

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Dezember 2010 (02.12.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/136151 A2

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

he (DE). **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Werner-
strasse 1, 70469 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/003104

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Mai 2010 (20.05.2010)

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **RÖGER, Moritz** [DE/
DE]; Bachstrasse 40c, 76185 Karlsruhe (DE). **FREUDE,
Wolfgang** [DE/DE]; Schöllbronner Str. 52, 76199 Karls-
ruhe (DE). **LEUTHOLD, Jürg** [CH/DE]; Nelkenweg 2,
75045 Walzbachtal (DE). **VOLKMER, Daniel** [DE/DE];
Radeburger Str. 151, 01109 Dresden (DE). **KLAMOU-
RIS, Christos** [GR/DE]; Nokkstr. 22, 76137 Karlsruhe
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 022 583.8 25. Mai 2009 (25.05.2009) DE

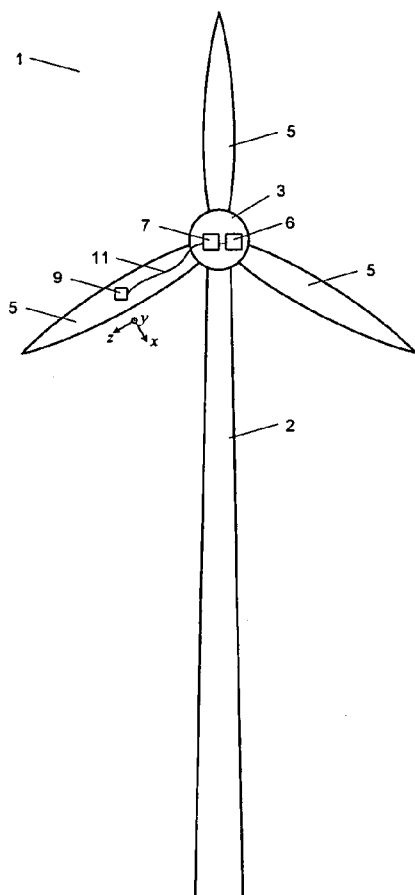
(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US*): **KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNO-
LOGIE (KIT)** [DE/DE]; Kaiserstrasse 12, 76131 Karsru-

(74) Anwalt: **HAYDN, Christian**; Müller-Boré & Partner,
Grafinger Str. 2, 81671 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ROTOR BLADE, POWER PLANT, AND USE

(54) Bezeichnung : ROTORBLATT, ENERGIEERZEUGUNGSANLAGE UND VERWENDUNG



Figur 1

(57) Abstract: The present invention relates to a rotor blade (5) for a power plant (1), particularly for a wind power plant (1) or a water power plant, wherein – the rotor blade (5) comprises an electrically operable sensor device (9) and wherein – the electrically operable sensor device (9) is provided with energy and/or operated by irradiating electromagnetic radiation, and to a power plant, and to a use.

(57) Zusammenfassung: Zusammengefaßt betrifft die vorliegende Erfindung ein Rotorblatt (5) für eine Energieerzeugungsanlage (1), insbesondere für eine Windkraftanlage (1) oder Wasserkraftanlage, wobei - das Rotorblatt (5) eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) umfasst und wobei - die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) durch Einstrahlen elektromagnetischer Strahlung mit Energie versorgbar ist und/oder betreibbar ist sowie eine Energieerzeugungsanlage und eine Verwendung.



WO 2010/136151 A2



(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

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

Veröffentlicht:

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

Rotorblatt, Energieerzeugungsanlage und Verwendung

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rotorblatt, eine Energieerzeugungsanlage und eine Verwendung.

Rotorblätter gehören mit zu den am stärksten belasteten Komponenten einer
10 Energieerzeugungsanlage, wie z.B. einer Windkraftanlage oder
Wasserkraftanlage. Um wirtschaftlich rentabel zu sein, müssen Rotorblätter für
einen Zeitraum von mehreren Jahren vorzugsweise im Dauerbetrieb betrieben
werden. Somit müssen einerseits Rotorblätter von Windenergieanlagen über einen
Zeitraum von mehreren Jahren enormen Kräften, wie z.B. Fliehkräften,
15 Windströmungen und -böen, Turbulenzen, Sonnenstrahlung und hohen
Temperaturschwankungen standhalten.

Bei Wasserkraftanlagen müssen Rotorblätter vor allem vor Korrosion durch
Salzwasser geschützt werden und auch starken Untermeeresströmungen, hohen
Drücken und tiefen Temperaturen widerstehen.

20

Aufgrund der starken Beanspruchung gehören Rotorblätter jedoch auch zu den
Komponenten einer Energieerzeugungsanlage mit den höchsten Ausfallraten.
Reparaturen und der gegenwärtig noch meist vorgenommene Austausch von
Rotorblättern sind sehr kostenintensiv und verursachen große
25 Ertragsausfallzeiten. Aus diesem Grund ist die frühzeitige Erkennung von
Schäden in den verschiedenen Bauteilen des Rotorblatts, insbesondere in der
aero- bzw. hydrodynamischen Schale des Rotorblatts und an seinen tragenden
Bauteilen im Inneren des Rotorblatts erforderlich.

30 Zur Erkennung von Schäden werden konventionell elektrisch betriebene Sensoren
eingesetzt. Bei Windkraftanlagen können diese Sensoren jedoch durch Blitzschlag

beschädigt oder sogar zerstört werden, so daß gegebenenfalls zur Reparatur oder zum Austausch eines solchen Sensors die Windkraftanlage stillgelegt wird und somit zumindest für einen gewissen Zeitraum ausfällt. Ähnliches gilt für elektrisch betriebene Sensoren in Wasserkraftanlagen. Hier können die metallischen Leiter, welche zur Energieversorgung und Datenübertragung benötigt werden, durch Wasser und Säure korrodieren.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, insbesondere eine Energieerzeugung mit möglichst geringen Ausfallzeiten zu ermöglichen. Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Rotorblatt gemäß einem Aspekt

Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Energieerzeugungsanlage, insbesondere für eine Windkraftanlage und/oder eine Wasserkraftanlage, wobei

- das Rotorblatt eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung umfasst und wobei
- die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung durch Einstrahlen elektromagnetischer Strahlung mit Energie versorgbar ist und/oder betreibbar ist.

Die elektromagnetische Strahlung kann beispielsweise Radiostrahlung, insbesondere in vordefinierten Wellenlängenbereichen, wie beispielsweise Funk bzw. Richtfunk umfassen. Die elektromagnetische Strahlung kann auch Licht umfassen, insbesondere im für das menschliche Auge sichtbaren Spektralbereich und/oder dem Infrarotbereich, der nahes Infrarot und/oder mittleres Infrarot und/oder fernes Infrarot umfassen kann. Insbesondere kann die elektromagnetische Strahlung einen Wellenlängenbereich zwischen etwa 400 nm bis etwa 900 nm umfassen, vorzugsweise einen Wellenlängenbereich zwischen etwa 750 nm bis etwa 850 nm umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die elektromagnetische Strahlung einen Wellenlängenbereich von etwa 670 nm bis

etwa 2000 nm, insbesondere bis etwa 20000 nm umfassen, vorzugsweise einen Wellenlängenbereich von etwa 1310 nm bis etwa 1550 nm umfassen. Weitere bevorzugte Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung können etwa 670 nm $\pm$ 100 nm und/oder etwa 890 nm $\pm$ 100 nm und/oder 980 nm $\pm$ 100 nm und/oder 1310 nm $\pm$ 100 nm und/oder 1550 nm $\pm$ 100 nm umfassen. Es ist auch möglich, daß die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge kleiner als etwa 400 nm aufweist.

Eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung ist vorzugsweise eine Sensoreinrichtung, die mit elektrischem Strom betrieben wird. Hierzu kann die Sensoreinrichtung mittels elektromagnetischer Strahlung mit Energie versorgt werden, die in bzw. von der Sensoreinrichtung teilweise oder vollständig in elektrische Energie umgewandelt wird. Diese elektrische Energie kann intermittierend übertragen werden und zwischengespeichert bzw. gepuffert werden. Es ist auch möglich, daß die elektromagnetische Strahlung in elektrische Energie umgewandelt wird, die ohne Zwischenspeicherung bzw. ohne Pufferung zum Betrieb der Sensoreinrichtung verwendet wird.

Die Energieversorgung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung dient vorzugsweise dazu, daß Sensormessdaten oder aber auch Alarmsignale von der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung in optischer und/oder einer anderen elektromagnetischen Strahlungsform bzw. bei entsprechenden Wellenlängen an eine Datenauswerteeinrichtung gesendet werden. Sie kann aber auch gleichzeitig dazu dienen, daß Kontrolldaten aus der Datenauswerteeinrichtung von der Sensoreinrichtung empfangen werden. Mit der verfügbaren elektrischen Leistung können auch interne Prozesse der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung unabhängig von der Datenauswerteeinrichtung zum optimalen Betrieb ausgeführt werden.

Vorteilhafterweise erlaubt die vorliegende Erfindung die technische Überwachung von Windkraftanlagen und/oder Wasserkraftanlagen, insbesondere die unterbrechungsfreie Überwachung ihrer Rotorblätter.

Zur Erkennung von Schäden werden Sensoren eingesetzt, die elektrisch betrieben

sind. Vorteilhafterweise kann durch die vorliegende Erfindung auf den Einsatz konventioneller Kupferleitungen für die Energieversorgung der Sensoren und für die Messdatenübertragung verzichtet werden, sodaß durch das sich ändernde magnetische Feld eines Blitzstroms keine hohe Spannungen als Folge des Blitzschlags induziert werden. Somit kann die Beschädigung oder sogar die Zerstörung der Sensoren und ihrer eingebauten Elektronik verhindert werden, sodaß vorteilhafterweise die Windkraftanlage zur Reparatur oder zum Austausch eines solchen Sensors nicht stillgelegt werden muss, und somit ein entsprechender Ausfall der Windkraftanlage vermieden werden kann.

Ähnliches gilt für elektrisch betriebene Sensoren in Wasserkraftanlagen. Hier kann vorteilhafterweise auf die Verwendung von metallischen Leitungen zur Energieversorgung und Datenübertragung verzichtet werden, sodaß die beim Betrieb mit Salzwasser auftretende starke Korrosion der metallischen Leitungen verhindert werden kann. Somit kann das Risiko einer Beschädigung oder sogar Zerstörung der Sensorik durch Kurzschlüsse als Folge des Wassereinflusses sehr stark reduziert werden. Der Ersatz von elektrisch betriebenen Sensoren bzw. von metallischen Leitungen ist mit einem enormen Wartungsaufwand verbunden, welcher vorteilhafterweise durch die vorliegende Erfindung umgangen werden kann.

Bevorzugte Ausführungsformen

Beispielsweise ist die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung galvanisch isoliert in dem Rotorblatt angeordnet.

Der Begriff "galvanisch isoliert", wie er in dieser Anmeldung verwendet wird, umfasst insbesondere, daß die Sensoreinrichtung keine direkte elektrisch leitfähige Verbindung nach außen, d.h. nach Außerhalb des Gehäuses, insbesondere zur Umgebung aufweist. In anderen Worten beinhaltet "galvanisch isoliert" vorzugsweise, daß der Sensoreinrichtung elektrischer Strom, insbesondere elektrischer Gleichstrom weder zugeführt wird, noch aus der Sensoreinrichtung heraus geführt wird. Da die Sensoreinrichtung jedoch elektrisch betreibbar ist, fließt in der Sensoreinrichtung jedoch elektrischer Strom,

insbesondere elektrischer Gleichstrom. Dieser Gleichstrom kann jedoch betriebsbedingt eine variable Spannung und Stromstärke aufweisen, z.B. aufgrund des detektierten Sensorsignals und/oder aufgrund der über die elektromagnetische Strahlung zugeführten Daten.

5

Der Begriff "galvanisch isoliert" kann insbesondere beinhalten, daß die Sensoreinrichtung nicht geerdet ist, d.h. potentialfrei ist. Der Begriff "galvanisch isoliert" kann auch beinhalten, daß sich die Sensoreinrichtung in einem Faradaykäfig, beispielsweise in Form eines Gehäuses befindet und durch diesen Faradaykäfig kein elektrischer Stromfluß in das Innere des Faradaykäfigs stattfindet. Somit kann der Faradaykäfig, d.h. beispielsweise das Gehäuse ohne elektrische Zu- und Ableitungen ausgebildet sein und die Sensoreinrichtung insbesondere frei von einer elektrischen (physikalischen) Verbindung zu anderen elektrischen Elementen oder der Erdpotential sein.

15

Vorteilhafterweise wird aufgrund der galvanischen Isolierung das Risiko eines Blitzeinschlages in das Rotorblatt einer Windenergieanlage minimiert, da vermieden wird, daß in dem Rotorblatt geerdete Komponenten bzw. Bauelemente vorhanden sind. Aber auch bei einem Blitzeinschlag ist die Sensoreinrichtung aufgrund der galvanischen Isolierung geschützt, da im wesentlichen keine Ströme in die Sensoreinrichtung eindringen bzw. durch die Sensoreinrichtung hindurch fließen. Eine aufwendige Entkopplung, wie dies bei herkömmlichen Sensoren notwendig ist, um Sensor und Auswerteeinheit vor Überspannungen zu schützen, ist somit nicht notwendig. Aufgrund der galvanischen Isolierung besteht ebenso kein Risiko für einen Kurzschluss durch Einfluß von Wasser oder durch Korrosion von Säuren in das Rotorblatt einer Wasserkraftanlage.

Aufgrund der galvanischen Isolierung werden ebenso die Leitungen im Rotorblatt einer Wasserkraftanlage vor starker Korrosion durch Salzwasser geschützt. Es besteht ebenso kein Risiko einer Beschädigung oder sogar Zerstörung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung durch Kurzschlüsse als Folge des Wassereinflusses in die Leitung.

Da bei diesen Energieerzeugungsanlagen die Blitzeinschlagwahrscheinlichkeit

sehr gering ist, kann das Gehäuse aus nichtrostendem Polymer Material bestehen.

- 5 Beispielsweise ist die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung elektromagnetisch abgeschirmt in dem Rotorblatt angeordnet.

Der Begriff "elektromagnetisch abgeschirmt" bezieht sich beispielsweise auf eine allseitig geschlossene metallische Hülle. Die Abschirmung stellt folglich konzeptionell eine Grenzfläche gegen den Durchtritt elektromagnetischer Felder
10 dar, um ein elektronisches Gerät zu schützen. Ziel elektromagnetischer Schirmung bzw. Abschirmung, d.h. Ziel elektrischer und magnetischer Schirmung bzw. Abschirmung ist zum einen, die Wirkung einfallender Felder auf empfindliche Schaltkreise aufzuheben oder zumindest die Feldstärke signifikant zu reduzieren, zum anderen, die Abstrahlung der Bauteile nach außerhalb der Grenzfläche zu
15 verhindern. „Signifikant zu reduzieren“ bedeutet in diesem Zusammenhang, die elektromagnetische, d.h. die elektrische und/oder die magnetische Feldstärke, die von Außen ins Innere der metallischen Hülle tritt, beim Durchgang durch die Schirmung bzw. Abschirmung bzw. das Abschirmgehäuse beispielsweise um 50%, um 90%, um 95% oder um 99% zu reduzieren. Die grundlegende
20 Herangehensweise sieht vor, eine Grenzfläche aus einem elektrisch leitfähigen oder magnetischen Material zwischen der Feldquelle und dem Schaltkreis einzubringen.

Der Begriff "elektromagnetisch abgeschirmt", wie er in dieser Anmeldung
25 verwendet wird, umfasst insbesondere, daß die Sensoreinrichtung eine signifikante Abschirmung (z.B. eine Reduktion des ursprünglichen elektrischen Feldes beispielsweise um 50%, um 90%, um 95% oder um 99%) gegen elektrische Felder bei Niederfrequenzen, insbesondere zwischen 1 kHz und 100 kHz, und bei Hochfrequenzen, insbesondere zwischen 100 kHz und 10 GHz,
30 sowie eine im wesentlichen komplette Abschirmung gegen magnetische Felder bei Niederfrequenzen, insbesondere zwischen 0 Hz und 1000 Hz, aufweist.

Der Begriff "elektromagnetisch abgeschirmt" kann beinhalten, daß sich die Sensoreinrichtung in einem Faradaykäfig, beispielsweise in Form eines Gehäuses

befindet und durch diesen Faradaykäfig im Inneren des Faradaykäfigs kein elektrischer Stromfluss als Folge elektrischer Felder stattfindet. Somit kann der Faradaykäfig, d.h. beispielsweise das Gehäuse ohne elektrische Zu- und Ableitungen ausgebildet sein und die Sensoreinrichtung insbesondere frei von
5 einer elektrischen (physikalischen) Verbindung zu anderen elektrischen Elementen oder dem Erdpotential sein.

Der Begriff "elektromagnetisch abgeschirmt" kann insbesondere beinhalten, daß sich die Sensoreinrichtung in einem magnetisch abgeschirmten Käfig mit hoher
10 magnetischer Permeabilität, beispielsweise in Form eines Gehäuses befindet und durch diesen Käfig keine niederfrequenten Magnetfelder beispielsweise als Folge eines Blitzschlags im Inneren des Käfigs stattfinden. Die auf den Schirm einfallenden Magnetfeldlinien bevorzugen im Idealfall den Durchtritt durch das hochpermeable Material und suchen sich innerhalb des Materials den Pfad des
15 geringsten magnetischen Widerstandes, statt in den geschützten (geschirmten) Bereich einzudringen.

Der elektromagnetisch abgeschirmte Käfig kann Gitterelemente und/oder Plattenelemente umfassen.

20

Zur Abschirmung niederfrequenter magnetischer Strahlungen kommt vor allem μ -Metall zur Anwendung. Das μ -Metall ist eine weichmagnetische Nickel-Eisen-Legierung (ca. 75–80 % Nickel) hoher magnetischer Permeabilität. Die hohe magnetische Permeabilität des μ -Metalls bewirkt so, daß sich der magnetische
25 Fluss niederfrequenter Magnetfelder im Material konzentriert. Dieser Effekt führt bei der Abschirmung niederfrequenter oder statischer magnetischer Störfelder zu einer beachtlichen Schirmdämpfung. Es können aber auch andere Materialien verwendet werden, wie beispielsweise Legierungen mit einem Nickelanteil zwischen etwa 36% und etwa 50% Nickel oder auch reines Eisen. Hybride
30 Schirmungstechnologien dank einer Kombination von hochpermeablen und hochleitfähigen Materialien können ebenso einen doppelten Effekt auf elektromagnetische Felder erzeugen.

Vorteilhafterweise wird aufgrund der galvanischen Isolierung und der

elektromagnetischen Abschirmung das Risiko einer Beschädigung bzw. einer Zerstörung der Sensoreinrichtung beispielsweise als Folge eines Blitzeinschlags in das Rotorblatt einer Windkraftanlage minimiert, da im wesentlichen keine Ströme oder Spannungen in die Sensoreinrichtung eindringen bzw. induziert werden.

- 5 Weiterhin verhindert die galvanische Isolierung und die elektromagnetische Abschirmung ein Vordringen elektromagnetischer Felder vom Inneren in die äußere Umgebung.

- 10 Zur Energieversorgung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung umfasst das Rotorblatt beispielsweise zumindest eine optische Lichtwellenleitung, wobei elektromagnetische Strahlung mittels der zumindest einen optischen Lichtwellenleitung in die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung eingekoppelt ist.

- 15 Die optische Lichtwellenleitung kann in einer bevorzugten Ausführungsform auch als Lichtfaser in Form einer Glasfaser implementiert sein. Aufgrund ihrer höheren mechanischen Festigkeit kann diese Glasfaser ebenso mit einem Polymermaterial ummantelt sein. Aus diesem Grund können ebenso Lichtfasern rein aus Polymermaterialien genutzt werden. Es können zwei oder mehrere optische Lichtwellenleitungen angeordnet sein. Insbesondere kann ein
- 20 Lichtwellenleitungsbündel, umfassend eine Vielzahl von Lichtwellenleitungen angeordnet sein. Das Lichtwellenleitungsbündel kann zwischen 2 und 1000, insbesondere etwa 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 50, 100, 150, 200, 250, 500, 700, 1000 Lichtwellenleitungen umfassen, die zu einem Lichtwellenleitungsbündel zusammengefaßt sind. Das Zusammenfassen kann mechanisch und/oder
- 25 chemisch erfolgen, z.B. mittels Kleben und/oder mittels einer mechanischen Haltevorrichtung, usw. Licht könnte aber auch kabellos an die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung gesendet werden, so daß keine optische Lichtwellenleitung notwendig ist. In anderen Worten kann es ausreichend sein, daß ein Hohlraum vorhanden ist, durch den die elektromagnetische Strahlung,
- 30 insbesondere das Licht gestrahlt wird.

Beispielsweise ragt ein Ende der optischen Lichtwellenleitung in ein Gehäuse der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung hinein oder das eine Ende der optischen Lichtwellenleitung endet außerhalb des Gehäuses der elektrisch

betreibbaren Sensoreinrichtung. Es ist beispielsweise möglich, daß die Lichtwellenleitung außerhalb des Gehäuses der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung endet und das Licht, das aus der Lichtwellenleitung austritt durch eine Öffnung in dem Gehäuse in das Gehäuse hineintritt. Es ist
5 beispielsweise möglich, daß die Lichtwellenleitung außerhalb des Gehäuses der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung endet und das Licht, das aus der Lichtwellenleitung austritt durch einen Bereich des Gehäuses in das Gehäuse hineintritt, wobei dieser Bereich für das Licht zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig transparent ist.

10

Beispielsweise ist das andere Ende der optischen Lichtwellenleitung optisch an eine Lichterzeugungseinrichtung gekoppelt. Eine Lichterzeugungseinrichtung kann vorzugsweise ein Laser, insbesondere eine Laserdiode sein bzw. eine(n) solche(n) umfassen. Eine oder mehrere Beleuchtungsdioden, wie beispielsweise
15 eine oder mehrere LEDs, oder generell eine Beleuchtung jeder Art könnte(n) alternativ oder zusätzlich Bestandteil einer Lichterzeugungseinrichtung sein oder als Lichterzeugungseinrichtung genutzt werden. Es ist beispielsweise eine Kombination einer oder mehrerer der vorgenannten Komponenten in der Lichterzeugungseinrichtung und/oder zur Bildung einer
20 Lichterzeugungseinrichtung möglich. Sonnenlichtenergie könnte auch in einer bzw. als eine Lichterzeugungseinrichtung genutzt werden.

Beispielsweise weist die elektromagnetische Strahlung einen kontinuierlichen Anteil und einen variierenden Anteil auf, wobei die elektrisch betreibbare
25 Sensoreinrichtung mittels des kontinuierlichen Anteils mit Energie versorgt ist und wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung mittels des variierenden Anteils gesteuert bzw. geregelt ist.

Hierbei können die verschiedenen Anteile durch eine oder mehrere
30 Lichterzeugungseinrichtungen bereitgestellt werden und durch eine oder mehrere Lichtwellenleiter in die Sensoreinrichtung eingekoppelt werden. Es ist auch möglich, daß mittels einer einzigen Lichterzeugungseinrichtung gleichzeitig Licht unterschiedlicher Wellenlängen erzeugt werden kann, so daß z.B. eine Gruppe von Wellenlängen, d.h. ein Teilbereich des Spektrums der erzeugten

elektromagnetischen Strahlung zur Versorgung der Sensoreinrichtung dient und die andere Gruppe, d.h. ein weiterer Teilbereich, insbesondere der verbleibende Teilbereich des Spektrums der erzeugten elektromagnetischen Strahlung zur Steuerung bzw. Regelung dient.

5

Der photovoltaische Konverter in der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung wandelt die optische Energie aus der Lichterzeugungseinrichtung in elektrische Energie um. Der Konverter kann besonders empfindlich im für das menschliche Auge sichtbaren Spektralbereich und/oder dem Infrarotbereich sein, der nahes
10 Infrarot und/oder mittleres Infrarot und/oder fernes Infrarot umfassen kann. Insbesondere kann seine Empfindlichkeit alle Wellenlängen zwischen 200 nm und 20000 nm umfassen.

Beispielsweise beinhaltet der photovoltaische Konverter eine einzige integrierte
15 photovoltaische Zelle, die von einer einzigen Lichterzeugungseinrichtung beleuchtet wird. Alternativ oder zusätzlich könnte die einzige integrierte Zelle von m Lichterzeugungseinrichtungen mittels faseroptischen Leistungskopplern beleuchtet werden. In diesem ist m eine natürliche Zahl.

20 Ein photovoltaischer Konverter könnte aber auch n integrierte Zellen, insbesondere zwei und vier Zellen umfassen, insbesondere daraus bestehen. In diesem ist n eine natürliche Zahl. Damit werden höhere Spannungen zur Stabilisierung der elektrischen Komponenten in der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung erzeugt. Ein photovoltaischer Konverter aus n integrierten
25 Zellen kann von einer einzigen Lichterzeugungseinrichtung beleuchtet werden. Alternativ könnte der photovoltaische Konverter von m Lichterzeugungseinrichtungen mittels faseroptischen Leistungskopplern beleuchtet werden.

30 Zur Erzeugung höherer Spannungen können aber auch Spannungswandler hinter dem photovoltaischen Konverter, der aus einer oder mehreren integrierten Zellen aufgebaut ist, eingesetzt werden. Diese elektronischen Einheiten nehmen vorzugsweise eine DC Spannung auf, beispielsweise zwischen 0,5 V und 3 V und erzeugen eine höhere DC Spannung, beispielsweise zwischen 3,3 V und 12 V.

Gleichzeitig kann mittels dieser Spannungswandler die Betriebsspannung der Sensoreinrichtung stabilisiert werden.

5 Zur Erzeugung höherer Spannungen können aber auch n photovoltaische Konverter mit einer einfachen photovoltaischen Zelle elektrisch serienmäßig verbunden werden, sodaß sie von einer gleichen Anzahl von Lichterzeugungseinrichtungen (n) über n Lichtwellenleitungen beleuchtet werden. Ebenso könnten die n photovoltaischen Konverter von einer oder generell m Lichterzeugungseinrichtungen über m Lichtwellenleitungen mittels faseroptischen
10 Leistungssplittern beleuchtet werden.

Es ist auch möglich, daß sogenannte Tandem-Zellen als photovoltaische Konverter genutzt werden. Tandem-Zellen umfassen bzw. bestehen aus mehreren unterschiedlichen Materialschichten, wobei jede Schicht an bzw. für eine
15 unterschiedliche Wellenlänge empfindlich ist. Auf diese Weise kann elektrische Energie aus bzw. mit einer sehr breitbandigen Lichterzeugungseinrichtung erzeugt werden. Das Licht kann auch mittels einer Lichterzeugungseinrichtung erzeugt werden, die gleichzeitig in 2, 3, 4, 5, usw. Wellenlängen abstimmbar ist. Allgemein kann das Licht mittels einer Lichterzeugungseinrichtung erzeugt werden, die in
20 mehreren Wellenlängen abstimmbar ist.

Zur Optimierung der Nutzung von Lichtenergie können elektronische Einheiten, wie ein Maximum Peak Power Tracker (MPPT), eingesetzt werden. Somit wird der maximale Leistungspunkt des photovoltaischen Konverters dynamisch ermittelt
25 und verwendet, um die gesamte Systemeffizienz und Zuverlässigkeit zu verbessern und die Lebensdauer zu verlängern. Da die maximale erzeugte elektrische Energie zu jedem Zeitpunkt von den Umgebungsbedingungen, insbesondere von der Temperatur abhängig ist, wird der maximale Leistungspunkt ständig aufs Neue ermittelt, um den maximalen Leistungspunkt zu halten.

30

Beispielsweise umfasst die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung einen Beschleunigungssensor, wobei mittels eines Datensignals, insbesondere eines optischen Datensignals des Beschleunigungssensors ein Schwingungsverhalten und/oder Biegeverhalten des Rotorblattes bestimmbar ist.

Alternativ oder zusätzlich kann die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung auch einen akustischen Empfänger bzw. ein Mikrofon und/oder einen Ultraschallsensor zur Bestimmung des Schwingungs- bzw. des Biegeverhaltens des Rotorblattes
5 umfassen bzw. sein. Vorteilhafterweise können diese Sensoren bei der technischen Überwachung eines Rotorblatts zusätzlich zu einem Beschleunigungssensor oder als Alternative für einen Beschleunigungssensor genutzt werden. Einer oder mehrere dieser Sensoren (allein oder in Kombination miteinander) können aber auch die Funktion des Beschleunigungssensors
10 ergänzen. Ebenso können zwei oder mehrere verschiedene Sensoren eingesetzt sein, die sowohl in Ihrer Funktion zur Prüfung eines oder mehrerer Rotorblätter dienen. Es ist jedoch auch möglich, daß eine Vielzahl von Sensoren dazu dient, daß die Funktionstüchtigkeit individueller Sensoren geprüft werden kann. Es ist auch möglich, daß die Vielzahl der Sensoren dazu dient, das System ausfallsicher
15 zu gestalten, so daß das Rotorblatt noch immer hinreichend überwacht werden kann, wenn ein oder mehrere Sensoren temporär oder dauerhaft funktionsuntüchtig sind.

Außer der Bestimmung des Schwingungs- bzw. des Biegeverhaltens können auch
20 elektrisch betreibbare Sensoreinrichtungen eingesetzt werden, um andere beliebige Funktionen auszuführen. Beispielsweise könnten Beschleunigungssensoren im Rotorblattende eingesetzt werden, wo die Rotorblattbeschleunigung am höchsten ist. Hohe Rotorblattbeschleunigungen werden durch abrupt wechselnde Windkräfte bzw. Unterwasserkräfte oder
25 Windrichtungen bzw. Unterwasserrichtungen hervorgerufen und können das Rotorblatt beschädigen. Außerdem könnten Sensormessdaten nicht nur zur Überwachung sondern auch zur aktiven Steuerung des Rotorblattes genutzt werden, sodaß die Effizienz der Energieerzeugungsanlage verbessert wird.

30 Beispielsweise können alternativ oder zusätzlich ein oder mehrere Temperaturfühler und/oder ein oder mehrere Feuchtigkeitssensoren und/oder ein oder mehrere Brandschutzsensoren und/oder ein oder mehrere Bildsensoren und/oder ein oder mehrere andere Sensoren und/oder eine beliebige Kombination derselben genutzt werden.

Beispielsweise können ein oder mehrere Bildsensoren auf bzw. im Rotorblatt installiert werden, um den Zustand anderer Teile der Energieerzeugungsanlage, insbesondere den Zustand der anderen Blätter oder aber auch den Zustand der Nabe oder der Gondel zu überwachen. Es ist auch möglich, daß ein oder mehrere Bildsensoren auf bzw. in der Nabe und/oder auf oder in der Gondel angeordnet sind.

Ebenso könnten Blitzstrommessgeräte mit elektromagnetischer Strahlung versorgt bzw. betrieben werden. Diese Blitzstrommessgeräte sind in der Regel auf Rogowski-Spulen basiert. Die Rogowski-Spulen sind elektrische Geräte zur Messung von Wechselstrom. Sie bestehen aus einer spiralförmigen Spule bei der Spitze eines Endes wieder durch die Mitte der Spule bis zum anderen Ende hin verläuft, so daß beide Terminals am gleichen Ende der Spule sind. Diese Anordnung kann am Rotorblatt um den Blitzstromleiter gewickelt sein. Mittels der induzierten Spannung in der Rogowski-Spule aufgrund der zeitlichen Änderung des Blitzstromes kann der Blitzstrom gemessen werden. Eine optisch versorgte Einrichtung kann die Messdaten über die Lichtwellenleitung an die Datenauswerteeinrichtung senden, sodaß die Blitzeinschlagstärke bestimmt werden kann.

Durch Einstrahlen elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Licht, können ebenso andere Funktionen ausgeführt werden, ohne eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung zu betreiben.

Beispielsweise kann die Lichtenergie zur Versorgung einer Lichterzeugungseinrichtung, insbesondere einer Laserdiode, dienen, sodaß die Laserdiode als Lichtquelle für ein passives faseroptisches Sensorsystem an einer beliebigen Rotorblattstelle eingesetzt wird.

Die Lichtenergie kann ebenso zur Versorgung einer Beleuchtungsdioden, einer Lampe oder einer beliebigen Lichtquelle genutzt werden, sodaß beispielsweise das Rotorblatt Warnsignale, beispielsweise an Flugzeuge oder Schiffe, senden kann. Ebenso könnte die Lichtenergie zur Versorgung eines Heizgeräts an einer

beliebigen Stelle im Rotorblatt dienen, um beispielsweise Eis zu schmelzen bzw. eine Bildung von Eis zu verhindern. Beispielsweise kann die Lichtenergie dazu genutzt werden, Pumpen zu betreiben, die durch Austrittslöcher an der Rotorblattoberfläche ein Frostschutzmittel auf die Rotorblätter befördern. Alternativ

5 kann die Lichtenergie Ventile steuern, die das unter Druck stehende Frostschutzmittel durch Austrittslöcher an der Rotorblattoberfläche auf die Rotorblätter leiten.

Beliebige Aktuatoren im Rotorblatt könnten ebenso mit Lichtenergie versorgt

10 werden.

Alle elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen können in einem Gehäuse installiert sein oder in mehreren Gehäusen untergebracht sein.

15 Die Sensoreinrichtung wird beispielsweise von einem lokalen integrierten Mikrocontroller gesteuert. Je nach Komplexität des Netzwerks können ebenso andere programmierbaren Einheiten, wie beispielsweise DSP-, CPLD- oder FPGA-Chips eingesetzt werden. Der Mikrocontroller kann mit der Sensoreinrichtung mittels einer Schnittstelle bzw. einem Kommunikationsprotokoll,

20 vorzugsweise mittels SPI oder I²C kommunizieren. Sensormessdaten werden von dem Mikrocontroller verarbeitet und vorzugsweise über eine UART-Schnittstelle an einen faseroptischen Transmitter gesendet. Der Mikrocontroller wird vorzugsweise mittels des variierenden Anteils der elektromagnetischen Strahlung von einem anderen Mikrocontroller oder einer anderen programmierbaren Einheit

25 in einer Datenauswerteeinrichtung gesteuert bzw. geregelt. Auf diese Weise können auch programmierbare Sensoreinrichtungen mittels der Datenauswerteeinrichtung über den lokalen Mikrocontroller gesteuert bzw. geregelt werden. Der Mikrocontroller könnte aber auch, unabhängig von der Datenauswerteeinrichtung, interne Prozesse, wie beispielsweise die Erzeugung

30 von Alarmsignalen und/oder die Regelung der Lichterzeugungseinrichtung zur optimalen Lichtenergieversorgung und/oder andere beliebige Funktionen ausführen.

Analoge Sensoren können mit dem lokalen Mikrocontroller über einen Analog-to-

Digital (ADC) Wandler kommunizieren. ADCs können in dem Mikrocontroller integriert sein oder eine separate Einheit sein.

Zur Übertragung eines Datensignals, insbesondere eines optischen Sensor-Messdatensignals oder eines -Alarmsignals, umfasst das Rotorblatt beispielsweise
5 eine optische Lichtwellenleitung, wobei variierende elektromagnetische Strahlung mittels der optischen Lichtwellenleitung in einer elektrischen Datenauswerteeinrichtung eingekoppelt ist.

10 Beispielsweise ist ein Ende der optischen Lichtwellenleitung optisch an eine Lichterzeugungseinrichtung, vorzugsweise an einen optischen Transmitter, in der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung gekoppelt, insbesondere an einen Laser der VCSEL Klasse bzw. Form. Der Laser kann vorzugsweise bei 780 nm oder bei 850 nm betrieben werden. VCSEL Laser haben vorteilhafterweise einen sehr
15 geringen Leistungsverbrauch. Alternativ oder zusätzlich können Laser für die Datenübertragung bei anderen Wellenlängen, beispielsweise bei 1310 nm und/oder 1550 nm, genutzt werden. Ein optischer Transmitter in der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung könnte aber auch eine Beleuchtungsdioden, wie z.B. eine LED, umfassen bzw. sein.

20

Beispielsweise ragt das andere Ende der optischen Lichtwellenleitung in ein Gehäuse der Datenauswerteeinrichtung hinein oder das eine Ende der optischen Lichtwellenleitung endet außerhalb des Gehäuses der Datenauswerteeinrichtung. Das Datensignal wird von einem optischen Empfänger, vorzugsweise von einer
25 Photodiode, in der Datenauswerteeinrichtung empfangen und weiter an den Mikrocontroller gesendet.

Zur störungsfreien Übertragung des optischen Datensignals ist es vorteilhaft, optische Transmitter und Empfänger über einen gemeinsamen Takt zu
30 synchronisieren. Dazu dienen Kodierungstechniken, wie beispielsweise der Manchester-Code, der bei der Kodierung das Taktsignal erhält. Ein mit Manchester-Code kodiertes Signal kann z.B. der Ausgang eines XOR-Gate-Chips sein, wobei die zwei Eingänge das Daten- und das Taktsignal sind. Der 8B\10B-Code dient ebenso zur Rückgewinnung des Taktsignals in der

Datenauswerteeinrichtung. Viele andere Techniken zur Taktsignalerückgewinnung sind denkbar.

Alternativ kann zur Übertragung dieses Datensignals ein optischer Transmitter in
5 der Datenauswerteeinrichtung anstatt in der elektrisch betreibbaren
Sensoreinrichtung eingesetzt werden. Anstelle des optischen Transmitters in der
elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung wird ein optischer Modulator,
vorzugsweise ein faseroptischer Modulator eingesetzt, sodaß Licht aus dem
optischen Transmitter in der elektrisch betreibbaren Datenauswerteeinrichtung mit
10 dem Datensignal in der Sensoreinrichtung moduliert und des Weiteren von dem
optischen Empfänger in der Datenauswerteeinrichtung empfangen wird.

Zur Übertragung eines Datensignals, insbesondere eines optischen
Steuerungssignals aus der elektrisch betreibbaren Datenauswerteeinrichtung,
15 umfasst das Rotorblatt beispielsweise eine optische Lichtwellenleitung, wobei
variierende elektromagnetische Strahlung mittels der optischen Lichtwellenleitung
in die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung eingekoppelt ist.

Beispielsweise ist ein Ende der optischen Lichtwellenleitung an einen optischen
20 Transmitter in der Datenauswerteeinrichtung gekoppelt. VCSEL Laser bei 780 nm
oder bei 850 nm betreibbar sind oder auch Laser, die bei anderen Wellenlängen
betreibbar sind, beispielsweise bei 1310 nm und/oder bei 1550 nm, oder aber
auch Beleuchtungsdioden (LEDs) können dazu dienen.

25 Beispielsweise ragt das andere Ende der optischen Lichtwellenleitung in die
Sensoreinrichtung hinein. Das Steuerungssignal wird von einem optischen
Empfänger, vorzugsweise von einer Photodiode, in der Sensoreinrichtung
empfangen und weiter an den lokalen Mikrocontroller gesendet.

30 Alternativ kann zur Übertragung des Steuerungssignals die
Lichterzeugungseinrichtung zur Energieversorgung genutzt werden.
Beispielsweise weist die elektromagnetische Strahlung einen kontinuierlichen
Anteil und einen variierenden Anteil auf, wobei die elektrisch betreibbare
Sensoreinrichtung mittels des kontinuierlichen Anteils mit Energie versorgt ist und

wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung mittels des variierenden Anteils gesteuert bzw. geregelt wird.

Die optische Lichtwellenleitung zur Übertragung eines optischen Sensor-Messdatensignals bzw. –Alarmsignals und eines Steuerungssignals kann in einer bevorzugten Ausführungsform auch als Lichtfaser in Form einer Glasfaser implementiert sein. Aufgrund ihrer höheren mechanischen Festigkeit kann diese Glasfaser ebenso mit einem Polymermaterial ummantelt sein. Aus diesem Grund können ebenso Lichtfasern rein aus Polymermaterialien genutzt werden. Zur Datenübertragung könnte Licht aber auch kabellos übertragen werden, so daß keine optische Lichtwellenleitung notwendig ist.

Das Rotorblatt kann 1, 2, 3, 4, ... optische Lichtwellenleitungen zur gleichzeitigen Energieversorgung und Datenübertragung aufweisen. Alle optischen Lichtwellenleitungen verlaufen in einem einzigen faseroptischen Kabel oder in mehreren faseroptischen Kabeln. Zur weiteren mechanischen Festigkeit und/oder Wasserdichtigkeit und/oder Beständigkeit gegenüber extremen Temperaturen kann das faseroptische Kabel zusätzlich mit entsprechenden Materialien ummantelt sein.

20

Vorzugsweise werden 4-fach Kabel mit vier Lichtwellenleitungen genutzt, wobei eine Lichtwellenleitung zur Energieversorgung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung dienen kann. Eine zweite Lichtwellenleitung kann zur Übertragung des optischen Sensor-Messdatensignals bzw. –Alarmsignals dienen. Eine dritte Lichtwellenleitung kann zur Übertragung des optischen Steuerungssignals dienen, und eine vierte Lichtwellenleitung kann zur Sicherheitssteuerung genutzt werden. Alternativ kann eine einzige Lichtwellenleitung zur Datenübertragung genutzt werden, sodaß eine zweite Lichtwellenleitung zur Energieversorgung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung zur Verfügung steht. Die beiden Lichtwellenleitungen zur Energieversorgung können gleichzeitig genutzt werden, und/oder eine der beiden Lichtwellenleitungen kann als Backup dienen.

Kostengünstige 2-fach (duplex) Lichtwellenleitungskabel mit zwei Lichtwellenleitungen können ebenso genutzt werden, wobei die eine

Lichtwellenleitung zur Energieversorgung der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung und die andere Lichtwellenleitung zur Datenübertragung dienen kann. Generell könnten aber auch Kabel mit einer beliebigen Anzahl optischer Fasern genutzt werden.

5

Der Begriff „Sicherheitssteuerung“, wie er in dieser Anmeldung verwendet wird, kann das notfallmäßige Abschalten der Laser im Fall einer Störung oder eines Glasfaserbruches umfassen. Die Sicherheitssteuerung wird beispielsweise aktiviert, wenn der faseroptische Transmitter in der Sensoreinrichtung eine

10 Fehlermeldung versendet oder nicht mehr reagiert. Insbesondere eine Detektion bzw. Feststellung, daß der faseroptische Transmitter nicht mehr reagiert, kann auf einen Faserbruch hinweisen. Alternativ oder zusätzlich kann optische Energie über eine Lichtwellenleitung an die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung gesendet werden. Vorzugsweise wird ein kleiner Teil der optischen Energie (z.B.

15 weniger als 10%, weiter vorzugsweise weniger als 5%, besonders bevorzugt weniger als 1%, vorzugsweise zwischen etwa 5% und etwa 0,01%, insbesondere zwischen etwa 2% und etwa 0,05%, besonders bevorzugt zwischen etwa 1% und etwa 0,1%) vor dem photovoltaischen Konverter in der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung mittels einem oder mehreren faseroptischen Splittern über die

20 zur Sicherheitssteuerung genutzte Lichtwellenleitung zurück an einen optischen Empfänger in der Basisstation geschickt. Vorteilhafterweise können auf diese Weise mögliche Brüche beim Versorgungs-Link am schnellsten erkannt werden. Sobald die ankommende optische Energie an den optischen Empfänger wegen einer Beschädigung der Lichtwellenleitung unter einer vordefinierten bzw.

25 bekannten Schwelle liegt, wird die Lichterzeugungseinrichtung zur Energieversorgung ausgeschaltet. Es könnte auch möglich sein, daß der optische Empfänger so ausgelegt ist, daß reflektierte optische Energie aus der beschädigten Lichtwellenleitung vom optischen Empfänger direkt detektiert wird.

30 Beispielsweise kann mittels faseroptischer Leistungs-Koppler bzw. –Splitter und/oder mittels Wellenlänge-Multiplexer die Anzahl der Lichtwellenleitungen zur gleichzeitigen Energieversorgung, Datenübertragung und Sicherheitssteuerung bis auf eine Lichtwellenleitung minimiert werden.

Vorzugsweise sind die Lichterzeugungseinrichtung und/oder die optischen Transmitter und/oder die optischen Empfänger und/oder die photovoltaischen Konverter zur Verbindung mit der Lichtwellenleitung mit einer Steckbuchse versehen. Kabelseitig können faseroptische Steckverbinder genutzt werden, wie

5 beispielsweise Bayonette Steckverbinder der ST Form oder verschraubbare Steckverbinder der FC Form, oder aber auch Push-Pull-Steckverbinder der E-2000 oder der SC Form.

Alternativ zur Steckbuchse kann bzw. können die Lichterzeugungseinrichtung und/oder die optischen Transmitter und/oder die optischen Empfänger und/oder die photovoltaischen Konverter in eine Pigtail-Form ausgeführt sein. Die Einkopplung in die Lichtwellenleitung erfolgt gemäß diesem Beispiel direkt oder über eine Linse. Das andere Ende der Lichtwellenleitung ist gemäß diesem Beispiel mit ST, FC, E-2000, SC oder auch mit einem anderen handelsüblichen

10 Steckverbinder konfektioniert.

Zur Verbindung des Gehäuses der Sensoreinrichtung mit dem Gehäuse der Datenauswerteeinrichtung werden vorzugsweise Steckbuchsen an den Gehäusen montiert. Kabelseitig können spezielle faseroptische Steckverbinder mit

20 verschraubbaren Bayonetten und/oder Push-Pull Form genutzt werden, sodaß die gesamte Steckverbindung insbesondere hohe Vibrationsfestigkeit, Wasserdichtigkeit und Beständigkeit gegenüber extremen Temperaturen und/oder Salznebel aufweist.

Es ist aber auch möglich, daß beide Enden der Lichtwellenleitung in das Innere der Gehäuse über Kabeldurchführungen mit hoher Vibrationsfestigkeit, Wasserdichtigkeit und Beständigkeit gegenüber extremen Temperaturen und Salznebel hineinragen, sodaß alle Steckbuchsen an den Gehäusen ausfallen. In diesem Fall können normale Steckverbinder in den Gehäusen eingesetzt werden,

30 die keine hohe Vibrationsfestigkeit, Wasserdichtigkeit und Beständigkeit gegenüber extremen Temperaturen und Salznebel aufweisen müssen.

In dem Rotorblatt einer Wind- bzw. Wasserkraftanlage können n gleiche oder unterschiedliche elektrisch betreibbare Sensoreinrichtungen installiert werden.

Zur Energieversorgung dient vorzugsweise eine einzige Lichterzeugungseinrichtung, die mittels faseroptischer Splitter die notwendige Energie an jedes Gehäuse einer elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung liefern kann. In diesem Zusammenhang kann die Bezeichnung „1:n System“ verwendet werden. Hierbei können eine, zwei, drei ... oder n Lichtwellenleitungen genutzt werden. Beispielsweise könnten die n elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen aus m oder genau n Lichterzeugungseinrichtungen mittels m oder genau n Lichtwellenleitungen mit optischer Energie versorgt werden. In diesem Zusammenhang wird die Bezeichnung „m:n System“ verwendet.

Die Datenauswerteeinrichtung kann n optische Empfänger umfassen bzw. beinhalten, die die Sensormessdaten aus den n elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen über n Lichtwellenleitungen detektieren. Aber auch ein einziger optischer Empfänger kann die Sensormessdaten aus den n elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen über eine Lichtwellenleitung empfangen. Dazu können faseroptische Koppler zur Realisierung eines Zeit-Multiplexverfahrens oder faseroptische Wellenlänge-Multiplexer zur Realisierung eines Wellenlänge-Multiplexverfahrens dienen.

Energieerzeugungsanlage gemäß einem Aspekt

Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Energieerzeugungsanlage, insbesondere Windkraftanlage und/oder eine Wasserkraftanlage mit

- einem Rotor, der eine Vielzahl von erfindungsgemäßen Rotorblättern umfasst und mit
- zumindest einer Lichterzeugungseinrichtung.

Die Energieerzeugungsanlage kann zum Beispiel eine Windkraftanlage sein und das Rotorblatt Bestandteil eines Windrotors. Alternativ kann die Energieerzeugungsanlage auch eine Wasserkraftanlage sein und das Rotorblatt Bestandteil einer Turbine. Somit können die Windkraftanlage und die Wasserkraftanlage zwei getrennte Aspekte betreffen. Es wurde erkannt, daß die Ausführungen bezüglich Aspekten und/oder Ausführungsformen und/oder Varianten zur Windkraftanlage auf die Wasserkraftanlage übertragbar sind und

sinngemäß für die Wasserkraftanlage gelten können.

Bevorzugte Ausführungsformen

- 5 Beispielsweise umfasst die Energieerzeugungsanlage genau eine Lichterzeugungseinrichtung, wobei die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen der Rotorblätter optisch an genau eine Lichterzeugungseinrichtung gekoppelt sind.
- 10 Beispielsweise ist die Anzahl der Lichterzeugungseinrichtungen gleich der Anzahl der elektrischen Sensoreinrichtungen, wobei jede elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung optisch an eine zugeordnete Lichterzeugungseinrichtung gekoppelt ist. Es ist auch möglich, daß genau eine Lichterzeugungseinrichtung bzw. Lichterzeugungsanlage eine Anzahl von n Sensoren versorgt.
- 15 Es kann genau eine Lichterzeugungseinrichtung vorhanden sein oder es kann auch eine Mehrzahl (m) von Lichterzeugungseinrichtungen vorhanden sein.
- 20 Vorzugsweise ist die Lichterzeugungseinrichtung in dem Rotor bzw. in der Nabe des Rotors, d.h. in der Rotornabe positioniert. In anderen Worten kann die Lichterzeugungseinrichtung in dem Rotor installiert bzw. angeordnet sein. Die Energieversorgung der Lichterzeugungseinrichtung erfolgt vorzugsweise mit einem elektronischen Treiber. Der Treiber wird mit elektrischer Energie versorgt, beispielsweise mittels eines elektrischen Kabels und einer Spannungsversorgung.
- 25 Die Spannungsversorgung kann eine Gleichspannungsquelle, insbesondere für 24 V, oder eine Wechselspannungsquelle, insbesondere für 230 V sein. Die Lichterzeugungseinrichtung könnte aber auch in dem Rotorblatt installiert bzw. angeordnet werden. Die Versorgung der Lichterzeugungseinrichtung kann alternativ mit Solarzellen und/oder mit Energiespeichern und/oder mit kleinen
- 30 Windrädern, die auf dem Rotorblatt installiert sind, erfolgen. Es ist auch möglich, daß eine oder mehrere Brennstoffzellen vorhanden sind, die die Lichterzeugungseinrichtung mit Energie versorgt bzw. versorgen. Es ist insbesondere möglich, daß bei einer Wasserkraftanlage Energie aus dem Umgebungswasser gewonnen wird, die benutzt werden kann, um die

Lichterzeugungseinrichtung zu betreiben.

Beispielsweise umfasst die Energieerzeugungsanlage eine Datenauswerteeinrichtung, wobei die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen optisch an die Datenauswerteeinrichtung gekoppelt sind. Die Datenauswerteeinrichtung kann in dem Turm oder in der Gondel angeordnet sein. Es ist auch möglich, daß ein Teil oder die gesamte Datenauswerteeinrichtung an einem externen Ort des Betreibers der Energieerzeugungsanlage angeordnet ist.

Vorzugsweise ist die Datenauswerteeinrichtung in dem Rotor positioniert, d.h., daß die Datenauswerteeinrichtung in dem Rotor installiert bzw. angeordnet sein kann. Die Energieversorgung der Datenauswerteeinrichtung erfolgt vorzugsweise mittels eines elektrischen Kabels und einer Spannungsversorgung. Die Spannungsversorgung kann eine Gleichspannungsquelle, insbesondere für 24 V, oder eine Wechselspannungsquelle, insbesondere für 230 V sein. Die Datenauswerteeinrichtung könnte aber auch in dem Rotorblatt installiert bzw. angeordnet werden. Die Versorgung der Datenauswerteeinrichtung kann alternativ mit Solarzellen und/oder mit Energiespeichern und/oder mit kleinen Windrädern, die auf dem Rotorblatt installiert sind, erfolgen.

20

In der Datenauswerteeinrichtung verarbeitet ein Mikrocontroller die Sensormessdaten und die Alarmdaten aus der Sensoreinrichtung und führt entsprechende Funktionen aus. Beispielsweise werden die Daten an andere Einheiten der Datenauswerteeinrichtung, wie beispielsweise an einen Rechner gesendet, z.B. mittels beliebigen Schnittstellen bzw. entsprechenden Kommunikationsprotokollen, wie beispielsweise USB, SPI, Ethernet, Firewire, I2C oder RS232. Die Daten können ebenso an ein Transmitter-Empfänger-Modul zwecks drahtloser Kommunikation mit anderen Teilen der Datenauswerteeinrichtung gesendet werden, beispielsweise in der Gondel, in dem Turm oder an einem externen Ort des Betreibers der Energieerzeugungsanlage.

Daten zur Steuerung bzw. Regelung der Sensoreinrichtung können ebenso von dem Mikrocontroller in der Datenauswerteeinrichtung erzeugt werden und dann

über eine UART-Schnittstelle an die Sensoreinrichtung gesendet werden. Der Treiber der Lichterzeugungseinrichtung kann ebenso von diesem Mikrocontroller gesteuert werden. Je nach Komplexität des Netzwerks können ebenso andere programmierbare Einheiten, wie beispielsweise DSP-, CPLD- oder FPGA-Chips eingesetzt werden.

Vorzugsweise sind die Lichterzeugungseinrichtung und die Datenauswerteeinrichtung in einem gemeinsamen Gehäuse eingebaut und haben eine gemeinsame Versorgungseinheit.

10

Für eine bessere Kühlung thermisch sensibler Bauteile, wie der Lichterzeugungseinrichtung und/oder der optischen Transmitter und/oder der optischen Empfänger, können alternativ diese separat von dem Treiber und der Spannungsversorgung in einem anderen Gehäuse eingesetzt sein, welches eine bessere Hitzeabfuhr gewährleistet.

15

Beispielsweise ist bzw. sind die zumindest eine Lichterzeugungseinrichtung und/oder die Datenauswerteeinrichtung in einer Nabe des Rotors angeordnet, wobei zumindest eine Lichterzeugungseinrichtung und/oder die Datenauswerteeinrichtung mittels zumindest einer Lichtwellenleitung mit den elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen verbunden ist bzw. sind. In diesem Zusammenhang ist die Nabe Bestandteil des Rotors.

20

Gemäß einem oder mehreren beispielhaften Ausführungsformen können genau eine oder zwei Lichterzeugungseinrichtungen insgesamt vorhanden sein. Es ist auch möglich, daß genau eine oder zwei Lichterzeugungseinrichtungen je Sensoreinrichtung vorhanden sind, d.h. bei drei Sensoreinrichtungen genau drei oder 6 Lichterzeugungseinrichtungen.

25

Beispielsweise sind die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen und die Datenauswerteeinrichtungen in Datenaustausch.

30

Beispielsweise sind die elektrischen Sensoreinrichtungen von der zumindest einen Lichterzeugungseinrichtung und/oder von der Datenauswerteeinrichtung

galvanisch isoliert. Die galvanische Isolierung kann jeweils im wesentlichen vollständig sein.

Verwendung gemäß einem Aspekt

5

Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Verwendung eines elektrisch betreibbaren Sensors in einem Rotorblatt, insbesondere einem erfindungsgemäßen Rotorblatt, wobei der elektrisch betreibbare Sensor galvanisch isoliert in dem Rotorblatt angeordnet ist.

10

Sensoreinrichtung gemäß einem Aspekt

Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung, welche durch Einstrahlen elektromagnetischer Strahlung mit Energie versorgbar ist und/oder betreibbar ist, wobei die Sensoreinrichtung in einem Gerät bzw. in einer Anlage installierbar bzw. anordenbar ist, wobei die Sensoreinrichtung galvanisch isoliert in dem Gerät bzw. in der Anlage installierbar bzw. anordnebar ist, und wobei die Sensoreinrichtung elektromagnetisch abgeschirmt in dem Gerät bzw. in der Anlage installierbar bzw. anordnebar ist.

20

Die obig genannten Begriffsdefinitionen, Ausführungsformen und Weiterbildungen finden auch auf die Sensoreinrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung Anwendung.

25 Figurenbeschreibung

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand begleitender Figuren beispielhaft beschrieben. Es zeigt

- 30 Figur 1: eine Schemaansicht einer Windkraftanlage
 Figur 2: eine Schemaansicht einer Wasserkraftanlage
 Figur 3: eine schematische Darstellung von Elementen der Windkraftanlage
 bzw. einer Wasserkraftanlage.
 Figur 4: eine weitere schematische Darstellung von Elementen der

Windkraftanlage bzw. der Wasserkraftanlage.

Die nachfolgend beschriebene Windkraftanlage bzw. Wasserkraftanlage ermöglicht, die Schwingungen bzw. das Biegeverhalten der Rotorblätter mittels einer oder mehrerer Sensoreinrichtungen zu messen, so daß eine unterbrechungsfreie Überwachung möglich ist. Weiterhin ist das nachfolgend beschriebene technische Überwachungssystem, das Bestandteil einer Windkraftanlage und/oder einer Wasserkraftanlage sein kann, galvanisch isoliert und/oder elektromagnetisch abgeschirmt.

- 10 **Figur 1** zeigt eine beispielhafte Windkraftanlage 1. Die Windkraftanlage 1 umfasst einen Mast 2, an dem ein Rotor 4 angeordnet ist. Der Rotor 4 umfasst drei Rotorblätter 5, die an einer Nabe 3 angeordnet sind. Eine Gondel der Windkraftanlage 1 ist nicht dargestellt. Der Rotor 3 kann an der (nicht dargestellten) Gondel 5 angeordnet sein.
- 15 Die Windkraftanlage 1 umfasst weiterhin eine Lichterzeugungseinrichtung 7 und eine Sensoreinrichtung 9. Die Lichterzeugungseinrichtung 7, beispielsweise ein oder mehrere Laser, kann mittels einer Lichtwellenleitung 11 mit der Lichterzeugungseinrichtung 7 verbunden sein, so daß sich Licht von der Lichterzeugungseinrichtung 7 zu der Sensoreinrichtung 9 hin und insbesondere in
- 20 die Sensoreinrichtung hinein ausbreiten kann. Messdaten werden von der Sensoreinrichtung 9 zurück an eine Datenauswerteeinrichtung 6 in der Nabe gesendet.

- Die Resistenz gegen Blitzeinschlag wird durch eine reine Glasfaseranbindung 11, als bevorzugte Lichtwellenleitung, der Beschleunigungssensoren 9, als bevorzugte
- 25 Sensoreinrichtungen, zur Schwingungsmessung erreicht. Solche Sensoren sind nach heutigem Stand der Technik zumeist elektronisch realisiert, d.h. strombetrieben und werden durch eine elektrische Anbindung, d.h. durch elektrische Leitungen mit elektrischer Energie versorgt. Die Sensoren werden innerhalb des Blattes bzw. Rotorblattes 5, beispielsweise mindestens eine Drittel
- 30 Blattlänge von der Nabe 3 entfernt installiert. Dort ist die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlags deutlich höher als in der Nabe oder Gondel, wo die Auswerteeinheit 7, als bevorzugte Datenauswerteeinrichtung, platziert wird.

Herkömmliche metallische Leitungen in den Blättern können im Falle eines Blitzeinschlages die Energie des Blitzes in die elektrisch angebundenen Sensoren oder in die Nabe zur Lichterzeugungseinrichtung oder zur Datenauswerteeinrichtung leiten. Somit können die elektrisch angebundenen Sensoren und/oder Lichterzeugungseinrichtung und/oder die Datenauswerteeinrichtung Schaden nehmen. Des Weiteren kann bereits ein Einschlag in der Nähe herkömmlicher langer, gerader Anschlußleitung bereits eine hohe Spannung induzieren.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wurde erkannt, daß eine rein optische Anbindung der Sensoren auch in einem rotierenden System, d.h. in den Rotorblättern möglich ist. Somit ist eine elektrische Entkopplung zum Schutz bei Blitzschlag nicht notwendig. Lichtwellenleitungen sind immun gegen Blitzeinschläge und Überspannungen. Da die Sensoren jedoch elektronisch arbeiten, wird in der Lichtwellenleitung soviel Lichtleistung übertragen, damit diese beim Sensor wieder zurück in elektrische Leistung bzw. Energie gewandelt wird. Der Sensor im Blatt kann lokal mit elektrischer Energie versorgt werden ohne den Aufbau einer elektrischen Anbindung.

Vorzugsweise wird ein Sensor über die Lichtleistung der elektromagnetischen Strahlung betrieben, der die Beschleunigungen des Blattes in x- und y-Richtung misst. Daraus können die Schwingungen des Blattes berechnet werden. Die Schwingungen geben Aufschluss über mögliche Beschädigung und Eisansatz am Blatt. Somit ist es nicht notwendig, diese Informationen durch Sichtprüfungen zu gewinnen, sodaß Ausfallzeiten der Anlage gering sind. Insbesondere ist es möglich, auch bei Gewitter zuverlässig Daten zu erhalten, da das System auch bei Blitzschlag arbeitet, sodaß ein Abschalten des Systems bei Gewitter nicht notwendig ist.

Figur 2 zeigt eine beispielhafte Wasserkraftanlage 1. Die Wasserkraftanlage 1 umfasst einen Mast bzw. eine Anordnungsvorrichtung 2. An dem Mast bzw. der Anordnungsvorrichtung 2 ist ein Rotor 4 angeordnet. Der Rotor 4 kann auch eine Turbine sein. Der Rotor 4 umfasst zwei Rotorblätter 5, die an einer Nabe 3 angeordnet sind.

Die Wasserkraftanlage 1 umfasst weiterhin eine Lichterzeugungseinrichtung 7 und eine Sensoreinrichtung 9. Die Lichterzeugungseinrichtung 7, beispielsweise ein oder mehrere Laser, kann mittels einer Lichtwellenleitung 11 mit der Lichterzeugungseinrichtung 7 verbunden sein, so daß sich Licht von der
5 Lichterzeugungseinrichtung 7 zu der Sensoreinrichtung 9 hin und insbesondere in die Sensoreinrichtung hinein ausbreiten kann. Messdaten werden von der Sensoreinrichtung 9 zurück an eine Datenauswerteeinrichtung 6 in der Nabe gesendet.

Die galvanische Isolierung wird durch eine reine Glasfaseranbindung 11, als
10 bevorzugte Lichtwellenleitung, der Beschleunigungssensoren 9, als bevorzugten Sensoreinrichtungen, zur Schwingungsmessung erreicht. Solche Sensoren können elektronisch realisiert sein, d.h. strombetrieben. Die gezeigten Sensoreinrichtungen sind ohne eine elektrische Anbindung, d.h. ohne externe elektrische Leitungen mit elektrischer Energie versorgt. Es versteht sich, daß in
15 den Sensoreinrichtungen und ggf. in einem Gehäuse, in dem die Sensoreinrichtungen angeordnet sind, elektrische Leitungen vorhanden sein können.

Die Sensoren sind innerhalb des Rotorblattes 5 installiert, wobei die
20 Lichterzeugungseinrichtung 7 bzw. die Datenauswerteeinrichtung 6 in der Nabe 3 platziert wird.

Vorteilhafterweise sind aufgrund der optischen Anbindung, d.h. der Anbindung ohne externe elektrische Leitungen, Sensoren in den Rotorblättern in einer sehr
25 korrosiven Umgebung, wie z.B. unter dem Meer oder in einem Fluß, insbesondere in einem Wasserkraftwerk gegen Beschädigung bzw. Zerstörung durch Kurzschlüsse im wesentlichen immun. Mit der vorliegenden Erfindung ist eine aufwendige Isolierung der externen metallischen Leitungen für die Energieversorgung und die Datenübertragung nicht notwendig, da anstelle von
30 elektrischen Leitungen Lichtwellenleitungen eingesetzt sind. Lichtwellenleitungen zeigen eine höhere Wasserfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen vielfältige Arten von Korrosion. Da die Sensoren elektronisch arbeiten, wird in der Lichtwellenleitung so viel Lichtleistung übertragen, daß diese Lichtleistung, die

- beim Sensor wieder zurück in elektrische Leistung bzw. Energie gewandelt wird, ausreicht, um den Sensor zu betreiben. Vorteilhafterweise kann der Sensor im Rotorblatt lokal mit elektrischer Energie versorgt werden, ohne die Notwendigkeit einer elektrischen Anbindung, insbesondere ohne die Notwendigkeit einer elektrischen Anbindung mittels externer elektrischer Leitungen. Somit können elektrische Leitungen in dem Rotorblatt vermieden werden, so daß das Rotorblatt frei von elektrischen Leitungen zu dem einen oder den mehreren Sensoren hin sein kann.
- 10 Vorzugsweise wird ein Sensor über die Lichtleistung der elektromagnetischen Strahlung betrieben. Der Sensor kann die Beschleunigungen des Rotorblattes in x- und y-Richtung messen. Daraus können Schwingungen des Rotorblattes bzw. im Rotorblatt bestimmt, insbesondere berechnet werden. Die Schwingungen geben Aufschluss über mögliche Beschädigung durch Untermeerströmungen am
- 15 Rotorblatt. Vorteilhafterweise ist es somit nicht notwendig, diese Informationen durch Sichtprüfungen zu gewinnen, so daß Ausfallzeiten der Anlage gering sind. Zusätzlich kann/können jedoch auch eine oder mehrere Bildaufnahmeeinrichtungen, z.B. in Form einer oder mehrerer Kameras in und/oder auf dem Rotorblatt angebracht sein, die eine Sichtprüfung in dem
- 20 Rotorblatt und/oder des Rotorblattes von außen ermöglicht. Bei einer internen Prüfung kann ein Teil des Lichts, das zu dem Sensor und/oder der Kamera hin übertragen wird auch zur Beleuchtung des Inneren des Rotorblattes dienen.
- Eine Schaltungsanordnung wird in **Figur 3** gezeigt. Sowohl die notwendige
- 25 Leistung als auch die Daten werden über Lichtwellenleiter übertragen. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die elektrische Anbindung durch einen oder mehrere Lichtwellenleiter LWL ersetzt. Eine Laserdiode koppelt ein hochenergetisches kontinuierliches Signal in einen Lichtwellenleiter LWL ein, der von der Auswerteeinheit (AE) zum Sensor führt. Der erforderliche Laserstrom (Bias) wird
- 30 durch eine Spule zum Laser geführt. Um Steuerdaten zum Sensor übertragen zu können, kann auf den Laser zusätzlich ein Datensignal aufmoduliert werden. Dieses Signal kann kapazitiv in den Laserstrom eingekoppelt werden. Sensorseitig wird das eingehende optische Signal auf eine photovoltaische Zelle (PV) geleitet. Der kontinuierliche Anteil des eingehenden Signals wird zur Energieversorgung

(Supply) der elektronischen Komponenten verwendet. Der variierende Anteil, also die aufmodulierten Steuersignale werden elektronisch wieder aufbereitet und an den Sensor weitergegeben. Die vom Sensor ausgegebenen Daten werden auf eine Laserdiode aufmoduliert und über einen weiteren oder denselben Lichtwellenleiter LWL zurück Richtung Auswerteeinheit AE gesendet. Eine Photodiode wandelt das Lichtsignal wieder in ein elektrisches Signal, das nach eventueller Aufbereitung an die Auswerteeinheit AE weitergegeben wird.

Der Sensor und die davor geschaltete elektronischen Komponenten können in einem speziellen Gehäuse verbaut und damit galvanisch isoliert gemacht werden. Bei Anordnung in bzw. an einer Windkraftanlage können der Sensor und die davor geschaltete(n) elektronische(n) Komponente(n) blitzsicher gemacht sein. Bei Anordnung in bzw. an einer Wasserkraftanlage können der Sensor und die davor geschaltete(n) elektronische(n) Komponente(n) gegen Korrosion z.B. aufgrund von Feuchtigkeit gemacht sein. Das Gehäuse kann die Licherzeugungseinrichtung(en) und die Datenauswerteeinrichtung umfassen. Die Verbindung bis kurz vor die Auswerteeinheit AE besteht nur aus Lichtwellenleiter LWL. Die elektronischen Komponenten und die Auswerteeinheit AE selbst befinden sich innerhalb der Nabe. Bei Anordnung in bzw. an einer Windkraftanlage ist somit das Risiko für Blitzeinschlag gegenüber einer Anordnung in und/oder an den Rotorblättern. Wegen weiterer empfindlicher Komponenten kann die Nabe einer Windkraftanlage bereits gegen Blitzschlag gesichert sein.

Ein Vorteil ist die volle galvanische Trennung bzw. Isolierung zwischen der Auswerteeinheit AE und dem Sensor. Die Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten ist eine der kritischen Komponenten des Gesamtsystems. Ebenso kann mittels der optischen Anbindung, insbesondere des Datenaustausches einfach und zuverlässig eine Ferndiagnose durchgeführt werden.

Eine weitere Schaltungsanordnung wird in **Figur 4** gezeigt. Sowohl die notwendige Leistung als auch die Daten werden über Lichtwellenleitungen übertragen. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die elektrische Anbindung durch eine oder mehrere Lichtwellenleitungen 11 ersetzt. Eine Licherzeugungseinrichtung 7, insbesondere eine Laserdiode 71 koppelt

hochenergetische kontinuierliche Lichtenergie in eine Lichtwellenleitung ein. Die Lichterzeugungseinrichtung 7 beinhaltet auch einen Lasertreiber 73, womit die Laserdiode 71 mit elektrischer Energie versorgt wird.

5 Sensorseitig wird die eingehende Lichtenergie auf eine photovoltaische Zelle 91 geleitet. Die photovoltaische Zelle 91 wandelt die Lichtenergie in elektrische Energie um. Mit der erzeugten elektrischen Energie werden ein Sensor 93 und die davor geschalteten elektronischen Komponenten betrieben. Die vom Sensor 93 ausgegebenen Daten werden von einem Mikrocontroller 95 verarbeitet und
10 mittels eines faseroptischen Transmitters 97 über eine weitere oder dieselbe Lichtwellenleitung 11 zurück an die Datenauswerteeinrichtung 6 gesendet. Ein faseroptischer Empfänger 69 wandelt das optische Messdatensignal wieder in ein elektrisches Signal, das nach Aufbereitung von einem Mikrocontroller 65 an eine WLAN-Einheit 61 weitergegeben wird.

15 Daten zur Steuerung bzw. Regelung werden mittels einer zweiten faseroptischen Verbindung zwischen dem Transmitter 67 und dem Empfänger 69 an die Sensoreinrichtung 9 gesendet. Um Steuerdaten zu der Sensoreinrichtung 9 übertragen zu können, kann ebenso auf die Laserdiode 71 zusätzlich ein Datensignal aufmoduliert werden. Der kontinuierliche Anteil des eingehenden Lichtsignals wird zur Energieversorgung verwendet, wobei der variierende Anteil,
20 also die aufmodulierten Steuersignale, elektronisch vom Mikrocontroller 95 wieder aufbereitet und an den Sensor 93 weitergegeben wird.

Aufgrund der nicht-metallischen Leitungen zur Energieversorgung und Datenübertragung ist die Sensoreinrichtung 9 galvanisch vollständig von der Datenauswerteeinrichtung 6 bzw. der Lichterzeugungseinrichtung 7 getrennt bzw.
25 isoliert.

Bei Anordnung in bzw. an einer Windkraftanlage können der Sensor und die davor geschaltete(n) elektronische(n) und optoelektronische(n) Komponente(n) in einem speziellen Gehäuse 200 zur Abschirmung gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern als Folge eines Blitzeinschlags verbaut
30 werden. Insbesondere kann das Gehäuse ein μ -Metall Gehäuse sein. Aufgrund der vollständigen galvanischen Trennung und der elektromagnetischen

Abschirmung sind die Sensorik in und/oder an den Rotorblättern sowie weitere empfindliche Komponenten in der Nabe gegen Blitzeinschlag gesichert.

- Bei Anordnung in bzw. an einer Wasserkraftanlage sind der Sensor und die davor geschaltete(n) elektronische(n) Komponente(n) resistent gegen Korrosion z.B. aufgrund von Salzwasser. Somit sind die Sensorik in und/oder an den Rotorblättern sowie weitere empfindliche Komponenten in der Nabe gegen Kurzschlüsse als Folge des Wassereinflusses gesichert.

- Die Lichterzeugungseinrichtung 7 und die Datenauswerteeinrichtung 6 können mit einem Gehäuse umfasst werden. Gemäß einer Anordnung befinden sich die Lichterzeugungseinrichtung 7 und die Datenauswerteeinrichtung 6 innerhalb der Nabe 3. Alternativ könnten die Lichterzeugungseinrichtung 7 und die Datenauswerteeinrichtung 6 aber auch in separaten Gehäusen verbaut sein. In diesem Fall könnten die optoelektronischen Komponenten 71, 67 und 69 aufgrund einer besseren mechanischen Festigkeit in dem Rotorblatt 5 platziert werden.

- Hauptvorteile sind die volle galvanische Trennung bzw. Isolierung zwischen der Sensoreinrichtung 9 und der Datenauswerteeinrichtung 6 bzw. der Lichterzeugungseinrichtung 7. Die Verbindung zwischen diesen Komponenten ist eine der kritischen Komponenten des Gesamtsystems. Es kann mittels der optischen Anbindung, insbesondere des Datenaustausches, einfach und zuverlässig eine Ferndiagnose durchgeführt werden.

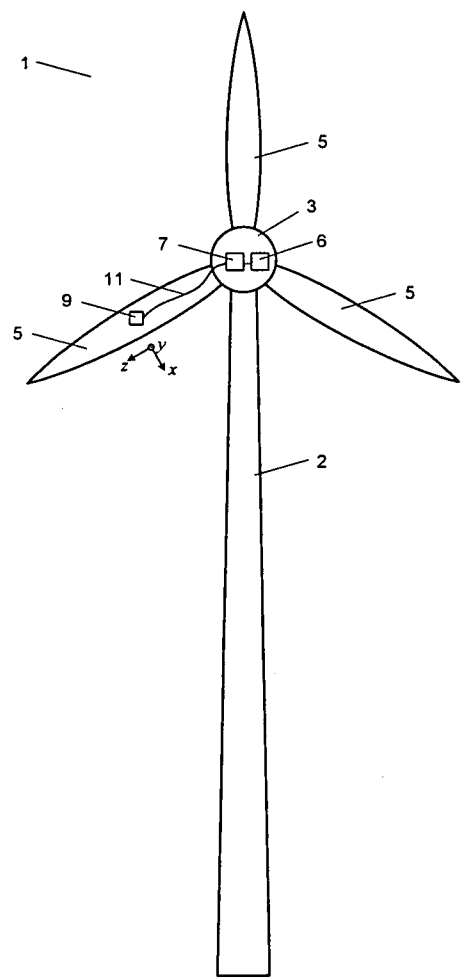
Patentansprüche

1. Rotorblatt (5) für eine Energieerzeugungsanlage (1), insbesondere für eine Windkraftanlage (1) oder eine Wasserkraftanlage (1), wobei
 - das Rotorblatt (5) eine elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) umfasst und wobei
 - die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) durch Einstrahlen elektromagnetischer Strahlung mit Energie versorgbar ist und/oder betreibbar ist.
2. Rotorblatt (5) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) galvanisch isoliert in dem Rotorblatt (5) angeordnet ist.
3. Rotorblatt (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) elektromagnetisch abgeschirmt in dem Rotorblatt (5) angeordnet ist.
4. Rotorblatt (5) nach Anspruch 3, wobei für die elektromagnetische Abschirmung μ -Metall verwendet wird.
5. Rotorblatt (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Rotorblatt (5) zumindest eine optische Lichtwellenleitung (11) umfasst und wobei elektromagnetische Strahlung mittels der zumindest einen optischen Lichtwellenleitung (11) in die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) eingekoppelt ist.

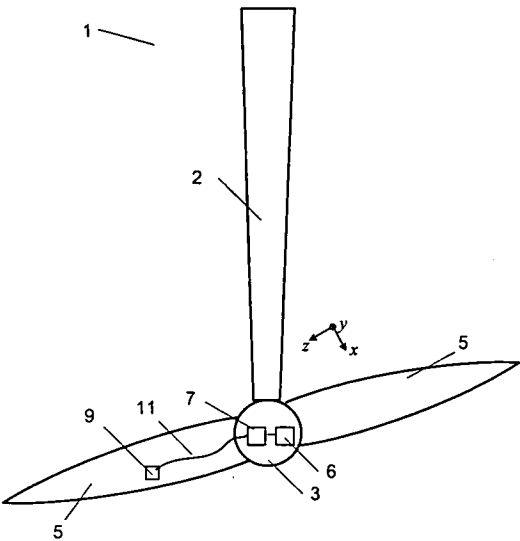
- 5 6. Rotorblatt (5) nach Anspruch 5, wobei ein Ende der optischen Lichtwellenleitung (11) in ein Gehäuse der elektrisch betreibbar Sensoreinrichtung (9) hinein ragt oder wobei das eine Ende der optischen Lichtwellenleitung (11) außerhalb des Gehäuses der elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtung (9) endet.
- 10 7. Rotorblatt (5) nach Anspruch 5 oder 6, wobei ein anderes Ende der optischen Lichtwellenleitung (11) optisch an eine Lichterzeugungseinrichtung (7), insbesondere an einen Laser gekoppelt ist.
- 15 8. Rotorblatt (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die elektromagnetische Strahlung einen kontinuierlichen Anteil aufweist und einen variierenden Anteil aufweist, wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) mittels des kontinuierlichen Anteils mit Energie versorgt ist und wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) mittels des variierenden Anteils gesteuert bzw. geregelt ist.
- 20 9. Rotorblatt (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) einen Beschleunigungssensor umfasst und wobei mittels eines Datensignals des Beschleunigungssensors ein Schwingungsverhalten und/oder Biegeverhalten des Rotorblattes (5) bestimmbar ist.
- 25 10. Rotorblatt (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Rotorblatt (5) eine Enteisungsvorrichtung umfasst.
- 30 11. Energieerzeugungsanlage (1), insbesondere Windkraftanlage (1) oder Wasserkraftanlage (1) mit
- einem Rotor (4), der eine Vielzahl von Rotorblättern (5) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche umfasst und mit
 - zumindest einer Lichterzeugungseinrichtung (7).

12. Energieerzeugungsanlage (1) nach Anspruch 11, wobei Energieerzeugungsanlage (1) genau eine Lichterzeugungseinrichtung (7) umfasst, und wobei die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen (9) der Rotorblätter (5) optisch an die genau eine Lichterzeugungseinrichtung (7) gekoppelt sind.
13. Energieerzeugungsanlage (1) nach Anspruch 11, wobei die Anzahl der Lichterzeugungseinrichtungen (7) gleich der Anzahl der elektrischen Sensoreinrichtungen (9) ist, und wobei jede elektrisch betreibbare Sensoreinrichtung (9) optisch an eine zugeordnete Lichterzeugungseinrichtung (7) gekoppelt ist.
14. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Lichterzeugungseinrichtung (7) in dem Rotor (5) angeordnet ist.
15. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die Energieerzeugungsanlage (1) eine Datenauswerteeinrichtung (7) umfasst, und wobei die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen (9) optisch an die Datenauswerteeinrichtung (7) gekoppelt sind.
16. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei die Datenauswerteeinrichtung (7) in dem Rotor (5) angeordnet ist.
17. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei die zumindest eine Lichterzeugungseinrichtung (7) und/oder die Datenauswerteeinrichtung (7) in einer Nabe (3) des Rotors (4) angeordnet ist bzw. sind, und wobei die zumindest eine Lichterzeugungseinrichtung (7) und/oder die Datenauswerteeinrichtung (7) mittels zumindest einer Lichtwellenleitung (11) mit den elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen (9) verbunden ist bzw. sind.
18. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 17, wobei die elektrisch betreibbaren Sensoreinrichtungen (9) und die Datenauswerteeinrichtungen (7) in Datenaustausch sind.

- 5 19. Energieerzeugungsanlage (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 18, wobei die elektrischen Sensoreinrichtungen (9) von der zumindest einen Lichterzeugungseinrichtung (7) und/oder von der Datenauswerteeinrichtung (7) galvanisch isoliert sind.
20. Verwendung eines elektrisch betreibbaren Sensors (9) in einem Rotorblatt (5), wobei der elektrisch betreibbare Sensor (9) galvanisch isoliert in dem Rotorblatt angeordnet ist.

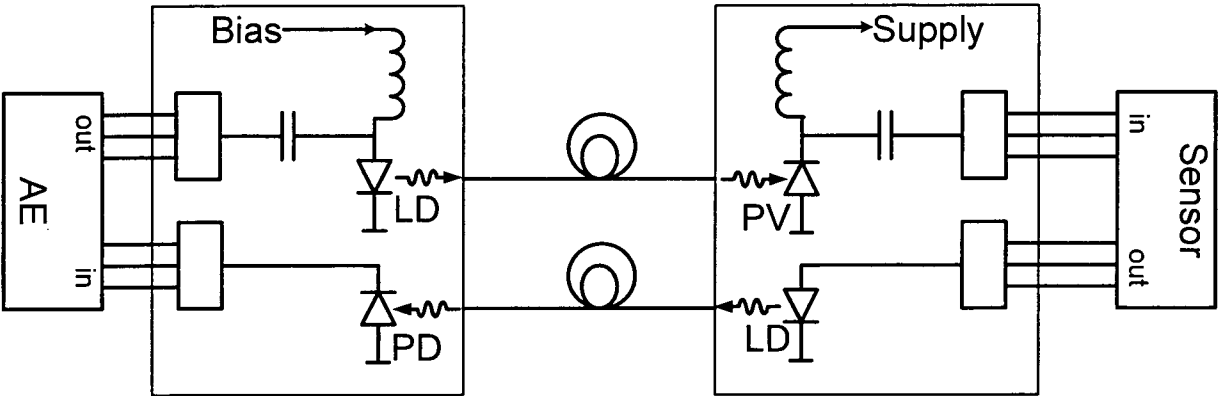


Figur 1

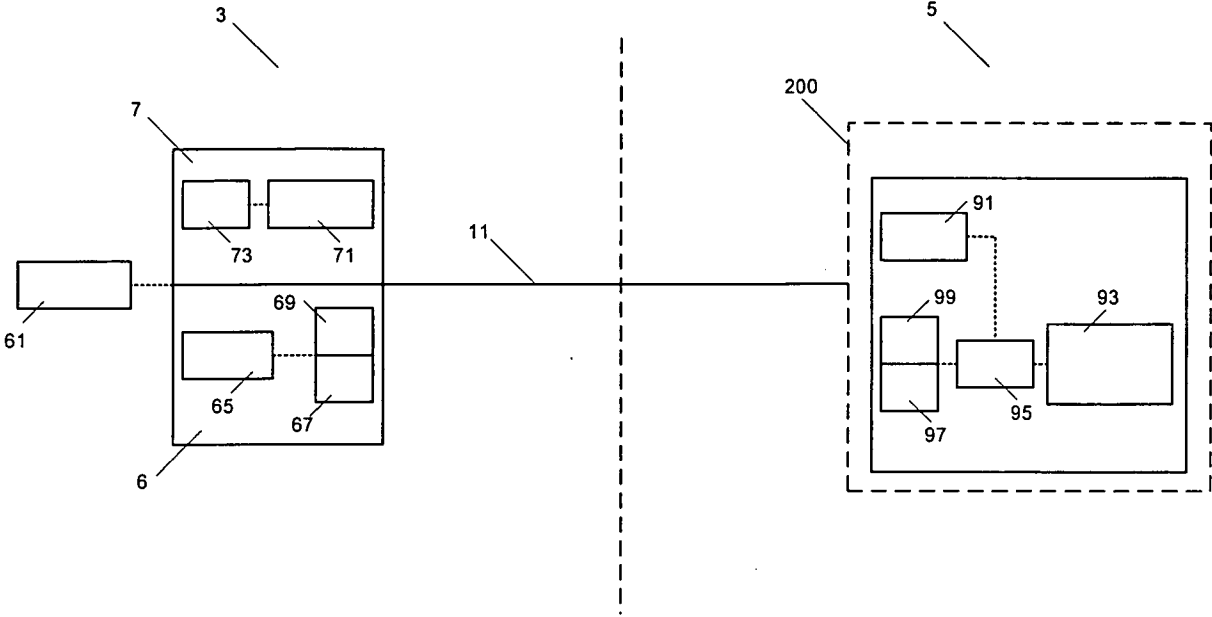


Figur 2

5



Figur 3



Figur 4