(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 222 814 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.09.2017 Patentblatt 2017/39

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 *(2006.01)* ***F01D 5/18*** *(2006.01)*
F01D 9/06 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **16162232.9**

(22) Anmeldetag: **24.03.2016**

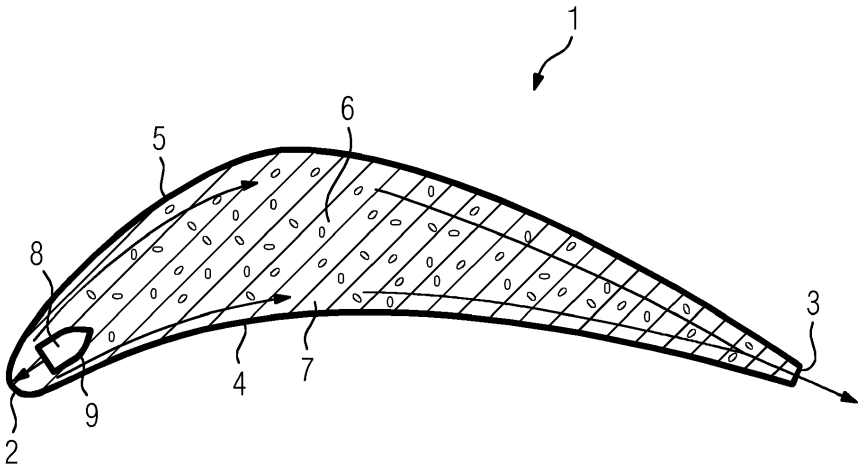
(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

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

(72) Erfinder:
- **Bärow, Stefan**
  12623 Berlin (DE)
- **Dominka, Oliver**
  16515 Oranienburg (DE)
- **Ederer, Guido**
  13593 Berlin (DE)
- **Felsmann, Christian**
  16341 Panketal (DE)
- **Fuchs, Florian**
  12059 Berlin (DE)
- **Herfurth, Robert**
  13088 Berlin (DE)
- **Hernandez Maza, Jose Angel**
  10715 Berlin (DE)
- **Kluck, Michael**
  10551 Berlin (DE)
- **Kohlhoff, Eike**
  12161 Berlin (DE)
- **Krabiell, Kay**
  16562 Hohen Neuendorf (DE)
- **Maiz, Khaled**
  13355 Berlin (DE)
- **Nouri, Behnam**
  10627 Berlin (DE)
- **Willmann, Andre**
  16552 Schildow (DE)

(54) **SCHAUFEL, ZUGEHÖRIGES VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG UND ZUGEHÖRIGE STRÖMUNGSMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Strömungsmaschine mit einem Schaufelblatt (1), wobei im Inneren des Schaufelblattes zumindest ein Hohlraum (6) vorhanden ist, wobei zum Einleiten von Kühlluft in den Hohlraum zumindest ein den Hohlraum zumindest teilweise durchsetzender Kanal (8) vorhanden ist, wobei der Kanal zumindest teilweise von einem porösen Schaum (7) umgeben ist und wobei der Schaum den Hohlraum zumindest teilweise füllend in wärmeleitendem Kontakt zu zumindest einer den Hohlraum begrenzenden Schaufelblattwandung (4, 5) steht. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen der Schaufel sowie eine Strömungsmaschine mit den vorgenannten Schaufeln.



EP 3 222 814 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Strömungsmaschine sowie eine Strömungsmaschine aufweisend die Schaufel und ein Verfahren zur Herstellung der Schaufel.

[0002] Insbesondere befasst sich die Erfindung mit einer Innenkühlung eines hohlen Schaufelblattes.

[0003] Es ist bekannt, Schaufelblätter von Schaufeln für eine Gasturbine im Inneren hohl auszugestalten. Zur Ausbildung einer Prallkühlung wird in den Hohlraum üblicherweise ein Blecheinsatz eingesetzt, der eine Vielzahl von Bohrungen besitzt.

[0004] Durch Einleiten von Kühlluft in den Blecheinsatz wird Kühlluft über die Bohrungen zielgenau auf die Innenwand der Schaufel aufprallend geleitet. Je nach geometrischer Raumform des Schaufelblattes der Schaufel, beispielsweise bei verwundener oder gekrümmter Ausgestaltung der Längsachse des Schaufelblattes, ergeben sich Montierbarkeitsprobleme eines vorgefertigten Blecheinsatzes, der entlang der Längsachse des Schaufelblattes in den Innenraum des Schaufelblattes eingesetzt werden soll.

[0005] Eine weitere Möglichkeit, eine Schaufel für eine Strömungsmaschine im Inneren des Schaufelblattes zu kühlen besteht darin, das Schaufelblatt mit einer Mehrzahl von Kühlkanälen zu durchziehen, die mit einer Kühlluftversorgung in Verbindung stehen, so dass die Kühlkanäle im Betrieb der Strömungsmaschine von Kühlluft durchströmt werden und die Schaufel im Wege eines konvektiven Wärmetransportes kühlen.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Schaufel für eine Strömungsmaschine und eine Strömungsmaschine aufweisend eine Schaufel zu schaffen, bei der eine wirksame Innenkühlung der Schaufel bzw. des Schaufelblattes gewährleistet ist und die Innenkühlung insbesondere bei einer komplexen geometrischen Raumform der Schaufel in einfacher Art und Weise kostengünstig herstellbar ist. Aufgabe der Erfindung ist es zudem ein besonders geeignetes Herstellungsverfahren für eine derartige Schaufel zu schaffen.

[0007] Diese Aufgabe wird mit einer Schaufel mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Strömungsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 9 sowie einem Herstellungsverfahren mit den Merkmalen von Anspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Schaufel sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 8 angegeben.

[0008] Bei einer erfindungsgemäßen Schaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere für eine Gasturbine, ist im Inneren des Schaufelblattes zumindest ein Hohlraum vorhanden, wobei zum Einleiten von Kühlluft in den Hohlraum zumindest ein den Hohlraum zumindest teilweise durchsetzender Kanal vorhanden ist, wobei der Kanal zumindest teilweise von einem porösen Schaum umgeben ist und wobei der Schaum den Hohlraum zumindest teilweise füllend in wärmeleitendem Kontakt zu zumindest einer den Hohlraum begrenzenden Schaufelblattwandung steht.

[0009] Eine erfindungsgemäße Strömungsmaschine weist zumindest eine derartige Schaufel auf.

[0010] Die erfindungsgemäße Schaufel beschreitet den Weg, Wärme mittels einer Kombination aus Wärmeleitung und konvektivem Wärmetransport aus dem Inneren der Schaufel abzutransportieren. In dem Hohlraum des Schaufelblattes ist diesen zumindest teilweise füllend ein poröser Schaum angeordnet. Über den Kanal kann Kühlluft in den Hohlraum, also das Innere der Schaufel, geleitet werden. Der Kanal steht in fluidischem Kontakt mit dem porösen Schaum und ist zumindest teilweise von diesem umgeben. Der Schaum ist zumeist für die Kühlluft durchlässig, also offenporös ausgebildet. Kühlluft, welche durch den Kanal ins Innere der Schaufel gelangt, kann so in den porösen Schaum eindringen und diesen aufgrund seiner Porosität durchströmen. Der Schaum ist in wärmeleitendem Kontakt mit einer den Hohlraum begrenzenden Schaufelwandung und leitet somit von der Schaufelblattwandung Wärme ins Innere des Schaufelblattes, welche auf konvektivem Wege von der Kühlluft aufgenommen und abtransportiert wird. Mit der Erfindung gelingt es, eine besonders einfach herzustellende Innenkühlung einer Schaufel zur Verfügung zu stellen, auch wenn die Schaufel eine komplexe geometrische Raumform besitzt.

[0011] Es ist aber auch möglich, den Schaum zumindest teilweise mit geschlossenen Poren zu versehen. In diesem Fall ist zwar keine Konvektion innerhalb des Schaums möglich. Es ist dennoch eine Wärmeabfuhr möglich, da durch den Schaum eine Wärmeleitung zum Kanal oder zum durchströmten Bereich des Schaums erfolgen kann und von dort die oben beschriebene Wärmeabfuhr durch Konvektion erfolgt.

[0012] Die oben beschriebene Schaufel ist in mehrfacher Hinsicht vorteilhaft. Die große umströmte Fläche des Schaums ermöglicht eine hohe Kühleffektivität. Die homogene Verteilung des Schaums ermöglicht eine gleichmäßige Kühlung. Damit ergibt sich oft eine Überlegenheit gegenüber der weithin verbreiteten und prinzipiell gut geeigneten Prallkühlung.

[0013] Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil ergibt sich dadurch, dass der Schaum wesentlich leichter an eine komplexe Schaufelgeometrie angepasst werden kann. Bei den bisher oft verwendeten Einsätzen, die als fertige Einsätze in die Schaufel eingeführt werden, gibt es ersichtliche Einschränkungen. Dabei muss bedacht werden, dass die Schaufeln wegen der strömungsmechanischen Optimierung oft komplex gekrümmt sind. Hier ergeben sich weitere Freiheiten, wenn nicht darauf geachtet werden muss, dass ein Kühleinsatz in die Schaufel eingeführt werden kann.

[0014] Der Kanal kann dabei in einer bevorzugten Ausführungsform durch einen rohrförmigen Körper gebildet sein, der den Schaum durchsetzt. Der rohrförmige Körper hat bevorzugt eine Vielzahl von Austrittsöffnungen, so dass Kühlluft, welche durch den rohrförmigen Körper in den Hohlraum eingebracht wird, den rohrförmigen Körper einfach verlassen und den Schaum durchströmen

kann.

[0015] Es versteht sich, dass jedenfalls dann, wenn der rohrförmige Körper als ganzer in die Schaufel eingebracht werden soll, die Schaufelgeometrie und die Geometrie des rohrförmigen Körpers gewissen Einschränkungen unterliegen, damit der rohrförmige Körper eingeführt werden kann. Allerdings sind diese Einschränkungen deutlich niedriger als bei einem kompletten Kühleinsatz, so dass es bei der obigen Darstellung, wonach eine komplexere Schaufelgeometrie möglich ist, bleibt.

[0016] Alternativ dazu kann es auch zweckmäßig sein, den Kanal nicht durch ein zusätzliches Bauteil wie den rohrförmigen Körper, sondern durch den Schaum selbst auszubilden. Dies gelingt beispielsweise wenn der Schaum im Inneren der Schaufel selbst einen gegenüber den Porengrößen deutlich vergrößerten Querschnitt in Form eines Kanales frei lässt, welcher in fluidische Kommunikation mit einer Kühlluftzufuhr bringbar ist. Bei einer derartigen Gestaltung bildet der Schaum selbst die Begrenzungswandung des Kanals. Die Kühlluft, die über den Kanal mit dem Schaum in Kontakt kommt, kann in dieser Ausführungsform direkt in die offenen Poren des Schaums eindringen und somit den Schaum durchströmen.

[0017] Hinsichtlich der Porosität des Schaumes kann es zweckmäßig sein, diese Porosität im Hohlraum über diesen Hohlraum hinweg inhomogen zu verteilen. Mit dieser Maßnahme kann örtlich eine Optimierung des Gesamtwärmetransports durch Anpassung beider Wärmetransportarten, nämlich der Wärmeleitung und des Konvektionswärmetransports, erreicht werden. Beispielsweise kann bei einem Schaum mit geringerer Porosität, das heißt höherem Feststoffanteil pro Schaumvolumen, ein stärkerer wärmeleitender Effekt erzielt werden. Bei einem Schaum mit größerer Porosität, das heißt mit geringerem Feststoffanteil pro Schaumvolumen, kann die Durchströmung des Schaumes mit Kühlluft und somit der konvektive Wärmetransport verbessert sein.

[0018] Zum Einbringen der Kühlluft in den Hohlraum des Schaufelblattes kann es zweckmäßig sein, z. B. entlang der Skelettlinie der Schaufel gesehen, den zumindest einen Kanal näher an einer Profilvorderkante als an einer Profilhinterkante des Schaufelblattes anzuordnen. Hierdurch gelingt es, eine Vorzugsrichtung der Kühlluftströmung durch das Profil stärker auszuprägen. Es kann sich eine Strömung innerhalb des Hohlraums von einem Bereich näher an der Profilvorderkante zu einem Bereich hin zur Profilhinterkante ausbilden. Zur Vermeidung von Missverständnissen sei dargelegt, dass unter der Skelettlinie die Verbindungslinie der in das Schaufelprofil einbeschriebenen Kreismittelpunkte verstanden wird.

[0019] Bevorzugt ist es, entlang der Skelettlinie mehrere Kanäle anzuordnen, wobei insbesondere eine Querschnittsfläche eines Kanals in einem Bereich größerer Profildicke des Schaufelblattes größer ist als die Querschnittsfläche eines Kanals in einem Bereich kleinerer Profildicke des Schaufelblattes. Durch mehrere Kanäle gelingt es, einen Gesamtkanalquerschnitt, also die Summe von Einzelkanalquerschnitten, zu vergrößern und somit eine größere Menge an Kühlluft in den Hohlraum des Schaufelblattes verbringen zu können. Außerdem kann diese Maßnahme einen geringeren Materialaufwand, was den notwendigen Schaum angeht, bewirken.

[0020] Zum Ableiten der in den Hohlraum eingebrachten Kühlluft ist es zweckmäßig, im Bereich der Profilhinterkante des Schaufelblattes Kühlluftauslassöffnungen vorzusehen.

[0021] In einer zweckmäßigen Ausführungsform ist der Schaum als Metallschaum ausgebildet. Damit wird eine gute Wärmeleitung erreicht. Metallschäume weisen auch in besonderer Weise die erforderliche Stabilität auf, um den hohen mechanischen Belastungen in einer Turbinenschaufel, vor allem durch die Zentrifugalkraft hervorgerufen, standzuhalten.

[0022] Eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einer vorbeschriebenen Schaufel ist besonders vorteilhaft, da damit eine effiziente Kühlung ermöglicht wird. Dies gestattet hohe Temperaturen des zu entspannenden oder zu verdichtenden Gases und damit hohe Leistungen und Wirkungsgrade.

[0023] Ein geeignetes Verfahren zum Herstellen einer vorgenannten Schaufel ergibt sich, wenn der Schaum durch ein Druckgussverfahren in den Hohlraum des Schaufelblattes eingebracht wird. Mit einem solchen Druckgussverfahren ist es besonders einfach, Kanäle beispielsweise durch Vorsehen von Kernen auszubilden oder durch Einführen von rohrförmigen Kanälen in den Hohlraum bevor dieser mittels Druckguss ausgegossen wird.

[0024] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Figur näher erläutert.

[0025] Dabei zeigt Figur 1 ein Schaufelblatt 1, bei der der Hohlraum mit Schaum gefüllt ist. Zu erkennen ist eine Profilvorderkante 2 und die Profilhinterkante 3. Diese wird auf der einen Seite durch eine konkave Wand 4 und auf der anderen Seite durch eine konvexe Wand 5 verbunden. Von den Wänden 4 und 5 wird ein Hohlraum 6 umschlossen. Der Hohlraum 6 ist mit Metallschaum 7 weitgehend gefüllt, wie durch die Schraffur dargestellt ist. Vom Metallschaum 7 frei ist der Kanal 8, der sich in der Nähe der Profilvorderkante 2 befindet. Der Kanal 8 wird durch einen Rohreinsatz 9 gebildet, der in den Hohlraum 6 eingeführt werden kann.

[0026] Zur Herstellung muss der Rohreinsatz 9 freilich eine Form haben, die es erlaubt, den Rohreinsatz 9 tatsächlich in den Hohlraum 6 einzuschieben. Nachdem der Rohreinsatz 9 in den Hohlraum 6 eingeschoben ist, wird durch ein Druckgussverfahren der übrige Hohlraum 6 mit Metallschaum 7 ausgefüllt. Damit ergibt sich auf einfache Weise das oben geschilderte Schaufelblatt 1, dessen Hohlraum 6 mit Metallschaum 7 gefüllt ist, wobei der Kanal 8 frei bleibt, so dass Kühlluft dort ungehindert strömen kann.

[0027] Der Rohreinsatz 9 weist eine Vielzahl von Öffnungen auf. Damit kann die durch den Kanal strömende Kühlluft in den Metallschaum 7 strömen. Da ein offenpo-

röser Metallschaum gewählt ist, kann die Kühlluft auch durch den Metallschaum 7 strömen, freilich nicht so ungehindert wie im Kanal 7. Im Bereich der Profilhinterkante 3 sind nicht dargestellte Öffnungen vorhanden, an denen die Kühlluft austreten kann. Die Pfeile zeigen die sich ausbildende Strömung an.

[0028] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Schaufel für eine Strömungsmaschine mit einem Schaufelblatt (1),
   wobei im Inneren des Schaufelblattes (1) zumindest ein Hohlraum (6) vorhanden ist, wobei zum Einleiten von Kühlluft in den Hohlraum (6) zumindest ein den Hohlraum (6) zumindest teilweise durchsetzender Kanal (8) vorhanden ist, wobei der Kanal (8) zumindest teilweise von einem porösen Schaum (7) umgeben ist und wobei der Schaum (7) den Hohlraum (6) zumindest teilweise füllend in wärmeleitendem Kontakt zu zumindest einer den Hohlraum (6) begrenzenden Schaufelblattwandung (4, 5) steht.

2. Schaufel nach Anspruch 1,
   wobei der Kanal (8) durch einen rohrförmigen Körper (9) gebildet ist, der den Schaum (7) durchsetzt.

3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2,
   wobei der Kanal (8) durch den Schaum (7) selbst gebildet ist.

4. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   wobei die Porosität des Schaumes (7) im Hohlraum (6) inhomogen verteilt ist.

5. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   wobei entlang der Skelettlinie der Schaufel (1) gesehen der zumindest eine Kanal (8) näher an einer Profilvorderkante (2) als an einer Profilhinterkante (3) des Schaufelblattes (1) angeordnet ist.

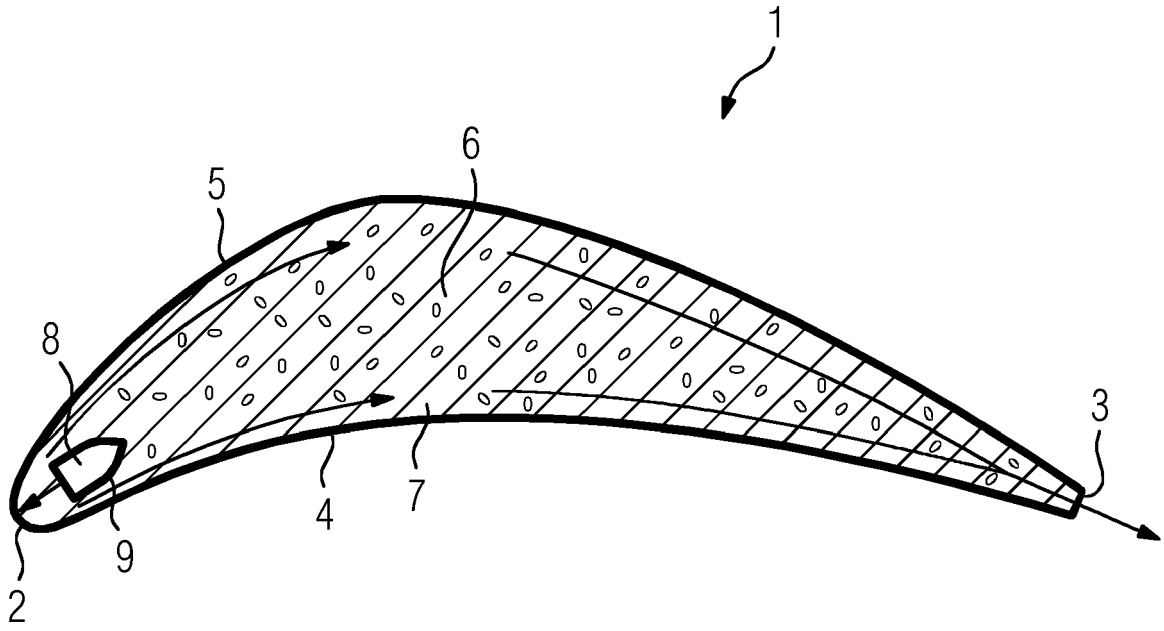
6. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   wobei entlang der Skelettlinie mehrere Kanäle (8) vorhanden sind, wobei insbesondere eine Querschnittsfläche eines Kanals (8) in einem Bereich größerer Profildicke größer ist als die Querschnittsfläche eines Kanals (8) in einem Bereich kleinerer Profildicke.

7. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   wobei im Bereich einer Profilhinterkante (3) des Schaufelblattes (1) Kühlluftauslassöffnungen vorhanden sind.

8. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
   wobei der Schaum (7) ein Metallschaum ist.

9. Strömungsmaschine,
   aufweisend zumindest eine Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

10. Verfahren zum Herstellen einer Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
    bei dem der Schaum (7) durch ein Druckgussverfahren in den Hohlraum (6) des Schaufelblattes (1) eingebracht ist.


1
6
5
8
3
4
7
9
2

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 16 2232

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2005/056220 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 23. Juni 2005 (2005-06-23) * Seite 7, Absatz 3; Abbildungen 5,6 * * Seite 8, Absatz 3 * -----	1,2,4-6, 8-10	INV. F01D5/14 F01D5/18 F01D9/06
X	WO 2011/019661 A1 (KUSH MATTHEW T [US] ET AL) 17. Februar 2011 (2011-02-17) * Seite 5, Absatz 2; Abbildungen 6,7 * * Seite 13, Absatz 2 - Seite 15, Absatz 1 * -----	1-6,8-10	
X	EP 1 186 748 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13. März 2002 (2002-03-13) * Absätze [0026], [0028]; Abbildung 4 * -----	1-3,5,6, 8-10	
X	US 2015/322800 A1 (CROSATTI LORENZO [US] ET AL) 12. November 2015 (2015-11-12) * Absätze [0018] - [0022]; Abbildung 3 * -----	1,2,5, 7-10	
X	EP 2 581 557 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17. April 2013 (2013-04-17) * Absätze [0018] - [0020]; Abbildungen 4,5 * -----	1-3,8-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D
X	EP 1 475 567 A1 (SIEMENS AG [DE]) 10. November 2004 (2004-11-10) * Absätze [0019], [0021], [0025], [0031]; Abbildung 2 * -----	1,2,5-10	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	16. August 2016	Ketelheun, Anja

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 Patentdokument, 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

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 16 16 2232

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.

16-08-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2005056220 A1	23-06-2005	DE 10357656 A1	07-07-2005
		EP 1691946 A1	23-08-2006
		US 2007122606 A1	31-05-2007
		WO 2005056220 A1	23-06-2005
WO 2011019661 A1	17-02-2011	EP 2461923 A1	13-06-2012
		US 2011048664 A1	03-03-2011
		WO 2011019661 A1	17-02-2011
EP 1186748 A1	13-03-2002	CN 1449470 A	15-10-2003
		EP 1186748 A1	13-03-2002
		EP 1322838 A1	02-07-2003
		EP 1707745 A2	04-10-2006
		JP 4499351 B2	07-07-2010
		JP 2004508478 A	18-03-2004
		US 2003185685 A1	02-10-2003
		WO 0220948 A1	14-03-2002
US 2015322800 A1	12-11-2015	KEINE	
EP 2581557 A2	17-04-2013	CN 103046973 A	17-04-2013
		EP 2581557 A2	17-04-2013
		US 2013094971 A1	18-04-2013
EP 1475567 A1	10-11-2004	KEINE	

EPO FORM P0461

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