



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.09.2010 Patentblatt 2010/36

(51) Int Cl.:
F01D 5/28 (2006.01) C22F 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09003103.0**

(22) Anmeldetag: **04.03.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

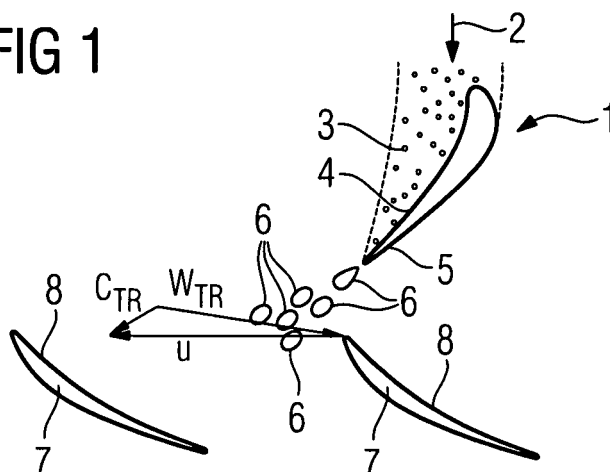
(72) Erfinder: **Gollerthan, Susanne, Dr.**
44575 Castrop-Rauxel (DE)

(54) **Turbinenkomponente mit einer Schutzschicht**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenkomponente
(7) mit einer Schicht aus pseudoplastischem Material,

mit dem die Tropfenschlagerosion wirksam vermieden werden kann.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenkomponente für eine Strömungsmaschine.

[0002] Unter dem Begriff Strömungsmaschine ist beispielsweise ein Verdichter, eine Dampfturbine oder eine Gasturbine zu verstehen. Strömungsmaschinen weisen einen um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor auf, an dem Laufschaufeln verankert sind. Ein stationäres Bauteil ist derart angeordnet, dass ein Radialspalt zwischen der Laufschaufelspitze und dem stationären Bauteil entsteht. Das stationäre Bauteil kann beispielsweise als Innengehäuse ausgestaltet sein. Dem Innengehäuse ist eine Leitschaufel zugeordnet, so dass das Innengehäuse als Leitschaufelträger ausgestaltet ist.

[0003] Im Betrieb strömt ein Strömungsmedium im Wesentlichen entlang der Rotationsachse an den Laufschaufeln vorbei, wobei das Strömungsmedium seinen vorgegebenen Weg durch das durch die hintereinander angeordneten Laufschaufeln und Leitschaufeln gebildete Schaufelgitter folgt. Insbesondere bei Dampfturbinen wird beobachtet, dass sich im Dampfstrom Nebeltröpfchen bilden, die von den Leitschaufeln eingefangen werden, dort akkumulieren und von den Austrittskanten als Wassertropfen abreißen. Diese Wassertropfen führen aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie an den Laufschaufeln, insbesondere an den Laufschaufeleintrittskanten zu Oberflächenzerrüttungen und Tropfenschlagerosion, so dass zum Teil kostenintensive Kantenschutzmaßnahmen getroffen werden müssen.

[0004] Um die negativen Auswirkungen der Tropfenschlagerosion zu vermeiden, ist es beispielsweise bekannt, die Laufschaufeln und insbesondere die Laufschaufeleintrittskanten mit möglichst harten Schichten zu versehen, wodurch die Tropfenschlagerosion allerdings nicht vollständig verhindert werden kann und zum Teil sogar die Rissempfindlichkeit der Laufschaufeln erhöht wird, so dass nachteiligerweise die erreichbaren Betriebsspannungen gesenkt werden müssen.

[0005] Bekannt ist es auch, die Laufschaufeln bzw. die Laufschaufeleintrittskanten einer Oberflächenbehandlung in Form einer Härtung zu unterziehen.

[0006] Es ist auch bekannt, sogenannte Formgedächtniswerkstoffe mit pseudoelastischen Eigenschaften zu verwenden, die als Schicht auf eine Turbinenschaufel aufgebracht wird.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsmaschine der eingangs genannten Art mit einfachen Mitteln dahingehend zu verbessern, dass die Laufschaufeln wesentlich resistenter gegen Tropfenschlagerosion ausgeführt sind.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass die Turbinenkomponente mit einer Schicht aus pseudoplastischem Material ausgebildet ist.

[0009] Mit der Erfindung wird somit ein pseudoplastisches anstatt einem pseudoelastischen Material verwendet, wie es im Stand der Technik bekannt ist. Das pseudoplastische als auch das pseudoelastische Material

wird auch als Formgedächtnislegierung bezeichnet und gehört zur Gruppe der Funktionswerkstoffe und sind als solche in der Lage, nach einer Verformung, die weit über den elastischen Bereich hinausgehen, in ihre ursprüngliche Form zurückzukehren. Die Erinnerungsfähigkeit von den Formgedächtnislegierungen beruht auf einer diffusionslosen Phasenumwandlung, welche in einem bestimmten Temperatur- oder Spannungsbereich stattfinden kann. Bei den Formgedächtnislegierungen finden während der Phasenumwandlung fast gar keine Volumenänderungen statt. Der Grund ist darin zu sehen, dass sich die neuen Kristallstrukturen in Folge von reinen Scherdeformationen bilden können. Neben dem Gedächtniseffekt, der mit einer Phasenumwandlung verbunden ist, tritt auch ein weiterer Deformationsmechanismus in Erscheinung, der wie folgt beschrieben werden kann. Sogenannte Elementarzellen liegen unterhalb einer charakteristischen Temperatur in einer Zwillingsanordnung vor, die auch als Martensitphase bezeichnet wird. Diese Martensitphase kann leicht durch eine Ausrichtung der einzelnen Zwillingskristalle in eine Vorzugsrichtung verbleibend deformiert werden. In diesem Zusammenhang wird daher auch von einer Pseudoplastizität gesprochen. Wird ein solch deformiertes Material über eine Grenztemperatur erwärmt, führt dies zu einer Phasenumwandlung der Martensitphase in einen Austenit. Da die Ähnlichkeit der makroskopischen Abmessungen des Austenits mit denen des Zwillingsmartensits ähnlich ist, nimmt das pseudoplastisch deformierte Material seine ursprüngliche Form an.

[0010] Mit der Erfindung wird ausschließlich das Verformungsverhalten im martensitischen Stabilitätsbereich ausgenutzt. Bei diesem Vorgang handelt es sich um einen hochgradig energiedissipativen Prozess, wobei ein Phasenübergang erster Ordnung nicht stattfindet, bei dem eine latente Umwandlungswärme auftreten würde. Mit der Erfindung kann somit die hohe kinetische Energie, die beim Auftreffen der Tropfen auf die Laufschaufeln für die Tropfenschlagerosion verantwortlich ist, wirkungsvoll abgepuffert werden.

[0011] Erfindungsgemäß werden demnach Materialien als Schicht auf einer Turbinenkomponente eingesetzt, die ein pseudoplastisches Verhalten zeigen. Das pseudoplastische Verhalten zeigt den weiter oben geschilderten Effekt. Das bedeutet, dass insbesondere eine martensitische Phase existiert. Darüber hinaus wird das pseudoplastische Material derart ausgewählt, dass die auftretenden Temperaturen und Kräfte derart sind, dass kein Phasenübergang erster Ordnung stattfindet, wodurch ein pseudoelastisches Material vorliegen würde.

[0012] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0013] So ist es vorteilhaft, wenn das pseudoplastische Material in einer Martensitphase vorliegt. Diese Martensitphase weist eine martensitische Struktur bei einer gegebenen Anwendungstemperatur auf.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung weist das pseudoplastische Material Elementarzellen in

einer Zwillingsanordnung auf. Diese Zwillingsanordnung wird aufgrund einer Kraftwirkung mechanisch verformt. Diese Verformung ist zunächst eine bleibende Verformung. Die Krafteinwirkung erfolgt beispielsweise durch das Auftreten von Tropfen.

[0015] Erfindungsgemäß wird eine NiTi-Legierung als pseudoplastisches Material verwendet. Eine NiTi-Legierung ist ein binäres System und hat die Eigenschaft, dass in Abhängigkeit vom Nickelgehalt eine Legierung bei einer gegebenen Temperatur entweder martensitisch oder austenitisch vorliegt. Mit der Erfindung werden Nickel-Titan-Legierungen verwendet, die bei einer gegebenen Temperatur ausschließlich martensitisch vorliegen.

[0016] Es ist vorteilhaft, wenn die Austenit-Starttemperatur mindestens 80% beträgt. Die binäre NiTi-Legierung weist einen Nickelgehalt von etwa 49,8wt% auf. Durch Zugabe von Hafnium, Palladium oder auch Zirkon ist es möglich, die Umwandlungstemperatur auch für Legierungen mit etwas höheren Nickelgehalt (< 51wt%) in diesen Bereich zu verschieben.

[0017] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Turbinenkomponente eine Leit- oder Laufschaufel. Wie bereits ausgeführt, beruht die Tropfenschlagerosion auf Oberflächenzerrüttung durch aufschlagende Wassertropfen. Bei der erfindungsgemäßen Beschichtung mit dem Formgedächtnis bzw. pseudoplastischem Werkstoff wird die Aufprallenergie dagegen in eine pseudoplastische Verformung umgesetzt und kann somit nicht mehr zur Zerrüttung des Schaufelwerkstoffes führen. Eine Nickel-Titan-Legierung ist hierfür besonders geeignet, da neben den guten Eigenschaften eine Nickel-Titan-Legierung über besonders gute Korrosionsbeständigkeit verfügt und weil eine Nickel-Titan-Legierung einen ausgesprochen hohen Widerstand gegen Rissbildung und Risswachstum zeigt.

[0018] Ein weiterer Vorteil der pseudoplastischen Schicht besteht darin, dass die Oberflächenzerrüttung stark verringert wird, da die Turbinenkomponentenoberfläche sich beim Aufprall eines Wassertropfens je nach Aufprallwinkel entsprechend pseudoplastisch verformt und dabei einen Großteil der kinetischen Energie durch Umklappen des Gitters abpuffert. Darüber hinaus ist die Rissempfindlichkeit der pseudoplastischen Schicht gegenüber einer harten Schicht so gut wie gar nicht erhöht. Des Weiteren sind Nickel-Titan-Legierungen besonders geeignet, was die Kompatibilität und die Haftung bei Titan-Turbinenkomponentenwerkstoff angeht.

[0019] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Ursachen für die Tropfenschlagerosion,

Fig. 2 eine Seitenansicht der Phasenumwandlung eines pseudoplastischen Materials,

Fig. 3 Darstellung der Phasenumwandlung eines pseudoplastischen Materials.

[0020] In der Figur 1 wird in schematischer Weise dargestellt, wie eine Tropfenschlagerosion zustande kommt. Eine Turbinenleitschaufel 1 wird im Betriebszustand mit Dampf 2, der einzelne Nebeltröpfchen umfasst, angeströmt. Diese Nebeltröpfchen akkumulieren auf der Leitschaufeloberfläche und reißen anschließend von der Austrittskante 5 der Leitschaufel 1 als Wassertropfen 6 ab. Diese Wassertropfen 6 führen aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie an den Laufschaufeln 7, insbesondere an den Leitschaufeleintrittskanten 8 zu Oberflächenzerrüttungen und Tropfenschlagerosion. In dem Geschwindigkeitsdreieck ist unter C_{TR} die Absolutgeschwindigkeit des Wassertropfens 6, unter W_{TR} die Relativgeschwindigkeit des Wassertropfens 6 und unter u die Umfangsgeschwindigkeit der Laufschaufeln 7 zu verstehen.

[0021] Die Turbinenleitschaufel 1 als auch die Laufschaufel 7 als Ausführungsform einer Turbinenkomponente wird mit einer Schicht aus pseudoplastischem Material ausgeführt. Als pseudoplastisches Material wird ein Material verwendet, das in einer Martensitphase vorliegt. Dieser martensitische Zustand liegt bis zu einer gegebenen Anwendungstemperatur vor, der von der Zusammensetzung des pseudoplastischen Materials abhängt.

[0022] In der Figur 2 ist eine graphische Darstellung der Umwandlungsvorgänge im pseudoplastischen Material dargestellt. Mit α^+ und α^- sind unterschiedliche Martensitvarianten dargestellt. Die Grundstruktur der Martensitphase kann aus zwölf möglichen Martensitvarianten bestehen. Das pseudoplastische Material besteht nach einem Abkühlen aus einem Stabilitätsfeld der austenitischen Hochtemperaturphase, aus einer Mikrostruktur, die aus bis zu zwölf statistisch orientierten, nadelartigen Martensitvarianten besteht. Die Ausbildung dieser Varianten, die in der Abbildung (a) statistisch verteilt sind und auch als Zwillingsstruktur bezeichnet werden können, stellt einen selbstakkommodierenden Prozess dar, der die inneren Spannungen, die durch die mit dem Phasenübergang verbundene Gitterscherung entstehen, minimiert. In der Abbildung (b) ist das Deformationsverhalten des pseudoplastischen Materials dargestellt. Die Struktur wird durch Einwirken einer äußeren Kraft 9 gestört. Die äußere Kraft 9 entsteht beispielsweise durch den Aufprall eines Wassertropfens 6, der auf die pseudoplastische Schicht aufschlägt. Wird das pseudoplastische Material durch diese äußere Kraft 9 einer mechanischen Spannung ausgesetzt, so beginnen solche Varianten zu wachsen, die günstig zur von außen angelegten Spannung orientiert sind. Diese Varianten wachsen dabei auf Kosten anderer Varianten, die ungünstig zur äußeren wirkenden Spannung orientiert sind. Es findet hier eine Reorientierung der betroffenen Gitterbereiche vor, was in Figur 2 dargestellt ist und keinen Phasenübergang im herkömmlichen Sinne bezeichnet. Die durch diese Reorientierung entstehende Verformung des pseudoplastischen Materials ist bleibender Natur und kann durch Aufheizen in das Stabilitätsfeld der Hochtemperaturphase vollständig rückgängig gemacht werden.

den.

[0023] Die auf der Turbinenkomponente ausgebildete pseudoplastische Schicht weist solch eine Struktur gemäß Abbildung 2 auf und liegt daher in einer Martensitphase vor. Die Elementarzellen des pseudoplastischen Materials liegen hierbei in einer Zwillingsanordnung vor, wie sie in der Figur 2 Abbildung (a) zu sehen ist.

[0024] Das pseudoplastische Material ist eine martensitische Nickel-Titan-Legierung, deren Materialeigenschaften abhängig vom Nickelgehalt sind.

[0025] In der Abbildung 3 ist der Formänderungsprozess des pseudoplastischen Materials in einzelnen Schritten bildlich dargestellt. In der Struktur 10, die vergleichbar ist mit der Zwillingsstruktur aus Figur 2 Abbildung (a), liegt das martensitische Material in einer Zwillingsstruktur 11 vor. Unter einer mechanischen Belastung 12 erfolgt eine Deformation der Zwillingsstruktur 11 zu einer Deformationsstruktur 13. Die äußere Geometrie der Deformationsstruktur 13 bleibt im Zustand 14 erhalten, bei dem die mechanische Belastung 12 nicht mehr vorhanden ist und daher von einer mechanischen Entlastung 15 gesprochen werden kann.

[0026] Der Zustand 14 kann durch eine geeignete Erwärmung über eine Grenztemperatur A_s in eine austenitische Struktur 16 umgewandelt werden. Aufgrund der Ähnlichkeit der makroskopischen Ausmessungen der austenitischen Struktur 16 mit denen der martensitischen Zwillingsstruktur 11 nimmt das pseudoplastisch deformierte Material seine ursprüngliche Form wieder an. Die Form bleibt im Gegensatz zum Gefüge unverändert, wenn durch Temperaturniedrigung 18 die Phasenumwandlung des Austenits in den Martensit stattfindet.

[0027] Im Koordinatendiagramm der Figur 3 ist auf der X-Achse die Dehnung 19, auf der Y-Achse die Spannung 20 und auf der Z-Achse die Temperatur 21 dargestellt. Die Kurve 22 zeigt, wie sich die Spannung 20 in Abhängigkeit von der Dehnung 19 und der Temperatur 21 verhält. Vom Startpunkt 23 aus wird die Spannung 20 erhöht, was zu einer Dehnung 19 des Materials führt. Die Verhältnisse sind hier linear, wie es aus der Darstellung im Koordinatensystem zu erkennen ist. Wenn die äußere mechanische Belastung 12 nicht mehr vorhanden ist, d. h. eine mechanische Entlastung 15 stattfindet, die auf den Wert 0 abfällt, ist eine Restdehnung 24 vorhanden. Das bedeutet, dass das Material plastisch verformt ist. Diese plastische Verformung kann durch eine Erwärmung 17, d. h. eine Temperaturerhöhung wieder zurückgenommen werden, sofern die Temperatur die Grenztemperatur A_s erreicht und überschreitet. Bei der zweiten Grenztemperatur A_f ist die Restdehnung 24 auf den Wert 0 zurückgegangen. Eine Temperaturniedrigung 18, d. h. eine Erniedrigung der Temperatur auf den Wert 0, führt wieder zu der Zwillingsstruktur 11, die eine martensitische Struktur aufweist.

Patentansprüche

1. Turbinenkomponente mit einer Schicht aus pseudoplastischem Material.
2. Turbinenkomponente nach Anspruch 1, wobei das pseudoplastische Material in einer Martensitphase vorliegt.
3. Turbinenkomponente nach Anspruch 2, wobei das pseudoplastische Material Elementarzellen in Zwillingsanordnung aufweist.
4. Turbinenkomponente nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das pseudoplastische Material eine NiTi-Legierung ist.
5. Turbinenkomponente nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Turbinenkomponente eine Leit- oder Laufschaufel ist.

FIG 1

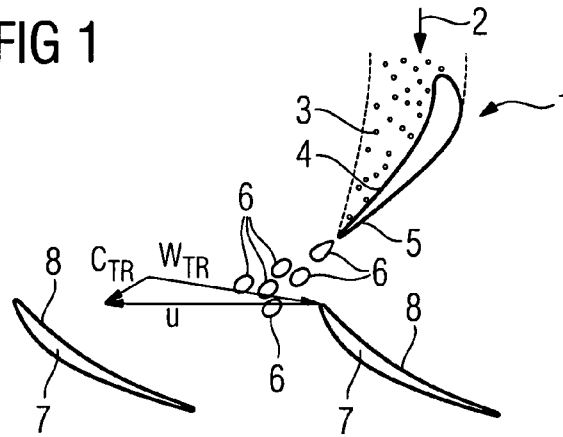


FIG 2

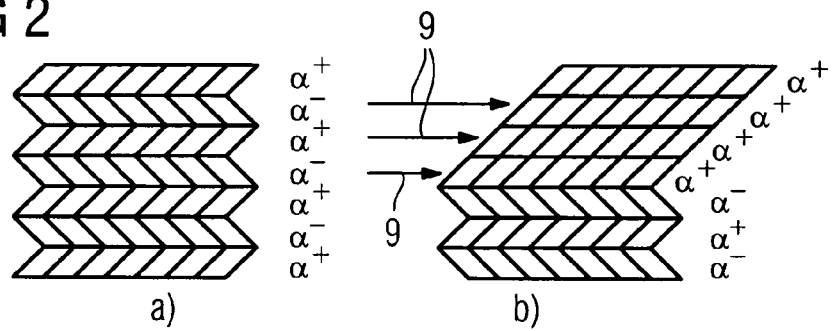
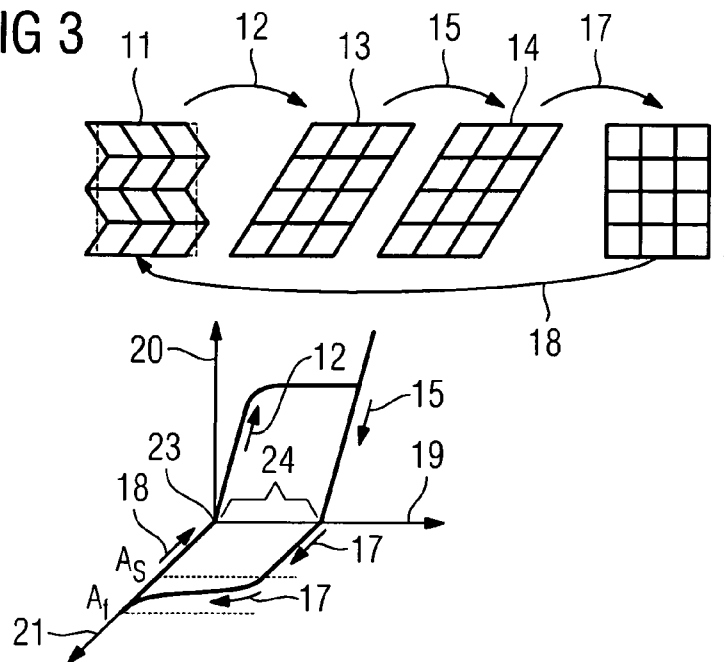


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 09 00 3103

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 577 422 A (GEN ELECTRIC [US]) 21. September 2005 (2005-09-21) * das ganze Dokument *	1-5	INV. F01D5/28 C22F1/00
X	EP 1 820 940 A (SIEMENS AG [DE]) 22. August 2007 (2007-08-22) * das ganze Dokument *	1-5	
X	US 2004/051219 A1 (SHERWIN YANG [US] ET AL) 18. März 2004 (2004-03-18) * Seite 1, Absatz 3 * * Seite 2, Absatz 15 - Seite 3, Absatz 24; Abbildungen 1c, 2c *	1-3,5	
X	EP 1 557 552 A (GEN ELECTRIC [US]) 27. Juli 2005 (2005-07-27) * Spalte 4, Absatz 19 - Spalte 5, Absatz 21; Abbildung 4 *	1,2,4	
X	EP 1 686 243 A (GEN ELECTRIC [US]) 2. August 2006 (2006-08-02) * Spalte 2, Absatz 5 - Spalte 3, Absatz 9 * * Spalte 4, Absatz 13 - Spalte 5, Absatz 14; Abbildung 1 *	1,2,4	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D C22F
X	GB 2 354 290 A (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 21. März 2001 (2001-03-21) * Seite 6, Zeile 18 - Seite 8, Zeile 8; Abbildung 3 *	1,2,4,5	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. August 2009	Prüfer Rau, Guido
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 00 3103

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-08-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1577422 A	21-09-2005	CN 1676884 A	05-10-2005
		JP 2005273015 A	06-10-2005
		US 2005207896 A1	22-09-2005
EP 1820940 A	22-08-2007	KEINE	
US 2004051219 A1	18-03-2004	KEINE	
EP 1557552 A	27-07-2005	CA 2492418 A1	20-07-2005
		CN 1644904 A	27-07-2005
		JP 2005207422 A	04-08-2005
		US 2005155343 A1	21-07-2005
EP 1686243 A	02-08-2006	CA 2533576 A1	26-07-2006
		JP 2006207584 A	10-08-2006
		US 2006165518 A1	27-07-2006
GB 2354290 A	21-03-2001	US 6485255 B1	26-11-2002

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82