

(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  
26. Mai 2017 (26.05.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/085156 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**F03D 7/02** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/077928

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. November 2016 (17.11.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 119 986.6  
18. November 2015 (18.11.2015) DE

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

(72) Erfinder: **ALTMIKUS, Andree**; Haxtumer Ring 16,  
26605 Aurich (DE). **DE BOER, Wolfgang**; Mißgunster  
Weg 7b, 26802 Moormerland (DE). **MESSING, Ralf**;  
Hilgenbusch 5, 26605 Aurich (DE).

(74) Anwälte: **EISENFÜHR SPEISER** et al.; Postfach 10 60  
78, 28060 Bremen (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, 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: CONTROL OF A WIND TURBINE HAVING ADJUSTABLE ROTOR BLADES

(54) Bezeichnung : STEUERUNG EINER WINDENERGIEANLAGE MIT VERSTELLBAREN ROTORBLÄTTERN

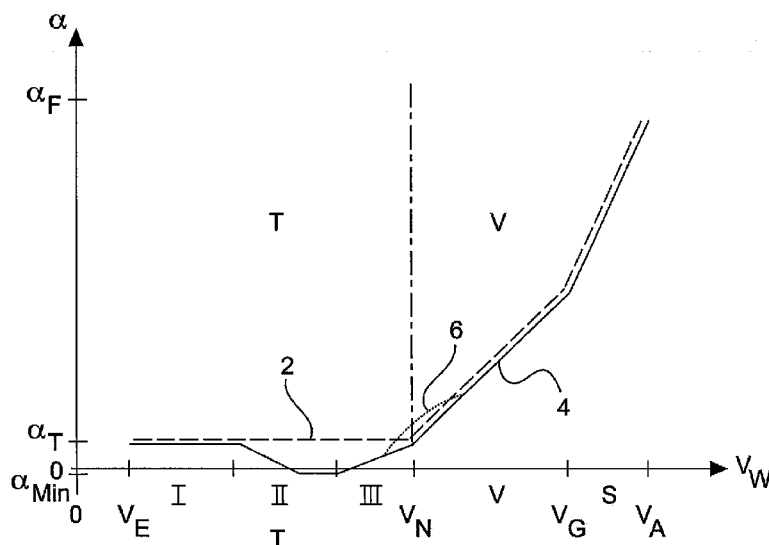


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a wind turbine having rotor blades (40) having adjustable blade angles, comprising the steps of operating the wind turbine in a partial load mode (T) for wind velocities ( $V_w$ ) up to a nominal wind velocity ( $V_N$ ), wherein a fixed partial load angle ( $\alpha_c$ ) is provided in the partial load mode (T) for the blade angle ( $\alpha$ ), operating the wind turbine in a full load mode (V) for wind velocities ( $V_w$ ) above the nominal velocity ( $V_N$ ), wherein, in full load mode (V), the blade angle ( $\alpha$ ) is enlarged along with increasing wind velocity ( $V_w$ ) and has values above the partial load angle ( $\alpha_c$ ), and wherein, in partial load mode (T), from a predetermined operating state, the blade angle ( $\alpha$ ) is reduced relative to the partial load angle ( $\alpha_c$ ).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Windenergieanlage mit Rotorblättern (40) mit verstellbarem Blattwinkel, umfassend die Schritte Betreiben der Windenergieanlage in einem Teillastbetrieb (T) für Windgeschwindigkeiten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/085156 A1



---

( $V_w$ ) bis zu einer Nennwindgeschwindigkeit ( $V_N$ ), wobei im Teillastbetrieb (T) für den Blattwinkel ( $\alpha$ ) ein fester Teillastwinkel ( $\alpha_t$ ) vorgesehen ist, Betreiben der Windenergieanlage in einem Volllastbetrieb (V) für Windgeschwindigkeiten ( $V_w$ ) oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit ( $V_N$ ), wobei im Volllastbetrieb (V) der Blattwinkel ( $\alpha$ ) mit zunehmender Windgeschwindigkeit ( $V_w$ ) vergrößert wird und Werte oberhalb des Teillastwinkels ( $\alpha_t$ ) aufweist, und wobei im Teillastbetrieb (T) ab einem vorbestimmten Betriebszustand der Blattwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_t$ ) verringert wird.

---

## Steuerung einer Windenergieanlage mit verstellbaren Rotorblättern

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Windenergieanlage mit Rotorblättern mit verstellbarem Blattwinkel. Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Windenergieanlage mit Rotorblättern mit verstellbarem Blattwinkel.

Windenergieanlagen mit Rotorblättern mit verstellbaren Blattwinkeln sind allgemein  
5 bekannt. Das Verstellen der Blattwinkel wird auch im deutschen Sprachgebrauch in der Fachwelt häufig als Pitchen bezeichnet. Ein übliches Regelungskonzept für solche Windenergieanlagen ist beispielsweise dem europäischen Patent EP 0 847 496 zu entnehmen. Demnach wird eine Windenergieanlage in einem Teillastbetrieb für Windgeschwindigkeiten bis zu einer Nennwindgeschwindigkeit mit einem festen Blattwinkel betrieben.  
10 Bei diesem Blattwinkel wird davon ausgegangen, dass die Windenergieanlage optimal arbeitet. In diesem Teillastbetrieb wird nun die Windenergieanlage mit konstantem Blattwinkel so betrieben, dass sie mit zunehmender Windgeschwindigkeit mehr Leistung abgibt. Dafür ist regelmäßig eine Drehzahl-Leistungskennlinie hinterlegt. Dabei kann die Regelung so arbeiten, dass die aktuelle Drehzahl erfasst wird und eine Leistung gemäß  
15 der hinterlegten Kennlinie dazu passend eingestellt wird. Entsprechend arbeitet die Windenergieanlage dann in einem festen aerodynamischen Arbeitspunkt. Sollte allerdings die Drehzahl sich erhöhen oder verringern, wird die Leistung entsprechend angepasst, bis die Windenergieanlage erneut diesen einen Arbeitspunkt gefunden hat.

Dieser Teillastbetrieb reicht insoweit bis zur Nennwindgeschwindigkeit und wenn die  
20 Nennwindgeschwindigkeit erreicht ist, ist regelmäßig auch die Nennleistung  $P_N$  und die Nenndrehzahl  $n_N$  erreicht.

Steigt der Wind nun weiter an, nämlich über die Nennwindgeschwindigkeit hinaus, so wird dann der Blattwinkel verstellt, also gepitcht. Das wenigstens eine Rotorblatt, heutzutage sind es üblicherweise drei Rotorblätter, wird dann nach und nach, also sukzessive  
25 mit steigender Windgeschwindigkeit, aus dem Wind in Richtung auf eine Fahnenstellung gedreht. Die Leistung und die Drehzahl werden hierbei konstant gehalten, nämlich üblicherweise auf ihren Nennwerten  $P_N$  bzw.  $n_N$ . Steigt die Windgeschwindigkeit noch weiter stark an, besonders über eine Grenzwindgeschwindigkeit hinaus, so kann es notwendig

sein, die Drehzahl  $n$  und die Leistung  $P$  auch zu reduzieren, wobei hier entsprechend der Blattwinkel sehr stark gepitcht wird. Alternativ kann bei einer Grenzgeschwindigkeit abgeschaltet werden.

Dieser Bereich oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit bis zur Grenzgeschwindigkeit wird  
5 auch als Vollastbetrieb bezeichnet. Der Bereich oberhalb der Grenzgeschwindigkeit bzw. Grenzwindgeschwindigkeit kann auch als Sturmbereich bezeichnet werden.

Diese Regelung hat sich bewährt und ist in vielen Windenergieanlagen, wahrscheinlich in den meisten der Windenergieanlagen in der Welt implementiert, zumindest was die Regelung im Teillastbetrieb und im Vollastbetrieb anbelangt und natürlich insoweit die  
10 Anlage verstellbare Rotorblätter aufweist.

Problematisch ist nun, dass besonders mit zunehmender Größe von Windenergieanlagen, die auch eine zunehmende Länge und dabei Leichtbauweise der Rotorblätter mit sich bringt, die Annahme eines steifen Rotorblattes selbst für vereinfachende Berechnungen und Messungen nicht mehr immer zutrifft. Aus diesem Grund kann das oben genannte  
15 te Regelungskonzept in manchen Fällen nicht mehr ohne weiteres anwendbar sein.

Auch ansonsten können für solche langen Rotorblätter in Leichtbauweise bisherige Stabilitätsüberlegungen in ihrer Anwendung an ihre Grenzen stoßen. Beispielsweise wird hierbei auf eine Windenergieanlage von ENERCON verwiesen, die E-126, die einen Rotordurchmesser von etwa 126 m hat und somit, nach Abzug des Gondeldurchmessers,  
20 Rotorblätter mit einer Länge von fast 60 m aufweist. Bei dieser Windenergieanlage, die mit zu den größten Windenergieanlagen der Welt gehört, ist das Rotorblatt mehrteilig und weist in einem inneren Bereich, der also näher zur Rotornabe weist, einen Stahlabschnitt auf. Dadurch kann eine gewisse Steifigkeit erreicht werden und dieses innere Teil kann auch ein äußeres Blattteil aus faserverstärktem Kunststoff tragen, das nicht höchste  
25 Anforderungen an Leichtbauweise erfüllen muss. Erfahrungen zu einer solchen Windenergieanlage können nicht ohne weiteres auf Windenergieanlagen mit Rotorblättern leichter Bauweise übertragen werden.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zu vorliegender Anmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: US 2014/0017079 A1,  
30 EP 0 847 496 B1, EP 2 530 302 A1, WO 2011/134473 A1, WO 2012/007004 A2 und WO 2016/101961 A1.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, zumindest eines der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine Lösung vorgeschlagen werden, die besonders das Verhalten langer Rotorblätter in Leichtbauweise berücksichtigt, insbesondere besser berücksichtigt als bisherige Regelungsverfahren. Zumindest soll gegenüber bisher Bekanntem eine Alternative vorgeschlagen werden.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Demnach wird eine Windenergieanlage mit Rotorblättern mit verstellbarem Blattwinkel zugrunde gelegt. Diese wird abhängig der Windgeschwindigkeit in einem Teillastbetrieb oder einem Voll-  
lastbetrieb betrieben. Im Teillastbetrieb, der für Windgeschwindigkeiten bis zu einer  
10 Nennwindgeschwindigkeit vorliegt, ist ein fester Teillastwinkel vorgesehen, der beispielsweise als fester Wert implementiert sein kann und der nachfolgend auch als Teillastwinkel bezeichnet wird.

Oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit wird die Windenergieanlage in dem Volllastbetrieb betrieben. Dabei wird der Blattwinkel mit zunehmender Windgeschwindigkeit ver-  
größert und weist Werte auf, die größer als der Teillastwinkel sind. Gegebenenfalls muss  
15 das nicht sofort für den vordersten Bereich des Volllastbetriebs gelten.

Es wird nun hierzu ergänzend vorgeschlagen, dass im Teillastbetrieb ab einem vorbestimmten Betriebszustand der Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel verringert wird.

Dabei liegt hier eine Definition des Blattwinkels zugrunde, bei der der Teillastwinkel klein  
20 ist und der Winkel in Fahnenstellung groß ist. Diese Definition liegt auch dem oben genannten Dokument EP 0 847 496 zu Grunde. Ein Verstellen von dem Teillastwinkel in Richtung zur Fahnenstellung ist also gemäß dieser Definition eine Vergrößerung des Blattwinkels. Es wird nun aber vorgeschlagen, im Teillastbetrieb den Blattwinkel ab einem vorbestimmten Betriebszustand zu verkleinern, also mit anderen Worten von einer Fah-  
25 nenstellung noch weiter weg zu drehen.

Ein vorbestimmter Betriebspunkt kann beispielsweise eine vorbestimmte Drehzahl und/oder eine vorbestimmte Leistung sein und die Verstellung dann vorgenommen werden, wenn dieser vorbestimmte Drehzahlwert und/oder vorbestimmte Leistungswert erreicht wird. Diese Verstellung des Blattwinkels kann auch kontinuierlich oder zumindest  
30 mit einer Flanke oder Rampe erfolgen. Wird also der vorbestimmte Betriebszustand erreicht, muss keine schlagartige Verstellung des Blattwinkels erfolgen. Diese Verstellung des Blattwinkels zu einem noch geringeren Wert als vorher kann beispielsweise eine

Verstellung des Blattwinkels um 2°, 3°, 4° oder 5° sein, um ein paar bevorzugte Beispiele zu nennen.

Es liegt hier die Erkenntnis zugrunde, dass das Rotorblatt nicht mehr als näherungsweise steif angesehen werden kann, sondern sich im Betrieb, besonders durch die Belastung  
5 durch den Wind verändert, insbesondere tordiert. Das kann aber auch beispielsweise mit einer Verbiegung zusammen auftreten und zusammenwirken. Es wird davon ausgegangen, dass diese Veränderung vollständig reversibel ist.

Besonders wird angenommen, dass der Blattwinkel in einem Bereich kleiner Windgeschwindigkeiten, also bevor der vorbestimmte Betriebszustand erreicht wird, nur eine  
10 geringe Belastung erfährt und etwaige Veränderungen des Blattes vernachlässigt werden können. Nimmt nun der Wind weiter zu, wobei sich die Windenergieanlage noch immer im Teillastbetrieb befindet, kann das Blatt beispielsweise tordieren, um dies als einfache Erklärung zugrunde zu legen.

Das Rotorblatt weist eine Blattwurzel auf, mit der es an der Rotornabe befestigt ist. Die  
15 Blattwurzel liegt nach innen zur Rotornabe und damit zur Drehachse des Rotors. Zur anderen Seite hin weist das Rotorblatt nach außen eine Blattspitze auf. Bei der beispielhaft genannt Torsion verändert somit das Rotorblatt einen Blattwinkel im Bereich der Rotorblattspitze relativ zu einem Blattwinkel im Bereich der Rotorblattwurzel. Die Messung des Blattwinkels als Grundlage für das Verstellen des Rotorblattwinkels erfolgt  
20 üblicherweise im Wurzelbereich, denn auch dort sind die Verstellantriebe für den Blattwinkel, also die sogenannten Pitchantriebe.

Es kann nun durch die Verstellung des Blattwinkels im Wurzelbereich der Veränderung des Blattwinkels an der Blattspitze entgegengewirkt wird. Vereinfacht ausgedrückt wurde erkannt, dass bei entsprechend höheren Windlasten im Teillastbetrieb der Blattwinkel im  
25 Bereich der Blattspitze in Richtung Fahnenstellung gedrückt und damit vergrößert wird und dass durch Verstellung des Blattwinkels in die entgegengesetzte Richtung, nämlich eine Verkleinerung des Blattwinkels, gegengesteuert werden kann.

Dabei liegt auch die Erkenntnis zugrunde, dass ein ganz wesentlicher Teil der Leistung im äußeren Bereich des Rotors erzeugt wird und auch dort ein möglichst guter Betrieb  
30 der Windenergieanlage sichergestellt werden sollte. Sollte die Stellung des Rotorblatts im Bereich der Blattwurzel dadurch verschlechtert werden, kommt es darauf weniger an, als

auf eine möglichst gute Einstellung des Blattes im Bereich der Blattspitze, zumindest im äußersten Drittel des Rotorblattes zur Blattspitze hin.

Dabei wird vorsorglich darauf hingewiesen, dass dieses Differenzieren in unterschiedliche Blattwinkel der Erläuterung dient, ohne dadurch die Definition des Blattwinkels zu verändern, nämlich die Stellung des Blatts im Wurzelbereich. Schließlich wird trotz Torsion  
5 durch die Verstellung des Blattwinkels im Wurzelbereich das gesamte Blatt verstellt.

Gemäß einer Ausführungsform wird daher auch vorgeschlagen, den Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel zu verstellen, nämlich abhängig einer Torsion wenigstens eines der Rotorblätter um seine Blattlängsachse. Es kann hier beispielsweise die Torsion des  
10 Rotorblattes gemessen werden und diese Torsionsmessung den Eingang einer Blattwinkelregelung bilden. Auch hierbei kann zunächst der Blattwinkel im Teillastbetrieb unverändert bleiben, nämlich den Teillastwinkel aufweisen. Es kann hierbei bei einer Windenergieanlage mit mehreren, insbesondere drei Rotorblättern dennoch nur die Torsion eines Blattes erfasst werden und davon abhängig könnten die Blattwinkel aller Blätter wie  
15 vorgeschlagen verändert werden. Eine Optimierung könnte durch eine individuelle Verstellung des Blattwinkels jedes einzelnen Rotorblattes erzielt werden, was aufgrund eines zu erwartenden Aufwandes allerdings üblicherweise nicht die favorisierte Lösung wäre, gleichwohl nicht ausgeschlossen werden soll.

Diese Torsion des Rotorblattes kann durch andere Betriebsparameter bestimmt werden,  
20 was gemäß einer Ausführungsform vorgeschlagen wird. Beispielsweise kann zu einer Drehzahlleistungskennlinie auch eine Torsion hinterlegt sein, die sich erfahrungsgemäß einstellt. Eine solche hinterlegte Torsionskurve kann beispielsweise vorher aufgenommen werden oder einmalig für den Anlagentyp bestimmt werden. Es kommt auch in Betracht, weitere Parameter mit einzubeziehen, wie beispielsweise die Windgeschwindigkeit oder  
25 andere Eigenschaften des aktuellen Windes oder der Luft, einschließlich Luftdichte und Feuchtigkeit. Zu solchen Eigenschaften des Windes gehört auch eine Variation der Windgeschwindigkeit über die Höhe, was auch als Wind-Shear bezeichnet werden kann. Eine Eigenschaft des Windes, die berücksichtigt werden kann, ist auch eine Variation der Windrichtung mit der Höhe, die auch als Wind-Veer bezeichnet wird.

30 Eine Torsion des Rotorblattes kann auch durch Verwendung mehrerer, entlang des Rotorblattes verteilter Messsensoren erfasst werden.

Vorzugsweise erfolgt das Verstellen abhängig einer Blattbelastung. Eine solche Blattbelastung kann dafür bspw. messtechnisch erfasst werden. Eine Möglichkeit wäre, eine Biegung des Rotorblattes mittels eines Dehnungsmessstreifens (DMS) zu erfassen und von der erfassten Biegung auf die Belastung zu schließen. Um von einer Biegung auf  
5 eine Belastung zu schließen, kann ein vorher für das betreffende Rotorblatt oder den betreffenden Rotorblatttyp aufgenommener Zusammenhang verwendet werden. Eine solche Belastung kann auch Aufschluss über die anzunehmende Torsion geben, auch wenn die Belastungsmessung eine Dehnung entlang einer Längsachse betrifft. Hier liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine solche Belastung in Längsrichtung durch entsprechend starken Wind hervorgerufen wird, und derselbe Wind auch zu einer Torsion führt.  
10

Gemäß einer Ausführungsform wird im Teillastbetrieb eine Leistung in Abhängigkeit einer Drehzahl eingestellt. Das kann beispielsweise basierend auf einer bekannten Drehzahl-Leistungskennlinie erfolgen. Zu dieser Art der Regelung im Teillastbetrieb wird nun vorgeschlagen, ab einer vorbestimmten Drehzahl den Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel zu verstellen, nämlich zu verringern. Dadurch, dass die Leistung in Abhängigkeit  
15 der Drehzahl eingestellt wird, stellen sich jeweils Betriebspunkte ein, die eine recht zuverlässige Aussage über den Zustand der Windenergieanlage zulassen, einschließlich über die Torsion der Rotorblätter. Deshalb kann in diesem Fall aus der Drehzahl, die sich einstellt, sehr gut auf die Torsion der Rotorblätter zurückgeschlossen werden und entsprechend die Verstellung des Blattwinkels vorgenommen werden. Ähnliches gilt für die  
20 Leistung, die bei der Regelung über die Drehzahl-Leistungskennlinie ebenfalls einen Rückschluss auf den Zustand der Windenergieanlage zulässt.

Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel mit weiter steigender Drehzahl bzw. weiter steigender Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl bzw. in Abhängigkeit der  
25 Leistung verstellt wird. Steigt also die Drehzahl über diese vorbestimmte Drehzahl hinaus weiter an, wird vorgeschlagen, den Blattwinkel weiter zu verstellen. Entsprechendes wird vorgeschlagen, wenn der Blattwinkel ab einer vorbestimmten Leistung verstellt wird.

Insbesondere wird dabei vorgeschlagen, dass der Blattwinkel vor Erreichen des Vollastbetriebs auf den Teillastwinkel zurückgestellt wird.

30 Insbesondere geht die Regelung gemäß dieser, aber vorzugsweise auch gemäß der übrigen Ausführungsformen, davon aus, dass ein fester Teillastwinkel hinterlegt ist. Dieser bildet somit die Ausgangslage und Grundlage für die Regelung im Teillastbetrieb. Davon wird nun abhängig von bestimmten Kriterien gezielt abgewichen. Wird der Vollast-

betrieb erreicht und steigt die Windgeschwindigkeit weiter an, wird der Blattwinkel vergrößert, nämlich in Richtung zur Fahnenstellung hin. Das Zurückstellen des Blattwinkels, der im Teillastbetrieb verringert wurde, auf den Teillastwinkel, ist somit bereits eine Verstellung zur Fahnenstellung hin und das wird vorzugsweise zum Ende des Teillastbetriebs vorgeschlagen. Im Vollastbetrieb kann dann bei weiter steigender Windgeschwindigkeit der Blattwinkel weiter in Richtung Fahnenstellung verstellt werden.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel so stark verringert wird, dass er einen negativen Wert annimmt. Beispielsweise kann der Teillastwinkel den Wert  $5^\circ$  aufweisen und der Blattwinkel kann im Teillastbetrieb auf einen Wert von  $-2^\circ$  verringert werden. Ein weiteres, weniger extremes Beispiel wäre, wenn der Teillastwinkel einen Wert von  $3^\circ$  aufweist und der Blattwinkel dann im Teillastbetrieb auf einen Wert von  $-1^\circ$  verringert wird. Hintergrund dieser Ausführungsform ist, dass erkannt wurde, dass eine Blattwinkelverringering sogar in einem solch starken Maße sinnvoll sein kann. Insbesondere dass eine Torsion in entsprechender Größenordnung auftreten kann und dass diese Torsion des Rotorblattes auch trotz ihr entgegen gerichteter Verstellung des Rotorblattes beibehalten wird. Diese Ausführungsform unterstreicht auch, dass das erfindungsgemäße Verringern des Rotorblattwinkels besonders über ein minimales Nachjustieren des Blattwinkels aus anderen Gründen, wie beispielsweise dem Ausgleichen einer Ungenauigkeit, hinausgeht.

Vorzugsweise wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem der Teillastbetrieb in wenigstens zwei Bereiche aufgeteilt wird, nämlich in einen unteren Bereich und in einen oberen Bereich. Der untere Bereich ist derjenige bei geringerer Windgeschwindigkeit und der obere entsprechend bei höherer Windgeschwindigkeit. Dabei wird im Teillastbetrieb in dem unteren Bereich der Teillastwinkel verwendet, also nicht verstellt. Erst im oberen Bereich des Teillastbetriebs wird dann der Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel verringert. Im sich anschließenden Vollastbetrieb wird dann der Blattwinkel gegenüber dem Teillastwinkel erhöht. Somit werden wenigstens drei Bereiche klar vorgegeben, nämlich ein unterer Bereich im Teillastbetrieb, bei dem eine Blatttorsion noch keine Rolle spielt. Dann wird ein oberer Bereich im Teillastbetrieb vorgeschlagen, bei dem die Torsion des Blattwinkels eine Rolle spielen kann und dem entgegengewirkt wird. Schließlich wird im Vollastbetrieb eine Erhöhung des Blattwinkels vorgeschlagen, um die Belastung der Anlage durch den entsprechend hohen Wind zu reduzieren. Es ist also zu beachten, dass in dem oberen Bereich des Teillastbetriebs der Teillastwinkel, mit ansteigendem Wind, zumindest abschnittsweise in eine Richtung verstellt wird, die der Richtung im Vollastbetrieb entgegen gerichtet ist.

Dabei muss das Verringern des Blattwinkels im oberen Bereich des Teillastbetriebs nicht bis exakt an den Vollastbetrieb heran erfolgen und auch im Vollastbetrieb muss nicht die Erhöhung des Blattwinkels über den Teillastwinkel hinaus sofort direkt anschließend an den oberen Bereich des Teillastbetriebs erfolgen. Vorzugsweise wird ein Übergangsbereich zwischen oberem Bereich des Teillastbetriebs und Vollastbetrieb vorgeschlagen, in dem der Blattwinkel von seinem gegenüber dem Teillastwinkel verringerten Wert zu dem gegenüber dem Teillastwinkel erhöhten Wert überführt wird, vorzugsweise in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit.

Besonders wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel bereits zum Ende des Teillastbetriebs und damit zum Ende des oberen Bereichs des Teillastbetriebs erhöht wird. Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dazu im Teillastbereich einen dritten Bereich zu definieren, der zwischen dem oberen Bereich des Teillastbetriebs und dem Vollastbetrieb als Teil des Teillastbetriebs vorgesehen ist. Vorzugsweise kann dieser dritte Bereich des Teillastbetriebs als Übergangsbereich zum Vollastbetrieb verwendet werden.

Zu diesem dritten Bereich im Teillastbetrieb wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel in dem dritten Bereich des Teillastbetriebs erhöht wird, insbesondere mit steigender Windgeschwindigkeit.

Ein solcher Übergangsbereich muss aber nicht vorgesehen sein oder kann im Bereich der Nennwindgeschwindigkeit liegen. Gemäß einer Variante kann der Blattwinkel bis zur Nennwindgeschwindigkeit auf einen kleinen Blattwinkel verringert werden, um dann von diesem kleinen Blattwinkel aus mit weiter steigender Windgeschwindigkeit auf einen Wert bis zum Teillastwinkel anzusteigen. Dann oder dafür kann die Drehzahlregelung die Blattverstellung übernehmen, die den Blattwinkel zum Steuern der Drehzahl verstellt, die nämlich den Blattwinkel mit ansteigender Windgeschwindigkeit vergrößert, um dadurch möglichst Nenndrehzahl, oder einen anderen Drehzahlwert, zu halten.

Vorzugsweise wird der Blattwinkel im Teillastbetrieb, jedenfalls im oberen Bereich des Teillastbetriebs, in Abhängigkeit der Leistung eingestellt, wohingegen der Blattwinkel im Vollastbetrieb in Abhängigkeit der Drehzahl eingestellt wird.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die Verringerung des Blattwinkels basierend auf einem vorgegebenen Zusammenhang besonders in Abhängigkeit der Drehzahl und/oder in Abhängigkeit der Leistung verändert wird. Dieser Zusammenhang kann vorzugsweise durch einen Gradienten vorgegeben werden.

Dadurch kann besonders erreicht werden, dass diese Verringerung des Blattwinkels nicht sprunghaft, sondern allmählich erfolgt. In diesem Gradienten können auch zuvor bestimmte Kenntnisse über das Torsionsverhalten des Rotorblattes einfließen.

5 Eine solche drehzahl- oder leistungsabhängige Veränderung des Blattwinkels kann durch den Gradienten, durch eine entsprechende Funktion oder aber auch durch eine hinterlegte Tabelle, einen sogenannten Lookup-Table, realisiert werden. Selbst durch den Lookup-Table kann durch entsprechend viele Werte eine quasi kontinuierliche Veränderung auf einfache Art und Weise erreicht werden.

10 Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel im Teillastbetrieb gegenüber dem Teillastwinkel in Abhängigkeit einer Charakteristik des Windes, insbesondere in Abhängigkeit einer Böigkeit des Windes verstellt wird.

Es wird somit vorgeschlagen, die Böigkeit und außerdem oder alternativ eine Böenhäufigkeit des vorherrschenden Windes mit in das Verfahren einzubeziehen. Eine mögliche Definition einer Böe wäre, wenn der gemessene 1-Minuten-Mittelwert der  
15 Windgeschwindigkeit innerhalb weniger Sekunden, bspw. maximal 20 Sekunden und mindestens 3 Sekunden anhaltend, um mindestens 3 m/s überschritten wird. Eine Böe kann auch über einen Vergleich der aktuellen Windgeschwindigkeit mit einem 10-Minuten-Mittel vorgenommen werden, wobei dann ein geringeres Überschreiten, z.B. im Bereich von 1,7m/s als Böe angesehen werden kann. Entsprechend kann eine Böe  
20 festgestellt werden und damit ist es auch möglich, Böen zu zählen und somit ihre Häufigkeit, also Vorkommen pro Zeitintervall zu bestimmen.

Das Verringern des Blattwinkels wirkt vorzugsweise einer Torsion des Rotorblattes aufgrund der herrschenden Windlast, bzw. einer Veränderung eines lokalen Anstellwinkels dadurch, entgegen. Besonders die bisherigen Erläuterungen haben, bis auf einige ge-  
25 nannte Ausnahmen, ideale, insbesondere konstante Windverhältnisse vorausgesetzt. Tatsächlich ist das Verhalten des Windes komplexer und beispielsweise kann der Wind mehr oder weniger häufig, mehr oder weniger stark Böen aufweisen. Besonders dann, wenn starke Böen vorhanden sind, besteht die Gefahr, dass der Wind recht stark ist und die Windenergieanlage sich, gleichwohl noch im Teillastbetrieb, mit recht hoher Drehzahl  
30 dreht und entsprechend viel Leistung erzeugt. Wenigstens einige vorbeschriebene Ausführungsformen könnten dann eine Verringerung des Blattwinkels vornehmen.

Ergibt sich aber diese genannte hohe Drehzahl mit hoher Leistung bei einem stark böigen Wind, wird es dazwischen Bereiche mit sehr schwachem Wind geben, in denen sich auch das Rotorblatt wieder zurücktordieren kann, zumindest teilweise. Besonders, wenn das Blatt aufgrund einer Böe schlagartig zurück tordiert und die Pitchregelung zunächst  
5 nicht reagiert, und somit negative Blattwinkel vorliegen, dann steigen die lokalen effektiven Anstellwinkel weiter und es besteht die Gefahr der Strömungsablösung. Aus diesem Grund ist bei starker Böigkeit die Verringerung der Pitchwinkel abzumildern.

Entsprechend wird die genannte Verstellung des Blattwinkels in Abhängigkeit der Böigkeit des Windes vorgeschlagen. Besonders wird vorgeschlagen, die Verringerung  
10 des Blattwinkels umso zurückhaltender, also umso weniger durchzuführen, je böiger der Wind ist. Ist die Böigkeit hingegen gering, ist auch die Gefahr lokaler Flauten gering, so dass die Blattwinkelverringerung stärker vorgenommen werden kann als bei stark böigem Wind.

Dabei kommen auch andere Charakteristika des Windes in Betracht, wie beispielsweise  
15 ein stark drehender Wind. Auch in einem solchen Fall sollte eine Blattwinkelverringerung weniger stark ausfallen.

Vorzugsweise wird vorgeschlagen, den Blattwinkel umso weniger zu verringern, je stärker der Wind von einer idealen Windcharakteristik abweicht. Vorzugsweise wird dafür ein Stabilitätsfaktor vorgeschlagen, der beispielsweise Werte von 0 bis 1 annehmen kann,  
20 wobei der Wert 1 einen stabilen, also idealen Wind angibt, und der Wert 0 einen in jeder Hinsicht unstetigen Wind, also einen Wind mit hoher Böigkeit und starkem Richtungswechsel, starkem Shear und starkem Veer, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Die Verringerung des Blattwinkels hängt dann von diesem Stabilitätsfaktor ab. Insbesondere wird vorgeschlagen, die idealerweise vorgesehene Verstellung des Blattwinkels, die also  
25 noch keine Böigkeit berücksichtigt, mit dem Stabilitätsfaktor zu multiplizieren.

Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel im Teillastbetrieb gegenüber dem Teillastwinkel in Abhängigkeit wenigstens einer Eigenschaft der Luft verstellt wird. Beispielsweise kann die Verstellung in Abhängigkeit der Luftdichte vorgesehen sein, besonders so, dass der Blattwinkel um so weniger verringert wird, je geringer die Luft-  
30 dichte ist. Hierzu wurde erkannt, dass geringere Luftdichten zu erhöhten effektiven Blattwinkeln führen können.

Außerdem oder alternativ kann vorgesehen sein, einen Umkehrpunkt festzulegen, bei dem die Verringerung des Blattwinkels wieder zurückgenommen wird. Vorzugsweise wird dieser Umkehrpunkt in Abhängigkeit des Charakteristik des Windes ausgewählt. Insbesondere wird der Umkehrpunkt in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit früher an-  
5 gesetzt, wenn eine starke Böigkeit vorliegt.

Außerdem oder alternativ kann der Übergang vom oberen Bereich im Teillastbetrieb zum dritten Bereich im Teillastbetrieb in Abhängigkeit einer Charakteristik des Windes verändert werden. Auch dadurch wird letztlich beeinflusst, wann die Verringerung des Blattwinkels wieder zurückgenommen wird. Gegebenenfalls wird dadurch auch erreicht, dass die  
10 Verringerung des Blattwinkels insgesamt schwächer ausfällt.

Es ist hierbei, besonders beim Verschieben des Umkehrpunktes bzw. beim Verschieben der Grenzen von oberen zu dritten Bereichen, zu beachten, dass schwächere Winde nicht unbedingt aber üblicherweise dazu neigen, in ihrem Verhalten auch stabiler zu sein. Entsprechend kann eine Blattwinkelverringerung bei schwächeren Winden vorteilhaft  
15 bzw. weniger kritisch sein, als bei stärkeren Winden also stärkeren bzw. höheren Windgeschwindigkeiten.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass Messmittel zum Erfassen einer Torsion wenigstens eines der Rotorblätter um ihre Längsachse vorgesehen sind und die so erfasste Torsion als Kriterium zum Verstellen des Blattwinkels verwendet wird. Insbesondere wird vorgeschlagen, dass der Blattwinkel stärker verstellt wird, je größer die  
20 erfasste Torsion ist.

Durch die Erfassung der Torsion kann ein zuverlässiges Maß angenommen werden, das als Kriterium für die Verringerung des Blattwinkels dienen kann. Hierdurch kann der erhöhte Aufwand für das Vorsehen solcher Sensoren gerechtfertigt werden. Vorzugsweise werden solche erfassten Werte über die Torsion der Regelung der Windenergieanlage  
25 auch für andere Zwecke zugrunde gelegt.

Das Erfassen einer solchen Torsion kann beispielsweise über Dehnungsmessstreifen erfolgen, oder optisch durch entsprechende Kameras an dem jeweiligen Blatt oder auf der Gondel oder dem Spinner der Windenergieanlage. Vorzugsweise können auch sensible Beschleunigungssensoren die Torsionsbewegung als solche erfassen, um darauf  
30 basierend die absolute Torsion zu berechnen.

Gemäß einer Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass die Windenergieanlage mehrere Rotorblätter aufweist, insbesondere drei, und jedes Rotorblatt individuell und außerdem oder alternativ umlaufzyklisch verstellt wird. Dadurch kann berücksichtigt werden, dass sich jedes Rotorblatt in Bezug auf die übrigen in einer anderen Position befindet und damit regelmäßig auch anderen Windbedingungen ausgesetzt ist, was sich durch die Drehung des Rotors ständig ändert. Dem kann hierdurch Rechnung getragen werden. Vorzugsweise wird für jedes Rotorblatt vorgeschlagen, dass sich der individuelle Blattwinkel des jeweiligen Rotorblattes bzw. sein Sollwert aus einem für alle Rotorblätter gleichen Grundwinkel und einem für jedes Rotorblatt individuell vorgesehenen Zusatzwinkel zusammensetzt. Somit kann durch die Verwendung des Grundwinkels für alle Rotorblätter die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Windenergieanlage sichergestellt werden.

Durch die Veränderung des jeweiligen Zusatzwinkels können dann Verbesserungen implementiert werden. Insbesondere kann im Teillastbereich der Teillastwinkel als Grundwinkel verwendet werden und die vorgeschlagene Blattverringering dadurch umgesetzt werden, dass sie jeweils den Zusatzwinkel bildet oder einen Teil des Zusatzwinkels bildet. Es kommt hierbei auch in Betracht, dass die Verringerung des Blattwinkels einen Anteil in dem Zusatzwinkel bildet, der für alle Blätter gleich ist. Besonders wenn die Torsion für jedes Rotorblatt einzeln erfasst wird, was gemäß einer Ausführungsform vorgeschlagen wird, kann davon abhängig eine individuelle Blattverringering für jedes einzelne Rotorblatt vorgesehen sein. Diese individuelle Blattverringering kann über diesen Zusatzwinkel realisiert werden.

Eine Zusammensetzung des Blattwinkels aus Grundwinkel und Zusatzwinkel kann auch für alle Rotorblätter der Windenergieanlage gleich sein, es kann also auch dann zum Einsatz kommen, wenn die Rotorblattwinkel nicht individuell, sondern gemeinsam bzw. synchron verstellt werden.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass ein Minimalblattwinkel vorgesehen ist, also insbesondere regelungstechnisch oder anderweitig vorgegeben und implementiert wird. Dieser Minimalblattwinkel ist kleiner als der Teillastwinkel und bildet eine Untergrenze für den Blattwinkel, so dass der Blattwinkel nicht kleiner als dieser Minimalblattwinkel eingestellt werden kann. Gegebenenfalls können die Blätter individuell verstellt werden, wie oben beschrieben wurde, wobei dies aber nur bis zu diesem Minimalblattwinkel erfolgen kann. Dadurch kann ein zu starkes Verringern des Blattwinkels insgesamt erreicht werden, wobei gleichzeitig eine individuelle Verstellung möglich bleibt.

Erfindungsgemäß wird zudem eine Windenergieanlage vorgeschlagen, die dazu vorbereitet ist, ein Verfahren gemäß wenigstens einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen einzusetzen. Vorzugsweise wird bereits bei der Dimensionierung der Windenergieanlage diese spätere Regelung berücksichtigt und dadurch können besonders  
5 leichte Rotorblätter verwendet werden, die ansonsten nicht oder schlechter verwendet werden könnten.

Nachfolgend wird die Erfindung exemplarisch anhand von Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt eine Windenergieanlage in einer perspektivischen Ansicht.

10 Figur 2 erläutert schematisch mögliche Verläufe des Blattwinkels.

Figur 3 erläutert schematisch mögliche Leistungsverläufe.

Figur 4 zeigt schematisch Profile eines Rotorblattes zur Erläuterung einer möglichen Torsion.

15 Figur 1 zeigt eine Windenergieanlage 100 mit einem Turm 102 und einer Gondel 104. An der Gondel 104 ist ein Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110 angeordnet. Der Rotor 106 wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104 an.

20 Figuren 2 und 3 erläutern mögliche Verläufe des Blattwinkels  $\alpha$  und der Leistung  $P$  in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit  $V_w$ . Beide Figuren zeigen an ihrer Abszisse die Windgeschwindigkeit  $V_w$  und die Abszissen sind für beide Figuren 2 und 3 gleich. Insofern soll auch die Darstellung der Leistung  $P$  in Figur 3 den entsprechenden Blattwinkeln  $\alpha$  in Figur 2 zugeordnet sein, wobei diese Zuordnung nur schematisch und nicht quantitativ ist.

25 In Figur 2 ist nun mit der gestrichelten Linie für den Blattwinkel  $\alpha$  ein Basisverlauf 2 gezeigt. Außerdem ist zu dem Blattwinkel  $\alpha$  ein verbesserter Verlauf 4 mit einer durchgezogenen Linie dargestellt. Der verbesserte Verlauf 4 ist in vielen Abschnitten mit dem Basisverlauf 2 übereinstimmend und nur aus Gründen der besseren Darstellung sind diese beiden Verläufe mit geringem Abstand gezeichnet. Ein alternativer Verlauf 6 ist

durch eine gepunktete Linie dargestellt und dieser Alternativverlauf 6 entspricht ansonsten dem verbesserten Verlauf 4 des Blattwinkels  $\alpha$ .

Ausgehend von dem Basisverlauf 2 startet die Windenergieanlage bei einer Einschaltwindgeschwindigkeit  $V_E$  mit einem zunächst fest eingestellten Teillastwinkel  $\alpha_T$ . Mit weiter  
5 steigendem Wind wird dieser Winkel bis zur Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  beibehalten. Beim Erreichen der Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  wird dann das Blatt aus dem Wind gedreht, nämlich sukzessive mit weiter steigender Windgeschwindigkeit und das bedeutet, dass der Blattwinkel  $\alpha$  entsprechend nach und nach erhöht wird. Nur exemplarisch ist als letzter Wert für den Winkel die Fahnenstellung als  $\alpha_F$  eingezeichnet.

10 Dieser Basisverlauf 2 zeigt somit einen konstanten Blattwinkel  $\alpha$  mit dem Wert des Teillastwinkels  $\alpha_T$  im Teillastbetrieb T und dann einen ansteigenden Wert für den Volllastbetrieb V. Der Vollständigkeit halber ist eine stärkere Steigung des Blattwinkels für den Sturmbereich S dargestellt, demnach der Blattwinkel ab Erreichen einer Grenzwindgeschwindigkeit  $V_G$  noch stärker erhöht wird, bis er schließlich bei einer Abschaltwindgeschwindigkeit  $V_A$  die Fahnenstellung, also den Winkel  $\alpha_F$  erreicht. Darauf, was genau bei  
15 der Abschaltwindgeschwindigkeit  $V_A$  passiert und ob dann tatsächlich die Fahnenstellung erreicht wird, wie Figur 2 zeigt, kommt es hier nicht an.

Als verbesserter Verlauf 4 wird nun der mit der durchgezogenen Linie dargestellte Verlauf vorgeschlagen. Dazu wird, zur besseren Übersichtlichkeit aber auch als Orientierung für  
20 die Regelung, die das umsetzen muss, der Teillastbetrieb T in drei Abschnitte I, II und III unterteilt. Dabei bezeichnet der Abschnitt I einen unteren Bereich des Teillastbetriebs, der Abschnitt II bezeichnet einen oberen Bereich des Teillastbetriebs und Abschnitt III bezeichnet schließlich einen dritten Bereich des Teillastbetriebs, der noch, bezogen auf die Windgeschwindigkeit, oberhalb des oberen Bereichs II liegt. Diese Abschnitte können  
25 auch synonym als Bereiche bezeichnet werden. Am Ende des dritten Bereichs III, das bei der Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  liegt, beginnt der Volllastbetrieb V.

In dem unteren Bereich I stimmt der verbesserte Verlauf 4 mit dem Basisverlauf 2 überein. Am Anfang des oberen Bereichs II wird dann davon ausgegangen, dass die Windlast so stark ist, dass das Blatt signifikant tordiert und entsprechend wird durch eine Verringerung des Blattwinkels  $\alpha$  entgegengewirkt. Der Blattwinkel  $\alpha$  verringert sich in dieser  
30 Ausführungsform dann linear mit zunehmender Windgeschwindigkeit  $V_W$ . Diese Verringerung geht so weit, dass der Blattwinkel  $\alpha$  negativ wird. Er erreicht dann einen vorgegebenen Minimalblattwinkel  $\alpha_{\min}$ , der hier entsprechend einen negativen Wert aufweist und

somit wird der Blattwinkel  $\alpha$  dann nicht weiter verringert und behält somit diesen negativen Wert bis zum Ende des oberen Bereichs II des Teillastbetriebs bei.

Am Ende des oberen Bereichs des Teillastbetriebs T wird der Blattwinkel dann wieder erhöht, nämlich in dem Beispiel linear mit dem Ansteigen des Windes bis zum Teillastwinkel  $\alpha_T$ , der erreicht wird, wenn die Windgeschwindigkeit  $V_W$  Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  erreicht. Entsprechend wird in dieser Ausführungsform in diesem dritten Bereich III des Teillastbetriebs ein linearer Anstieg des Blattwinkels bis zum Teillastwinkel vorgeschlagen.

Beim Erreichen der Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  weist somit der Blattwinkel des verbesserten Verlaufs 4 wieder den Teillastwinkel  $\alpha_T$  auf und in dem Punkt wird dann wieder die Kennlinie des Basisverlaufs 2 erreicht. Der weitere Verlauf des verbesserten Verlaufs 4 kann dann dem weiteren Verlauf des Basisverlaufs 2 entsprechen, was entsprechend in Figur 2 dargestellt ist.

Als ein alternativer Verlauf 6 wird zu dem verbesserten Verlauf 4 eine Abweichung im Übergangsbereich vom Teillastbetrieb T zum Volllastbetrieb V vorgeschlagen. Demnach wird, wie die gepunktete Kennlinie 6 andeutet, der Blattwinkel bereits gegen Ende des Teillastbetriebs, hier nämlich gegen Ende auch des dritten Bereichs des Teillastbetriebs so erhöht, dass er den Wert des Teillastwinkels überschreitet, bevor Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  erreicht wird. Hierdurch kann eine geringere Belastung in diesem kritischen Übergangsbereich erreicht werden. Dazu ist zu beachten, dass die Belastung der Blätter bei Nennwindgeschwindigkeit am größten sein kann. Bei Nennwindgeschwindigkeit liegt nämlich bereits ein recht starker Wind vor, wobei die Rotorblätter aber üblicherweise noch nicht, auch nicht zum Teil, aus dem Wind gedreht sind. Die Blätter bieten dort also die größte Angriffsfläche. Dies kann durch den vorgeschlagenen alternativen Verlauf 6 verbessert werden. Dieser verbesserte Verlauf 6 mündet dann bei etwas höherer Windgeschwindigkeit in den Basisverlauf 2 bzw. in den verbesserten Verlauf 4.

Figur 3 zeigt jedenfalls schematisch einen möglichen Leistungsverlauf, der den jeweiligen Verläufen der Blattwinkel gemäß Figur 2 zugeordnet ist.

Auch in Figur 3 ist ein Basisverlauf 32 gestrichelt dargestellt sowie mit einer durchgezogenen Linie ein verbesserter Verlauf 34 eingetragen. Auch ein alternativer Verlauf 36 ist als punktierte Kennlinie in Figur 3 eingezeichnet. Diese drei Verläufe 32, 34 und 36 entsprechen somit den Verläufen 2, 4 und 6 des Blattwinkels gemäß Figur 2, mit dem

Unterschied, dass hier die Leistung dargestellt wird. Anders als in Figur 2 ist zu dem Basisverlauf 32 und dem verbesserten Verlauf 34 der Basisverlauf 32 nur eingezeichnet, soweit er sich von dem verbesserten Verlauf 34 unterscheidet.

Es ist somit grundsätzlich für den Basisverlauf 32 und den verbesserten Verlauf 34 zu  
5 erkennen, dass die Leistung bei der Einschaltwindgeschwindigkeit  $V_E$  zugeschaltet wird und einen geringen Wert aufweist. Die Leistung steigt dann kontinuierlich, aber immer stärker an, bis sie zum Ende des Teillastbetriebs T bei der Nennwindgeschwindigkeit  $V_N$  ihren Nennwert  $P_N$  erreicht hat. Dieser Nennwert wird dann für den Vollastbetrieb V gehalten und ab der Grenzwindgeschwindigkeit  $V_G$  reduziert und erreicht zum Ende des  
10 Sturmbereichs S bei der Abschaltwindgeschwindigkeit  $V_A$  einen geringen Wert, der auch Null sein kann.

Figur 3 zeigt nun, dass der Basisverlauf 32 ab Beginn des oberen Bereichs II des Teillastbetriebs T abweicht, nämlich eine etwas geringere Leistung aufweist. Zunächst ist aber zu erkennen, dass dies Abweichung bei einem Leistungswert  $P_1$  beginnt. Dieser  
15 Leistungswert  $P_1$  kann somit als vorbestimmte Leistung dienen, ab der die Verringerung des Blattwinkels, die zum verbesserten Verlauf 4 in Figur 2 gezeigt ist, beginnt.

Erreicht die Leistungskurve des verbesserten Verlaufs 34 den zweiten vorbestimmten Leistungswert  $P_2$ , kann dies als Information ausgewertet bzw. zugrunde gelegt werden, dass das Ende des oberen Bereichs II des Teillastbetriebs erreicht ist und der Blattwinkel  
20 wieder erhöht werden soll, wie es in Figur 2 dargestellt ist. Entsprechend wird der Blattwinkel im dritten Bereich III des Teillastbetriebs T wieder erhöht und erreicht den Teillastwinkel  $\alpha_T$  bei Nennwindgeschwindigkeit. Entsprechend fallen dann der Basisverlauf 32 und der verbesserte Verlauf 34 auch hinsichtlich der erzeugten Leistung P wieder zusammen.

An dieser Figur 3 ist zu erkennen, dass durch die vorgeschlagene Verringerung des  
25 Blattwinkels die Leistungsausbeute mitunter noch erhöht werden kann. Es ist aber auch zu erkennen, dass sich hier zusätzlich Vorteile im Verlauf der Leistung ergeben können. Besonders zum Ende des Teillastbetriebs T ist der Anstieg der Leistung sehr steil. Das bedeutet, dass geringe Änderungen der Windgeschwindigkeit zu großen Änderungen der  
30 Leistung führen können. In der praktischen Umsetzung kann dies bedeuten, dass geringe Änderungen der Drehzahl zu starken Änderungen der Leistung führen können. Das kann regelungstechnische Probleme aufwerfen und die vorgeschlagene Verringerung und

dann wieder Erhöhung des Blattwinkels kann, auch je nach konkret gewählten Werten, zu einem nicht ganz so steilen Anstieg der Leistung  $P$  in diesem Bereich führen.

Der alternative Verlauf 36 für die Leistung  $P$  zeigt in Figur 3, dass in dem Übergangsbereich von Teillastbetrieb  $T$  zu Vollastbetrieb  $V$  die Leistung gegenüber dem verbesserten Verlauf 34 als auch gegenüber dem Basisverlauf 32 etwas verringert sein kann. Dafür ist aber in diesem speziellen Bereich die Belastung der Blätter reduziert und auch der Anstieg der Leistung  $P$  kann in diesem Bereich nochmals reduziert sein, was für die Umsetzung der Regelung vorteilhaft sein kann.

Figur 4 zeigt nun im Grunde zwei Profile 42 und 44 eines Rotorblatts 40. Das erste Profil 42 ist in der Nähe der Blattwurzel und das zweite Profil 44 ist in der Nähe der Blattspitze. Auch hier sind die Profile auch in ihrer Größe nur schematisch dargestellt. Zu dem zweiten Profil 44 ist auch ein Ruheprofil 44' punktiert eingezeichnet. Das zweite Profil 44 und das Ruheprofil 44' sind identisch, mit dem Unterschied, dass das zweite Profil 44 gegenüber dem Ruheprofil 44' aufgrund einer Torsion in dem Rotorblatt 40 verdreht ist. Dies ist als Torsionswinkel  $\delta$  eingezeichnet. Als Referenzausrichtung wurde hier für jedes der Profile etwa eine Skelettlinie 46, 46' bzw. 46\* zugrunde gelegt.

Jedenfalls ist der Figur 4 zu entnehmen, dass das Rotorblatt 40 in seiner Ruhelage, also wenn es bereits fertiggestellt im Werk liegt, einen Verdrehungswinkel  $\beta$  zwischen dem ersten Profil 42 im Wurzelbereich und dem zweiten Profil 44 bei der Blattspitze aufweist. Figur 4 zeigt insoweit einen Betriebspunkt, bei dem das Rotorblatt 40 im Einsatz ist und der Wind zu einer Torsion geführt hat, demnach das zweite Profil 44 um den Torsionswinkel  $\delta$  gegenüber dem Ruheprofil 44', also dem zweiten Profil 44 in Ruhelage, verdreht ist. Das Blatt 40 ist also tordiert und führt zu dieser Winkelabweichung gemäß  $\delta$ . Diese Situation kann beispielsweise bezogen auf Figur 2 dem Zustand am Ende des oberen Bereichs II oder am Anfang des dritten Bereiches III des Teillastbetriebs  $T$  entsprechen.

Figur 4 verdeutlicht insoweit auch, dass diese Torsion des Rotorblatts durch die Windbelastung dazu führt, dass das Rotorblatt 40 besonders im Bereich seiner Rotorblattspitze etwas mehr in Richtung zur Fahnenstellung  $\alpha_F$  verdreht ist. Die Verdrehung in Fahnenstellung ist eine Erhöhung des Blattwinkels und es wird somit vorgeschlagen, den Blattwinkel zu verringern, um dem entgegenzuwirken. Diese Verringerungsrichtung ist als  $\alpha_V$  in Figur 4 mit einem entsprechenden Pfeil zur Verdeutlichung eingezeichnet. Auf die Länge dieses Pfeils  $\alpha_V$  kommt es hier nicht an.

Durch das vorgeschlagene Verfahren kann somit Effekten durch die Blatttorsion im Betrieb, die in Figur 4 dargestellt ist, entgegengewirkt werden. Dieses Entgegenwirken veranschaulicht besonders der verbesserte Verlauf 4 des Blattwinkels  $\alpha$  gemäß Figur 2 und die dem Grunde nach resultierenden Leistungsverläufe sind dazu der Figur 3 zu entnehmen.

5

Ansprüche

1. Verfahren zum Steuern einer Windenergieanlage mit Rotorblättern (40) mit verstellbarem Blattwinkel,

umfassend die Schritte

- 5     -     Betreiben der Windenergieanlage in einem Teillastbetrieb (T) für Windgeschwindigkeiten ( $V_W$ ) bis zu einer Nennwindgeschwindigkeit ( $V_N$ ), wobei im Teillastbetrieb (T) für den Blattwinkel ( $\alpha$ ) ein fester Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) vorgesehen ist,
- Betreiben der Windenergieanlage in einem Vollastbetrieb (V) für Windgeschwindigkeiten ( $V_W$ ) oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit ( $V_N$ ), wobei im Vollastbetrieb (V)
- 10    der Blattwinkel ( $\alpha$ ) mit zunehmender Windgeschwindigkeit ( $V_W$ ) vergrößert wird und Werte oberhalb des Teillastwinkels ( $\alpha_T$ ) aufweist, und wobei
- im Teillastbetrieb (T) ab einem vorbestimmten Betriebszustand der Blattwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) verringert wird.
- 15    2.     Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Teillastbetrieb (T) der Blattwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) abhängig einer Torsion wenigstens eines der Rotorblätter um eine Blattlängsachse und/oder abhängig einer Blattbelastung verstellt wird.
- 20    3.     Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Teillastbetrieb (T) eine Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl eingestellt wird und ab einer vorbestimmten Drehzahl und/oder ab einer vorbestimmten Leistung der Blattwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) verstellt wird.
- 25    4.     Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) mit weiter steigender Drehzahl bzw. weiter steigender Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl bzw. der Leistung verstellt wird, insbesondere, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) vor Erreichen des Vollastbetriebs (V) auf den Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) zurück gestellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) so stark verringert wird, dass er einen negativen Wert annimmt.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 mit zunehmender Windgeschwindigkeit ( $V_W$ ) der Blattwinkel ( $\alpha$ )
- im Teillastbetrieb (T) in einem unteren Bereich zunächst den Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) aufweist,
  - im Teillastbetrieb (T) in einem oberen Bereich gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) verringert wird und
  - 10 - im Vollastbetrieb (V) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) erhöht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Teillastbetrieb (T) im Anschluss an den oberen Bereich (I) ein dritter Bereich (III) vorgesehen ist, an den sich der Vollastbetrieb anschließt und in dem der Blattwinkel ( $\alpha$ ) wenigstens bis zum Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) erhöht wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) in einem bzw. dem oberen Bereich (I) im Teillastbetrieb (T) in Abhängigkeit der Leistung und/oder in Abhängigkeit der Drehzahl mit einem vorbestimmten Gradienten und/oder in Abhängigkeit eines vorbestimmten Zusammenhangs von der Leistung bzw. Drehzahl verringert wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) im Teillastbetrieb (T) gegenüber dem Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) in Abhängigkeit wenigstens einer Eigenschaft der Luft, insbesondere in Abhängigkeit der Luftdichte und/oder in Abhängigkeit einer Charakteristik des Windes, insbesondere in Abhängigkeit einer Böigkeit des Windes verstellt wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Messmittel zum Erfassen einer Torsion wenigstens eines der Rotorblätter um ihre Längsachse vorgesehen sind und die so erfasste Torsion als Kriterium zum Verstellen des Blattwinkels ( $\alpha$ ) verwendet wird, insbesondere, dass der Blattwinkel ( $\alpha$ ) je stärker verstellt wird, je größer die erfasste Torsion ist.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Windenergieanlage mehrere Rotorblätter aufweist, insbesondere drei, und jedes Rotorblatt individuell und/oder umlaufzyklisch verstellt wird, insbesondere so, dass sich der individuelle Blattwinkel ( $\alpha$ ) bzw. sein Sollwert aus einem für alle Rotorblätter gleichen Grundwinkel und einem für jedes Rotorblatt individuell vorgesehenen Zusatzwinkel zusammensetzt.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Minimalblattwinkel ( $\alpha_{\min}$ ) vorgesehen ist, der kleiner als der Teillastwinkel ( $\alpha_T$ ) ist und der Blattwinkel ( $\alpha$ ), ggf. für jedes Rotorblatt individuell, bis zu diesem Minimalblattwinkel ( $\alpha_{\min}$ ) verstellt werden kann.

13. Windenergieanlage, vorbereitet zum Durchführen eines Verfahrens gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

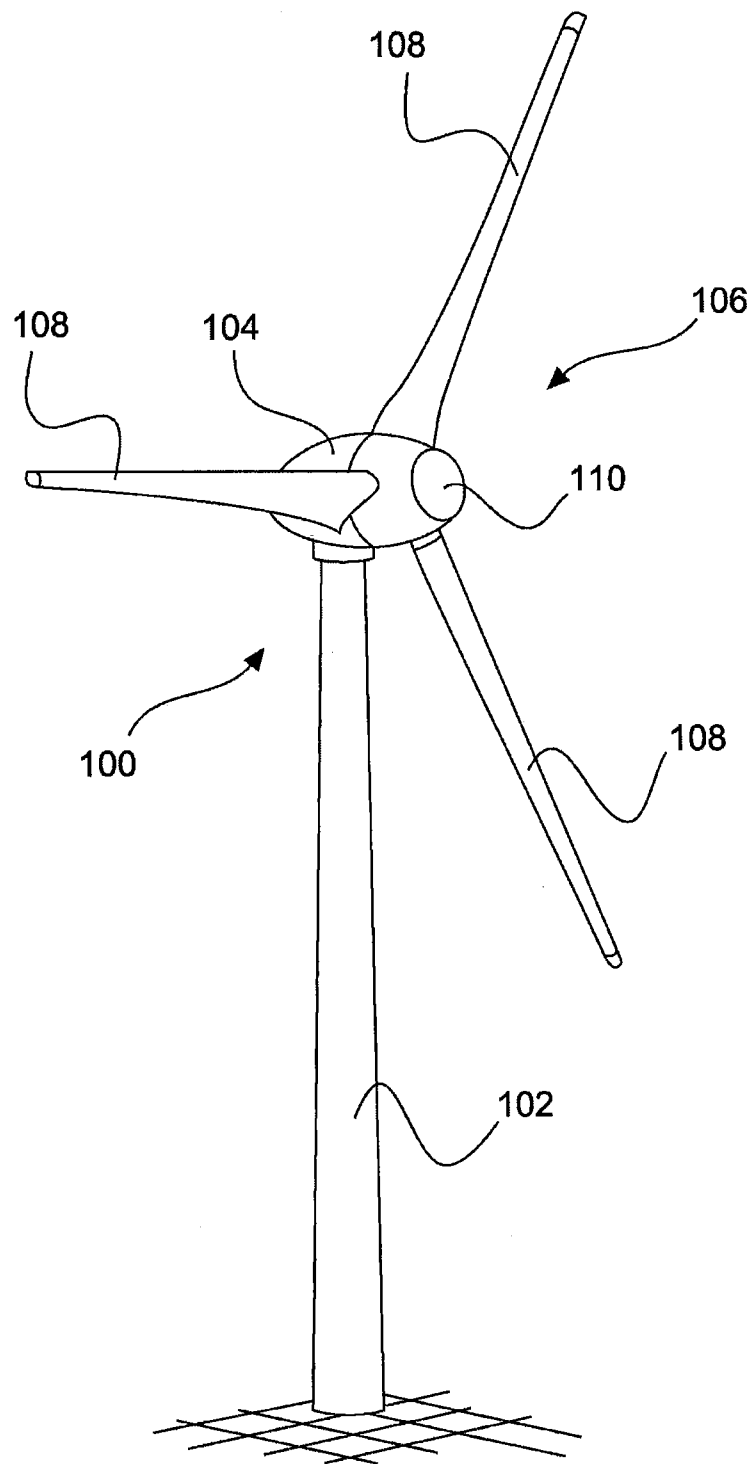


Fig. 1

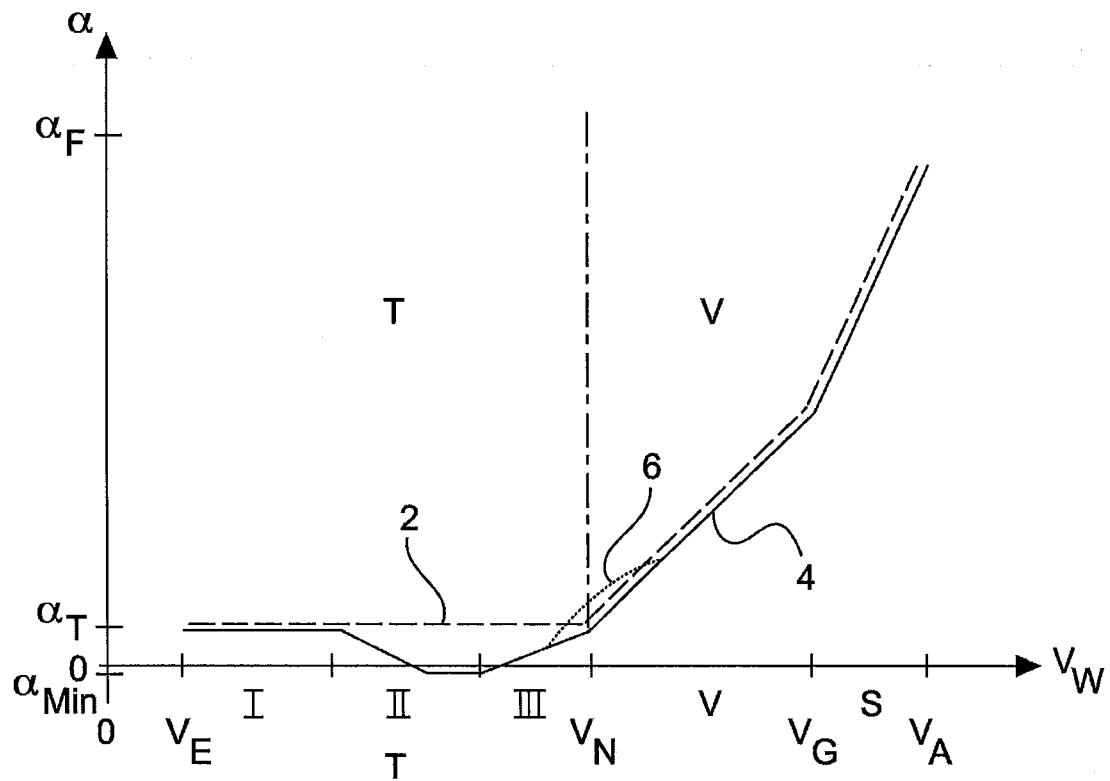


Fig. 2

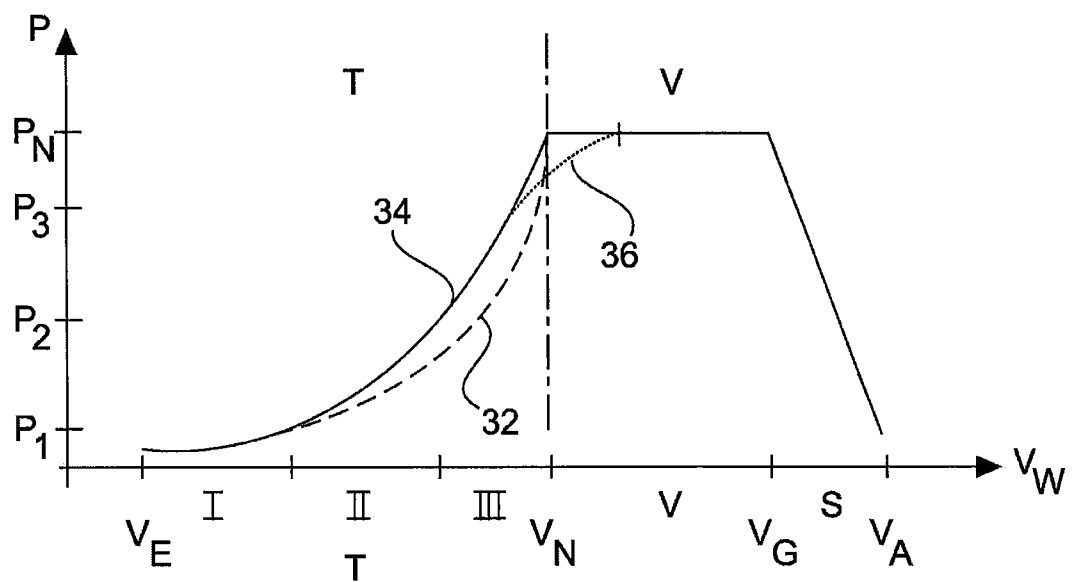


Fig. 3

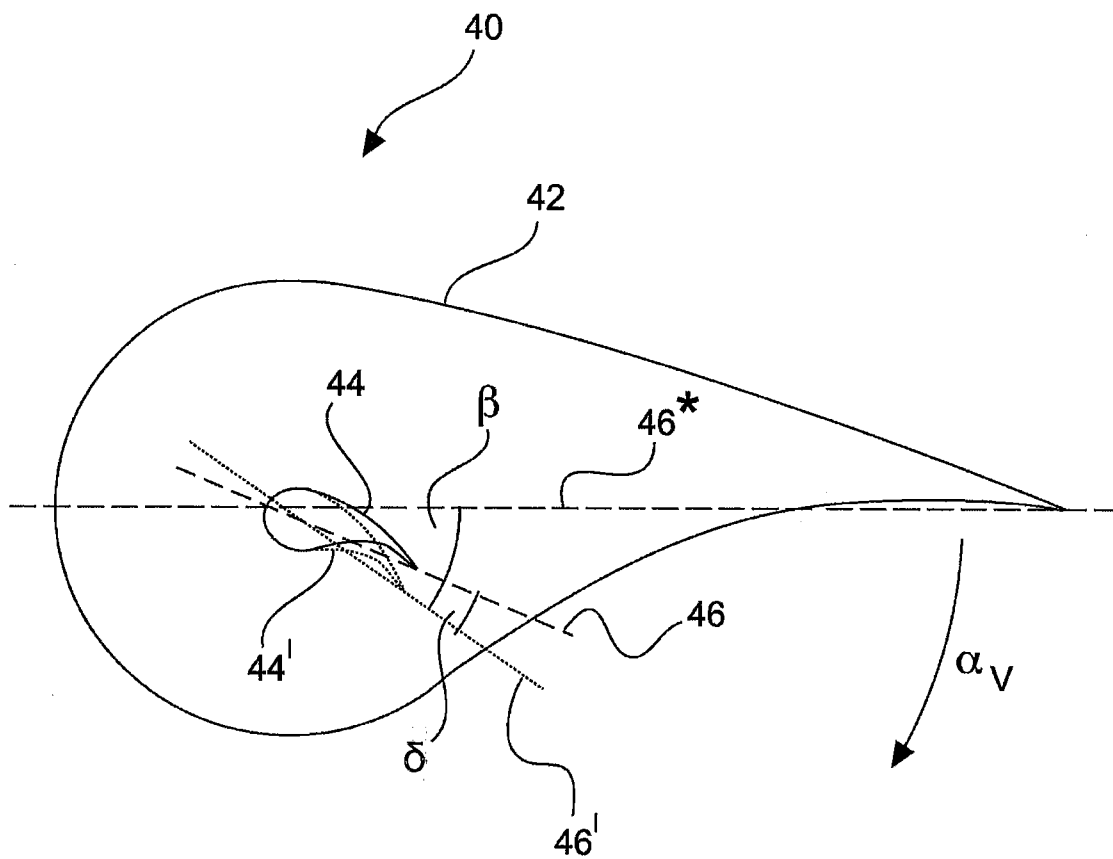


Fig. 4

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/077928

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F03D7/02  
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. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | EP 2 848 805 A1 (ALSTOM RENOVABLES ESPAÑA S L [ES]) 18 March 2015 (2015-03-18)<br>figure 2<br>paragraphs [0005], [0010] - [0013],<br>[0018], [0028]<br>----- | 1-13                  |
| X         | US 2014/084587 A1 (BEEKMANN ALFRED [DE])<br>27 March 2014 (2014-03-27)<br>figure 3<br>paragraphs [0009], [0011], [0013],<br>[0019], [0044] - [0047]<br>----- | 1-13                  |
| X         | US 2013/134711 A1 (SPRUCE CHRIS [GB])<br>30 May 2013 (2013-05-30)<br>figure 1<br>paragraphs [0009] - [0012], [0024] -<br>[0058]<br>-----<br>-/--             | 1-13                  |



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

6 February 2017

Date of mailing of the international search report

24/02/2017

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

Altmann, Thomas

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/077928

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                                                                           |                       |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                                            | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                        | Relevant to claim No. |
| X,P                                                  | EP 3 034 867 A1 (ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES [FR])<br>22 June 2016 (2016-06-22)<br>figures 1-4<br>paragraphs [0023], [0037], [0041],<br>[0042]<br>----- | 1-13                  |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/077928

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)    | Publication<br>date       |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| EP 2848805                                | A1                  | 18-03-2015                    | NONE                      |
| -----                                     |                     |                               |                           |
| US 2014084587                             | A1                  | 27-03-2014                    | AR 085773 A1 23-10-2013   |
|                                           |                     | AU 2012234441 A1 03-10-2013   |                           |
|                                           |                     | BR 112013024971 A2 20-12-2016 |                           |
|                                           |                     | CA 2829167 A1 04-10-2012      |                           |
|                                           |                     | CN 103459838 A 18-12-2013     |                           |
|                                           |                     | DE 102011006670 A1 04-10-2012 |                           |
|                                           |                     | DK 2694808 T3 09-01-2017      |                           |
|                                           |                     | EP 2694808 A2 12-02-2014      |                           |
|                                           |                     | EP 3135903 A1 01-03-2017      |                           |
|                                           |                     | HR P20161391 T1 02-12-2016    |                           |
|                                           |                     | JP 5799159 B2 21-10-2015      |                           |
|                                           |                     | JP 2014511968 A 19-05-2014    |                           |
|                                           |                     | KR 20130131472 A 03-12-2013   |                           |
|                                           |                     | NZ 615049 A 24-12-2015        |                           |
|                                           |                     | RU 2013148782 A 10-05-2015    |                           |
|                                           |                     | SI 2694808 T1 31-01-2017      |                           |
|                                           |                     | TW 201303151 A 16-01-2013     |                           |
|                                           |                     | TW 201540944 A 01-11-2015     |                           |
|                                           |                     | US 2014084587 A1 27-03-2014   |                           |
|                                           |                     | WO 2012130761 A2 04-10-2012   |                           |
| -----                                     |                     |                               |                           |
| US 2013134711                             | A1                  | 30-05-2013                    | CN 102906418 A 30-01-2013 |
|                                           |                     | DK 2556249 T3 01-08-2016      |                           |
|                                           |                     | EP 2556249 A2 13-02-2013      |                           |
|                                           |                     | GB 2479415 A 12-10-2011       |                           |
|                                           |                     | US 2013134711 A1 30-05-2013   |                           |
|                                           |                     | WO 2011124229 A2 13-10-2011   |                           |
| -----                                     |                     |                               |                           |
| EP 3034867                                | A1                  | 22-06-2016                    | EP 3034867 A1 22-06-2016  |
|                                           |                     | WO 2016097225 A1 23-06-2016   |                           |
| -----                                     |                     |                               |                           |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. F03D7/02  
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. |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X          | EP 2 848 805 A1 (ALSTOM RENOVABLES ESPAÑA S L [ES]) 18. März 2015 (2015-03-18)<br>Abbildung 2<br>Absätze [0005], [0010] - [0013], [0018], [0028]<br>----- | 1-13               |
| X          | US 2014/084587 A1 (BEEKMANN ALFRED [DE]) 27. März 2014 (2014-03-27)<br>Abbildung 3<br>Absätze [0009], [0011], [0013], [0019], [0044] - [0047]<br>-----    | 1-13               |
| X          | US 2013/134711 A1 (SPRUCE CHRIS [GB]) 30. Mai 2013 (2013-05-30)<br>Abbildung 1<br>Absätze [0009] - [0012], [0024] - [0058]<br>-----<br>-/-                | 1-13               |

☒ 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

6. Februar 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/02/2017

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

Altmann, Thomas

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |                                                                                                                                                          |                    |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Kategorie*                                            | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                       | Betr. Anspruch Nr. |
| X,P                                                   | EP 3 034 867 A1 (ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES [FR])<br>22. Juni 2016 (2016-06-22)<br>Abbildungen 1-4<br>Absätze [0023], [0037], [0041], [0042]<br>----- | 1-13               |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/077928

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 2848805                                         | A1                            | 18-03-2015                        | KEINE                         |
| US 2014084587                                      | A1                            | 27-03-2014                        | AR 085773 A1 23-10-2013       |
|                                                    |                               | AU 2012234441 A1                  | 03-10-2013                    |
|                                                    |                               | BR 112013024971 A2                | 20-12-2016                    |
|                                                    |                               | CA 2829167 A1                     | 04-10-2012                    |
|                                                    |                               | CN 103459838 A                    | 18-12-2013                    |
|                                                    |                               | DE 102011006670 A1                | 04-10-2012                    |
|                                                    |                               | DK 2694808 T3                     | 09-01-2017                    |
|                                                    |                               | EP 2694808 A2                     | 12-02-2014                    |
|                                                    |                               | EP 3135903 A1                     | 01-03-2017                    |
|                                                    |                               | HR P20161391 T1                   | 02-12-2016                    |
|                                                    |                               | JP 5799159 B2                     | 21-10-2015                    |
|                                                    |                               | JP 2014511968 A                   | 19-05-2014                    |
|                                                    |                               | KR 20130131472 A                  | 03-12-2013                    |
|                                                    |                               | NZ 615049 A                       | 24-12-2015                    |
|                                                    |                               | RU 2013148782 A                   | 10-05-2015                    |
|                                                    |                               | SI 2694808 T1                     | 31-01-2017                    |
|                                                    |                               | TW 201303151 A                    | 16-01-2013                    |
|                                                    |                               | TW 201540944 A                    | 01-11-2015                    |
|                                                    |                               | US 2014084587 A1                  | 27-03-2014                    |
|                                                    |                               | WO 2012130761 A2                  | 04-10-2012                    |
| US 2013134711                                      | A1                            | 30-05-2013                        | CN 102906418 A 30-01-2013     |
|                                                    |                               | DK 2556249 T3                     | 01-08-2016                    |
|                                                    |                               | EP 2556249 A2                     | 13-02-2013                    |
|                                                    |                               | GB 2479415 A                      | 12-10-2011                    |
|                                                    |                               | US 2013134711 A1                  | 30-05-2013                    |
|                                                    |                               | WO 2011124229 A2                  | 13-10-2011                    |
| EP 3034867                                         | A1                            | 22-06-2016                        | EP 3034867 A1 22-06-2016      |
|                                                    |                               | WO 2016097225 A1                  | 23-06-2016                    |