



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 02 995 B4** 2004.01.29

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 02 995.4**  
(22) Anmeldetag: **26.01.2002**  
(43) Offenlegungstag: **07.08.2003**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **29.01.2004**

(51) Int Cl.7: **F03D 11/00**  
**F16F 15/10, F01D 5/16**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:  
**Nordex Energy GmbH, 22848 Norderstedt, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Hauck, Graalfs, Wehnert, Döring,  
Siemons, 20354 Hamburg**

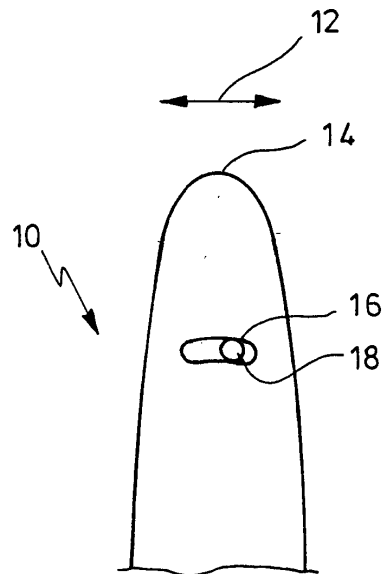
(72) Erfinder:  
**Ritschel, Uwe, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 18230  
Zwedorf, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 41 07 619 C2**  
**DE 198 15 519 A1**  
**DE 198 82 884 T1**  
**EP 07 92 414 B1**

(54) Bezeichnung: **Rotorblatt für eine Windkraftanlage mit einer Dämpfereinrichtung**

(57) Hauptanspruch: Rotorblatt für eine Windkraftanlage, mit einer Dämpfereinrichtung, die

- ein Gehäuseelement (16) und einen in dem Gehäuseelement (16) angeordneten Dämpfungskörper (18) aufweist,
- das Gehäuseelement besitzt zwei Flächen (20, 22), von denen eine als gekrümmte Abrollfläche (22) für den Dämpfungskörper (18) ausgebildet und derart in dem Rotorblatt ausgerichtet ist, daß der Dämpfungskörper (18) eine begrenzte Bewegung in der Ebene des Rotorblatts quer zu dessen Längsrichtung ausführt,
- die Krümmung der Abrollfläche (22) besitzt für den Dämpfungskörper (18) eine ungestörte Eigenfrequenz, die ungefähr der Frequenz der Grundmode bei einer Schwingung des Rotorblatts in der Rotorebene entspricht.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt für eine Windkraftanlage, mit einer Dämpfereinrichtung. Bei zunehmender Länge der Rotorblätter treten Blattschwingungen auf. Die auftretenden Schwingungen können in Schwingungen aus der Rotorebene heraus und Schwingungen innerhalb der Rotorebene zerlegt werden. Konstruktionsbedingt sind die Schwingungen aus der Rotorebene heraus, in der sogenannten Schlagrichtung, unkritisch für das Rotorblatt. Anders verhält es sich jedoch mit den Schwingungen in der Rotorebene. Besonders treten Blattschwingungen in der Rotorebene bei stallregulierten Windenergieanlagen auf, bei denen die Rotorblätter starr mit der Nabe verbunden sind und bei denen die Leistungsbegrenzung bei hohen Windgeschwindigkeiten durch Strömungsabriß erfolgt.

## Stand der Technik

[0002] Aus EP 0 792 414 B1 ist eine Dämpfungseinrichtung für einen Windradflügel bekannt, die mit einem Oszillationsverringerelement versehen ist. Bei dem bekannten Oszillationsverringerelement schwingt ein Massenkörper in der Rotorebene gegen die Kraft einer Feder. Gedämpft wird die Bewegung des Massenkörpers durch ein Dämpferelement mit einer geschwindigkeitsproportionalen Dämpfung. Nachteilig an dem bekannten Oszillationsverringerelementmechanismus ist, daß dieser bei Federbruch ausfällt und ein unkontrolliertes Dämpfungsverhalten zeigt.

[0003] Aus DE 198 82 884 T1 ist ein Windradblatt mit Vibrationsdämpfer bekannt. Als Vibrationsdämpfer wird ein sogenannter Flüssigkeitsdämpfer eingesetzt, bei dem eine in einem Behälter eingeschlossene Flüssigkeit bewegt wird.

[0004] Aus DE 41 07 619 C2 ist eine Dämpfungseinrichtung für ein Rotorblatt bekannt, wie es bei Drehflügelflugzeugen eingesetzt wird. Bei der Dämpfungseinrichtung wird eine Dämpfungsflüssigkeit in einem Arbeitszylinder bewegt.

[0005] Aus DE 198 15 519 A1 ist ein Rotorblatt für eine Windkraftanlage bekannt. Um insbesondere bei böigem Wind, Windscherung und dergleichen Blattschwingungen zu vermeiden, ist an der Profilvorderkante des Rotorblatts ein Sekundärprofil angesetzt.

## Aufgabenstellung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Rotorblatt bereitzustellen, dessen Schwingungen in der Rotorebene mit einfachen Mitteln zuverlässig gedämpft werden.

[0007] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird durch ein Rotorblatt mit den Merkmalen aus Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Rotorblatts sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Rotorblatt wird

eine federlose Dämpfereinrichtung eingesetzt. Die Dämpfereinrichtung besitzt ein Gehäuseelement, in dem ein Dämpfungskörper angeordnet ist. Der Dämpfungskörper kann sich in dem Gehäuseelement hin- und herbewegen. Das Gehäuseelement besitzt zwei, vorzugsweise parallele, Flächen. Von den Flächen ist eine als gekrümmte Abrollfläche für den Dämpfungskörper ausgebildet. Das Gehäuseelement ist derart in dem Rotorblatt ausgerichtet, daß der Dämpfungskörper eine begrenzte Bewegung in der Ebene des Rotorblatts quer zu dessen Längsrichtung ausführt. Bei einer Schwingung des Rotorblatts in der Rotorebene wird der Dämpfungskörper also in dem Gehäuseelement hin- und herbewegt. Durch die Krümmung der Abrollfläche besitzt der Dämpfungskörper unter Einwirkung des Zentrifugalbeschleunigung eine ungestörte Eigenfrequenz, die ungefähr der Frequenz des Grundmode bei einer Schwingung des Rotorblatts in der Rotorebene entspricht. Die Zentrifugalbeschleunigung wird für eine Nenndrehzahl des Rotorblatts bestimmt. Die ungestörte Eigenfrequenz des Dämpfungskörpers ergibt sich, wenn dieser sich frei unter dem Einfluß der Schwerkraft und der Zentrifugalkraft auf der Krümmung der Abrollfläche bewegt. Nahe einer Ruhelage auf der Abrollfläche beschreibt der Dämpfungskörper eine annähernd harmonische Bewegung, der eine Frequenz zugeordnet werden kann. Diese wird als ungestörte Eigenfrequenz bezeichnet. Erfindungsgemäß besitzt der Dämpfungskörper in dem Gehäuseelement eine Eigenfrequenz, die ungefähr der Frequenz der zu dämpfenden Schwingung eines Rotorblatts entspricht. Die Dämpfereinrichtung besteht aus einem Gehäuseelement und einem Dämpfungskörper; ein Federelement oder ein zusätzliches Dämpferelement entfallen dabei, so daß ein Federbruch oder ein Verschleiß des Dämpferelements nicht auftreten kann. Die für die Dämpfung wichtige federnde Wirkung wird durch die Fliehkraft und die Verdrängung eines Mediums in dem Gehäuse erreicht.

[0009] In einer vorteilhaften Ausgestaltung besitzt das Gehäuseelement zwei flache, parallel zueinander angeordnete Seitenwände, die die Flächen seitlich begrenzen. Das Gehäuseelement besitzt einen viereckigen Querschnitt. Damit der Dämpfungskörper durch eine Schwingung in der Rotorebene ange-regt werden kann, ist die Abrollfläche von der Spitze des Rotorblatts fort gekrümmt, d.h. die konkave Seite der Abrollfläche weist zur Blattspitze. In seiner Ruhelage besitzt der Dämpfungskörper den geringsten Abstand zu der Spitze des Rotorblatts. Das Gehäuseelement ist ganz oder teilweise mit mindestens einem Fluid, vorzugsweise mit Luft, gefüllt. Der als Scheibe ausgebildete Dämpfungskörper rollt auf der Abrollfläche entlang deren Krümmung, wobei mindestens zu der gegenüberliegenden Fläche ein Abstand verbleibt, durch den bei einer Bewegung des Dämpfungskörpers das Fluid strömt. Der Dämpfungskörper bewegt sich also durch das Fluid und verdrängt dieses bei seiner Bewegung.

[0010] Der Dämpfungskörper ist bevorzugt als Scheibe ausgebildet, die auf der Abrollfläche entlang deren Krümmung rollt. Die Scheibe ist vorzugsweise mit einem umlaufenden Bund versehen, der an gegenüberliegenden Seitenwänden des Gehäuseelements anliegt. Durch die Anlage der Scheibe an den Seitenwänden wird eine Torkel- oder Taumelbewegung unterbunden.

[0011] Die Abrollflächen besitzen an ihren Enden bevorzugt Stirnwandabschnitte, die im wesentlichen halbkreisförmig gekrümmt sind. Der scheibenförmig ausgebildete Dämpfungskörper kann mithin von der einen Abrollfläche zu der anderen Abrollfläche über die Stirnwandabschnitte rollen. Hierdurch wird ein Anschlagen der begrenzten Bewegung des Dämpfungskörpers vermieden.

[0012] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist das Eigenfrequenzverhältnis von ungestörter Eigenfrequenz des Dämpfungskörpers zur Grundmode des Rotorblatts in der Rotorebene kleiner als 1, vorzugsweise ungefähr 0,98. Das Eigenfrequenzverhältnis wird abhängig von dem Verhältnis von zu dämpfender Schwingungsmasse und Masse des Dämpfungskörpers optimiert.

#### Ausführungsbeispiel

[0013] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigt:

[0014] **Fig. 1** ein erfindungsgemäßes Rotorblatt mit einer Dämpfereinrichtung in der Draufsicht auf die Rotorebene,

[0015] **Fig. 2** Gehäuseelement mit darin angeordneter Dämpfermasse,

[0016] **Fig. 3** Schnitt entlang der Linie III-III aus **Fig. 2** und

[0017] **Fig. 4** Schnitt entlang der Linie IV-IV aus **Fig. 2**.

[0018] **Fig. 1** zeigt ein Rotorblatt **10** in einer Draufsicht auf die Rotorebene. Das Rotorblatt wird aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt, und durch querverlaufende Stege und längsverlaufende Holme stabilisiert. Insbesondere bei Stallanlagen ist das Rotorblatt anfällig gegen Schwingungen in der Rotorebene, deren Schwingungsamplitude durch einen Doppelpfeil angedeutet ist. Die Schwingungen in der Rotorebene können als Biegeschwingung des Rotorblatts mit einer starren Befestigung an der Nabe aufgefaßt werden. Solche Biegeschwingungen können mehrere Eigenfrequenzen oder Bereiche von Eigenfrequenzen besitzen, wobei die Eigenfrequenz mit dem größten Beitrag zur Schwingungsamplitude als erste Eigenfrequenz bzw. als Grundmode bezeichnet wird. In der Regel ist dies auch die kleinste Eigenfrequenz. Gerade wenn das Rotorblatt im Stallbereich betrieben wird, in dem es zu einem Abriß der Luftströmung mit einer nachfolgenden Wirbelbildung kommt, werden auch die Schwingungen in der Rotorebene besonders stark angeregt.

[0019] Von dem erfindungsgemäßen Rotorblatt **10** ist in **Fig. 1** der Bereich der Blattspitze **14** dargestellt. Beabstandet von der Blattspitze **14** ist ein Gehäuse **16** mit einem darin angeordneten Dämpfungskörper **18** vorgesehen.

[0020] Das Gehäuse **16** besitzt zwei parallel einander gegenüberliegende Flächen **20** und **22**. Die Flächen **20** und **22** sind gekrümmt, vorzugsweise als Kreisbogensegment. Der Dämpfungskörper **18** rollt auf der als Abrollfläche ausgebildeten Fläche **22**, die zur Spitze des Rotorblatts weist. Seitliche Querbewegungen des Dämpfungskörpers werden durch die Seitenwandflächen **24** und **26** begrenzt.

[0021] Der Dämpfungskörper **18** besitzt einen umlaufenden Bund **28** entlang seinem äußeren Umfang. Der Bund **28** steht aus dem Dämpfungskörper **18** vor und liegt an den Seitenwandflächen **24** und **26** an. Der Dämpfungskörper **18** ist bevorzugt aus einer vollen Scheibe ausgebildet.

[0022] **Fig. 4** zeigt den auf der Abrollfläche **22** rollenden Dämpfungskörper **18**, der einem Abstand **30** zu der Fläche **20** besitzt.

[0023] Der Dämpfungskörper **18** rollt unter Wirkung der Zentrifugalkraft zwischen den Stirnwandabschnitten **32** und **34** auf der Abrollfläche. Der Massenschwerpunkt des Dämpfungskörpers **18** beschreibt dabei eine Bewegung parallel zu der Abrollfläche. Bei der Bewegung entlang der Abrollfläche verdrängt der Dämpfungskörper das in Bewegungsrichtung vor ihm liegende Medium über einen zwischen Dämpfungskörper und Fläche **20** verbleibenden Schlitz **30** in den in Bewegungsrichtung hinter dem Dämpfungskörper liegenden Bereich des Gehäuses. Im Gegensatz zu einem Pendel oder einer Rotationsbewegung besitzt der Massenschwerpunkt des Dämpfungskörpers bei einer Bewegung entlang der Abrollfläche **22** eine andere Position als bei der Bewegung entlang der Abrollfläche **20**.

[0024] Bevorzugt sind Gehäuse und Dämpfungskörper aus Stahl hergestellt. Das Gehäuse besteht aus einem Deckel beispielsweise in Form einer Seitenwand und einem Gehäusekörper, wobei die Flächen **20** und **22** sowie die Seitenabschnitte **32** und **34** einstückig hergestellt sein können.

[0025] Die Eigenfrequenz des Dämpfungskörpers **18** in dem Gehäuse hängt ab von der Masse des Körpers, der Krümmung des Gehäuses, der Füllung in dem Gehäuse und der Größe eines Abstands **30**, sowie von der Zentrifugalbeschleunigung bei der Nenn-drehzahl. Aufgrund der Drehung des Rotorblatts schließt die nach außen gerichtete Zentrifugalbeschleunigung unterschiedliche Winkel mit der Schwerkraft ein.

[0026] Für den Einbau des Gehäuses in den Rotor wird dieses in eine Tasche aus glasfaserverstärktem Kunststoff einlaminiert und beispielsweise in das Rotorblatt eingeklebt.

[0027] Als besonders vorteilhaft bei der erfindungsgemäßen Dämpfungseinrichtung hat sich erwiesen, daß eine Zentrierung der Ruhelage des Dämpfungs-

körpers **18** bereits durch die Fliehkraft und die konkave Abrollfläche erfolgt. Ferner kommt der erfindungsgemäße Schwingungsdämpfer ohne zusätzliche mechanische Teile aus, so daß weder ein Verschleiß noch eine Wartung auftritt. Indem der Dämpfungskörper **18** neben seiner Bewegung zwischen den Stirnflächen des Gehäuses auch in Rotation versetzt wird, ist die effektiv wirksame Masse des Dämpfungskörpers **18** größer als die zusätzlich in den Rotor eingebaute Masse.

### Patentansprüche

1. Rotorblatt für eine Windkraftanlage, mit einer Dämpfungseinrichtung, die

– ein Gehäuseelement (**16**) und einen in dem Gehäuseelement (**16**) angeordneten Dämpfungskörper (**18**) aufweist,

– das Gehäuseelement besitzt zwei Flächen (**20**, **22**), von denen eine als gekrümmte Abrollfläche (**22**) für den Dämpfungskörper (**18**) ausgebildet und derart in dem Rotorblatt ausgerichtet ist, daß der Dämpfungskörper (**18**) eine begrenzte Bewegung in der Ebene des Rotorblatts quer zu dessen Längsrichtung ausführt,

– die Krümmung der Abrollfläche (**22**) besitzt für den Dämpfungskörper (**18**) eine ungestörte Eigenfrequenz, die ungefähr der Frequenz der Grundmode bei einer Schwingung des Rotorblatts in der Rotorebene entspricht.

2. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flächen (**20**, **22**) parallel zueinander verlaufen.

3. Rotorblatt nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuseelement (**16**) zwei flache, parallel zueinander angeordnete Seitenwände aufweist, die die Flächen (**20**, **22**) seitlich begrenzen.

4. Rotorblatt nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die konkave Seite der Abrollfläche (**22**) zu der Spitze (**14**) des Rotorblatts weist.

5. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuseelement (**16**) ganz oder teilweise mit mindestens einem Fluid gefüllt ist.

6. Rotorblatt nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß Luft als Fluid vorgesehen ist.

7. Rotorblatt nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Dämpfungskörper (**18**) als Scheibe ausgebildet ist, die bei einer Bewegung auf der Abrollfläche (**22**) entlang deren Krümmung rollt.

8. Rotorblatt nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Rollbewegung auf der Abroll-

fläche (**22**) ein Abstand (**30**) zu der anderen Fläche (**20**) verbleibt, durch die bei der Bewegung des Dämpfungskörpers (**18**) das Fluid strömt.

9. Rotorblatt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheibe auf jeder Flachseite einen umlaufenden Bund besitzt, der an den gegenüberliegenden Seitenwänden des Gehäuseelements (**16**) anliegt.

10. Rotorblatt nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Flächen (**20**, **22**) an ihren Enden Stirnwandabschnitte besitzen, die im wesentlichen halbkreisförmig gekrümmt sind.

11. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Eigenfrequenzverhältnis von ungestörter Eigenfrequenz zur Eigenfrequenz in der Grundmode für die Schwingung in der Rotorebene kleiner als 1 ist, vorzugsweise ungefähr 0,98 beträgt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

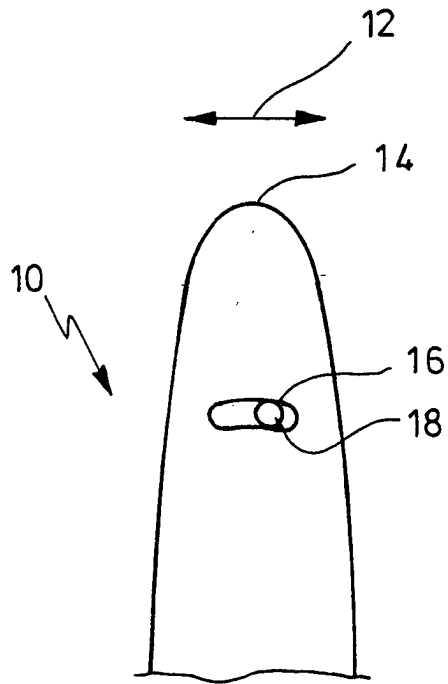


FIG. 1

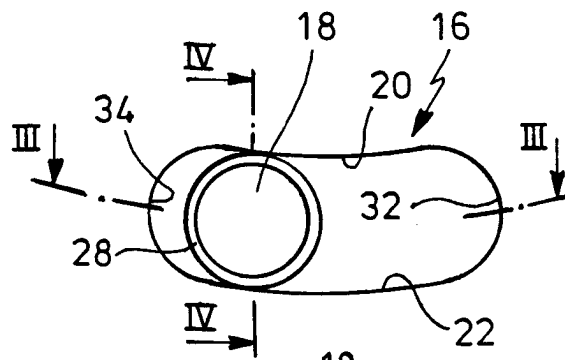


FIG. 2

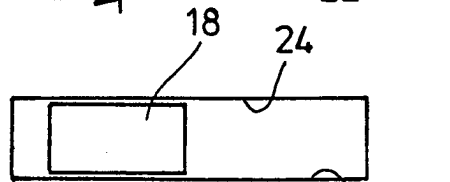


FIG. 3

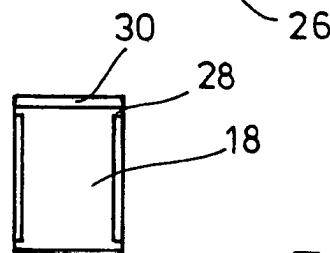


FIG. 4