



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 197 31 918 B4** 2005.12.22

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **197 31 918.1**
(22) Anmeldetag: **25.07.1997**
(43) Offenlegungstag: **28.01.1999**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.12.2005**

(51) Int Cl.7: **F03D 7/00**
F03D 11/00, G01P 5/06, G01L 1/22

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(62) Teilung in:
197 58 857.3

(73) Patentinhaber:
Wobben, Aloys, Dipl.-Ing., 26607 Aurich, DE

(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

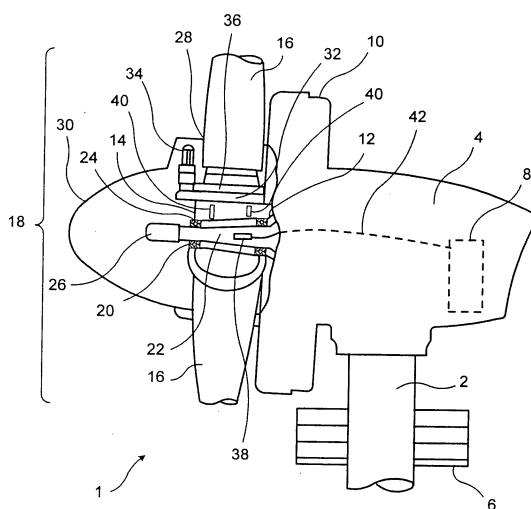
(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

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

DE 33 08 566 C2
DE 29 22 972 C2
DE 44 19 673 A1
DE 39 27 351 A1
DE 35 18 403 A1
DE 33 08 564 A1
DE 30 00 678 A1
DE 94 15 162 U1
DE-GM 66 01 042
TAUFFKIRCHEN, Wilhelm, BENEDIKTER,
Gerhard:
Betriebsbeanspruchungsmessung mit
Dehnungsmeßstreifen am Laufrad einer
Kaplanturbine. In: Messtechnische Briefe 22,
1986, H.2, S.25-29;
Hau, Erich: Windkraftanlagen, Springer-Verlag
2. Aufl., 1996, S. 52, 175, 222-242, 269, 320;

(54) Bezeichnung: **Windenergieanlage**

(57) Hauptanspruch: Windenergieanlage (1) mit einem Rotor (18) mit einer Rotornabe (14) mit mindestens zwei um die Längsachse verdrehbaren Rotorblättern (16), mit einer Verstellvorrichtung (34, 36) zur individuellen Verstellung eines Rotorblattes auf einen gewünschten Blatteinstellwinkel und einem Generator, welcher in Wirkverbindung mit dem Rotor steht, wobei eine Antriebswelle vorgesehen ist, die den Rotor (18) und den Generator direkt oder über ein Getriebe verbindet, dadurch gekennzeichnet, dass Messmittel (38, 40) vorgesehen sind, die eine an der Antriebswelle vorherrschende Last ermitteln, dass Steuermittel (8) vorgesehen sind, die eine für die Verringerung der momentanen Belastung gewünschte Blattwinkelstellung mindestens eines Rotorblattes (16) ermitteln und das Rotorblatt (16) mit Hilfe der Verstellvorrichtung (34, 35) unabhängig von der Blattwinkleinstellung des anderen Rotorblattes oder der anderen Rotorblätter entsprechend auf die gewünschte Blattwinkelstellung verstellen und dass die Verstellvorrichtung (34, 36) und die Messmittel mit dem Steuermittel (8) verbunden sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Derartige Windenergieanlagen gehören zum Stand der Technik. So zeigt z.B. das deutsche Fachbuch "Windkraftanlagen" von Erich Hau, Springer-Verlag, 2. Aufl., 1996, Seiten 52, 175, 222 bis 242, 269, 320 derartige Windenergieanlagen. Bei diesen bekannten Windenergieanlagen lässt sich mit Hilfe einer Rotorblatteinstellwinkelregelung die Rotordrehzahl und die Leistungsabgabe regeln. Darüber hinaus dient die bekannte Rotorblatteinstellwinkelregelung dem Schutz gegen Überdrehzahl des Rotors bei hohen Windgeschwindigkeiten oder bei einem Netzausfall, bei dem das Generatormoment plötzlich wegfällt. In beiden Fällen geht es darum, die Windenergieanlage gegen Zerstörung durch einen zu hoch drehenden Rotor zu schützen.

[0003] Dabei gibt es im wesentlichen zwei Wege, mit Hilfe der Blattverstellung eine Reduzierung der Rotordrehzahl herbeizuführen: zum einen lässt sich der Blatteinstellwinkel in Richtung kleinerer aerodynamischer Anstellwinkel reduzieren, um somit die Leistungsaufnahme des Rotors zu reduzieren. Andererseits ist es möglich, durch die Verstellung des Rotorblatteinstellwinkels zu größeren Einstellwinkeln den kritischen aerodynamischen Anstellwinkel, den sogenannten Stall-Zustand zu erreichen. Letztere Möglichkeit bietet den Vorteil der Verstellung auf kürzerem Weg, bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass der Strömungsabriss (Stall) mit hohen Belastungen für den Rotor und die gesamte Windenergieanlage verbunden ist. Beiden Einstellmöglichkeiten ist jedoch gemeinsam, dass sie nur eine mittlere, auf die gesamte Windenergieanlage einwirkende Windgeschwindigkeit bzw. eine bestimmte Grenztotordrehzahl als Startsignal zur Blattwinkeleinstellung berücksichtigen.

[0004] Eine bekannte Windenergieanlage ist in der DE 30 00 678 A1 offenbart. Gemäß dieser Druckschrift wird die Windenergie in der Rotorebene von Windkraftanlagen mit Hilfe von Drucksonden gemessen, die an der Oberfläche der Rotorblätter in der Nähe der Profilnase angebracht sind. Bei dieser Druckschrift werden die so ermittelten Messwerte unter anderem dazu verwendet, die Rotorebene einer Windenergieanlage solange zu schwenken, bis die Messwerte für eine Rotorstellung von 90° und von 270° gleich sind.

[0005] Die vorgenannten Möglichkeiten des Standes der Technik berücksichtigen nicht, dass es insbesondere bei einem großen Rotordurchmesser zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Windverhältnis-

se über die Rotorfläche kommen kann. Dies hat wiederum unterschiedliche Belastungen auf einzelne Rotorblätter, sowie asymmetrische Belastungen für den Antriebsstrang der Windenergieanlage, d.h. die Nabe, die Antriebswelle und die jeweiligen Lager zur Folge. Derartige unterschiedliche asymmetrische Belastungen treten jedoch nicht nur erst ab einer bestimmten Rotordrehzahl oder einer bestimmten Windgeschwindigkeit auf, sondern finden ständig auch während der normalen Nennwindgeschwindigkeit der Windenergieanlage statt. Die bisher aus dem Stand der Technik bekannte Blattwinkelregelung kann daher nicht auf Windgeschwindigkeitsschwankungen und damit verbundene Lastschwankungen im Rotorbereich reagieren, da bei den bekannten Anlagen eine einheitliche, synchrone Verstellung der Rotorblätter stattfindet.

[0006] Bei neueren Anlagen (siehe insbesondere S. 238 des oben genannten Fachbuches) ist zwar zum einen eine individuelle elektrische Verstellung jedes einzelnen Rotorblattes vorgeschlagen worden; jedoch findet auch dieser Vorschlag unter der Annahme einer mittleren Windgeschwindigkeit statt, die auf die Windenergieanlage einwirkt. Mit dieser und der weiteren Annahme, dass die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, wird dann eine feste, umlaufzyklische Korrektur des Rotorblatteinstellwinkels vorgeschlagen, um die Wechsellasten auf der Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe zumindest teilweise ausregeln zu können. Auch bei dieser Rotorblatteinstelltechnik ist es nachteilig, dass der Einstellwinkel der Rotorblätter fest vorgegeben ist und daher nicht auf lokale und vorübergehende Änderungen der Windgeschwindigkeit in einem Teilbereich des Rotors reagieren kann. Auch bei diesem Vorschlag findet daher bei lokalen Spitzen in der Windgeschwindigkeit eine asymmetrische und somit lebensdauerverkürzende Belastung der Bestandteile der Windenergieanlage statt.

Aufgabenstellung

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die oben genannten Probleme zu vermeiden und eine Windenergieanlage zur Verfügung zu stellen, bei der die Belastungen reduziert werden, die aufgrund lokaler und vorübergehender Spitzen in der Windgeschwindigkeit in Teilbereichen der Rotorfläche auftreten können.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Windenergieanlage gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0009] Durch die erfindungsgemäße Windenergieanlage wird es ermöglicht, mit Hilfe der Verstellvorrichtung zur individuellen Verstellung eines Rotorblattes die Windenergieanlage auf momentane, nur an einem Teil der Windenergieanlage lokal anliegende Beanspruchungen, von den Messmitteln ermittelt, mit

Hilfe der Steuermittel abzustimmen. Somit wird vorteilhaft erreicht, dass lokale Spitzen in der Belastung der Rotorblätter, der Nabe, des Achsantriebs und der verwendeten Lager vermieden werden. Dies hat wiederum zur Folge, dass die Lebensdauer der Windenergieanlage heraufgesetzt wird, da asymmetrische und die Lebensdauer verkürzende Beanspruchungen von Teilen der Windenergieanlage weitgehend vermieden werden.

[0010] Darüber hinaus ermöglicht es die erfindungsgemäße Windenergieanlage die momentane Verteilung der Windgeschwindigkeiten auf der Rotorfläche optimal auszunützen und daher zu einer erhöhten Leistungsausbeute der Windenergieanlage beizutragen, da alle Rotorblätter immer mit dem gewünschten und somit optimalen Blattwinkel gefahren werden und daher der Wirkungsgrad pro Rotorblatt gegenüber dem Wirkungsgrad der Windenergieanlagen aus dem Stand der Technik ansteigt.

[0011] Besonders bevorzugt ist es, dass die Stellung des Rotorblattes oder der Rotorblätter ununterbrochen der momentanen Beanspruchung der Windenergieanlage angepasst wird. Auf diese Art und Weise lässt sich sicherstellen, dass die Windenergieanlage kontinuierlich im optimalen Arbeitsbereich gefahren wird und gleichzeitig vor Belastungsspitzen, ausgelöst durch lokal im Rotorbereich vorhandene Spitzen in der Windgeschwindigkeit, geschützt ist.

[0012] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ermitteln die Meßmittel zur Ermittlung der lokalen Beanspruchung eines Rotorblattes eine am Rotorblatt vorherrschende Windgeschwindigkeit. Zu diesem Zweck weisen die Meßmittel bevorzugt ein auf dem Rotorblatt angebrachtes Anemometer auf. Dadurch, daß das Anemometer direkt auf dem Rotorblatt angeordnet ist, ist eine sehr präzise Steuerung der Winkelstellung des Rotorblattes als Reaktion auf eine erhöhte oder niedrigere Windgeschwindigkeit möglich. Denn durch die Messung der Windgeschwindigkeit direkt an dem Ort, an dem auch eine Verstellung der Windenergieanlage stattfindet, nämlich direkt am zu verstellenden Rotorblatt, ist eine schnelle und genaue Anpassung der Rotorblattwinkelstellung an lokale Veränderungen der Windgeschwindigkeit möglich.

[0013] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß die Meßmittel eine in einem Teilabschnitt des Rotorbereichs vorherrschende mechanische Last ermitteln. Bei dieser Ausführungsform wird durch die direkte Ermittlung der in einem Teilabschnitt des Rotors anliegenden mechanischen Belastung den Steuermitteln eine präzise Information gegeben, mit deren Hilfe sie unter Berücksichtigung der vorgegebenen Geometrie-, Last- und/oder Materialdaten eine gewünschte Stellung mindestens eines verstellbaren Rotorblattes ermit-

teln können.

[0014] Besonders vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist es, wenn die Meßmittel eine in dem verstellbaren Rotorblatt vorherrschende mechanische Last ermitteln. Denn indem die Last direkt im Rotorblatt ermittelt wird, kann ähnlich wie bei der oben genannten direkten Ermittlung der Windgeschwindigkeit am Rotorblatt, eine sehr präzise Information über das Windstärkenprofil über der Rotorfläche gewonnen werden. Mit einer derart genauen Information sind die Steuermittel dann in der Lage, eine besonders genaue Reaktion der Verstellvorrichtung zu steuern, so daß eine vorhandene Lastspitze in einem Teilabschnitt des Rotors sehr schnell abgebaut werden kann.

[0015] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung mit einer Rotornabe zur Aufnahme der Rotorblätter weist Meßmittel auf, die eine in der Rotornabe vorhandene mechanische Last messen. Auch bei dieser Ausführungsform läßt sich eine schnelle Anpassung der Rotorblätter an die veränderte Lastsituation vornehmen. Gleiches gilt für Ausführungsformen mit einem Achszapfen zur Lagerung des Rotors, bei dem die Meßmittel eine in dem Achszapfen vorherrschende Last ermitteln und bei einer Windenergieanlage mit einer Antriebswelle, die Rotor und Generator unmittelbar oder über ein Getriebe miteinander verbindet, bei der die Meßmittel eine in der Antriebswelle oder in den Lagern der Antriebswelle oder des Achszapfens vorherrschende Last ermitteln. Alle vorgenannten Ausführungsformen ermöglichen eine genaue Bestimmung der lokalen Lastverhältnisse im Rotorbereich und somit eine genaue Steuerung der Verstellvorrichtung mittels der Steuermittel. Dabei ist es besonders bevorzugt, daß die Meßmittel zur Messung der mechanischen Last Dehnungstreifen aufweisen, die an den jeweiligen belasteten Teilen der Windenergieanlage angebracht sind. Das heißt, die Dehnungstreifen können auf dem Rotorblatt, im Innern des Rotorblattes, auf der Rotornabe oder im Innern der Rotornabe, auf dem Achszapfen oder im Innern des Achszapfens, auf der Antriebswelle oder im Innern der Antriebswelle oder an den Lagern angebracht sein. In allen vorgenannten Anbringungsvarianten ist eine einfache Bestimmung der vorhandenen mechanischen Belastung und somit die erfindungsgemäße individuelle Verstellung des Rotorblattes möglich.

[0016] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung weist Meßmittel auf, die einen an dem zu verstellenden Rotorblatt vorherrschenden Anströmwinkel des Windes ermitteln. Dadurch ist es vorteilhaft möglich, auch die Windrichtung des anströmenden Windes relativ zum zu verstellenden Rotorblatt zu bestimmen. Mit Hilfe dieses Meßwertes können die Steuermittel auch auf eine in einem Teilbereich des Rotors vorhandene Windrichtungsände-

nung reagieren.

[0017] Insbesondere in Verbindung mit den oben genannten Lastmeßmitteln erhalten die Steuermittel ein sehr genaues Bild über die momentanen Windverhältnisse über der Rotorfläche: durch die Lastmeßmittel können die Steuermittel eine absolut vorhandene Last berücksichtigen und durch die Meßmittel zur Bestimmung des Anströmwinkels kann darüber hinaus auch – unter Berücksichtigung der tatsächlichen Rotorblattstellung – eine genaue Bestimmung der Größe des zu verstellenden Winkels vorgenommen werden. Eine genaue Anpassung bei sich rasch ändernden Windverhältnissen ist somit durch die kombinierte Anwendung von Anströmwinkelmessung und Lastmessung in den Rotorblättern vorteilhaft sichergestellt. Dabei ist es besonders bevorzugt, die Messung des Anströmwinkels durch eine am Rotorblatt angebrachte Windfahne vorzunehmen.

[0018] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß ein Teilabschnitt eines Rotorblattes asynchron zu mindestens einem weiteren verstellbaren Teilabschnitt eines anderen Rotorblattes verstellbar ist. Somit läßt sich insbesondere bei großen Rotordurchmessern der konstruktive Aufwand verringern, indem bevorzugt der äußere Teilabschnitt des Rotorblattes, da sich die Leistungserzeugung des Rotors weitgehend auf den äußeren Blattbereich konzentriert, verstellbar ausgeführt wird.

[0019] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung läßt sich die für eine bestimmte momentane Beanspruchung gewünschte Stellung des oder der Rotorblätter über mit den Steuermitteln verbundene Eingabemittel vorgeben. Auf diese Art und Weise kann die erfindungsgemäße Windenergieanlage vor Ort nach dem Aufstellen an gegebenenfalls unvorhergesehene Windverhältnisse oder nach einer Reparatur an geänderte Materialstärken oder an geänderte Rotorblattprofile angepaßt werden.

[0020] Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, den Ist-Wert der Rotorblattwinkelstellung von einem Verstellgetriebe abzugreifen, welches zusammen mit einem Verstellmotor die Verstellvorrichtung bildet. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Steuermittel die Verstellung des Rotorblattes praktisch gleichzeitig mit der Erfassung der Meßwerte aus den Dehnungsstreifen, dem Anemometer oder der Windfahne nach Abgleich mit dem Ist-Wert des Verstellgetriebes mittels des Verstellmotors vornehmen. Durch eine solche instantane Reaktion auf Belastungsänderungen im Bereich der Rotorblätter ist eine wirksame Vermeidung von schädlichen Belastungen oder einseitigen Belastungen des Rotors gewährleistet.

[0021] Ein vorteilhaftes Verfahren zur Anpassung

einer Windenergieanlage an nur in einem lokalen Teilabschnitt der Windenergieanlage vorherrschende momentane Beanspruchungen zeichnet sich dadurch aus, daß von Meßmitteln die momentane Belastung eines Teils der Windenergieanlage erfaßt wird und von Steuermitteln eine für die momentane Beanspruchung gewünschte Stellung mindestens eines der Rotorblätter ermittelt wird und daß entsprechend der Rotorblatt mit Hilfe der Verstellvorrichtung entsprechend verstellt wird, wobei die Verstellvorrichtung und die Meßmittel mit den Steuermitteln mit Hilfe von Verbindungsmitteln verbunden sind. Durch dieses einfache Verfahren läßt sich eine wirksame Erhöhung von Lebensdauer und Effizienz der erfindungsgemäßen Windenergieanlage erzielen.

[0022] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Ausführungsbeispiel

[0023] Eine Ausführungsform der Erfindung wird nunmehr mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0024] [Fig. 1](#) ein teilweiser Schnitt durch eine erfindungsgemäße Windenergieanlage ist;

[0025] [Fig. 2](#) eine Frontalansicht auf eine erfindungsgemäße Windenergieanlage ist; und

[0026] [Fig. 3](#) ein Blockschaltbild, welches die Steuerung des verstellbaren Rotorblattes bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0027] Die [Fig. 1](#) zeigt eine Windenergieanlage **1** in einem teilweisen Schnitt. Die Windenergieanlage **1** ruht auf einem (nur teilweise dargestellten) Turm **2**. Am oberen Ende des Turmes **2** ist ein Gehäuse **4** auf den Turm aufgesetzt. Unterhalb des Gehäuses **4** liegt eine am Turm angebrachte Wartungsplattform **6**. Das Gehäuse **4** weist in seinem (in der Zeichnung geschlossenen, rechts dargestellten) hinteren Teil einen (nicht dargestellten) Generator und ein gestrichelt dargestelltes Steuergerät **8** auf. Der Generator befindet sich hinter einer Auswölbung **10** des Gehäuses **4** und ist über Verbindungselemente **12** mit seinem (nicht dargestellten) Läufer an der Rotornabe **14** angeflanscht. Die Rotornabe **14** und die (nur teilweise dargestellten) Rotorblätter **16** bilden zusammen den Rotor **18**. Der Rotor **18** ist mit seiner Rotornabe **14** über Lager **20** auf einem Achszapfen **22** gelagert. Der Achszapfen **22** ragt durch eine in der Rotornabe **14** vorgesehene Öffnung **24** durch die Rotornabe **14** hindurch. Der Achszapfen **22** ist turmseitig innerhalb des Gehäuses **4** mit dem Turm **2** verbunden. Von dem im wesentlichen vertikal aufzustellenden Turm **2** ragt der Achszapfen **22** gegenüber der Horizontalen leicht nach oben gekippt ab. Der Achszapfen **22** ist mit dem (nicht dargestellten) Stator des Generators

verbunden und ragt durch den Läufer des Generators und durch die Öffnung **24** der Rotornabe **14** hindurch und wird nach seinem Austritt aus der Öffnung **24** auf der von dem Turm **2** abgewandten Seite des Rotors **18** von einem Abschlußstück **26** abgeschlossen.

[0028] Wiederum senkrecht zur Achse des Achszapfens **22** erstrecken sich die Rotorblätter **16** nach außen. Dabei treten die Rotorblätter **16** durch Öffnungen **28** im Vordergehäuse **30** hindurch. Das Vordergehäuse **30** ist beweglich gegenüber dem fest mit dem Turm **2** verbunden Gehäuse **4** und fest mit der Nabe **14** verbunden.

[0029] Die Rotorblätter **16** sind über eine Flanschverbindung mit der Rotornabe **14** drehbar um ihre Längsachse verbunden. Ein Verstellmotor **34** ist an der Flanschverbindung **32** angebracht und verstellt über ein Verstellgetriebe **36** das Rotorblatt **16**. Der Verstellmotor **34** und das Verstellgetriebe **36** sind über elektrische (in [Fig. 3](#) dargestellte) Verbindungen **50** bzw. **46** mit dem Steuergerät **8** verbunden. Das Vordergehäuse **30** umschließt die Rotornabe **14** mit den Lagern **20**, der Flanschverbindung **32**, dem Verstellmotor **34** und dem Verstellgetriebe **36** wetterdicht. Das Vordergehäuse **30** weist eine im Querschnitt im wesentlichen halbkugelförmige Form auf.

[0030] An dem Achszapfen **22** befinden sich Dehnungstreifen **38**. An der Rotornabe **14** befinden sich Dehnungstreifen **40**. Die Dehnungstreifen **38** sind über eine elektrische Verbindung **42** mit dem Steuergerät **8** verbunden. Die Dehnungstreifen **40** sind über eine (in [Fig. 3](#) dargestellte) elektrische Verbindung **48** mit dem Steuergerät **8** verbunden.

[0031] Die [Fig. 2](#) zeigt Teile der Windenergieanlage **1** der [Fig. 1](#) von der Rotorseite her gesehen. [Fig. 2](#) zeigt den Turm **2** mit der an seiner Spitze angebrachten Rotornabe **14**. Von der Rotornabe **14** gehen sternförmig drei Rotorblätter **16** aus. Die Rotorblätter **16** sind über die Flanschverbindungen **32** mit der Rotornabe **14** verbunden. Zur Verdeutlichung der Darstellung sind das Vordergehäuse **30**, der Verstellmotor **34**, das Verstellgetriebe **36**, der Achszapfen **22**, die Öffnung **24** und das Abschlußstück **26** aus der [Fig. 1](#) nicht dargestellt.

[0032] An den Rotorblättern **16** sind Windfahnen **44** zur Messung des Anströmwinkels des auf die Rotorblätter **16** treffenden Windes angebracht. Die Windfahnen **44** sind über eine (in [Fig. 3](#) dargestellte) elektrische Verbindung **52** mit dem Steuergerät **8** ([Fig. 1](#)) verbunden.

[0033] Anhand des Blockschaltbildes der [Fig. 3](#) wird im folgenden die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Windenergieanlage beschrieben.

[0034] Während des Betriebes der Windenergiean-

lage **1** rotiert der Rotor **18** um die Achse des Achszapfens **22**. Dabei weisen die Rotorblätter **16** eine bestimmte, mit Hilfe des Steuergerätes **8**, des Verstellmotors **34** und des Verstellgetriebes **36** vorgegebene Winkelstellung relativ zur Ebene, in der die Rotorblätter **16** rotieren, der Rotorebene auf. Der momentane Winkel α_{momentan} der Rotorblätter **16** relativ zur Rotorebene wird dem Steuergerät **8** von dem Verstellgetriebe **36** als Istwert der momentanen Stellung des Rotorblattes **16** über eine elektrische Verbindung **46** übermittelt. Gleichzeitig erhält das Steuergerät **8** von den Dehnungstreifen **38**, die an dem Achszapfen **22** befestigt sind, Meßwerte über die momentane Belastung des Achszapfens **22** über die Leitung **42** ("Lastsignal Achszapfen" der [Fig. 3](#)). Ebenfalls gleichzeitig mit der Übermittlung des momentanen Stellwinkels der Rotorblätter **16** erhält das Steuergerät **8** von den Dehnungstreifen **40** auf der Rotornabe über die Leitung **48** Meßwerte über die aktuelle Belastung der Rotornabe **14** ("Lastsignal Nabe" der [Fig. 3](#)). Stellt das Steuergerät **8** mit Hilfe der Dehnungstreifen **38**, **40** eine einseitige Belastung des Rotors fest, so gibt das Steuergerät **8** unter Berücksichtigung des momentanen Stellwinkels α_{momentan} der Rotorblätter **36** und des momentanen, von der Windfahne **44** ermittelten Anströmwinkels β ein Signal α_{neu} über die Leitung **50** an den Verstellmotor **34** zur Verstellung des entsprechenden Rotorblattes **16** um die Differenz $\alpha_{\text{neu}} - \alpha_{\text{momentan}}$. Dadurch daß das Steuergerät **8** kontinuierlich die Meßwerte der Dehnungstreifen **38** und **40** erhält und quasi instantan unter Berücksichtigung des ebenfalls ständig über die Leitung **52** an das Steuergerät **8** übermittelten Anströmwinkels β den Arbeitsbefehl an den Verstellmotor **34** zur Einstellung eines neuen Winkels der Rotorblätter **16** herausgibt, findet on-line mit einer Änderung der Lastverhältnisse im Bereich des Rotors eine Anpassung der Stellung der Rotorblätter **16** statt und somit ein on-line-Ausgleich unsymmetrischer Belastungen des Rotors **18**.

[0035] Alternativ zu der Messung der momentanen Beanspruchung der Windenergieanlage durch Dehnungstreifen an Rotornabe und Achszapfen ist auch eine Belastungsmessung direkt an den Rotorblättern durch entsprechende Dehnungstreifen denkbar.

[0036] Abschließend sei festgehalten, daß die verschiedenen Signale (das heißt "Lastsignal Nabe" **40**, "Lastsignal Achszapfen" **38**, "momentaner Winkel α_{momentan} " **46** und "Anströmwinkel β " **53**), die zur Ermittlung des idealen Blattwinkels herangezogen werden, entweder gemeinsam oder auch alternativ verwendet werden können.

Patentansprüche

1. Windenergieanlage (**1**) mit einem Rotor (**18**) mit einer Rotornabe (**14**) mit mindestens zwei um die Längsachse verdrehbaren Rotorblättern (**16**), mit ei-

ner Verstelleinrichtung (**34, 36**) zur individuellen Verstellung eines Rotorblattes auf einen gewünschten Blatteinstellwinkel und einem Generator, welcher in Wirkverbindung mit dem Rotor steht, wobei eine Antriebswelle vorgesehen ist, die den Rotor (**18**) und den Generator direkt oder über ein Getriebe verbindet, **dadurch gekennzeichnet**, dass Messmittel (**38, 40**) vorgesehen sind, die eine an der Antriebswelle vorherrschende Last ermitteln, dass Steuermittel (**8**) vorgesehen sind, die eine für die Verringerung der momentanen Belastung gewünschte Blattwinkelstellung mindestens eines Rotorblattes (**16**) ermitteln und das Rotorblatt (**16**) mit Hilfe der Verstellvorrichtung (**34, 35**) unabhängig von der Blattwinkleinstellung des anderen Rotorblattes oder der anderen Rotorblätter entsprechend auf die gewünschte Blattwinkelstellung verstellen und dass die Verstellvorrichtung (**34, 36**) und die Messmittel mit dem Steuermittel (**8**) verbunden sind.

2. Windenergieanlage (**1**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellung des Rotorblattes (**16**) oder der Rotorblätter (**16**) ständig der momentanen Beanspruchung der Windenergieanlage (**1**) angepasst wird.

3. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) zur Ermittlung der Beanspruchung des Rotorblattes (**16**) eine am Rotorblatt (**16**) vorherrschende Windgeschwindigkeit ermitteln.

4. Windenergieanlage (**1**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) zur Messung der Windgeschwindigkeit ein Anemometer aufweisen.

5. Windenergieanlage (**1**) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Anemometer auf dem Rotorblatt (**16**) angeordnet ist.

6. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) eine in einem Teilbereich des Rotors (**18**) vorherrschende mechanische Last ermitteln.

7. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) eine in einem verstellbaren Teilabschnitt des Rotors (**18**) vorherrschende Last ermitteln.

8. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) eine in dem verstellbaren Rotorblatt (**16**) vorherrschende Last ermitteln.

9. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einer Rotornabe (**14**), da-

durch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) eine in der Rotornabe (**14**) vorherrschende Last ermitteln.

10. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Achszapfen (**22**) zur Lagerung des Rotors (**18**), dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) eine in dem Achszapfen (**22**) vorherrschende Last ermitteln.

11. Windenergieanlage (**1**) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) zur Messung der Last Dehnungsstreifen (**38, 40**) aufweisen.

12. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) einen an dem zu verstellenden Rotorblatt (**16**) vorherrschenden Anströmwinkel des Windes ermitteln.

13. Windenergieanlage (**1**) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (**38, 40**) zur Messung des Anströmwinkels eine an dem Rotorblatt (**16**) angebrachte Windfahne (**44**) aufweisen.

14. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teilabschnitt mindestens eines Rotorblattes (**16**) asynchron zu mindestens einem weiteren verstellbaren Teilabschnitt desselben Rotorblattes (**16**) oder zu dem oder den anderen Rotorblättern (**16**) oder deren Teilabschnitten verstellbar ist.

15. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die für eine bestimmte momentane Beanspruchung gewünschte Stellung des oder der Rotorblätter (**16**) über mit den Steuermitteln (**8**) verbundene Eingabemittel vorgeben lässt.

16. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstellvorrichtung (**34, 36**) zur Verstellung des Rotorblattes (**16**) einen Verstellmotor (**34**) und ein von diesem angetriebenes Verstellgetriebe (**36**) aufweist, wobei die Steuermittel (**8**) von dem Verstellgetriebe (**36**) einen Istwert über die momentane Stellung des Rotorblattes (**16**) erhalten und über den Verstellmotor (**34**) das Rotorblatt (**16**) verstellen.

17. Windenergieanlage (**1**) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuermittel (**8**) die Verstellung des Rotorblattes (**16**) quasi gleichzeitig mit der Erfassung der Messwerte vornehmen.

18. Windenergieanlage (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Windenergieanlage (**1**) vom Horizon-

talachsentyp ist.

19. Windenergieanlage (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (18) ein Luvläufer ist.

20. Windenergieanlage (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (38, 40) auf und/oder in der Rortornabe (14) angeordnet sind.

21. Windenergieanlage (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (38, 40) auf oder in einem Achszapfen (22) angeordnet sind.

22. Windenergieanlage (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (38, 40) auf oder in einer Antriebswelle des Rotors (18) angeordnet sind.

23. Windenergieanlage (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messmittel (38, 40) an Lagern (20) des Rotors (18) angeordnet sind.

24. Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die momentane mechanische Belastung eines Teils der Windenergieanlage (1) durch im Bereich der Rortornabe (14) angeordnete Messmittel (38, 40) ermittelt wird, von Steuermitteln (8) eine für die Verringerung der momentanen Beanspruchung gewünschte Blattwinkelstellung oder Veränderung der momentanen Blattwinkelstellung mindestens eines Rotorblattes ermittelt wird und zur Verringerung der momentanen Beanspruchung das entsprechende Rotorblatt asynchron zu dem anderen Rotorblatt oder den anderen Rotorblättern auf den gewünschten Blattwinkel eingestellt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

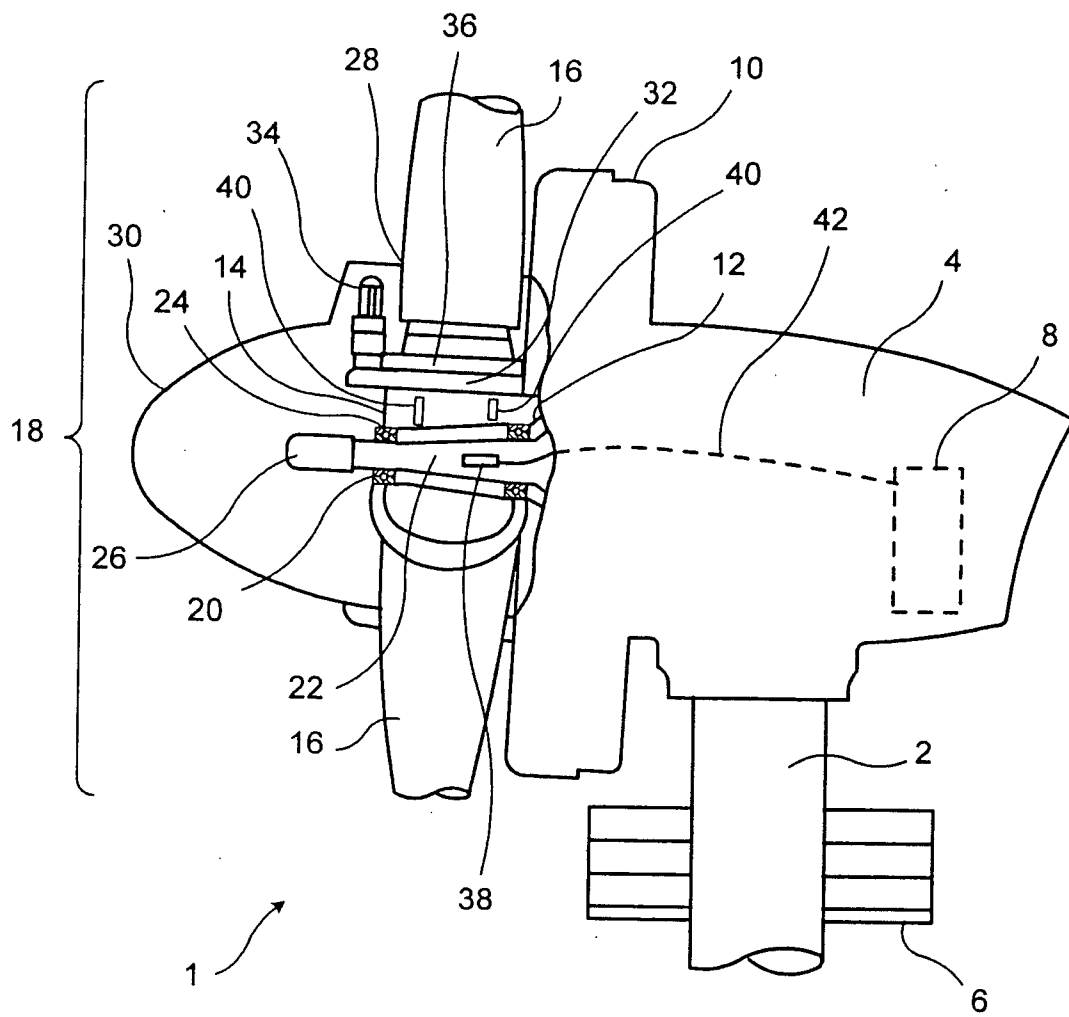


FIG. 1

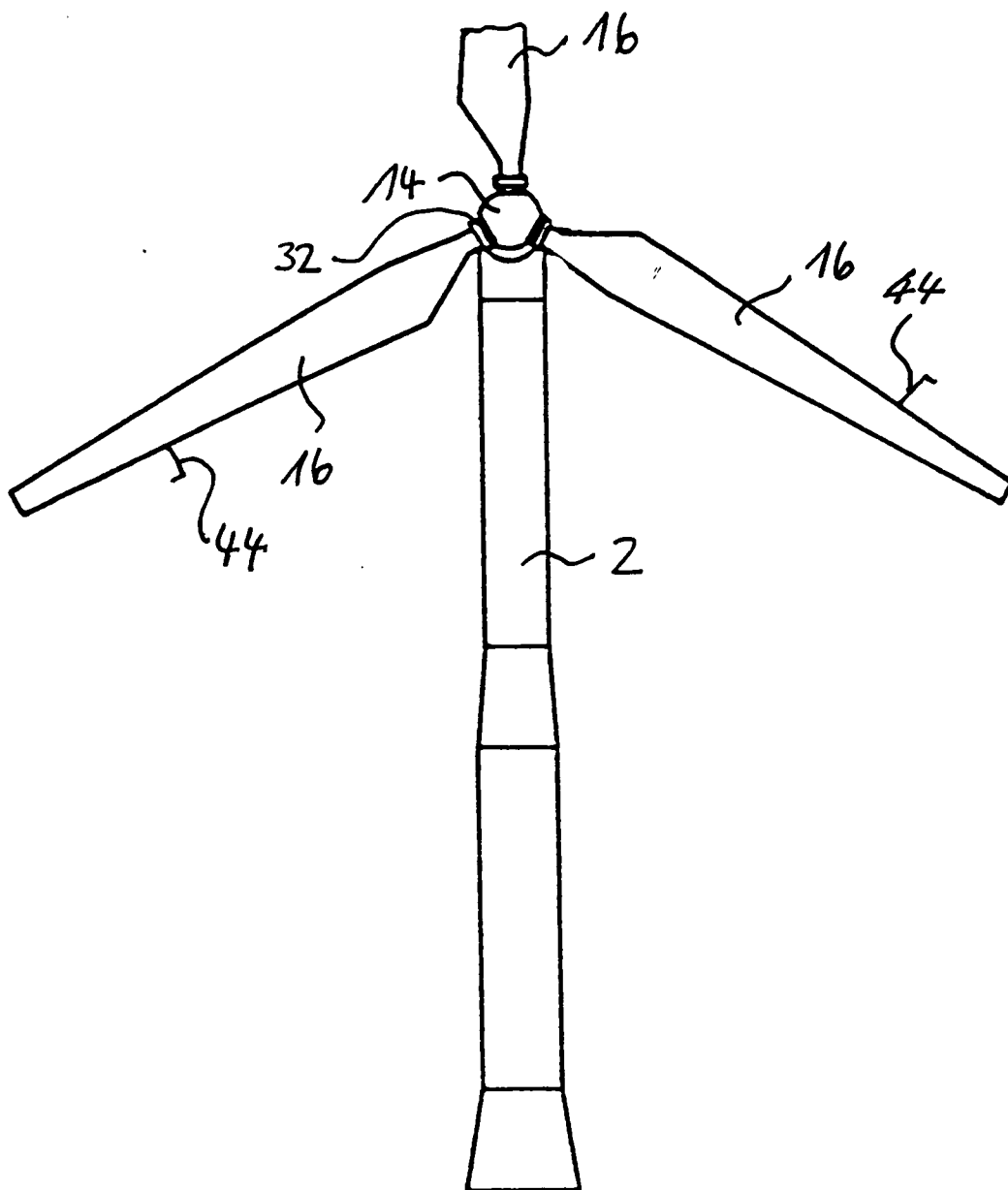


Fig. 2

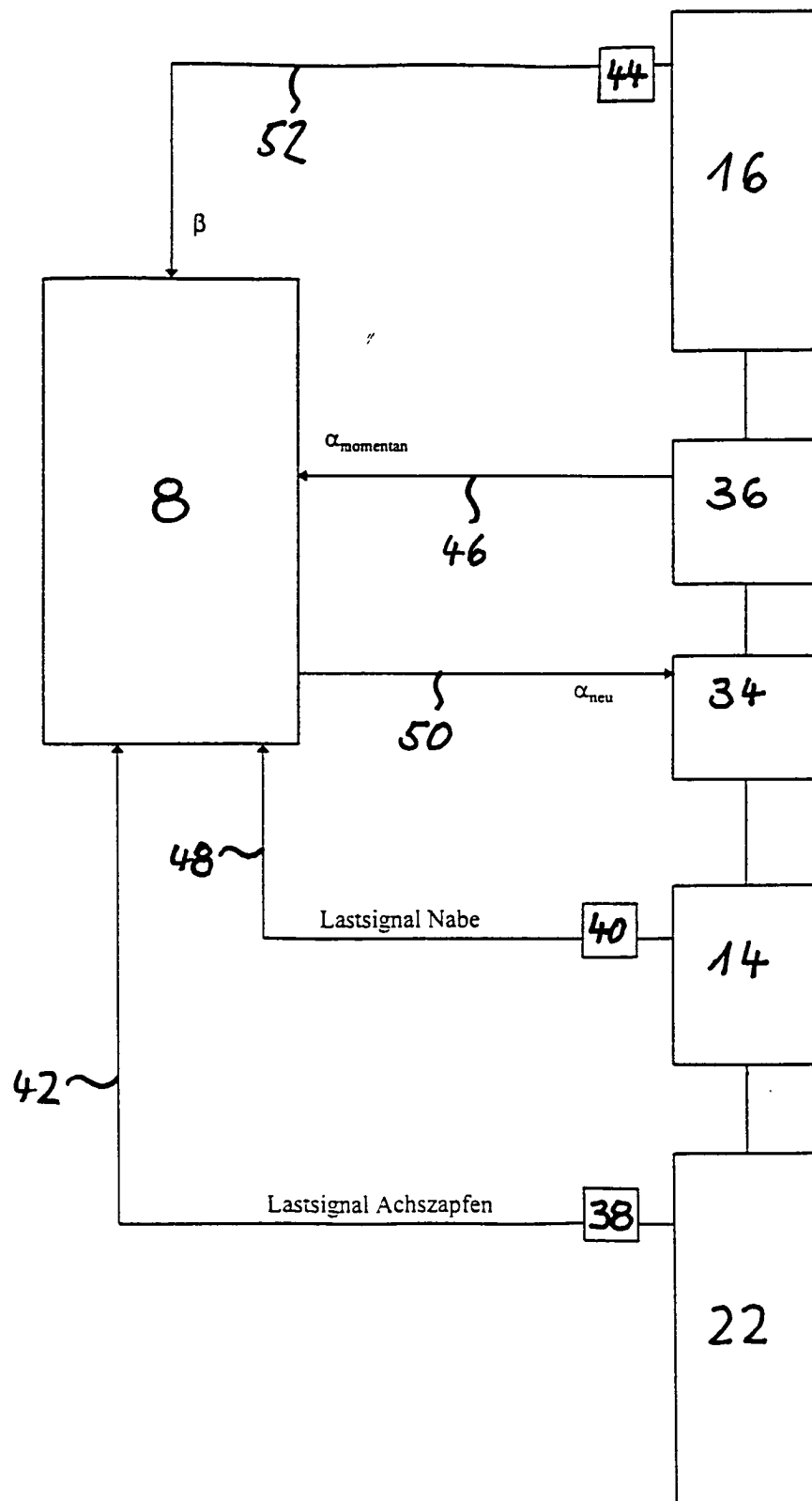


Fig. 3