebenfalls für eine Verwirbelung, da die Luft über die Erhebungen schneller strömen muss als zwischen den Erhebungen und sich so ein Geschwindigkeitsunterschied ergibt.

[0025] Die Höhe der Wirbelkanten entspricht vorzugsweise der Dicke der lokalen Grenzschicht. Diese ist bei der Auslegung eines Rotorblatts üblicherweise bekannt oder kann berechnet werden.

[0026] Vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass die Wirbelkanten paarweise radial gestaffelt auf dem Ro-

torblatt angeordnet sind. Dies bedeutet, dass jeweils zwei benachbarte Formkörper bzw. Wirbelkanten in Luftanströmungsrichtung unterschiedlich weit nach vorne bzw. hinten zueinander versetzt angeordnet sind. Dadurch ergibt sich eine weiter verstärkte seitliche Komponente der Luftströmung, die die Verwirbelung weiter befördert.

[0027] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird auch durch eine Windenergieanlage mit einem zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Rotorblatt gelöst, sowie durch eine Verwendung einer Strömungsabrissinduktionsvorrichtung zur Erzeugung von Auftrieb in einem Blattwurzelbereich eines zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Rotorblatts.

[0028] Die zu dem erfindungsgemäßen Rotorblatt und seinen Ausführungsformen und Weiterbildungen genannten Merkmale, Eigenschaften und Vorteile gelten auch in gleicher Weise für die Windenergieanlage mit dem entsprechenden Rotorblatt sowie die entsprechende Verwendung.

[0029] Weitere Merkmale der Erfindung werden aus der Beschreibung erfindungsgemäßer Ausführungsformen zusammen mit den Ansprüchen und den beigefügten Zeichnungen ersichtlich. Erfindungsgemäße Ausführungsformen können einzelne Merkmale oder eine Kombination mehrerer Merkmale erfüllen.

[0030] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei bezüglich aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich auf die Zeichnungen verwiesen wird. Es zeigen:

[0031] Fig. 1 eine Perspektivdarstellung eines Rotorblatts,

[0032] Fig. 2a), b) Diagramme des Auftriebskoeffizienten und des Widerstandskoeffizienten eines Rotorblattprofils als Funktion des Anstellwinkels,

[0033] Fig. 3 eine nicht maßstabgetreue Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Rotorblatt,

[0034] Fig. 4 Querschnittsdarstellungen durch verschiedene Profilbereiche des Rotorblatts gemäß Fig. 3,

[0035] Fig. 5a), b) Illustrationen der Strömung um ein zylindrisches Profil ohne und mit erfindungsgemäßer Strömungsabrissinduktionsvorrichtung,

[0036] Fig. 6 eine schematische Detailansicht einer erfindungsgemäßen Strömungsabrissinduktionsvorrichtung,

[0037] Fig. 7a), b) Querschnittsdarstellungen durch einen Profilbereich eines Rotorblatts und

[0038] Fig. 8a) bis c) schematische perspektivische Darstellungen beispielhafter Wirbelkanten.

[0039] In den Zeichnungen sind jeweils gleiche oder gleichartige Elemente und/oder Teile mit denselben Bezugsziffern versehen, so dass von einer erneuten Vorstellung jeweils abgesehen wird.

[0040] In Fig. 1 ist ein Rotorblatt **2** einer Windenergieanlage in einer perspektivischen Ansicht schematisch dargestellt. Das Rotorblatt **2** weist eine Längserstreckung von einer Rotorblattwurzel **4** mit rundem Querschnitt zu einer Rotorblattspitze **6** auf. Sein Profil weist in seiner Längserstreckung eine Vielzahl von aerodynamischen Querschnittsprofilen **8**, **9** auf, von denen einige als Querschnittsformen dargestellt sind. So ist im mittleren Bereich, dem in diesem Zusammenhang so genannten Vollprofilbereich **19**, ein aerodynamisches Querschnittsprofil **8** in Form eines Vollprofils gezeichnet, das sich von einer Profilvorderkante **10** zu einer Profilhinterkante **12** erstreckt und eine Saugseite **14** und eine Druckseite **16** aufweist.

[0041] In einem wurzelnäheren Übergangsbereich **18** ist die Profilhinterkante **12** abgeschnitten und geht in eine stumpfe Hinterkante **13** über, die sich zur Blattwurzel **4** hin weiter verbreitert und schließlich im zylindrischen Bereich **17** in den runden Querschnitt **5** der Rotorblattwurzel **4** übergeht. In dem Übergangsbereich **18** mit der stumpfen Hinterkante **13** ist ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil **9** gezeigt, das eine größere relative Dicke als das aerodynamische Querschnittsprofil **8** im mittleren Bereich des Rotorblatts aufweist, wobei die relative Dicke als Verhältnis von Dicke zu Sehnenlänge von Profilvorderkante **10** zu Profilhinterkante **12** definiert ist. Ferner sind die nicht dargestellten Sehnen, also die Verbindungslinien zwischen Profilvorderkante **10** und Profilhinterkante **12** im blattwurzelnahen Bereich in einer Ebene angeordnet, die gegenüber der Ebene der Sehnen im blattspitzennahen Bereich verdreht ist.

[0042] In Fig. 2a) ist die Abhängigkeit des Auftriebsbeiwerts C_L als Kurve **40** in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α dargestellt. Bei einem Anstellwinkel von 0° ergibt sich ein leicht positiver Auftriebsbeiwert.

[0043] Die Steigung der Kurve **40** ist positiv, so dass bei einer Erhöhung des Anstellwinkels α auch der Auftriebswert C_L steigt und bei negativen Anstellwinkeln α der Auftriebsbeiwert C_L sinkt und negativ wird.

[0044] Bei einem Wert α_{sp} , dem sogenannten positiven Stallwinkel, reißt die Strömung an der Saugseite ab und der Auftriebsbeiwert C_L verringert sich wie-

der. Im Nennbetrieb wird das Rotorblatt bei einem positiven Anstellwinkel α unterhalb des positiven Stallwinkels betrieben. Bei negativen Anstellwinkeln unterhalb eines negativen Stallwinkels α_{sn} reißt die Luftströmung an der Druckseite ab (sogenannte negativer Stall) und der Auftriebsbeiwert C_L sinkt betragsmäßig wiederum ab. Somit ergibt sich ein nutzbarer Bereich **54** zwischen dem negativen Stallwinkel α_{sn} und dem positiven Stallwinkel α_{sp} , in dem das Rotorblatt **2** betrieben werden kann. In diesem Bereich werden die jeweiligen Profile vorzugsweise betrieben.

[0045] In Fig. 2b) ist ebenfalls gegen den Anstellwinkel α der Verlauf des Widerstandskoeffizienten bzw. Widerstandsbeiwerts C_D als Kurve **50** dargestellt. Dieser ist in einem weiten Bereich des nutzbaren Bereichs **54** von Anstellwinkel α betragsmäßig klein, steigt jenseits der Stallwinkel α_{sp} und α_{sn} stark an. Bei Unterschreiten des negativen Stallwinkels α_{sn} ergibt sich ein extremer negativer Gradient ($dC_D/d\alpha$). Insbesondere dieser Fall ist bei der Dimensionierung von Rotorblättern zu berücksichtigen.

[0046] In Fig. 3 ist eine nicht maßstabsgetreue schematische Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Rotorblatt **2** gezeigt, dessen blattwurzelnahe Bereich im vorliegenden Fall von Interesse ist. In diesem Bereich ist an der Profilhinterkante **12** eine Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** eingezeichnet, die sich im Wesentlichen vom Blattanschluss (nicht dargestellt) bis in einen Bereich erstreckt, der ein stumpfes aerodynamisches Profil aufweist. Ferner sind Querschnitte A-A, B-B, C-C und D-D eingezeichnet, die den zylindrischen Bereich und den Übergangsbereich abdecken.

[0047] Die in Fig. 3 dargestellte Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** ist auf der Druckseite des Rotorblatts **2** angeordnet. Die ebenfalls in Fig. 3 gezeigte Reihe **22** von Vortexgeneratoren, die nicht einzeln dargestellt sind, sondern auf der dargestellten Linie aufgereiht sind, befindet sich auf der Saugseite des Rotorblatts **2**. In einem kleinen Bereich entlang der Längsachse des Rotorblatts **2** überlappen die Reihe **22** der Vortexgeneratoren und die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20**. Die Reihe **22** von Vortexgeneratoren erstreckt sich in diesem Ausführungsbeispiel in den Bereich mit einem Vollprofil. Sie kann jedoch gegebenenfalls auch vorher enden.

[0048] Die Profilverkante **10** ist diejenige Kante, die vom Wind angeströmt wird. Die im Wesentlichen „V“-förmige Konfiguration der Reihe **22** von Vortexgeneratoren ergibt sich aus dem nicht dargestellten Profilverlauf des Rotorblatts **2**. Dabei ist zu beachten, dass die Vortexgeneratoren in Sehnenrichtung in einem Bereich angeordnet sein sollen, in dem die umströmende Luft auf der Saugseite **14** noch keinen Strömungsabriss erfährt, jedoch auch nicht zu weit

vorn, also an der Profilverkante, angeordnet sein sollen, weil die Wirkung der Vortexgeneratoren, also der Bereich, an dem zusätzlich die Strömung weiter an der Saugseite des Rotorblatts anliegen wird, begrenzt ist. Die „V“-Form entspricht somit im Wesentlichen einer Linie, die kurz vor dem errechneten Strömungsabriss des umströmenden Windes liegt, die ohne Vortexgeneratoren sich einstellen würde.

[0049] Die Form der Reihe **22** ergibt sich aus mehreren Faktoren. Ein einflussreicher Faktor für die Position der Vortexgeneratoren ist das jeweilige Rotorblattprofil, das sich entlang der Längserstreckung ändert. Die Vortexgeneratoren sollten am Anfang der Diffusion positioniert sein, die mit der jeweiligen Dickenrücklage korreliert.

[0050] Ein weiterer Faktor in der Form der Reihe **22** von Vortexgeneratoren ist die in Richtung auf die Rotorblattspitze **6** zunehmende Umströmungsgeschwindigkeit des Windes. Dies bedeutet zunächst, dass die Vortexgeneratoren mit steigender Distanz zum Rotorblattanschluss näher zur Profilverkante **10** angeordnet werden müssen, weil der Strömungsabriss auch früher erfolgen würde. Dies wird allerdings weitgehend von dem Profilverlauf des Rotorblatts überlagert. Weiter in Richtung auf die Rotorblattspitze **6** hin flacht das Profil weiter ab, so dass der Strömungsabriss wiederum etwas weiter hinten erfolgt und die Vortexgeneratoren somit wiederum weiter von der Profilverkante **10** entfernt angeordnet werden.

[0051] In Fig. 4 sind die Querschnitte entlang der Schnitte A-A, B-B, C-C und D-D aus Fig. 3 dargestellt. Auch diese Profile sind nicht maßstabsgetreu dargestellt, sondern lediglich schematisch.

[0052] Der Schnitt A-A befindet sich im zylindrischen Bereich, so dass ein rundes Profil **5** vorhanden ist, welches sich von der Profilverkante **10** zur Profilhinterkante **12** erstreckt. Auch die Saugseite **14** und die Druckseite **16** sind markiert. Diese Nomenklatur beim runden Profil **5** ergibt sich aus dem weiteren Verlauf des Blattes, in dem tatsächlich eine Profilverkante **10**, eine Profilhinterkante **12**, eine Saugseite **14** und eine Druckseite **16** vorliegen. In Bezug auf diese Richtungen ist an der Druckseite **16** die abstehende, im Wesentlichen „L“-förmige Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** gezeigt. Die Wirkung, die diese Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** zeigt, wird in Fig. 5 noch erläutert werden.

[0053] In Fig. 4 ist im Schnitt B-B ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil **9** gezeigt, dessen Hinterkante eine stumpfe Hinterkante **13** ist. Auf der Druckseite **16** ist im Bereich bzw. sehr nahe an der stumpfen Hinterkante **13** ein weiteres Teil der Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** angeordnet, die für einen verstärkten Strömungsabriss an

dieser Stelle sorgt. In diesem Schnitt liegt noch keine Reihe von Vortexgeneratoren vor.

[0054] Etwas weiter in Richtung auf die Rotorblattspitze **6** befindet sich der Schnitt C-C, wobei das stumpfe aerodynamische Querschnittsprofil **9** wiederum an der druckseitigen Hinterkante die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** aufweist. Zusätzlich ist an der Saugseite **14** ein Vortexgenerator **24** der Reihe **22** von Vortexgeneratoren dargestellt. In diesem Bereich überlappen sich die beiden Einrichtungen. So ergibt sich ein gleitender Übergang, bei dem sich der abnehmende Einfluss der Strömungsabrissinduktionsvorrichtung und der zunehmende Einfluss der Vortexgeneratoren **24** mit höherer Umströmungsgeschwindigkeit des umgebenden Windfeldes ergänzen.

[0055] Schließlich ist in dem Schnitt D-D in **Fig. 4** ein stumpfes aerodynamisches Profil **9** gezeigt, bei dem lediglich noch ein Vortexgenerator **24** auf der Saugseite **14** dargestellt ist. Die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** reicht nicht bis zu dieser Position.

[0056] In **Fig. 5** ist schematisch die Umströmung eines zylindrischen Profils **5** durch ein einströmendes Windfeld **30** gezeigt. **Fig. 5a)** zeigt den Fall, in dem das zylindrische bzw. runde Profil **5** symmetrisch ist. In diesem Fall ergibt sich eine Wirbelschleppe **32**, die in der gleichen Richtung wie der anströmende Wind weiter läuft. Dies ist der typische Fall, in dem das runde Profil **5** lediglich einen Widerstand für das Windfeld **30** darstellt.

[0057] In **Fig. 5b)** ist auf der unteren Seite, in diesem Fall Druckseite genannt, eine erfindungsgemäße Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20**, in diesem Fall in Form einer Abrisskante, angeordnet. Diese ist auf einer 90°-Position in Bezug auf die Anströmrichtung angeordnet, also an der dicksten Stelle des runden Profils **5**.

[0058] Auf der Anströmseite hat dies zur Folge, dass sich aufgrund des etwas erhöhten Luftwiderstands auf der Druckseite **16** Luft auf der Druckseite **16** staut und sich der zentrale Luftstrom, der theoretisch senkrecht auf das Profil trifft, und somit die Scheide zwischen Luft, die über die Saugseite **14** und Luft, die über die Druckseite **16** strömt, bildet, in Richtung auf die Druckseite **16** zu verschiebt. Gleichzeitig muss Luft einen weiten Weg über die Saugseite **14** laufen und wird dadurch schneller. Dies sorgt bereits für einen Auftrieb. Auch stromabwärts des Profils **5** ergibt sich eine Wirbelschleppe, die in diesem Fall jedoch aufgrund der druckseitig geringen Geschwindigkeit der Luft in einer zur Druckseite **16** gerichteten Richtung abgelenkt ist, was durch einen Ablenkungsvektor **34** dargestellt ist. Der dadurch gewonnene Auftrieb ist durch einen Auftriebsvektor **36** im Profil **5** dargestellt.

[0059] **Fig. 6** stellt schematisch einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** dar, die aus mehreren Teilflächenkörpern **26** besteht, zwischen denen jeweils eine Biegungsfuge **28** angeordnet ist. Dieses ist auf der Druckseite **16** auf dem Rotorblatt **2** aufgeklebt oder auf laminiert. Die Biegungsfugen **28** erlauben es, dass sich das Rotorblatt **2** unter Belastung biegen kann, ohne dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung **20** beschädigt wird. Typische Längen der Teilflächenkörper **26** sind typischerweise 50 cm. Die Biegungsfugen **28** haben ein liches Maß oder Spaltmaß von ca. einem bis mehreren Millimetern.

[0060] In **Fig. 7a)** ist ein Profildbereich eines Rotorblatts **2** im Querschnitt dargestellt, der im Wesentlichen dem Querschnitt C-C aus **Fig. 4** entspricht. An der Saugseite ist, wie in **Fig. 4**, ein Vortexgenerator **24** dargestellt. In **Fig. 7b)** ist dieser durch eine Wirbelkante **60** ersetzt worden, die einen keilförmigen Querschnitt aufweist, wobei die Keilform jedoch im Gegensatz zum Vortexgenerator **24** in der Höhe abnehmend ausgebildet ist.

[0061] **Fig. 8** zeigt drei Beispiele erfindungsgemäßer Formkörper von Wirbelkanten. Die Formkörper **62** in **Fig. 8a)** weisen jeweils eine Keilform mit dreieckiger Grundfläche auf, die an ihrer Spitze vom Windfeld **30** angeströmt wird. Die Formkörper weisen jeweils einen Schaumkern **66** auf, der mit einer Faserverbund-Schicht **68** überlaminiert bzw. auf das Rotorblatt **2** auf laminiert ist. Dies ergibt eine sehr dauerhafte Verbindung und einen sehr guten Schutz des Schaumkerns. Die Höhe *S* entspricht in etwa der Dicke der lokalen Grenzschicht. Die Weite *W* der Formkörper **62** an ihrem stromabwärtigen Ende kann vorteilhafterweise auch in etwa dem Abstand zweier keilförmiger Formkörper **62** an ihrem stromabwärtigen Ende voneinander entsprechen.

[0062] Die Formkörper **72** gemäß **Fig. 8b)** sind kreisscheibenabschnittsförmig ausgebildet, d. h., die Seitenwände sind gerade und die Oberfläche ist ein Teil eines Kreises. Diese Flächen sind durch scharfe Kanten **74** voneinander getrennt. Die Oberfläche kann auch eine kompliziertere Form haben und sich ohne Kante von der Oberfläche des Rotorblatts **2** erheben. Die Wirbelkanten bzw. Formkörper **72** sind in Richtung der Luftströmung gestaffelt hintereinander angeordnet. Auch diese Formkörper **72** weisen einen Schaumkern **76** auf, der mit einer Faserverbund-Schicht **68** bzw. Faserverbund-Lage überlaminiert bzw. auf das Rotorblatt **2** auf laminiert ist.

[0063] In **Fig. 8c)** sind Formkörper **82** als Wirbelkanten gezeigt, die eine hügelartige Form haben. Auch sie sind gestaffelt in Luftströmungsrichtung hintereinander angeordnet und weisen einen mit einer Faserverbund-Schicht **88** überlaminierten Schaumkern **86** auf. Diese Form und Anordnung ergibt auch oh-

ne scharfe Kanten eine effiziente Verwirbelung der Grenzschicht.

[0064] Alle genannten Merkmale, auch die den Zeichnungen allein zu entnehmenden sowie auch einzelne Merkmale, die in Kombination mit anderen Merkmalen offenbart sind, werden allein und in Kombination als erfindungswesentlich angesehen. Erfindungsgemäße Ausführungsformen können durch einzelne Merkmale oder eine Kombination mehrerer Merkmale erfüllt sein. Im Rahmen der Erfindung sind Merkmale, die mit „insbesondere“ oder „vorzugsweise“ gekennzeichnet sind, als fakultative Merkmale zu verstehen.

Bezugszeichenliste

2	Rotorblatt
4	Rotorblattwurzel
5	rundes Profil
6	Rotorblattspitze
8	aerodynamisches Vollprofil
9	stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil
10	Profilvorderkante
12	Profilhinterkante
13	stumpfe Hinterkante
14	Saugseite
16	Druckseite
17	zylindrischer Bereich
18	Übergangsbereich
19	Vollprofilbereich
20	Strömungsabrissinduktionsvorrichtung
22	Reihe von Vortexgeneratoren
24	Vortexgenerator
26	Teilflächenkörper
28	Biegungsfuge
30	anströmendes Windfeld
32	Wirbelschleppe
34	Ablenkungsvektor
36	Auftriebsvektor
40	Verlauf des Auftriebskoeffizienten c_L
50	Verlauf des Widerstandskoeffizienten c_D
52	hoher negativer Gradient
54	nutzbarer Bereich des Anstellwinkels α
60	Wirbelkante
62	keilförmiger Formkörper
64	scharfe Kante
66	Schaumkern
68	Faserverbund-Schicht
72	scheibenabschnittsförmiger Formkörper
74	scharfe Kante
76	Schaumkern
78	Faserverbund-Schicht
82	hügelförmiger Formkörper
86	Schaumkern
88	Faserverbund-Schicht
C_L	Auftriebsbeiwert
C_D	Widerstandskoeffizient
S	Höhe der lokalen Grenzschichtdicke

W	Weite
α	Anstellwinkel
α_{sn}	negativer Stallwinkel
α_{sp}	positiver Stallwinkel

Patentansprüche

1. Rotorblatt (2) einer Windenergieanlage mit einer Längserstreckung, die sich von einer Rotorblattwurzel (4) zu einer Rotorblattspitze (6) erstreckt, wobei das Rotorblatt (2) ein in Längsrichtung veränderliches Querschnittsprofil (5, 8, 9) aufweist, das eine Profilvorderkante (10) und eine Profilhinterkante (12) aufweist, die über eine Saugseite (14) und eine Druckseite (16) des Querschnittsprofils (5, 8, 9) verbunden sind, wobei das Rotorblatt (2) in einem rotorblattwurzelnahen Bereich ein rundes oder ovales Profil (5) aufweist, das in Richtung auf die Rotorblattspitze (6) zunächst in einem Übergangsbereich (18) in ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil (9) mit einer stumpfen Hinterkante (13) und weiter in Richtung auf die Rotorblattspitze (6) anschließend in ein aerodynamisches Vollprofil (8) übergeht, bei dem sich die saugseitigen und druckseitigen Profile an der Hinterkante (12) unter einem spitzen Winkel treffen, **dadurch gekennzeichnet**, dass im zylindrischen oder ovalen blattwurzelnahen Bereich an der Druckseite (16) des Rotorblatts (2) wenigstens abschnittsweise eine sich im Wesentlichen in Längsrichtung des Rotorblatts (2) erstreckende Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) angeordnet ist, die im Übergangsbereich (18) wenigstens abschnittsweise an oder im Bereich der druckseitigen stumpfen Hinterkante (13) des stumpfen aerodynamischen Querschnittsprofils (9) fortgesetzt ist.

2. Rotorblatt (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) als ein, insbesondere in Längsrichtung des Rotorblatts (2) ein- oder mehrfach unterteilter, längserstreckter im Wesentlichen radial vom Profil abstehender Flächenkörper ausgebildet ist, dessen absteigende Höhe zwischen 1% und 5% der Sehnenlänge des Querschnittsprofils (9) beträgt, insbesondere zwischen 1% und 3% der Sehnenlänge, insbesondere bis zu 2% der Sehnenlänge.

3. Rotorblatt (2) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) im rotorblattwurzelseitigen zylindrischen oder ovalen Teil des Rotorblatts (2) an der dicksten Stelle des runden oder ovalen Profils (5) angeordnet ist, in Bezug auf eine Anströmungsrichtung eines Windfeldes (30) bei Betrieb einer Windenergieanlage im Teillastbereich kurz unterhalb ihrer Nennleistung, insbesondere bei zwischen 90% und 100% ihrer Nennleistung.

4. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) im rotorblattwurzelseitigen zylindrischen oder ovalen Teil des Rotorblatts (2) an der dicksten Stelle des runden oder ovalen Profils (5) angeordnet ist, in Bezug auf eine Anströmungsrichtung eines Windfeldes (30) bei Betrieb einer Windenergieanlage im Teillastbereich kurz unterhalb ihrer Nennleistung, insbesondere bei zwischen 90% und 100% ihrer Nennleistung.

rissinduktionsvorrichtung (20) in Längsrichtung des Rotorblatts (2) in zwei oder mehr Teilflächenkörper (26) mit dazwischen angeordneten Biegungsfugen (28) unterteilt ist, wobei insbesondere die Teilflächenkörper (26) jeweils eine Länge zwischen 30 und 100 cm aufweisen und die Biegungsfugen (28) ein Spaltmaß von zwischen 1 und 5 mm, insbesondere zwischen 1 und 3 mm, aufweisen.

5. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) auf das Rotorblatt (2) aufgeklebt und/oder auf laminiert ist und insbesondere unter Verwendung eines GFK-Materials oder eines Spritzgussmaterial hergestellt ist.

6. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von dem Rotorblatt (2) abstehende Höhe der Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) in Längsrichtung des Rotorblatts (2) konstant ist oder zur Rotorblattspitze (6) hin abnimmt.

7. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) in Richtung auf die Rotorblattspitze (6) im Übergangsbereich (18) an einer Position endet, an der das Rotorblatt (2) ein stumpfes aerodynamisches Querschnittsprofil (9) aufweist.

8. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Übergangsbereich (18) auf der Saugseite (14) des Rotorblatts (2) wenigstens eine Reihe (22) von Vortexgeneratoren (24) und/oder Wirbelkanten (60) angeordnet sind, wobei sich die Reihe (22) von Vortexgeneratoren (24) und/oder Wirbelkanten (60) und die Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) in Längsrichtung des Rotorblatts (2) im Übergangsbereich (18) wenigstens teilweise überschneiden, insbesondere bei einer relativen Profildicke von zwischen 60% und 80%, insbesondere zwischen 65% und 75%.

9. Rotorblatt (2) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reihe (22) von Vortexgeneratoren (24) und/oder Wirbelkanten (60) sich in den Bereich erstreckt, in dem das Rotorblatt (2) ein aerodynamisches Vollprofil aufweist, wobei insbesondere blattspitzenseitig die Reihe (22) der Vortexgeneratoren (24) und/oder Wirbelkanten (60) bei zwischen 30% und 55%, insbesondere zwischen 40% und 50%, der Rotorblatterstreckung von der Rotorblattwurzel (4) zur Rotorblattspitze (6) endet.

10. Rotorblatt (2) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirbelkanten (60) als scharfkantige oder abgerundete Formkörper (62, 72, 82) ausgebildet sind und/oder einen mit einem faserverstärkten Verbundmaterial (68, 78, 88) überlaminieren Schaumkern (66, 76, 86) aufweisen und/

oder mittels einer Schicht aus einem faserverstärkten Verbundmaterial (68, 78, 88) auf das Rotorblatt (2) auf laminiert sind.

11. Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirbelkanten (60) paarweise radial gestaffelt auf dem Rotorblatt (2) angeordnet sind.

12. Windenergieanlage mit einem Rotorblatt (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Verwendung einer Strömungsabrissinduktionsvorrichtung (20) zur Erzeugung von Auftrieb in einem Blattwurzelbereich eines Rotorblatts (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

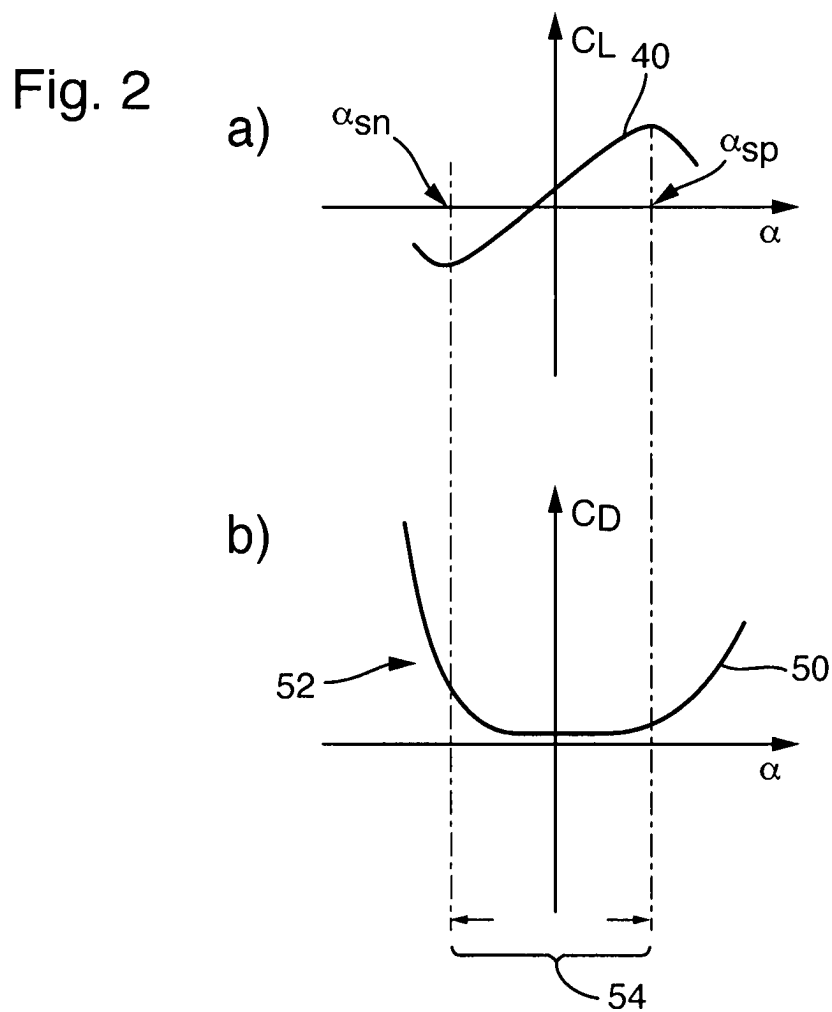
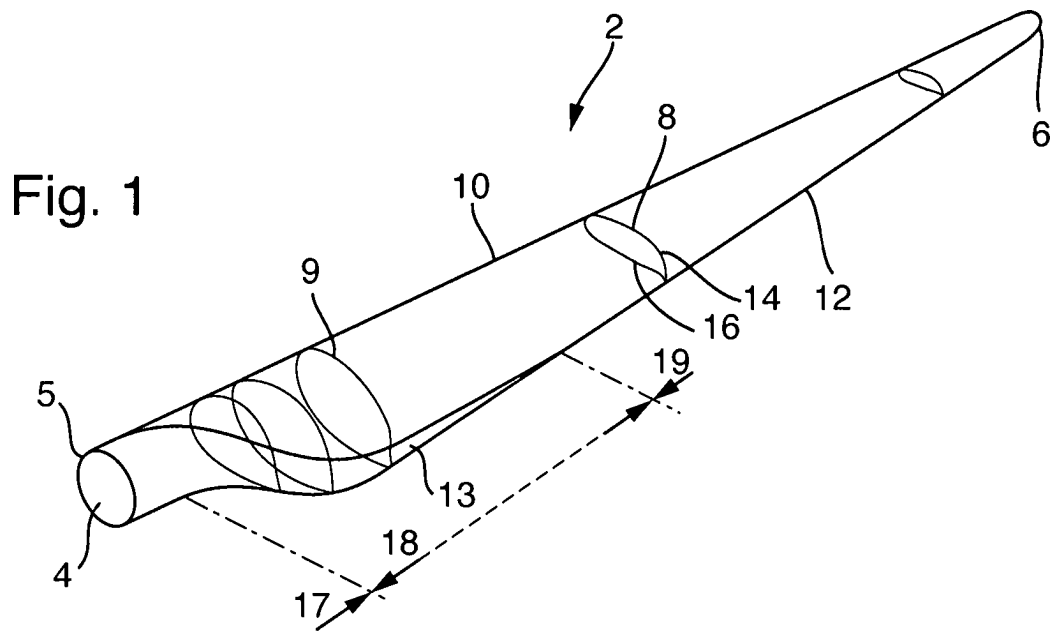


Fig. 3

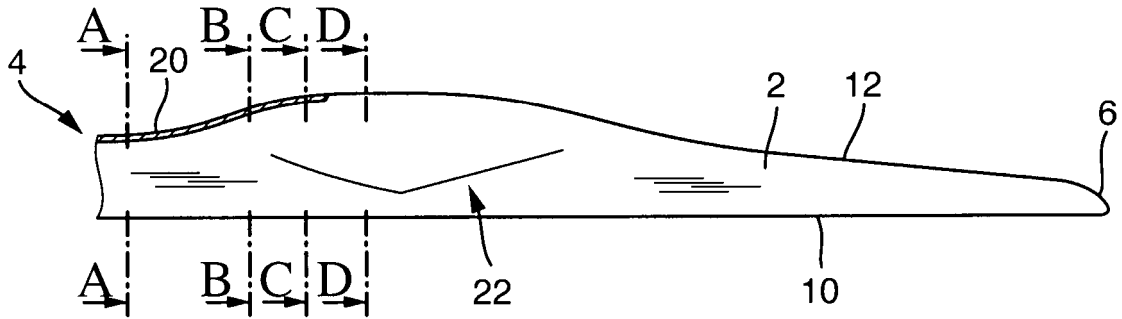


Fig. 4

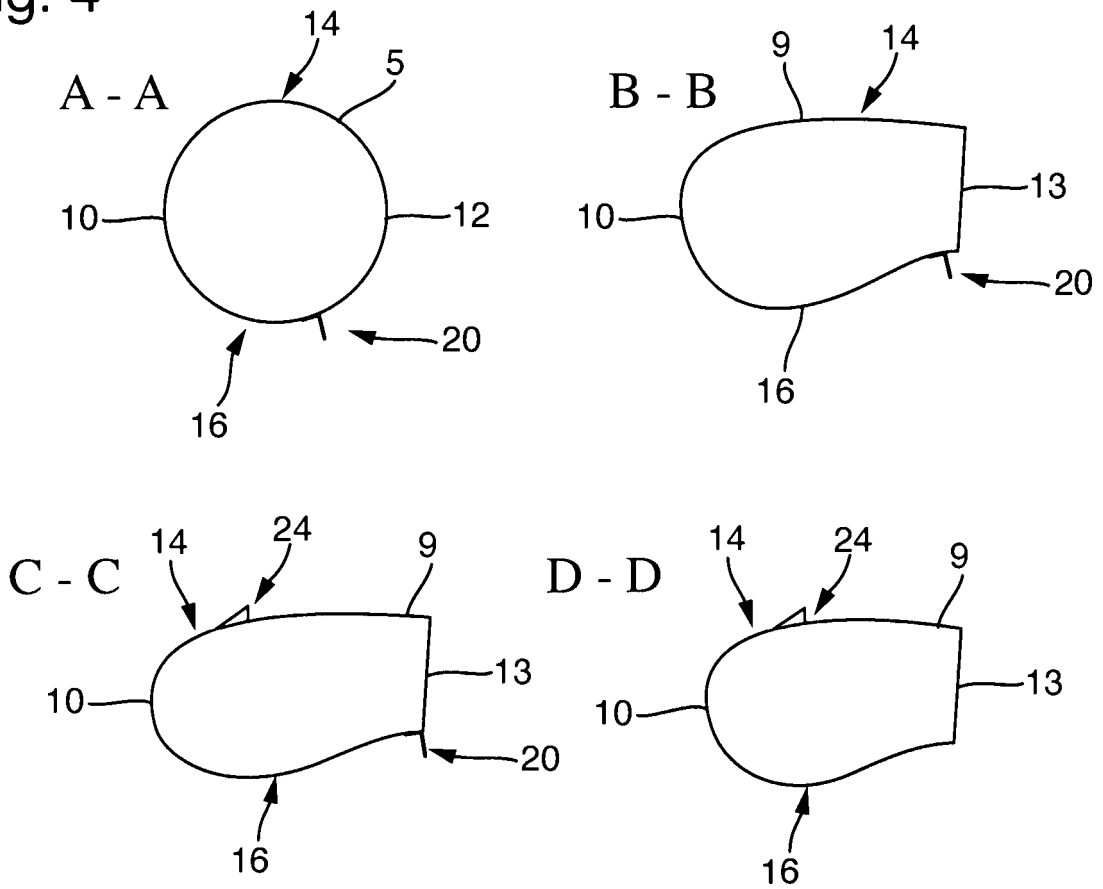


Fig. 5

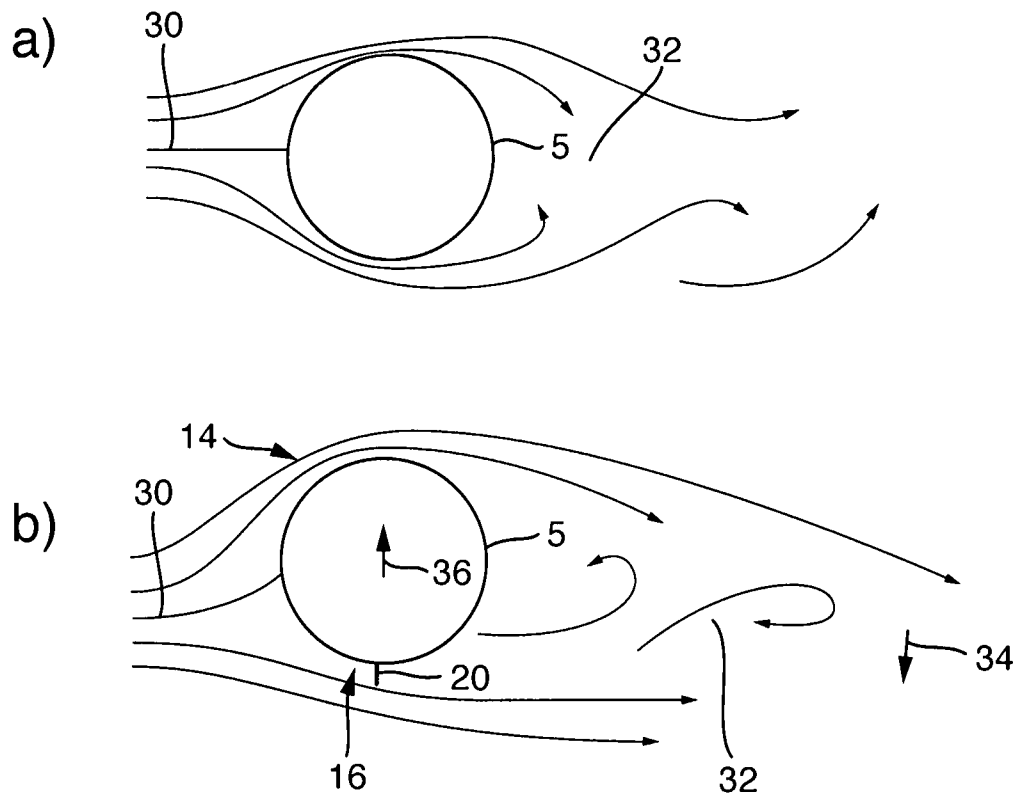


Fig. 6

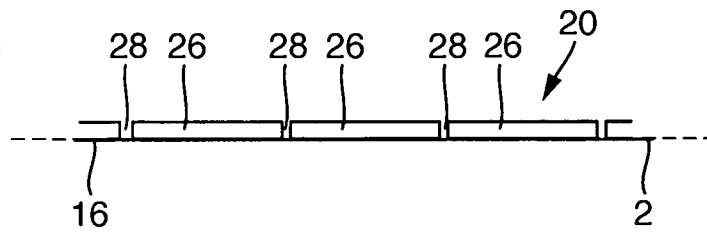


Fig. 7

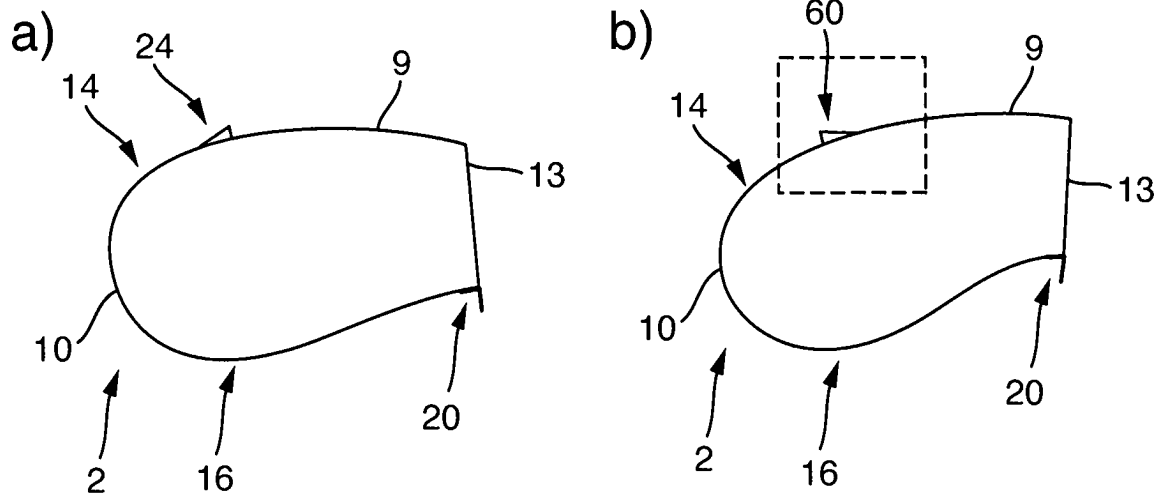


Fig. 8

