



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
01.08.2012 Patentblatt 2012/31

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) F01D 17/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11152916.0**

(22) Anmeldetag: **01.02.2011**

(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)

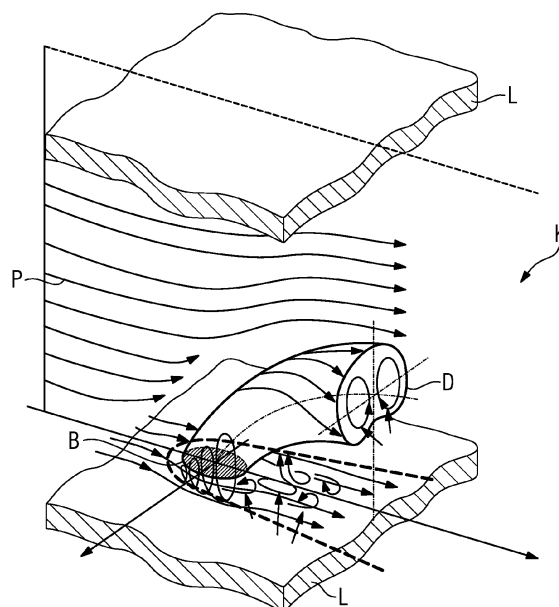
(72) Erfinder:
• **Auf dem Kampe, Tilman**
48268, Greven (DE)
• **Beul, Ulrich**
45219, Essen (DE)

- **Dobrzynski, Boris**
40476, Düsseldorf (DE)
- **Hoffacker, Ralf**
47800, Krefeld (DE)
- **Koebe, Mario**
45478, Mülheim an der Ruhr (DE)
- **Minninger, Dieter**
46535, Dinslaken (DE)
- **Sieber, Uwe**
45476, Mülheim an der Ruhr (DE)
- **Stiehm, Andreas**
53424, Remagen-Kripp (DE)
- **Völker, Stefan**
47447, Moers (DE)
- **Zimmermann, Adam**
45476, Mülheim a.d. Ruhr (DE)

(54) **Leitschaufelreihe sowie Verfahren zur Feinjustage der Schluckfähigkeit einer solchen Leitschaufelreihe**

(57) Die Erfindung betrifft eine Leitschaufelreihe für eine Dampfturbine, mit einer Anzahl über den Umfang gleichmäßig verteilter Leitschaufeln (L) zwischen denen jeweils Schaufelkanäle (K) ausgebildet sind, wobei zumindest eine der Leitschaufeln (L) zumindest eine Durchführung (B) zum Eindüsen von Dampf aus dem Inneren der Leitschaufel (L) heraus in die Schaufelkanäle (K) aufweist. Zur Feinjustage der Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe wird ein Ist-Wert und ein Soll-Wert der Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe ermittelt und dann Dampf aus zumindest einer Leitschaufel der Leitschaufelreihe in Schaufelkanäle zwischen den Leitschaufeln eingedüst, wenn der Ist-Wert größer als der Soll-Wert ist.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Leitschaufelreihe für eine Dampfturbine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, sowie ein Verfahren zur Feinjustage der Schluckfähigkeit einer solchen Leitschaufelreihe.

[0002] Um einen wirtschaftlichen Betrieb einer Dampfturbine zu erzielen, ist es von Bedeutung, dass der geforderte Prozessdampfmassenstrom eines Dampferzeugers, beispielsweise eines Kernkraftwerks, die Dampfturbine passieren kann. Entscheidend dabei ist die Schluckfähigkeit der Turbine. Generell ist die Schluckfähigkeit definiert als ein Massenstrom, der bei gegebenem Druck vor und hinter einer Beschaukelung durch diese strömen kann, was im Prinzip der Dampfkegelgleichung entspricht. In diese geht auch die Dichte, sprich die Temperatur des Dampfes ein.

[0003] Von besonderer Bedeutung ist diese Schluckfähigkeit der Beschaukelung in Kernkraftwerken, da hier der Frischdampfdruck direkt die Leistung des Dampferzeugers beeinflusst. Leitschaufelreihen weisen dabei eine Vielzahl an Leitschaufeln auf, die gleichmäßig über den Umfang verteilt angeordnet sind, wobei zwischen den Leitschaufeln Schaufelkanäle ausgebildet sind. Radial sind die Schaufelkanäle nabenseitig begrenzt von einem Nabekonturring und gehäuseseitig von einem Gehäusekonturring. Die Schluckfähigkeit der Dampfturbine wird maßgeblich durch die Schluckfähigkeit des ersten Leitschaufelreihe vorgegeben, so dass bei der Auslegung der Dampfturbine dieser Leitschaufelreihe von besonderer Bedeutung ist. Die Schluckfähigkeit dieser ersten Leitschaufelreihe, die auch als Leitschaufelkranz bezeichnet wird, wird dabei im Wesentlichen durch dessen Strömungsquerschnitt bestimmt, der die Gesamtheit aller effektiven Querschnitte der Schaufelkanäle umfasst.

[0004] Die Leitschaufelreihen, und insbesondere der Leitschaufelkranz bei Kernkraftwerken, unterliegen bei ihrer Herstellung Bautoleranzen von herkömmlich etwa $\pm 2\%$. In der Folge weichen auch der Strömungsquerschnitt und somit die real vorliegende Schluckfähigkeit von der ursprünglich bei der Auslegung der Dampfturbine zugrunde gelegten Größe ab. Fällt die Schluckfähigkeit der Dampfturbine aus reaktortechnischer Sicht zu groß aus, muss bei konstanter Turbinendrehzahl und konstantem Frischdampfdruck das Frischdampfventil der Dampfturbine entsprechend angedrosselt werden um vor der Dampfturbine den Frischdampfdruck zu halten. Das Androsseln führt dann zu einem zusätzlichen Dampfdruckabfall über das Frischdampfventil. Ist die Dampfturbine beispielsweise in einem Kernkraftwerk eingesetzt, so kann es zu einem Abfall der Generatorleistung von bis zu 5 Megawatt kommen. Fällt hingegen die Schluckfähigkeit der Dampfturbine zu klein aus, muss der Prozessdampfmassenstrom entsprechend verringert werden, wodurch sich die Generatorleistung noch weiter absenkt. Um dieses ungünstige Szenario zu vermeiden, sind die Leitschaufeln der Dampfturbine in der

Regel um ca. 2% zu groß ausgelegt. Während es aber bei einer Leitschaufelreihe mit zu kleinen Strömungsquerschnitten in gewissen Grenzen die Möglichkeit gibt die Schluckfähigkeit durch eine Nachbearbeitung zu erhöhen, ist eine solche Nachbearbeitung bei einer Leitschaufelreihe bzw. einem Leitschaufelkranz mit zu kleinen Leitschaufeln und damit zu großen Strömungsquerschnitten nicht möglich.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Leitschaufelreihe für eine Dampfturbine und ein Verfahren zur Feinjustage der Schluckfähigkeit einer solchen Leitschaufelreihe anzugeben, mit dem die zuvor genannten Nachteile überwunden werden.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Leitschaufelreihe für eine Dampfturbine gemäß Anspruch 1 gelöst. Ferner wird die Aufgabe mit einem Verfahren zur Feinjustage der Schluckfähigkeit einer Leitschaufelreihe gemäß Anspruch 6 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0007] Dadurch, dass der über zumindest eine Durchführung aus zumindest einer Leitschaufel einer Leitschaufelreihe austretende Dampf in die zwischen den Leitschaufeln befindlichen Schaufelkanäle eingedüst wird, wird der durch diese Schaufelkanäle strömenden Prozessdampfmassenstrom behindert. Folglich wird der dem Prozessdampfmassenstrom zur Verfügung stehende effektive Strömungsquerschnitt der Schaufelkanäle eingengt und somit letztendlich eine Reduzierung der Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe und damit der Dampfturbine erreicht. Für den Prozessdampf wirkt der eingedüste Dampf dabei wie eine weitere Drosselung seines Massedurchflusses durch die Dampfturbine. Durch eine entsprechende Eindüsung können nun auch zu klein geratene Leitschaufeln und damit Leitschaufelreihen mit zu großen Strömungsquerschnitten nachjustiert werden und müssen nicht ausgetauscht werden. Dies funktioniert besonders einfach, wenn der Dampf im Innern einer Leitschaufel einen Druck aufweist, der über dem in den Schaufelkanälen vorliegenden Prozessdampfdruck (Sattampfdruck bei Kernkraftwerken bzw. überhitzter Dampf bei fossilen Kraftwerken) liegt.

[0008] Eine solche Justage bzw. Feinjustage wird vorzugsweise einmalig bei der Inbetriebnahme der Dampfturbine erfolgen, indem der Ist- und Soll-Wert der Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe verglichen wird und der Druck des eingedüsten Dampfes so geregelt wird, dass der Ist-Wert innerhalb eines zulässigen Toleranzbandes des Soll-Werts zum Liegen kommt. Die Regelung der Schluckfähigkeit kann aber auch je nach Bedarf, z.B. während des späteren Betriebs der Dampfturbine bei einem Lastwechsel, wiederholt werden. Somit kann die Schluckfähigkeit auch dynamisch während des Betriebs sowohl verringert als auch erhöht und so auf aktuelle Betriebsbedingungen angepasst werden. Insgesamt wird dadurch, dass der im Innern der zumindest einen Leitschaufel vorliegende Druck regelbar ist eine Möglichkeit geschaffen, die Schluckfähigkeit der Dampf-

turbine variabel und schnell an aktuelle Betriebsbedingungen anzupassen.

[0009] Vorteilhafterweise wird der Dampf über die Schaufelseiten der Leitschaufeln so in die Schaufelkanäle eingedüst, dass eine nahezu gleichmäßige Grenzschicht auf den Oberflächen der Schaufelseiten entsteht. Dadurch wird eine ähnliche Wirkung erreicht, wie im Falle dass die Leitschaufeln durch größere Leitschaufeln ausgetauscht werden müssten. Zumindest eine der Durchführungen ist dabei so angeordnet, dass ein entsprechend verändertes Strömungsprofil zwischen den Leitschaufeln erzielt wird. Eine homogenere Grenzschicht lässt sich erreichen, wenn mehrere Dampfdurchführungen nebeneinander über die Höhe der Leitschaufel und/oder über deren Profillumfang verteilt angeordnet sind.

[0010] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Leitschaufelkranz als erste Leitschaufelreihe der Dampfturbine erfindungsgemäß ausgebildet ist, da dieser gerade bei Kernkraftwerken die Schluckfähigkeit der Dampfturbine maßgeblich bestimmt. Weitere Eindüsungen aus zumindest einer der Leitschaufeln aus mehreren, beispielsweise dem Leitschaufelkranz nachfolgende, Leitschaufelreihen verbessern das erfindungsgemäße Verfahren weiter.

[0011] Besonders einfach lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren dann realisieren, wenn der eingedüste Dampfstromaufwärts vor der jeweiligen anzupassenden Leitschaufelreihe, insbesondere vor einem Frischdampfventil für die erste Leitschaufelreihe abgegriffen wird, da hier immer Dampf mit einem höherem Druckniveau als an der anzupassenden Leitschaufelreihe selbst vorliegt.

[0012] Die Erfindung soll nun anhand der nachfolgenden Figuren beispielhaft erläutert werden. Es zeigen:

FIG 1 schematisch das Wirkprinzip der Erfindung,
FIG 2-4 schematisch Beispiele erfindungsgemäß ausgebildeter Leitschaufeln.

[0013] Anhand der Darstellung in FIG 1 ist deutlich erkennbar, wie ein durch eine Durchführung B der Leitschaufel L in einen Strömungskanal K eingedüstes Medium D, ein durch diesen Strömungskanal K hindurchströmendes Prozessmedium P behindert und damit dessen zur Verfügung stehenden effektiven Strömungsquerschnitt verringert. Diese Drosselwirkung ist hier eindimensional zwischen zwei Leitschaufeln L mit Hilfe der Pfeile für das Prozessmedium P dargestellt.

[0014] Im Falle einer Dampfturbine werden solche Strömungskanäle K bestimmt durch eine Vielzahl von Schaufelkanälen, welche sich durch Freiräume zwischen den in Umfangsrichtung einer Leitschaufelreihe benachbart angeordneter Leitschaufeln L ausbilden. Der Querschnitt über alle Schaufelkanäle bildet dann den effektiv für einen Prozessdampfmassenstrom P als Prozessmedium zur Verfügung stehenden Strömungsquerschnitt. Ein unter Druck aus der Leitschaufel L heraus in einen Schaufelkanal K eingedüster Dampf D behindert diesen

Prozessdampfmassenstrom P und wirkt damit quasi wie eine Einengung des ihm effektiv zur Verfügung stehenden Strömungsquerschnitts, was zu einer Verringerung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine führt. Durch eine entsprechende Eindüsung von Dampf D über entsprechende Durchführungen B aus den Leitschaufeln L in Schaufelkanäle K kann so die Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe und damit der Dampfturbine innerhalb bestimmter Grenzen feinjustiert werden, ohne dass mechanische Veränderungen an der Leitschaufelreihe selbst vorgenommen werden müssen.

[0015] Verschiedene beispielhafte Ausgestaltungen erfindungsgemäß ausgebildeter Leitschaufeln L sind in FIG 2 bis 4 schematisch dargestellt. Hier zu sehen sind zum einen zwei Schnitte durch Leitschaufeln (FIG 2 und 3) sowie eine Draufsicht auf das Profil einer Leitschaufel (FIG 4). Als Durchführungen B kommen dabei jede Art von Öffnungen in der Leitschaufelwand in Frage, die es erlauben Dampf D aus dem Inneren der Leitschaufeln heraus an die Oberfläche der Leitschaufel ausströmen zu lassen. Das können einfache Bohrungen sein, oder auch längliche Ausnehmungen wie in FIG 4 in der Draufsicht gezeigt. Erfindungsgemäß genügt es, wenn eine Leitschaufel L zumindest eine einzige Durchführung B aufweist, welche beispielsweise im Bereich der Vorderkante der Saugseite der Leitschaufel angeordnet ist. Zur gleichmäßigeren Verteilung des aus dem Inneren der Leitschaufel heraus strömenden Dampfes kann die Durchführung über die Höhe der Leitschaufel L länglich ausgedehnt als eine einzige Durchführung ausgebildet sein, oder so wie in der Draufsicht in FIG 4 dargestellt aus mehreren über die Höhe der Leitschaufel in einer Reihe liegenden einzelnen Durchführungen B bestehen. Um eine noch gleichmäßigere Verteilung zu erreichen, kann es zudem vorteilhaft sein, dass wie im Schnittbild und der Draufsicht der FIG 3 und 4 dargestellt, mehrere über das Profil der Leitschaufel L verteilte Reihen mit Durchführungen B vorgesehen sind, wobei auch hier die Reihen vorzugsweise im Bereich der Vorderkante der Saugseite angeordnet sind.

Patentansprüche

1. Leitschaufelreihe für eine Dampfturbine, mit einer Anzahl über den Umfang gleichmäßig verteilter Leitschaufeln (L) zwischen denen jeweils Schaufelkanäle (K) ausgebildet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Leitschaufeln (L) zumindest eine Durchführung (B) zum Eindüsen von Dampf aus dem Inneren der Leitschaufel (L) heraus in die Schaufelkanäle aufweist.
2. Leitschaufelreihe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampf im Inneren der zumindest einen Leitschaufel einen Druck aufweist, der über dem in den Schaufelkanälen vorliegenden Prozessdampfdruck liegt.

3. Leitschaufelreihe nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass der im Innern der
zumindest einen Leitschaufel vorliegende Druck regelbar ist.
4. Leitschaufelreihe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine
Schaufelseite der zumindest einen Leitschaufel
mehrere Durchführungen aufweist, die nebeneinander über die Höhe der Leitschaufel und/oder über
den Profilumfang der Leitschaufel verteilt angeordnet sind.
5. Leitschaufelreihe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufelreihe die erste Leitschaufelreihe der Dampfturbine bildet.
6. Verfahren zur Feinjustage der Schluckfähigkeit einer
Leitschaufelreihe einer Dampfturbine mit den Schritten:
- Ermitteln eines Ist-Werts und eines Soll-Werts
der Schluckfähigkeit der Leitschaufelreihe,
 - Eindüsen von Dampf aus zumindest einer Leitschaufel der Leitschaufelreihe in Schaufelkanäle zwischen den Leitschaufeln, wenn der Ist-Wert größer als der Soll-Wert ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf aus zumindest einer der Leitschaufeln der ersten Leitschaufelreihe heraus eingedüst wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf aus zumindest einer Leitschaufel aus mehreren Leitschaufelreihen heraus eingedüst wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der eingedüste Dampf von einem höheren Druckniveau der Dampfturbine abgegriffen wird und das Druckniveau den Druck des eingedüsten Dampfes bestimmt.
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass der eingedüste Dampf stromaufwärts vor der jeweiligen Leitschaufelreihe abgegriffen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck des eingedüsten Dampfes so geregelt wird, dass der Ist-Wert innerhalb eines zulässigen Toleranzbandes des Soll-Werts zum Liegen kommt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampf über zu
- mindest eine Schaufelseite der zumindest einen Leitschaufel so in die Schaufelkanäle eingedüst wird, dass eine nahezu gleichmäßige Grenzschicht auf der Oberfläche der Schaufelseite entsteht.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ermittlung des Ist- und Soll-Wertes und die Regelung des eingedüsten Dampfes bei der Inbetriebnahme der Dampfturbine erfolgt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ermittlung des Ist- und Sollwertes und die Regelung des eingedüsten Dampfes bei einem Lastwechsel der Dampfturbine erfolgt.

FIG 1

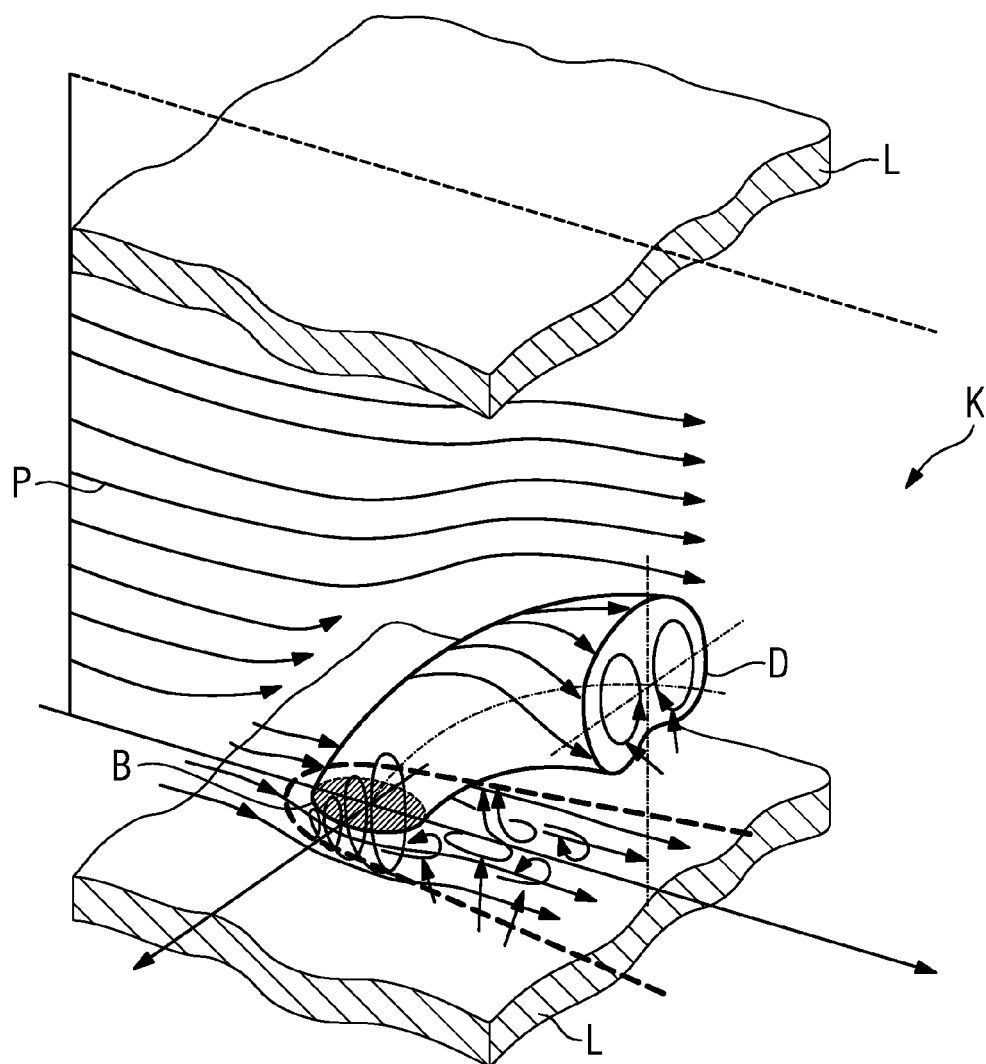


FIG 2

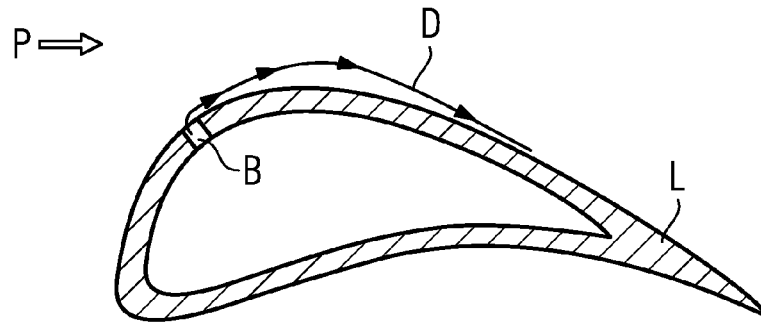


FIG 3

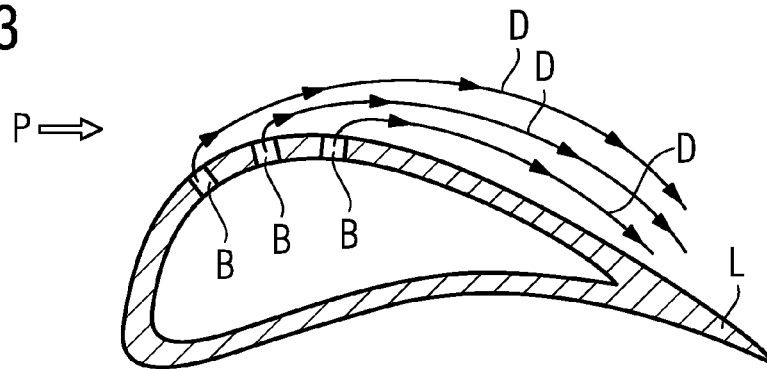
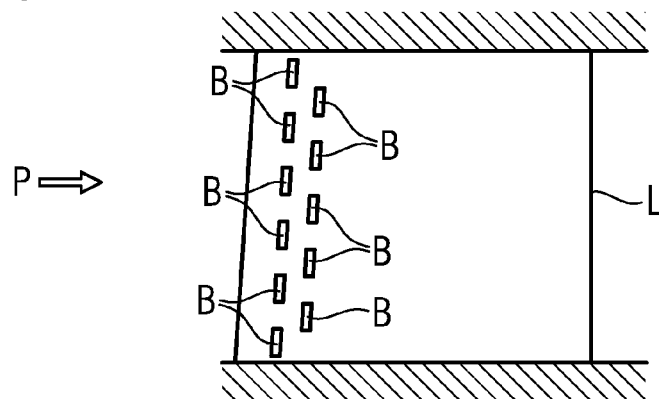


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 11 15 2916

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 976 186 C (SNECMA) 18. April 1963 (1963-04-18) * das ganze Dokument *	1-14	INV. F01D5/14 F01D17/14
X	FR 1 519 899 A (CREUSOT FORGES ATELIERS; RATEAU SOC) 5. April 1968 (1968-04-05) * Seite 1, linke Spalte - Seite 2; Abbildungen *	1-4	
A		9,10	
X	US 2007/274824 A1 (BURDGICK STEVEN SEBASTIAN [US] ET AL) 29. November 2007 (2007-11-29) * Absatz [0028] - Absatz [0029] * * Absatz [0033] - Absatz [0034] * * Abbildungen *	1-4	
A	EP 2 072 756 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 24. Juni 2009 (2009-06-24) * Absatz [0011] - Absatz [0017] * * Zusammenfassung; Abbildungen *	1-14	
A	WO 2008/065447 A1 (PARSONS BRINCKERHOFF LTD [GB]; WILLSON PAUL MICHAEL [GB]) 5. Juni 2008 (2008-06-05) * Seite 1 * * Seite 9 - Seite 11 * * Seite 13 - Seite 14 * * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,6,13, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 21. Juni 2011	Prüfer O'Shea, Gearóid
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	

 1
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 11 15 2916

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.

21-06-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 976186	C	18-04-1963	KEINE
FR 1519899	A	05-04-1968	KEINE
US 2007274824	A1	29-11-2007	CN 101078355 A 28-11-2007 JP 2007315385 A 06-12-2007 KR 20070113132 A 28-11-2007
EP 2072756	A2	24-06-2009	US 2009162189 A1 25-06-2009
WO 2008065447	A1	05-06-2008	AT 471436 T 15-07-2010 EP 2087209 A1 12-08-2009 US 2009067981 A1 12-03-2009

EPO FORM P0461

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