



(10) **DE 10 2017 127 635 A1** 2019.05.23

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 127 635.1**

(22) Anmeldetag: **22.11.2017**

(43) Offenlegungstag: **23.05.2019**

(51) Int Cl.: **F03D 17/00 (2016.01)**
G01N 22/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Wobben Properties GmbH, 26607 Aurich, DE

(74) Vertreter:
**Eisenführ Speiser Patentanwälte Rechtsanwälte
PartGmbH, 28217 Bremen, DE**

(72) Erfinder:
Link, Thorsten, 26506 Norden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

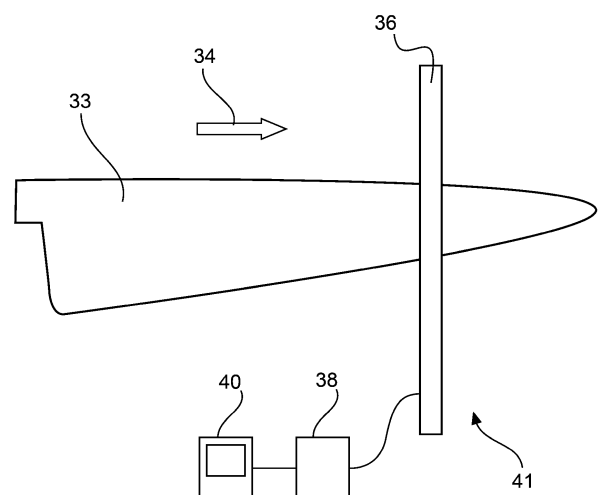
DE	10 2014 214 570	A1
DE	20 2013 007 659	U1
DE	699 09 306	T2

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Bauteil für eine Windenergieanlage sowie Verfahren zum Herstellen und Verfahren zum Prüfen des Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Bauteil (108, 22, 33) für eine Windenergieanlage, wobei das Bauteil (108, 22, 33) überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff (12) besteht und das Bauteil (108, 22, 33) neben dem überwiegend nichtleitenden Werkstoff (12) in das Bauteil (108, 22, 33) eingebrachte elektrisch leitende Fasern (14) aufweist. Die elektrisch leitenden Fasern (14) sind derart im Werkstoff angeordnet, dass ihre Positionen und/oder Formen und/oder ihre Verteilung, insbesondere auch ihre lokale Konzentration, Häufigkeit und/oder Dichte, abhängig von der Position und/oder Form und/oder Verteilung zumindest eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs (12) sind. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen des Bauteils sowie ein Verfahren zum Prüfen eines derartigen Bauteils mit einem Radarsystem (41) und eine Verwendung leitender Fasern (14) in einem Bauteil aus überwiegend nichtleitendem Werkstoff (12) zum Erzeugen von Radarreflexionen zur Prüfung des Bauteils (108, 22, 33).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Bauteil für eine Windenergieanlage, das überwiegend aus nichtleitendem Material besteht. Das Bauteil ist beispielsweise ein Halbzeug eines Rotorblatts oder ein Teil eines Rotorblatts, insbesondere eine tragende Komponente eines Rotorblatts wie z.B. ein Holmgurt. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen des Bauteils. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Prüfen des Bauteils, insbesondere, um bei der Herstellung erzeugte Defekte zu detektieren.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Windenergieanlagen hinlänglich bekannt. Die Windenergieanlagen weisen einen Generator auf, der durch einen aerodynamischen Rotor angetrieben wird und so aus dem Wind gewonnene Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandelt. Die elektrische Energie wird dann in ein Versorgungsnetz eingespeist.

[0003] Eine aufgestellte Windenergieanlage ist eine komplexe Einheit, die aus einer Vielzahl von Bauteilen besteht. Bauteile sind beispielsweise ein Fundament einer Windenergieanlage, ein Turm der Windenergieanlage, eine Gondel der Windenergieanlage, mehrere Rotorblätter des aerodynamischen Rotors, der Generator, die elektrische Einrichtung, um mit dem Generator erzeugte Energie in ein Netz einzuspeisen, sowie deren Einzelteile.

[0004] Die überwiegende Mehrheit dieser Bauteile für die Windenergieanlage wird an einem Produktionsort, der unterschiedlich zum späteren Einsatzort ist, vorgefertigt. Am Einsatzort werden die vorgefertigten Bauteile dann mit zusätzlichen erst am Einsatzort erzeugten Bauteilen, wie beispielsweise dem Fundament, zu einer Windenergieanlage zusammengesetzt.

[0005] Die Bauteile unterliegen höchsten Qualitätsanforderungen, da nicht nur ein möglichst unterbrechungsfreier Betrieb gewährleistet wird, sondern auch keine Gefahr durch die Windenergieanlage am Einsatzort besteht. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Windenergieanlagen in der Regel an Einsatzorten aufgestellt werden, an denen häufig Winde mit hohen Kräften auftreten. Demnach sind Windenergieanlagen regelmäßig starken Belastungen durch die auftretenden Winde, insbesondere im Fall von Sturmböen, ausgesetzt. Besonders hohe Kräfte wirken hier beispielsweise auf das Fundament, den Turm und den Rotor mit seinen Rotorblättern. Defekt hergestellte Bauteile der Windenergieanlage könnten demnach beim Einsatz, insbesondere verursacht durch starke Sturmböen, brechen oder reißen, so dass hierdurch Teile der Windenergieanlage weggeschleudert werden können und somit eine Gefahr darstellen. Eine Prüfung, insbesondere der Bauteile,

die diesen starken Kräften ausgesetzt sind, ist somit essentiell.

[0006] Für die Prüfung dieser Bauteile werden häufig Ultraschallverfahren eingesetzt, bei denen mit einem Ultraschallsystem die Bauteile der Windenergieanlage durchleuchtet werden, um die Struktur der Bauteile zu prüfen. Derartige Ultraschallverfahren werden heutzutage beispielsweise bei Rotorblättern eingesetzt. Rotorblätter bestehen aus einer Glasfaserhülle, deren tragende Bauteile z.B. Holmgurte sind. Die Konstruktion der Holme ist hierbei für verschiedene Prüfkriterien durch einfache Sichtprüfung prüfbar. Insbesondere die tieferliegende Anordnung der Glasfasern, also die tragende Struktur der Bauteile, muss jedoch mit den zuvor genannten Ultraschallsystemen geprüft werden, da in einem Verbund aus Glasfasern nicht mehr der Verlauf einzelner Fasern durch Sichtprüfung nachvollziehbar ist.

[0007] Die Prüfung mit Ultraschallsystemen ist jedoch sehr langwierig und teilweise schwierig auszuführen. Ultraschallmessköpfe müssen zur Prüfung mit einer vorgeschriebenen Geschwindigkeit über die Oberfläche eines Bauteils, zum Beispiels des Rotorblatts, geführt werden, sodass eine komplette Prüfung eines Rotorblatts, insbesondere dessen Holmgurtes, mehrere Stunden dauern kann. Außerdem muss das Ultraschallsystem mit seinem Ultraschallmesskopf zur Übertragung des Ultraschalls auf das zu prüfende Bauteil durch ein Gel oder eine Flüssigkeit mit dem Bauteil verbunden sein, was das Verfahren zusätzlich sehr aufwendig macht.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, den Problemen des Standes der Technik zu begegnen. Insbesondere soll eine Lösung vorgeschlagen werden, die es ermöglicht, ein Bauteil einer Windenergieanlage mit möglichst geringem Aufwand und hoher Geschwindigkeit zu prüfen. Jedenfalls soll eine Alternative zum Stand der Technik vorgeschlagen werden.

[0009] Die vorliegende Erfindung schlägt zunächst ein Bauteil für eine Windenergieanlage vor, wobei das Bauteil überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff besteht. Der Begriff Werkstoff ist hier nicht auf eine einzelne Werkstoffgruppe beschränkt, sondern umfasst auch Werkstoffe wie beispielsweise Verbundwerkstoffe, nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe oder Polymere. Überwiegend nichtleitender Werkstoff bedeutet, dass mindestens mehr als 50 %, vorzugsweise mehr als 75 % und insbesondere mehr als 90 oder 95 % des Bauteils aus einem Werkstoff besteht, der nichtleitend ist. Nichtleitend bedeutet, dass die Stoffe eine Leitfähigkeit von weniger als $10^{-8} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ bzw. einen spezifischen Widerstand von über $10^8 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ aufweist. Die Dielektrizitätszahl der nichtleitenden Stoffe beträgt vorzugsweise Werte im Bereich von 1-14.

[0010] Das Bauteil weist neben dem nichtleitenden Werkstoff in das Bauteil eingebrachte elektrisch leitende Fasern auf. Eine Faser ist ein längliches Gebilde, das im Verhältnis zur Länge einen wesentlich geringeren Querschnitt aufweist. Hierdurch ist eine Faser üblicherweise auch flexibel.

[0011] Erfindungsgemäß sind die elektrisch leitenden Fasern derart im Werkstoff angeordnet, dass ihre Positionen und/oder ihre Formen und/oder ihre Verteilung, insbesondere auch ihre Konzentration, Häufigkeit und/oder Dichte, abhängig von der Position und/oder Form und/oder Verteilung zumindest eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs sind und so die Position und/oder Form und/oder Verteilung des Teils des nichtleitenden Werkstoffs anzeigen.

[0012] Gemäß der Erfindung sind also leitende Fasern derartig im Bauteil, das ansonsten überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff besteht, in einer vorbestimmten Weise verteilt, sodass durch ihre Anordnung auch auf die Anordnung des nichtleitenden Werkstoffs im Bauteil geschlossen werden kann. Hierdurch ist es möglich, das Bauteil mit einem Verfahren zu durchleuchten, das leitende Bauteile detektiert. Hierzu sei beispielsweise ein Radarverfahren genannt.

[0013] Es ist also möglich, mittels Radar die Positionen und/oder Formen und/oder Verteilung der leitenden Fasern zu detektieren und aufgrund der Anordnung, also des Musters oder der Struktur der leitenden Fasern, also durch die Positionen, Formen und/oder ihre Verteilung, die Struktur, das Muster oder die Anordnung des nichtleitenden Werkstoffs durch die Abhängigkeit zu prüfen. Mittels eines Radarverfahrens lassen sich somit beispielsweise Lufteinschlüsse im nichtleitenden Werkstoff oder ungewünschte Verformungen des nichtleitenden Werkstoffs identifizieren.

[0014] Gemäß einer ersten Ausführungsform ist das Bauteil ein Halbzeug, insbesondere ein Teil eines Rotorblatts, wie eine Halbschale oder ein Holmgurt eines Rotorblatts oder ein Teil einer Halbschale eines Rotorblatts einer Windenergieanlage. Der nichtleitende Werkstoff umfasst hierbei Glasfasern und den die Fasern umgebenden Kunststoff. Alternativ sind dies z.B. auch Schaumstoffe oder Balsaholz, die im Rotorblattbau verwendet werden. Alternativ ist das Bauteil ein Fundament für die Windenergieanlage, und der nichtleitende Werkstoff umfasst Beton. Gemäß einer weiteren Alternative dieser Ausführungsform ist das Bauteil ein Rotorblatt und der nichtleitende Werkstoff umfasst Glasfasern sowie einen Klebstoff zum Verbinden zweier Halbschalen des Rotorblatts. Alternativ können auch Halbzeuge geprüft werden, die noch nicht mit Harz zu einem Glasfaserverbundwerkstoff zusammengefügt wurden. All diese Bauteile für Windenergieanlagen weisen besonders gro-

ße Oberflächen auf, die mit den herkömmlichen Ultraschallsystemen nur sehr langsam zu prüfen waren. Aufgrund des Einbringens der leitenden Fasern in diese Bauteile ist eine schnellere Prüfung derartiger Bauteile möglich.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die leitenden Fasern Metalldrähte, mit einem leitenden Material versehene oder beschichtete Glasfasern oder Kohlenstofffasern. Metalldrähte sind vorzugsweise Golddrähte. Derartige Fasern sind günstig und in großer Zahl verfügbar. Gleichzeitig erzeugen derartige leitende Fasern durch ihre gute elektrische Leitfähigkeit ein gut detektierbares Radarecho.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die leitenden Fasern einen Durchmesser von weniger als 1 mm, vorzugsweise weniger als 100 µm oder besonders bevorzugt weniger als 50 µm auf. Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen die Fasern eine Länge von weniger als 2 cm, vorzugsweise weniger als 1 cm auf.

[0017] Durch den geringen Durchmesser und/oder die geringe Länge, insbesondere unter Beachtung einer entsprechenden Konzentration und/oder Dichte, der Fasern wird verhindert, dass weiter oben in einem Bauteil angeordnete leitende Fasern darunterliegende leitende Fasern ganz oder größtenteils in einem Radarecho verdecken. Eine bessere Prüfung des Bauteils im Hinblick auf die Position, Form und/oder Verteilung eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs im Hinblick auf seine Tiefe mit einem Radar wird somit gewährleistet.

[0018] Alternativ ist es auch möglich, durch die Zugabe der leitenden Fasern nur in tieferliegenden Schichten der Bauteile nur diese deutlich zu erkennen, wobei die darüberliegenden Bauteile nicht erfasst oder betrachtet werden.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der nichtleitende Werkstoff oder zumindest ein Teil davon von der Art von Werkstoffen, die vor dem Verarbeiten zum Fertigstellen des Bauteils, nämlich insbesondere einem Aushärten, durch Ausüben einer Kraft formbar sind, wobei diese Verformbarkeit insbesondere eine plastische Verformbarkeit ist oder der Werkstoff oder der Teil davon ein viskoses Verhalten aufweist. Außerdem ist der nichtleitende Werkstoff oder der Teil davon von der Art von Werkstoffen, die nach dem Verarbeiten, insbesondere durch Aushärten, zum Herstellen des Bauteils fest, insbesondere elastisch verformbar und/oder brechbar, also z.B. spröde, ist.

[0020] Der Werkstoff oder der Teil des Werkstoffs ist also zunächst vor dem Verarbeiten, insbesondere einem Aushärten, verformbar und ist durch einen Schritt beim Herstellen oder Verarbeiten in einen fes-

ten Zustand überführbar, in dem der Werkstoff oder der Teil davon nur noch elastisch verformbar und/oder brechbar ist.

[0021] Bauteile, die aus diesen zuletzt genannten Werkstoff hergestellt sind, weisen beim Übergang vom formbaren Zustand zum festen Zustand häufig Veränderungen im Hinblick auf ihre Struktur auf, die vorteilhafterweise mit den eingebrachten leitenden Fasern, die sich zusammen mit dem Werkstoff oder dem Teil davon verformen, nachvollzogen werden können. Anhand der leitenden Fasern ist somit ein beim Aushärten entstandener Defekt eines nichtleitenden Werkstoffs durch eine ungewünschte Strukturänderung detektierbar.

[0022] Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Bauteils, insbesondere nach einer der vorgenannten Ausführungsformen. Bei der Herstellung eines Bauteils, das überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff besteht, werden in dem Werkstoff oder zumindest in einen Teil davon elektrisch leitende Fasern angeordnet. Hierbei werden die leitenden Fasern derart angeordnet, dass ihre Positionen und/oder Formen und/oder ihre Verteilung, insbesondere durch ihre lokale Konzentration, Häufigkeit und/oder Dichte, abhängig von der Position und/oder Form und/oder Verteilung mindestens eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs ist.

[0023] Veränderungen der Struktur des nichtleitenden Werkstoffs ziehen durch die Abhängigkeit somit eine Veränderung der Positionen und/oder Formen und/oder der Verteilung der leitenden Fasern nach sich. Durch Detektion der leitenden Fasern, beispielsweise mittels eines Radarprüfverfahrens, kann somit auf die Struktur des nichtleitenden Werkstoffs oder zumindest eines Teils davon geschlossen werden.

[0024] Gemäß einer ersten Ausführungsform des Verfahrens zum Herstellen des Bauteils umfasst der nichtleitende Werkstoff ein Gemisch zum Erzeugen von Beton aus dem Gemisch und/oder einen verflüssigten Klebstoff, der aushärtbar ist. Mit dem nichtleitenden Werkstoff werden zur Herstellung des Bauteils die leitenden Fasern vermischt, bis eine vordefinierte Mischgüte, insbesondere der Fasern im Gemisch, erreicht wird. Die vordefinierte Mischgüte wird z.B. experimentell vordefiniert. Beispielsweise wird für unterschiedliche Mengen jeweils eine Mischzeit mit vordefinierten Mischmitteln vorbestimmt. Die vordefinierte Mischgüte ist hierbei so vordefiniert, dass von einer im Wesentlichen gleichmäßigen Verteilung der elektrischen Fasern auszugehen ist.

[0025] Hierdurch ist bei der weiteren Herstellung des Bauteils nach Verfestigen oder Aushärten des nichtleitenden Werkstoffs von einer vordefinierten gleichmäßigen Verteilung der leitenden Fasern im nichtleitenden Werkstoff auszugehen. Wird nun die Vertei-

lung der leitenden Fasern nach dem Aushärten oder Verfestigen des nichtleitenden Gemischs beispielsweise durch ein Radarsystem detektiert, so können Stellen, in denen verhältnismäßig weniger oder mehr der leitenden Fasern angeordnet sind, als Defektstellen identifiziert werden, an denen nämlich verhältnismäßig weniger oder mehr von dem nichtleitenden Werkstoff vorhanden ist.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Mischgüte zum vorgenannten Vermischen durch ein Radarsystem bereits beim Mischen oder zumindest vor dem Aushärten bestimmt. Hierbei kann die Mischgüte dank der leitenden Fasern sicher festgestellt werden.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden zum Herstellen des Bauteils, das ein Rotorblatt oder ein Rotorblattteil, insbesondere einer Rotorblatt-halbschale oder ein tragender Holmgurt, ist, Glasfasern, die Bestandteil des nichtleitenden Werkstoffs sind, in einer vordefinierten Position zueinander angeordnet. Dies erfolgt vorzugsweise in oder mithilfe einer Rotorblattform. Zusätzlich werden leitende Fasern, insbesondere Metalleidrähte, mit einem leitfähigen Material versehene oder beschichtete Glasfasern oder Kohlenstofffasern zwischen den übrigen Glasfasern, insbesondere in der Form, angeordnet. Die Glasfasern sowie die leitenden Fasern werden dann mit einem Klebstoff in ein festes Bauteil überführt, das elastisch verformbar und/oder brechbar ist. Der Klebstoff ist insbesondere ein Harz, vorzugsweise ein Epoxid-Harz, das vorzugsweise durch Aminhärter aushärtbar ist, wobei der Klebstoff ebenfalls vorzugsweise Bestandteil des nichtleitenden Werkstoffs ist.

[0028] Glasfasern, die sich beim Aushärten verformen, beispielsweise durch Wärmeausdehnung oder mechanische weitere Einwirkungen, verursachen somit auch eine Verformung der im Verbund liegenden leitenden Fasern. Derartige Verformungen der Glasfasern sind somit durch Detektion der Verformung einer leitenden Faser mit einem Radarsystem detektierbar.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden die Glasfasern gemäß der zuvor genannten Ausführungsform vor dem Anordnen zu Bündeln gewickelt, wobei die Bündel in vordefinierten Positionen zueinander angeordnet werden. In mehreren oder allen der Bündel wird zusätzlich zu den Glasfasern mindestens eine leitende Faser beim Herstellen eines Bündels mit eingewickelt.

[0030] Hierdurch ist eine unmittelbare Abhängigkeit der Verformung der leitenden Faser von einer oder mehreren Glasfasern des gleichen Bündels, die nicht leitend sind, gewährleistet. Zusätzlich kann bereits

beim Wickeln der Bündel die Wickelgüte mit einem Radarsystem überwacht werden.

[0031] Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Prüfen eines Bauteils einer Windenergieanlage nach einer der vorgenannten Ausführungsformen, das insbesondere durch ein Verfahren nach einer der vorgenannten Ausführungsformen hergestellt ist. Gemäß dem Verfahren wird die Position, Form und/oder Verteilung, insbesondere auch die lokale Konzentration, Häufigkeit und/oder Dichte, von leitenden Fasern im Bauteil, vorzugsweise mit einem Radarsystem, detektiert. Durch Detektion der Anordnung oder Struktur der leitenden Fasern im Bauteil können somit Defekte im Bauteil einfacher identifiziert werden.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst das Prüfen der Struktur eines Bauteils zunächst das Senden von Radarstrahlen auf das Bauteil und das Erfassen von Radarreflexionen vom Bauteil mit einem Radarsystem. Die Radarreflexionen zeigen die Anordnung, also die Position, Form und/oder Verteilung der leitenden Fasern im Bauteil an, wobei die Anordnung der leitenden Fasern wiederum die Anordnung des nichtleitenden Werkstoffs oder eines Teils davon anzeigt.

[0033] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden zur Prüfung des Bauteils die Radarreflexion eines Teils des Bauteils oder die Anordnung der leitenden Fasern in einem Teil des Bauteils mit hinterlegten erwarteten Reflexionen oder erwarteten Anordnungen leitender Fasern verglichen. Im Falle eines Übereinstimmungsgrads des Vergleichs unterhalb eines ersten Schwellenwerts wird das Bauteil als fehlerhaft bewertet.

[0034] Eine einfache automatisierte Prüfung des Bauteils ist somit möglich, wobei hierfür Bildverarbeitungsverfahren verwendet werden können.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Bauteil mit einem polarimetrischen Radar geprüft. Hierbei sendet und empfängt das Radar horizontal und vertikal polarisierte elektromagnetische Wellen aus, um noch besser die Form der leitenden Fasern zu erkennen.

[0036] Außerdem umfasst die Erfindung die Verwendung einer leitenden Faser in einem Bauteil, das überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff besteht, um Radarreflexionen zur Prüfung des Bauteils zu erzeugen.

[0037] Weitere Ausführungsformen ergeben sich anhand der in den Figuren näher erläuterten Ausführungsbeispiele. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine Windenergieanlage,

Fig. 2 eine Seitenansicht einer Rotorblattform,

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine Rotorblattform,

Fig. 4 einen Schnitt durch ein Rotorblatt zur Darstellung der Holmgurte,

Fig. 5 die Schritte zum Herstellen eines Rotorblatts,

Fig. 6 ein Fundament einer Windenergieanlage,

Fig. 7 die Schritte zum Herstellen des Fundaments,

Fig. 8 ein Rotorblatt einer Windenergieanlage bei der Prüfung und

Fig. 9 die Schritte zum Prüfen eines Bauteils für eine Windenergieanlage.

[0038] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer Windenergieanlage **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Windenergieanlage **100** weist eine Vielzahl von Bauteilen auf. Beispiele für die Bauteile sind ein Turm **102** und eine Gondel **104** auf dem Turm **102**. An der Gondel **104** ist ein aerodynamischer Rotor **106** mit drei Rotorblättern **108** und einem Spinner **110** vorgesehen. Der aerodynamische Rotor **106**, die Rotorblätter **108** und der Spinner **110** können ebenfalls als Bauteile bezeichnet werden.

[0039] Der aerodynamische Rotor **106** wird im Betrieb der Windenergieanlage durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und dreht somit auch einen elektrodynamischen Rotor oder Läufer eines Generators, welcher direkt oder indirekt mit dem aerodynamischen Rotor **106** gekoppelt ist. Der elektrische Generator ist in der Gondel **104** angeordnet und erzeugt elektrische Energie. Die Pitchwinkel der Rotorblätter **108** können durch Pitchmotoren an den Rotorblattwurzeln der jeweiligen Rotorblätter **108** verändert werden.

[0040] **Fig. 2** zeigt eine Rotorblattform **10** im Querschnitt. Die Rotorblattform **10** dient zum Herstellen einer Halbschale eines Rotorblatts **108** für eine Windenergieanlage **100**. Die Halbschale kann auch als Bauteil für eine Windenergieanlage bezeichnet werden. Zur Herstellung wird in die Form **10** ein nichtleitender Werkstoff **12**, hier Glasfasern, in Längsrichtung eingelegt. Neben den Glasfasern sind einige elektrisch leitende Fasern **14**, nämlich z.B. Metalldrähte oder Kohlefasern, in die Rotorblattform **10** eingebracht. Somit wird das Bauteil mit einem überwiegend nichtleitenden Werkstoff **12**, nämlich den Glasfasern, sowie mit elektrisch leitenden Fasern **14**, nämlich den Metalldrähten, hergestellt. Die Metalldrähte, also die elektrisch leitenden Fasern **14**, sind hierbei so positioniert, dass ihre Positionen und/oder Formen abhängig von den Positionen und/oder For-

men des nichtleitenden Werkstoffs **12**, nämlich der Glasfasern **12**, sind.

[0041] Insbesondere wird zur weiteren Herstellung einer Halbschale eines Rotorblatts **108** eine Folie über die hier dargestellten Lagen der Glasfasern gelegt und das Volumen innerhalb der Folie vakuumiert, während ein Klebstoff innerhalb der Folie eingebracht ist, um die Glasfasern und die leitenden Fasern **14** im Vakuum miteinander zu verkleben. Die durch das Vakuumieren entstehenden Kräfte können dafür sorgen, dass eine oder mehrere der Glasfasern sich verformen oder ihre Position verändern. Innerhalb des Vakuums ist auf Grund der im Verbund liegenden Fasern jedoch nur ein begrenzter Platz vorhanden, sodass mehrere andere Glasfasern und auch wenigstens eine der leitenden Fasern in einem derartigen Fall mit verschoben werden. Durch die Verformung oder Verschiebung der Position des Metalldrahts kann dann auf eine verschobene oder verformte Glasfaser geschlossen werden. Die Form oder Position des Metalldrahts lässt sich nach der Fertigung im Verbund der Glasfasern durch ein Radarsystem bestimmen.

[0042] Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer Rotorblattform. Verhältnismäßig sind auch die Glasfasern gegenüber den Maßen der Form **10** besonders dick, also mit einem besonders großen Durchmesser, dargestellt. Gleiches gilt für die Metalldrähte. Dies dient hier nur zur besseren Darstellung. Tatsächlich sind auch mehr als die hier dargestellten Lagen üblich. Gegenüber den hier dargestellten zwei Lagen weisen Rotorblatthalbschalen üblicherweise mehr als zwei Lagen von Glasfasern auf, wobei die Darstellung hier nur zur besseren Übersicht gewählt ist.

[0043] Fig. 3 zeigt die Ansicht der Rotorblattform **10** von oben. Hier ist erneut der nichtleitende Werkstoff **12**, nämlich die Glasfasern, sowie die leitenden Fasern **14**, nämlich z.B. die Metalldrähte oder Kohlefasern, dargestellt. Die leitenden Fasern **14** sind hier als vergleichsweise dickere Streifen als die Glasfasern dargestellt, wobei die leitenden Fasern **14** auch dünner sein können, also beispielsweise einen geringeren Durchmesser aufweisen können als die Glasfasern. Die breitere Darstellung der leitenden Fasern **14** gegenüber den Glasfasern dient hier nur zur Verdeutlichung und zur Unterscheidung zwischen den Glasfasern und den leitenden Fasern **14**. In der Darstellung in Fig. 3 ist somit lediglich schematisch die oberste Lage von Glasfasern und Metalldrähten in der Rotorblattform **10** erkennbar.

[0044] Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch ein Rotorblatt **108**, das eine Druckseite **13** und eine Saugseite **15** umfasst. Auf der Druckseite **13** ist innerhalb der Rotorblatthalbschalen, also innerhalb der Hülle des Rotorblatts, auf der Druckseite **13** ein Holmgurt **16** und auf der Saugseite ein weiterer Holmgurt **16** angeord-

net. Die Holmgurte **16** sind durch Stege **17** voneinander beabstandet. Die Holmgurte **16** und die Stege **17** bilden das tragende Element für die Rotorblatthülle. Auch die Holmgurte **16** sind als Bauteile im Sinne der Erfindung zu verstehen. Demnach Bestehen die Holmgurte **16** überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff **12**, in den hier nicht dargestellte elektrisch leitende Fasern **14** eingebracht sind.

[0045] Fig. 5 zeigt die Schritte zum Herstellen eines Bauteils, nämlich einer Rotorblatthalbschale oder eines Holmgurtes **16** eines Rotorblatts **108**, für eine Windenergieanlage **100**. In einem Schritt **18** zur Herstellung werden elektrisch leitende Fasern **14**, nämlich z.B. Kohlefasern oder Metalldrähte, in einem nichtleitenden Werkstoff **12**, der formbar ist, nämlich Glasfasern, in vorbestimmter Weise angeordnet. In einem Schritt **19** wird der nichtleitende Werkstoff mit einem Harz verklebt, wobei dann in einem Schritt **20** die Anordnung der leitenden Fasern **14** detektiert wird und dadurch zumindest auf die Anordnung eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs **12** geschlossen werden kann.

[0046] Fig. 6 zeigt ein Fundament **22** einer Windenergieanlage **100**. Das Fundament **22** entspricht einem weiteren Bauteil. Das Fundament **22** besteht aus einem Mineralgemisch, nämlich einem Gemisch zum Bilden von Beton. In das Gemisch, das im Wesentlichen aus einem nichtleitenden Werkstoff besteht, sind elektrisch leitende Fasern **14** eingebracht. Außerdem umfasst das Fundament eine hier nicht dargestellte leitende Armierung aus Eisen.

[0047] In Fig. 6 ist eine gleichmäßige Verteilung der elektrisch leitenden Fasern **14** zu erkennen. Diese gleichmäßige Verteilung der elektrisch leitenden Fasern **14** im ansonsten nichtleitenden Material kann mit einem Radar detektiert werden, sodass aufgrund der Verteilung der elektrisch leitenden Fasern **14** im nichtleitenden Material **12** auf die Verteilung des nichtleitenden Materials **12** geschlossen werden kann. Lufteinschlüsse wären detektierbar.

[0048] Fig. 7 zeigt die Schritte zum Herstellen eines Bauteils, nämlich eines Fundaments **22**, wie es in Fig. 6 dargestellt ist. Hierzu wird in einem Schritt **24** ein Gemisch aus nichtleitendem Werkstoff **12** mit elektrisch leitenden Fasern vermischt. Im Schritt **26** wird die Mischgüte geprüft. Dies kann beispielsweise mit einem Radarsystem erfolgen. Im Schritt **28** wird das Gemisch in eine vorbestimmte Form zum Bilden des Fundaments eingefüllt. Im Schritt **30** härtet das Material zu Beton aus, und im Schritt **32** wird erneut mit einem Radargerät geprüft, ob sich der nichtleitenden Werkstoff **12** gleichmäßig verteilt hat. Dies wird durch Bestimmen der Positionen, der Formen und/oder der Verteilung der leitenden Fasern mit einem Radargerät durchgeführt.

[0049] Fig. 8 zeigt ein Verfahren zum Prüfen eines Bauteils einer Windenergieanlage. Das Bauteil ist hier eine Halbschale **33** eines Rotorblatts **108**, das in Richtung **34** durch einen Radarprüfkopf **36** geschoben wird. Mit dem Radarprüfkopf **36** werden Radarwellen auf die Halbschale **33** gesendet und Reflexionen detektiert. Die Reflexionen werden mit einer Rechneinheit **38** aufgezeichnet und mit einem Monitor **40** dargestellt. Radarprüfkopf **36**, Rechneinheit **38** und Monitor **40** sind Teile eines Radarsystems **41**. Alternativ zum als Halbschale **33** dargestellten Bauteil wird gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel, das hier nicht dargestellt ist, ein Holmgurt **16** in Richtung **34** durch einen Radarprüfkopf **36** geschoben oder gefördert, um dem Holmgurt **16** zu prüfen.

[0050] Auf dem Monitor **40** sind durch Auswertung mit der Rechneinheit **38** die Positionen elektrisch leitender Fasern **14**, die zuvor in das Bauteil, hier die Halbschale **33**, eingebracht wurden, zu erkennen. Diese Positionen oder Formen oder auch die Verteilung wird von der Rechneinheit **38** mit vordefinierten Formen, Positionen und/oder Verteilungen verglichen und anhand dieser Verteilungen, Formen und/oder Positionen von der Rechneinheit **38** bestimmt, ob das Bauteil fehlerfrei oder fehlerhaft ist.

[0051] Fig. 9 zeigt die Schritte des Verfahrens zum Prüfen eines Bauteils einer Windenergieanlage. In einem Schritt **42** werden vorzugsweise mit einem Radarsystem **41** die Anordnung, Form und/oder Position von leitenden Fasern **14** im Bauteil detektiert. Im Schritt **44** werden diese Positionen, Formen und/oder die Verteilung mit einer vordefinierten Position, Form oder Verteilung verglichen und im Schritt **46** in Abhängigkeit des Übereinstimmungsgrads das Bauteil als fehlerhaft oder nicht fehlerhaft bewertet.

Patentansprüche

1. Bauteil für eine Windenergieanlage (100), wobei das Bauteil (108, 22, 33) überwiegend aus einem nichtleitenden Werkstoff (12) besteht und das Bauteil (108, 22, 33) neben dem überwiegend nichtleitenden Werkstoff (12) in das Bauteil eingebrachte elektrisch leitende Fasern (14) aufweist, wobei die elektrisch leitenden Fasern (14) derart im Werkstoff (12) angeordnet sind, dass ihre Positionen und/oder Formen und/oder ihre Verteilung, insbesondere auch ihre lokale Konzentration, Häufigkeit und/oder Dichte, abhängig von der Position und/oder Form und/oder Verteilung zumindest eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs (12) sind.

2. Bauteil nach Anspruch 1, wobei das Bauteil
- ein Halbzeug, insbesondere ein Teil eines Rotorblatts (108), bevorzugt eine Halbschale (33) oder ein Holmgurt (16) eines Rotorblatts (108), einer Windenergieanlage ist und der nichtleitende Werkstoff (12) Glasfasern und vorzugsweise einen die Glasfasern

umgebenden Kunststoff, Schaumstoff und/oder Balsaholz umfasst oder

-ein Fundament (22) für die Windenergieanlage (100) ist und der nichtleitende Werkstoff (12) Beton umfasst oder

- ein Rotorblatt (108) ist und der nichtleitende Werkstoff (12) Glasfasern und einen Klebstoff zum Verbinden zweier Halbschalen des Rotorblatts (108) umfasst.

3. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, wobei die leitenden Fasern (14) Metalldrähte, mit einem leitenden Material versehene oder beschichtete Glasfasern oder Kohlenstofffasern sind.

4. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die leitenden Fasern (14) einen Durchmesser von weniger als 1 mm, vorzugsweise weniger als 100 µm oder besonders bevorzugt weniger als 50 µm aufweisen, und/oder die leitenden Fasern (14) eine Länge von weniger als 2 cm, vorzugsweise weniger als 1 cm, aufweisen.

5. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der nichtleitende Werkstoff (12) oder zumindest ein Teil davon von der Art von Werkstoffen ist, die vor dem Verarbeiten zum Fertigstellen des Bauteils, insbesondere vor dem Aushärten, durch eine Kraft formbar, insbesondere plastisch formbar, ist und nach dem Verarbeiten zum Herstellen des Bauteils, insbesondere nach dem Aushärten, fest, insbesondere elastisch verformbar und/oder brechbar ist.

6. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils (108, 22, 33), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei bei der Herstellung elektrisch leitende Fasern (14) derart in einem nichtleitenden Werkstoff (12), der formbar ist, angeordnet werden, sodass ihre Positionen und/oder Formen und/oder ihre Verteilung nach dem Verfestigen des nichtleitenden Werkstoffs (12) die Position und/oder die Form und/oder die Verteilung zumindest eines Teils des nichtleitenden Werkstoffs (12) anzeigt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei zum Herstellen des Bauteils (108, 22, 33) ein Gemisch aus nichtleitendem Werkstoff (12), insbesondere ein Gemisch zum Herstellen von Beton oder ein flüssiger Klebstoff, der aushärtbar ist, mit den leitenden Fasern vermischt wird, bis eine vordefinierte Mischgüte der Fasern (14) im Gemisch erreicht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Mischgüte durch ein Radarsystem (41) bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Bauteil (108, 22, 33) ein Rotorblatt (108), ein Rotorblattteil, insbesondere eine Rotorblatt Halbschale (33) oder ein Holmgurt (16), ist und Glasfasern als Bestandteil des nichtleitenden Werkstoffs (12) in einer vordefinierten

Position zueinander, insbesondere in oder mithilfe einer Form (10), angeordnet werden, wobei zusätzlich leitende Fasern (14), insbesondere Metalldrähte, mit einem leitfähigen Material versehene oder beschichtete Glasfasern oder Kohlenstofffasern, an vordefinierten Positionen der Glasfasern, insbesondere in der Form (10), angeordnet werden und die Glasfasern sowie die leitenden Fasern mit einem Klebstoff in ein festes Bauteil, das elastisch verformbar und/oder brechbar ist, überführt werden, wobei der Klebstoff insbesondere ein Harz ist, das vorzugsweise durch Aminhärter aushärtbar ist, und der Klebstoff ebenfalls Bestandteil des nichtleitenden Werkstoffs ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Glasfasern vor dem Anordnen zu Bündeln gewickelt werden und die Bündel in den vordefinierten Positionen zueinander angeordnet werden, wobei in mehreren oder allen der Bündel wenigstens eine leitende Faser (14) mit eingewickelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Wickelgüte der Bündel, in denen eine leitende Faser mit eingewickelt ist, durch ein Radarsystem (42) bestimmt wird.

12. Verfahren zum Prüfen eines Bauteils (108, 22, 33) einer Windenergieanlage (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das insbesondere durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11 hergestellt ist, wobei die Position und/oder Form und/oder Verteilung leitender Fasern im Bauteil vorzugsweise mit einem Radarsystem (41) detektiert werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Verfahren das Senden von Radarstrahlen auf das Bauteil und das Erfassen von Radarreflexionen vom Bauteil mit einem Radarsystem (41) umfasst und wobei die Radarreflexionen die Positionen und/oder Formen und/oder Verteilung der leitenden Fasern des nichtleitenden Werkstoffs des Bauteils anzeigen.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei die Radarreflexionen einen Teils des Bauteils (108, 22, 33) oder die Positionen und/oder Formen und/oder Verteilung der leitenden Fasern (14) mit erwarteten Positionen und/oder Formen und/oder Verteilungen der leitenden Fasern (14) verglichen werden und im Falle eines Übereinstimmungsgrades des Vergleichs unterhalb eines ersten Schwellenwerts das Bauteil (108, 22, 33) als fehlerhaft bewertet wird.

15. Verwendung leitender Fasern (14) in einem Bauteil (108, 22, 33) aus überwiegend nichtleitendem Werkstoff (12) zum Erzeugen von Radarreflexionen zur Prüfung des Bauteils (108, 22, 33).

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

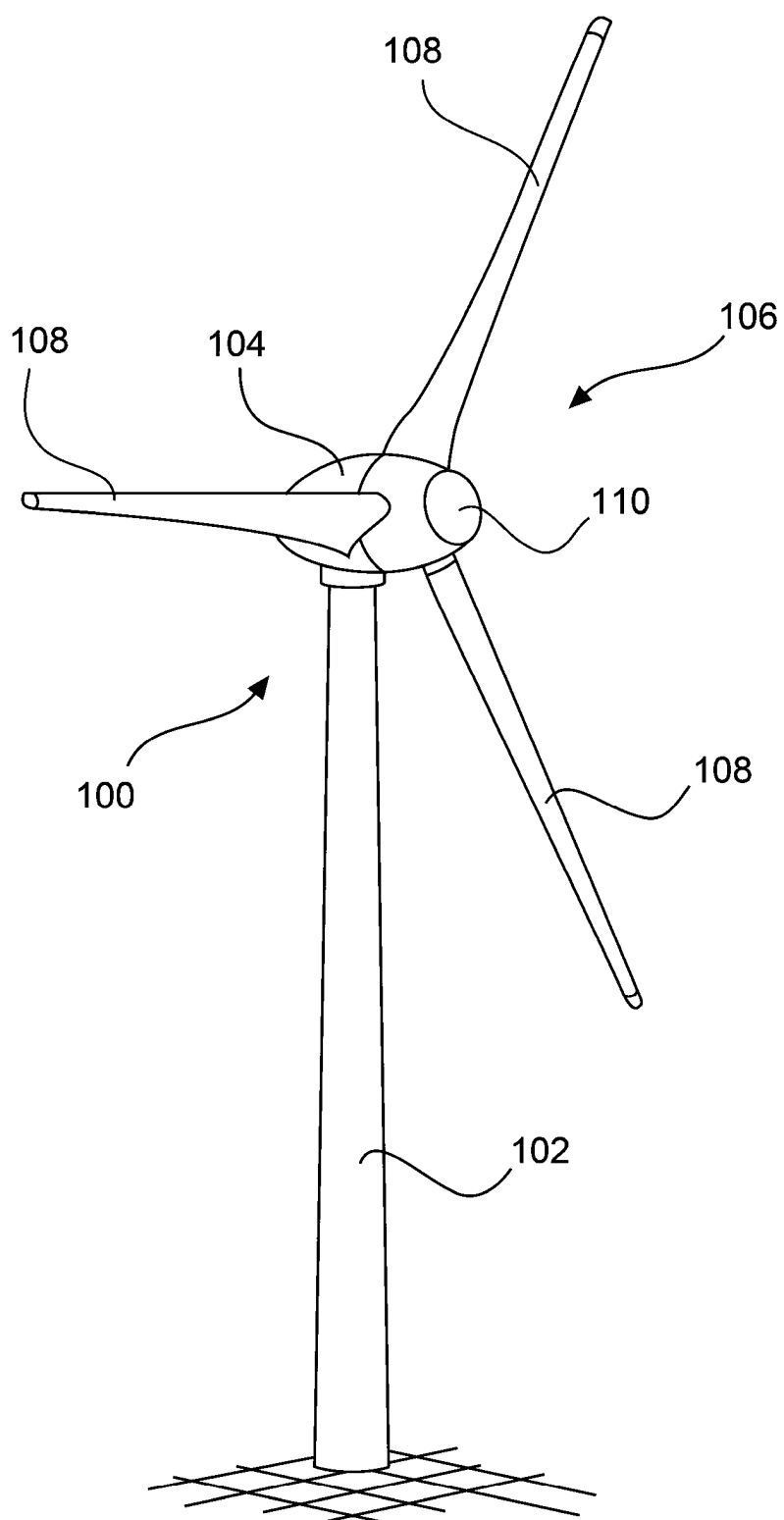


Fig. 1

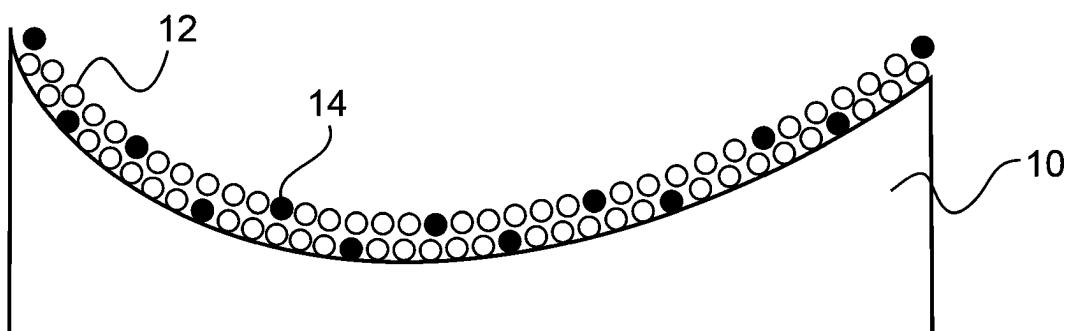


Fig. 2

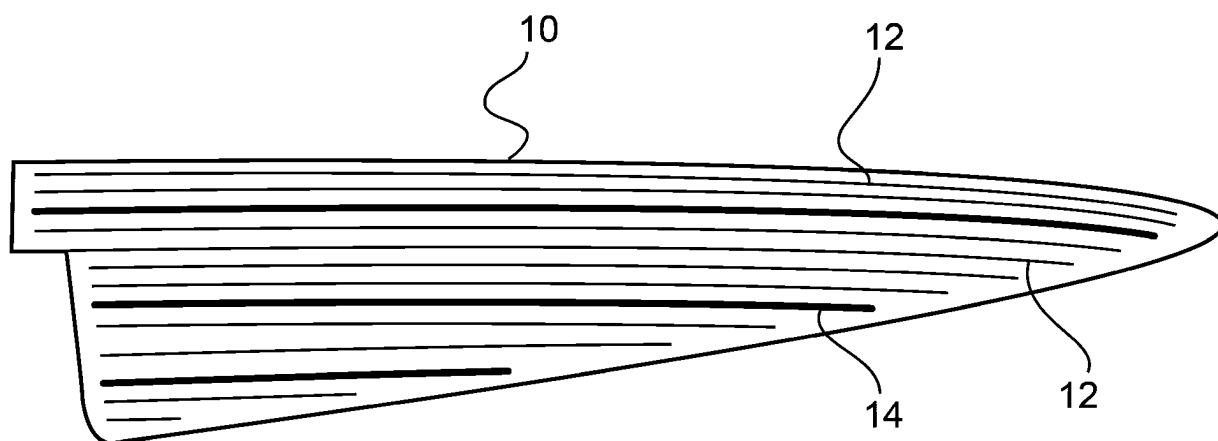


Fig. 3

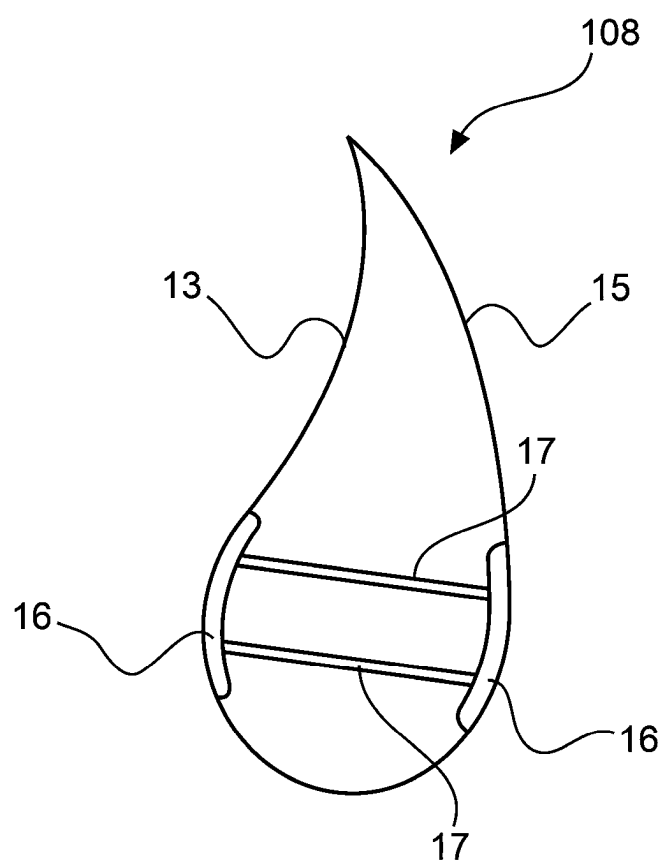


Fig. 4

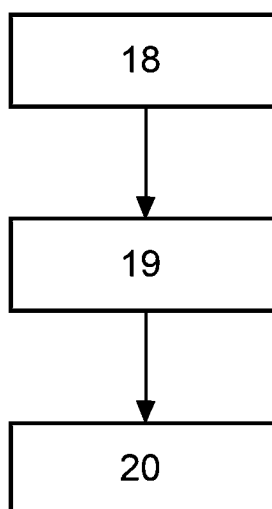


Fig. 5

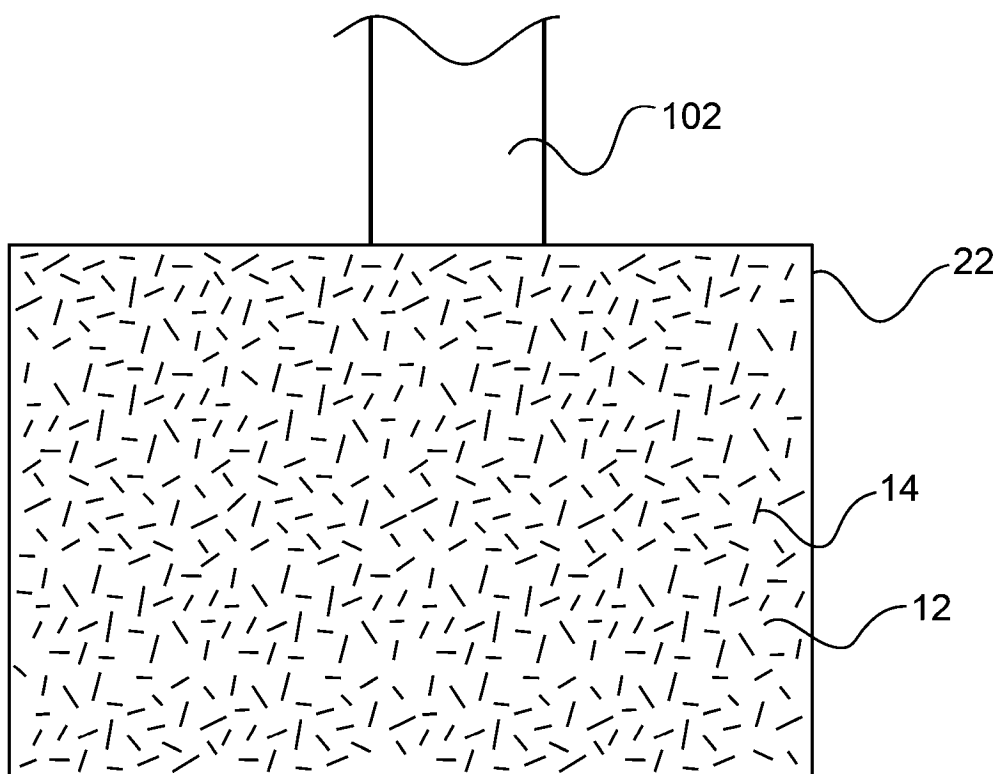


Fig. 6

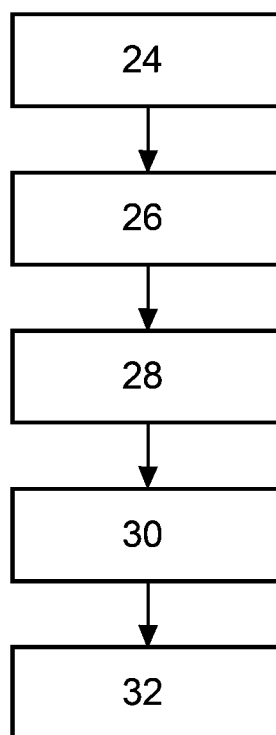


Fig. 7

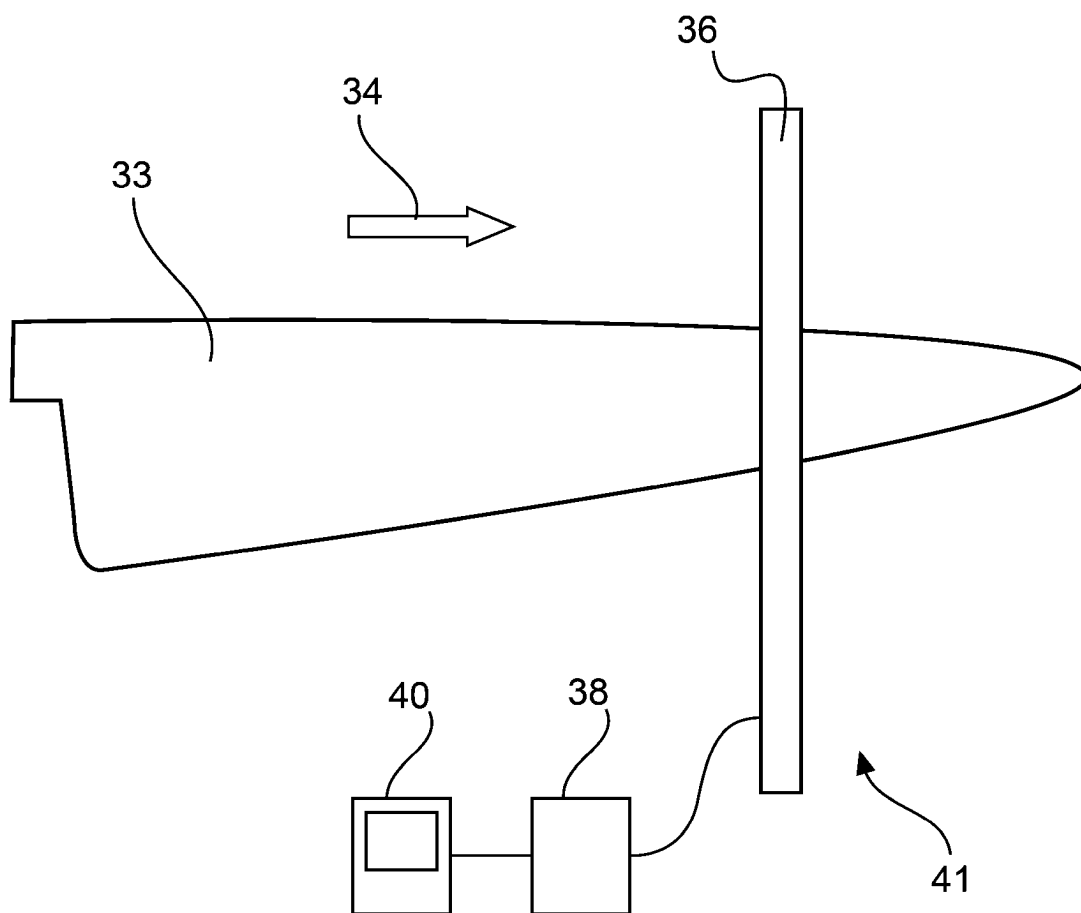


Fig. 8

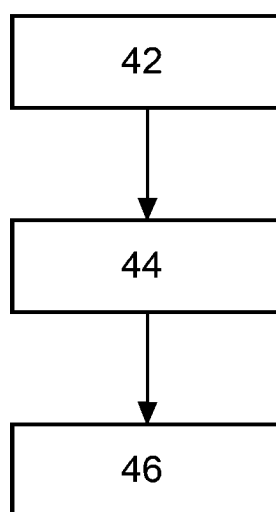


Fig. 9