



(10) **DE 10 2016 002 006 A1** 2017.05.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 002 006.7**

(22) Anmeldetag: **19.02.2016**

(43) Offenlegungstag: **24.05.2017**

(51) Int Cl.: **F03D 7/02 (2006.01)**

F03D 80/00 (2016.01)

(66) Innere Priorität:

10 2015 015 070.7 20.11.2015

(71) Anmelder:

**Liebherr-Components Biberach GmbH, 88400
Biberach, DE**

(74) Vertreter:

**Lorenz Seidler Gossel Rechtsanwälte
Patentanwälte Partnerschaft mbB, 80538
München, DE**

(72) Erfinder:

**Müller, Johannes, 86647 Buttenwiesen, DE; Dahl,
Martin, Wettingen, CH; Wennheller, Oliver, 88299
Leutkirch, DE; Christ, Clemens, 88400 Biberach,
DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

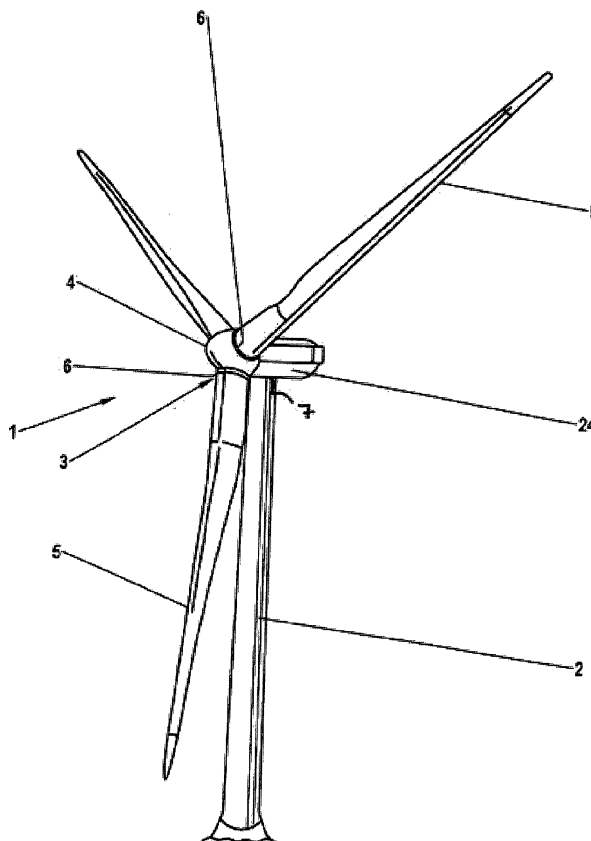
DE	10 2008 013 864	B4
DE	10 2007 049 368	A1
DE	10 2013 207 322	A1
US	2007 / 0 158 926	A1
EP	2 290 230	B1
EP	3 018 344	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verstelleinheit, Windkraftanlage mit einer solchen Verstelleinheit und Verfahren zum Steuern einer solchen Verstelleinheit**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft Verstelleinheiten wie sie bei Windkraftanlagen zum Einstellen des Azimut-Winkels der Windkraftanlagengondel oder des Pitch-Winkels der Rotorblätter eingesetzt werden können, wobei eine solche Verstelleinheit zumindest zwei Stellantriebe zum Verdrehen zweier zueinander verdrehbar gelagerter Baugruppen sowie eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der Stellantriebe aufweist, die die Stellantriebe derart ansteuert, dass die Stellantriebe beim Verdrehen der beiden Baugruppen und/oder im Stillstand der Baugruppen zueinander verspannt werden. Die Erfindung betrifft ferner eine Windkraftanlage mit einer solchen Verstelleinheit sowie ein Verfahren zum Steuern einer solchen Verstelleinheit. Erfindungsgemäß umfasst die Steuereinrichtung eine Verspannungs-Einstelleinrichtung zum variablen Einstellen der Stärke der Verspannung der Stellantriebe in Abhängigkeit einer variablen äußeren Last auf die zu verstellenden Baugruppen, die mittels einer Lastbestimmungseinrichtung bestimmbar ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Verstelleinheiten wie sie bei Windkraftanlagen zum Einstellen des Azimut-Winkels der Windkraftanlagengondel oder des Pitch-Winkels der Rotorblätter eingesetzt werden können, wobei eine solche Verstelleinheit zumindest zwei Stellantriebe zum Verdrehen zweier zueinander verdrehbar gelagerter Baugruppen sowie eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der Stellantriebe aufweist, die die Stellantriebe derart ansteuert, dass die Stellantriebe beim Verdrehen der beiden Baugruppen und/oder im Stillstand der Baugruppen zueinander verspannt werden. Die Erfindung betrifft ferner eine Windkraftanlage mit einer solchen Verstelleinheit sowie ein Verfahren zum Steuern einer solchen Verstelleinheit.

[0002] Bei großen Drehantrieben, die großen äußeren Lasten unterworfen sind, wie dies beispielsweise bei Azimut-Verstellantrieben von Windkraftanlagen der Fall ist, werden üblicherweise mehrere Stellantriebe verwendet, die gemeinsam die beiden zu verdrehenden Baugruppen verstellen. Die Stellantriebe können hierbei einen Motor, beispielsweise in Form eines Elektromotors umfassen, der über ein Getriebe, beispielsweise ein Planetengetriebe ein Antriebsrad wie ein Ritzel antreibt, das in einen Zahnkranz eingreift, um den Zahnkranz zu verdrehen. Die zu verstellenden Baugruppen können beispielsweise die beiden Lagerringe eines Großwälz- und/oder -gleitlagers sein, mittels dessen die Gondel oder ein die Gondel tragendes Turmstück um eine aufrechte Achse drehbar am Turm der Windkraftanlage gelagert wird. Durch Verdrehen der beiden Lagerringe kann dann die Gondel gegenüber dem Turm verdreht werden.

[0003] Aufgrund von Spiel in den Verzahnungen kommt es hierbei zu Beweglichkeiten in den Antriebssträngen, so dass trotz Verwendung mehrerer Stellantriebe die Gondel mit einer unerwünschten Dynamik reagieren kann, beispielsweise in Form rotatorischer Schwingungen. Die genannten Beweglichkeiten und Elastizitäten im Antriebsstrang können hierbei vielfältige Ursachen haben, beispielsweise – neben Zahnspiel im Zahneingriff zwischen Ritzel und Zahnkranz – auch Nachgiebigkeiten in den verwendeten Getrieben oder Nachgiebigkeiten in der Lagerung der Stellantriebe, die üblicherweise an entsprechenden Maschinenträgern befestigt sind, die nur eine begrenzte Steifigkeit besitzen.

[0004] Um aufgrund solcher Beweglichkeiten keine zu großen dynamischen Auswirkungen bei der Gondelverstellung zu haben, ist es bislang üblich, eine beispielsweise hydraulische Betriebsbremse einzusetzen und die Verstellung der Baugruppen zueinander gegen eine gewisse Bremskraft zu fahren, d. h. die Betriebsbremse ist beim Verstellen angelegt

und stellt eine gewisse Bremskraft bereit, die von den Stellantrieben überwunden wird. Hierdurch können unerwünschte dynamische Schwankungen aufgrund von Elastizitäten im Antriebsstrang kontrolliert und unterdrückt werden. Nachteilig ist hieran jedoch, dass ein erhöhter Verschleiß an den Antrieben eintreten kann, die Stellantriebe an sich überdimensioniert werden müssen, um nicht nur die Verstellkräfte per se aufbringen zu können, sondern auch noch die Bremskraft überwinden zu können, und ferner die Betriebsbremse per se entsprechend ausgelegt und Bauraum hierfür bereitgestellt werden muss. Gleichzeitig unterliegt die Betriebsbremse starkem Verschleiß und Wartungsaufwand.

[0005] Es wurde andererseits auch bereits vorgeschlagen, auf eine solche Betriebsbremse zu verzichten bzw. die Verstellbewegung ohne die Bremskraft einer Betriebsbremse auszuführen und stattdessen die Stellantriebe gegeneinander zu verspannen. Ein solches Verspannen der Stellantriebe der Azimut-Verstelleinrichtung einer Windkraftanlage zeigt beispielsweise die Schrift DE 10 2008 013 864 B4. Darin wird vorgeschlagen, das geforderte Gesamtantriebsmoment in der Hauptachse auf die mehreren Stellantriebe unterschiedlich aufzuteilen, wobei mindestens einer der Stellantriebe mit einem kleinen Gegenmoment der Soll-Drehrichtung entgegenwirkt, um eine Verspannung der Stellantriebe gegeneinander zu realisieren. Hierzu werden den Stellantrieben unterschiedliche Soll-Drehzahlen mit einer Drehzahldifferenz im Bereich von 20 bis 100 Umdrehungen pro Minute vorgegeben, um ein entgegengerichtetes Drehmoment zu erzeugen, das größenordnungsmäßig 5–10% des Antriebsmoments der anderen Verstellantriebe betragen soll.

[0006] Aus der EP 22 90 230 B1 ist ferner ein Azimut-Verstellsystem für die Gondel einer Windkraftanlage bekannt, das mit einer Mehrzahl von Stellantrieben arbeitet, denen jeweils ein eigener Controller zugeordnet ist, die untereinander sowie mit einem übergeordneten Steuercontroller kommunizieren. Dabei sollen in einem ersten Betriebsmodus alle Stellantriebe in dieselbe Drehrichtung arbeiten, um die Gondel in den Wind zu drehen, während die Stellantriebe in einem zweiten Betriebsmodus, in dem die Gondel im rotatorischen Stillstand festgehalten werden soll, gegeneinander verspannt werden.

[0007] Mit einem solchen verspannten Betrieb der mehreren Stellantriebe können die unerwünschten Dynamikeffekte durch Spiel im Antriebsstrang zwar zu einem gewissen Grad reduziert werden. Unter ungünstigen Bedingungen wie beispielsweise hohen wechselnden Belastungen kann es jedoch trotzdem zu einem Aufschaukeln bzw. zu einer ungenügenden Unterdrückung der Dynamikeffekte kommen. Andererseits werden die Stellantriebe und der Antriebsstrang in ruhigen, bspw. windarmen Phasen, in denen

an sich keine größere Dämpfung dynamischer Effekte notwendig wäre, unnötig belastet, wodurch vorzeitiger Verschleiß eintreten kann.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt hiervon ausgehend die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Verstelleinheit, ein verbessertes Verfahren zum Steuern einer solchen Verstelleinheit sowie eine verbesserte Windkraftanlage mit einer solchen Verstelleinheit zu schaffen, die Nachteile des Standes der Technik vermeiden und Letzteren in vorteilhafter Weise weiterbilden. Insbesondere soll eine verbesserte Kompensation der Beweglichkeiten im Antriebsstrang erzielt werden, die auch unter ungünstigen Bedingungen unerwünschte dynamische Wirkungen beim Verstellen der Winkelposition zuverlässig unterdrückt, wobei gleichzeitig die Belastung und der Verschleiß der Stellantriebe und des Antriebsstrangs verringert und eine Lösung mit weniger Stellantrieben ermöglicht wird.

[0009] Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe durch eine Verstelleinheit gemäß Anspruch 1, eine Windkraftanlage gemäß Anspruch 32 und ein Verfahren zum Steuern einer solchen Verstelleinheit gemäß Anspruch 33 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0010] Es wird also vorgeschlagen, die Verspannung der Stellantriebe gegeneinander beim Verfahren der zu verstellenden Baugruppen an die äußeren Belastungen anzupassen, um die Stellantriebe nicht unnötig zu belasten, andererseits aber auch unter ungünstigen Bedingungen eine ausreichende Verspannung und damit Dämpfung der dynamischen Effekte zu erzielen. Erfindungsgemäß umfasst die Steuereinrichtung eine Verspannungs-Einstelleinrichtung zum variablen Einstellen der Stärke der Verspannung der Stellantriebe in Abhängigkeit einer variablen äußeren Last auf die zu verstellenden Baugruppen, die mittels einer Lastbestimmungseinrichtung bestimmbar ist. Wenn aufgrund der äußeren Lasten eine hohe Verspannung notwendig ist, sieht die Verspannungs-Einstelleinrichtung eine höhere bzw. ausreichend hohe Verspannung vor, während eine geringere Verspannung vorgesehen werden kann, wenn die Bedingungen dies zulassen, um die Stellantriebe nicht unnötig zu belasten. Durch eine solche intelligente Anpassung der Verspannung der Stellantriebe an die äußeren Lasten auf die zu verstellenden Baugruppen, insbesondere die zu verdrehende Gondel und den daran befestigten Rotor, können kleiner dimensionierte und/oder weniger Stellantriebe verwendet und vorzeitiger Verschleiß vermieden werden, während trotzdem eine Minimierung unerwünschter dynamischer Effekte auch unter ungünstigen Bedingungen sichergestellt wird. Der Wartungsaufwand reduziert sich hierbei.

[0011] Insbesondere kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung derart ausgebildet sein, dass mit zunehmender äußerer Last und/oder mit zunehmenden Lastschwankungen die Verspannung der Stellantriebe erhöht wird, während mit abnehmenden äußeren Lasten und/oder bei nur kleineren oder ausbleibenden Schwankungen der äußeren Last eine kleinere Verspannung der Stellantriebe eingestellt werden kann.

[0012] Grundsätzlich kann hierbei eine stufenweise Verstellung der Verspannung ausreichend sein, insbesondere wenn eine ausreichende Anzahl von Stufen, beispielsweise drei oder mehr Stufen, insbesondere auch fünf oder mehr Stufen vorgesehen werden, wobei jedoch auch nur zwei Stufen ausreichend sein können. Dies kann die Ansteuerung der Stellantriebe vereinfachen und übermäßige Rechenoperationen der Steuer- bzw. Regeleinrichtung vermeiden. Alternativ kann jedoch auch eine stufenlose Verstellung der Verspannung vorgesehen werden, um eine möglichst feine Anpassung der Verspannung an die äußeren Randbedingungen zu erzielen.

[0013] Die äußeren Lasten können grundsätzlich in verschiedener Art und Weise bestimmt bzw. berücksichtigt werden, wobei die Lastbestimmung direkt oder indirekt erfolgen kann.

[0014] In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann eine Winderfassungseinrichtung vorgesehen sein, die die Windstärke und/oder Windrichtung und/oder die Gleichmäßigkeit des Windfelds erfasst, so dass die Verspannung in Abhängigkeit der erfassten Windstärke und/oder der Windrichtung und/oder Windstärke- und/oder -richtungsschwankungen variabel angepasst werden kann. Insbesondere kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung dazu ausgebildet sein, mit zunehmender Windstärke und/oder mit zunehmender Ungleichmäßigkeit des Windfelds durch Böen und/oder Winddreher die Verspannung der Stellantriebe zu erhöhen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass bei geringeren Windstärken bis zu einem gewissen Grenzwert, beispielsweise weniger als 10 m/Sek. oder weniger als 5 m/Sek. eine geringere Verspannung von beispielsweise im Bereich von 20 Nm vorgesehen wird, während bei höheren Windstärken oberhalb einer vorbestimmten Windgrenze von beispielsweise mehr als 10 m/Sek. eine höhere Vorspannung vorgesehen wird, beispielsweise im Bereich von 30 Nm oder mehr. Anstelle einer bereichsweisen Einstellung mit Windstärkegrenzen kann auch hier eine mehrstufige Verstellung oder eine stufenlose Verstellung vorgesehen werden, ggf. unter Verwendung eines Dämpfungsglieds, um nicht bei jeder kleinsten Windstärkeveränderung eine Anpassung der Ansteuerung vornehmen zu müssen.

[0015] Alternativ oder zusätzlich zur Berücksichtigung der Windstärke kann auch die Windrich-

tung und/oder die Ungleichmäßigkeit des Windfelds Berücksichtigung finden, beispielsweise dergestalt, dass bei hin- und herpendelnden Windrichtungen und/oder stärkeren Schwankungen im Windfeld, die abwechselnd unterschiedliche Stellantriebe mehr belasten, eine symmetrische Verspannung eingestellt wird, bei der gleich viele Stellantriebe mit einem Drehmoment in Soll-Drehrichtung wie Stellantriebe mit einem Drehmoment entgegen der Soll-Drehrichtung betrieben werden. Pendelt also der Wind hin und her oder ist allgemein das Windfeld ungleichmäßig, so dass sich insgesamt eine stärker schwankende Belastung einmal der einen Stellantriebsgruppe und einmal der anderen Stellantriebsgruppe ergibt, kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung vorgesehen, dass beispielsweise zwei gegen zwei Stellantriebe oder drei gegen drei Stellantriebe verspannt werden, d. h. zwei Stellantriebe treiben die Verstellbewegung voran, während zwei weitere Stellantriebe die Verstellbewegung bremsen oder – bei der genannten Drei-gegen-drei-Einstellung – drei Stellantriebe treiben die Verstellbewegung voran, während ihr drei Stellantriebe entgegenwirken. Entsprechend können auch im Stillstand der Verdrehinheit die Stellantriebe verspannt werden, beispielsweise zwei gegen zwei oder drei gegen drei oder in anderen Konstellationen.

[0016] Führt andererseits die Windrichtung dazu, dass die Stellantriebe einseitig bzw. asymmetrisch belastet werden, kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung eine asymmetrische Verspannung vorgesehen, bei der mehr Stellantriebe die Verstellbewegung vorantreiben als Stellantriebe die Verstellbewegung bremsen oder umgekehrt weniger Stellantriebe die Verstellung vorantreiben als Stellantriebe diese Verstellbewegung bremsen, je nachdem, in welcher Richtung die äußere Last die mehreren Stellantriebe asymmetrisch belastet. Auch eine solche asymmetrische Verspannung kann entsprechend im Stillstand vorgesehen werden.

[0017] Eine solche symmetrische oder asymmetrische Verspannung der Stellantriebe mit einer gleichen oder unterschiedlichen Anzahl der in entgegengesetzte Richtungen arbeitenden Stellantrieben kann hierbei alternativ oder zusätzlich zur Berücksichtigung der Windverhältnisse auch aufgrund anderer Parameter bzw. Indikatoren der Belastung von der Verspannungs-Einstelleinrichtung eingestellt werden. Beispielsweise kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung die tatsächlich auftretende Belastung der Stellantriebe auswerten, bspw. durch Auswerten deren Stromaufnahme, um zu bestimmen, ob eine insgesamt symmetrische Belastung oder eine asymmetrische Belastung vorliegt, woraufhin dann in der genannten Weise eine symmetrische oder asymmetrische Verspannung eingestellt werden kann.

[0018] Insbesondere kann die Lastbestimmungseinrichtung – alternativ oder zusätzlich zu einer direkten Wind- und/oder Windfelderfassung – den an den Stellantrieben auftretenden Lastverlauf und/oder Drehmomentverlauf bestimmen, um in Abhängigkeit hiervon die Verspannung der Stellantriebe zueinander variabel einzustellen. Vorteilhafterweise kann die Lastbestimmungseinrichtung einen Lastamplitudenbestimmer zum Bestimmen der an zumindest einem Stellantrieb auftretenden Lastamplituden aufweisen, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung dazu ausgebildet sein kann, mit zunehmend größeren Lastamplituden eine zunehmend größere Verspannung vorzusehen. Dieser Ansatz geht von der Überlegung aus, dass bei stärker schwankenden Windlasten und/oder zunehmend ungleichmäßigem Windfeld die an den Stellantrieben induzierten Lasten stärker schwanken und/oder die induzierten Lastamplituden zunehmend größer werden.

[0019] Vorteilhafterweise kann der genannte Lastamplitudenbestimmer dazu vorgesehen sein, aus einem ungefilterten Lastsignal die Lastamplituden zu bestimmen, beispielsweise Maximal- und Minimalwerte über einen vorbestimmten, vorzugsweise kurzen Zeitbereich von beispielsweise einigen wenigen Sekunden zu bestimmen und aus den genannten, in einem bestimmten Zeitintervall auftretenden Maximal- und Minimalwerten die Lastamplitude zu bestimmen.

[0020] Das von der Lastbestimmungseinrichtung herangezogene Lastsignal zur Bestimmung der Lasten an den Stellantrieben kann grundsätzlich in verschiedener Art und Weise gewonnen werden. Beispielsweise kann mittels einer Drehmomentmeseinrichtung das am Stellantrieb und/oder einem zugeordneten Getriebe und/oder an einem Antriebsstrangelement auftretende Drehmoment gemessen werden, wobei die ungefilterten Amplituden des Drehmomentsignals ausgewertet werden können. Alternativ oder zusätzlich können mittels einer Dehnungsmesseinrichtung, beispielsweise einem Dehnungsmessstreifen, an einem Bauteil des Stellantriebs und/oder des Antriebsstrangs auftretende Dehnungen bzw. Verformungen bestimmt werden, um aus dem Dehnungssignal in der genannten Weise die Amplituden zu bestimmen. Wiederum alternativ oder zusätzlich kann auch mittels eines Kraftsensors bzw. einer Kraftmeseinrichtung eine Reaktionskraft beispielsweise einem Lagerelement des Stellantriebs oder einem Antriebsstrangelement gemessen werden, um hieraus die Lastamplituden zu bestimmen, die von schwankenden Windlasten induziert werden.

[0021] Alternativ oder zusätzlich zur Messung solcher mechanischer Größen kann das Lastmoment und/oder die Antriebslasten auch aus elektrischen Größen der Stellantriebe bestimmt werden. Beispielsweise können die Lastamplituden aus Strom-

aufnahme- und/oder Spannungsschwankungen und/oder aus am Frequenzumrichter auftretenden Größen berechnet bzw. bestimmt werden. Um asymmetrische Lasten auf die Verstelleinheit bzw. die Stärke der Asymmetrie der auf die Verstelleinheit wirkenden Lasten zu bestimmen, kann die Lastbestimmungseinrichtung auch dazu ausgebildet sein, ein mittleres Drehmoment der Stellantriebe zu bestimmen, wobei als mittleres Drehmoment der Mittelwert bzw. der über ein Zeitfenster gemittelte Wert der von den Stellantrieben bereitgestellten Drehmomente angesehen werden kann. Wird beispielsweise festgestellt, dass die Stellantriebe insgesamt betrachtet ein in eine bestimmte Drehrichtung drehendes Drehmoment bestimmter Größe bereitstellen müssen, um einen vorbestimmten Drehwinkel anzufahren oder zu halten, kann davon ausgegangen werden, dass eine asymmetrische Windlast auf die Windkraftanlage bzw. eine asymmetrische Last auf die zu verstellende Baugruppe wirkt. In Abhängigkeit der Größe und/oder Zeitdauer des bestimmten, mittleren Drehmoments kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung die Verspannung variabel einstellen, beispielsweise dergestalt, dass die Anzahl der in die eine Richtung drehenden Stellantriebe erhöht und/oder die Anzahl der in die entgegengesetzte andere Drehrichtung drehenden Stellantriebe erniedrigt wird. Wird beispielsweise ein ständig oder über einen längeren Zeitraum erhöht nach links ziehendes Drehmoment – oder bei schwankenden Lasten ein Drehmoment, das vorrangig nach links zieht – gemessen, kann die Anzahl der nach rechts drehenden Stellantriebe erhöht und/oder die Anzahl der nach links drehenden Stellantriebe erniedrigt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Verspannung auch in die eine oder andere Drehrichtung verschoben werden, indem beispielsweise das Drehmoment der in die eine Richtung drehenden Stellantriebe erhöht und/oder das Drehmoment der in die andere Richtung drehenden Stellantriebe erniedrigt wird.

[0022] Die genannte Bestimmung von asymmetrischen Lasten auf die Verstelleinheit, beispielsweise durch die vorgenannte Bestimmung des mittleren Drehmoments der Stellantriebe, kann auch dazu genutzt werden, die Windrichtung zu bestimmen, was genauer als eine direkte Messung der Windrichtung durch einen Windmesser sein kann und dazu verwendet werden kann, die Gondel bzw. den Rotor der Windkraftanlage exakt in den Wind zu fahren. Beispielsweise kann die Steuervorrichtung den anzufahrenden Stellwinkel so lange nachjustieren, bis keine asymmetrischen Lasten mehr festgestellt werden bzw. die Asymmetrie der äußeren Lasten minimal wird.

[0023] Um die äußeren Lasten und/oder die an den Stellantrieben induzierten Drehmomente bzw. Belastungen auch im Stillstand präzise bestimmen zu können, kann grundsätzlich in unterschiedlicher Weise

vorgegangen werden. Beispielsweise kann, während der entsprechende Stellantrieb in Betrieb ist, das Drehmoment mittels der Frequenzumrichter berechnet werden. Alternativ oder zusätzlich kann dann, wenn der Motor abgeschaltet ist und eine Stillstandsbremse geschlossen ist, das Moment über die zuvor schon erwähnte Drehmomentmesseinrichtung und/oder Lastmesseinrichtung, beispielsweise in Form eines Messflansches und/oder Dehnungsmessstreifens an einem stillstehenden Strukturteil des Antriebs und/oder der Bremse gemessen werden, beispielsweise über einen Dehnungsmessstreifen am Motor oder Bremsgehäuse.

[0024] Alternativ oder zusätzlich zu einer solchen Drehmomentbestimmung durch einen Messflansch oder Dehnungsmessstreifen kann das Drehmoment auch durch Überwachung des Drehwinkels an einem Antriebsrad bzw. einem Element des Antriebsstrangs, insbesondere des Abtriebsritzels eines Stellantriebs, bestimmt werden. Soweit die Steifigkeit der Stellantriebe bekannt ist, kann bei stillstehendem Stellantrieb, genauer gesagt stillstehendem Motor und/oder stillstehender Bremse aus einer Winkeländerung an dem Antriebsrad, insbesondere Abtriebsritzel, die Änderung des Drehmoments berechnet werden. Eine bestimmte Drehmomentänderung geht nämlich mit einer bestimmten Winkeländerung einher. Um die absolute Höhe des Drehmoments bestimmen zu können, kann das Antriebsmoment des Stellantriebs vor der Abschaltung als Basis dienen, um über die Drehwinkelmessung die Veränderung gegenüber dieser Basis und damit stets den absoluten Wert des Drehmoments bestimmen zu können.

[0025] Alternativ oder zusätzlich zur Einstellung der Verspannung kann das im Stillstand bestimmte Lastmoment auch dazu genutzt werden, den Umschaltvorgang zwischen Bremse und Motor, also von gebremstem Stillstand zu einer Stellbewegung, oder umgekehrt von Motorbetrieb zu gebremstem Stillstandsbetrieb, möglichst sanft zu gestalten. Beispielsweise kann das in der vorgenannten Weise bestimmte Lastmoment beobachtet werden, so dass zu einem Zeitpunkt sehr geringer Last umgeschaltet werden kann, um das Getriebe nicht zu überlasten, selbst wenn Motor und Bremse für kurze Zeit gemeinsam den Rotor halten. Alternativ oder zusätzlich kann die Summe aus Brems- und Motormoment überwacht und durch die Stellantriebssteuerung begrenzt werden.

[0026] Alternativ oder zusätzlich kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung für die Einstellung der Verspannung einen Anstell- oder Pitchwinkel zumindest eines Rotorblatts berücksichtigen. Hierzu kann eine Pitchwinkel- bzw. Blattwinkel-Erfassungseinrichtung vorgesehen sein, in Abhängigkeit von deren Signal die Verspannungs-Einstelleinrichtung die Verspannung der Stellantriebe variieren kann. Beispielsweise

se kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung vorsehen, dass bei Pitchwinkeln, die üblicherweise bei höheren Windstärken und/oder höheren Anlagenleistungen eingestellt werden, eine höhere Verspannung eingestellt wird als bei Pitchwinkeln, die bei niedrigeren Windstärken und/oder niedrigeren Anlagenleistungen eingestellt werden. Dies kann von der Überlegung ausgehen, dass bei entsprechenden Pitchwinkeln entsprechend höhere bzw. niedrigere dynamische Belastungen auf die Gondel wirken, die eine entsprechend höhere oder niedrigere Verspannung erfordern bzw. ausreichen lassen. Vorteilhafterweise kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung direkt mit der Pitchwinkelaktuatorik kommunizieren, um den Pitchwinkel bei der Verspannung der Stellantriebe gegeneinander zu berücksichtigen.

[0027] Alternativ oder zusätzlich kann auch eine Anlagenleistung, die die Windkraftanlage bereitstellt, für die Einstellung der Verspannung der Stellantriebe berücksichtigt werden. Beispielsweise kann bei höheren Anlagenleistungen eine stärkere Verspannung und bei niedrigeren Anlagenleistungen eine niedrigere Verspannung eingestellt werden. Ein solcher Ansatz geht von der Überlegung aus, dass bei höheren Anlagenleistungen grundsätzlich stärkere dynamische Kräfte an der Gondel zerran und somit eine stärkere Verspannung der Stellantriebe beim Verfahren der Gondel in einen anderen Azimutwinkel notwendig sind, um eine sichere Unterdrückung der unerwünschten dynamischen Effekte zu erzielen.

[0028] Die Einstellung der Verspannung kann von der Verspannungs-Einstelleinrichtung grundsätzlich in verschiedener Art und Weise bewerkstelligt werden. Insbesondere kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung in vorteilhafter Weise dazu vorgesehen sein, die Anzahl der Stellantriebe, die mit einem Drehmoment in eine erste Drehrichtung arbeiten und/oder die Anzahl der Stellantriebe, die mit einem Drehmoment in die entgegengesetzte Drehrichtung betrieben werden, zu verändern, um hierdurch die Verspannung in der gewünschten Weise einzustellen, insbesondere die Stärke der Verspannung zu variieren.

[0029] Alternativ oder zusätzlich kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung die Verspannung der Stellantriebe durch ein variables Verändern der Spreizung der den Stellantrieben vorgegebenen Soll-Drehzahlen einstellen. Hierzu kann die Soll-Drehzahl zumindest eines Stellantriebs gegenüber der an sich auszuführenden Soll-Drehzahl, mit der dann die Baugruppe entsprechend verstellt wird, abzusenken und/oder die Soll-Drehzahl zumindest eines Stellantriebs hier gegenüber anzuheben.

[0030] Je nach gewünschter Stärke der Verspannung kann hier mit unterschiedlich großen Soll-Drehzahlspreizungen gearbeitet werden, wobei beispielsweise eine Soll-Drehzahldifferenz zwischen einem

bremsenden und einem antreibenden Stellantrieb im Bereich von 100–500 oder 200–500 Umdrehungen pro Minute ausreichen und vorteilhaft sein kann, aber auch höhere Drehzahldifferenzen von mehr als 500 Umdrehungen pro Minute, insbesondere auch 1000 bis 5000 Umdrehungen pro Minute vorgesehen werden können. Beispielsweise kann mit einer um etwa 3000 Umdrehungen erhöhten oder erniedrigten Soll-Drehzahl für viele auftretende Verfahrbewegungen eine vernünftige bzw. passende Verspannung erreicht werden. Andererseits kommen auch Drehzahldifferenzen von weniger als 100 Umdrehungen pro Minute in Betracht.

[0031] In vorteilhafter Weise kann die Verspannungs-Einstelleinrichtung dazu ausgebildet sein, die Motorkennlinien der Stellantriebe zu verändern, um die Verspannung sanfter oder schärfer einstellen bzw. anpassen zu können.

[0032] Insbesondere kann in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung vorgesehen sein, dass jedem der mehreren Stellantriebe ein motoreigener Drehzahlregler zugeordnet ist, der dem jeweils zugehörigen Stellantrieb ein Drehmoment vorgibt und die Ist-Drehzahl des zugehörigen Stellantriebs zurück erhält. Dabei kann ein übergeordneter Drehzahlregler vorgesehen sein, der den motoreigenen Drehzahlreglern jeweils eine Soll-Drehzahl vorgibt.

[0033] Dieser übergeordnete Drehzahlregler kann vorteilhafterweise mehrere Eingangsparameter berücksichtigen, insbesondere einen Soll-Drehwinkel, der die Soll-Verstellung der Baugruppe, beispielsweise den Soll-Azimutwinkel bzw. die Soll-Azimutwinkelverstellung der Windkraftanlagengondel vorgibt, und darüber hinaus vorteilhafterweise zusätzlich ein Windgeschwindigkeitssignal und/oder ein Drehmomentensignal, das das auf die Baugruppe einwirkende Drehmoment aufgrund der äußeren Lasten wiedergibt, beispielsweise das Windmoment, und/oder ein Lastamplitudensignal, das die Lastamplitude an den Stellantrieben wiedergibt, und/oder noch weitere Parameter wie zuvor erläutert, beispielsweise den Pitchwinkel. In Abhängigkeit der genannten Eingangsparameter gibt der übergeordnete Drehzahlregler dann jeweils Soll-Drehzahlen für die motoreigenen Drehzahlregler vor.

[0034] Die genannten motoreigenen Drehzahlregler können in Abhängigkeit der vorgegebenen Soll-Drehzahl und/oder der Differenz zu einer Ist-Drehzahl und/oder dem bereitzustellenden Soll-Drehmoment und/oder der Differenz zwischen Soll- und Ist-Moment die Motorkennlinie des jeweiligen Motors verändern, um den Motor beispielsweise weicher einzustellen und damit die Getriebe zu schonen bzw. haltbarer zu machen oder, soweit notwendig, den Motor härter einzustellen, um dynamischen Wirkungen im Antriebsstrang stärker entgegenzutreten.

[0035] Gegebenenfalls können für die Verstellung der Motorkennlinie von den Drehzahlreglern auch andere Parameter berücksichtigt werden, in Abhängigkeit derer dann die Kennlinienverstellung erfolgt.

[0036] Der übergeordnete Drehzahlregler und/oder die motoreigenen Drehzahlregler können beispielsweise in Form eines P-Reglers ausgebildet sein. Vorteilhafterweise kann den motoreigenen P-Reglern ein Begrenzungsbaustein nachgeordnet werden, der hinsichtlich des an den Motor gegebenen Soll-Drehmoments eine Begrenzung vorsieht.

[0037] Ein solcher P-Drehzahlregler kann insbesondere dazu vorgesehen sein, die Kennlinien der Stellantriebe in ihrer Steigung zu beeinflussen. Um ein bestimmtes Verspannmoment zu erreichen, kann eine vom P-Anteil abhängige Drehzahldifferenz vorgegeben werden.

[0038] Angesichts der intelligenten Steuerung bzw. Regelung der Verspannung der Stellantriebe kann die Verstelleinheit ohne Betriebsbremse auskommen bzw. Verstellvorgänge ohne Anziehen einer Betriebsbremse ausführen, obwohl eine solche Betriebsbremse gleichwohl vorgesehen sein kann.

[0039] Unabhängig vom Vorhandensein einer solchen Betriebsbremse kann die Verstelleinheit eine Stillstands-Bremse bspw. in Form einer formschlüssig wirkenden Verriegelung bzw. Haltebremse aufweisen, die vorteilhafterweise bei längeren Stillstandszeiten, ggf. aber auch bei nur kürzeren Stillstandszeiten automatisiert betätigt werden kann. Beispielsweise kann eine solche Stillstandsbremse das vorgenannte Großwälz- und/oder -gleitlager blockieren, um die Stellantriebe und ggf. vorhandene Getriebe zu entlasten, und/oder einem Getriebe zwischen Stellantriebsmotor und Antriebsritzel bzw. -rad zugeordnet sein, um eine Getriebewelle festzuhalten. Alternativ oder zusätzlich kann die Stillstandsbremse ggf. auch an einem oder mehreren Stellantriebsmotoren angreifen.

[0040] Die genannten Stellantriebe können in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung jeweils einen Elektromotor aufweisen. Alternativ wäre es jedoch auch möglich, hydraulische Motoren vorzusehen. Hiervon unabhängig können die Stellantriebe eine oder mehrere Getriebestufen umfassen, um die Motordrehzahl in die gewünschte Ritzel- bzw. Antriebsraddrehzahl zu übersetzen oder zu untersetzen.

[0041] Um den ungewünschten Beweglichkeiten im Antriebsstrang und den sich hieraus ergebenden dynamischen Wirkungen zusätzlich entgegenzuwirken und die Regelung der Stellantriebs-Verspannung zu unterstützen, kann nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, die zumindest zwei Stellantriebe, die hiervon zu einander ver-

drehbaren Baugruppen sowie die Steuereinrichtung einschließlich der ggf. vorgesehenen mehreren Drehzahlregler zu einem vormontierten Einbaumodul oder Montagebaugruppe zusammenzufassen, das nach Art eines Plug-and-Play-Moduls zwischen die beiden gegeneinander zu verdrehenden Anlagenteile montiert werden kann, insbesondere zwischen den Turm einer Windkraftanlage und deren Gondel bzw. einem die Gondel tragenden Turmstück. Vorteilhafterweise umfassen die in das Einbaumodul integrierten, zueinander verdrehbaren Baugruppen hierfür Anschlussmittel, mittels derer die genannten weiteren Anlagenkomponenten in einfacher Weise an das Einbaumodul angeschlossen werden können. Diese Anschlussmittel können insbesondere mechanische Befestigungsmittel umfassen, beispielsweise lösbar Bolzenverbindungen. Die Anschlussmittel können aber auch elektrische und/oder signaltechnische und/oder energieverorgungstechnische Anschlussmittel wie beispielsweise Stromleitungsanschlüsse, Signalleitungsanschlüsse und/oder hydraulische Anschlüsse umfassen, so dass das Einbaumodul in einfacher Weise an die anzuschließenden Anlagenkomponenten angeschlossen bzw. mit diesen verbunden werden kann.

[0042] Um die innere Torsionssteifigkeit der Stellantriebe zu erhöhen, kann in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung insbesondere eine zumindest näherungsweise symmetrische Aufnahme der Belastung am ausgangsseitigen Antriebsrad des Stellantriebs durch eine beidseitige Lagerung vorgesehen sein. Insbesondere kann eine Ausgangswelle des Stellantriebs, insbesondere des Getriebes des Stellantriebs, an dem das genannte Antriebsrad, insbesondere -ritzel, vorgesehen ist, auf beiden Seiten des Antriebsrads durch Lager radial abgestützt sein, wobei zusätzlich zur Radialabstützung ggf. auch eine Axialkomponente abgefangen werden kann.

[0043] Die beidseitig vorgesehenen Lager können hierbei in die jeweilige Stellantriebseinheit integriert sein, beispielsweise die das Abtriebsritzel tragende Welle beidseits des Antriebsritzels an einem Gehäuse der Antriebseinheit, insbesondere deren Getriebe, abstützen. Alternativ kann auch zumindest eines der Lager direkt an der Baugruppe abgestützt sein, an der die Stellantriebseinheit befestigt wird. Beispielsweise kann die Baugruppe hierbei einen Aufnahmetopf und/oder zwei voneinander beabstandete Lagerträger umfassen, in die die Stellantriebseinheit so eingesetzt werden kann, dass zumindest eines der Lager direkt an der Baugruppe abgestützt werden kann. Auch wenn beide Lager in die Stellantriebseinheit und deren Gehäuse integriert und daran abgestützt sind, kann die Baugruppe, an der die Stellantriebseinheit befestigt ist, einen solchen Lagertopf bzw. solchermaßen vorgesehene Lagerträger aufweisen, um die Stellantriebseinheit vorzugsweise im Bereich der beiden genannten Lager fest abzustützen. Hierdurch

kann ein direkter Kraftfluss und eine direkte Einleitung der Lagerkräfte in die genannte Baugruppe erfolgen.

[0044] Die zuvor genannten, zueinander verdrehbaren Baugruppen können beispielsweise die Lagerringe eines Großwälz- und/oder -gleitlagers bilden oder umfassen oder daran befestigt sein, wobei die Stellantriebe vorteilhafterweise innerhalb des von den Lagerringen begrenzten Innenraums angeordnet sein können. Ein solches Großwälz- und/oder -gleitlager kann beispielsweise ein Azimut-Lager bilden, das einerseits Anschlussmittel zum Anschließen an einen oberen Endabschnitt eines Turms einer Windkraftanlage und/oder andererseits Anschlussmittel zum Anschließen der Windkraftanlagengondel und/oder eines die Gondel tragenden Turmstücks aufweisen kann.

[0045] Grundsätzlich kann die Verstelleinheit jedoch auch für andere Verstellaufgaben eingesetzt werden, beispielsweise als Drehwerk oder Drehantrieb eines Krans oder eines Baggers, wenngleich die genannte Verwendung als Azimut-Verstellantrieb und/oder Pitchwinkel-Verstellantrieb einer Windkraftanlage besondere Vorteile mit sich bringt.

[0046] Durch das Zusammenfassen der genannten Komponenten der Verstelleinheit zu einem vormontierbaren Einbaumodul kann nicht nur eine erhöhte Steifigkeit der Lagerung der anzubindenden Baugruppen erzielt werden, die die unerwünschten dynamischen Wirkungen reduziert, sondern es können auch diverse weitere Vorteile erzielt werden, beispielsweise kleinere Lagergrößen durch eine steife Anschlusskonstruktion am Lager. Einerseits kann die Montage der einzelnen Komponenten schon beim Anlagenherstellen erfolgen, wodurch sich ein beträchtlicher logistischer Vorteil ergibt. Zum anderen bleibt in der Windkraftanlagengondel bzw. im Maschinenhaus mehr Platz, da die Stellantriebe in das genannte Einbaumodul zwischen Turm und Maschinenhaus verlagert sind. Hierdurch können Rettungswege vergrößert und der Zugang zum Hauptantriebsstrang der Anlage erleichtert werden.

[0047] Zum anderen sind die in der vormontierten Einbaubaugruppe angebrachten Antriebe leichter zugänglich, wodurch Wartung, Reparatur und Austausch erleichtert wird. Insbesondere kann aber die Weichheit und Nachgiebigkeit der bislang üblichen Lagerung der Stellantriebe und des Azimutlagers, wie sie aktuelle Maschinenträger von konventionellen Windanlagen mit sich bringen, vermieden werden.

[0048] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele und zugehöriger Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

[0049] Fig. 1: eine schematische perspektivische Darstellung einer Windkraftanlage, die eine Verstelleinheit zum Verstellen des Azimutwinkels der Gondel umfasst, die in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung als Azimut-Einbaumodul ausgebildet ist,

[0050] Fig. 2: eine schematische Darstellung des Azimut-Einbaumoduls aus **Fig. 1** in verschiedenen Einbaulagen,

[0051] Fig. 3: eine schematische Darstellung eines Azimutmoduls ähnlich **Fig. 2** nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung, gemäß der die Stellantriebe zueinander gegenseitig orientiert in das Modul integriert sind,

[0052] Fig. 4: eine schematische Darstellung eines Stellantriebs eines Azimutmoduls aus den vorhergehenden Figuren, wobei in der Teilansicht (a) die Gleitlagerung zwischen Zahnkranz und Gehäuse ring dargestellt und eine nur einseitige Abstützung des Antriebsritzels gezeigt ist, und wobei in der Teilansicht (b) eine symmetrische, zweiseitige Lagerung des Antriebsritzels einer Stellantriebseinheit, die an einem Azimutmodul befestigt ist, gezeigt ist,

[0053] Fig. 5: eine schematische Darstellung eines Azimutmoduls mit insgesamt sechs Stellantrieben, wobei die Stellantriebe in verschiedenen Verspannungszuständen dargestellt sind, um die stufenweise Umschaltung der Verspannung zu verdeutlichen,

[0054] Fig. 6: ein Drehzahl-Drehmoment-Diagramm, in dem die Motorkennlinien unterschiedlich angesteuerter Stellantriebe und das sich hieraus ergebende Verspannmoment dargestellt sind,

[0055] Fig. 7: eine schematische Darstellung der Steuerungs- bzw. Regeleinrichtung zum Steuern bzw. Regeln der Stellantriebe der Verstelleinheit aus den vorhergehenden Figuren,

[0056] Fig. 8: eine schematische, ausschnittsweise Schnittansicht einer Stellantriebseinheit, die eine Drehmomentmeseinrichtung zum Messen des induzierten Drehmoments auch im Stillstand aufweist, wobei in der Teilansicht (a) als Drehmomentmeseinrichtung ein Messflansch zwischen einer Bremse und dem Motor der Stellantriebseinheit vorgesehen ist und in der Teilansicht (b) ein entsprechender Messflansch zwischen dem Stator bzw. Motorgehäuse und einem Anschlussflansch vorgesehen ist, und

[0057] Fig. 9: eine perspektivische, schematische Darstellung eines die äußeren Lasten der Verstelleinheit der Windkraftanlage induzierenden Windfelds, wobei zusätzlich zu einer topografischen Darstellung des Windfelds eine diagrammartige Darstellung der zugehörigen Windgeschwindigkeitsänderungen in einem ortsfesten System und eine diagrammar-

tige Darstellung der Windgeschwindigkeitsänderungen in einem mitdrehenden System der Rotorblätter der Windkraftanlage gezeigt sind.

[0058] Wie **Fig. 1** zeigt, kann der Rotor **3** einer Windkraftanlage **1** um eine liegende Rotorachse drehbar an einer Gondel **24** bzw. einem Maschinenhaus gelagert sein, das auf einem Turm **2** angeordnet und um eine aufrechte Achse verdreht werden kann, um den Rotor **3** zur Windrichtung ausrichten zu können. In der genannten Gondel **24** können in an sich bekannter Weise der Generator, Steuerungsaggregate hierfür und zusätzliche Energiewandler- und Hilfsaggregate untergebracht sein.

[0059] Die an der Gondel **24** um die liegende Rotorachse drehbar gelagerte Rotornabe **4** trägt mehrere Rotorblätter **5**, die an der Rotornabe **4** um Rotorblatt-Längsachsen drehbar gelagert sind, so dass der Anstell- bzw. Pitchwinkel der Rotorblätter an die Betriebsbedingungen, insbesondere die Windstärke und den Einschaltstatus der Windkraftanlage angepasst werden kann. Hierzu können in an sich bekannter Weise Pitchverstelleinheiten vorgesehen sein.

[0060] Um die Gondel **24** in die gewünschte Winkelstellung zu bringen, d. h. einen gewünschten Azimutwinkel anzufahren, ist zwischen dem Turm **2** und der Gondel **24** eine Verstelleinheit **20** vorgesehen, die als Azimut-Einbaumodul ausgebildet und vormontiert ist und ein Azimutlager **7** beinhaltet, das die aufrechte Drehachse für die Gondel **24** gegenüber dem Turm **2** bereitstellt. Das genannte Azimutlager **7** kann hierbei als Großwälz- und/oder -gleitlager ausgebildet sein und zwei Lagerringe **8** und **9** umfassen, die gegeneinander verdrehbar gelagert sind, beispielsweise durch das in **Fig. 4(a)** gezeigte Gleitlager **10** oder das in **Fig. 4(b)** gezeigte Walzlager **110**.

[0061] Die genannten Lagerringe **8** und **9**, ggf. mit daran starr angebrachten Modulgehäuseringen, definieren einen – grob gesprochen – zylindrischen Innenraum, in dem mehrere Stellantriebe **11** zum Verdrehen der Lagerringe **8** und **9** gegeneinander aufgenommen sind, und besitzen geeignete Anschlussmittel, um am Turm **2** bzw. der Gondel **24** oder einem diese tragenden Turmstück befestigt zu werden.

[0062] Wie die Teilansicht (a) der **Fig. 4** zeigt, können die Stellantriebe **11** beispielsweise an zwei voneinander beabstandeten Lagerträgern **21** befestigt sein, die beispielsweise plattenförmig ausgebildet sein können. Die Stellantriebe **11** können Elektromotoren **22** umfassen, die über ein Getriebe **23** ein Ritzel **25** antreiben, welches mit einem Zahnkranz **26** kämmt, der mit dem anderen der beiden Lagerringe starr verbunden ist, so dass ein Verdrehen des Ritzels **25** zu einem Verdrehen der beiden Lagerringe **8** und **9** gegeneinander führt.

[0063] Wie die Teilansicht (b) der **Fig. 4** zeigt, kann das Abtriebsritzel **25** eines jeweiligen Stellantriebs **11** vorteilhafterweise auch beidseitig abgestützt bzw. gelagert, insbesondere zumindest näherungsweise symmetrisch gelagert sein. Hierbei kann ein auf der Getriebeseite vorgesehene Lager **L1** die das Ritzel **25** tragende Welle **W** im Gehäuse des Stellantriebs **11**, insbesondere dessen Getriebegehäuse abstützen. Zusätzlich zu diesem getriebeseitigen Lager **L1** kann die das Ritzel **25** tragende Welle **W** durch ein zweites Lager **L2** abgestützt sein, das sich auf der dem Getriebe **23** abgewandten Seite des Ritzels **25** befindet. Dieses zusätzliche Lager **L2** kann grundsätzlich ebenfalls in einem Abschnitt des Getriebegehäuses vorgesehen und daran abgestützt sein. Wie die Teilansicht (b) der **Fig. 4** zeigt, kann das genannte Lager **L2** jedoch auch in einem Abschnitt des Azimutmoduls **A** vorgesehen sein, um das Ritzel **25** bzw. die Welle **W** direkt am Azimutmodul abzustützen. Das Azimutmodul **A** kann hierzu einen Lagertopf **T0** aufweisen, der sich in den Turm **2** hinein erstreckt und in den der Stellantrieb **11** mit der genannten Welle **W** eingesetzt werden kann. Alternativ kann die Montage- bzw. Verbindungsschnittstelle auch an anderer Stelle gesetzt sein. Beispielsweise kann die in **Fig. 4(b)** gezeigte Abtriebswelle **W** eine über die Lager **L1** und **L2** in das Azimutmodul **A** integrierte Baugruppe bilden und mittels einer Steckverzahnung mit einem Ausgangselement des Stellantriebs **11**, beispielsweise einem Planetenträger der letzten Getriebestufe, in Eingriff gebracht werden.

[0064] Vorteilhafterweise können sich die beiderseits des Ritzels **25** vorgesehenen Lager **L1** und **L2** direkt an Strukturträgerteilen des Azimutmoduls **A** abstützen, um einen direkten Kraftfluss zu bewirken.

[0065] In kinematischer Umkehrung zu der Ausführung gemäß **Fig. 4(b)** wäre es auch möglich, den Stellantrieb **11** in analoger Weise nicht am Azimutmodul, sondern an dem Turmmodul, mit dem das Azimutmodul verbunden wird, zu befestigen.

[0066] Weiterhin wäre es möglich, die in **Fig. 4(b)** gezeigte Anordnung zu stürzen und den Stellantrieb **11** sozusagen kopfüber anzuordnen, wie dies in ähnlicher Weise **Fig. 2** verdeutlicht.

[0067] Wie **Fig. 2** zeigt, können die Stellantriebe **2** grundsätzlich verschieden eingebaut sein bzw. kann das vormontierte Azimutmodul verschiedene Einbaulagen einnehmen, beispielsweise dergestalt, dass die Ritzel **25** oberhalb der Elektromotoren **22** zu liegen kommen und/oder an einem oberen Randabschnitt des Einbaumoduls **27** zu liegen kommen. Alternativ kann auch eine umgekehrte Einbausituation mit unten liegendem Antriebsritzel bzw. am unteren Endabschnitt des Einbaumoduls **27** liegenden Ritzeln vorgesehen sein, vgl. **Fig. 2**. Je nach Einbaulage des Einbaumoduls können die Stellantriebe **11** festste-

hend mit dem Turm **2** angeordnet sein, oder mitdrehend mit der Gondel **24** angeordnet werden.

[0068] Dabei können die Stellantriebe **11** an nur einem Halteträger bzw. Lagerträger **21** oder, wie in **Fig. 4** gezeigt, an zwei voneinander beabstandeten Lagerträgern **21** befestigt sein.

[0069] Wie **Fig. 3** zeigt, können auch zueinander gegensinnig angeordnete Stellantriebe vorgesehen sein, so dass eine Untergruppe der Stellantriebe **11** ein oben liegendes Ritzel bzw. das Ritzel **25** am oberen Endabschnitt des Einbaumoduls **27** und eine andere Gruppe der Stellantriebe ein unten liegendes Ritzel **25** hat.

[0070] Wie **Fig. 7** zeigt, in der beispielhaft nur zwei Stellantriebe **11** dargestellt sind, kann eine Steuerungseinrichtung **12**, die ebenfalls in das Einbaumodul **27** integriert sein kann, mehrere motoreigene Drehzahlregler **18a** und **18b** aufweisen, so dass jedem Stellantrieb **11** ein eigener Drehzahlregler zugeordnet ist. Diese motoreigenen Drehzahlregler **18a** und **18b** können beispielsweise als P-Regler ausgebildet sein und eine nachgeordnete Begrenzungsstufe **28** umfassen, die das an die Stellantriebe **11** gegebene Sollmoment M_{soll} begrenzen kann. Die genannten motoreigenen Drehzahlregler geben dem jeweils zugeordneten Stellantrieb **11** ein Drehmoment vor und bekommen die jeweils gemessene Drehzahl ω_{ist} des jeweiligen Stellantriebs **11** zurück.

[0071] Ein übergeordneter Drehzahlregler **19** gibt jedem motoreigenen Drehzahlregler **18a** und **18b** eine Solldrehzahl vor, wobei durch die Vorgabe unterschiedlicher Solldrehzahlen eine Verspannung realisiert werden kann, wie sie in **Fig. 6** verdeutlicht ist. Die motoreigenen Drehzahlregler **18a** und **18b** können die Kennlinie des jeweiligen Stellantriebs **11** beeinflussen, um hierdurch den Stellantrieb weicher oder härter einzustellen, um entsprechend das Getriebe zu schonen und haltbarer zu machen oder eben eine schärfere Verspannung zu realisieren.

[0072] Dabei können sich die Soll-Drehzahlen von zwei Stellantrieben **11** beispielsweise um etwa 100 bis 500, oder auch sehr viel stärker, beispielsweise 3000 Umdrehungen pro Minute oder auch mehr unterscheiden, wobei durch die motoreigenen Drehzahlregler **18a** und **18b** die Motorkennlinie verändert, insbesondere flacher eingestellt werden kann. Wie **Fig. 6** verdeutlicht, kann durch die Verstellung der Motorkennlinien, die entsprechend den vorgegebenen, unterschiedlichen Solldrehzahlen verschoben werden können, das Verspannmoment ΔM realisiert werden.

[0073] Der übergeordnete Drehzahlregler **19** kann hierbei ebenfalls als P-Regler ausgebildet sein und zusammen mit den motoreigenen Drehzahlreglern

18a und **18b** eine Verspannungs-Einstelleinrichtung **14** bilden, mithilfe derer die Verspannung der Stellantriebe in gewünschter Weise variabel eingestellt werden kann, wie eingangs ausführlich erläutert.

[0074] Wie **Fig. 7** zeigt, kann der übergeordnete Regler **19** hierbei eingangsseitig das Soll-Signal φ_{soll} für den Soll-Azimutwinkel bzw. die Soll-Azimutverstellung und das entsprechende Ist-Signal φ_{ist} erhalten, das dann in die Soll-Drehzahlen ω_{soll} für die motoreigenen Drehzahlregler umgesetzt wird. Hierbei kann vom übergeordneten Regler **19** die äußere Last berücksichtigt werden, wobei insbesondere ein Windsignal, beispielsweise die Windgeschwindigkeit v_{Wind} und/oder ein sich hieraus ergebendes oder damit zusammenhängendes, wahrscheinliches Windmoment, das an der Gondel und/oder dem Rotor angreift, berücksichtigt werden kann, woraus eine Spreizung der Soll-Drehzahl bzw. unterschiedliche Soll-Drehzahlen für die verschiedenen motoreigenen Drehzahlregler **18** bestimmt werden, um in der gewünschten Weise die Verspannung einzustellen.

[0075] Wie **Fig. 5** verdeutlicht, kann hierbei die Verspannungs-Einstelleinrichtung **14** die Anzahl der Stellantriebe **11**, die die Verstellung in die Soll-Drehrichtung vorantreiben und die Anzahl der Stellantriebe **11**, die einer solchen Verstellung entgegenwirken, variieren. Beispielsweise können bei hin- und hergehenden Windlasten und einer insgesamt gleichseitigen bzw. symmetrischen Belastung gleich viele Stellantriebe in Soll-Drehrichtung arbeiten wie entgegen der Soll-Drehrichtung arbeiten, vgl. die Darstellung links oben der **Fig. 5**, wonach drei Stellantriebe **11** gegen drei Stellantriebe **11** arbeiten. Darin sind die in die eine Drehrichtung arbeitenden Stellantriebe linkschraffiert (d. h. mit einer Schraffur von rechts unten nach links oben), während die in die entgegengesetzte Richtung arbeitenden bzw. bremsenden Stellantriebe rechtsschraffiert sind, um die gruppenweise Verspannung und deren Variabilität in **Fig. 5** zu verdeutlichen.

[0076] Je nach Windlast und/oder Belastungen und/oder gewünschter Verspannung können jedoch auch andere Konstellationen wie fünf gegen eins, vier gegen zwei oder sechs gegen null eingestellt werden, vgl. **Fig. 5**, dort die weiteren Teildarstellungen.

[0077] Je nach Ausbildung des Windfelds und der Anstellung des Rotors zu dem Windfeld können unterschiedliche Windlasten und Lastamplituden entstehen. Wie **Fig. 9** verdeutlicht, ist ein Windfeld in der Regel über einen relevanten Querschnitt betrachtet – beispielsweise den von den Rotorblättern überstrichenen Querschnittsbereich betrachtet – nicht gleichmäßig, sondern zeigt an verschiedenen Punkten dieses Querschnitts verschiedene Windgeschwindigkeiten, wobei die Windgeschwindigkeit nicht nur über die Höhe zunehmen, sondern auch quer dazu vari-

ieren kann. Wie die beiden diagrammhaften Darstellungen der **Fig. 9** verdeutlichen, implizieren dabei die Windgeschwindigkeitsänderungen im ortsfesten System daraus abgeleitete Windgeschwindigkeitsänderungen im mitdrehenden System der Rotorblätter.

[0078] Während bei Betrachtung des (begrenzten) Querschnitts in einem bestimmten Zeitpunkt das Windfeld in diesem begrenzten Querschnitt eine näherungsweise homogene, d. h. über den Querschnitt sich kaum ändernde Windrichtung aufweisen kann und sich im Wesentlichen durch die verschiedenen Windgeschwindigkeiten kennzeichnet, kommen über die Zeit betrachtet auch drehende Windrichtungen hinzu.

[0079] Asymmetrische, d. h. im Wesentlichen einseitige Windlasten entstehen hauptsächlich durch schräge Anströmung des Rotors, was beispielsweise durch Drehen der Windrichtung erfolgen kann.

[0080] Lastamplituden entstehen hauptsächlich durch die ungleichmäßige Verteilung der Windgeschwindigkeit auf der Rotorfläche, wie dies **Fig. 9** verdeutlicht. In **Fig. 9** ist beispielsweise die Windgeschwindigkeit rechts oben am höchsten. Hierdurch entsteht jedesmal, wenn ein Rotorblatt im Sektor rechts oben diese höhere Windgeschwindigkeit durchläuft, ein Drehmoment auf den Azimutantrieb. Um diese Schwankungen besser kontrollieren zu können, kann die Verstelleinheit die Stellantriebe **11** in der eingangs ausführlich erläuterten Weise zueinander verspannen und die Verspannung anhand der ebenfalls eingangs erläuterten Parameter variabel steuern.

[0081] Wie die **Fig. 8(a)** und **(b)** zeigen, können die Stellantriebe Bremsen **B** aufweisen, um im Stillstand die Motoren **M** entlasten und/oder eine angefahrne Winkelstellung halten zu können. Wie eingangs erläutert, kann die Verstelleinheit grundsätzlich aber auch ohne die Wirkung solcher Bremsen **B** durch die Stellantriebe **11** selbst bzw. deren Motoren im Stillstand gehalten werden.

[0082] Um die im Stillstand wirkenden Lasten auch bei abgeschalteten Motoren **M** präzise messen zu können, können den Stellantrieben **11** Drehmomentmesseinrichtungen **101** zugeordnet sein, beispielsweise in Form von Messflanschen **102**. **Fig. 8(a)** zeigt hierbei eine Einbauvariante eines solchen Messflansches **102** zwischen dem Bremsengehäuse der Bremse **B** und dem stehenden Motorgehäuse des Motors **M**.

[0083] Alternativ kann ein solcher Messflansch **102** auch zwischen dem Motorgehäuse des Motors **M** und einem Anschlussflansch **103** vorgesehen werden, um das zwischen dem Motorgehäuse und dem genannten Anschlussflansch wirkende Drehmoment

zu messen. Eine solche Anbauvariante besitzt den Vorteil, dass auch bei gelöster Bremse **B** das Drehmoment bestimmt werden kann, also wenn im Betrieb des Motors das Drehmoment zwischen der Abtriebswelle und dem Motorgehäuse über den Luftspalt des Motors **M** übertragen wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102008013864 B4 [0005]
- EP 2290230 B1 [0006]

Patentansprüche

1. Verstelleinheit, insbesondere zum Einstellen des Azimut-Winkels eines Windkraftanlagen-Maschinenhauses (24), mit zwei zueinander verdrehbaren Baugruppen (8, 9), zumindest zwei Stellantrieben (11a–n) zum Verdrehen der beiden Baugruppen (8, 9) zueinander sowie einer Steuereinrichtung (12) zum Ansteuern der Stellantriebe (11), die dazu ausgebildet ist, die Antriebsmomente (M) unterschiedlich auf die Stellantriebe (11a–n) zu verteilen, so dass beim Verdrehen der Baugruppen in einer Sollrichtung und/oder im Stillstand zumindest ein Stellantrieb (11a) mit einem Drehmoment in einer Drehrichtung und zumindest ein Stellantrieb (11e) mit einem Drehmoment in entgegengesetzter Drehrichtung betrieben wird, um die Stellantriebe (11) zu verspannen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (12) eine Lastbestimmungseinrichtung (13) zum Bestimmen einer variablen äußeren Last auf die Baugruppen (8, 9) und eine Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) zum variablen Einstellen der Stärke der Verspannung der Stellantriebe (11) in Abhängigkeit der variablen äußeren Last auf die zu verstellenden Baugruppen (8, 9) aufweist.

2. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, mit zunehmender äußerer Last und/oder mit zunehmenden Lastschwankungen die Verspannung der Stellantriebe (11) stufenweise oder stufenlos zu erhöhen.

3. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) eine Winderfassungseinrichtung (15) zum Erfassen der Windstärke aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, mit zunehmender Windstärke die Verspannung der Stellantriebe (11) zu erhöhen.

4. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) eine Winderfassungseinrichtung (15) zum Erfassen der Windrichtung und/oder der Windlasten aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, bei hin- und herpendelnden Windlasten eine symmetrische Verspannung, bei der gleich viele Stellantriebe (11a, b, c) mit einem Drehmoment in die eine Drehrichtung wie Stellantriebe (11d, e, f) mit einem Drehmoment in die entgegengesetzte Drehrichtung betrieben werden, und bei Windlasten, die zu einer einseitigen Belastung der Stellantriebe führen, eine asymmetrische Verspannung, bei der mehr Stellantriebe mit einem Drehmoment in die eine Drehrichtung als Stellantriebe mit einem Drehmoment in die entgegengesetzte andere Drehrichtung und/oder weniger Stellantriebe mit einem Drehmoment in die eine Drehrichtung als Stellantriebe mit

einem Drehmoment in die entgegengesetzte andere Drehrichtung betrieben werden, einzustellen.

5. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) einen Lastamplitudenbestimmer zum Bestimmen der an zumindest einem der Stellantriebe (11) auftretenden Lastamplituden aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, mit zunehmenden Lastamplituden die Verspannung der Stellantriebe (11) zu erhöhen.

6. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) einen Drehmomentbestimmer zum Bestimmen eines mittleren Drehmoments der Stellantriebe (11) aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Verspannung der Stellantriebe (11) in Abhängigkeit des mittleren Drehmoments zu verändern.

7. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, bei zunehmend stärker in eine Drehrichtung gehendem mittlerem Drehmoment, das eine zunehmende Einseitigkeit der Last auf die Verstelleinheit anzeigt, die Stellantriebe zunehmend asymmetrisch zu verspannen, insbesondere eine zunehmend größere Anzahl an Stellantrieben (11) in die eine Richtung und/oder eine zunehmend kleinere Anzahl an Stellantrieben (11) in die entgegengesetzte andere Drehrichtung zu betreiben.

8. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) eine Blattwinkelerfassungseinrichtung (16) zum Erfassen eines Anstell- oder Pitchwinkels zumindest eines Rotorblatts (5) aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Stärke der Verspannung der Stellantriebe (11) in Abhängigkeit des erfassten Pitchwinkels einzustellen, insbesondere bei Pitchwinkeln, die bei höheren Windstärken und/oder höheren Anlagenleistungen eingestellt werden, eine höhere Verspannung einzustellen als bei Pitchwinkeln, die bei niedrigeren Windstärken und/oder niedrigeren Anlagenleistungen eingestellt werden.

9. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) eine Anlagenleistungsbestimmungseinrichtung (17) zum Bestimmen einer Windkraftanlagenleistung aufweist und die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Stärke der Verspannung der Stellantriebe (11) in Abhängigkeit der bestimmten Anlagenleistung variabel einzustellen, insbesondere bei höheren Anlagenleistungen eine stärkere Verspannung und bei niedrigeren Anlagenleistungen eine niedrigere Verspannung einzustellen.

10. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lastbestimmungseinrichtung (13) dazu ausgebildet ist, die äußere Last auf die Verstelleinheit und/oder deren Stellantriebe (11) im Stillstand der Verstelleinheit zu bestimmen.

11. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei zumindest einem Stellantrieb (11) eine Drehmomentbestimmungseinrichtung (101) zum Bestimmen des am Stellantrieb (11) induzierten Drehmoments im Stillstand der Verstelleinheit vorgesehen ist.

12. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Drehmomenterfassungseinrichtung (101) einen Messflansch (102) umfasst, der zwischen einem Bremsengehäuse und einem Motorgehäuse angeordnet ist, und/oder einen Messflansch (102), der zwischen einem Motorgehäuse und einem Anschlussflansch des Stellantriebs (11) angeordnet ist, aufweist.

13. Verstelleinheit nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Drehmomentmess-einrichtung einen Drehwinkelsensor zum Bestimmen einer Verdrehung eines Abtriebsrads, insbesondere -ritzels (25), im Stillstand des Stellantriebs aufweist.

14. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Umschaltsteuerungsvorrichtung zum Umschalten der Stellantriebe (11) zwischen Bremsbetrieb und Motorbetrieb und/oder Motorbetrieb und Bremsbetrieb dazu vorgesehen ist, ein am Stellantrieb (11) induziertes Drehmoment zu überwachen und den Umschaltvorgang in einer Phase minimalen Drehmoments und/oder einer Phase eines im Vergleich zum mittleren Drehmoment niedrigeren Drehmoments den Umschaltvorgang auszuführen.

15. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Höhe der Verspannung der Stellantriebe (11) durch Verändern der Anzahl der Stellantriebe (11), die mit einem Drehmoment in die eine Drehrichtung betrieben werden und/oder Verändern der Anzahl der Stellantriebe, die mit einem Drehmoment in entgegengesetzter Drehrichtung betrieben werden, einzustellen.

16. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Stärke der Verspannung der Stellantriebe (11) durch variables Verändern der Spreizung der Soll Drehzahlen ($\omega_{\text{soll,mot}}$) der Stellantriebe (11) einzustellen.

17. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, zumindest einem der Stell-

antriebe (11) eine Soll Drehzahl ($\omega_{\text{soll,mot}}$) vorzugeben, die sich von der zumindest einem weiteren Stellantrieb (11) vorgegebenen Soll Drehzahl ($\omega_{\text{soll,mot}}$) um 100 bis 500 l/min unterscheidet.

18. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, die Motorkennlinien der Stellantriebe (11) zu verändern.

19. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verspannungs-Einstelleinrichtung (14) dazu ausgebildet ist, zumindest einem der Stellantriebe (11) ein Soll Drehmoment (M_{soll1}) vorzugeben, das sich von dem zumindest einem weiteren der Stellantriebe (11) vorgegebenen Soll Drehmoment (M_{soll2}) um zumindest 10 N m, vorzugsweise 15 bis 40 N m, unterscheidet.

20. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Steuereinrichtung (12) für jeden der mehreren Stellantriebe (11) einen motoreigenen Drehzahlregler (18a-n), der dem jeweils zugehörigen Stellantrieb (11) ein Drehmoment vorgibt und die Ist-Drehzahl des zugehörigen Stellantriebs (11) zurück erhält, sowie einen den motoreigenen Drehzahlreglern (18a-n) übergeordneten Drehzahlregler (19) umfasst, der dazu ausgebildet ist, den motoreigenen Drehzahlreglern (18a-n) eine Soll Drehzahl vorzugeben.

21. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei der übergeordnete Drehzahlregler (19) Eingangskanäle zum Empfang mehrerer Eingangssignale umfassend zumindest einen Soll Drehwinkel (φ_{soll}) der zu verdrehenden Baugruppe (9) und ein Windgeschwindigkeitssignal (v_{Wind}) und ein Drehmomentsignal (M_{Wind}) aufweist und dazu ausgebildet ist, die Soll Drehzahl (ω_{soll}) für die motoreigenen Drehzahlregler (18a-n) in Abhängigkeit des genannten Soll Drehwinkels (φ_{soll}), der Windgeschwindigkeit (v_{Wind}) und des Drehmoments (M_{Wind}) zu bestimmen.

22. Verstelleinheit nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die motoreigenen Drehzahlregler (18a-n) dazu ausgebildet sind, die Motorkennlinien der zugeordneten Stellantriebe (11) in Abhängigkeit der von dem übergeordneten Drehzahlregler (19) vorgegebenen Soll Drehzahlen zu verändern, insbesondere bei zunehmenden Soll Drehzahl-spreizungen abzuflachen.

23. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Stellantriebe (11) jeweils zumindest einen Elektromotor umfassen.

24. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zumindest zwei Stellantriebe (11), die beiden zueinander verdrehbaren Baugruppen (8, 9) sowie die Steuereinrichtung ein vor-

montiertes Einbaumodul bilden, wobei die beiden zueinander verdrehbaren Baugruppen (8, 9) Anschlussmittel zum Anschließen an weitere Anlagenkomponenten besitzen.

25. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die zueinander verdrehbaren Baugruppen (8, 9) Lagerringe eines Großwälz- und/oder Gleitlagers (7) bilden und die Stellantriebe (11) innerhalb eines Innenraums, der von den Lagerringen begrenzt wird, angeordnet sind.

26. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Großwälz- und/oder Gleitlager ein Azimut-Lager (7) bildet, das einerseits Anschlussmittel zum Anschließen an einen Turm (2) einer Windkraftanlage (1) und andererseits Anschlussmittel zum Anschließen eines Maschinenhauses (24) der Windkraftanlage (1) und/oder eines das Maschinenhaus (24) tragenden Turmstücks aufweist.

27. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest einer der Stellantriebe (11), der an einer der Baugruppen (8) befestigt ist, ein Antriebsrad, insbesondere Ritzel (25), aufweist, das mit einem Ring, insbesondere Zahnkranz, der an der anderen Baugruppe (9) befestigt ist, in Wälzeingriff steht und durch zumindest zwei Lager (L1, L2) beidseits des Antriebsrads abgestützt ist, insbesondere zumindest näherungsweise symmetrisch abgestützt ist.

28. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die beiden Lager (L1, L2) beide direkt oder indirekt an der Baugruppe (8) befestigt sind, an der der Stellantrieb (11) befestigt ist.

29. Verstelleinheit nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei eine das genannte Antriebsrad, insbesondere Ritzel (25), tragende Welle (W) von einem Getriebe und/oder Motor des Stellantriebs (11) lösbar und/oder drehmomentübertragend verbindbar, insbesondere zusammensteckbar, ausgebildet ist.

30. Verstelleinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest einem der Stellantriebe (11) eine Drehmomentbestimmungseinrichtung zum Bestimmen des auf den Stellantrieb (11) im Stillstand wirkenden Lastmoments zugeordnet ist.

31. Verstelleinheit nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Drehmomentbestimmungseinrichtung einen Drehmomentmessflansch aufweist, der zwischen einem Stator eines Elektromotors des Stellantriebs (11) und einer Bremse oder zwischen dem genannten Stator und einem Anschlussflansch des Stellantriebs vorgesehen ist.

32. Windkraftanlage mit einer Verstelleinheit, die gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist.

33. Verfahren zum Steuern einer Verstelleinheit, die gemäß einem der Ansprüche 1–31 ausgebildet ist, wobei beim Verdrehen der Baugruppen relativ zueinander und/oder im Stillstand der Baugruppen zumindest einer der Stellantriebe derart angesteuert wird, dass der Stellantrieb ein Drehmoment in eine Drehrichtung erzeugt, und zumindest ein weiterer Stellantrieb derart angesteuert wird, dass er ein Drehmoment in die entgegengesetzte andere Drehrichtung erzeugt, um beim Verdrehen der Baugruppen zueinander die Stellantriebe zu verspannen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stärke der Verspannung der Stellantriebe gegeneinander in Abhängigkeit einer variablen äußeren Last auf die zu verstellenden Baugruppen und/oder in Abhängigkeit der Reaktion der Stellantriebe auf eine solche äußere variable Last variabel eingestellt wird.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

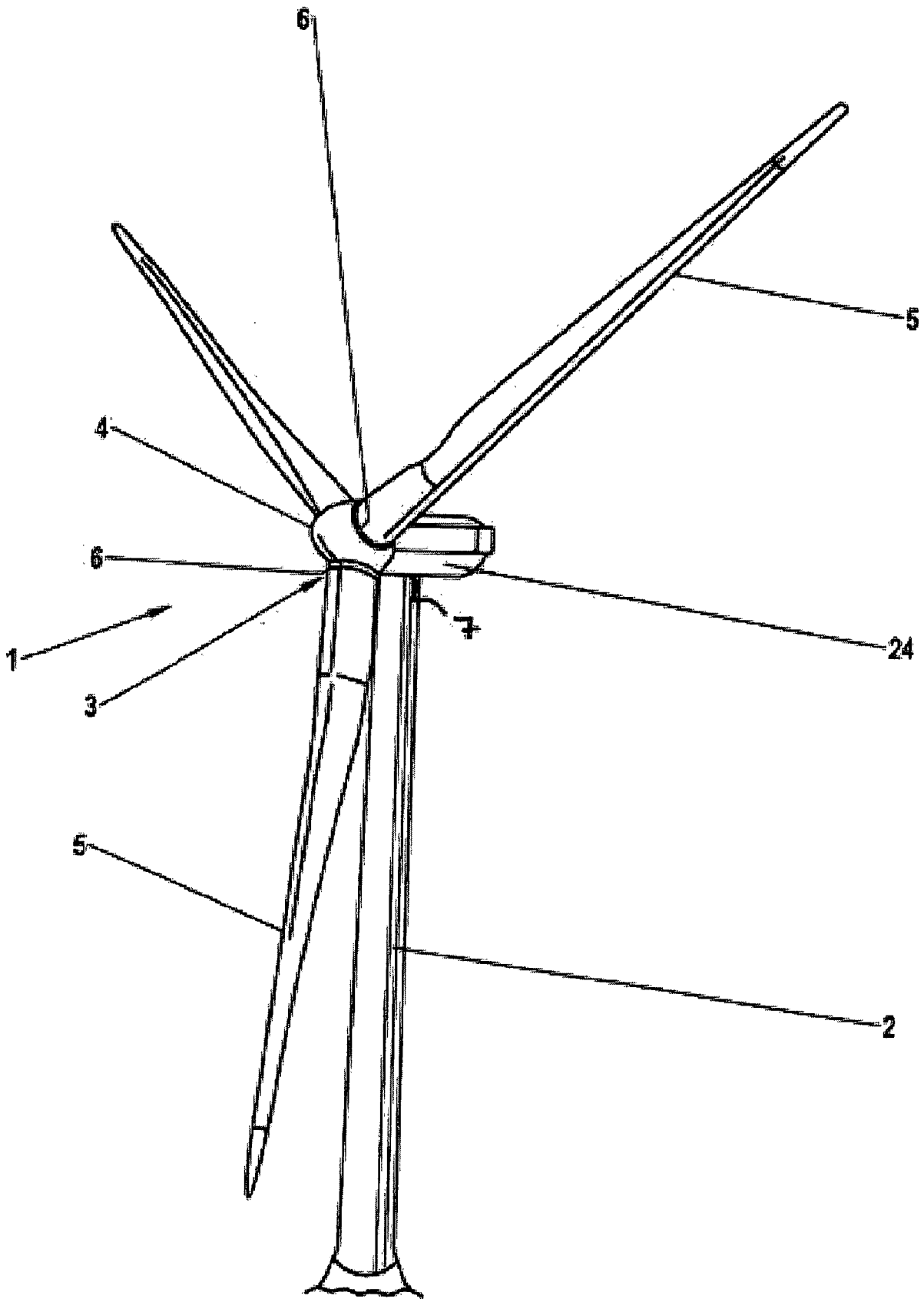


Fig. 2

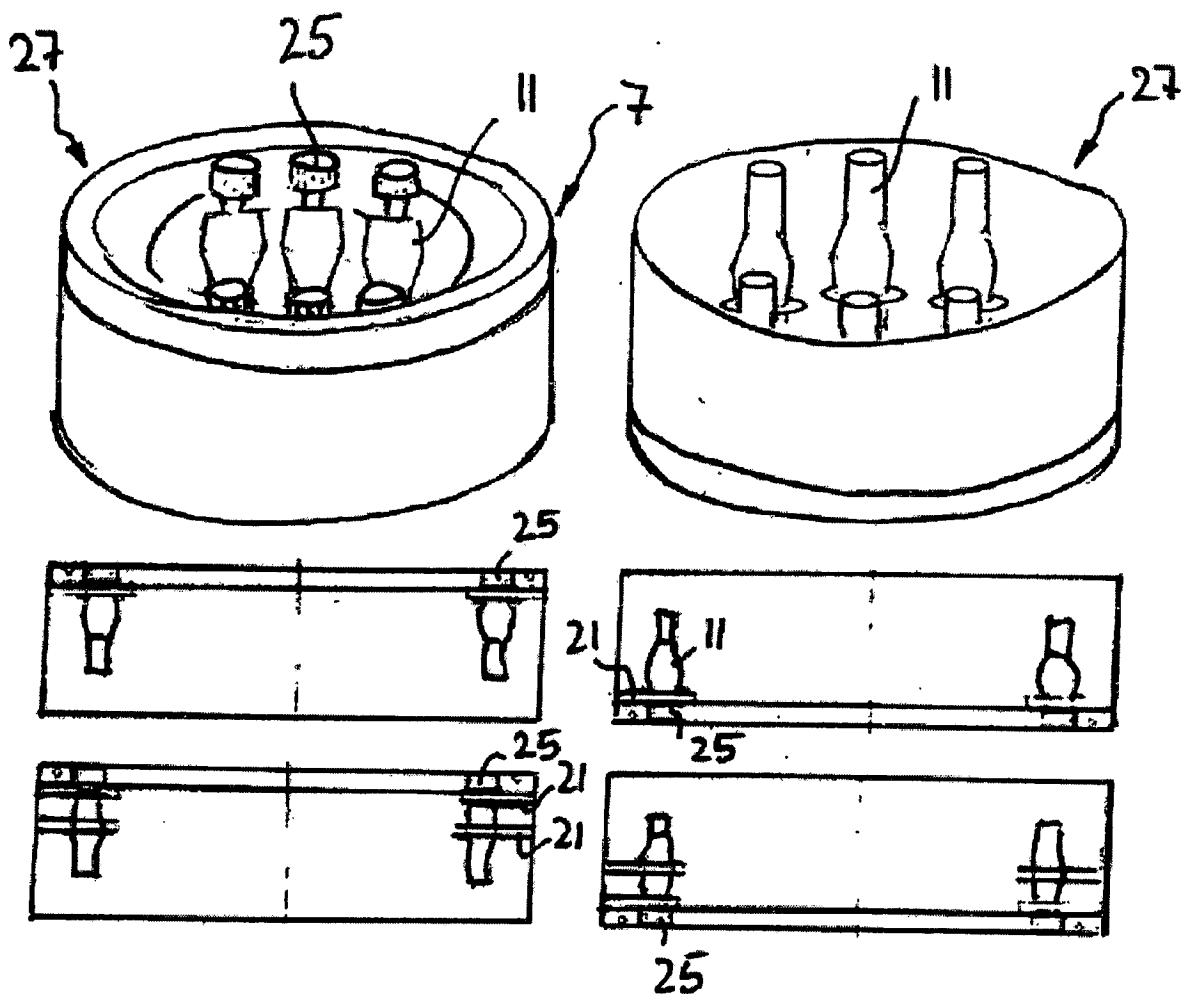


Fig. 3

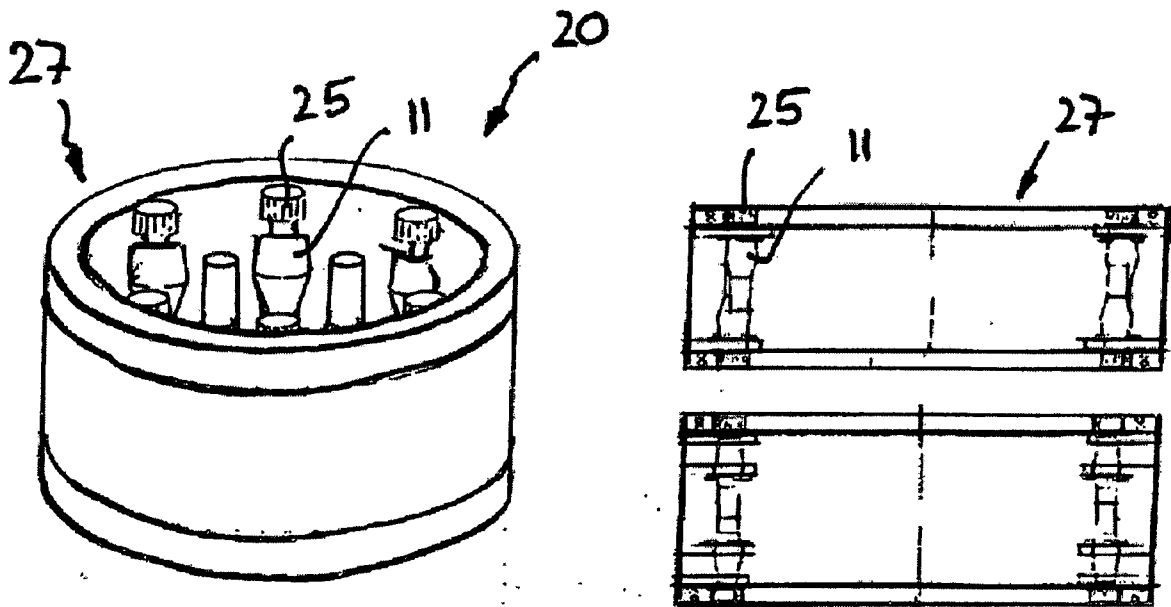
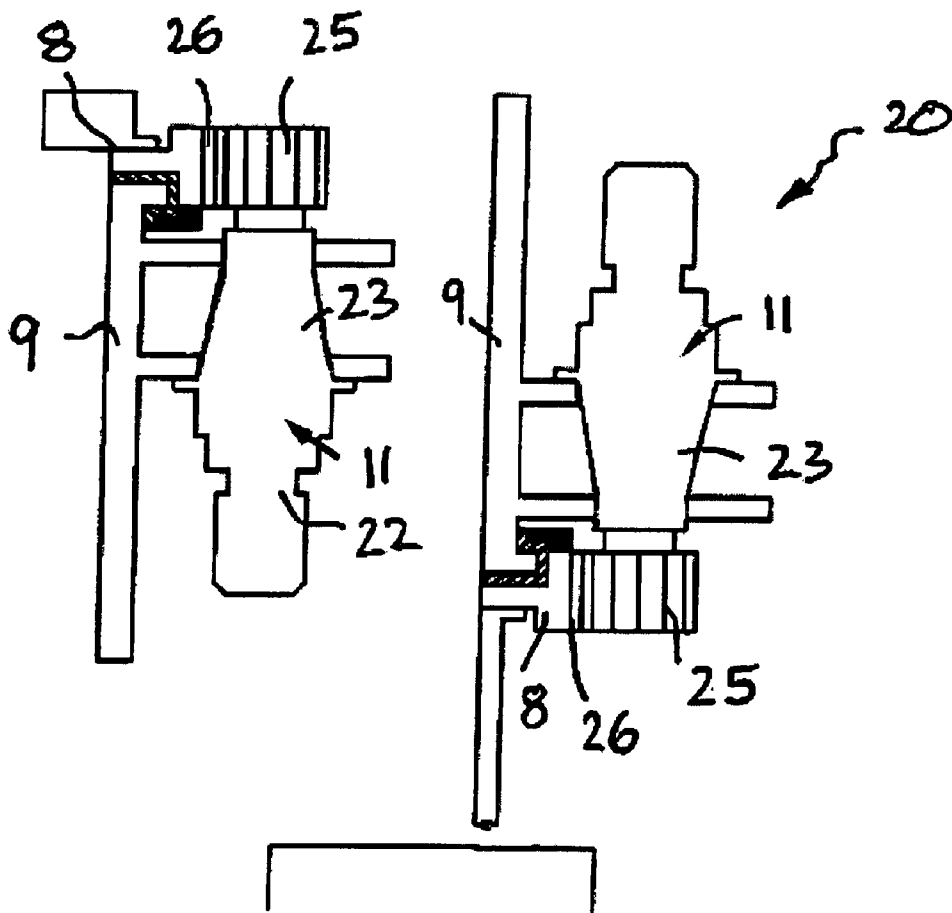


Fig. 4(a)



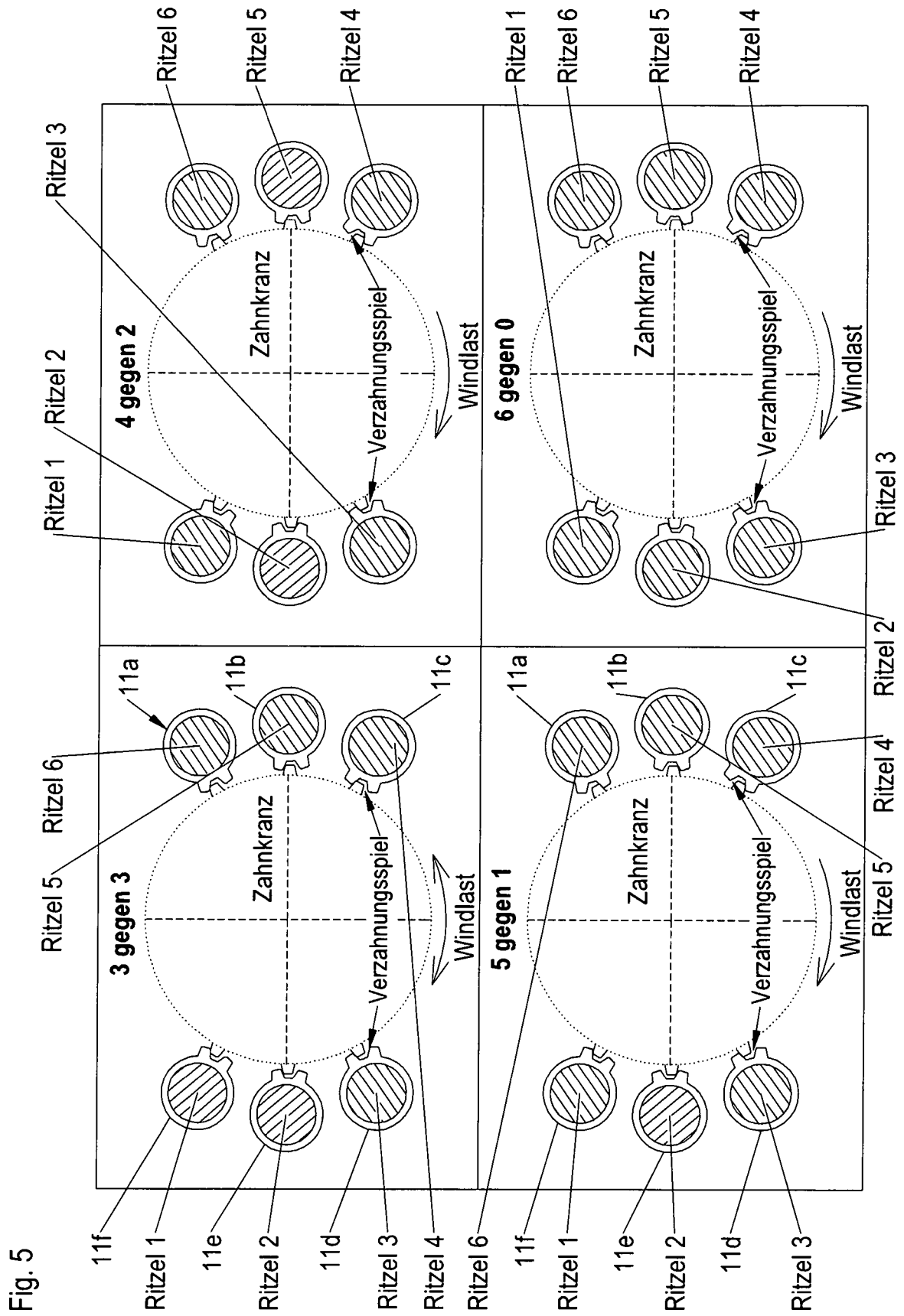


Fig. 5

Fig. 6

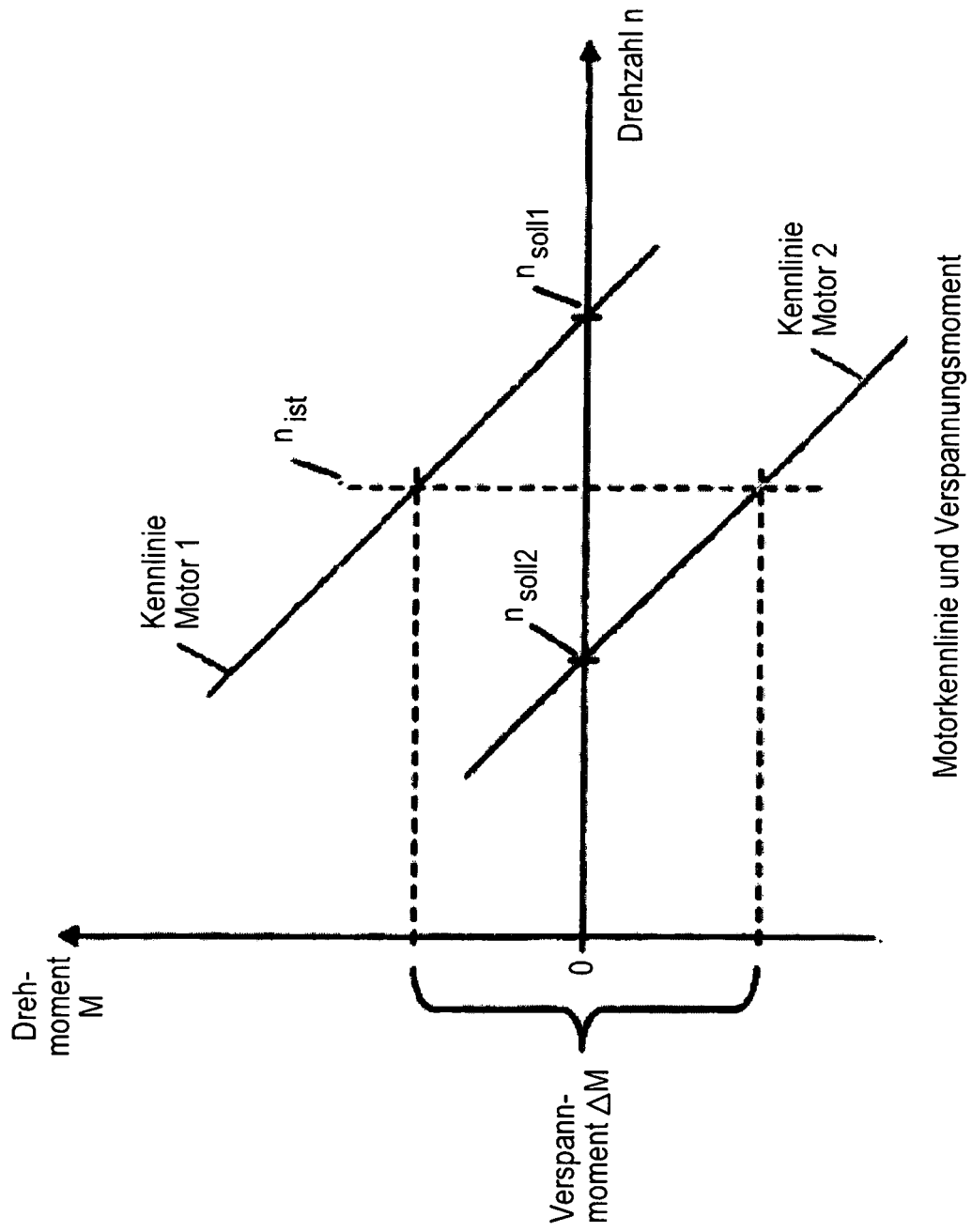


Fig. 7

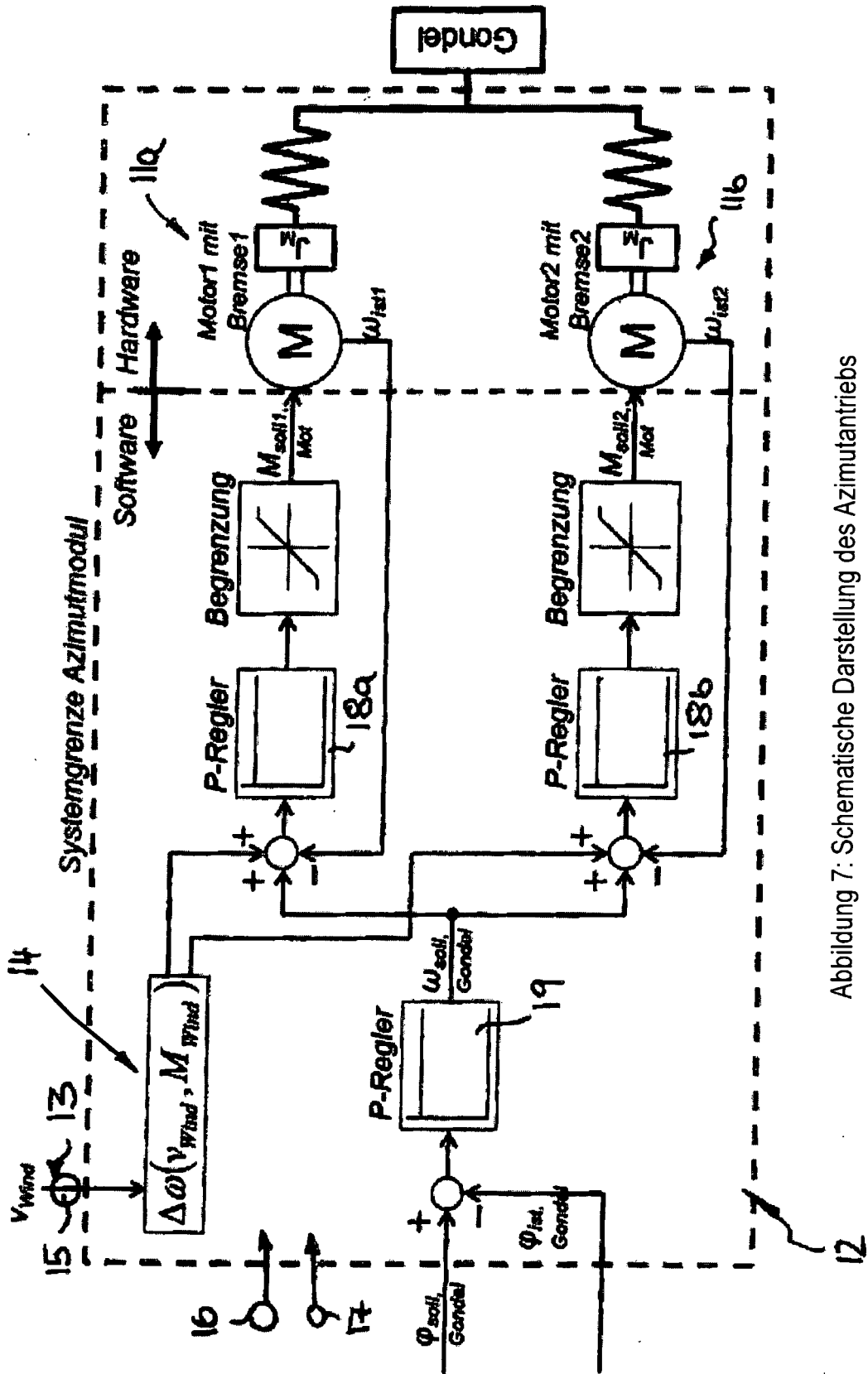


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Azimutantriebs

Fig. 8 (a)

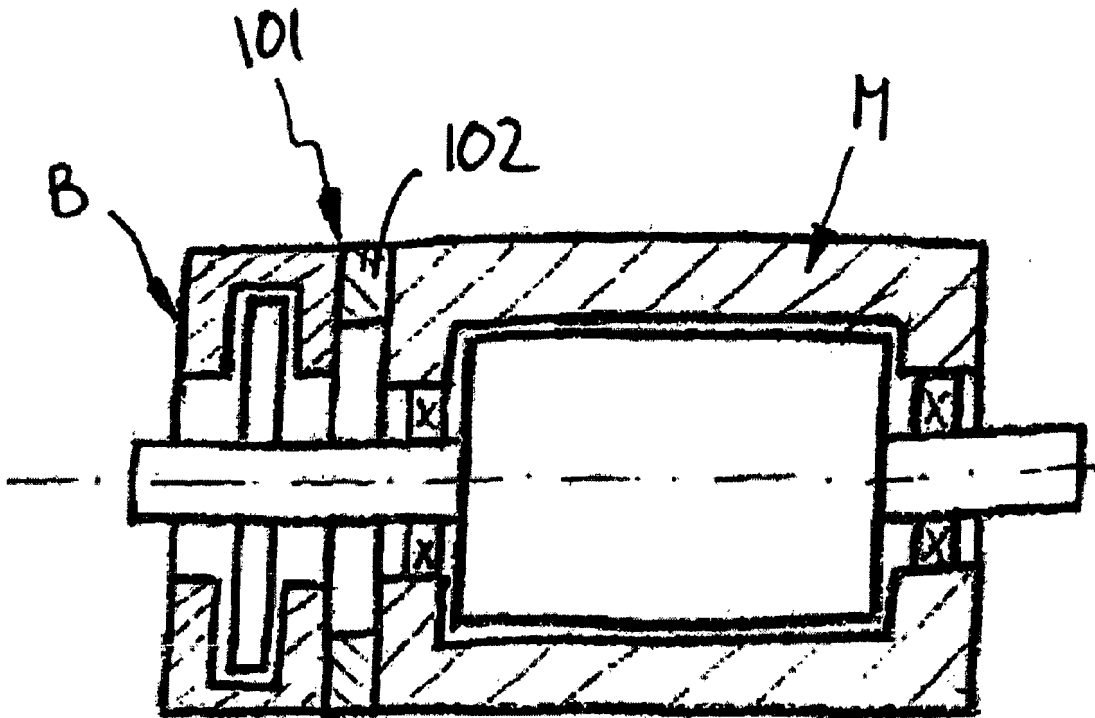


Fig. 8 (b)

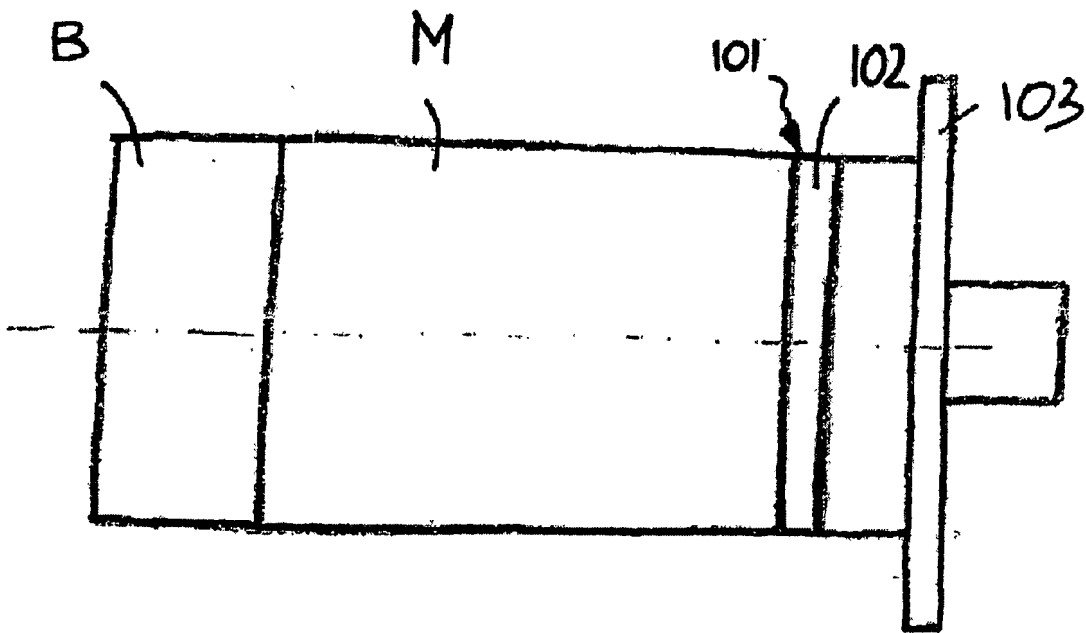


Fig. 9

