

(19)



(11)

**EP 2 320 714 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

**11.05.2011 Patentblatt 2011/19**

(51) Int Cl.:

**H05H 1/42 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09013864.5**

(22) Anmeldetag: **04.11.2009**

(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 SM TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

**AL BA RS**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **Felkel, Mario**  
**10115 Berlin (DE)**
- **Gruner, Heiko, Dr.**  
**5506 Mägenwill (CH)**
- **Ladru, Francis-Jurjen**  
**13587 Berlin (DE)**

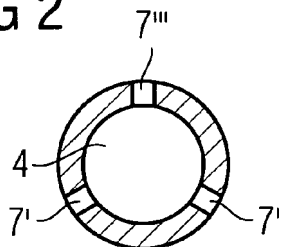
(54) **Plasmaspritzdüse mit innenliegender Injektion**

(57) Bisherige Plasmaspritzdüsen sind durch den hohen Verschleiß nicht geeignet für die Beschichtung von Bauteilen, bei denen lange Beschichtungszeiten not-

wendig sind.

Durch die dreifache Injektion von Pulver in den Kanal (4) durch die Plasmaspritzdüse (1) können die Beschichtungszeiten erheblich verhindert werden.

**FIG 2**



**EP 2 320 714 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Plasmaspritzdüse, bei der das Pulver injiziert wird.

**[0002]** Um den Wirkungsgrad einer Turbine zu erhöhen ist es nötig, höhere Temperaturen am Turbineneintritt zu ermöglichen. Dies wird erreicht, indem eine metallische und keramische Beschichtung auf die Turbinenschaufel aufgetragen wird, wobei diese eine Dicke bis zu 800 Mikrometer aufweist.

**[0003]** Der derzeitige Prozess hat sich als sehr ineffizient erwiesen, weil die Beschichtung mehr als 70 Minuten dauert. Bei solch langen Beschichtungszeiten hat man jedoch den Effekt, dass der Spritzfleck bedingt durch den Verschleiß der Düse variiert und so das Spritzergebnis sich über die Zeit verändert. Dies ist nicht gewünscht.

**[0004]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, oben genanntes Problem zu lösen.

**[0005]** Die Aufgabe wird gelöst durch eine Plasmaspritzdüse gemäß Anspruch 1.

**[0006]** In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen aufgelistet, die beliebig miteinander variiert werden können, um weitere Vorteile zu erzielen.

**[0007]** Es zeigen

Figur 1, 4, 5 Plasmaspritzdüsen im Längsschnitt und  
Figur 2, 3, 6 Plasmaspritzdüsen im Querschnitt,  
Figur 7 eine Turbinenschaufel.

**[0008]** Die Beschreibung und die Figuren stellen nur Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

**[0009]** In Figur 1 ist eine Plasmaspritzdüse 1 im Längsschnitt gezeigt.

**[0010]** Die Plasmaspritzdüse 1 weist im Inneren einen länglichen Innenkanal 4 mit einer Längsachse 22 auf, in dem 4 ein Plasma erzeugt und in den 4 durch zumindest ein Loch 7 Pulver injiziert wird.

**[0011]** Der Innenkanal 4 ist länger ausgebildet als der divergente Bereich (16), insbesondere 60%, ganz insbesondere 75% der Gesamtlänge aufweist.

**[0012]** Am Ende 19 der Plasmaspritzdüse 1 befindet sich ein divergenter Anteil 16, so dass der innere Querschnitt des Innenkanals 4 sich zum Austritt oder Ende 19 hin vergrößert.

**[0013]** Der Außendurchmesser des Endes 28 der Düse 1, das dem divergenten Anteil 16 gegenüber liegt, ist vorzugsweise größer als der Außendurchmesser am Ende 19 des divergenten Bereichs 16. Dies bedeutet, dass die Masse pro axialer Längen am Ende 28 größer ist.

**[0014]** Die Injektion von Pulver erfolgt innenliegend, d.h. vor dem divergenten Bereich 16. Dies kann durch ein Loch 7 (Fig. 3) oder durch mehrere Löcher 7', 7'', 7''' erfolgen (Fig. 2).

**[0015]** Der Abstand vom Loch 7, 7', 7'', 7''' zum Ende 19 der Düse 1 beträgt vorzugsweise mindestens 60%, insbesondere mindestens 70%, ganz insbesondere 80% der Gesamtlänge L der Düse 1.

**[0016]** Am Anfang des divergenten Anteils 16 ist vorzugsweise ein Absatz 25 (Fig. 1, 4) vorhanden, der den Lichtbogen des Plasmas zum länglichen Innenkanal 4 gelenkt wird.

**[0017]** Der Absatz 25 stellt einen nicht stetigen oder nicht kontinuierlichen Übergang 25 zum divergenten Bereich 16 dar. Vorzugsweise ist am Übergang 25 vom Innenkanal 4 mit konstantem Querschnitt zum divergenten Bereich 16 eine Kante vorhanden.

**[0018]** Der Absatz 25 verläuft vorzugsweise senkrecht zur Längsachse 22 des Innenkanals 4.

**[0019]** Ebenso kann kein Absatz 25 vorhanden sein (Fig. 5).

**[0020]** Entlang der Strömungsrichtung durch die Plasmaspritzdüse 1, also parallel zur Längsachse 22 der Düse 1 oder des Kanals 4, sind außen vorzugsweise Kühlrippen 10 vorhanden (Fig. 4). Diese 10 können im Außendurchmesser den Außendurchmesser am Ende 19 des divergenten Bereichs 16 überragen.

**[0021]** Zwischen den Kühlrippen 10 ist vorzugsweise ein Dichtungsring 13 angeordnet (Fig. 4).

**[0022]** Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel.

**[0023]** Die Zufuhr von Pulver in den Kanal 4 der Plasmaspritzdüse 1 erfolgt nicht durch ein, sondern insbesondere durch zwei, insbesondere durch drei Löcher 7, 7', 7'', die vorzugsweise gleichmäßig um den Umfang des Innenkanals 4 verteilt sind.

**[0024]** Durch diese Anordnung der dreifachen Injektion lässt sich die Injektion des Pulvers strahlgenau steuern und der Bahnabstand, d.h. der Abstand zwischen Überfahrten über das zu beschichtende Bauteil kann mindestens verdoppelt werden, wobei der Spritzfleck konstant in der gleichen Position gehalten wird, so dass die Beschichtungszeit erheblich reduziert wird. Die Düse 1 ist bis auf den Innenkanal 4 und den Löchern 7, 7', 7'', 7''' für die Pulverinjektion massiv ausgebildet.

**[0025]** Das zumindest eine Loch 7 weist am Ende, also nahe dem Austritt in den Innenkanal 4 eine Verjüngung 8 auf, um gezielt in den Plasmastrahl zu injizieren.

**[0026]** Die Figur 7 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

**[0027]** Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

**[0028]** Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze 415 auf.

**[0029]** Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

**[0030]** Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dar-

gestellt).

**[0031]** Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

**[0032]** Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

**[0033]** Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

**[0034]** Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt.

**[0035]** Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

**[0036]** Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

**[0037]** Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

**[0038]** Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.

**[0039]** Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures). Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

**[0040]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion oder Oxidation aufweisen, z. B. (MCrA1X; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Ak-

tivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden, bzw. Hafnium (Hf)). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

**[0041]** Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

**[0042]** Auf der MCrA1X-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

**[0043]** Vorzugsweise weist die Schichtzusammensetzung Co-30Ni-28Cr-8Al-0,6Y-0,7Si oder Co-28Ni-24Cr-10Al-0,6Y auf. Neben diesen kobaltbasierten Schutzbeschichtungen werden auch vorzugsweise nickelbasierte Schutzschichten verwendet wie Ni-10Cr-12Al-0,6Y-3Re oder Ni-12Co-21Cr-11Al-0,4Y-2Re oder Ni-25Co-17Cr-10Al-0,4Y-1,5Re.

**[0044]** Auf der MCrA1X kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ - $ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

**[0045]** Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrA1X-Schicht. Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

**[0046]** Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrA1X-Schicht.

**[0047]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse im Bauteil 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

**[0048]** Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein.

**[0049]** Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühllöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

## Patentansprüche

1. Plasmaspritzdüse (1), die in ihrem Innenkanal (4) an einem Ende (19) einen divergenten Anteil (16) aufweist, die zumindest ein Loch (7, 7', 7'', 7''') zur Pulverin-

- jektion aufweist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das zumindest eine Loch (7, 7', 7'', 7''') zur Pulverinjektion nicht im divergenten Bereich (16) angeordnet ist. 5
2. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das zumindest eine Loch (7, 7', 7'', 7''') nahe dem divergenten Bereich (16) gegenüberliegenden Ende (28) angeordnet ist. 10
3. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Plasmaspritzdüse (1) zumindest zwei, insbesondere drei Löcher (7', 7'', 7''') zur Pulverinjektion aufweist. 15
4. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie (1) äußere Kühlrippen (10) aufweist, insbesondere zwischen dem divergenten Anteil (16) und dem zumindest einem Loch (7, 7', 7'', 7'''). 20
5. Plasmaspritzdüse nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie (1) einen äußeren Dichtungsring (13), insbesondere zwischen den Kühlrippen(10), aufweist. 25 30
6. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie (1) einen Absatz (25) am Beginn des divergenten Anteils (16) aufweist. 35
7. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie (1) im Innenkanal (4) einen divergenten Anteil (16) und einen Anteil (15) mit konstantem Querschnitt aufweist, insbesondere daraus besteht. 40
8. Plasmaspritzdüse nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Außendurchmesser der Düse (1) am Ende (19) des divergenten Bereichs (16) kleiner ist als der Außendurchmesser am anderen Endes (28) der Düse (1). 45
9. Plasmaspritzdüse nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der axiale Abstand des zumindest einen Lochs (7, 7', 7'', 7''') zum Ende (19) des divergenten Bereichs (16) mindestens 60%, insbesondere 70%, ganz insbesondere 80% der Gesamtlänge (L) der Düse (1) beträgt. 50 55
10. Plasmaspritzdüse nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Loch (7, 7', 7'', 7''') an seinem Ende beim Eintritt in den Innenkanal (4) eine Verjüngung (8) aufweist.
11. Plasmaspritzdüse nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Innenkanal (4) radialsymmetrisch ausgebildet ist.
12. Plasmaspritzdüse nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Innenkanal (4) länger ausgebildet ist als der divergente Bereich (16), insbesondere 60%, ganz insbesondere 75% der Gesamtlänge aufweist.
13. Plasmaspritzdüse nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der divergente Bereich (16) radialsymmetrisch ausgebildet ist.

FIG 1

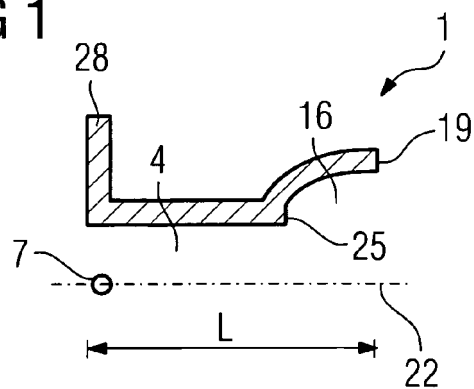


FIG 2

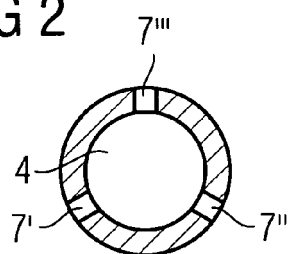


FIG 3

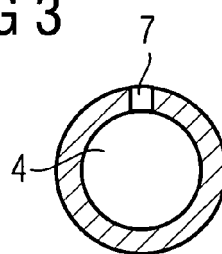


FIG 4

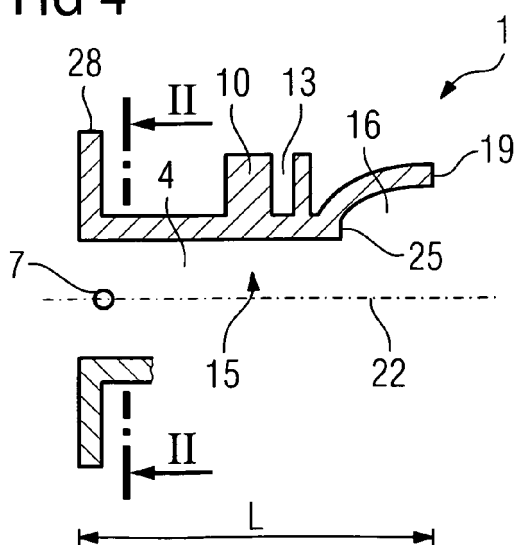


FIG 5

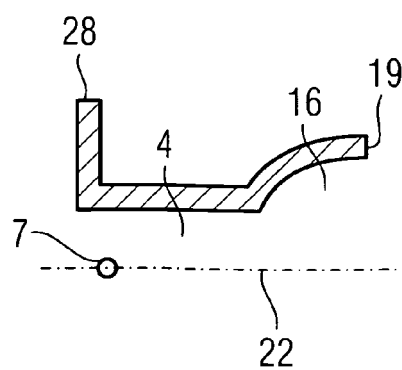


FIG 6

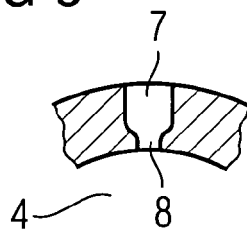
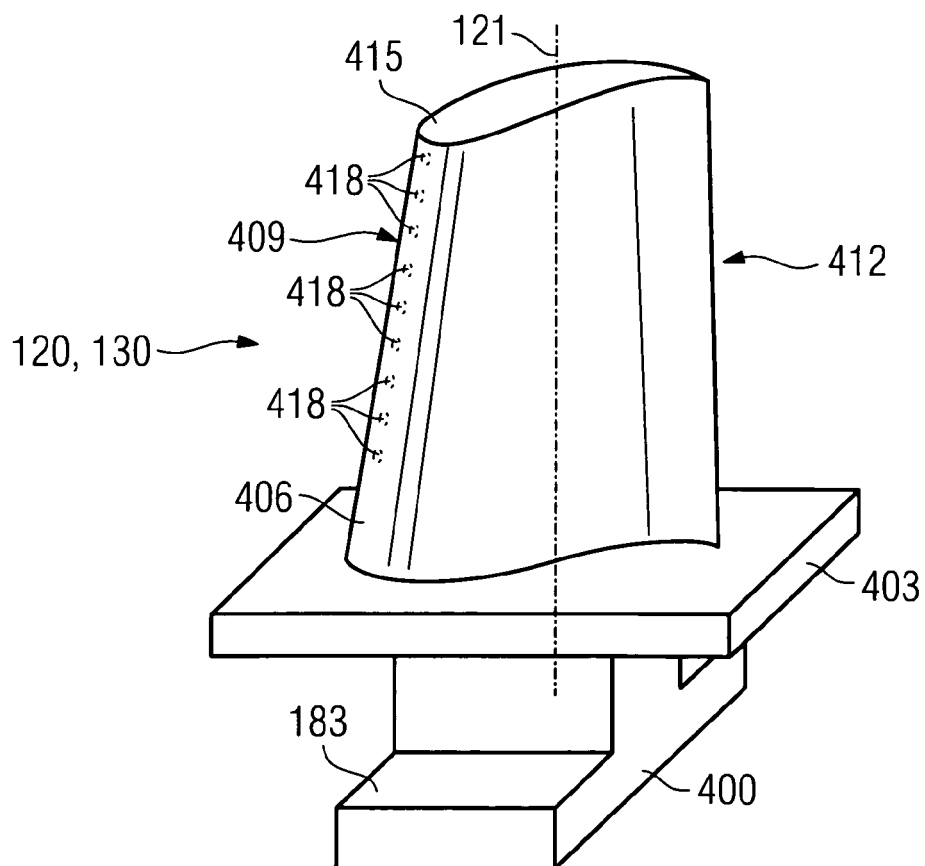


FIG 7





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 09 01 3864

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                  | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2008/057212 A1 (DORIER JEAN-LUC [CH] ET AL) 6. März 2008 (2008-03-06)<br>* Abbildung 1 *<br>----- | 1,2,6,7, 11-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>H05H1/42                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | H05H                               |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| Recherchenort<br>München                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                      | Abschlußdatum der Recherche<br>22. April 2010                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Prüfer<br>Eberwein, Michael        |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                      | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>.....<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 09 01 3864

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.

22-04-2010

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 2008057212 A1                                   | 06-03-2008                    | CA 2591017 A1                     | 29-02-2008                    |
|                                                    |                               | JP 2008055414 A                   | 13-03-2008                    |
|                                                    |                               | KR 20080021535 A                  | 07-03-2008                    |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |
|                                                    |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1204776 B1 **[0034]**
- EP 1306454 A **[0034]**
- EP 1319729 A1 **[0034]**
- WO 9967435 A **[0034]**
- WO 0044949 A **[0034]**
- US 6024792 A **[0039]**
- EP 0892090 A1 **[0039]**
- EP 0486489 B1 **[0040]**
- EP 0786017 B1 **[0040]**
- EP 0412397 B1 **[0040]**
- EP 1306454 A1 **[0040]**