

(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
12. November 2009 (12.11.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/135509 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F03D 11/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/003716

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Mai 2008 (08.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **POWERWIND GMBH** [DE/DE]; Anckel-
mannsplatz 1, 20537 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FEDDERN, Thomas**
[DE/DE]; Alsterkrugchaussee 318, 22297 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: **LEINWEBER & ZIMMERMANN**; Rosental 7
/ II. Aufgang, 80331 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: WIND TURBINE COMPRISING AN AIR INLET ASSEMBLY

(54) Bezeichnung: WINDENERGIEANLAGE MIT LUFTEINLASSANORDNUNG

(57) Abstract: The invention relates to a wind turbine comprising a tower, a nacelle which is located at the upper end of the tower, is rotatably mounted in relation to the vertical tower axis and has an interior that is delimited by a housing, a rotor that is mounted rotatably in relation to the nacelle, runs transversally to the tower axis and can be made to rotate about the rotor axis by an air stream that impinges on the rotor in a flow direction running approximately parallel to the rotor axis, the nacelle housing having a convex or level flow conduction surface for an air stream flowing in the flow direction and an air inlet assembly located on the housing with an air inlet for supplying air to the interior. The air inlet assembly has a recess in the flow conduction surface extending towards the air inlet opening in the flow direction and the air inlet opening is located between a delimitation surface of the recess and the adjoining region of the flow conduction surface.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem Turm, einer am oberen Ende des Turms angeordneten, bezüglich der vertikalen Turmachse drehbar gelagerten und einen von einem Gehäuse begrenzten Innenraum aufweisenden Gondel, einem bezüglich einer quer zur Turmachse verlaufenden Rotorachse drehbar bezüglich der Gondel gelagerten Rotor, der durch eine Luftströmung in einer etwa parallel zur Rotorachse verlaufenden Anströmrichtung in eine Drehung um die Rotorachse versetzt werden kann, wobei das Gondelgehäuse eine konvexe oder ebene Strömungsleitfläche für eine in der Anströmrichtung anströmende Luftströmung aufweist, und einer an dem Gehäuse angeordneten und eine Lufteinlaßöffnung aufweisenden Lufteinlaßanordnung zum Zuführen von Luft in den Innenraum, wobei die Lufteinlaßanordnung eine sich in der Anströmrichtung in Richtung auf die Lufteinlaßöffnung erstreckende Einbuchtung in der Strömungsleitfläche aufweist und die Lufteinlaßöffnung zwischen einer Begrenzungsfläche der Einbuchtung und dem daran angrenzenden Bereich der Strömungsleitfläche angeordnet ist.



WO 2009/135509 A2

5

10

15

20

WINDENERGIEANLAGE MIT LUFTEINLASSANORDNUNG

25

Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem Turm, einer am oberen Ende des Turms angeordneten, bezüglich der vertikalen Turmachse drehbar gelagerten und einen von einem Gehäuse begrenzten Innenraum aufweisenden Gondel, einem bezüglich einer quer zur Turmachse verlaufenden Rotorachse drehbar bezüglich der Gondel gelagerten Rotor, der durch eine Luftströmung in einer etwa parallel zur Rotorachse verlaufenden Anströmrichtung in eine Drehung um die Rotorachse versetzt werden kann, wobei das Gondelgehäuse eine konvexe oder ebene Strömungsleitfläche für eine in der Anströmrichtung anströmende Luftströmung aufweist, und einer an dem Gehäuse angeordneten und eine Lufteinlaßöffnung aufweisenden Lufteinlaßanordnung zum Zuführen von Luft in den Innenraum.

35

Derartige Windenergieanlagen sind bekannt (DE 10 2004 046 700 A1). Durch die drehbare Lagerung der Gondel auf dem Turm wird im Betrieb der Rotor der Anlage geeignet in den Wind gedreht, so daß der in einer Anströmrichtung auf den Rotor strömende Wind den Rotor in Drehung versetzt. Bei einem im Stand der Technik üblicherweise ver-

40

wendeten Luv-Läufer wird dabei die Rotorseite der Gondel in den Wind gedreht, bei einem Lee-Läufer würde man die Rotorseite der Gondel zur windabgewandten Seite (Lee) drehen. Nachdem (Luv-Läufer) bzw. bevor (Lee-Läufer) der Wind den Rotor der Anlage in Drehung versetzt, umströmt er das Gondelgehäuse im wesentlichen in Anströmrichtung entlang dessen üblicherweise stromlinienförmig gestalteter Außenfläche. Insbesondere weist die Außen- oder Mantelfläche des Gondelgehäuses eine oder mehrere konvexe oder ebene Strömungsleitflächen für die in Windrichtung bzw. Anströmrichtung anströmende Luftströmung auf, entlang der die Luftströmung um die Gondel geleitet wird.

Die Umwandlung der erhaltenen mechanischen Rotorenergie in elektrische Energie erfolgt über einen an den Rotor angekoppelten und in der Gondel angeordneten Generator der Windenergieanlage. Bei der Umsetzung entsteht Verlustwärme, die je größer ist, desto höher die Leistung des Generators ist. Um ein zuverlässiges Funktionieren der Anlage sicherzustellen, ist daher eine Kühlung des Generators erforderlich. Dabei erfolgt die Kühlung über die Zufuhr von Außenluft in den Innenraum über eine an dem Gehäuse der Gondel angeordnete Lufteinlaßanordnung bzw. eine Lufteinlaßöffnung der Lufteinlaßanordnung.

Eine vorteilhafte Anordnung der Lufteinlaßöffnung ist etwa in der DE 10 2004 046 700 A1 beschrieben. Demnach ist ein Luftspalt zwischen Turm und Gondel vorgesehen, durch den Außenluft von einem innerhalb der Gondel angeordneten Lüfter angesaugt wird. Diese Anordnung ist deswegen vorteilhaft, da das Luftansaugen entgegen der Schwerkraft erfolgt und die eingesaugte Luft daher weniger Fremdpartikel wie Regentropfen, Salzwassertropfen, Staubpartikel usw. enthält, welche sich nachteilig auf die zu kühlenden Bauteile auswirken können. Die vom Lüfter angesaugte Luft umströmt die im Gondelinnenraum dem angesaugten Luftstrom ausgesetzten Bauteile und sorgt so für einen Wärmeabtransport und damit für eine Kühlung. Auch sind Lufteinlaßanordnungen in Form von Hutzen bekannt.

Allerdings hat es sich herausgestellt, daß bei herkömmlichen Windenergieanlagen insbesondere bei variierenden Windstärkeverhältnissen die Luftzufuhr nicht vollkommen zufriedenstellend ist. Beispielsweise muß die Leistung des Lüfters bei hohen Windstärken, dementsprechend höherer Generatorleistung und entsprechend mehr abzuführender Wärme entsprechend hoch geregelt werden.

Angesichts der nicht vollkommen zufriedenstellenden Luftzufuhr herkömmlicher Windenergieanlagen liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Luftzufuhr in das Gondelinnere zu schaffen.

5 Diese Aufgabe wird durch eine Weiterbildung der Windenergieanlage der eingangs genannten Art im wesentlichen dadurch gelöst, daß die Lufteinlaßanordnung eine sich in der Anströmrichtung in Richtung auf die Lufteinlaßöffnung erstreckende Einbuchtung in der Strömungsleitfläche aufweist und die Lufteinlaßöffnung zwischen einer Begrenzungsfläche der Einbuchtung und dem daran angrenzenden Bereich der Strömungsleitfläche angeordnet ist.

10 Dabei beruht die Erfindung auf der überraschend einfachen Erkenntnis, daß durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Lufteinlaßanordnung eine zufriedenstellende Luftmenge auf passive Weise in das Gondelinnere gelangen kann. Somit kann das aufwendige aktive Luftansaugen vermindert werden oder gar darauf verzichtet werden. Darüber hinaus steigt der zugeführte Luftstrom bei steigender Windstärke an, also genau dann, wenn auch ein höherer Kühlungsbedarf vorliegt.

20 Der Luftstrom folgt der Einbuchtung in der Strömungsleitfläche und strömt auf die Lufteinlaßöffnung zu, durch sie hindurch und in den Gondelinnenraum ein. Durch die Gestaltung der in Anströmrichtung gesehen vor der Lufteinlaßöffnung liegenden Einbuchtung wird darüber hinaus erreicht, daß eine möglichst große Luftmenge in das Gondelinnere einströmen kann. Dies liegt daran, daß aufgrund der Einbuchtung Luftwirbel gebildet werden, die zumindest zu einem Teil verhindern, daß eine Grenzschicht der Luftströmung mit aufgrund der Reibung an der Oberfläche gegenüber der Außenluftströmung verringerter Strömungsgeschwindigkeit in die Lufteinlaßöffnung gelangt. Der Druckverlust beim Einströmen ist vergleichsweise gering.

30 Unter einem eingebuchteten Bereich ist hier ein konkaver Bereich eines Teils der Außenfläche bezüglich einer nahen Umgebung dieses Bereichs zu verstehen. Er setzt insbesondere keinen konkaven Verlauf der Oberfläche in Anströmrichtung bzw. Erstreckungsrichtung der Einbuchtung voraus, auch wenn letzteres eine vorteilhafte Realisierung darstellt. So kann insbesondere ein in quer zur Erstreckungsrichtung naher Umgebungsbereich

der Außenfläche bezüglich einer weiter entfernten Umgebung selbst eine Wölbung nach außen bilden, wobei der konkave Bereich dennoch bezüglich des nahen Umgebungsreichs eine Einbuchtung darstellt.

5 Die erfindungsgemäße Realisierung der Lufteinlaßanordnung weist Merkmale eines sogenannten NACA-Lufteinlasses auf (National Advisory Committee for Aeronautics, ACR No. 5120), insbesondere entspricht das in den Figuren 3 bis 5 gezeigte Profil dem eines NACA-Lufteinlasses. Dieser wurde entwickelt, um auch bei Überschallgeschwindigkeit eine die Aerodynamik eines Flugzeugs möglichst geringfügig beeinträchtigende Luftzufuhr zu
10 ermöglichen. Des weiteren werden NACA-Einlässe auch bei Automobilen verwendet (US 5,042,603), insbesondere wo es auf eine gute Aerodynamik der Fahrzeuge ankommt, z.B. bei zu Rennzwecken gestalteten Sport- und Rennwagen. Obwohl die aerodynamische Form der Gondelmantelfläche insbesondere hinsichtlich der Lufteinlaßanordnung bei Windenergieanlagen eine vollkommen untergeordnete Rolle spielt, ist überraschenderweise er-
15 kannt worden, daß durch den oben beschriebenen Effekt der Wirbelbildung erreicht werden kann, daß eine größere Luftmenge in das Gondelinnere einströmt und somit für eine gegenüber herkömmlichen Windenergieanlagen verbesserte Luftzufuhr sorgt.

20 Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist eine eine Längsrichtung der Einbuchtung definierende Flächennormale auf die Querschnittsfläche der Lufteinlaßöffnung eine Komponente in Richtung der Anströmrichtung auf und verläuft vorzugsweise etwa antiparallel dazu. So kann die einströmende Luftmenge nochmals erhöht werden.

25 Geeigneterweise verläuft dabei die Lufteinlaßöffnung in einer von der Strömungsleitfläche auf das Gondelinnere zu gerichteten Tiefenrichtung. Da der Luftstrom vor der Lufteinlaßöffnung im wesentlichen tangential der Gondeloberfläche in diesem Bereich verläuft, kann durch die in Tiefenrichtung angeordnete Lufteinlaßöffnung die einströmende Luftmenge weiter optimiert werden. Die Lufteinlaßöffnung bildet also eine Stufe oder Unstetigkeit im Höhenprofil der Außenfläche zwischen der Begrenzungsfläche der Einbuchtung, z.B. dem
30 Einbuchtungsboden, und dem angrenzenden Strömungsleitflächenbereich, und die Tiefenrichtung verläuft etwa antiparallel zu der Normalen in diesem angrenzenden Bereich.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Begrenzungsfläche der Einbuchtung einen ersten Wandbereich auf, dessen bezüglich der Tiefenrichtung bestimmte Wandhöhe in Längsrichtung abnimmt. Dies fördert die oben genannte Wirbelbildung und sorgt für ein gutes Einstromverhalten längs des Wandbereichs.

5

In einer weiter bevorzugten Ausführungsform verläuft die Lufteinlaßöffnung in einer quer, insbesondere senkrecht zur Tiefenrichtung und quer zur Längsrichtung verlaufenden Breitenrichtung, und ein Abstand in Breitenrichtung von dem ersten Wandbereich zu einer in Längsrichtung und bezüglich der Breitenrichtung durch die Mitte der Lufteinlaßöffnung und insbesondere orthogonal zu ihr verlaufenden Achse x nimmt in Längsrichtung ab. Auf diese Weise wird ein nochmals verbessertes Lufteinstromverhalten erreicht, da dieses Profil des Wandbereichs bezüglich der Breitenrichtung die vorteilhafte Wirbelbildung weiter fördert.

10

15

Nach einer zweckmäßigen Ausführungsform erstreckt sich der erste Wandbereich bis zu der Lufteinlaßöffnung, insbesondere unter Angleichung des Höhenprofils der Strömungsleitfläche am oberen Wandende an das Höhenprofil der angrenzenden Strömungsleitfläche. So kann die einströmende Luft seitlich bis zur Lufteinlaßöffnung geeignet geführt werden und insbesondere eine Luftrückstaubildung verhindert werden.

20

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ergibt sich, wenn ein Verhältnis zwischen Breitenabstand und Wandhöhe im Bereich von 1 bis 4, bevorzugt 1,3 bis 3,3, insbesondere 1,7 bis 2,7 liegt, und insbesondere, wenn dieses Verhältnis für bis zu 30 % der Längserstreckung des konkaven Bereichs, bevorzugt bis 60 %, insbesondere bis 80% erfüllt ist.

25

Nach einer weiter bevorzugten Ausführungsform erstreckt sich der erste Wandbereich bis zu dem der Lufteinlaßöffnung abgewandten Endbereich der Einbuchtung. Ein Luftrückstau wird vermieden, und eine Luftführung von dem stromaufwärts der Einbuchtung liegenden Strömungsleitflächenbereich zu der Einbuchtung erfolgt in glatter Weise.

30

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Verlauf des ersten Wandbereichs zumindest teilweise gekrümmt und insbesondere die Krümmung in Längsrichtung zunächst zu der Achse hin gerichtet und dann nach Durchlauf eines Wendepunkts

von der Achse weggerichtet. Auf diese Weise kann ein nochmals verbessertes Strömungsprofil erhalten werden, da nochmals besser vermieden wird, daß eine Grenzschicht der Luftströmung mit aufgrund der Reibung mit der Oberfläche gegenüber der Außenluftströmung verringerter Strömungsgeschwindigkeit in die Lufteinlaßöffnung gelangt. Der Druckverlust wird weiter vermindert.

In diesem Zusammenhang kann der Wendepunkt im Bereich von 25 bis 65 % der Länge, bevorzugt 35 bis 55 %, insbesondere 40 bis 50 % angeordnet sein. In diesem Bereich wird der angegebene Effekt wirkungsvoll verstärkt.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform definiert die Abnahme der Wandhöhe bezüglich der entsprechenden Länge des Wandbereichs in Längsrichtung eine mittlere Steigung im Bereich von 3° bis 20°, bevorzugt 5° bis 10°, insbesondere 6° bis 8°. Durch diese Eigenschaft des Höhenprofils der Einbuchtung kann ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil der einströmenden Luft und können entsprechend geringe Druckverluste erreicht werden.

In diesem Zusammenhang kann ein Bodenbereich der Einbuchtung in einem Schnitt durch eine von Längsrichtung und Tiefenrichtung bestimmten Ebene geradlinig verlaufen und insbesondere die mittlere Steigung einen Rampenwinkel definieren. Ein entsprechend gestalteter Bodenbereich kann baulich leicht realisiert werden und sorgt für ein geeignetes Luftströmungsprofil.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Einbuchtung entgegengesetzt dem ersten Wandbereich einen zweiten Wandbereich auf, der insbesondere die oben genannten Eigenschaften des ersten Wandbereichs aufweist. Somit können die an einer Seite erzielten Vorteile beidseitig umgesetzt werden, was zu einem über die volle Breite der Lufteinlaßöffnung zufriedenstellenden Geschwindigkeitsprofil und einem nur äußerst geringen Druckverlust der einströmenden Luft führt.

Nach einer zweckmäßigen Ausführungsform erstreckt sich die Achse senkrecht zur Lufteinlaßöffnung, und die Lufteinlaßanordnung ist im wesentlichen zur Achse symmetrisch gebildet. Auf diese Weise kann ein gleichmäßiges Strömungsprofil der einströmenden Luft

erreicht werden. Eine Einschränkung der Symmetrie kann daher rühren, daß z.B. die Wandbereiche aufgrund der Krümmung des Strömungsleitflächenbereichs, in dem die Lufteinlaßanordnung vorgesehen ist, unterschiedlich lang ausfallen.

5 Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform taucht der Bodenbereich als spaltartiger Einschnitt in die Außenfläche der Gondel ein. So wird die Luftströmung bereits geeignet in Richtung auf den Innenraum zu geführt.

10 Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform liegt ein Verhältnis von Breite zu Höhe der Lufteinlaßöffnung in dem Bereich von 2,5 bis 5,5, bevorzugt 3 bis 5, insbesondere 3,5 bis 4,5. Dies liefert geeignete Einstromverhältnisse im Öffnungsbereich.

15 Hinsichtlich der Anordnung der Lufteinlaßanordnung erfolgt der Einbau orientierungsmäßig zweckmäßig derart, daß sich die Längsrichtung im wesentlichen zur Luvseite hin erstreckt, also bei gemäß dem Stand der Technik als sogenannte Luv-Läufer ausgelegten Windenergieanlagen, bei dem sich die Rotorblätter an der dem Wind zugewandten Seite der Gondel befinden, dem Rotor zugewandt.

20 Insbesondere wird es bevorzugt, wenn ein Schnittwinkel zwischen der Rotorachse und der Projektion der Längsrichtung der Einbuchtung auf die von Rotorachse und Turm-achse aufgespannten Ebene in einem Bereich von 0 bis 30°, bevorzugt 0 bis 20°, insbesondere 0 bis 10° liegt. So kann die Lufteinlaßanordnung eine möglichst große Luftmenge zuführen.

25 Nach einer zweckmäßigen Ausführungsform ist die Lufteinlaßanordnung im unteren Bereich der Gondel, insbesondere nahe des untersten Bereichs der Gondel angeordnet. Insbesondere bei mittelbarer Kühlwirkung der einströmenden Luft z.B. über einen in der unteren Hälfte der Gondel angeordneten Wärmetauscher erreicht die zugeführte Luft schneller das Kühlziel.

30 Diesbezüglich ist es auch vorteilhaft, wenn die Einbuchtung bezüglich der Rotorachse im Bereich des Aufsatzes der Gondel auf dem Turm angeordnet ist. So kann die Luft geeignet in den hinteren Bereich der Gondel einströmen.

Hinsichtlich der Dimensionierung der Lufteinlaßanordnung sieht die Erfindung keine besonderen Einschränkungen vor. Es wird jedoch bevorzugt, daß die Länge der Einbuchung bezogen auf den Turmdurchmesser auf Höhe der Gondel in dem Bereich 0,1 bis 2 liegt, bevorzugt von 0,25 bis 1,5, weiter bevorzugt von 0,5 bis 1,25, insbesondere von 0,8 bis 1,1. Bevorzugte absolute Abmessungen sind in den Ansprüchen 22 bis 25 angegeben.

Obwohl im bisherigen nur von einer Lufteinlaßanordnung gesprochen wurde, ist die Anzahl der vorgesehenen erfindungsgemäßen Lufteinlaßanordnungen nicht weiter eingeschränkt und es können zwei oder mehrere vorgesehen werden.

Zum Ableiten der einströmenden Luft kann zweckmäßig mindestens eine Luftauslaßanordnung für die über die Lufteinlaßanordnung zugeführte Luft vorgesehen sein, die vorteilhaft insbesondere in einem sich in Richtung auf die Rotorachse verjüngenden Bereich der Gondel angeordnet sein kann. Letztere Anordnung ist im Hinblick auf die Außenströmung besonders günstig, weil die Geschwindigkeitsabnahme der Außenströmung in dem sich verjüngenden Bereich der Gondel die Abfuhr der Luft erleichtert und andererseits der Unterdruck in diesem Bereich außerhalb der Gondel die Luftabfuhr begünstigt. Des weiteren kann die Luft effizient aus der Gondel geführt werden, wenn die Luftauslaßanordnung ein oder mehrere Merkmale der oben beschriebenen Lufteinlaßanordnungen aufweist.

Wie im einleitenden Teil erwähnt, dient die Luftzufuhr vorrangig der Kühlung des Generators der Windenergieanlage. Die der Lufteinlaßanordnung nachgeordnete Luftführung kann aber auch so ausgelegt sein, daß zusätzlich ein gegebenenfalls zwischen Rotor und Generator eingekoppeltes Getriebe, ein Frequenzumrichter und/oder ein Transformator gekühlt wird.

In verfahrenstechnischer Hinsicht stellt die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage bereit, das im wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, daß die Luftzufuhr in den Gondelinnenraum zumindest teilweise auf passive Weise mittels eines Lufteinströmens durch eine Lufteinlaßanordnung mit einer oder mehreren der oben genannten Eigenschaften erreicht wird.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beiliegenden Figuren, von denen

5	Fig. 1	eine Gondel einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage in einer Seitenansicht zeigt,
10	Fig. 2	die in Figur 1 dargestellte Gondel in einer perspektivischen Ansicht zeigt,
15	Fig. 3	eine Geometrie der Einbuchtung der Lufteinlaßanordnung in einer Draufsicht zeigt,
20	Fig. 4	die Einbuchtung der Lufteinlaßanordnung in einer entlang der Achse X aus Fig. 3 genommenen Schnittansicht zeigt, und
25	Fig. 5	eine Schnittansicht des ersten Bereichs der Lufteinlaßanordnung entlang der Linien V-V aus den Figuren 4 bzw. 5 zeigt.
30	Figs. 6a, b	eine erste Realisierung einer erfindungsgemäßen Lufteinlaßanordnung zeigen,
	Figs. 7a, b	eine zweite Realisierung einer erfindungsgemäßen Lufteinlaßanordnung zeigen.

In Fig. 1 ist eine Gondel mit Gondelgehäuse 10 in einer Seitenansicht gezeigt, deren Mantelfläche oder Außenfläche 3 von der Grundform her konvex gebildet ist. Somit bildet die Außenfläche 3 des Gehäuses 10 eine Strömungsleitfläche für den die Gondel umströmenden Wind. Zwischen den Außenflächenbereichen 3.1, 3.2 und 3.3 ist eine Einbuchtung 1 gebildet. Die Einbuchtung 1 stellt einen konkaven Lufteinlauf in Form eines sich in Anströmrichtung *a* (im Folgenden *a*) und gegen die eingezeichnete Längsrichtung *I* (im Folgenden *I*) kontinuierlich vertiefenden und verbreiternden Spalt dar. Außenluft, die entlang der Mantelfläche 3 mit Komponente in Anströmrichtung *a* entlangströmt, strömt an der Bodenfläche 5 des Spaltes 1 entlang und durch die Einlaßöffnung 12 in den Gondelinnenraum ein. Die Einlaßöffnung 12 erstreckt sich in einer parallel zur eingezeichneten Normalen *n*

(im folgenden n) verlaufenden Höhenrichtung h (Fig. 2, im folgenden h) bzw. der entgegengesetzten Tiefenrichtung auf das Gondelinnere.

Wie aus Fig. 1 zu erkennen ist, verbreitet sich der spaltförmige Lufteinlauf 1 von einer in Breitenrichtung w (im Folgenden w) gemessenen Breite W_0 an dem der Einlaßöffnung 12 entgegengesetzten Ende bis zur Einlaßöffnung 12, deren Breite mit W bezeichnet ist. Dabei ist eine Wandfläche 4, die einen Höhenunterschied im Außenflächenprofil zwischen der Bodenfläche 5 des Lufteinlaufspalts 1 und dem quer dazu anschließenden Bereich 3.3 der Außenfläche 3 ausgleicht, gekrümmt gebildet, wie allerdings besser aus der schematischen Darstellung von Fig. 3 zu erkennen ist und auch dort genauer erläutert wird. Die der Wandfläche 4 gegenüberliegende Wandfläche 6 gleicht dagegen einen Höhenunterschied der Bodenfläche 5 zu dem jenseitig angrenzenden Bereich 3.2 der Außenfläche 3 aus, und ist im wesentlichen achsensymmetrisch zur Wandfläche 4 angeordnet.

Wie aus Fig. 1, aber noch besser aus Fig. 2 zu erkennen ist, beginnt der Spalt 1 an seinem der Öffnung 12 entgegengesetzten Ende, unter eine gedachte formerhaltende Fortsetzung zwischen den Bereichen 3.1, 3.2 und 3.3 der Außenfläche einzutauchen. Es entsteht eine Art Spoiler. Die Tiefe des Spalts bzw. die Höhe h_x der Wände 4 und 6 steigt bis zur Öffnung 12 auf deren Höhe H an. In der dargestellten Ausführungsform erfolgt dieser Anstieg linear. Der Bodenbereich 5 ist wie eine Rampe mit gleichförmiger Neigung gebildet, wobei der Neigungswinkel in dem konkreten Ausführungsbeispiel 7° beträgt.

Die Lufteinlaßanordnung 1, 12 ist in diesem Ausführungsbeispiel auf Höhe des nicht dargestellten Turms gebildet, und zwar nahe einer Einführöffnung 7 für das obere Ende des Turms. Die Längsrichtung l hat im wesentlichen den gleichen Neigungswinkel gegenüber der Schwererichtung wie die Rotorachse, die in den Figuren 1 und 2 angedeutet und mit R bezeichnet ist. Nicht in den Figuren 1 und 2 abgebildet ist eine Luftauslaßöffnung, die z.B. an dem hinteren sich verjüngenden Ende der Gondel gebildet sein kann.

Auch wenn in den Figuren 1 und 2 nur ein Lufteinlaufspalt 1 und eine Lufteinlaßöffnung 12 gezeigt ist, kann z.B. auf der anderen Seite der Gondel eine symmetrisch angeordnete weitere Lufteinlaßanordnung $1'$, $12'$ gebildet sein. Es könnten aber auch mehrere kleiner dimensionierte Lufteinlaßanordnungen vorgesehen werden.

Aufgrund des Profils des Lufteinlaufspalts 1 kann die Luft mit der Geschwindigkeit der Außenluftströmung durch die Einlaßöffnung 12 gelangen und so für eine verbesserte Belüftung des Gondelinnenraums sorgen. Bei äußerst geringen Druckverlusten ist eine wirkungsvolle passive Luftzufuhr realisiert.

5

In Fig. 3 ist das Profil des Lufteinlaufspalts 1 bezüglich einer von Längsrichtung l und Breitenrichtung w aufgespannten Ebene nochmals genauer zu erkennen. Die Wände 4 und 6 verlaufen achsensymmetrisch zur Mittelachse X zueinander. Sie gehen im wesentlichen senkrecht von der Öffnungsfläche 12 aus, krümmen sich in Richtung auf die Achse X, erreichen bei etwa 45% der Gesamtlänge des Spalts einen Wendepunkt, nach dem sie sich von der Mittelachse X weg krümmen, wobei sich die Krümmung in Richtung auf das Wandende mit Breite W_0 zunehmend verringert und der Wandverlauf das Spaltende im wesentlichen in linearer Form erreicht, und zwar unter einem Winkel von ca. 8° bezüglich der Mittelachse X. In der folgenden Tabelle 1 ist die relative Breite des Lufteinlaufspalts 1 bezogen auf die Breite W der Lufteinlaßöffnung gegenüber dem Abstand x in Längenrichtung l bezogen auf die Gesamtlänge L angegeben.

15

Tabelle 1

x/L	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$2w_x/W$	0,99	0,93	0,77	0,63	0,47	0,39	0,31	0,24	0,16	0,10

20

Bei der vorliegenden Ausführungsform beträgt die Eingangsbreite W_0 des Lufteinlaufspalts 1 etwa 10 % der Breite des Spalts an der Lufteinlaßöffnung 12. Die Eingangsbreite W_0 könnte jedoch auch größer oder kleiner sein, wobei bevorzugt wird, daß das Verhältnis aus Eingangsbreite W_0 und Endbreite W in dem Bereich von 5 bis 50 % liegt, bevorzugt 10 bis 30 %, insbesondere 10 bis 25 %.

25

Obwohl die in Fig. 3 abgebildete glatte Kurvenform der Wände 4 und 6 bevorzugt wird, könnte eine daran angenäherte Wandform auch durch einen Polygonzug realisiert werden, oder es könnten einzelne Abschnitte mit geringer Krümmung durch gerade Verläufe ersetzt werden.

30

In Fig. 4 ist ein Schnitt gezeigt, der durch die Mittelachse X aus Fig. 3 in Höhenrichtung h genommen ist, so daß der Verlauf des Bodens 5 entlang der Längsrichtung l gut zu erkennen ist. Man erkennt, daß der Bodenbereich 5 gegen eine gestrichelt dargestellte Linie, die das Höhenprofil der Wände 4, 6 angibt, in Form einer Rampe zur Lufteinlaßöffnung 12 abgesenkt ist. Durch die Höhe H der Lufteinlaßöffnung 12 und die Länge L des konkaven Bereichs 1 ergibt sich ein Neigungswinkel α der Rampe als $\arctan(H/L)$. Bei der vorliegenden Ausführungsform beträgt α 7°. Damit beträgt die Höhe h_x im Abstand x von der Lufteinlaßöffnung 12 $(1 - x/L) H$. Eine konstante Rampensteigung wird bevorzugt, die Rampensteigung muß aber nicht konstant sein. Insbesondere kann daran gedacht werden, auch eine Rampe mit variabler Steigung, z.B. wie durch die Wandkurve 6 in Fig. 3 angegeben, heranzuziehen, mit einem mittleren Steigungswinkel von z.B. 7°.

In Fig. 5 ist ein Querschnitt entlang der Linien V-V der Figuren 3 bzw. 4 gezeigt. Man erkennt, daß die Bodenfläche 5 eben gewählt ist, wobei die Wände 4 bzw. 6 mit dem Bodenbereich 5 sowie mit den nach außen anschließenden Außenflächenbereichen 3.2 bzw. 3.3 einen rechten Winkel einschließen. Letzteres ist allerdings eine idealisierte Darstellung, die unter Aufrechterhaltung der Symmetrie der Lufteinlaßanordnung nur in einem Oberflächenbereich mit verschwindender Krümmung erreichbar wäre. Ist der Lufteinlaufspalt in einen konvexen Oberflächenbereich eingelassen, so wird der beidseitige rechte Winkel nicht realisiert sein und werden z.B. die Seitenwände in dieser Darstellung z.B. zu einer Mittelsenkrechten auf die Bodenfläche 5 geneigt sein. Alternativ könnte die Bodenfläche 5 in einer alternativen Ausführungsform auch konvex gestaltet sein und insbesondere den konvexen Außenflächenbereichen 3.2 und 3.3 angepaßt. Es könnte aber auch die gesamte Einbuchtung im Querschnitt z.B. parabelförmig gebildet sein, wobei der Bodenbereich dann dem Längsverlauf der Scheitelpunktlinie entspricht.

Fig. 6a zeigt eine bezüglich Fig. 1 vergrößerte Darstellung der Lufteinlaßöffnungsanordnung in einer ersten Realisierung. In diesem konkreten Ausführungsbeispiel beträgt die Breite W der Lufteinlaßöffnung 650 mm, die Länge L des rampenförmigen Einlaufs beträgt 1523 mm, und die Breite W_0 am Spaltanfang beträgt 100 mm. In Fig. 6b ist die Lufteinlaßanordnung der ersten Realisierung in einer nochmals vergrößerten Ansicht dargestellt, aber vom Gondelinneren aus gesehen. Die Höhe H der Lufteinlaßöffnung 12 beträgt in diesem Beispiel 236 mm.

Eine zweite Realisierung der Lufteinlaßanordnung ist in den Figuren 7a und 7b gezeigt. Diese entsprechen abgesehen von unterschiedlichen Abmessungen den Figuren 6a und 6b. Allerdings beträgt bei der zweiten Realisierung die Breite W der Lufteinlaßöffnung 690 mm, und die Höhe H beträgt 200 mm. Länge L und Eingangsbreite W_0 des rampenförmigen Einlaufs betragen bei dem zweiten Beispiel 1350 mm und 180 mm.

Mit der erfindungsgemäßen Lufteinlaßanordnung kann der Generator der Anlage, sowie ein zwischen Rotor und Generator eingekoppeltes Getriebe in vorteilhafter Weise gekühlt werden.

Die obigen Ausführungen lassen erkennen, daß die Einzelheiten in der geometrischen Realisierung einer erfindungsgemäß verbesserten Lufteinlaßanordnung für eine Gondel einer Windenergieanlage auf mannigfaltige Weise geändert werden können, die dargestellten Ausführungsbeispiele sind daher nicht als Einschränkung der Erfindung auszulegen. Vielmehr können die in der obigen Beschreibung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

	1	Einbuchtung, Lufteinlauf (Spalt)
5	3	Mantelfläche (Strömungsleitfläche)
	3.1, 3.2, 3.3	Bereiche der Strömungsleitfläche
	4	Wandbereich
	5	Bodenbereich
	6	Wandbereich
10	7	Öffnung für Turm
	10	Gondelgehäuse
	12	Lufteinlaßöffnung
	H	Höhe der Einlaßöffnung
	L	Länge der Einbuchtung
15	R	Rotorachse
	W	Breite der Lufteinlaßöffnung
	W_0	Eingangsbreite der Einbuchtung
	X	Achse
	a (a)	Anströmrichtung
20	h (h)	Höhenrichtung
	-h	Tiefenrichtung
	l (l)	Längenrichtung
	n (n)	Normale
	w (w)	Breitenrichtung
25	h_x	Wandhöhe
	w_x	Abstand Wand-Achse
	x	Abstand von Lufteinlaßöffnung
	α	Rampenwinkel

ANSPRÜCHE

- 5 1. Windenergieanlage mit einem Turm, einer am oberen Ende des Turms angeordneten, bezüglich der vertikalen Turmachse drehbar gelagerten und einen von einem Gehäuse (10) begrenzten Innenraum aufweisenden Gondel, einem bezüglich einer quer zur Turmachse verlaufenden Rotorachse (R) drehbar bezüglich der Gondel gelagerten Rotor, der durch eine Luftströmung in einer etwa parallel zur Rotorachse (R) verlaufenden Anströmrichtung (a) in eine Drehung um die Rotorachse (R) versetzt werden kann, wobei das Gondelgehäuse (10) eine konvexe oder ebene Strömungsleitfläche (3) für eine in der Anströmrichtung (a) anströmende Luftströmung aufweist, und einer an dem Gehäuse (10) angeordneten und eine Lufteinlaßöffnung (12) aufweisenden Lufteinlaßanordnung (1, 12) zum Zuführen von Luft in den Innenraum,
- 10 dadurch gekennzeichnet, daß die Lufteinlaßanordnung (1, 12) eine sich in der Anströmrichtung (a) in Richtung auf die Lufteinlaßöffnung (12) erstreckende Einbuchtung (1) in der Strömungsleitfläche (3) aufweist und die Lufteinlaßöffnung (12) zwischen einer Begrenzungsfläche (5) der Einbuchtung (1) und dem daran angrenzenden Bereich (3.1) der Strömungsleitfläche (3) angeordnet ist.
- 15 2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, bei der eine eine Längsrichtung der Einbuchtung (1) definierende Flächennormale (l) auf die Querschnittsfläche der Lufteinlaßöffnung (12) eine Komponente in Richtung der Anströmrichtung (a) aufweist, vorzugsweise etwa antiparallel dazu verläuft.
- 20 3. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei der die Lufteinlaßöffnung (12) in einer von der Strömungsleitfläche (3) auf das Gondelinnere zu gerichtete Tiefenrichtung (-h) verläuft.
- 25 4. Windenergieanlage nach Anspruch 3, bei der die Begrenzungsfläche der Einbuchtung (1) einen ersten Wandbereich (4) aufweist, dessen bezüglich der Tiefenrichtung (-h) bestimmte Wandhöhe (h_x) in Längsrichtung (l) abnimmt.
- 30

5. Windenergieanlage nach Anspruch 3 oder 4, bei der die Lufteinlaßöffnung (12) in einer quer, insbesondere senkrecht zur Tiefenrichtung (-h) und quer zur Längsrichtung (l) verlaufenden Breitenrichtung (w) verläuft und bei der ein Abstand (w_x) in Breitenrichtung (w) von dem ersten Wandbereich (4) zu einer in Längsrichtung (l) und bezüglich der Breitenrichtung (w) durch die Mitte der Lufteinlaßöffnung (12) und insbesondere orthogonal zu ihr verlaufenden Achse (X) in Längsrichtung abnimmt.
6. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 oder 5, bei der sich der erste Wandbereich (4) bis zu der Lufteinlaßöffnung (12) erstreckt, insbesondere unter Angleichung des Höhenprofils der Strömungsleitfläche (3.3) am oberen Wandende an das Höhenprofil der angrenzenden Strömungsleitfläche (3.1).
7. Windenergieanlage nach Anspruch 5 oder 6, bei der ein Verhältnis zwischen Breitenabstand (w_x) und Wandhöhe (h_x) im Bereich von 1 bis 4, bevorzugt 1,3 bis 3,3, insbesondere 1,7 bis 2,7 liegt.
8. Windenergieanlage nach Anspruch 7, bei der dieses Breiten-/Höhenverhältnis ($w_x:h_x$) in Längsrichtung (l) für bis zu 30 % der Längserstreckung (L) der Einbuchtung (1) erfüllt ist, bevorzugt bis 60%, insbesondere bis 80%.
9. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 8, bei der sich der erste Wandbereich (4) bis zu dem der Lufteinlaßöffnung (12) abgewandten Endbereich der Einbuchtung (1) erstreckt.
10. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei der der Verlauf des ersten Wandbereichs (4) zumindest teilweise gekrümmt ist und insbesondere die Krümmung in Längsrichtung (l) zunächst zu der Achse (X) hin gerichtet und dann nach Durchlauf eines Wendepunkts von der Achse (X) weggerichtet ist.
11. Windenergieanlage nach Anspruch 10, bei der der Wendepunkt im Bereich von 25 bis 65 % der Länge (L) angeordnet ist, bevorzugt 35 bis 55 %, insbesondere 40 bis 50 %.

12. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 11, bei der die Abnahme der Wandhöhe (h_x) bezüglich der entsprechenden Länge (x) des Wandbereichs (4) in Längsrichtung (I) eine mittlere Steigung im Bereich von 3° bis 20° definiert, bevorzugt 5° bis 10° , insbesondere 6° bis 8° .

5

13. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 3 bis 12, bei der ein Bodenbereich (5) der Einbuchtung (1) in einem Schnitt durch eine von Längsrichtung (I) und Tiefenrichtung (-h) bestimmten Ebene geradlinig verläuft und insbesondere die mittlere Steigung einen Rampenwinkel (α) definiert.

10

14. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 13, bei der die Einbuchtung (1) entgegengesetzt dem ersten Wandbereich (4) einen zweiten Wandbereich (6) aufweist, der insbesondere die in den vorhergehenden Ansprüchen genannten Eigenschaften des ersten Wandbereichs (4) aufweist.

15

15. Windenergieanlage nach Anspruch 14, bei der sich die Achse (X) senkrecht zur Lufteinlaßöffnung (12) erstreckt und die Lufteinlaßanordnung (1, 12) im wesentlichen zur Achse (X) symmetrisch gebildet ist.

20

16. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 15, bei der der Bodenbereich (5) als spaltartiger Einschnitt in die Außenfläche (3.2, 3.3) eintaucht.

25

17. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der ein Verhältnis von Breite (B) zu Höhe (H) der Lufteinlaßöffnung (12) in dem Bereich von 2,5 bis 5,5, bevorzugt 3 bis 5, insbesondere 3,5 bis 4,5 liegt.

30

18. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der ein Schnittwinkel zwischen der Rotorachse (R) und der Projektion der Längsrichtung (I) der Einbuchtung (1) auf die von Rotorachse und Turmachse aufgespannten Ebene in einem Bereich von 0 bis 30° , bevorzugt 0 bis 20° , insbesondere 0 bis 10° liegt.

19. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Lufteinlaßanordnung (1, 12) im unteren Bereich der Gondel, insbesondere nahe des untersten Bereichs der Gondel angeordnet ist.
- 5 20. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einbuchtung (1) bezüglich der Rotorachse (R) im Bereich des Aufsatzes der Gondel auf dem Turm angeordnet ist.
- 10 21. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Länge (L) der Einbuchtung (1) bezogen auf den Turmdurchmesser auf Höhe der Gondel in dem Bereich von 0,1 bis 2 liegt, bevorzugt von 0,25 bis 1,5, weiter bevorzugt von 0,5 bis 1,25, insbesondere von 0,8 bis 1,1.
- 15 22. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Breite (W) der Lufteinlaßöffnung (12) im Bereich von 0,4 m bis 1,2 m liegt, bevorzugt 0,5 m bis 1,0 m, insbesondere 0,6 m bis 0,8 m.
- 20 23. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Höhe (H) der Lufteinlaßöffnung (12) im Bereich von 0,1 m bis 0,4 m liegt, bevorzugt 0,15 bis 0,3 m, insbesondere 0,2 m bis 0,25 m.
- 25 24. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Länge (L) der Einbuchtung (1) im Bereich von 0,8 m bis 2,2 m liegt, bevorzugt 1 m bis 2 m, insbesondere 1,2 m bis 1,8 m.
- 25 25. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Eingangsbreite (W_0) der Einbuchtung (1) im Bereich von 0,05 m bis 0,4 m liegt, bevorzugt 0,08 m bis 0,3 m, insbesondere 0,1 m bis 0,2 m.
- 30 26. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zwei oder mehrere nach einem der Ansprüche 1 bis 17 ausgebildeten und insbesondere nach einem der Ansprüche 18 bis 25 angeordneten Lufteinlaßanordnungen.

27. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens eine Luftauslaßanordnung für die über die Lufteinlaßanordnung (1, 12) zugeführte Luft, die insbesondere in einem sich in Richtung auf die Rotorachse verjüngenden Bereich der Gondel angeordnet ist, wobei die Luftauslaßanordnung insbesondere einen Aufbau gemäß dem in einem der der Ansprüche 1 bis 25 angegebenen Aufbau der Lufteinlaßanordnung aufweist.

28. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mit der durch die Lufteinlaßanordnung (1, 12) zugeführten Luft ein an den Rotor der Anlage gekoppelter Generator, ein zwischen Rotor und Generator eingekoppeltes Getriebe, ein Frequenzumrichter und/oder ein Transformator gekühlt wird.

29. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

1/7

Fig. 1

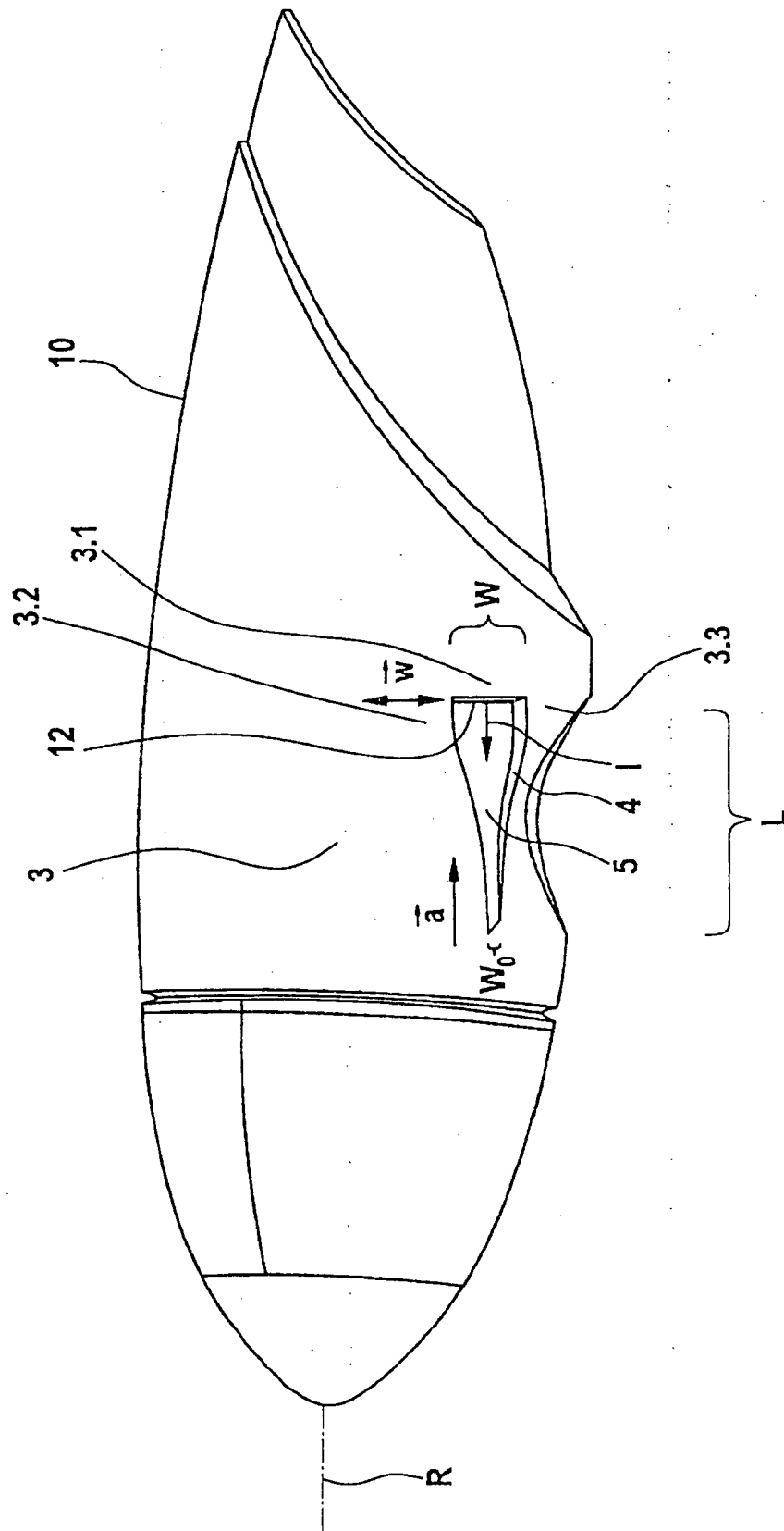


Fig. 2

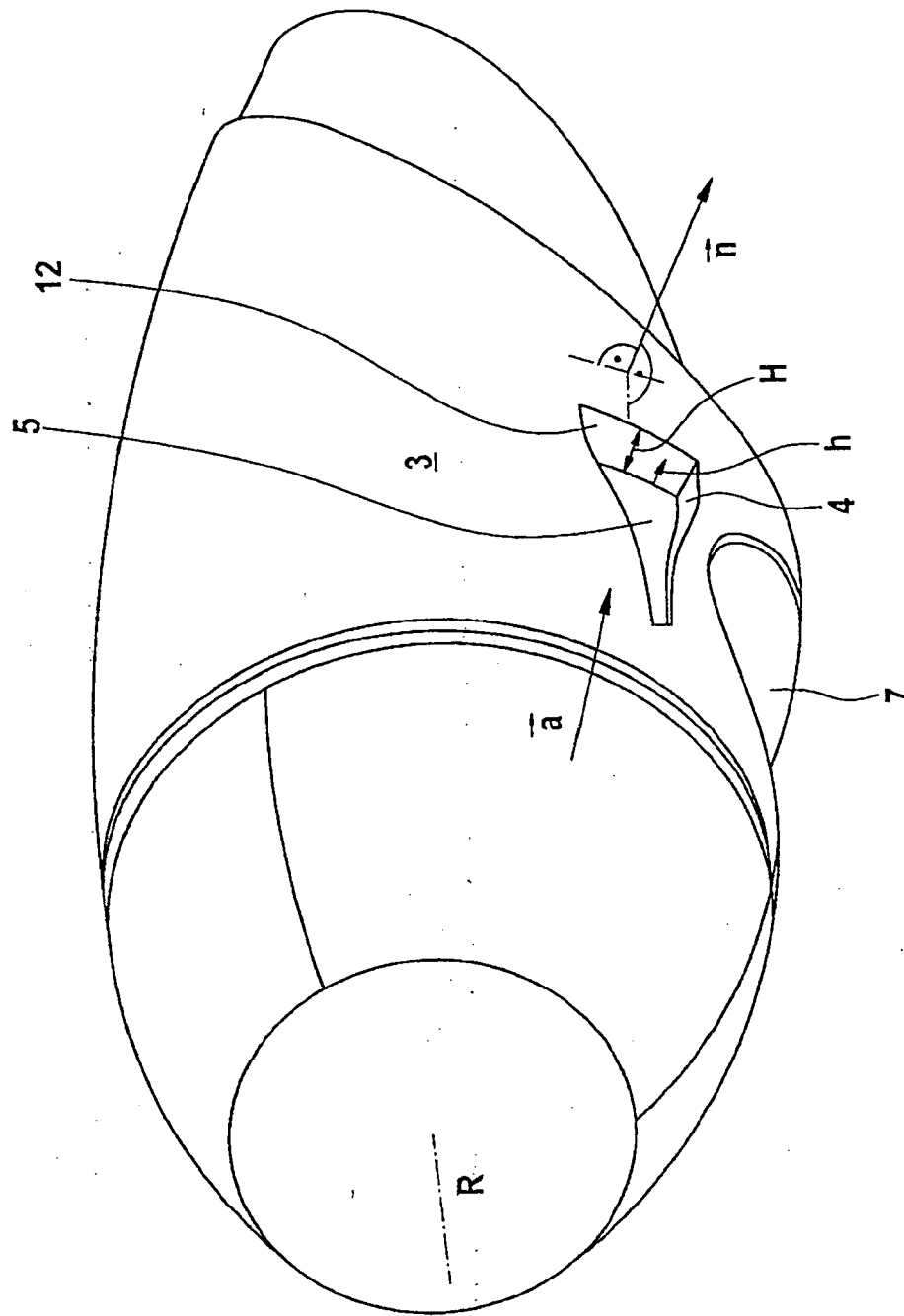


Fig. 3

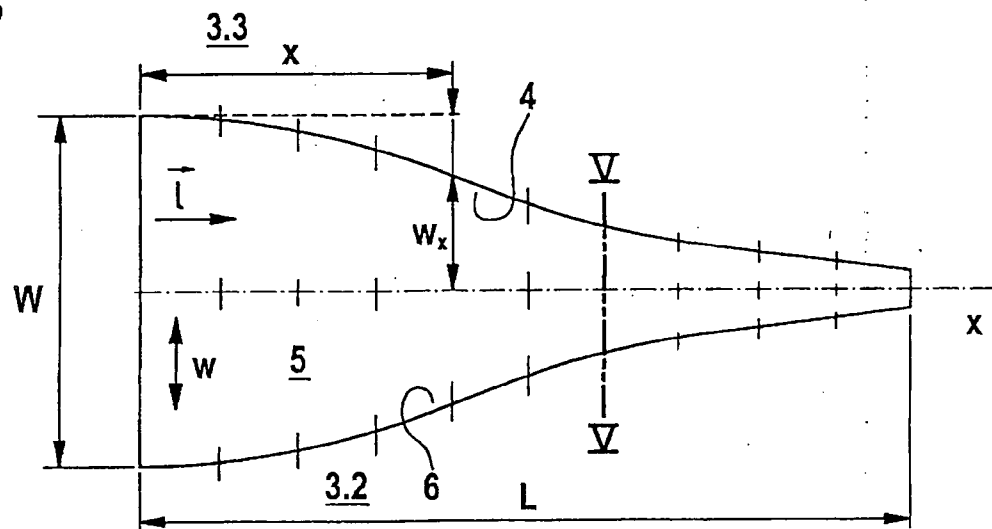


Fig. 4

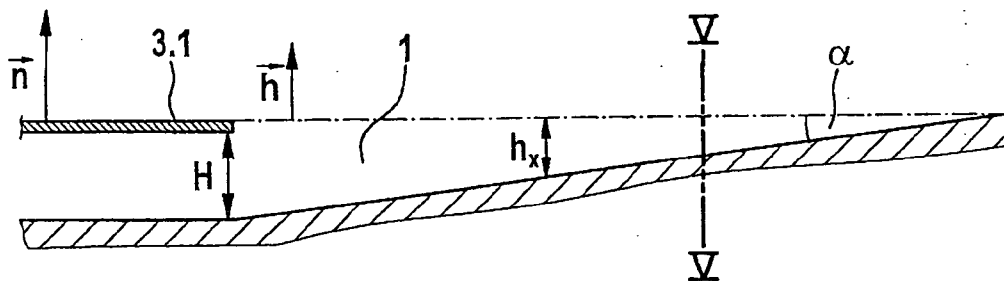


Fig. 5

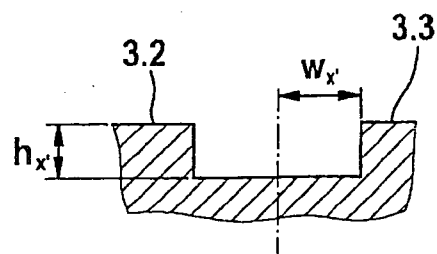
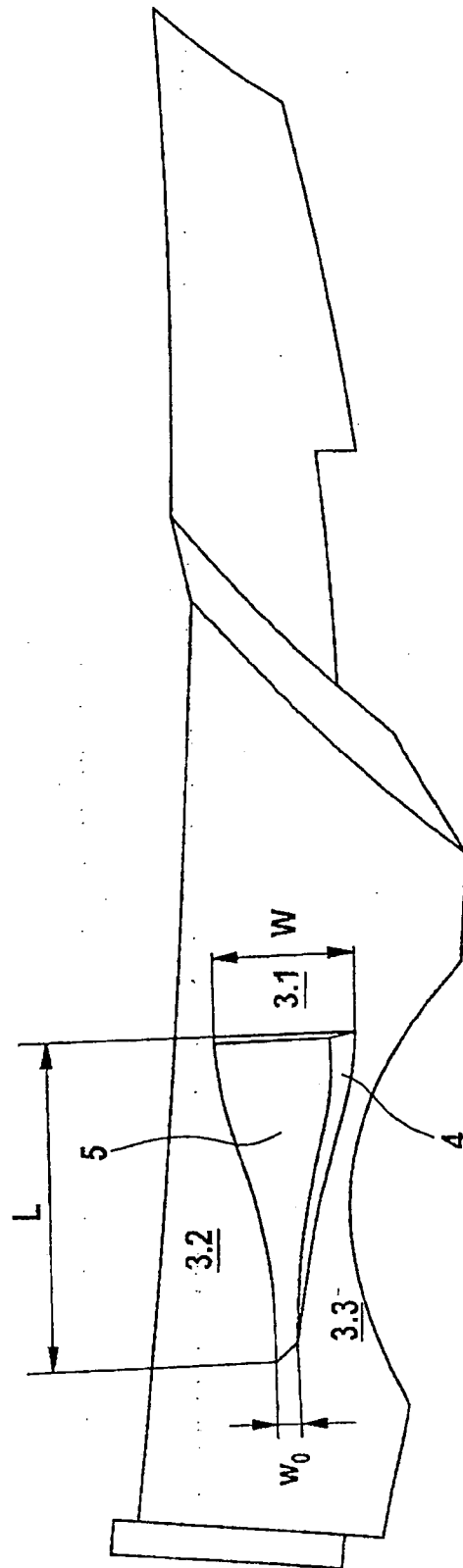


Fig. 6a



5 / 7

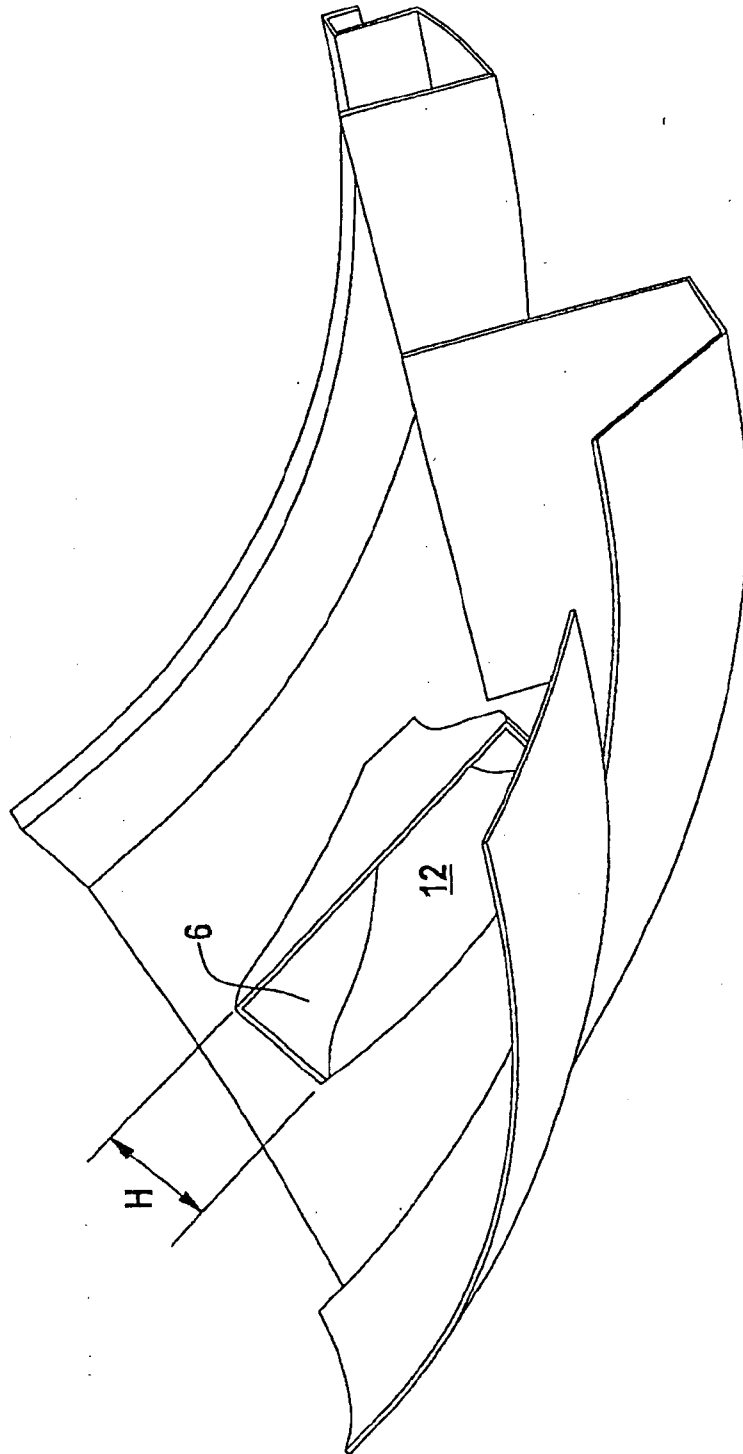
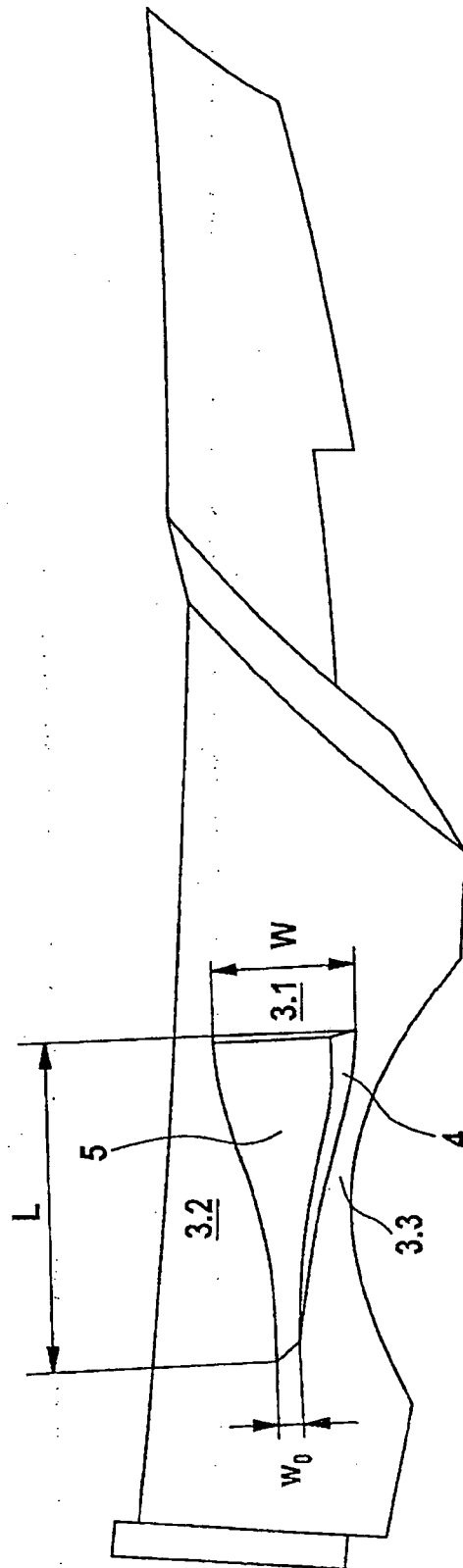


Fig. 6b

Fig. 7a



7/7

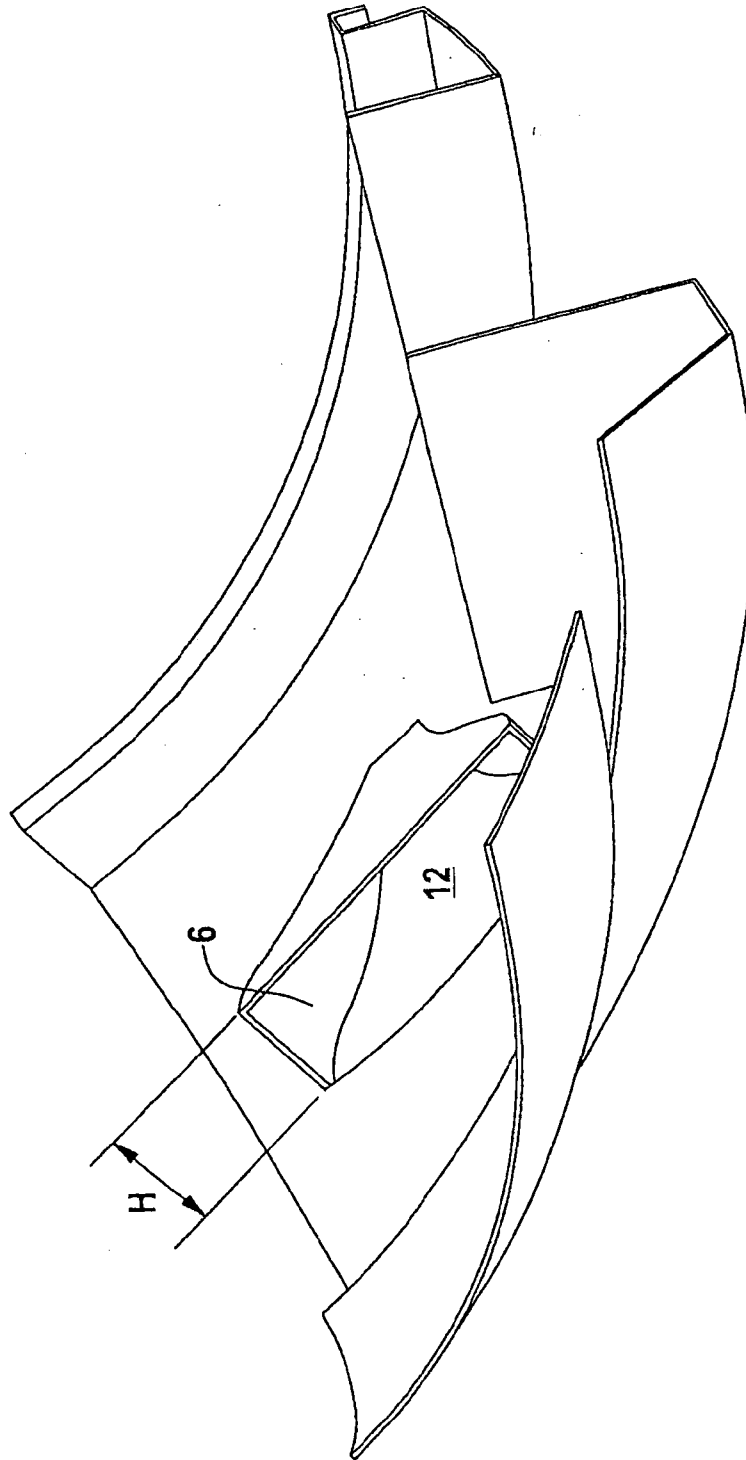


Fig. 7b