

(19)



(11)

EP 2 772 567 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.09.2014 Patentblatt 2014/36

(51) Int Cl.:
C23C 26/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13157238.0**

(22) Anmeldetag: **28.02.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL 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 RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

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

(72) Erfinder:
• **Burbaum, Bernd**
14612 Falkensee (DE)
• **Laux, Britta**
14059 Berlin (DE)

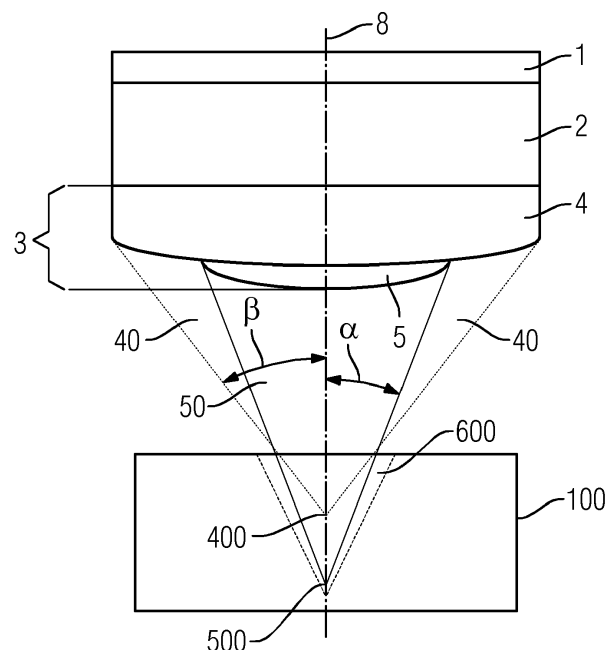
(54) **Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht für Bauteile und Wärmedämmschicht**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht (100) für Bauteile, insbesondere für hochtemperaturbelastete Bauteile, umfassend eine Wärmedämmschichtoberfläche und ein Wärmedämmschichtinneres, wobei zumindest eine erste Laserlichtquelle mittels zumindest einer ersten Fokussiereinrichtung zumindest einen ersten Fokus in zumindest einer ersten Tiefe der Wärmedämmschicht (100) erzeugt, und wobei

- zumindest eine zweite Laserlichtquelle mittels zumindest einer zweiten Fokussiereinrichtung zumindest einen zweiten Fokus in zumindest einer zweiten Tiefe der Wärmedämmschicht (100) erzeugt,

- die zumindest erste Tiefe unterschiedlich zur zumindest zweiten Tiefe ist,
- der zumindest erste Fokus und der zumindest zweite Fokus so nah beieinander liegen, dass sie ein gemeinsames Umschmelzbad (600) in der Wärmedämmschicht (100) erzeugen,
- eine anschließende Erstarrung des Umschmelzbads (600) vom Wärmedämmschichtinneren zur Wärmedämmschichtoberfläche stattfindet, so dass die Wärmedämmschichtoberfläche zumindest teilweise gegen ein Eindringen von Fremdstoffen verdichtet wird.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Wärmedämmschicht.

**EP 2 772 567 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht für Bauteile, insbesondere für hochtemperaturbelastete Bauteile, umfassend eine Wärmedämmschichtoberfläche und ein Wärmedämmschichtinneres, wobei zumindest eine erste Laserlichtquelle mittels zumindest einer ersten Fokussiereinrichtung zumindest einen ersten Fokus in zumindest einer ersten Tiefe der Wärmedämmschicht erzeugt. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Wärmedämmschicht.

[0002] Die Oberflächen im Heißgasbereich werden in modernen Gasturbinen zum Schutz vor Hochtemperaturoxidation und Hochtemperaturkorrosion fast vollständig mit Beschichtungen versehen. Brenner- und Verstärker-Abschnitte, die für Beschädigung durch Oxidation und Hitzekorrosions-Angriff empfindlich sind, werden typischerweise durch eine poröse Wärmedämmschicht (TBC) geschützt. Ein Eindringen von Fremdstoffen wie z.B. Sand führt jedoch zu einem Abplatzen der Wärmedämmschicht aufgrund ihrer porösen Oberfläche. Fremdstoffe können die Wärmedämmschicht auch in flüssiger Form infiltrieren, anschließend kristallisieren und dadurch zu einem Abplatzen des Coatings führen. Dies kann die Lebensdauer des Bauteils erheblich verringern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Wärmedämmschicht eine keramische, spröde Schicht ist.

[0003] Eine erste Aufgabe der Erfindung ist daher die Angabe eines Verfahrens zum Herstellen einer Wärmedämmschicht für Bauteile, insbesondere für hochtemperaturbelastete Bauteile, mit welchem die oben genannten Probleme vermindert oder gar vermieden werden können. Eine zweite Aufgabe ist die Angabe einer verbesserten Wärmedämmschicht, welche die oben genannten Probleme vermindert oder gar vermeidet.

[0004] Erfindungsgemäß wird die erste Aufgabe mit der Angabe eines Verfahrens zum Herstellen einer Wärmedämmschicht gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die folgenden Schritte gelöst, wobei:

- zumindest eine zweite Laserlichtquelle mittels zumindest einer zweiten Fokussiereinrichtung zumindest einen zweiten Fokus in einer zweiten Tiefe der Wärmedämmschicht erzeugt,
- eine zumindest erste Tiefe unterschiedlich zur zumindest zweiten Tiefe ist,
- ein zumindest erster Fokus und der zumindest zweite Fokus so nah beieinander liegen, dass sie ein gemeinsames Umschmelzbad in der Wärmedämmschicht erzeugen, und
- eine anschließende Erstarrung des Umschmelzbads von einem Wärmedämmschichtinneren zu einer Wärmedämmschichtoberfläche stattfindet, so dass eine Wärmedämmschichtoberfläche zumindest teilweise gegen ein Eindringen von Fremdstoffen verdichtet wird.

[0005] Erfindungsgemäß ist es durch die Nutzung zu-

mindest zweier Fokusse mit unterschiedlicher Tiefe in der Wärmedämmschicht möglich, mehr Lichtleistung in das Innere der Wärmedämmschicht einzukoppeln und damit ein größeres Volumen an Umschmelzbad mit unterschiedlichen Temperaturen zu erzeugen. Durch die zumindest zwei Fokusse wird ein V-förmiges Umschmelzbad erzeugt, mit hohen Temperaturen und Umschmelzen in dem Inneren der Wärmedämmschicht; und geringen Temperaturen im Randbereich des Umschmelzbades. Dies führt zu einer Verminderung des Temperaturgradienten um das Umschmelzbad (Schmelzzone) herum. Dadurch ergibt sich eine Verminderung der Heißrissneigung. Die Schmelze erstarrt vom Inneren der Wärmedämmschicht nach Außen. Somit werden Ausgaszonen verhindert und Einschlüsse zur Wärmedämmschichtoberfläche geführt, was zu einer verminderten Porenbildung führt. Der eigentliche Umschmelzprozess findet im Inneren der Wärmedämmschicht statt, während die Wärmedämmschichtoberfläche lediglich vorgewärmt wird. Durch ein derartiges Umschmelzen wird die Wärmedämmschichtoberfläche verdichtet, so dass flüssige Fremdstoffe nicht mehr in die Wärmedämmschicht eindringen; sich dort kristallisieren und somit ein Abplatzen der Wärmedämmschicht herbeiführen können. Dadurch kann die Lebensdauer der Beschichtung und des Bauteils, z.B. einer Turbinenschaufel verlängert werden.

[0006] Erfindungsgemäß wird die zweite Aufgabe mit der Angabe einer Wärmedämmschicht für hochtemperaturbelastete Bauteile gelöst, welche eine Wärmedämmschichtoberfläche und ein Wärmedämmschichtinneres nach dem oben genannten Verfahren aufweist.

[0007] Erfindungsgemäß bewirkt ein Umschmelzbad, insbesondere ein V-förmiges Umschmelzbad, eine Erstarrung der Schmelze vom Inneren der Wärmedämmschicht nach außen. Dadurch werden Ausgasungen und Schrumpfungszonen verhindert. Porenbildung kann so vermieden werden. Dadurch weist die erfindungsgemäße Wärmedämmschicht insbesondere an der Oberfläche eine Versiegelung auf.

[0008] Bevorzugt sind die zumindest zwei Fokussiereinrichtungen als bifokale Linse ausgebildet. Durch die Anwendung einer bifokalen Linse entstehen zwei konzentrische kreisförmige Intensitätsverteilungen in der Wärmedämmschicht. Thermische Spannungen können so während des Umschmelzprozesses reduziert werden und eine Rissbildung während des Umschmelzprozesses kann verhindert werden.

[0009] In bevorzugter Ausgestaltung sind die zumindest zwei Laserlichtquellen ein einzelner Laser. Alternativ sind die zumindest zwei Laserlichtquellen zwei Laser mit unterschiedlichen Strahleigenschaften.

[0010] Bevorzugt ist die Wärmedämmschicht eine keramische Schicht. Diese ist besonders gut geeignet für hochtemperaturbelastete Bauteile, z.B. Schaufeln oder Hitzeschilder.

[0011] Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nach-

folgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beiliegende Figur. Darin zeigt schematisch:

FIG 1 eine Umschmelzeinrichtung beim Umschmelzen einer Wärmedämmschicht.

[0012] FIG 1 zeigt eine Wärmedämmschicht 100 und einen Laser 1, von welchem ein Lichtstrahl 2 ausgeht. Dieser wird durch eine bifokale Linse 3 aufgespaltet. Dabei besteht die bifokale Linse 3 aus einer ersten und einer zweiten Linse. So kann es sich bei der ersten Linse um eine scheibenförmige Linse 5 handeln und bei der zweiten Linse um eine ringförmige Linse 4, wobei die ringförmige Linse 4 und scheibenförmige Linse 5 dann unterschiedliche Partien des Lichtstrahls 2 erfassen. Es kann aber auch sein, dass auf die ringförmige Linse 4 noch ein weiterer Linsenabschnitt zur Erzeugung der scheibenförmigen Linse 5 gesetzt wurde. Dabei sind die ringförmige Linse 4 und die scheibenförmige Linse 5 konzentrisch zueinander angeordnet, d.h. sie haben denselben Mittelpunkt (nicht gezeigt). Die ringförmige Linse 4 und die scheibenförmige Linse 5 wirken als Sammellinsen, haben aber unterschiedliche Brennweiten. Die ringförmige Linse 4 und scheibenförmige Linse 5 spalten den Lichtstrahl 2 in zwei Lichtstrahle auf. So erfasst die ringförmige Linse 4 die äußeren Randzonen des Lichtstrahls 2 und die scheibenförmige Linse 5 einen inneren Kern des Lichtstrahls 2. Der Lichtstrahl durch die scheibenförmige mittige Linse 5 kann daher auch als Zentralstrahl 50 angesehen werden, der Lichtstrahl durch die ringförmige Linse 4 kann daher auch als Ringstrahl 40 angesehen werden. Der durch die scheibenförmige Linse 5 festgelegte Zentralstrahl 50 hat einen geringeren Konvergenzwinkel α als der durch die ringförmige Linse 4 festgelegte Ringstrahl 40 mit einem Konvergenzwinkel β . Dadurch entstehen zwei Fokusse in unterschiedlichen Tiefen der Wärmedämmschicht 100, nämlich der Fokus 400, welcher der ringförmigen Linse 4 zugeordnet wird und der Fokus 500, welcher der scheibenförmigen Linse 5 zugeordnet wird. Beide Fokusse 400 und 500 liegen auf einer gemeinsamen optischen Achse 8. Dabei liegt der Fokus 500 tiefer in der Wärmedämmschicht 100 als der Fokus 400. Durch die konzentrische Anordnung der ringförmigen Linse 4 und des entstehenden Ringstrahls 40 sowie der scheibenförmigen Linse 5 und des entstehenden Zentralstrahls 50 ergibt sich ein V-förmiges Umschmelzbad 600, das in der Wärmedämmschicht 100 entsteht. Dabei befindet sich die Spitze des V-förmigen Umschmelzbades 600 nahe des Fokus 500 des Zentralstrahls 50. Durch die Nutzung zweier Fokusse 400, 500 mit unterschiedlicher Tiefe in der Wärmedämmschicht 100 ist es möglich mehr Lichtleistung in das Innere der Wärmedämmschicht 100 einzukoppeln und damit ein größeres Volumen an Umschmelzbad 600 mit unterschiedlichen Temperaturen zu erzeugen. In den Randzonen des Umschmelzbades 600, insbesondere in Nähe der Oberfläche, liegt nur noch eine geringe Temperatur vor. Dies führt zu einer Verminderung der Temperatur-

gradienten rings um das Umschmelzbad 600 (Schmelzzone) gerade in Oberflächennähe und dies führt zu einer Verminderung der Heißrissneigung. Das heißt, dass durch das V-förmige Umschmelzbad, die thermischen Spannungen während des Umschmelzprozesses reduziert werden und eine Rissbildung verhindert werden kann. Das durch die bifokale Linse 3 entstehende V-förmige Umschmelzbad erstarrt von der Spitze der V-Form, das heißt vom Inneren der Wärmedämmschicht 100 zur Wärmedämmschichtoberfläche, was zu einer verminderten Porenbildung führt. Einschlüsse und Ausgaszonen werden zur Wärmedämmschichtoberfläche geführt und können dort entweichen, was zu einer verminderten Porenbildung führt. Der eigentliche Umschmelzprozess findet daher im Inneren der Wärmedämmschicht statt, während die Wärmedämmschichtoberfläche lediglich vorgewärmt wird. Insbesondere in der Grenzschicht zwischen dem Ringstrahl 40 und dem angrenzenden Bereich in der Wärmedämmschicht 100 findet kein Umschmelzen statt.

[0013] Durch das Umschmelzen mit einer bifokalen Linse wird die Wärmedämmschichtoberfläche derart verdichtet bzw. versiegelt, dass Fremdstoffe nun nicht mehr durch die poröse Wärmedämmschichtoberfläche in die poröse Wärmedämmschicht eindringen können; ein Abplatzen der Wärmedämmschicht wird somit vermieden. Dadurch kann die Lebensdauer der Beschichtung und des Bauteils, z.B. einer Turbinenschaufel verlängert werden.

[0014] Selbstverständlich können anstatt der einen Laserlichtquelle 1 auch mehrere Laserlichtquellen verwendet werden (nicht gezeigt). Diese können gleich stark oder unterschiedlich stark sein, auch unterschiedliche Strahleigenschaften aufweisen. Auch können mehr als zwei Fokusse ausgebildet werden, was beispielsweise die Einkopplung von hohen Leistungen in große Materialtiefen ermöglicht (nicht gezeigt).

40 Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Wärmedämmschicht (100) für Bauteile, insbesondere für hochtemperaturbelastete Bauteile, umfassend eine Wärmedämmschichtoberfläche und ein Wärmedämmschichtinneres, wobei zumindest eine erste Laserlichtquelle mittels zumindest einer ersten Fokussiereinrichtung zumindest einen ersten Fokus (400) in zumindest einer ersten Tiefe der Wärmedämmschicht (100) erzeugt,

dadurch gekennzeichnet, dass

- zumindest eine zweite Laserlichtquelle mittels zumindest einer zweiten Fokussiereinrichtung zumindest einen zweiten Fokus (500) in zumindest einer zweiten Tiefe der Wärmedämmschicht (100) erzeugt,
- die zumindest erste Tiefe unterschiedlich zur

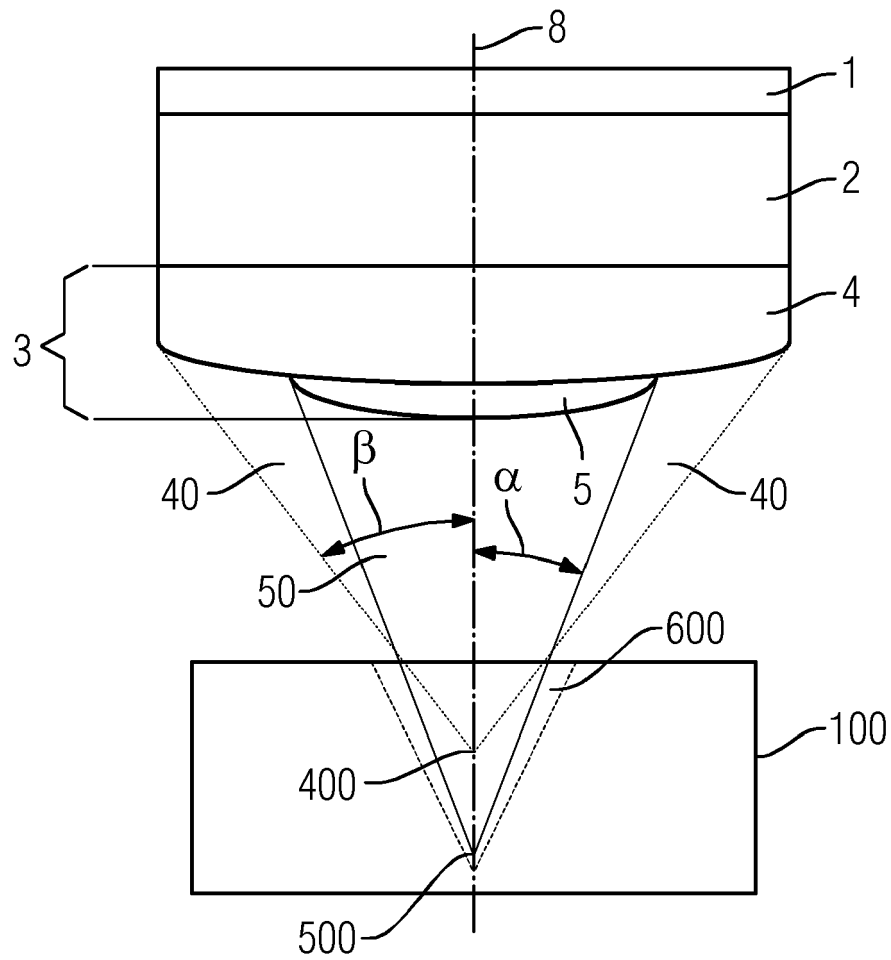
- zumindest zweiten Tiefe ist,
- der zumindest erste Fokus (400) und der zumindest zweite Fokus (500) so nah beieinander liegen, dass sie ein gemeinsames Umschmelzbad (600) in der Wärmdämmschicht (100) erzeugen, 5
 - eine anschließende Erstarrung des Umschmelzbads (600) vom Wärmedämmschichtinneren zur Wärmedämmschichtoberfläche stattfindet, so dass die Wärmedämmschichtoberfläche zumindest teilweise gegen ein Eindringen von Fremdstoffen verdichtet wird. 10
2. Wärmedämmschicht (100) für hochtemperaturbelastete Bauteile, welche eine Wärmedämmschichtoberfläche und ein Wärmedämmschichtinneres nach dem Verfahren des Anspruchs 1 aufweist. 15
 3. Wärmedämmschicht nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest zwei Fokussiereinrichtungen als eine bifokale Linse (3) ausgebildet sind. 20
 4. Wärmedämmschicht nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest zwei Laserlichtquellen als ein einzelner Laser (1) ausgebildet sind. 25
 5. Wärmedämmschicht nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest zwei Laserlichtquellen zwei Laser mit unterschiedlichen Strahleigenschaften sind. 30
 6. Wärmedämmschicht nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmedämmschicht (100) eine keramische Schicht ist. 35

40

45

50

55





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 15 7238

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	FR 2 941 964 A1 (SNECMA [FR]) 13. August 2010 (2010-08-13)	2-6	INV. C23C26/02
A	* Seite 6, Zeilen 12-29 * * Seite 12, Zeilen 1-22 *	1	
A	EP 1 743 729 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17. Januar 2007 (2007-01-17) * Spalte 11, Absatz 47 - Spalte 12, Absatz 50 * * Spalte 14, Absatz 57-59 * * Abbildungen 3-5 *	1	
A	US 2012/164376 A1 (BUNKER RONALD SCOTT [US] ET AL) 28. Juni 2012 (2012-06-28) * Seite 2, Absatz 31 - Seite 3, Absatz 32; Abbildung 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C23C
X	US 5 576 069 A (CHEN CHUN [TW] ET AL) 19. November 1996 (1996-11-19) * das ganze Dokument *	2-6	
X	US 2008/145629 A1 (ANOSHKINA ELVIRA V [US] ET AL) 19. Juni 2008 (2008-06-19) * Seite 3, Absatz 27-29 *	2-6	
X	US 4 377 371 A (WISANDER DONALD W ET AL) 22. März 1983 (1983-03-22) * Spalte 2, Zeilen 43-68 * * Spalte 3, Zeilen 1-23 *	2-6	
X	US 2002/172837 A1 (ALLEN DAVID B [US] ET AL) 21. November 2002 (2002-11-21) * Seite 4, Absatz 52; Abbildung 5 *	2-6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 3. Juli 2013	Prüfer Joffreau, P
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 : nichtschriftliche 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			

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

EP 13 15 7238

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

03-07-2013

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2941964 A1	13-08-2010	KEINE	
EP 1743729 A2	17-01-2007	CA 2551249 A1	30-12-2006
		CN 1896463 A	17-01-2007
		EP 1743729 A2	17-01-2007
		JP 5197929 B2	15-05-2013
		JP 2007051635 A	01-03-2007
		US 2007003416 A1	04-01-2007
		US 2009280269 A1	12-11-2009
US 2012164376 A1	28-06-2012	CN 102528413 A	04-07-2012
		DE 102011056623 A1	05-07-2012
		FR 2969521 A1	29-06-2012
		JP 2012132451 A	12-07-2012
		US 2012164376 A1	28-06-2012
US 5576069 A	19-11-1996	KEINE	
US 2008145629 A1	19-06-2008	AT 517198 T	15-08-2011
		EP 2126157 A2	02-12-2009
		US 2008145629 A1	19-06-2008
		WO 2008140479 A2	20-11-2008
US 4377371 A	22-03-1983	KEINE	
US 2002172837 A1	21-11-2002	CA 2428363 A1	13-11-2003
		EP 1367148 A1	03-12-2003
		US 2002172837 A1	21-11-2002

EPO FORM P0461

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