

(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
30. August 2012 (30.08.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/113623 A1

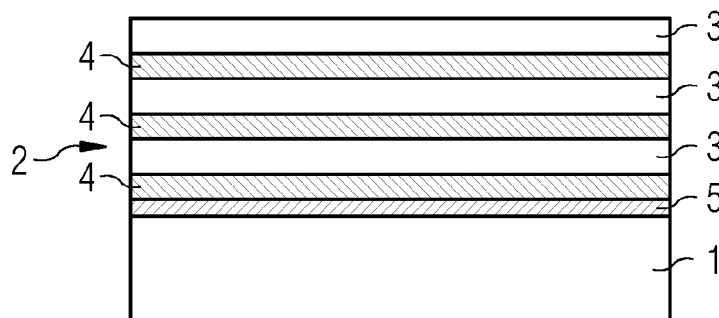
- (51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 5/28 (2006.01) *B29C 70/86* (2006.01)
B23P 15/04 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/051654
- (22) Internationales Anmeldedatum:
1. Februar 2012 (01.02.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 004 525.2
22. Februar 2011 (22.02.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BERNDT, Anett** [DE/DE]; Ludwig-Erhard-Str. 10, 91058 Erlangen (DE). **SCHEUNERT, Norbert** [DE/DE]; Altplauen 8, 01187 Dresden (DE). **SEIDEL, Christian** [DE/DE]; Am Neubruch 42 a, 90571 Schwaig (DE). **VÖLKER, Lutz** [DE/DE]; Hartmannstraße 15, 02826 Görlitz (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, RW, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TURBINE BLADE AND METHOD FOR PRODUCING A TURBINE BLADE

(54) Bezeichnung : TURBINENSCHAUFEL SOWIE VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER TURBINENSCHAUFEL

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a turbine blade (1) which consists at least in regions of a fiber composite material, comprising an erosion guard (2) which is arranged at least in regions on the surface of the turbine blade (1). The erosion guard (2) consists of at least two metal layers (3) and at least two polymer layers (4) which are arranged over each other in alternation. The invention further relates to a method for producing a turbine blade (1) having such an erosion guard (2).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (1), die zumindest bereichsweise aus einem Faserverbundwerkstoff besteht, umfassend einen Erosionsschutz (2), der zumindest bereichsweise an der Oberfläche der Turbinenschaufel (1) angeordnet ist. Der Erosionsschutz (2) besteht aus wenigstens zwei metallischen Schichten

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/113623 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

Turbinenschaufel sowie Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel

5

Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel, insbesondere eine Turbinenschaufel für eine Dampfturbine, sowie ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Turbinenschaufel.

10 Turbinenschaufeln einer Turbinenstufe einer Turbine sind hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Insbesondere bei Dampfturbinen sind die Turbinenschaufeln durch hohe Tropfenschlagerosionsbeanspruchung belastet. Die hohen Belastungen beeinflusst die Lebensdauer der Turbinenschaufel, insbesondere der Endstufenlaufschaukeln, einer Kondensationsdampfturbine maßgeblich. Um den hohen Tropfenschlagerosionsbeanspruchungen entgegenzuwirken, sind die Turbinenschaufeln und insbesondere die Turbinenschaufeln von Dampfturbinen derzeit vorwiegend aus Stahl gefertigt. Aufgrund des hohen Gewichtes der Stahl-
20 turbinenschaufel und den daraus resultierenden hohen Fliehkraften sind die Drehzahl, sowie die maximale Schaufellänge der Endstufenlaufschaukeln, begrenzt. Hierdurch sind die Abströmfläche des Abströmgehäuses und damit die Leistung sowie der Wirkungsgrad der Turbine jedoch limitiert. Zudem sorgt
25 die Tropfenschlagerosion, selbst bei gehärtetem Stahl, für einen Verschleiß an den Turbinenschaufeln, so dass diese regelmäßig ausgewechselt werden müssen.

Um die Beständigkeit gegen Tropfenschlagerosion zu erhöhen und das Gewicht der Turbinenschaufel zu reduzieren, werden
30 auch Turbinenschaufeln aus Titan bzw. Titanlegierungen eingesetzt. Aufgrund der höheren Materialkosten steigt jedoch der Preis für die Turbinenschaufeln erheblich an.

35 Um die Leistung und den Wirkungsgrad bei Turbinen zu steigern wird zunehmend über den Einsatz von Endstufenlaufschaukeln aus Faserverbundwerkstoff nachgedacht. Faserverbundwerkstoffe haben den Vorteil einer hohen spezifischen Festigkeit, bei

gleichzeitig geringem Gewicht. Beim Einsatz von Faserverbundwerkstoffen mit einem angestrebten höheren Produkt aus Fläche mal Drehzahl steigt jedoch die Erosionsbelastung noch einmal deutlich an. Wassertropfen mit einer Größe von ca. 25 bis 400 μm , insbesondere von ca. 100 μm und einer relativen Geschwindigkeit von über 490 m/s können dabei auf der Schaufeloberfläche auftreten. Turbinenschaufeln aus einem Faserverbundwerkstoff werden jedoch schon bei geringeren Geschwindigkeiten der Wassertropfen in wenigen Minuten zerstört. Um den hohen Verschleiß bei Turbinenschaufeln aus Faserverbundwerkstoffen entgegen zu treten, ist es deshalb notwendig, diese mit einem speziellen Erosionsschutz auszubilden.

Aus der US 2003/0129061 A1 ist eine hybride Mehrkomponentenschaufel einer Dampfturbine bekannt, deren Kern aus einem Faserverbundwerkstoff ausgebildet ist und an deren Oberfläche ein Erosionsüberzug aus Polyurethan vorgesehen ist. An der Vorder- und/oder Hinterkante der Turbinenschaufel ist auf dem Erosionsüberzug zusätzlich eine Schutzkappe angeordnet. Diese Schutzkappe ist aus Titan ausgebildet, da Titan eine größere Erosionsbeständigkeit als der Faserverbundwerkstoff und der Erosionsschutzüberzug aufweist. Aufgrund der massiv ausgebildeten Schutzkappe aus Titan geht jedoch im Bereich der Schutzkappe die dämpfende Eigenschaft des Erosionsüberzugs verloren. Die Anordnung der Schutzkappe und deren dauerhafte Befestigung erweisen sich zudem als schwierig. Außerdem sorgt die massiv ausgebildete Schutzkappe für eine Erhöhung des Gewichtes der Turbinenschaufel.

Aus der PCT/EP2010/066299 der Anmelderin ist eine Turbinenschaufel bekannt, die an ihrer Schaufeloberfläche eine hochelastische Elastomerbeschichtung aufweist, welche mit einer dünnen energieabsorbierenden Metallbeschichtung versehen ist. Die dünne energieabsorbierende Metallbeschichtung ist dabei so ausgebildet, dass die unter ihr liegende hochelastische Elastomerbeschichtung ihre dämpfende Eigenschaft im Wesentlichen voll zur Geltung bringen kann.

Aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 10 2009 047 798.5 der Anmelderin, ist es weiter bekannt, ein Erosionsschutzbauteil mit einem mehrschichtigen Aufbau auszubilden. Bei dem mehrschichtigen Aufbau handelt es sich um einen graduierten Aufbau, mit unterschiedlichen Schichten. Die äußere Schicht besteht dabei aus einem sehr harten und erosionsunempfindlichen Material. Unter der ersten Schicht ist eine zweite elastische und/oder viskoelastische Schicht angeordnet, die dafür sorgt, dass von den Tropfen erzeugte Körperschallwellen weitgehend absorbiert werden. Die nachfolgende Schicht ist eine Glasmatte und die darunterliegende Schicht ein Glasgewebe. Die Glasmatte und das Glasgewebe sorgen für eine besonders gute Verbindung zum Faserverbundwerkstoff der Turbinenschaufel. Nachteilig an der Verwendung der Glasmatte bzw. des Glasgewebes ist jedoch das geringe Umformungsvermögen. Hierdurch kann die Erosionsschutzschicht nur schwer an die komplexe Geometrie der Turbinenschaufel angepasst werden, so dass ein vollflächiges Aufbringen der Schutzschicht erschwert ist. Zudem sorgt bei dem beschriebenen schichtförmigen Aufbau lediglich die äußere sehr harte Schicht für den eigentlichen Schutz gegen Tropfenschlagerosion. Bei Zerstörung dieser Schicht kommt es zu einer raschen Zerstörung der darunterliegenden Schichten und damit nachfolgend zur Zerstörung der gesamten Turbinenschaufel.

25

Ausgehend vom vorliegenden Stand der Technik ist es somit Aufgabe der Erfindung eine Turbinenschaufel bereitzustellen, die einen verbesserten Erosionsschutz gegen Tropfenschlagerosion aufweist. Des Weiteren ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Turbinenschaufel bereitzustellen.

30

Die Aufgabe wird hinsichtlich der Turbinenschaufel durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst.

35

Hinsichtlich des Verfahrens wird die Erfindung durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 7 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung welche einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

5 Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel, die zumindest bereichsweise aus einem Faserverbundwerkstoff besteht, umfasst ein Erosionsschutz, der zumindest bereichsweise an der Oberfläche der Turbinenschaufel angeordnet ist, wobei der Erosionsschutz aus wenigstens zwei polymeren Schichten und wenigstens zwei metallischen Schichten besteht, die alternierend übereinander angeordnet sind. Der wesentliche Vorteil dieser Multilayer-Schicht gegenüber einem Erosionsschutz, welcher lediglich aus einer metallischen und einer polymeren Schicht besteht, liegt darin, dass der mehrschichtige Erosionsschutz
10 ein höheres Umformungsvermögen aufweist. Hierdurch wird eine einfache und robuste Geometrieangepassung und eine vollflächige Aufbringung der Schutzschicht, speziell im Bereich der Anströmkante gewährleistet. Das Aufbringen der Multilayer-Schicht kann dabei während des Herstellungsprozesses der Turbinenschaufel oder danach erfolgen.
20

Der Erosionsschutz, bestehend aus alternierend angeordneten polymeren und metallischen Schichten, bietet gegenüber dem aus dem Stand der Technik bekannten Schichten, mit lediglich einer metallischen Schicht und einer elastischen bzw. viskoelastischen Schicht und darunter angeordneten Glasmatten bzw. Glasgeweben, einen deutlich erhöhten Erosionsschutz. Bei einer Zerstörung der ersten Schichtlage bestehend aus einer metallischen und einer polymeren Schicht kommt es nicht unmittelbar zur Zerstörung der gesamten Turbinenschaufel, da die
25 darunterliegende Schichtlage, bestehend aus einer weiteren metallischen und einer weiteren polymeren Schicht weiterhin für einen wirkungsvollen Erosionsschutz sorgen. Durch die zusätzliche Anordnung weiterer metallischer polymerer Schichten kann der Erosionsschutz an die jeweiligen Anforderungen
30 leicht angepasst werden.
35

Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die äußere Schicht des Erosionsschutzes eine metal-

lische Schicht ist. Die metallische Schicht hat den Vorteil, dass sie einen besonders guten Erosionsschutz bei hoher Energieaufnahme gewährleistet. Die unter der metallischen Schicht angeordnete polymere Schicht sorgt im Wesentlichen für eine mechanische Dämpfung.

Eine besonders bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die metallische Schicht aus Stahl, aus Aluminium, aus einer Aluminiumlegierung, aus Titan, aus einer Titanlegierung, aus Magnesium oder aus einer Magnesiumlegierung besteht. Diese Materialien weisen aufgrund ihrer hohen Energieaufnahme-fähigkeit einen besonders hohen Schutz gegen Tropfenschlagerosion auf.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die polymere Schicht aus Polyurethan, aus einem thermoplastischen Elastomer, insbesondere einem thermoplastischen Polyurethan, oder einem Kautschuk, insbesondere einem hydrierten Acrylnitrilbutadin-Kautschuk, Chloropren, Isopren, Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) oder einem Fluorkautschuk besteht. Diese Polymere weisen eine besonders gute dämpfende Eigenschaft auf.

Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel weist in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung eine metallische Schicht mit einer Schichtdicke von 0,05 bis 0,5mm auf. Eine Schichtdicke in dieser Größenordnung gewährleistet zum einen ein hohes Umformungsvermögen des Erosionsschutzes und zum anderen einen hinreichenden Schutz gegen Tropfenschlagerosion.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die polymere Schicht eine Schichtdicke von 0,02 bis 1 mm aufweist. Eine Schichtdicke in dieser Größenordnung gewährleistet eine ausreichende mechanische Dämpfung und ermöglicht gleichzeitig ein hohes Umformungsvermögen des Erosionsschutzes.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel zeichnet sich durch die folgenden Verfahrensschritte aus:

- 5 - Herstellen der Turbinenschaufel und nachfolgendes oder gleichzeitiges
- stoff- und/oder formschlüssiges Verbinden des Erosionsschutzes mit der Turbinenschaufel.

10 Das stoffschlüssige Verbinden kann dabei einfach durch Kleben oder Aufschmelzen auf die Oberfläche der Turbinenschaufel erfolgen. Das formschlüssige Verbinden erfolgt durch plastisches Umformen des Erosionsschutzes zur optimierten mechanischen Anbindung.

15 Eine erfindungsgemäß bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens zum Herstellen der Turbinenschaufel sieht vor, dass die Herstellung der Turbinenschaufel und das Verbinden der Turbinenschaufel mit dem Erosionsschutz mittels eines Prepreg- oder Resin-Transfer-Molding-Verfahrens (RTM) erfolgen. Hierdurch
20 können das Herstellen der Turbinenschaufel und das Aufbringen des Erosionsschutzes in einem Arbeitsschritt erfolgen. Dies verkürzt die Herstellungszeit und die Herstellungskosten erheblich und sorgt für eine sehr sichere Verbindung zwischen der Turbinenschaufel und dem Erosionsschutz.

25 Durch die spezielle Ausbildung bzw. die spezifische Eigenschaft der Multilayer-Schicht, umfassend wenigstens zwei metallische und zwei polymerische Schichten, die in alternierender Abfolge übereinander geschichtet sind, ergibt sich ein
30 Erosionsschutz mit einem besonders hohen und gutem Umformungsvermögen, hierdurch wird eine einfache und robuste Geometrieangepassung und ein vollflächiges Aufbringen der Schutzschicht speziell im Bereich der Anströmkanten gewährleistet. Die bislang verwendeten Erosionsschutzschichten weisen lediglich
35 ein begrenztes Umformungsvermögen auf, wodurch sich speziell im Bereich der Anströmkanten eine Beschichtung mit einer Erosionsschutzschicht als schwierig oder gar unmöglich erwies.

Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel mit der Multilayer-Schutzschicht, besteht aus wenigstens zwei polymeren Schutzschichten und wenigstens zwei metallischen Schichten, gewährleistet somit einen verbesserten Erosionsschutz und damit eine erhöhte Lebensdauer der Turbinenschaufel. Die Turbinenschaufel eignet sich insbesondere für den Einsatz bei Dampfturbinen und speziell für die Endstufenlaufschaufel bei Kondensationsdampfturbinen, bei denen eine erhöhte Tropfenerosionsbelastung auftritt.

10

Nachfolgend werden weitere Vorteile der Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigt schematisch:

15

- Figur 1:

Eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel;

- Figur 2:

20

Eine Detailansicht der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel;

- Figur 3:

Eine Detailansicht einer Eintrittskante einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel nach Figur 1.

25

Die Figuren zeigen jeweils stark vereinfachte schematische Darstellungen der Erfindung, bei denen nur die wesentlichen zur Erfindung notwendigen Bauteile gezeigt sind. Gleiche, bzw. funktionsgleiche Bauteile sind figurübergreifend mit denselben Bezugszeichen versehen.

30

Figur 1 zeigt eine Turbinenschaufel 1 in Seitenansicht, die insbesondere als Endstufenlaufschaufel für eine Dampfturbine verwendet werden kann. Die Turbinenschaufel 1 ist aus einem Faserverbundwerkstoff ausgebildet. Hierzu sind mehrere Lagen von Fasermatten übereinander angeordnet. Um die Vorteile der Fasern, d.h. die hohe Zugfestigkeit in Faserrichtung ausnutzen zu können, sind die Matten so übereinander gelegt, dass

35

die Hauptfaserrichtung entsprechend der Hauptbeanspruchungsrichtung der Turbinenschaufel 1 ausgerichtet sind. Als Fasermaterial eignet sich insbesondere Glasfaser oder Kohlenfaser. Die Fasermatten sind in einer Matrix eingebettet. Die Matrix besteht vorzugsweise aus einem Kunstharz und sorgt für eine Verbindung der Fasermatten untereinander. Die Matrix kann selbst jedoch keine hohen Zugkräfte aufnehmen.

Die Turbinenschaufel 1 ist aufgrund des Faserverbundwerkstoffes sehr empfindlich gegen Tropfenschlagerosion. Aus diesem Grund umfasst die Turbinenschaufel 1 einen Erosionsschutz 2, der zumindest bereichsweise an der Oberfläche der Turbinenschaufel 1 angeordnet ist. Im Ausführungsbeispiel ist der Erosionsschutz 2 an der Eintrittskante 6 der Turbinenschaufel 1 angeordnet. Die Eintrittskante 6 ist am stärksten von Tropfenschlagerosion gefährdet, da die Wassertropfen im Wesentlichen hier auftreffen. Der Erosionsschutz 2 ist im Ausführungsbeispiel nur in der oberen Hälfte der Eintrittskante 6 angebracht. In diesem Bereich der Eintrittskante 6 besteht die größte Erosionsbeanspruchung, da im Betrieb der Turbine hier die größten Umfangsgeschwindigkeiten auftreten. Der Erosionsschutz 2 ist vorzugsweise so in die Schaufelkontur der Turbinenschaufel 1 eingefügt, dass sich ein fließender Übergang ohne Kanten zwischen dem Erosionsschutz 2 und der Turbinenschaufel 1 ergibt.

Die Turbinenschaufel 1 weist zusätzlich einen zweiten Erosionsschutz 2 an der Austrittskante 7 der Turbinenschaufel 1 auf. Im normalen Betrieb ist die Austrittskante 7 nicht stark erosionsgefährdet, da hier kein Tropfeneinschlag vorliegt. Der Erosionsschutz 2 an der Austrittskante 7, der Turbinenschaufel 1, ist für den Ventilationsbetrieb vorgesehen. Im Ventilationsbetrieb der Dampfturbine wird, um eine Überhitzung zu vermeiden, Wasser von hinten gegen die Turbinenschaufel 1 gesprüht. Hierbei kann es unter ungünstigen Bedingungen vorkommen, dass Wassertropfen auf die Austrittskante 7 der Turbinenschaufel 1 auftreffen. Dieses kann dann zu einer erhöhten Erosionsbelastung an der Austrittskante 7 führen. Das

Erosionsschutzbauteil 2 an der Austrittskante 7 kann Wirkungsvoll eine Beschädigung der Turbinenschaufel in diesem Bereich verhindern.

5 Das Erosionsschutzbauteil kann dabei direkt bei der Herstellung der Turbinenschaufel 1 mittels eines Resing Transfer Molding Verfahrens (RTM) bzw. mittels Prepreg-Verfahren mit der Turbinenschaufel 1 verbunden werden. Das Verbinden des Erosionsschutzes 2 mit der Turbinenschaufel 1 kann auch nachträglich
10 lich mittels stoff- und/oder formschlüssigen Verbinden erfolgen. Als stoffschlüssiges Verbinden bietet sich Kleben oder Aufschmelzen an. Das formschlüssige Verbinden erfolgt durch plastisches Umformen des Erosionsschutzes 2. Um den Erosionsschutz 2 zusätzlich zu sichern, können zusätzliche Befestigungsmittel insbesondere Schrauben, Nieten oder Stifte
15 verwendet werden, die die Turbinenschaufel 1 mit dem Erosionsschutz 2 verbindet.

Figur 2 zeigt eine Detailansicht der Turbinenschaufel 1 mit dem Erosionsschutz 2. Der Erosionsschutz 2 ist als sogenannter Multilayer aus wenigstens zwei polymeren Schichten 4 und wenigstens zwei metallischen Schichten 3 ausgebildet, die alternierend übereinander angeordnet sind. An den Erosionsschutz 2 werden eine Vielzahl von Anforderungen gestellt. Der
25 Erosionsschutz 2 muss erosionsstabil sein, d. h. eine hohe mechanische Stabilität gegenüber Tropfenschlagerosion aufweisen. Darüber muss er eine gute Umformbarkeit bieten, sodass er sich dem Profil der Turbinenschaufel 1 gut anpassen kann und somit vollflächig an der Turbinenschaufel 1 angeordnet
30 werden kann. Darüber hinaus sind eine hohe Energieaufnahmefähigkeit sowie eine gute Hydrolysebeständigkeit notwendig. Diese gestellten Anforderungen werden durch die Ausbildung des Erosionsschutzes 2 als Multilayer, mit alternierend übereinander angeordneten Schichten aus einem Polymer und einem
35 Metall gelöst. Um eine hohe mechanische Stabilität und damit eine gute Erosionsstabilität zu gewährleisten, ist die äußere Schicht des Erosionsschutzes 2 eine metallische Schicht 3.

Als metallische Schicht 3 eignet sich insbesondere Stahl, Aluminium oder eine Aluminiumlegierungen, Titan oder eine Titanlegierungen, Magnesium oder eine Magnesiumlegierungen. Diese Materialien bieten einen hohen Erosionsschutz, eine hohe mechanische Stabilität und eine hohe Energieaufnahmefähigkeit. Als polymere Schicht 4 eignen sich insbesondere Polyurethan, thermoplastische Elastomere, thermoplastische Polyurethane, oder Kautschuk, insbesondere hydrierter Acrylnitrilbutadin-Kautschuk, Chloropren, Isopren, Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) oder Fluorkautschuk. Diese Polymere gewährleisten eine gute Dämpfung der Aufprallenergie der auftreffenden Wassertropfen.

Als besonders geeignet haben sich Metallschichten 3 mit einer Dicke von 0,05 bis 0,5 mm, insbesondere aus Titan hergestellt. Als besonders geeignete Polymerschicht 4 hat sich eine Polymerschicht aus Polyurethan mit einer Schichtdicke zwischen 0,02 und 1,0 mm hergestellt.

Das Herstellen einer Multilayer-Schicht 2 aus Kautschuk und Metall kann durch Verpressen des Metalls mit dem Kautschuk erfolgen, wobei der Kautschuk mit oder ohne Haftvermittler oder Primer auf der Metallschicht aufgebracht wird. Bei Multilayer-Schichten aus thermoplastischem Elastomer insbesondere thermoplastischem Polyurethan kann die Verbindung zwischen den Schichten durch Laminieren (Heißlaminieren) oder Verpressen (Heißverpressen) oder durch aufschmelzende Verbindungstechniken mittels anderer Methoden erfolgen.

Um eine gute Verbindung des Erosionsschutzes 2 mit der Turbinenschaufel 1 zu erzielen, kann zwischen dem Erosionsschutz 2 und der Turbinenschaufel 1 eine zusätzliche Schicht 5 beispielsweise aus Fasermatten bzw. harzgetränkten Fasermatten (Prepregs) angeordnet sein.

35

Durch die Ausbildung des Erosionsschutzes 2 als Multilayer mit alternierend übereinander angeordneten Schichten aus polymerer und metallischer Schicht, ergibt sich ein Erosions-

schutz 2, der ein besonders hohes Umformungsvermögen aufweist. Diese spezifische Eigenschaft des Multilayer-Aufbaus ermöglicht eine einfache und robuste Geometrieangepassung und ein vollflächiges (teilflächiges) Aufbringen des Erosionsschutzes 2 speziell im Bereich der Anströmkantekante (leading edge), während des Schaufelherstellungsprozesses oder im Nachgang zum Herstellungsprozess der Turbinenschaufel. Erosionsschutzschichten bzw. Bauteile die nur aus einem bzw. zwei Schichten ausgebildet sind, wie dies Stand der Technik ist, bieten dieses hohe Umformungsvermögen nicht, wodurch eine Anpassung des Erosionsschutzes 2 an die Turbinenschaufel 1 wesentlich erschwert ist. Durch die Verwendung eines Multilayers mit Schichten aus Metall und Polymer ergibt sich zudem ein besonders guter Erosionsschutz. Die metallische Schicht 3 sorgt durch ihre große Härte für einen besonders guten mechanischen Schutz gegen Tropfenschlagerosion und gewährleistet eine hohe Energieaufnahmefähigkeit. Die polymeren Schichten 4 sorgen dafür, dass die Tropfenaufschlagsenergie gedämpft wird und sich nicht in den Faserverbundwerkstoff der Turbinenschaufel 1 fortpflanzen kann. Durch die Kombination beider Schichtmaterialien wird somit ein besonders guter Erosionsschutz gewährleistet.

Figur 3 zeigt eine Detailansicht der in Figur 1 dargestellten Turbinenschaufel 1. Die Detailansicht zeigt die Anströmkante 6 der Turbinenschaufel 1. In der Figur 3 ist gut zu erkennen, wie sich der Erosionsschutz 2 in die Schaufelkontur der Turbinenschaufel 1 einfügt. Die Turbinenschaufel 1 ist dabei so vorbereitet, dass sich nach Einfügen des Erosionsschutzes 2 die endgültige Schaufelkontur der Turbinenschaufel 1 ergibt. Zwischen dem Erosionsschutz 2 und der Turbinenschaufel 1 ergibt sich dabei ein fließender Übergang ohne jegliche Kante. Die Strömungsbedingungen an der Turbinenschaufel 1 bleiben somit vollständig erhalten und ein Abreißen der Strömung am Übergang vom Erosionsschutz 2 zur Turbinenschaufel 1 wird vermieden. Im Ausführungsbeispiel erfolgt die Verbindung zwischen der Turbinenschaufel 1 und dem Erosionsschutz 2 durch das Einlaminieren des Erosionsschutzes 2. Zusätzlich wird das

Erosionsschutzteil 2 mit zusätzlichen Befestigungsmitteln 7, insbesondere Schrauben, Nieten oder Stiften gesichert. Die Befestigungsmittel 7 bieten zusätzliche Sicherheit gegen das Lösen des Erosionsschutzes 2, insbesondere bei einem fehlerhaften Laminieren.

Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel bietet durch den Erosionsschutz, bestehend aus wenigstens zwei polymeren Schichten und wenigstens zwei metallischen Schichten die alternierend übereinander angeordnet sind, einen verbesserten Schutz gegen Tropfenschlagerosion gegenüber den bislang verwendeten Erosionsschutzbauteilen. Durch die Verwendung der alternierend übereinander angeordneten Schichten ergibt sich ein besonders hohes Umformungsvermögen des Erosionsschutzes, wodurch eine vollflächige Anordnung des Erosionsschutzes auch an komplizierten geometrischen Formen der Turbinenschaufel möglich wird. Durch das hohe Umformungsvermögen des Erosionsschutzes kann insbesondere die stark belastete Anströmkante (leading edge) der Turbinenschaufel wirkungsvoll gegen Tropfenschlagerosion geschützt werden. Durch die Verwendung des Multilayer-Erosionsschutzes können Turbinenschaufeln, welche aus Faserverbundwerkstoff hergestellt sind, auch in Tropfenschlaggefährdeter Umgebung, insbesondere im Nassdampfgebiet von Kondensationsdampfturbinen eingesetzt werden, ohne dass es zu einer vorzeitigen Zerstörung der Turbinenschaufel kommt. Durch die Auswahl einer geeigneten Anzahl an alternierenden übereinander angeordneten Schichten kann ein iterativer Erosionsschutz erfolgen. Je nach Umgebungsbedingung können dabei mehr oder weniger Schichten alternierend übereinander angeordnet werden. Ein weiterer Vorteil der alternierend übereinander angeordneten Schichten aus Metall und Polymer besteht darin, dass wenn es zu einer Zerstörung einer Schicht kommt, die darunterliegende Schicht weiterhin einen hinreichenden Erosionsschutz gewährleistet, sodass es nicht zu einer schnellen Zerstörung der Turbinenschaufel kommt, wie dies bei den bislang verwendeten Erosionsschutzbauteilen der Fall ist.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel, die zumindest bereichsweise aus einem Faserverbundwerkstoff besteht, umfassend einen Erosionsschutz, der zumindest bereichsweise an der Oberfläche der Turbinenschaufel angeordnet ist, wobei der Erosionsschutz aus wenigstens zwei polymeren Schichten und wenigstens zwei metallische Schichten besteht, die alternierend übereinander angeordnet sind.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Schicht des Erosionsschutzes eine metallische Schicht ist.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Schicht aus Stahl, aus Aluminium, aus einer Aluminiumlegierung, aus Titan, aus einer Titanlegierung, aus Magnesium oder aus einer Magnesiumlegierung besteht.
4. Turbinenschaufel nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die polymere Schicht aus Polyurethan, aus einem thermoplastischen Elastomer, insbesondere einem thermoplastischen Polyurethan, oder einem Kautschuk, insbesondere einem hydrierten Acrylnitrilbutadien-Kautschuk, Chloropren, Isopren, Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) oder einem Fluorkautschuk besteht.
5. Turbinenschaufel nach Anspruch einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Schicht eine Schichtdicke von 0,05 - 0,5 mm aufweist.
6. Turbinenschaufel nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

die polymere Schicht eine Schichtdicke von 0,02 - 1,0 mm aufweist.

- 5 7. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet, durch folgende Verfahrensschritte:
Herstellen der Turbinenschaufel;
und nachfolgendes oder gleichzeitiges
10 Stoff- und/oder formschlüssiges Verbinden des Erosionsschutzes mit der Turbinenschaufel.
- 15 8. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Herstellung der Turbinenschaufel und das Verbinden der Turbinenschaufel mit dem Erosionsschutz mittels eines Prepreg-, Resin Transfer Molding-Verfahrens (RTM) oder Nasslaminierverfahren erfolgt.

FIG 1

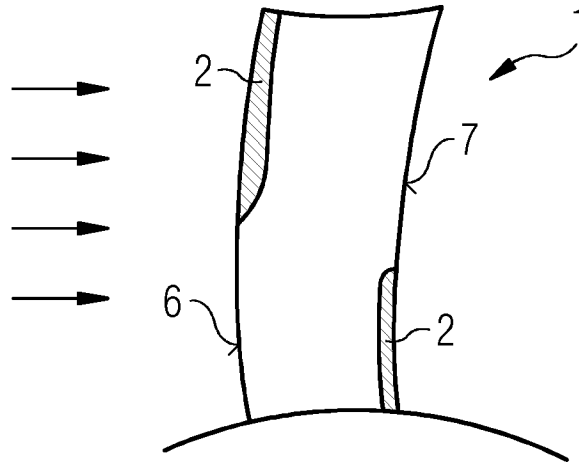


FIG 2

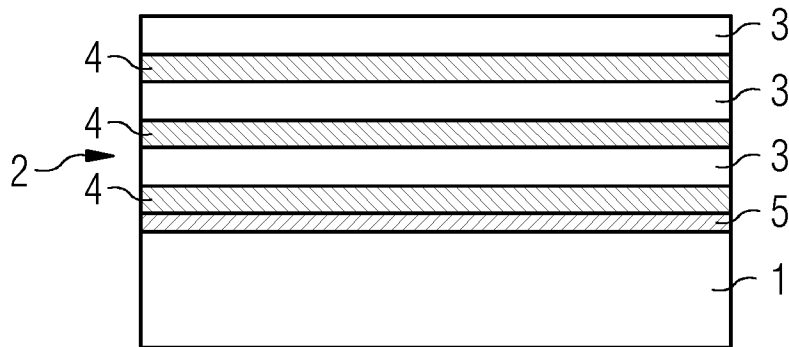
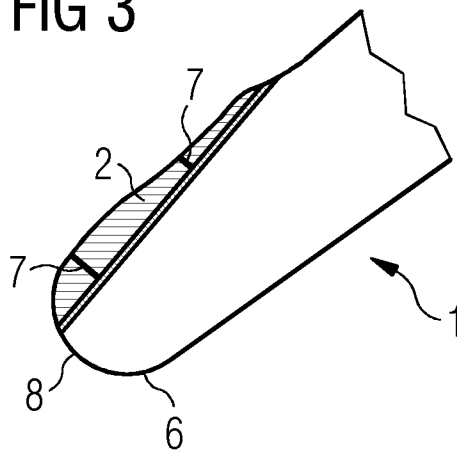


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2012/051654

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F01D5/28 B23P15/04 B29C70/86 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F01D B23P B29C C23C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/074586 A1 (LE HONG SON [FR] ET AL) 19 March 2009 (2009-03-19)	1-4,7,8
Y	paragraphs [0020] - [0022], [0035] - [0038], [0050], [0055], [0061]; figures 3,5,7	5,6
Y	----- EP 0 813 956 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 29 December 1997 (1997-12-29) column 3, lines 18-47; figure 2	5,6
A	----- US 2003/129061 A1 (FINN SCOTT ROGER [US] ET AL) 10 July 2003 (2003-07-10) paragraphs [0020], [0031], [0032]	1-8
A	----- EP 1 788 197 A1 (SIEMENS AG [DE]) 23 May 2007 (2007-05-23) paragraphs [0024], [0035] - [0038]; figures 2,2a	1-8
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
7 May 2012	15/05/2012	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Teusch, Reinhold	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/051654

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 895 021 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 5 March 2008 (2008-03-05) paragraphs [0004], [0017], [0018]; figure 2	1-8
A,P	----- WO 2011/051362 A2 (SIEMENS AG [DE]; BERNDT ANETT [DE]; SEIDEL CHRISTIAN [DE]; VOELKER LUT) 5 May 2011 (2011-05-05) cited in the application claims 1,7,11 -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2012/051654

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009074586 A1	19-03-2009	CA 2639601 A1	13-03-2009
		CN 101387205 A	18-03-2009
		EP 2037082 A1	18-03-2009
		FR 2921099 A1	20-03-2009
		JP 2009068493 A	02-04-2009
		US 2009074586 A1	19-03-2009

EP 0813956 A1	29-12-1997	DE 69700019 D1	01-10-1998
		DE 69700019 T2	25-03-1999
		EP 0813956 A1	29-12-1997
		JP 2828168 B2	25-11-1998
		JP 10016133 A	20-01-1998
		SG 50822 A1	20-07-1998
		US 5876651 A	02-03-1999
		US 5965240 A	12-10-1999

US 2003129061 A1	10-07-2003	CA 2422827 A1	20-09-2004
		EP 1462606 A1	29-09-2004
		JP 4406212 B2	27-01-2010
		JP 2004285864 A	14-10-2004
		US 2003129061 A1	10-07-2003

EP 1788197 A1	23-05-2007	AT 458900 T	15-03-2010
		BR PI0618860 A2	13-09-2011
		CN 101313129 A	26-11-2008
		EP 1788197 A1	23-05-2007
		EP 1951991 A1	06-08-2008
		ES 2338369 T3	06-05-2010
		JP 4772873 B2	14-09-2011
		JP 2009516798 A	23-04-2009
		US 2010014982 A1	21-01-2010
		WO 2007057294 A1	24-05-2007

EP 1895021 A1	05-03-2008	CA 2599742 A1	29-02-2008
		EP 1895021 A1	05-03-2008
		US 2008056905 A1	06-03-2008

WO 2011051362 A2	05-05-2011	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP2012/051654

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F01D5/28 B23P15/04 B29C70/86 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F01D B23P B29C C23C		
Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2009/074586 A1 (LE HONG SON [FR] ET AL) 19. März 2009 (2009-03-19)	1-4,7,8
Y	Absätze [0020] - [0022], [0035] - [0038], [0050], [0055], [0061]; Abbildungen 3,5,7	5,6
Y	----- EP 0 813 956 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 29. Dezember 1997 (1997-12-29) Spalte 3, Zeilen 18-47; Abbildung 2	5,6
A	----- US 2003/129061 A1 (FINN SCOTT ROGER [US] ET AL) 10. Juli 2003 (2003-07-10) Absätze [0020], [0031], [0032]	1-8
A	----- EP 1 788 197 A1 (SIEMENS AG [DE]) 23. Mai 2007 (2007-05-23) Absätze [0024], [0035] - [0038]; Abbildungen 2,2a	1-8
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. Mai 2012		15/05/2012
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Teusch, Reinhold

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/051654

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 895 021 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 5. März 2008 (2008-03-05) Absätze [0004], [0017], [0018]; Abbildung 2	1-8
A,P	----- WO 2011/051362 A2 (SIEMENS AG [DE]; BERNDT ANETT [DE]; SEIDEL CHRISTIAN [DE]; VOELKER LUT) 5. Mai 2011 (2011-05-05) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1,7,11 -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/051654

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009074586 A1	19-03-2009	CA 2639601 A1	13-03-2009
		CN 101387205 A	18-03-2009
		EP 2037082 A1	18-03-2009
		FR 2921099 A1	20-03-2009
		JP 2009068493 A	02-04-2009
		US 2009074586 A1	19-03-2009
EP 0813956 A1	29-12-1997	DE 69700019 D1	01-10-1998
		DE 69700019 T2	25-03-1999
		EP 0813956 A1	29-12-1997
		JP 2828168 B2	25-11-1998
		JP 10016133 A	20-01-1998
		SG 50822 A1	20-07-1998
		US 5876651 A	02-03-1999
		US 5965240 A	12-10-1999
US 2003129061 A1	10-07-2003	CA 2422827 A1	20-09-2004
		EP 1462606 A1	29-09-2004
		JP 4406212 B2	27-01-2010
		JP 2004285864 A	14-10-2004
		US 2003129061 A1	10-07-2003
EP 1788197 A1	23-05-2007	AT 458900 T	15-03-2010
		BR PI0618860 A2	13-09-2011
		CN 101313129 A	26-11-2008
		EP 1788197 A1	23-05-2007
		EP 1951991 A1	06-08-2008
		ES 2338369 T3	06-05-2010
		JP 4772873 B2	14-09-2011
		JP 2009516798 A	23-04-2009
		US 2010014982 A1	21-01-2010
		WO 2007057294 A1	24-05-2007
EP 1895021 A1	05-03-2008	CA 2599742 A1	29-02-2008
		EP 1895021 A1	05-03-2008
		US 2008056905 A1	06-03-2008
WO 2011051362 A2	05-05-2011	KEINE	