

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. August 2017 (03.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/129691 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F03D 1/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/051673

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Januar 2017 (26.01.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 201 114.6
26. Januar 2016 (26.01.2016) DE

(71) Anmelder: **WOBEN PROPERTIES GMBH** [DE/DE];
Borsigstraße 26, 26607 Aurich (DE).

(72) Erfinder: **HOFFMANN, Alexander**; Hermann-Hesse-
Straße 9, 26721 Emden (DE).

(74) Anwalt: **EISENFÜHR SPEISER**; Anna-Louisa-Karsch-
Straße 2, 10178 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

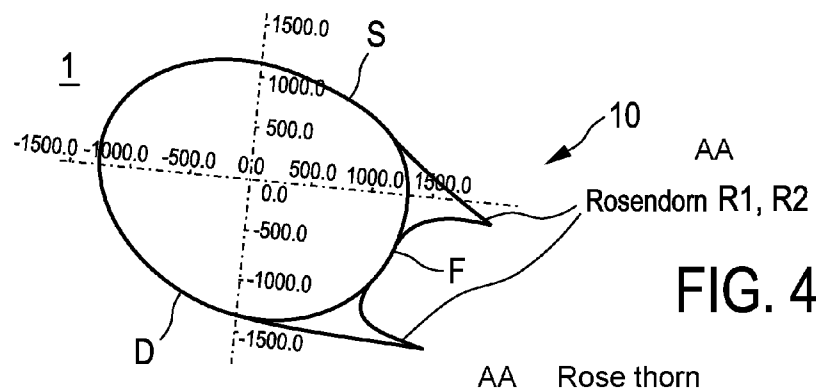
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: ROTOR BLADE OF A WIND TURBINE AND A WIND TURBINE

(54) Bezeichnung : ROTORBLATT EINER WINDENERGIEANLAGE UND WINDENERGIEANLAGE



(57) Abstract: The invention relates to a rotor blade (1) with a suction side and a pressure side for a wind turbine, having: a rotor blade root (4) of a hub area (I) for connecting the rotor blade (1) to a rotor hub and a rotor blade tip (5, 7) arranged on a side of a tip area (III) facing away from the rotor blade root (4). According to the invention, the rotor blade has a thickness profile at least partially in the hub area (I), said thickness profile having a thorn-shaped extension on its trailing edge, wherein the thickness profile has a first thorn-shaped extension on the trailing edge on the suction side at least partially in the hub area, and has a second thorn-shaped extension on the trailing edge on the pressure side, and the thickness profile has a flow stabilizer and/or a vortex generator on the suction and/or pressure side at least partially in the hub area.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt (1) mit einer Saugseite und einer Druckseite für eine Windenergieanlage,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/129691 A1



aufweisend: eine Rotorblattwurzel (4) eines Nabenbereichs (III) zur Anbindung des Rotorblattes (1) an eine Rotornabe und eine zur Rotorblattwurzel (4) abgewandten Seite eines Spitzenbereichs (III) angeordnete Rotorblattspitze (5, 7). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass im Bereich des Nabenbereichs (I) wenigstens teilweise das Rotorblatt ein Dickenprofil aufweist, das an seiner Hinterkante eine Dornerverweiterung hat, wobei im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil an der Saugseite eine erste Dornerverweiterung an der Hinterkante, und an der Druckseite eine zweite Dornerverweiterung an der Hinterkante hat, und im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Strömungsstabilisator und/oder einen Vortexgenerator aufweist.

Rotorblatt einer Windenergieanlage und Windenergieanlage

Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt einer Windenergieanlage sowie eine Windenergieanlage.

Rotorblätter für einen Rotor einer Windenergieanlage sind allgemein bekannt. Solche Rotorblätter weisen ein Profil (Querschnittsprofil) auf, welches den besonderen aerodynamischen Anforderungen Rechnung trägt.

Eine Windenergieanlage weist beispielsweise einen aerodynamischen Rotor mit mehreren Rotorblättern auf und ist exemplarisch in der Fig.1 gezeigt. Die aerodynamischen Eigenschaften solcher Rotorblätter beeinflussen die Leistungsfähigkeit der Rotorblätter und damit der Windenergieanlage. Um die Leistungsfähigkeit eines Rotorblatts zu erhöhen werden dessen Profile optimiert. Um beispielsweise in Regionen mit leichtem Wind, nämlich insbesondere an Binnenstandorten, eine möglichst stetige Stromproduktion sicherzustellen, weisen die aerodynamischen Rotoren einen Rotordurchmesser auf, der mehr als 80 Meter betragen kann. Bei solchen großen Windenergieanlagen und somit auch sehr großen Rotorblättern, führt dies zu einem hohen Rotorblattgewicht. Die großen und schweren Rotorblätter erzeugen hohe Lasten, welche auf die Windenergieanlage im Betrieb einwirken. Zudem ist die Herstellung sowie der Transport zu den jeweiligen Aufbaustandorten kompliziert und schwierig. Eine Realisierung eines zweigeteilten Rotorblattes, das günstiger für den Transport solcher großen Rotorblätter wäre, ist aufgrund

der auftretenden Lasten und der zusätzlich durch die Trennstelle entstehenden Stabilitätsminderung aber nur bedingt möglich.

Die Gestaltung eines Profils eines Rotorblatts, insbesondere im Nabenbereich ist gewissen Anforderungen unterworfen, die anders gelagert sind als etwa im Spitzenbereich des Rotorblatts. Eine Übersicht liefert beispielsweise die Doktorarbeit von Barbara Souza-Heinzelmann in „Strömungsbeeinflussung bei Rotorblättern von Windenergieanlagen mit Schwerpunkt auf Grenzschichtabsaugung“ (Berlin 23. Juni 2011). Dort sind unterschiedliche Formen der Strömungsbeeinflussung beim aerodynamischen Design und bei Umströmung des Rotorblattes grundsätzlich erörtert. Insbesondere zeigt Bild 4-3 der Doktorarbeit die Unterteilung eines Rotorblatts in drei Bereiche, nämlich den Nabenbereich, den mittleren Bereich und den Spitzenbereich. Maßnahmen der Strömungsbeeinflussung können beispielsweise die in Bild 5-7 gezeigten Vortexgeneratoren oder Spoiler oder die im Bild 5-8 gezeigten Grenzschichtzäune sein.

Eine herausragende Gestaltung eines Profils im Nabenbereich eines Rotorblattes der Anmelderin ist dort in Bild 4-6 angesprochen. Beispielsweise aus WO 2013/152009 ist ein Ansatz eines Rotorblattanschlusses an die Nabe mit zunehmender Profiltiefe eines Rotorblatts bekannt. In DE 102013/210901 A1 der Anmelderin ist beispielsweise die Kombination dieses Ansatzes mit Grenzschichtzäunen oder dergleichen offenbart.

Eine dazu grundsätzlich abweichende Möglichkeit eines Rotorblattanschlusses sieht eine abnehmende Profiltiefe im Nabenbereich vor, um insofern ausgehend von der Form eines Standardprofils im mittleren Bereich des Rotorblattes über ein ellipsenartigen Profilquerschnitt zu einem etwa kreisförmigen Profilquerschnitt zum Nabenanschluss zu gelangen – dies ist beispielsweise in DE 102008052858 B9 beschrieben, bei welcher eine stumpfe Hinterkante eines Rotorblatts vorgesehen ist.

Grundsätzlich problematisch bei stumpfen Hinterkanten von Rotorblattprofilen – sogenannten Flatback-Profilen - ist jedoch, selbst in Anbetracht des grundsätzlich noch vorhandenen begrenzten Auftriebsverhaltens, die Strömungsablösung an der Hinterkante. Eine gute Übersicht dieser Problematik ist beispielsweise gegeben in dem Artikel von Standish et al. „Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils“ in Journal of Solar Energy Engineering, vol. 125, S. 479 – 486 (November 2003).

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zur vorliegenden PCT-Anmeldung den folgenden Stand der Technik recherchiert: DE 10 2014 108 917 A1

WO 2014/025 252 A1, WO 2013/153 009 A1, DE 10 2013 210 901 A1, EP 2 568 166 A1, DE 10 2014 206 345 A1, DE 10 2008 052 858 B9 und DE 10 2013 101 232 A1.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, wenigstens eines der oben genannten Probleme zu beheben oder zu verringern, insbesondere ein Rotorblatt anzugeben, welches im Nabenbereich jedenfalls noch begrenzt gute Auftriebswerte aufweist und gleichwohl die
5 Problematik einer Hinterkantenverwirbelung verringert. Insbesondere soll das Rotorblatt eine wahlweise zunehmende Profildicke oder abnehmende Profildicke im Nabenbereich aufweisen, jedenfalls aber im Bereich dieser Profildicke im Nabenbereich so gestaltet sein, dass es vergleichsweise einfacher transportiert werden kann.

10 Die Aufgabe betreffend das Rotorblatt wird durch ein Rotorblatt des Anspruchs 1 gelöst. Die Erfindung führt auch auf eine Windenergieanlage des Anspruchs 30.

WO 2014/025 252 A1 ist vor dem Prioritätstag der vorliegenden Anmeldung angemeldet und erst danach veröffentlicht und somit nur hinsichtlich der Neuheit betreffend die vorliegende Anmeldung relevant - WO 2014/025252 A1 zeigt ein aerodynamisches Profil mit
15 einem nicht-symmetrischen, eingestülpten schweifartigen Kehlkörper (swallow tail shaped - schwalbenschwanz-artig) an einer Hinterkante des aerodynamischen Profils, das z.B. für eine Windturbine genutzt werden kann. Der nicht-symmetrische, eingestülpte schweifartige (schwalbenschwanz-artige) Kehlkörper weist ein erstes Teil und ein zweites Teil auf, zwischen denen die Kehle (cavity) gebildet ist. Das erste und zweite Teil
20 hat jeweils eine obere und untere jeweils gerade Außenfläche, die entsprechend bündig mit einer Ober- und Unterseite des aerodynamischen Profils fluchtet.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass im Zuge der stetigen Weiterentwicklung von Windenergieanlagen der Rotordurchmesser zunehmen wird, um noch mehr Energie aus dem Wind entnehmen zu können. Aufgrund der aerodynamischen und
25 strukturellen Naturgesetze ist es jedoch nicht, beziehungsweise nur bedingt, möglich, lediglich die Länge der Rotorblätter zu vergrößern und zum Beispiel die Breite beziehungsweise Profilliefe beizubehalten, da sich hierdurch ohne weitere aerodynamische Hilfsmittel keine sauberen Strömungszustände im Einsatzbereich um das aerodynamische Profil einstellen kann. Aufgrund der immer größer werdenden Fläche der
30 Rotoren steigt somit auch der Schallemissionspegel der gesamten Windenergieanlage, den es ebenfalls zu berücksichtigen gilt.

Die Erfindung hat erkannt, dass grundsätzlich die Gestaltung eines Rotorblattes mit einem aerodynamischen standardartigen Profil im Spitzenbereich und mittleren Bereich zu einem Rotorblatt mit aerodynamischen Dickenprofil --insbesondere Flatback-Profil mit

stumpfer Hinterkante, insbesondere im Nabenbereich-- vorteilhaft ist. Dies ermöglicht eine Blatttiefenreduzierung bei dennoch gleichbleibendem Auftriebsverhalten.

Die Erfindung hat, ausgehend von dieser Überlegung, erkannt, dass es grundsätzlich weiterhin vorteilhaft ist --das heißt, dem Konzept der Anmelderin entsprechend mit weiter
5 zunehmender Profildicke (jedoch nicht zwingend) wie in WO 2013/153009 A1-- im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Rotorblatt als Dickenprofil zu gestalten, das an seiner Hinterkante eine Dornerweiterung aufweist. Als Hinterkante ist, insbesondere nach diesem Verständnis, eher die flache Hinterkante zu verstehen und in Bezug auf diese wird die Dornerweiterung betrachtet. Eine tatsächliche, insofern spitze,
10 Hinterkante, ist dann am Ende der Dornerweiterung gebildet.

Aufgrund einer solchen Dornerweiterung lässt sich nicht nur die Profiltiefe im Nabenbereich vorteilhaft gering gestalten, sondern darüber hinaus auch eine Wirbelablösung und damit die Schallemission vorteilhaft gestalten.

Erfindungsgemäß hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Rotorblatt ein Dickenprofil aufweist und das Dickenprofil an der Saugseite eine erste Dornerweiterung an der Hinterkante und an der Druckseite eine zweite Dornerweiterung an der Hinterkante aufweist.
15

Solche und andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte Möglichkeiten an, das oben erläuterte
20 Konzept im Rahmen der Aufgabenstellung sowie hinsichtlich weiterer Vorteile zu realisieren.

Im Bereich des Nabenbereichs ist das Dickenprofil vorteilhaft als Flatback-Profil ausgeführt, das heißt mit stumpfer Hinterkante ausgeführt. im Nabenbereich ist die Hinterkante vorteilhaft eine flache Hinterkante, die eine relative Dicke aufweist, insbesondere eine
25 relative Dicke von mehr als 5% aufweist.

Das Dickenprofil hat vorteilhaft eine relative Dicke von mehr als 40%, insbesondere mehr als 45%. Eine relative Dorntiefe, gemessen von der Hinterkante, liegt vorteilhaft von unterhalb von 25% und/oder wenigstens oberhalb einer relativen Dicke der Hinterkante, insbesondere oberhalb von 5%. Hier ist wieder insbesondere nach diesem Verständnis
30 eher die flache Hinterkante zu verstehen und in Bezug auf diese wird die relative Dicke und die Dornerweiterung betrachtet.

Ein solches auch als Rosendornprofil bezeichnetes Profil entspricht einer Modifikation gemäß der vorgenannten Weiterbildung eines Flatback-Profiles und entspricht hierbei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung.

5 Grundsätzlich kann gemäß dem Konzept der Erfindung eine weitere Reduzierung der Profiltiefe, beziehungsweise der Rotorblattbreite erreicht werden. Das Dickenprofil hat vorteilhaft eine relative Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75%.

Durch das vorzugsweise doppelt --das heißt an Saug- und Druckseite-- dünn auslaufende Endkantenstück einer Dornenerweiterung wird die Schallemission im Vergleich zum Flatback-Profil reduziert.

10 Durch die besondere Form der Hinterkantendornen kann eine kontrollierte Hinterkantenwirbelausbildung erreicht werden. Es zeigt sich nämlich, dass insbesondere bei doppelt ausgeführten, an Saug- und Druckseite angebrachten Dornen, in der Kehle zwischen dem saugseitigen und dem druckseitigen Dorn (jedenfalls aber unterhalb oder oberhalb eines Dorns) ein Wirbel stabilisiert werden kann und gleichwohl das Profil im Bereich des
15 Nabenbereichs vergleichsweise gute Auftriebswerte hat. Vorteilhaft zeigt sich, dass sich stabile, wenn auch pulsierende oder oszillierende Ausbildungen eines Wirbels in der Kehle oder unterhalb oder oberhalb eines Dorns, selbst bei turbulenterer Strömung beziehungsweise unterschiedlichen Winden, möglich ist. Durch eine stabile, wenn auch pulsierende oder oszillierende Ausbildungen eines Wirbels in der Kehle oder unterhalb
20 oder oberhalb eines Dorns wird die effektive Profiltiefe erhöht und damit ein Auftriebsverhalten des Profils verbessert.

Vorteilhaft liegt eine relative Dornentiefe gemessen an der Hinterkante unterhalb von 25% und/oder wenigstens oberhalb einer relativen Dicke der Hinterkante, insbesondere oberhalb von 5%, wobei vorteilhaft eine maximale relative Dornentiefe zwischen 15 und
25 25% liegt. Hier ist wieder ist insbesondere nach diesem Verständnis eher die flache Hinterkante zu verstehen und in Bezug auf diese wird die relative Dicke und die relative Dornentiefe der Dornenerweiterung betrachtet.

Vorteilhaft ist im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise Hinterkante mit einer Serrationsform versehen, das heißt, sozusagen als gezackte Hinterkante ausgeführt.
30 Eine gezackte Hinterkante kann auf der Saugseite und/oder an der Druckseite, oder beziehungsweise nur an der Druck- und/oder Saugseite oder auch über den gesamten flachen Verlauf der Hinterkante ausgeführt sein. Hier ist wieder ist insbesondere nach diesem Verständnis eher die flache Hinterkante aber auch ggfs. eine spitze Hinterkante der Dornenerweiterung zu verstehen und in Bezug auf diese wird die gezackte Hinterkante

betrachtet; d.h. insbesondere ist eine Serrationsform am Ende der Dornerweiterung angebracht.

Als vorteilhaft hat sich eine erfindungsgemäße Weiterbildung erwiesen, bei der im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Strömungsstabilisator aufweist. Insbesondere kann ein Strömungsstabilisator ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Spoiler, Grenzschichtzaun, Grenzschichtabsaugung.

Als vorteilhaft hat sich zusätzlich oder alternative auch eine erfindungsgemäße Weiterbildung erwiesen, bei der im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Vortexgenerator aufweist. Insbesondere ist ein Vortexgenerator ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: Finne, Noppe, Dimpel, Steg oder dergleichen Turbulatoren, eine Ausblas- oder Absaugstruktur. Mit einem Vortexgenerator kann eine Grenzschichtdicke bei einer turbulenten Strömung vergrößert werden; d.h. größer als bei einer laminaren Strömung. Da die Strömungsgeschwindigkeit jedoch mit wachsendem Abstand schneller zunimmt als bei einer Laminarströmung führt dies zu einer höheren Energie der Strömung und die höhere Energie macht die Strömung unempfindlicher gegen die Ablösung von der Rotorblattfläche. Vortexgeneratoren oder dergleichen Turbulatoren sind allgemein kleine künstlich aufgebrachte Oberflächenstörungen. Sie erzeugen Verwirbelungen und überführen eine laminare Grenzschichtströmung in eine turbulente. Die Strömungsablösung wird verzögert. Turbulatoren umfassen beispielsweise querlaufende Schienen, kleine vertikale Bleche oder Bohrungen. Eine weitere Möglichkeit, die Grenzschichtströmung zum Umschlagen zu bringen, ist der Ausblas- oder Absaug-Turbulator. Das ist eine Reihe von feinen Bohrungen, durch die Luft quer zur Strömungsrichtung in die Grenzschicht eingeblasen wird oder abgesaugt wird.

Im Rahmen einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass in einem ersten Bereich, nämlich im Nabenbereich in einem ersten naben-nahen Bereich, das Dickenprofil an seiner Hinterkante die Dornerweiterung aufweist und in einem zweiten Bereich, nämlich im Nabenbereich in einem zweiten naben-fernen Bereich, das Dickenprofil die Hinterkante eine flache Hinterkante ohne die Dornerweiterung ist.

Das Konzept eines lokalen Maximums zwischen Wurzel und Spitze des Rotorblattes ist besonders vorteilhaft in Kombination mit der erfindungsgemäßen Dornerweiterung umsetzbar. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass im Nabenbereich zwischen dem ersten Bereich, insbesondere dem naben-nahen Bereich im Nabenbereich, und dem zweiten

Bereich, insbesondere dem naben-fernen Bereich im Nabenbereich, das Dickenprofil eine maximale Profiltiefe aufweist.

5 Vorzugsweise ist vorgesehen, dass eine relative Profildicke, die als Verhältnis von Profildicke zu Profiltiefe definiert ist, in einem Bereich, vorzugsweise mittleren Bereich, zwischen Rotorblattwurzel des Nabenbereichs und Rotorblattspitze des Spitzenbereichs ein lokales Maximum aufweist.

10 Vorzugsweise kann die relative Profildicke des lokalen Maximums 35% bis 50% betragen und/oder das Rotorblatt im Bereich des lokalen Maximums eine Profiltiefe von 1500 mm bis 3500 mm aufweisen.

15 Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Rotorblatt aus einem ersten und einem zweiten Rotorblattabschnitt zusammengesetzt ist und der erste Rotorblattabschnitt die Rotorblattwurzel und der zweite Rotorblattabschnitt die Rotorblattspitze aufweist, und der erste und der zweite Rotorblattabschnitt an einer Trennstelle miteinander verbunden sind. Vorzugsweise ist die Trennstelle im mittleren Bereich zwischen Rotorblattwurzel und Rotorblattspitze und/oder im Bereich des lokalen Maximums angeordnet.

Als besonders vorteilhaft erweisen sich die vorgenannten Weiterbildungen bei einem Rotorblatt mit absoluten Abmessungen wie im Folgenden aufgeführt.

20 Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Rotorblatt in einem ersten Bereich, insbesondere einem naben-nahen Bereich im Nabenbereich, eine absolute Profiltiefe von wenigstens 3900 mm aufweist, insbesondere eine absolute Profiltiefe in einem Bereich von 4000 mm bis 8000 mm aufweist.

Diese absoluten Profiltiefen fallen um 15%-30% geringer aus als bei einem anderen Blatt ohne Dornerweiterung aber mit vergleichbaren Auftriebswerten.

25 Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Rotorblatt ausgehend von der Rotorblattwurzel im Bereich von 90% bis 95% der Gesamtlänge, eine absolute Profiltiefe von maximal 1000 mm, insbesondere eine absolute Profiltiefe in einem Bereich von 700 mm bis 400 mm aufweist.

30 Auch diese absoluten Profiltiefen fallen um 15%-30% geringer aus als bei einem anderen Blatt ohne Dornerweiterung aber mit vergleichbaren Auftriebswerten.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Rotorblatt im mittleren Bereich (II) eine Profiltiefe aufweist, welche etwa 20% bis 30%, insbesondere etwa 25%, der Profiltiefe im Nabenbereich entspricht.

Im Rahmen einer weiteren Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass

- 5 - im Nabenbereich in einem ersten Bereich, insbesondere einem naben-nahen Bereich im Nabenbereich, das Dickenprofil an seiner flachen Hinterkante eine erste relative Dicke und die Dornerverweiterung aufweist, und
- im Nabenbereich in einem zweiten Bereich, insbesondere einem naben-fernen Bereich im Nabenbereich (I), die Hinterkante des Dickenprofils eine spitze Hinterkante ohne
10 Dornerverweiterung oder eine flache Hinterkante einer zweiten geringeren relativen Dicke ebenfalls mit der Dornerverweiterung aufweist.

Solche und andere weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den weiteren Unteransprüchen zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte Möglichkeiten an, das oben erläuterte Konzept im Rahmen der Aufgabenstellung sowie hinsichtlich weiterer
15 Vorteile zu realisieren.

Das Dickenprofil hat vorteilhaft eine relative Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75%. Vorzugsweise ist für das Rotorblatt das Dickenprofil gebildet in Form eines im wesentlichen elliptischen, ovalen oder zylindrischen Kerns. Insbesondere für den Fall einer idealen oder ovalen Ellipse hat das Dickenprofil vorteilhaft eine relative Dicke von
20 mehr als 50%, insbesondere mehr als 75%. Vorzugsweise entwickelt sich zum Nabenanschluss hin der Kern zu einer zylindrischen Form, d.h. das Rotorblatt hat ein Dickenprofil mit einer relativen Dicke von bis zu 100%.

Besonders vorteilhaft ist der Kern bei einer relativen Dicke von mehr als 75% als ein Wickelteil gebildet. Insbesondere ist dazu der Kern als (z.B. Glas- oder Kohle-
25)faserverstärktes (GFK)-Profil gebildet. Dazu werden beispielsweise Filamente oder Matten oder dergleichen Fasern auf einen Dorn gewickelt, der später wieder entfernt wird, sodass der Kern als Wickelteil, insbesondere GFK-Wickelteil verbleibt.

Das Rotorblatt ist besonders effizient im Nabenbereich herstellbar, indem an den Kern als vorgenanntes Dickenprofil mit relativer Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr
30 als 75%, an seiner Hinterkante mit einer relativen Hinterkanten-Dicke die Dornerverweiterung angebracht wird, insbesondere lediglich die Dornerverweiterung angebracht wird. Ein im wesentlichen zylindrisches oder ovales Wickelteils mit einem Dickenprofil einer

vorteilhaft relativen Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75% und einer Dornenerweiterung ist in diesem Sinne als besonders bevorzugte Ausführungsform in Fig,12 gezeigt.

Der zylindrische oder ovale Kern, vorzugsweise das im wesentlichen zylindrische oder ovale Wickelteil, weist an der Saugseite die erste Dornenerweiterung an der Hinterkante und an der Druckseite die zweite Dornenerweiterung an der Hinterkante unter Ausbildung einer Kehle mit flachem Grund zwischen der ersten und zweiten Dornenerweiterung auf. Insbesondere sollte eine relative und/oder absolute Profildicke, die als Verhältnis von Profildicke zu Profiltiefe definiert ist, von einer Rotorblattwurzel zu einer Rotorblattspitze abnehmen.

Vorzugsweise ist der flache Grund einer Kehle zwischen der ersten und zweiten Dornenerweiterung nach außen gewölbt, jedenfalls im naben-nahen Bereich des Nabenbereichs. Vorzugsweise ist der flache Grund einer Kehle zwischen der ersten und zweiten Dornenerweiterung nach innen gewölbt, jedenfalls im naben-fernen Bereich des Nabenbereichs.

Bei dem Rotorblatt sind besonders bevorzugt die erste und zweite Dornenerweiterung an der Hinterkante bei einem Umfangswinkel unterhalb von 60° angeordnet, wobei der Umfangswinkel gemessen ist ausgehend von einer Profilachse, also ohne Anstellwinkel ausgehend von einer Horizontalen.

Im Rahmen einer besonders bevorzugten Weiterbildung weist im Nabenbereich, insbesondere im naben-nahen Bereich des Nabenbereichs, an der Saugseite die erste Dornenerweiterung an der Hinterkante eine relative Dornertiefe auf, die geringer ist als eine relative Dornertiefe der zweiten Dornenerweiterung an der Hinterkante an der Druckseite.

Im Rahmen einer besonders bevorzugten Weiterbildung weist im Nabenbereich, insbesondere im naben-nahen Bereich des Nabenbereichs, an der Druckseite die zweite Dornenerweiterung an der Hinterkante eine Ausrichtung auf, die stärker zur Druckseite geneigt ist als eine Ausrichtung der ersten Dornenerweiterung an der Hinterkante an der Saugseite.

Im Rahmen einer besonders bevorzugten weiteren Weiterbildung ist vorgesehen, dass im Nabenbereich an der Saugseite die erste Dornenerweiterung an der Hinterkante bei weitgehend festem Umfangswinkel in Richtung des Spitzenbereichs verläuft und an der Druckseite die zweite Dornenerweiterung an der Hinterkante bei weitgehend abnehmendem Umfangswinkel in Richtung des Spitzenbereichs verläuft. Mit anderen Worten ist beispielsweise eine saugseitige Dornenerweiterung bei weitgehend festem Umfangswinkel an

einer weitgehend festen Position zwischen einer 1Uhr- und 3Uhr-Position, z.B. etwa bei einer 2Uhr-Position, angeordnet und eine druckseitige Dornerverweiterung ist beispielsweise bei einer Position zwischen einer 5Uhr- und 3Uhr-Position, angeordnet; vorzugsweise mit stetig abnehmender Position von einer 5Uhr- auf eine 3Uhr-Position in Richtung des Spitzenbereichs verlaufend.

Vorzugsweise laufen im Nabenbereich die erste Dornerverweiterung an der Hinterkante und die zweite Dornerverweiterung an der Hinterkante zusammen, insbesondere bei einer Position eines Umfangswinkel von 0° oder bei einem negativen Umfangswinkel. Mit anderen Worten ist vorteilhaft vorgesehen, dass die saugseitige Dornerverweiterung und die druckseitige Dornerverweiterung zu einer spitzen Hinterkante zusammenlaufen; vorzugsweise bei einem Umfangswinkel von 0° ; d.h. (ohne Anstellwinkel/Twist) bei einer 3Uhr-Position.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass im Nabenbereich an der Druckseite die zweite Dornerverweiterung an der Hinterkante einen zur Druckseite hin gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite hat, insbesondere einen zur Druckseite hin gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite mit zunehmender Krümmung – also sozusagen mit einer negativen Krümmung verläuft. Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass im Nabenbereich an der Druckseite die zweite Dornerverweiterung an der Hinterkante eine zur Druckseite gewölbte Lippe, insbesondere eine Spoiler-Lippe oder Guerney-Flap, aufweist, insbesondere mit einem aerodynamischen Übergang zu einem zur Druckseite gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite.

Es zeigt sich, dass mit diesen vorgenannten Weiterbildungen vorzugsweise ein Rotorblatt realisiert sein kann, das am Profil Strömungsgeschwindigkeiten einer normierten Strömung im Bereich einer Kehle zwischen der ersten und zweiten Dornerverweiterung aufweist, die in Ma zwischen $0.01 Ma$ und $max. 0.1 Ma$, insbesondere zwischen $0.02 Ma$ und $max. 0.06 Ma$ liegen.

Es zeigt sich auch, dass mit diesen vorgenannten Weiterbildungen vorzugsweise ein Rotorblatt realisiert sein kann, das eine Gleitzahl (Lift/Drag-Verhältnis) aufweist, die bei Anstellwinkeln (Twist) von bis zu 5° oberhalb von 1 und unterhalb von 10 liegen, insbesondere von einem naben-nahen Bereich des Nabenbereichs (I) zu einem naben-fernen Bereich des Nabenbereichs eine Gleitzahl (Lift/Drag-Verhältnis) zunimmt und/oder ein Anstellwinkel (Twist) eines Profils des Rotorblatts abnimmt.

Ausführungsformen der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Diese soll die Ausführungsformen nicht notwendigerweise maßstäblich darstellen, vielmehr ist die Zeichnung, wo zur Erläuterung dienlich, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der aus der Zeichnung unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige Modifikationen und Änderungen betreffend die Form und das Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, ohne von der allgemeinen Idee der Erfindung abzuweichen. Die in der Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung, können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Weiterbildung der Erfindung wesentlich sein. Zudem fallen in den Rahmen der Erfindung alle Kombinationen aus zumindest zwei der in der Beschreibung, der Zeichnung und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmale. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im folgenden gezeigten und beschriebenen bevorzugten Ausführungsform oder beschränkt auf einen Gegenstand, der eingeschränkt wäre, im Vergleich zu dem in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand. Bei angegebenen Bemessungsbereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und beliebig einsetzbar und beanspruchbar sein. Der Einfachheit halber sind nachfolgend für identische oder ähnliche Teile oder Teile mit identischer oder ähnlicher Funktion gleiche Bezugszeichen verwendet.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen sowie anhand der Zeichnung; diese zeigt in:

- Fig.1 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Windenergieanlage;
- 25 Fig.2-Fig.5 bevorzugte Profilformen eines Rotorblatts für eine bevorzugte Ausführungsform eines Rotorblatts im Spitzenbereich (III) (Fig.2), im mittleren Bereich (II) (Fig.3) und im Nabenbereich (I) (Fig.4, 5);
- Fig.6 ein schematischer Verlauf von Profilquerschnitten entlang eines Rotorblatts vom Nabenbereich über den mittleren Bereich bis zum Spitzenbereich;
- 30 Fig.7 eine Darstellung eines Rosendornprofils eines Rotorblattprofils im Nabenbereich mit Kehlwirbel in stabilisierter Form;
- Fig.8 eine Koordinatendarstellung (A) des Rosendornprofils der Fig.7 mit einem dazu gehörigen Strömungsverlauf (B);

- Fig.9 eine erste Seitenansicht entlang der Länge des Rotorblatts mit einem Hinterkantenprofil, das das Rosendornprofil der bevorzugten Ausführungsform trägt;
- Fig.10 eine andere Ansicht des Rotors, wobei in Fig.10 das Hinterkantenprofil mit Rosendornprofil gebildet ist und einmal mit Serrationsform beziehungsweise ohne Serrationsform gezeigt ist;
- Fig.11 eine schematische Kontur-Darstellung in Aufsicht auf eine bevorzugte Ausführungsform eines Rotorblatts, wobei im Nabenbereich (I) eine Dornerverweiterung vorgesehen ist – in einer ersten Abwandlung einer bevorzugten Ausführungsform ist die Dornerverweiterung Teil eines Hinterkantenprofils ähnlich wie in Fig.9 und Fig.10, beispielsweise als ein Hinterkantenkasten - in einer zweiten Abwandlung einer bevorzugten Ausführungsform ist die Dornerverweiterung im Nabenbereich an einer Hinterkante gebildet, wobei die Profiltiefe unterhalb der gestrichelten Linie als Hinterkante verbleibt, ein Hinterkantenkasten kann beispielsweise entfallen;
- Fig.12 eine räumliche Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines Rotorblatts im Nabenbereich (I) mit erkennbarer Dornerverweiterung im Nabenbereich, wobei die Profiltiefe unterhalb der gestrichelten Linie als Hinterkante verbleibt gemäß der in Fig.11 dargestellten zweiten Abwandlung einer bevorzugten Ausführungsform;
- Fig.13 (A) ein erstes Dickenprofil im naben-nahen Bereich (I.1) des Nabenbereichs (I), (B) ein zweites Dickenprofil im mittleren Nabenbereich (I) und (C) ein drittes Dickenprofil im naben-fernen Bereich (I.2) des Nabenbereichs des Rotorblatts der Fig.12 - alle Dickenprofile weisen eine auf Schallgeschwindigkeit normierter Geschwindigkeitsverteilung und daraus erkennbarem Kehlwirbel in einer Kehle zwischen der ersten und zweiten Dornerverweiterung auf, wobei die Strömungs-Geschwindigkeiten im Bereich von zwischen $0.01 Ma$ und $max. 0.1 Ma$, insbesondere zwischen $0.02 Ma$ und $max. 0.06 Ma$ liegen;
- Fig.14 in Ansichten (A), (B) und (C) jeweils Gleitzahlen (Lift/Drag-Verhältnisse) der Dickenprofile der Ansichten (A), (B) und (C) der Fig.13 für ein Rotorblatt der zweiten alternativen Abwandlung gemäß Fig.12 und Fig.13, wobei ein verbesserter Auftrieb aufgrund der durch den Kehlwirbel verlängerten effektiven Profiltiefe erreicht wird.

Fig.1 zeigt eine Windenergieanlage 100 mit einem Turm 102, der auf einem Fundament 103 errichtet ist. Am oberen, dem Fundament 103 gegenüberliegenden Ende befindet sich eine Gondel 104 (Maschinenhaus) mit einem Rotor 105, der eine Rotornabe 106 und daran angebrachte Rotorblätter 107, 108 und 109 aufweist. Der Rotor 105 ist mit einem elektrischen Generator im Innern der Gondel 104 zur Wandlung von mechanischer Arbeit in elektrische Energie gekoppelt. Die Gondel 104 ist drehbar auf dem Turm 102 gelagert, dessen Fundament 103 die notwendige Standsicherheit gibt.

Für den Spitzenbereich III zeigt Fig.2 ein Rotorblattprofil 30 im Wesentlichen gemäß einem Standardprofil wobei die Saugseite S im Wesentlichen konvex und die Druckseite D im Wesentlichen konkav oder gerade ausgeführt ist.

Fig.3 zeigt ein Rotorblattprofil 20 eines Rotorblatts 1 im Nabenbereich mit stumpfer Hinterkante F, wobei die Hinterkante eine relative Hinterkantendicke F_d aufweist, die durchaus im Bereich von 5% oder mehr liegen kann. Die Profile 30, 20 der Fig.2, Fig.3 können jeweils auch im mittleren Bereich beziehungsweise Nabenbereich vorliegen.

Fig.4 zeigt für ein Rotorblatt 1 der bevorzugten Ausführungsform ein Rosendornprofil eines Rotorblattprofils 10. Das Rotorblattprofil im Nabenbereich I weist als Dickenprofil mit einer relativen Dicke von mehr als 45% und einer Hinterkante von mehr als 5% an der Saug- und der Druckseite S, D jeweils einen Rosendorn in Form einer Dornerweiterung R1, R2 auf. Die Dorntiefe gemessen von der Hinterkante F liegt unterhalb von 25% und oberhalb einer relativen Dicke der Hinterkante, nämlich besonders oberhalb von 5%. Das Rotorblattprofil ist bereits mit einem Anstellwinkel (getwistet) gezeigt, der jedenfalls im naben-nahen Bereich des Nabenbereichs zwischen 0° und 70° , insbesondere zwischen 0° und 45° , liegen kann und dabei eher zunimmt.

Fig.5 zeigt das Rotorblattprofil der Fig.4 mit zusätzlichen Wirbelgeneratoren W1, W2, wobei die Wirbelgeneratoren auf der Saug- und der Druckseite S, D angeordnet sind.

Fig.6 zeigt eine Verteilung verschiedener Profilgeometrien eines Rotorblattes 1 einer Ausführungsform. In dem Rotorblatt 1 sind abschnittsweise Profildicken 2 und Profiltiefen 3 dargestellt. Das Rotorblatt 1 weist an einem Ende die Rotorblattwurzel 4 und an dem dazu abgewandten Ende einen Anschlussbereich 5 zum Anbringen einer Rotorblattspitze auf. An der Rotorblattwurzel 4 weist das Rotorblatt eine große Profiltiefe 3 auf. Im Anschlussbereich 5 ist die Profiltiefe 3 dagegen sehr viel kleiner. Die Profiltiefe nimmt, ausgehend von der Rotorblattwurzel 4, die auch als Profilwurzel bezeichnet werden kann, bis zu einem mittleren Bereich II deutlich ab.

Fig.7 zeigt, dass in der Kehle K des Blattprofils zwischen dem saugseitigen und dem druckseitigen Rosendorn, das heißt, in der Kehle K zwischen saugseitiger und druckseitiger Dornenerweiterung R1, R2 ein vergleichsweise stabiler Kehlwirbel W in Richtung der Saugseite ausgebildet ist. Der linksdrehende Kehlwirbel saugt Luft von der Saugseite S in die Kehle K zwischen saugseitiger und druckseitiger Dornenerweiterung R1, R2 ein und verhindert ein Ablösen der Strömung auf der Saugseite. Die Druckseitenströmung an der Druckseite D stabilisiert zusätzlich den Kehlwirbel W. Zusammen mit dem vergleichsweise stabilen Kehlwirbel weist das Blattprofil im Nabenbereich I insofern eine durch den Kehlwirbel verlängerte Profiltiefe auf, sodass eine längere Strömlinie gebildet wird, wenn man so will, ist die Profiltiefe des Blattprofils durch den stabilen Kehlwirbel verlängert. Dies führt zu verbesserten Auftriebswerten, solange der Kehlwirbel stabil ist. Dies wird aber durch den saug- und druckseitigen Rosendorn der Dornenerweiterung gewährleistet. Zusätzlich ist das Rotorblattprofil der Fig.7 mit Wirbelgeneratoren versehen, sodass sich eine Ablösung einer Anströmung in der Grenzfläche nicht vorzeitig ergibt. Dies führt zu stabilen Druckverhältnissen für den Kehlwirbel in der Kehle zwischen dem saugseitigen und dem druckseitigen Rosendorn der Dornenerweiterung des Blattprofils. Fig.7 zeigt eine Umströmung des Rotorblatts mit Strömungen im Anstellwinkel von 7° - das Konzept der Erfindung ist jedoch keinesfalls auf einen solchen kleinen Anstellwinkel beschränkt sondern zielt vielmehr eher auf den ungünstigeren Fall eines Anstellwinkels von 30° ab. Jedoch zeigt Fig.7 das Grundprinzip und die Möglichkeit deutlich Material einzusparen mittels des Einsatzes der Rosendorne. Auch die Wirbelgeneratoren können kleiner ausfallen als eingezeichnet; die Rosendorne werden also verhältnismäßig kleiner.

Fig.8 zeigt in (A) eine Koordinatendarstellung des Rosendornprofils der Fig.7 mit einem dazu gehörigen Strömungsverlauf (B); dabei ist insbesondere die Bildung der in Fig.7 bezeichneten eingesaugten Strömung als stabilisierter Wirbel W zwischen den Dornen R1, R2 zu erkennen.

Fig.9 zeigt eine Seitenansicht eines Rotorblattes 900 einer Ausführungsform über seine Gesamtlänge l, d.h. von 0% bis 100%. Das Rotorblatt 900 weist an einem Ende eine Rotorblattwurzel 904 und an dem dazu abgewandten Ende eine Rotorblattspitze 907 auf. Die Rotorblattspitze 907 ist an einem Anschlussbereich 905 mit dem restlichen Teil des Rotorblattes verbunden. An der Rotorblattwurzel 904 weist das Rotorblatt eine große Profiltiefe auf. Im Anschlussbereich 905 und an der Rotorblattspitze 907 ist die Profiltiefe dagegen sehr viel kleiner. Die Profiltiefe nimmt, ausgehend von der Rotorblattwurzel 904, die auch als Profilmurzel bezeichnet werden kann, bis zu einem mittleren Bereich 906 deutlich ab. In dem mittleren Bereich 906 kann eine Trennstelle vorgesehen sein (hier

nicht dargestellt). Vom mittleren Bereich 906 bis zum Anschlussbereich 905 ist die Profiltiefe nahezu konstant.

Das Rotorblatt 900 weist im Bereich der Rotorblattwurzel 904 eine zweigeteilte Form auf. Das Rotorblatt 900 besteht somit aus einem Grundprofil 909, an das in dem Bereich der Rotorblattwurzel 904 ein weiterer Abschnitt 908 zur Erhöhung der Rotorblatattiefe des Rotorblattes 900 angeordnet ist. Der Abschnitt 908 ist dabei beispielsweise an das Grundprofil 909 angeklebt. Eine solche zweigeteilte Form ist einfacher in der Handhabung beim Transport zum Aufstellungsort und einfacher zu fertigen.

Weiterhin ist in Fig.9 ein Nabenanschlussbereich 910 zu erkennen. Über den Nabenanschlussbereich 910 wird das Rotorblatt 900 an die Rotornabe angeschlossen.

Fig.10 zeigt eine weitere Seitenansicht des Rotorblattes 900 der Fig.9. Es ist das Rotorblatt 900 mit dem Grundprofil 909, dem Abschnitt 908 zur Erhöhung der Rotorblatattiefe, der mittlere Bereich 906, die Rotorblattwurzel 904 und der Nabenanschlussbereich 910 sowie der Anschlussbereich 905 zur Rotorblattspitze 907 zu erkennen. Die Rotorblattspitze 907 ist als ein sogenanntes Winglet ausgeführt. Dadurch werden Wirbel an der Rotorblattspitze verringert.

In dem Detail der Fig.9 ist der Abschnitt 908 als ein Hinterkantenstück mit der Kehle K zwischen dem saugseitigen und druckseitigen Rosendorn R1, R2 gezeigt. Insgesamt fällt die Tiefe des Hinterkantenstücks jedoch geringer aus, da infolge der bevorzugten stabilen Kehlwirbelausbildung die effektive relative Profildicke des Blattprofils im Nabenbereich vergrößert ist.

Im Detail der Fig.10 ist das Hinterkantenstück einmal in Ansicht A ohne Serrationsform und einmal in Ansicht B mit Serrationsform gezeigt. Je nach Bedarf lässt sich insbesondere durch eine Serrationsform oder andere strömungsstabilisierende Maßnahmen die Kehlwirbelausbildung unterstützen und damit die effektive relative Profildicke des Blattprofils im Nabenbereich erhöhen.

Die Fig.11 zeigt eine --im oberen Teil erkennbar-- bevorzugte Ausführungsform als eine erste Abwandlung mit einem Hinterkantenstück --beispielsweise in Form eines Hinterkantenkastens, der separat angesetzt wird-- wie dieses bereits als Abschnitt 908 in Fig.9 und Fig.10 gezeigt ist.

Das entsprechend mit einer im Nabenbereich I erhöhter Profiltiefe gezeigte Rotorblatt 1 wurde insbesondere in Zusammenhang mit der Fig.9 und Fig.10 beschrieben – mit dem

Hinterkantenstück mit Dornerweiterung, d.h. als Abschnitt 908, fällt die Tiefe des Hinterkantenstücks bei ähnlichen Auftriebs- und Gleitwerten geringer aus als bei einem Hinterkantenstück ohne Dornerweiterung. Die Profiltiefe eines solchen Rotorblattes 1 kann also vergleichsweise reduziert werden aufgrund der vorgenannten stabilen Kehlwirbelausbildung so dass sich eine effektive relative Profildicke des Blattprofils im Nabenbereich
5 vergrößern lässt. Da sich infolge der bevorzugten stabilen Kehlwirbelausbildung die effektive relative Profildicke des Blattprofils im Nabenbereich vergrößert eignet sich dies bevorzugt, aber nicht zwangsläufig, zur Umsetzung eines Rotorblatts 1 wie es in Fig.6 gezeigt ist.

10 Fig.11 zeigt auch eine weitere besonders bevorzugte Ausführungsform als zweite Abwandlung, die hier als Rotorblatt 1' bezeichnet ist. Bei dieser zweiten Abwandlung ist Dornerweiterung im Nabenbereich „direkt“ an einer Hinterkante F des Kerns des Rotorblattes gebildet, wobei die Dornerweiterung R1, R2 unterhalb der gestrichelten Linie L' verbleibt; die gestrichelte Linie L' bildet also den hinteren Rand der Dornerweiterung R1,
15 R2. Das Hinterkantenstück 908 des Rotorblatts 1 entfällt beim Rotorblatt 1'.

Insofern ist die Profiltiefe des Rotorblatts 1' auf einen Bereich unterhalb der gestrichelten Linie L' beschränkt. Insofern ist das Rotorblatt 1' mit deutlich geringerer Profiltiefe (Sehnenlänge) ausgebildet bei, wie sich zeigt, dennoch beachtlichen und vorteilhaften Auftriebs- und Gleitwerten. Dies führt zu einer ganz erheblichen Reduzierung und damit
20 erheblich verbesserten Transportfähigkeit des Rotorblatts 1'.

Das Rotorblatt 1' ist besonders effizient im Nabenbereich herstellbar I, indem an den Kern als vorgenanntes Dickenprofil mit relativer Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75% --d.h. an der Hinterkante des Kerns mit einer relativen vergleichsweise hohen Hinterkanten-Dicke-- die Dornerweiterung angebracht wird, insbesondere (wie hier
25 in dieser in Fig.12 gezeigten Ausführungsform) lediglich die Dornerweiterung angebracht wird.

Ein im wesentlichen zylindrisches oder ovales Wickelteils mit einem Dickenprofil einer vorteilhaft relativen Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75% entwickelt sich von einem naben-fernen Nabenbereich I.2 zu einem naben-nahen Bereich I.1, wie dies
30 beispielsweise in Fig.13 deutlich erkennbar ist, bis zu einem zylindrischen Dickenprofil einer vorteilhaft relativen Dicke von bis zu 100% im Anschlussbereich der Nabe.

Für das Rotorblatt 1' als auch für das Rotorblatt 1 ist eine Trennstelle R vorgesehen, an dem das Rotorblatt 1, 1' in Längsrichtung zusammengesetzt ist.

Fig.12 zeigt eine räumliche Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines Rotorblatts im Nabenbereich (I) mit erkennbarer Dornerverweiterung im Nabenbereich, wobei im Nabenbereich in einem ersten naben-nahen Bereich, das Dickenprofil an seiner Hinterkante die Dornerverweiterung aufweist und auch in einem zweiten Bereich, nämlich im Nabenbereich in einem zweiten naben-fernen Bereich, das Dickenprofil die Hinterkante eine flache Hinterkante die Dornerverweiterung aufweist.

Das Rotorblatt 1' ist für seinen Nabenbereich I mit einer wulstartig verbreiterten Trennstelle R in Fig.12 perspektivisch dargestellt. Die perspektivische Darstellung des Rotorblatts 1' in Fig.12 lässt erkennen, dass das Dickenprofil in Nabenbereich I gebildet ist in Form eines im Wesentlichen elliptischen und sich in Längsrichtung dann zur Nabe hin entwickelnden ovalen und dann zylindrischen Kerns 11', der als ein Wickelteil WT ausgeführt ist, was in Fig.13 entsprechend gekennzeichnet ist.

An der Saugseite S des Kerns 11' ist eine erste Dornerverweiterung R1 und an der Druckseite D des Kerns 11' ist eine zweite Dornerverweiterung R2 angebracht, nämlich jeweils an dessen Hinterkante F. Dadurch wird eine in Fig.12 erkennbare Kehle K ausgebildet, nämlich an der Hinterkante F zwischen der saugseitigen Dornerverweiterung R1 und der druckseitigen Dornerverweiterung R2 mit einem durch die Hinterkante F gebildeten, weitgehend flachen, Grund zwischen der ersten und zweiten Dornerverweiterung R1, R2.

Fig.13 zeigt im Zusammenhang mit Fig.12 und Fig.11 für die in Fig.11 gezeigten Querschnitte A--A sowie B--B und C--C in den Ansichten (A), (B) und (C) der Fig.13 die entsprechenden Profile mit einer relativen Dicke von mehr als 50% und dann mehr als 75% und schließlich praktisch 100% des Rotorblatts 1' zur Nabe hin – dazu ist eine gerechnete Verteilung von Strömungsgeschwindigkeiten gezeigt. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind als Schattierung dargestellt und lassen den Kehlwirbel W in der Kehle K zwischen den Dornerverweiterungen R1, R2 am Wickelteil WT erkennen – auf diese wird später Bezug genommen.

Erkennbar ist aus den Profilen der Fig.13 in den Ansichten (A), (B) und (C), dass eine relative und/oder absolute Profildicke 2, die als Verhältnis von Profildicke 2 zu Profiltiefe 3 definiert ist (siehe Fig.6), von einer Rotorblattspitze 5, 7 zu einer Rotorblattwurzel 4 zunimmt; nämlich eine relative Profildicke von zunächst unter 45% auf über 50% zunimmt, dann auf über 75% zunimmt bis zu einer relativen Profildicke von praktisch 100% eines zylindrischen Blattanschlusses an der Rotorblattwurzel 4 bzw. Nabe.

Außerdem ist erkennbar, dass der flache Grund einer Kehle K --also gebildet durch die praktisch flache Hinterkante F des Rotorblatts 1'-- zwischen der ersten und zweiten

Dornerweiterung R1, R2 bei einem naben-nahen Profil (wie es in Ansicht (A) der Fig.13 dargestellt ist) nach außen gewölbt ist. Während also im naben-nahen Bereich I.1 der Grund nach außen gewölbt ist, ist dieser in einem mittleren Nabebereich I (hier in Ansicht (B) der Fig.13 dargestellt) vergleichsweise flach und in einem naben-fernen Bereich I.2 des Nabebereichs I ist er nach innen gewölbt (wie dies in Ansicht (C) der Fig.13 erkennbar ist).

Weiter ist aus Fig.12 erkennbar, dass die erste und zweite Dornerweiterung R1, R2 an der Hinterkante F bei einem Umfangswinkel unterhalb von 60° angeordnet sind, nämlich hier bei einem in der Fig.12 eingezeichneten Umfangswinkel α_1 , α_2 von etwa 45° angeordnet sind. Der Umfangswinkel α_1 , α_2 der Dornerweiterungen R1, R2 ist hier ausgehend von einer Profilachse (Profilsehne A des Profils des Rotorblatts 1') gemessen.

Der Umfangswinkel α_1 an der Saugseite S der ersten Dornerweiterung R1 an der Hinterkante F verläuft nun bei weitgehend festem Umfangswinkel α_1 in Richtung des Spitzenbereichs. An der Druckseite D verringert sich der Umfangswinkel α_2 , wie in Fig.12 erkennbar, für die zweite Dornerweiterung R2 an der Hinterkante F in Richtung des Spitzenbereichs III. Das heißt die Dornerweiterungen R1, R2 laufen aufeinander zu, um am Schnittpunkt T am Ende des Nabebereich I zusammenzulaufen. Dies entspricht in etwa einer Position, an dem der Umfangswinkel für beide Rosendornprofile R1, R2 bei etwa 0° oder darüber, ggfs. bei festem Umfangswinkel α_1 , liegt.

Wie in Fig.12 erkennbar ist vorgesehen, dass im Nabebereich I in einem ersten Bereich, nämlich einem naben-nahen Bereich I.1 im Nabebereich I, das Dickenprofil an seiner flachen Hinterkante eine vergleichsweise hohe erste relative Dicke und die Dornerweiterung aufweist. Zudem ist vorgesehen, dass im Nabebereich I in einem zweiten Bereich, insbesondere einem naben-fernen Bereich I.2 im Nabebereich I, die Hinterkante des Dickenprofils eine spitze Hinterkante ohne Dornerweiterung oder eine flache Hinterkante einer zweiten geringeren relativen Dicke ebenfalls mit der Dornerweiterung aufweist.

Die druckseitige Dornerweiterung R2 geht sozusagen mit dem Twist des Rotorblatts 1' mit; d.h. mit dem abnehmenden Anstellwinkel γ in Richtung des Spitzenbereichs III – dies war bereits aus Fig.6 erkennbar und ist in Fig.12 nochmals deutlich erkennbar. In einem hier nur teilweise dargestellten mittleren Bereich weist das Profil des Rotorblatts bereits eine spitze Hinterkante auf, die sich aus den zusammenlaufenden ersten und zweiten Dornen R1, R2 der Saug- und Druckseite herausbildet. Anders ausgedrückt hat das Rotorblatt 1' eine stumpfe Hinterkante (Fig.3), die sich aus den zusammenlaufenden ersten und zweiten Dornen der Saug- und Druckseite herausbildet, wobei eine relative

Hinterkantendicke im Bereich von 5% oder darunter liegt - in einem hier nicht dargestellten Spitzenbereich weist das Profil des Rotorblatts eine spitze Hinterkante auf (Fig.2).

Darüber hinaus ist erkennbar, dass im naben-nahen Bereich I.I des Nabebereichs I an der Saugseite die erste Dornerweiterung R1 an der Hinterkante F eine relative Dorntiefe aufweist, die geringer ist als eine relative Dorntiefe der zweiten Dornerweiterung R2 an der Hinterkante F an der Druckseite D des Rotorblatts 1'. Des Weiteren ist aus Fig.12
5 erkennbar, dass im naben-nahen Bereich des Nabebereichs I an der Druckseite die zweite Dornerweiterung R2 an der Hinterkante eine Ausrichtung aufweist, die stärker zur Druckseite geneigt ist, als eine Ausrichtung der ersten Dornerweiterung R1 an der Hinterkante an der Saugseite S. Dies zeigt sich dadurch, dass der Ausrichtungswinkel β_1 für die erste Dornerweiterung R1 größer ist als der Ausrichtungswinkel β_2 für die zweite Dornerweiterung R2.
10

Zudem ist für die zweite Dornerweiterung R2 an der Hinterkante F ein zur Druckseite D hin gewölbter Verlauf einer druckseitigen Unterseite R2u der Dornerweiterung R2 vorgesehen. Das heißt für die druckseitige Unterseite U der zweiten Dornerweiterung R2 ist ein zur Druckseite D gewölbter Verlauf mit zunehmender Krümmung vorgesehen. Der dadurch erreichbare Auftriebseffekt kann zusätzlich noch verstärkt werden durch eine sogenannte gewölbte Lippe; etwa beispielsweise eine Spoiler-Lippe oder eine Guerney-Flap oder dergleichen, wie es in Fig.13 Ansicht (C) erkennbar ist. Dies führt zu einer
15 Verstärkung des Drucks auf der Druckseite D und damit erhöhten Auftriebswerten.
20

Es zeigt sich, dass diese Ausführungsform wie sie in Fig.12 und Fig.11 als Rotorblatt 1' dargestellt ist Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Kehle K realisiert, die zwischen 0,01 Ma und 0,1 Ma liegen und damit eine Kehlwirbelausbildung W besonders unterstützen und diese stabilisieren.

Eine Gleitzahl (Lift/Drag Verhältnis) --wie sie für die Ansichten (A), (B) und (C) in Fig.13 und Fig.14 dargestellt ist (also für die Querschnitte A--A, B--B und C--C der Fig.11) ist noch vergleichsweise hoch, nämlich bei Anstellwinkel γ bis zu 5° für den Schnitt A--A ist liegt diese noch bei Werten von wenigstens bis 2,5, für den Schnitt B--B noch bei Werten von bis 8, und für den Schnitt C--C noch bei Werten von bis sogar 10. Dies sind Gleitzahlen die sich letztendlich realisieren lassen aufgrund der „effektiven“ Erhöhung der Profiltiefe aufgrund des stabilisierten Kehlwirbels W wie dies Fig.13 zu entnehmen ist, obwohl die strukturelle Profiltiefe des Rotorblatts 1' deutlich geringer ist.
25
30

Anders ausgedrückt ist --wie in Fig.13 erkennbar-- die „effektive“ Profiltiefe des Rotorblatts 1' über die eigentliche Hinterkante F hinaus (sozusagen aufgrund des Kehlwirbels)

verlängert; insbesondere um wenigstens 20% jedoch bis zu 50% verlängert – beziehungsweise über die Hinterkante der Dornerweiterungen R1, R2 hinaus um bis zu 20% erhöht, wenigstens jedoch bis zu 10% erhöht.

Dieser vorteilhafte Effekt tritt deutlich hervor dadurch, dass ein Strömungsabriss erst
5 hinter dem Wirbel W erkennbar ist während die Strömung sich von einem strukturellen
hinteren Rand der Dornerweiterung noch nicht ablöst.

Ansprüche

1. Rotorblatt (1) mit einer Saugseite und einer Druckseite für eine Windenergieanlage, aufweisend:
- eine Rotorblattwurzel (4) eines Nabenbereichs (I) zur Anbindung des Rotorblattes (1) an eine Rotornabe, und
 - eine zur Rotorblattwurzel (4) abgewandten Seite eines Spitzenbereichs (III) angeordnete Rotorblattspitze (5, 7),
- dadurch gekennzeichnet, dass
- im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Rotorblatt ein Dickenprofil aufweist, das an seiner Hinterkante eine Dornerweiterung hat, wobei
 - im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil:
 - an der Saugseite eine erste Dornerweiterung an der Hinterkante, und
 - an der Druckseite eine zweite Dornerweiterung an der Hinterkante hat, und
 - im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Strömungsstabilisator und/oder einen Vortexgenerator aufweist.
2. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil eine relative Dicke von mehr als 40%, insbesondere mehr als 45%, aufweist.
3. Rotorblatt (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich die Hinterkante eine flache oder gewölbte Hinterkante ist, die eine relative Dicke aufweist, insbesondere eine relative Dicke von mehr als 5 % aufweist.
4. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine relative Dorntiefe der Dornerweiterung gemessen von der Hinterkante unterhalb von 25 % liegt und/oder wenigstens oberhalb einer relativen Dicke der Hinterkante, insbesondere oberhalb von 5%, wobei vorteilhaft eine maximale relative Dorntiefe zwischen 15 % und 25 % liegt.

5. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise die Hinterkante eine Serrationsform aufweist.

6. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Strömungsstabilisator aufweist ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: Spoiler, Grenzschichtzaun, Grenzschichtabsaugung.

7. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil auf der Saug- und/oder Druckseite einen Vortexgenerator aufweist ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: Finne, Noppe, Dimpel, Steg, eine Ausblas- oder Absaugstruktur.

8. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

-im Nabenbereich (I) in einem ersten Bereich, insbesondere einem naben-nahen Bereich (I.1) im Nabenbereich (I), das Dickenprofil an seiner flachen Hinterkante eine erste relative Dicke und die Dornerweiterung aufweist, und

- im Nabenbereich (I) in einem zweiten Bereich, insbesondere einem naben-fernen Bereich (I.2) im Nabenbereich (I), die Hinterkante des Dickenprofils eine spitze Hinterkante ohne Dornerweiterung oder eine flache Hinterkante einer zweiten geringeren relativen Dicke ebenfalls mit der Dornerweiterung aufweist.

9. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

-im Nabenbereich (I) in einem ersten Bereich, insbesondere einem naben-nahen Bereich (I.1) im Nabenbereich (I), das Dickenprofil an seiner flachen Hinterkante die Dornerweiterung aufweist und

-im Nabenbereich (I) in einem zweiten Bereich, insbesondere einem naben-fernen Bereich (I.2) im Nabenbereich (I), die Hinterkante des Dickenprofils eine flache Hinterkante ohne die Dornerweiterung aufweist.

10. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I) zwischen einem ersten Bereich, insbesondere einem naben-nahen Bereich (I.1) im Nabenbereich (I), und einem zweiten Bereich, insbesondere

einem naben-fernen Bereich (I.1) im Nabenbereich (I), das Dickenprofil eine maximale Profiltiefe aufweist.

11. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine relative Profildicke (2), die als Verhältnis von Profildicke (2) zu Profiltiefe (3) definiert ist, in einem Bereich, insbesondere in einem mittleren Bereich (II), zwischen Rotorblattwurzel (4) des Nabenbereichs (I) und Rotorblattspitze (5, 7) des Spitzenbereichs (III) ein lokales Maximum aufweist.

12. Rotorblatt (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Profildicke (2) des lokalen Maximums 35% bis 50% beträgt, insbesondere 40% bis 45% beträgt.

13. Rotorblatt (1) nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (1) im Bereich des lokalen Maximums eine absolute Profiltiefe (3) von 1500 mm bis 3500 mm aufweist.

14. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

-das Rotorblatt (1) aus einem ersten und einem zweiten Rotorblattabschnitt zusammengesetzt ist, und

-der erste Rotorblattabschnitt die Rotorblattwurzel (4) und der zweite Rotorblattabschnitt die Rotorblattspitze (7) aufweist, und

-der erste und der zweite Rotorblattabschnitt an einer Trennstelle miteinander verbunden sind,

insbesondere wobei die Trennstelle im mittleren Bereich (II) zwischen Rotorblattwurzel (4) und Rotorblattspitze (7) und/oder im Bereich eines lokalen Maximums einer relativen Profildicke (2) angeordnet ist, die als Verhältnis von Profildicke (2) zu Profiltiefe (3) definiert ist.

15. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (1) in einem ersten, insbesondere naben-nahen Bereich (I.1) im Nabenbereich (I), eine absolute Profiltiefe (3) von wenigstens 3900mm aufweist, insbesondere eine absolute Profiltiefe (3) in einem Bereich von 4000 mm bis 8000 mm, aufweist.

16. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (1) ausgehend von der Rotorblattwurzel (4) im Bereich von 90% bis 95% der Gesamtlänge, eine absolute Profiltiefe (3) von maximal 1000 mm aufweist, insbesondere eine absolute Profiltiefe (3) in einem Bereich von 700 mm bis 400 mm aufweist.

17. Rotorblatt (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass das Rotorblatt (1) im mittleren Bereich (II) eine Profiltiefe aufweist, welche 20% bis 30% der Profiltiefe im Nabenbereich (I) entspricht.

18. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Nabenbereichs wenigstens teilweise das Dickenprofil eine relative Dicke von mehr als 50%, insbesondere mehr als 75%, aufweist, wobei das Dickenprofil gebildet ist in Form eines im wesentlichen zylindrischen oder ovalen Kerns (11'), vorzugsweise eines im wesentlichen zylindrischen oder ovalen Wickelteils (WT).

19. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Dickenprofil an der Saugseite die erste Dornerweiterung an der Hinterkante und an der Druckseite die zweite Dornerweiterung an der Hinterkante aufweist, unter Ausbildung einer Kehle (K) mit praktisch flachem Grund zwischen der ersten und zweiten Dornerweiterung, wobei eine relative und/oder absolute Profildicke (2), die als Verhältnis von Profildicke (2) zu Profiltiefe (3) definiert ist, von einer Rotorblattwurzel (4) zu einer Rotorblattspitze (5, 7) abnimmt,

20. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der flache Grund einer Kehle (K) zwischen der ersten und zweiten Dornerweiterung nach aussen gewölbt ist im naben-nahen Bereich (I.1) des Nabenbereichs (I) und nach innen gewölbt ist im naben-fernen Bereich (I.2) des Nabenbereichs (I).

21. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Dornerweiterung (R1, R2) an der Hinterkante bei einem Umfangswinkel unterhalb von 60°, insbesondere 45°, angeordnet sind, wobei der Umfangswinkel gemessen ist ausgehend von einer Profilachse ohne Anstellwinkel.

22. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I), insbesondere im naben-nahen Bereich (I.1) des Nabenbereichs (I), an der Saugseite die erste Dornerweiterung an der Hinterkante eine relative Dorntiefe aufweist, die geringer ist als eine relative Dorntiefe der zweiten Dornerweiterung an der Hinterkante an der Druckseite.

23. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I), insbesondere im naben-nahen Bereich (I.1) des Nabenbereichs (I), an der Druckseite die zweite Dörnerweiterung an der Hinterkante eine Ausrichtung aufweist, die stärker zur Druckseite geneigt ist als eine Ausrichtung der ersten Dörnerweiterung an der Hinterkante an der Saugseite.

24. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I) an der Saugseite (S) die erste Dörnerweiterung (R1) an der Hinterkante bei weitgehend festem Umfangswinkel (α_1) in Richtung des Spitzenbereichs (III) verläuft und an der Druckseite (D) die zweite Dörnerweiterung (R2) an der Hinterkante bei weitgehend abnehmendem Umfangswinkel (α_2) in Richtung des Spitzenbereichs (III) verläuft.

25. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I) die erste Dörnerweiterung (R1) an der Hinterkante und die zweite Dörnerweiterung (R2) an der Hinterkante zusammenlaufen, insbesondere bei einer Position (T) eines Umfangswinkel von 0° oder negativen Umfangswinkel oder positiven Umfangswinkel (α_1) zusammenlaufen.

26. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I) an der Druckseite (D) die zweite Dörnerweiterung (R2) an der Hinterkante einen zur Druckseite (D) gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite hat, insbesondere einen zur Druckseite gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite mit zunehmender Krümmung.

27. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass im Nabenbereich (I) an der Druckseite die zweite Dörnerweiterung an der Hinterkante eine zur Druckseite gewölbte Lippe aufweist, insbesondere eine Spoiler-Lippe oder Guerney-Flap, insbesondere mit einem aerodynamischen Übergang zu einem zur Druckseite (D) gewölbten Verlauf einer druckseitigen Unterseite (U).

28. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass Strömungsgeschwindigkeiten einer normierten Strömung im Bereich einer Kehle zwischen der ersten und zweiten Dörnerweiterung in Ma zwischen $0.01 Ma$ und $max. 0.1 Ma$, insbesondere zwischen $0.02 Ma$ und $max. 0.06 Ma$ liegen.

29. Rotorblatt (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass eine Gleitzahl (Lift/Drag-Verhältnis) bei Anstellwinkeln (Twist) von bis zu 5° oberhalb von 1 und unterhalb von 10 liegen, insbesondere von einem naben-nahen

Bereich (I.1) des Nabenbereichs (I) zu einem naben-fernen Bereich (I.2) des Nabenbereichs (I) eine Gleitzahl (Lift/Drag-Verhältnis) zunimmt und/oder ein Anstellwinkel Anstellwinkel (Twist) eines Profils des Rotorblatts abnimmt.

30. Windenergieanlage mit einem Rotor, wobei der Rotor wenigstens ein Rotorblatt
5 (1, 1') nach einem der vorstehenden Ansprüche aufweist.

1/10

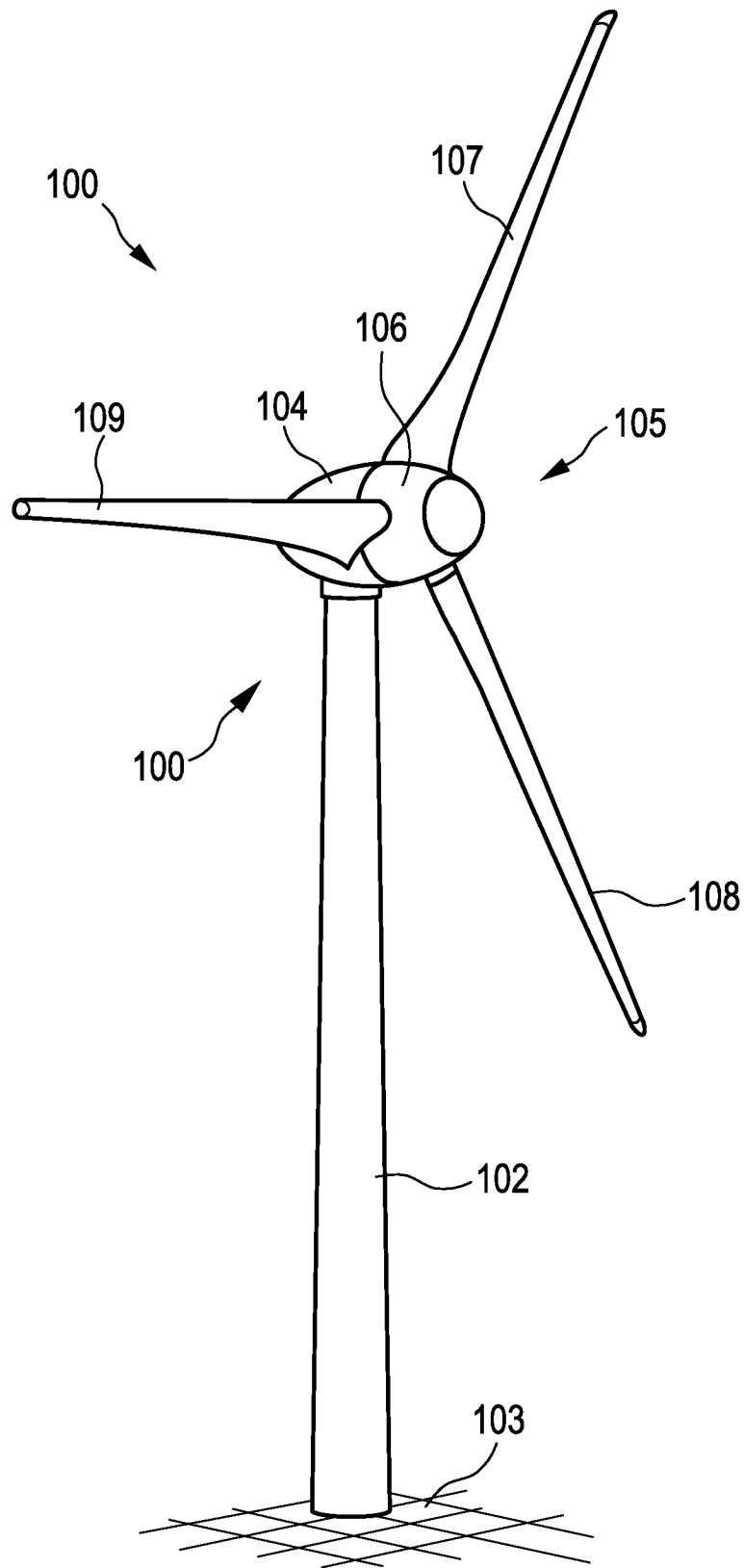


FIG. 1

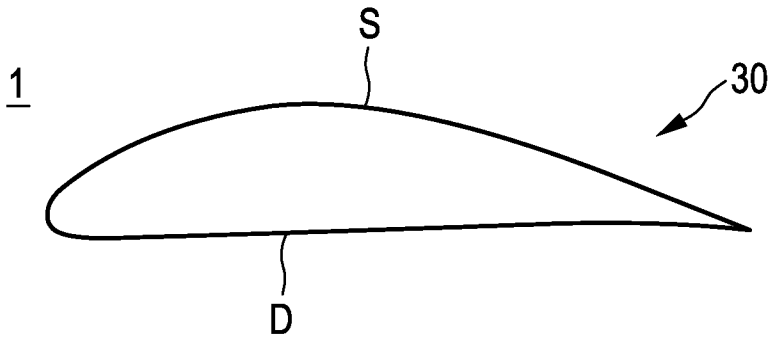


FIG. 2

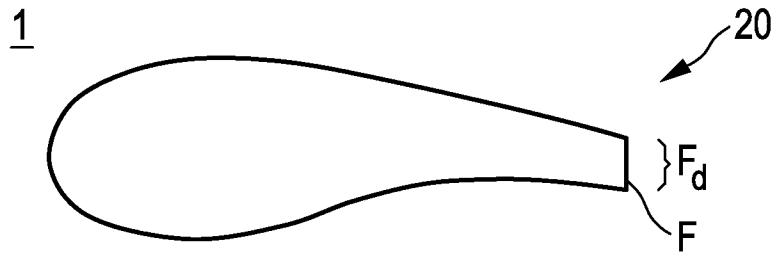


FIG. 3

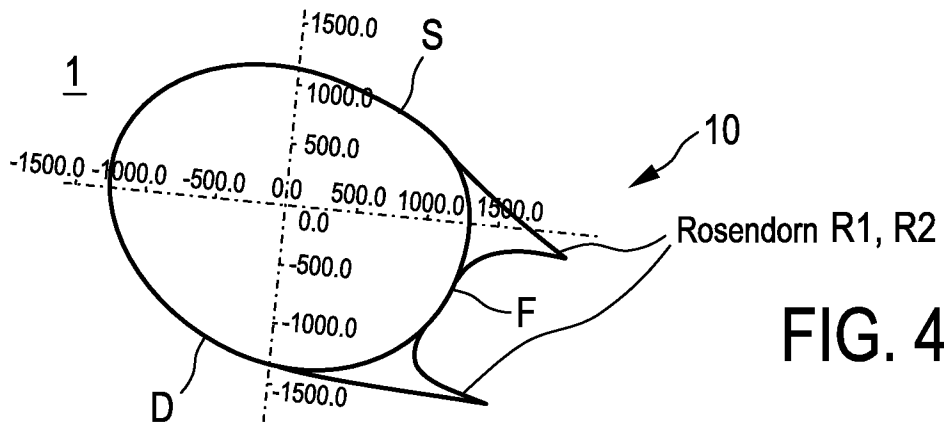


FIG. 4

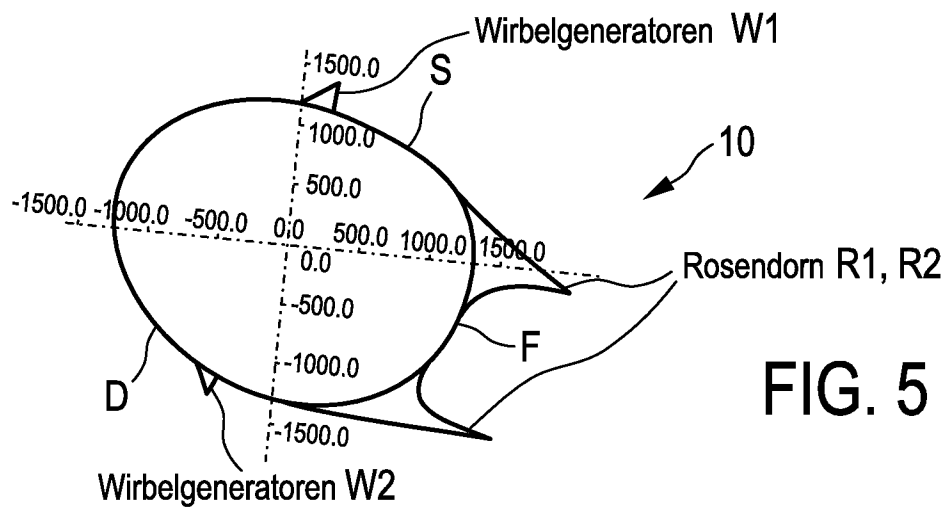


FIG. 5

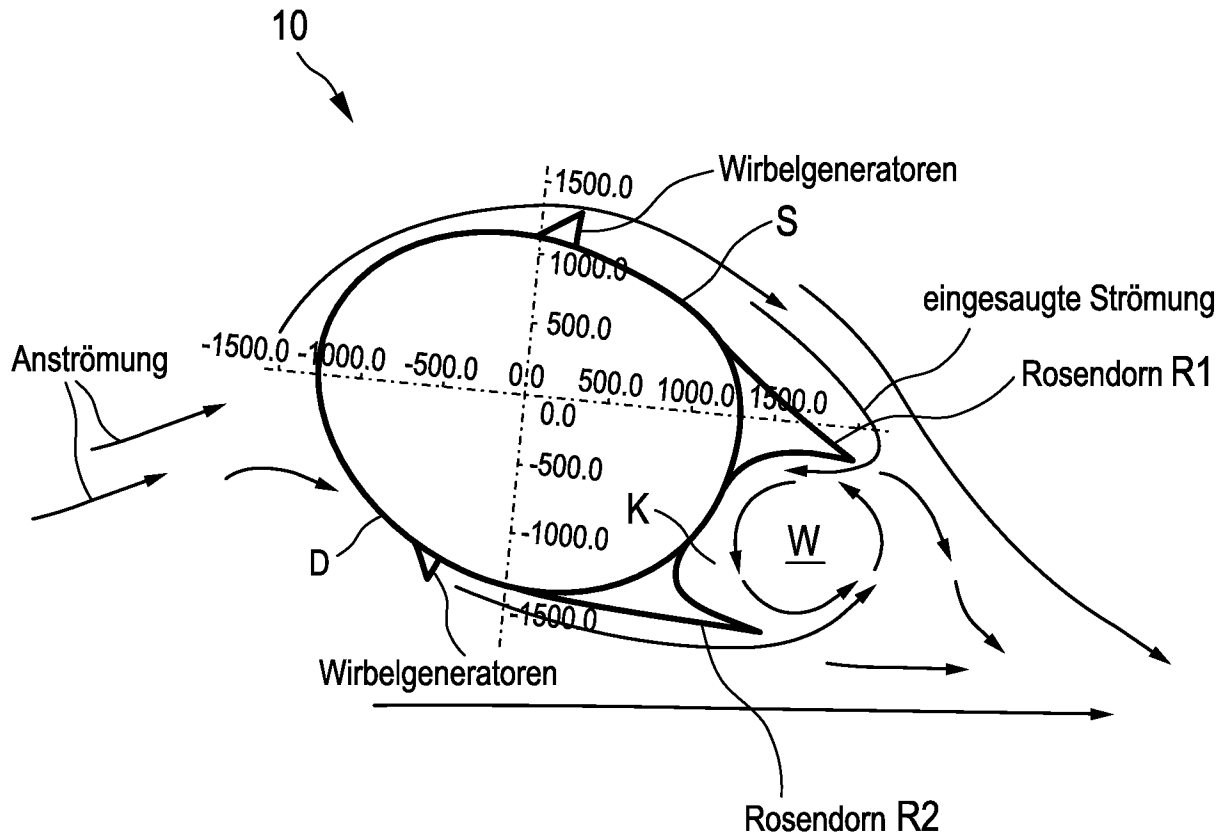
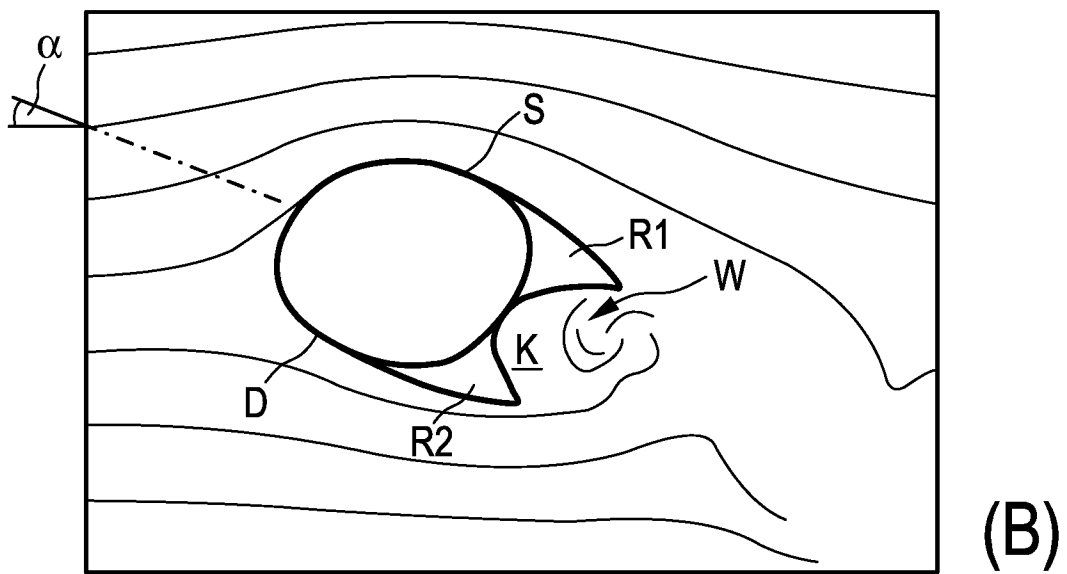
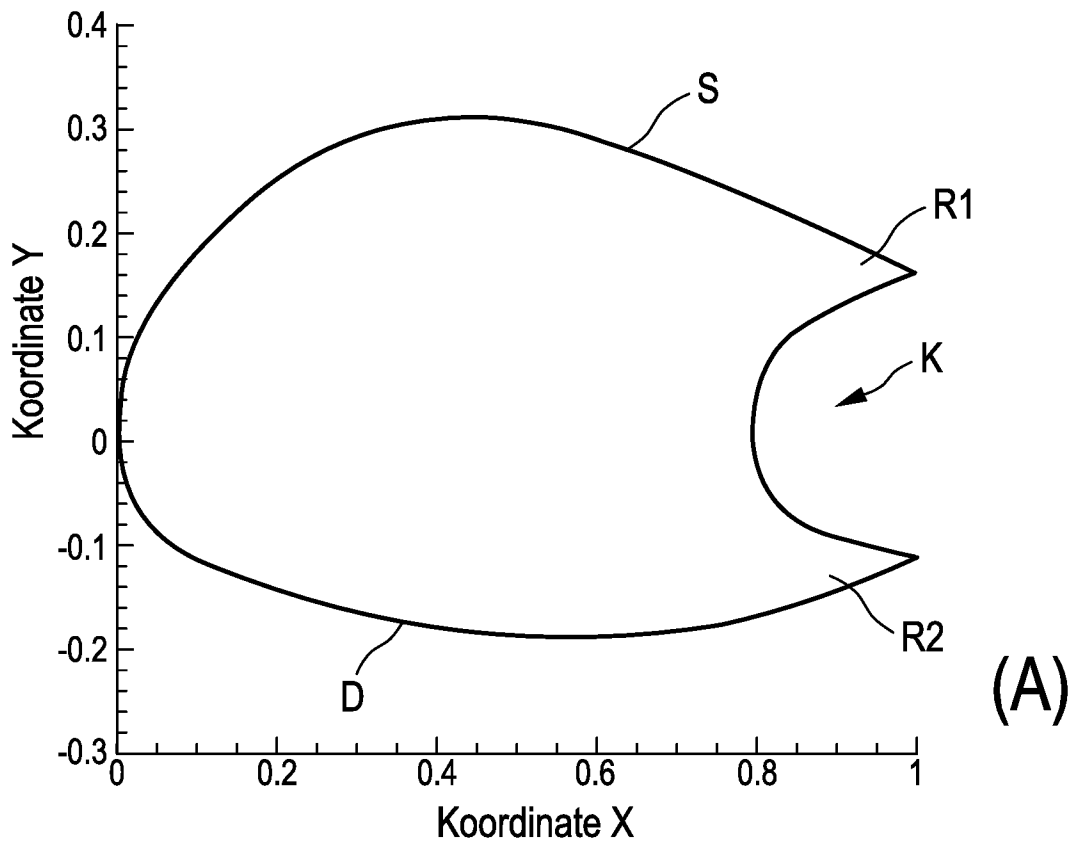


FIG. 7

5/10



Lift: 5.56 Drag: 1.88 Ratio L/D: 2.96

FIG. 8

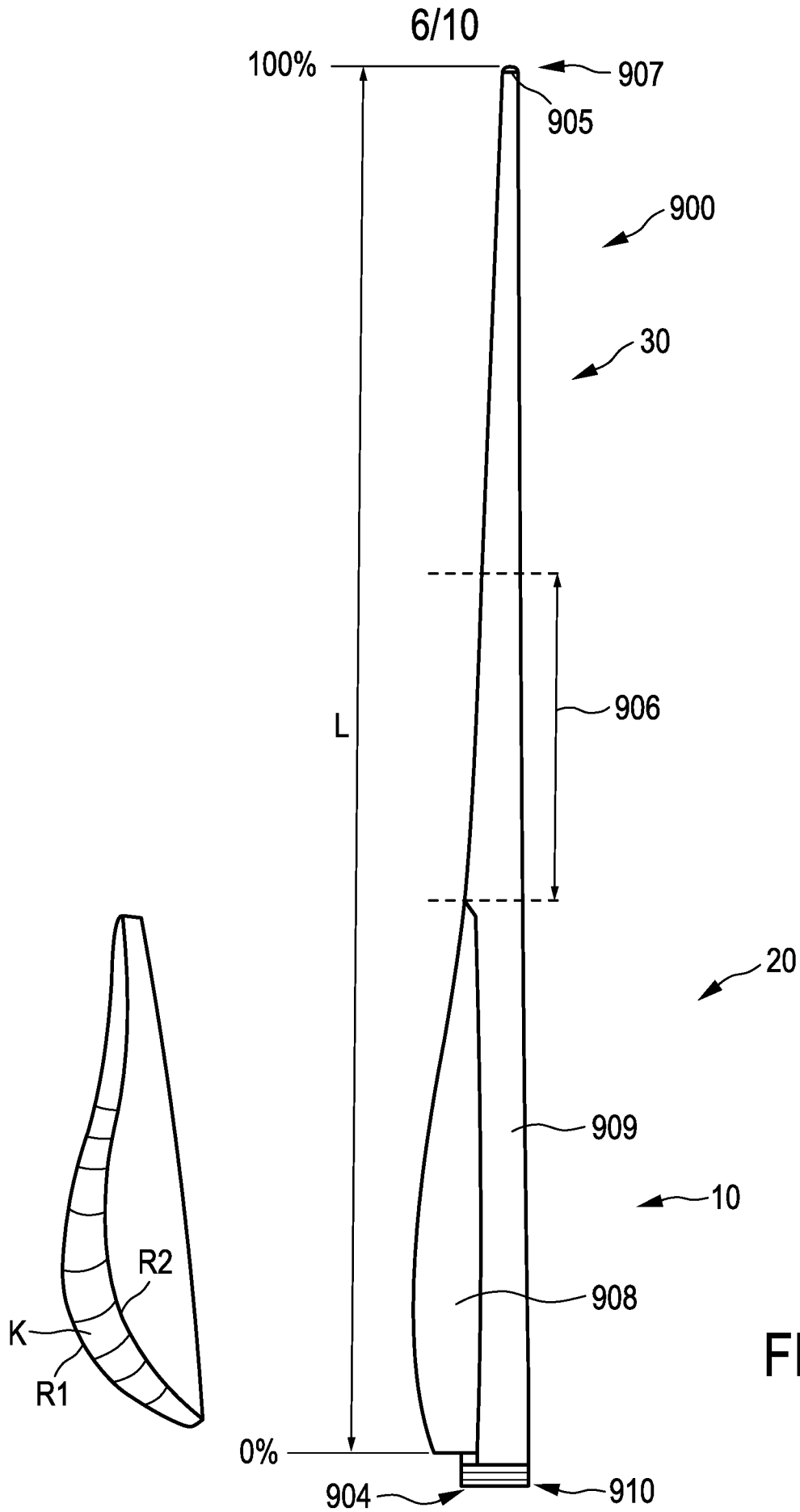


FIG. 9

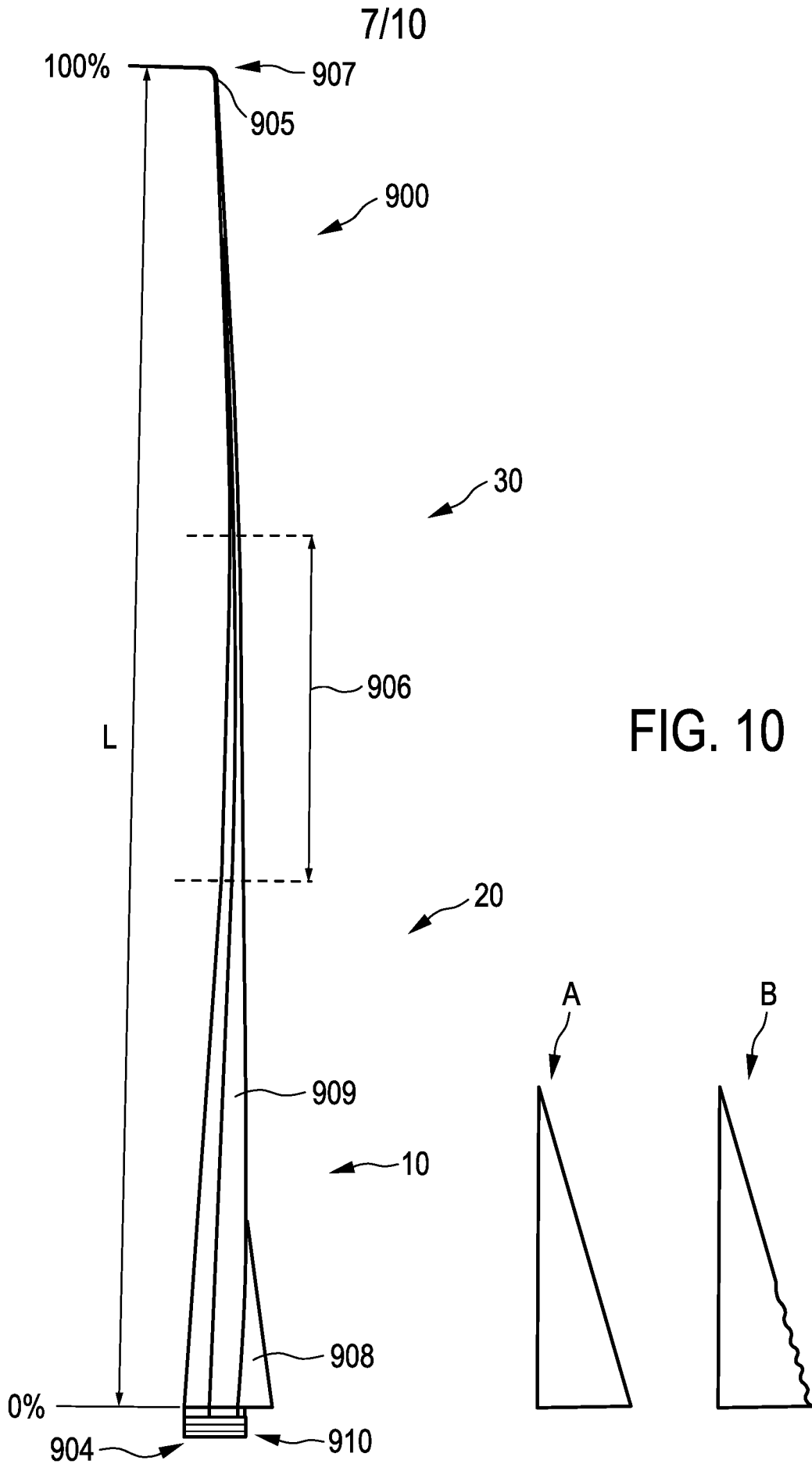
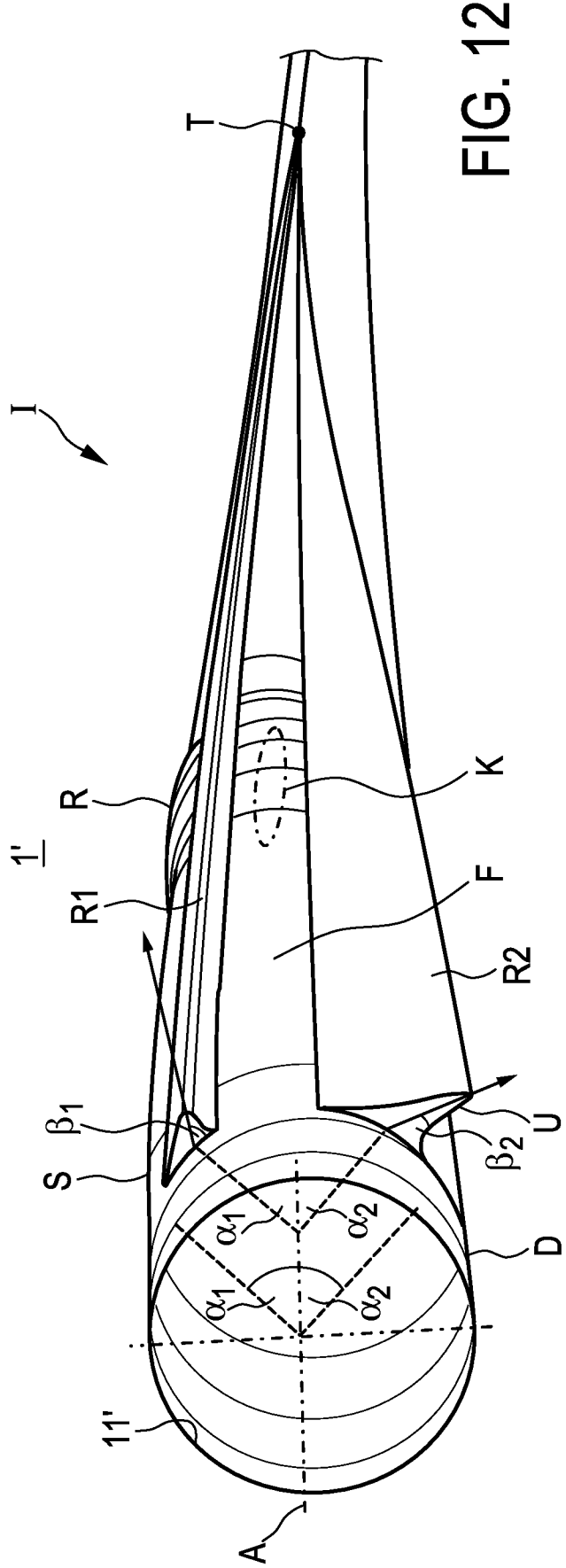
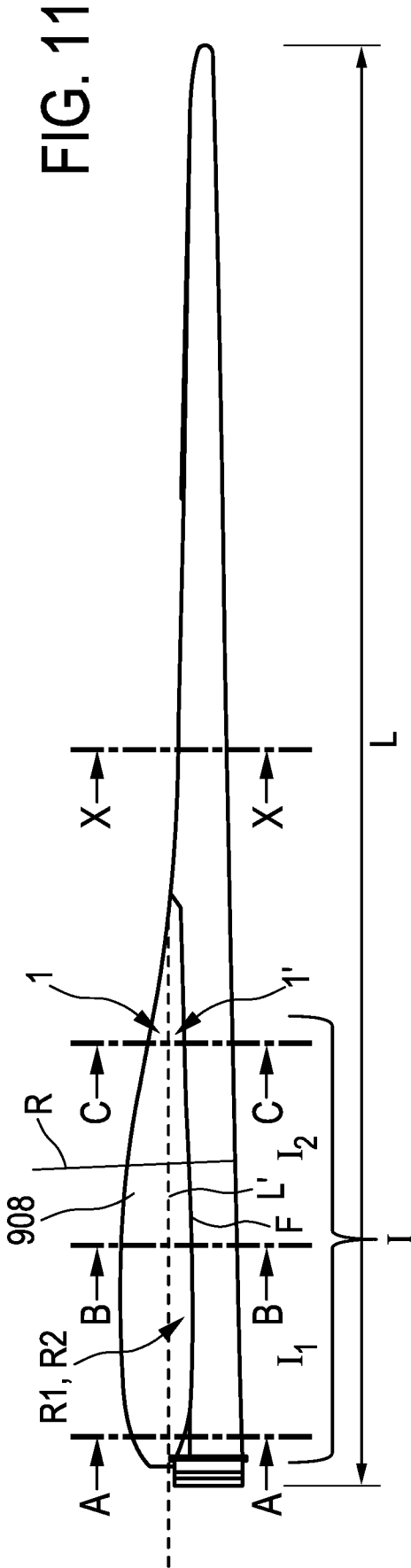


FIG. 10



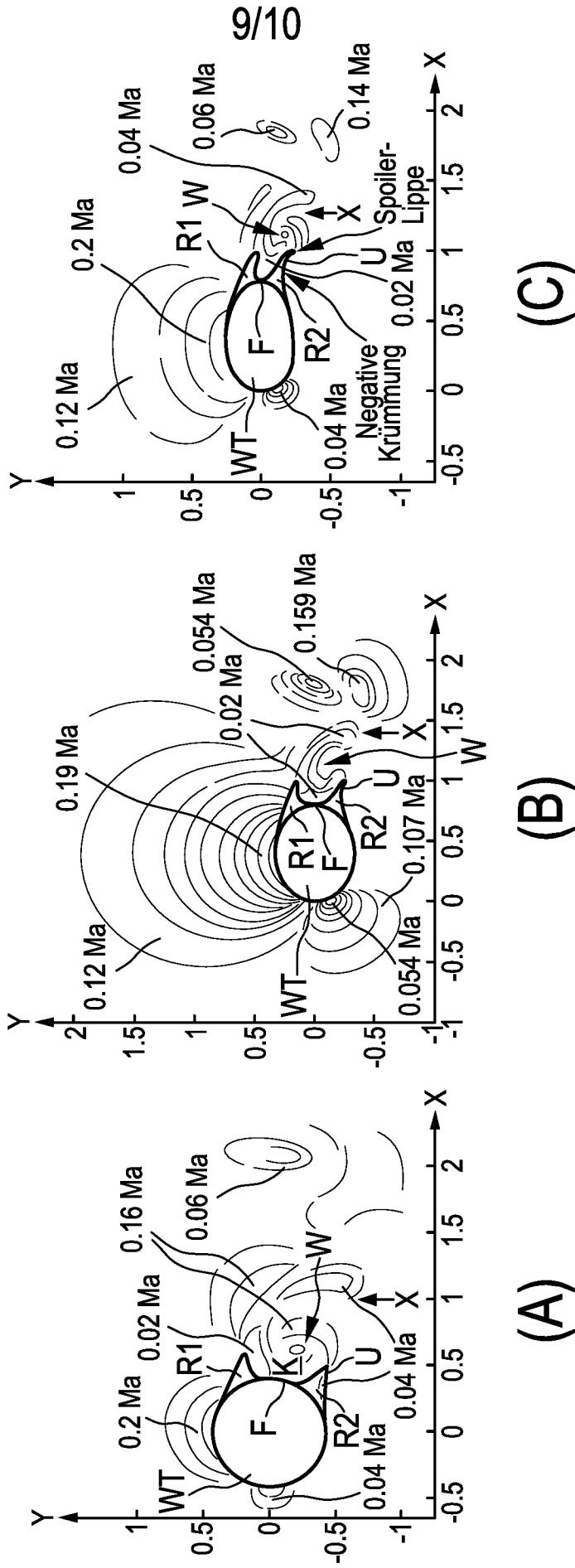


FIG. 13

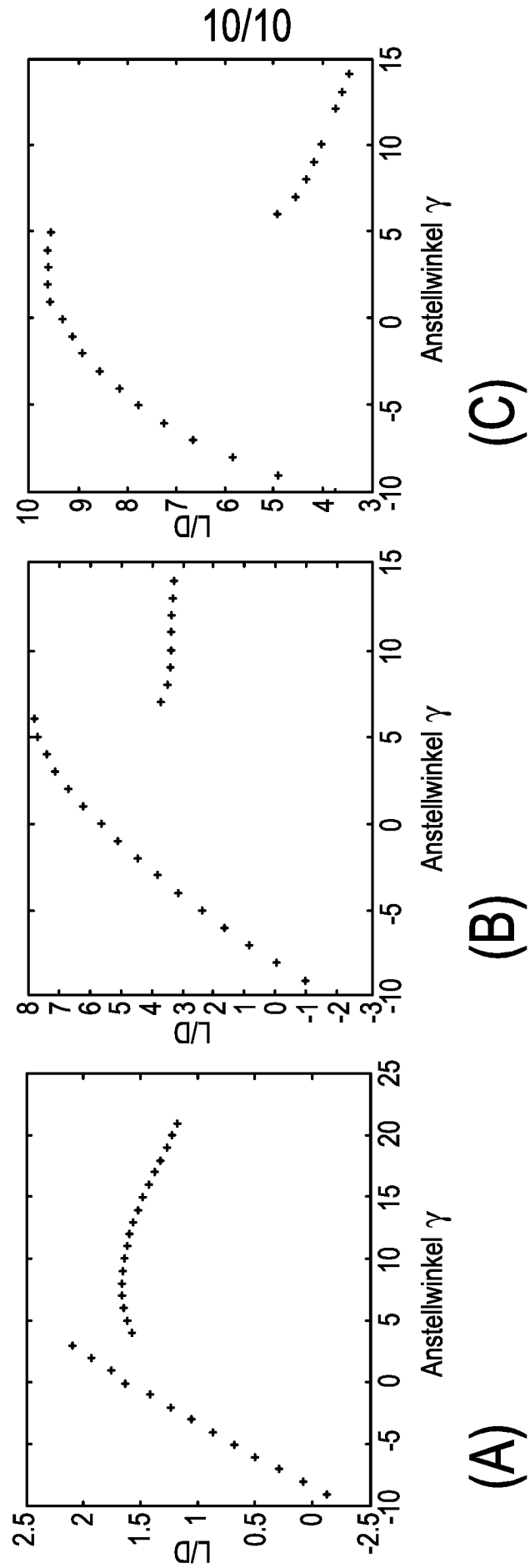


FIG. 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/051673

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F03D1/06
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2014/025252 A1 (STICHTING ENERGIE [NL]) 13 February 2014 (2014-02-13) abstract page 4, line 1 - page 5, line 19 page 5, line 29 - page 6, line 7 page 6, line 18 - line 24; figures 1-3 -----	1-30
Y	DE 10 2013 210901 A1 (WOBLEN PROPERTIES GMBH [DE]) 11 December 2014 (2014-12-11) abstract paragraph [0010] paragraph [0025] - paragraph [0028] paragraph [0031] - paragraph [0034] paragraph [0038] - paragraph [0039] paragraph [0054] - paragraph [0060] paragraph [0063] - paragraph [0065] paragraph [0070] - paragraph [0071] paragraph [0078]; figures 1-12 ----- -/--	1-30

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 26 April 2017	Date of mailing of the international search report 12/05/2017
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Westermayer, Philipp
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/051673

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WO 2013/076009 A1 (LM WIND POWER AS [DK]) 30 May 2013 (2013-05-30) abstract page 5, line 31 - page 6, line 14 page 9, line 1 - line 17 page 9, line 29 - page 10, line 11 page 14, line 30 - page 15, line 2 page 16, line 15 - line 22; figures 2,7 -----</p>	1-30
A	<p>WO 2013/153009 A1 (WOB BEN PROPERTIES GMBH [DE]) 17 October 2013 (2013-10-17) abstract paragraph [0008] - paragraph [0009] paragraph [0026] - paragraph [0030] paragraph [0036] figures 1-4 -----</p>	1-30

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/051673

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014025252 A1	13-02-2014	CN 104704233 A	10-06-2015
		EP 2880307 A1	10-06-2015
		NL 2009286 C	10-02-2014
		US 2015176563 A1	25-06-2015
		WO 2014025252 A1	13-02-2014

DE 102013210901 A1	11-12-2014	AR 096550 A1	13-01-2016
		AU 2014280202 A1	10-12-2015
		CA 2913101 A1	18-12-2014
		CL 2015003581 A1	29-07-2016
		CN 105324577 A	10-02-2016
		DE 102013210901 A1	11-12-2014
		EP 3008331 A1	20-04-2016
		JP 2016524075 A	12-08-2016
		KR 20160017083 A	15-02-2016
		NZ 714390 A	27-01-2017
		TW 201516246 A	01-05-2015
		US 2016138563 A1	19-05-2016
		WO 2014198754 A1	18-12-2014

WO 2013076009 A1	30-05-2013	CN 104220745 A	17-12-2014
		DK 2783103 T3	10-04-2017
		EP 2783103 A1	01-10-2014
		US 2014286784 A1	25-09-2014
		WO 2013076009 A1	30-05-2013

WO 2013153009 A1	17-10-2013	AR 090648 A1	26-11-2014
		AU 2013247056 A1	27-11-2014
		CA 2869886 A1	17-10-2013
		CL 2014002720 A1	16-01-2015
		CN 104246215 A	24-12-2014
		DE 102012206109 B3	12-09-2013
		EP 2836702 A1	18-02-2015
		JP 2015513039 A	30-04-2015
		KR 20150002790 A	07-01-2015
		NZ 701728 A	26-02-2016
		RU 2014145550 A	10-06-2016
		TW 201405006 A	01-02-2014
		US 2015064017 A1	05-03-2015
		WO 2013153009 A1	17-10-2013

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F03D1/06
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F03D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2014/025252 A1 (STICHTING ENERGIE [NL]) 13. Februar 2014 (2014-02-13) Zusammenfassung Seite 4, Zeile 1 - Seite 5, Zeile 19 Seite 5, Zeile 29 - Seite 6, Zeile 7 Seite 6, Zeile 18 - Zeile 24; Abbildungen 1-3 ----- -/--	1-30



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. April 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/05/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Westermayer, Philipp

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2013 210901 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH [DE]) 11. Dezember 2014 (2014-12-11) Zusammenfassung Absatz [0010] Absatz [0025] - Absatz [0028] Absatz [0031] - Absatz [0034] Absatz [0038] - Absatz [0039] Absatz [0054] - Absatz [0060] Absatz [0063] - Absatz [0065] Absatz [0070] - Absatz [0071] Absatz [0078]; Abbildungen 1-12 -----	1-30
A	WO 2013/076009 A1 (LM WIND POWER AS [DK]) 30. Mai 2013 (2013-05-30) Zusammenfassung Seite 5, Zeile 31 - Seite 6, Zeile 14 Seite 9, Zeile 1 - Zeile 17 Seite 9, Zeile 29 - Seite 10, Zeile 11 Seite 14, Zeile 30 - Seite 15, Zeile 2 Seite 16, Zeile 15 - Zeile 22; Abbildungen 2,7 -----	1-30
A	WO 2013/153009 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH [DE]) 17. Oktober 2013 (2013-10-17) Zusammenfassung Absatz [0008] - Absatz [0009] Absatz [0026] - Absatz [0030] Absatz [0036] Abbildungen 1-4 -----	1-30

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/051673

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2014025252 A1	13-02-2014	CN 104704233 A	10-06-2015
		EP 2880307 A1	10-06-2015
		NL 2009286 C	10-02-2014
		US 2015176563 A1	25-06-2015
		WO 2014025252 A1	13-02-2014

DE 102013210901 A1	11-12-2014	AR 096550 A1	13-01-2016
		AU 2014280202 A1	10-12-2015
		CA 2913101 A1	18-12-2014
		CL 2015003581 A1	29-07-2016
		CN 105324577 A	10-02-2016
		DE 102013210901 A1	11-12-2014
		EP 3008331 A1	20-04-2016
		JP 2016524075 A	12-08-2016
		KR 20160017083 A	15-02-2016
		NZ 714390 A	27-01-2017
		TW 201516246 A	01-05-2015
		US 2016138563 A1	19-05-2016
		WO 2014198754 A1	18-12-2014

WO 2013076009 A1	30-05-2013	CN 104220745 A	17-12-2014
		DK 2783103 T3	10-04-2017
		EP 2783103 A1	01-10-2014
		US 2014286784 A1	25-09-2014
		WO 2013076009 A1	30-05-2013

WO 2013153009 A1	17-10-2013	AR 090648 A1	26-11-2014
		AU 2013247056 A1	27-11-2014
		CA 2869886 A1	17-10-2013
		CL 2014002720 A1	16-01-2015
		CN 104246215 A	24-12-2014
		DE 102012206109 B3	12-09-2013
		EP 2836702 A1	18-02-2015
		JP 2015513039 A	30-04-2015
		KR 20150002790 A	07-01-2015
		NZ 701728 A	26-02-2016
		RU 2014145550 A	10-06-2016
		TW 201405006 A	01-02-2014
		US 2015064017 A1	05-03-2015
		WO 2013153009 A1	17-10-2013
