

(19)



(11)

EP 2 623 793 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.08.2013 Patentblatt 2013/32

(51) Int Cl.:
F04D 29/18 (2006.01) **F04D 29/24** (2006.01)
F04D 29/30 (2006.01) **F04D 29/32** (2006.01)
F04D 29/44 (2006.01) **F04D 29/46** (2006.01)
F04D 29/54 (2006.01) **F04D 29/66** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12153623.9**

(22) Anmeldetag: **02.02.2012**

(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: **MTU Aero Engines GmbH**
80995 München (DE)

(72) Erfinder: **Wunderer, Roland, Dr.**
85716 Unterschleißheim (DE)

(54) **Schaufelgitter und Strömungsmaschine**

(57) Offenbart sind ein Schaufelgitter (1) für eine Strömungsmaschine mit einer Vielzahl von in Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Schaufeln (2), wobei zumindest zwei Schaufeln (2,2') im hinteren Be-

reich eine Variation zur Erzeugung einer asymmetrischen Abströmung aufweisen, sowie eine Strömungsmaschine, mit einem asymmetrischen Schaufelgitter (1), das einem weiteren Schaufelgitter vorgeschaltet ist.

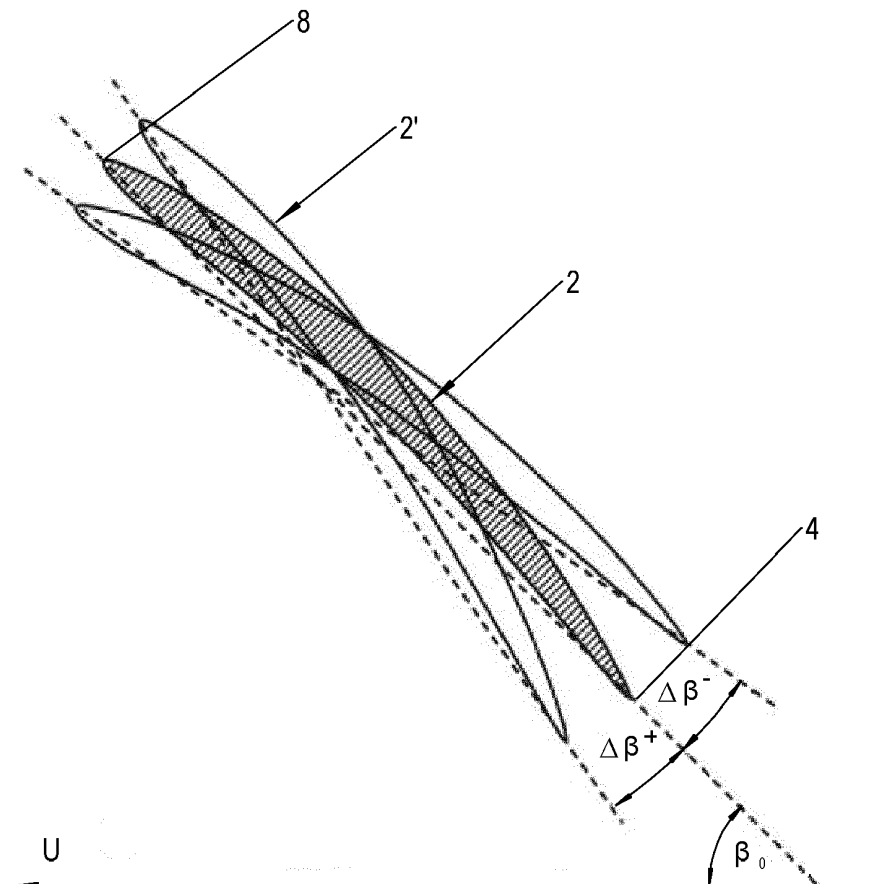


Fig. 2

EP 2 623 793 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Strömungsmaschine.

[0002] In Strömungsmaschinen bzw. Turbomaschinen, insbesondere in Verdichtern und hydraulischen Pumpen, aber auch in Turbinen, kommt es im Teil- und Überlastbetrieb zu instabilen Strömungszuständen und zu stark erhöhten Verlusten. Die instabilen Strömungszustände führen zum Einen zu starken Druckschwankungen, die die Schaufelstrukturen schädigen können. Zum Anderen kann in Verdichtern und hydraulischen Pumpen im angedrosselten Zustand die Strömung vollständig zusammenbrechen. Dies begrenzt den Betriebsbereich der Turbomaschine und kann beim Überschreiten der zulässigen Grenzen zur Schädigung der Turbomaschine führen.

[0003] Maßgeblich für den instabilen Strömungszustand ist die Ablösung der Strömung von den einzelnen Schaufeln im Gitterverbund. Zur Unterdrückung der Ablösung kann eine zeitlich veränderte Zuströmung zu den Schaufeln führen. Bei einer bekannten Maßnahme schwingt die von Ablösung betroffene Schaufel um eine Aufhängungsachse. Bei einer anderen Maßnahme befinden sich schwingende Schaufeln in der Zuströmung der von Ablösung betroffenen Schaufeln, wodurch eine harmonische, oszillierende Zuströmung zu den Schaufeln erzeugt wird. Ein Beispiel ist eine schwingende Vorleitbeschaufelung. Eine weitere Maßnahme sieht vor, durch über den Umfang verteilte Einblasstellen Fluid, das einen von der Hauptströmung abweichenden Strömungswinkel und/oder Strömungsimpuls aufweist, einzubringen und dadurch lokal die Zuströmung der von Ablösung betroffenen Schaufeln zu ändern. Nachteilig an diesen aktiven Maßnahmen ist jedoch, dass zum einen für die Strömungsbeeinflussung Energie aufgebracht werden muss, die dem Gesamtprozess zu entnehmen ist, wodurch sich der Gesamtwirkungsgrad reduziert. Zum anderen sind zur Umsetzung dieser Maßnahmen aufwendige konstruktive und regelungstechnische Änderungen notwendig, die zu einem erhöhten Entwicklungsaufwand, einer erhöhten Störanfälligkeit und zu einem erhöhten Maschinengewicht führen.

[0004] Ferner sind passive Maßnahmen bekannt, bei denen die Schaufeln eines Schaufelgitters unterschiedlich profiliert und/oder im Schaufelgitter asymmetrisch angeordnet sind. So wird in der DE 10 2008 049 358 A1 vorgeschlagen, Schaufeln eines Verdichtereintrittsgitters derart zu profilieren, dass bei einer asymmetrischen Zuströmung eine symmetrische Abströmung vom Schaufelgitter erfolgt. Hierzu weisen die Schaufeln jeweils einen geänderten vorderen Schaufelbereich auf. In der GB 2 046 849 B1 wird eine Leitschaufelanordnung mit einer asymmetrischen Anordnung von Leitschaufeln gezeigt, deren Hinterkanten in auf einer in Umfangsrichtung betrachteten Linie und somit in identischer axialer Position liegen. Die EP 1 508 669 A1 zeigt eine Maßnah-

me, bei der Schaufeln eines Vorleitgitters zur Berücksichtigung einer asymmetrischen Anströmung eines Vorleitschaufelrings unterschiedlich profiliert sind.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine zu schaffen, das die vorgenannten Nachteile beseitigt und den Betriebsbereich von Strömungsmaschinen gegenüber den bekannten Maßnahmen vergrößert. Des Weiteren ist es Aufgabe der Erfindung, eine Strömungsmaschine mit einem vergrößerten Betriebsbereich zu schaffen.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Schaufelgitter mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch eine Strömungsmaschine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8.

[0007] Ein erfindungsgemäßes Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine hat eine Vielzahl von in Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Schaufeln, von denen erfindungsgemäß zumindest zwei benachbarte Schaufeln unterschiedliche Hinterkantenwinkel aufweisen.

[0008] Durch die zumindest zwei unterschiedlichen Hinterkantenwinkel ist das Schaufelgitter in Umfangsrichtung asymmetrisch, wobei durch die Variation im hinteren Schaufelbereich eine asymmetrische Abströmung erfolgt und hierdurch eine in Umfangsrichtung bezüglich eines Strömungswinkels und Strömungsimpulses asymmetrische Zuströmung auf ein stromabwärtiges von Ablösung betroffenes Schaufelgitter erzeugt wird. In Strömungsrichtung betrachtet wird dadurch das Ablöseverhalten im Schaufelgitter, welches auf das asymmetrische Schaufelgitter folgt, unterdrückt. Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht den Betriebsbereich, in denen eine Strömungsmaschine betrieben werden kann, zu erweitern und dadurch auch in Teil- und Überlast einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Ferner werden durch das erfindungsgemäße asymmetrische Schaufelgitter die Strömungsverluste reduziert und somit der Wirkungsgrad erhöht. Die Integration des Schaufelgitters in eine Strömungsmaschine kann ohne zusätzliche Einbauten und mit geringen konstruktiven Maßnahmen erfolgen. Dies ermöglicht die Verwendung des Schaufelgitters in bereits ausgelegten Strömungsmaschinen, ohne dass eine Neuauslegung der Strömungsmaschinen notwendig ist. Die erfindungsgemäße asymmetrische Anordnung kann in Verdichtern beziehungsweise hydraulischen Pumpen und in Turbinen Anwendung finden, sowohl bei Maschinen, die von einem gasförmigen als auch von einem flüssigen Medium durchströmt werden. Das Schaufelgitter kann zudem in axialer Bauart, in radialer Bauart oder in einer gemischten diagonalen Bauart ausgeführt sein.

[0009] Bei einem Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln in Umfangsrichtung bezüglich ihrer vorangestellten Schaufel über ihre gesamte Höhe unterschiedlich gestaffelt, so dass die Schaufeln ebenfalls unterschiedliche Vorderkantenwinkel aufweisen. Der Vorderkantenwinkel ist dabei jeweils um den gleichen Betrag wie der Hinterkantenwinkel verändert. Dieses Ausführungsbeispiel er-

laubt die Verwendung von einheitlichen bzw. identischen Schaufeln.

[0010] Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln in Umfangsrichtung bezüglich ihrer vorangestellten Schaufel über einen Teil ihrer Höhe unterschiedlich gestaffelt. Bei diesem Ausführungsbeispiel haben die Schaufeln jeweils zumindest zwei in Schaufelquerrichtung betrachtet hintereinander liegende Profilbereiche, die zueinander verdreht sind. Die Schaufeln haben somit zumindest jeweils zwei unterschiedliche Schaufelwinkelanteile. Ein Schaufelwinkelanteil des nicht umgestaffelten Bereichs ist dabei bei sämtlichen Schaufeln gleich. Ein Schaufelwinkelanteil des umgestaffelten Bereichs variiert zwischen den Schaufeln und kann zu- oder abnehmen, wodurch die Schaufeln in diesem Bereich jeweils einen veränderten Hinterkantenwinkel und einen um den gleichen Betrag veränderten Vorderkantenwinkel aufweisen.

[0011] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln in Umfangsrichtung bezüglich ihrer vorangestellten Schaufel über ihrer gesamten Höhe unterschiedlich profiliert. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln bzgl. ihrer Vorderkanten gleich gestaffelt und weisen somit gleiche Vorderkantenwinkel auf. Allerdings variieren die Hinterkantenwinkel der Schaufeln. Beispielsweise haben die Schaufeln ab einer bestimmten gleichen Sehnenlänge unterschiedlich gekrümmte Hinterkantenbereiche.

[0012] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln in Umfangsrichtung bezüglich ihrer vorangestellten Schaufel lediglich über einen Teil ihrer Höhe unterschiedlich profiliert. Dies kann beispielsweise eine lokale Verformung eines in Schaufelquerrichtung betrachtet äußeren Bereich der Hinterkante sein, dessen Orientierung in Umfangsrichtung über mehrere Schaufeln von bspw. einer Orientierung in Rotationsrichtung in eine Gegenrichtung geändert wird.

[0013] Ergänzend zu den vorhergehenden Ausführungsbeispielen kann das Schaufelgitter mit einer Verstelleinrichtung zusammenwirken, so dass die Schaufeln in Umfangsrichtung unterschiedlich stark verstellbar sind.

[0014] Besonders gute Wirkungen lassen sich erzielen, wenn die beispielhaften vorgenannten Anordnungen der Schaufeln in Umfangsrichtung mehrfach periodisch fortgeführt sind.

[0015] Eine bevorzugte Strömungsmaschine hat ein symmetrisches Schaufelgitter und ein stromaufwärtiges sich relativ zum symmetrischen Schaufelgitter in Umfangsrichtung bewegendes erfindungsgemäßes asymmetrisches Schaufelgitter.

[0016] Eine derartige Strömungsmaschine weist einen vergrößerten Betriebsbereich und einen höheren Wirkungsgrad als herkömmliche Strömungsmaschinen auf. Die Strömungsmaschine kann ein Verdichter, eine hydraulischen Pumpe und eine Turbine sein. Die Strömungsmaschine kann zudem mit einem beliebigen flüssigen oder gasförmigen Medium durchströmt werden.

[0017] Die Strömungsmaschine kann zur unterschiedlich starken Staffelung der Schaufeln eine Verstelleinrichtung aufweisen, die sowohl die Bildung eines symmetrischen Schaufelgitters als auch die Bildung eines asymmetrischen Schaufelgitters ermöglicht. Idealerweise erlaubt die Verstelleinrichtung die Ansteuerung jeder Schaufeln einzeln, wodurch eine größtmögliche Flexibilität hinsichtlich der Staffelung erreicht wird. Alternativ können jedoch vorgegebene Symmetrien und Asymmetrien eingestellt werden, was die Einstellung des jeweiligen Schaufelgitters wesentlich vereinfacht.

[0018] Das asymmetrische Schaufelgitter kann sowohl als ein Statorgitter als auch als ein Rotorgitter ausgeführt sein. Bei Ausbildung des erfindungsgemäßen Schaufelgitters als ein Statorgitter kann dies feststehende Schaufeln aufweisen oder mit einer Verstelleinrichtung zum Verstellen der Schaufeln zusammenwirken.

[0019] Sonstige vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind Gegenstand weiterer Unteransprüche.

[0020] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand schematischer Darstellungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Ausschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Schaufelgitters,

Figur 2 eine Schnittdarstellung einer Schaufel und beispielhafte Umstaffelungen,

Figur 3 einen Ausschnitt eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Schaufelgitters,

Figur 4 eine Schnittdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer Schaufel eines erfindungsgemäßen Schaufelgitters und beispielhafte Profiländerungen im Hinterkantenbereich,

Figur 5 eine konforme Abbildung eines beispielhaften Flutbahnabschnitts des erfindungsgemäßen Schaufelgitters,

Figur 6 Beispiele asymmetrischer und periodischer Anordnungen der Schaufeln des erfindungsgemäßen Schaufelgitters,

Figur 7 einen Ausschnitt eines beispielhaften Verdichterstators in Diagonalbauweise, und

Figur 8 einen Ausschnitt eines beispielhaften Verdichterstators in Radialbauweise.

[0021] Erfindungsgemäß sind Schaufeln in einem Schaufelgitter einer Strömungsmaschine so anzubringen, dass in Umfangsrichtung eine asymmetrische Abströmung vom Schaufelgitter hinsichtlich Strömungswin-

kel und Strömungsgeschwindigkeit erfolgt und damit im Relativsystem eines nachfolgenden Schaufelgitters eine asymmetrische Zuströmung erfolgt. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das nachfolgende Schaufelgitter symmetrisch. Die asymmetrische Abströmung wird erzeugt, indem in Umfangsrichtung zwei oder mehrere benachbarte Schaufeln unterschiedliche Hinterkantenwinkel aufweisen. Das erfindungsgemäße Schaufelgitter kann in Verdichtern bzw. in hydraulischen Pumpen und in Turbinen Anwendung finden, sowohl bei Maschinen, die mit gasförmigem als auch mit flüssigem Medium durchströmt werden.

[0022] Als Hinterkantenwinkel wird ein Winkel zwischen einer Tangente der Skelettlinie im Bereich der Hinterkante und einer Achse in Umfangsrichtung verstanden (s. Figur 4, Winkel α). Der Hinterkantenwinkel α ist zum Einen vom Schaufelprofil im hinteren Schaufelbereich abhängig. Zum anderen ist der Hinterkantenwinkel α von der Staffelung der jeweiligen Schaufel im Schaufelgitter und somit vom Schaufelwinkel abhängig. Als Schaufelwinkel oder Staffelungswinkel wird ein Winkel zwischen der Sehne und der Achse in Umfangsrichtung verstanden (s. Figur 2, Winkel β). Als Schaufelquerrichtung wird eine Orientierung der Schaufel zwischen einem rotorseitigen Schaufelfuß und einer Schaufelspitze verstanden. Bei Axialverdichtern entspricht die Schaufelrichtung gleich der Radialrichtung. Eine Erstreckung der Schaufel in Schaufelquerrichtung wird über alle Bauweisen hinweg - Axial-, Radial- oder Diagonalbauweise - als Schaufelhöhe verstanden.

[0023] Die Realisierung der Asymmetrie kann durch mehrere Maßnahmen erfolgen, die im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert werden. Bevorzugte Maßnahmen sind eine Umstaffelung über die gesamte Schaufelhöhe (Figuren 1 und 2), eine Umstaffelung über einen Teil der Schaufelhöhe (ebenfalls Figur 2), eine geänderte Profilierung über einen Teil der Schaufelhöhe (Figuren 3 und 4) und eine geänderte Profilierung über die gesamte Schaufelhöhe (ebenfalls Figur 4).

[0024] Figuren 1 und 2 zeigen eine Umstaffelung über die gesamte Schaufelhöhe bei einem Verdichterstator in Axialbauweise. Da Figur 2 eine Schnittdarstellung ist, kann die Schnittdarstellung auch einer Umstaffelung über einen Teil der Schaufelhöhe zeigen. Im Folgenden wird jedoch anhand von den Figuren 1 und 2 eine Umstaffelung über die gesamte Schaufelhöhe beispielhaft erläutert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in Figur 2 lediglich der Schaufelwinkel β skizziert. Ein erfindungsgemäßes asymmetrisches Schaufelgitter 1 hat eine Vielzahl von in Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Schaufeln 2. Das Schaufelgitter 1 ist beispielsweise ein Teil eines Verdichterstators in Axialbauweise. Die Schaufeln 2 haben ein einheitliches Profil und sind in Umfangsrichtung bzgl. ihrer vorangestellten Schaufel 2' über ihre gesamten Höhe anders gestaffelt. Hierdurch variiert der Schaufelwinkel β ausgehend von einem Schaufelwinkel β_0 , der gegenüber der vorangestellten Schaufel 2' vergrößert $\Delta\beta +$ oder verkleinert $\Delta\beta -$ ist.

Durch die Änderung des Schaufelwinkels β ändert sich die Position ihrer Hinterkanten 4 in Umfangsrichtung, so dass gleich profilierte benachbarte Schaufeln 2 ein unterschiedliches Abströmverhalten zeigen. Zudem liegen die Schaufeln 2 durch die Verschwenkung mit ihren Hinterkanten 4 in Umfangsrichtung betrachtet nicht mehr auf einer Linie, sondern befinden sich an unterschiedlichen axialen Positionen, wodurch das Abströmverhalten zusätzlich geändert wird. Die Position ihrer Vorderkanten 8 und ihrer Vorderkantenwinkel ändert sich aufgrund der Umstaffelung über die gesamte Höhe analog zum Hinterkantenwinkel α . Als Vorderkantenwinkel wird ein Winkel zwischen einer Tangente der Skelettlinie im Bereich der Vorderkante 8 und der Achse in Umfangsrichtung verstanden (nicht skizziert).

[0025] Figur 3 zeigt eine geänderte Profilierung über einen Teil der Schaufelhöhe bei einem Verdichterstator in Axialbauweise. Das gezeigte Schaufelgitter 1 bildet beispielsweise einen Teil eines Verdichterstators in Axialbauweise. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Schaufeln 2 in Schaufelquerrichtung betrachtet im äußeren Bereich 6 ihrer Hinterkanten 4 unterschiedlich profiliert. Dabei schlägt der Bereich 6 von einer Orientierung in Rotationsrichtung in eine Orientierung in Gegenrichtung um, wodurch der Hinterkantenwinkel α der Schaufeln 2 ausgehend von einem Hinterkantenwinkel α_0 gegenüber der jeweils vorangestellten Schaufel 2' zur Umfangsrichtung vergrößert $\Delta\alpha +$ oder verkleinert $\Delta\alpha -$ ist. Der Hinterkantenwinkel α wird bei den Schaufeln 2 an einer einheitlichen Position in Schaufelquerrichtung abgetragen, wobei er bevorzugterweise in dem Bereich der maximalen Profiländerung abgetragen wird. Ebenso wird der Schaufelwinkel β bevorzugterweise in dem Bereich der maximalen Profiländerung abgetragen. Jede Schaufel 2 hat durch die lokale Profilierung bezogen auf einen Flutbahnabschnitt einen konstanten Schaufelwinkelanteil β_{const} und einen variierenden Schaufelwinkelanteil β_{var} . Ebenso hat jede Schaufel 2 bezogen auf einen Flutbahnabschnitt einen konstanten Hinterkantenwinkelanteil α_{const} und einen variierenden Hinterkantenwinkelanteil α_{var} . Die Winkelanteile α_{const} , β_{const} sind im unveränderten Profilbereich bei sämtlichen Schaufeln 2 gleich und konstant. Im Bereich der Profiländerung variieren hingegen die Winkelanteile α_{var} , β_{var} von einer Schaufel 2 zu einer vorangestellten Schaufel 2'. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Winkelanteile α_{const} , β_{const} , α_{var} , β_{var} in Figur 3 nicht gezeigt.

[0026] Figur 4 zeigt eine geänderte Profilierung über die gesamte Schaufelhöhe. Da Figur 4 eine Schnittdarstellung ist, kann die Schnittdarstellung auch eine geänderte Profilierung über einen Teil der Schaufelhöhe zeigen. Im Folgenden wird jedoch anhand von Figur 4 eine geänderte Profilierung über die gesamte Schaufelhöhe beispielhaft erläutert. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel haben die Schaufeln 2 ab einer bestimmten gleichen Sehnenlänge unterschiedlich gekrümmte Hinterkantenbereiche 6, wodurch der Hinterkantenwinkel α der Schaufeln 2 ausgehend von einem Hinterkantenwinkel

α_0 gegenüber der jeweils vorangestellten Schaufel 2' zur Umfangsrichtung vergrößert $\Delta\alpha$ + oder verkleinert $\Delta\alpha$ - ist. Durch die hinterkantenseitige unterschiedliche Krümmung haben die benachbarten Schaufeln 2 jeweils unterschiedliche Profile. Der Bereich ihrer Vorderkanten 8 ist jedoch gleich identisch profiliert, so dass die Schaufeln 2 somit gleiche Vorderkantenwinkel aufweisen.

[0027] Zur Variierung der asymmetrischen Schaufelanordnungen können die Schaufelgitter 1 nach den vorhergehenden Ausführungsbeispielen mit einer nicht gezeigten Verstelleinrichtung zusammenwirken, die eine unterschiedlich starke Umstaffelung einzelner Schaufeln 2 ermöglicht.

[0028] Wie in der konformen Abbildung eines Flutbahnabschnitts nach Figur 5 gezeigt, wird die asymmetrische Anordnung der Schaufeln 2 in Umfangsrichtung bevorzugterweise mehrfach periodisch fortgeführt. Der hier gezeigte Flutbahnabschnitt wurde in Schaufelquerrichtung an den äußeren Bereich der Schaufeln 2 gelegt. Dargestellt ist in Figur 5 eine erfindungsgemäße asymmetrische Schaufelanordnung am Ausführungsbeispiel der Umstaffelung über die gesamte Schaufelhöhe (s. Figur 1 und 2). Die Schaufelgitteranordnung ist insbesondere so gewählt, dass eine harmonische und periodische Winkelverteilung vorliegt. Innerhalb einer Periode kann eine beliebige Anordnung bzw. Profilgestaltung der Schaufeln 2 erfolgen. Die minimale Anzahl an Schaufeln 2 pro Periode beträgt zwei. Die relevante Größe für die Anordnung bzw. Profilgestaltung einer Schaufel 2 ist dabei deren Abströmwinkel von der Schaufel 2. Der Abströmwinkel ist im Wesentlichen von dem Hinterkantenwinkel α und somit von dem Schaufelwinkel β und der Profilgeometrie abhängig, weshalb, wie in Figur 6 gezeigt, der Hinterkantenwinkel α als Größe zur Beschreibung der asymmetrischen Schaufelgitteranordnung herangezogen wird.

[0029] In Figur 6 sind sieben Beispiele für eine asymmetrische Anordnung der Schaufeln 2 bezogen auf den Hinterkantenwinkel α gezeigt, wobei die Ausführungsbeispiele 1, 2, 3 und 4 bevorzugt werden.

[0030] Die Anzahl der Schaufeln 2, die innerhalb einer Periode anzubringen sind, werden durch die folgenden zueinander äquivalenten Formulierungen ermittelt.

[0031] Formulierung 1:

$$A' = \frac{N_{S1} \cdot n \cdot l_{S2} \cdot \sin \beta_{S2}}{\sigma' \cdot c_{ax-S2} \cdot 60 \text{ sec}}$$

[0032] Formulierung 2:

$$A'' = \frac{N_{S1} \cdot l_{S2}}{\sigma'' \cdot r_{S2}}$$

[0033] Dabei gelten die folgenden Definitionen, wobei Schaufelgitter 1 das asymmetrische Schaufelgitter und Schaufelgitter 2 das Schaufelgitter ist, welches dem asymmetrischen Schaufelgitter in Strömungsrichtung folgt.

A':	Anzahl der Schaufeln pro Periode nach Formulierung 1
A'':	Anzahl der Schaufeln pro Periode nach Formulierung 2
n [1/min]:	Drehzahl der Maschine
N_{S1} :	Anzahl der Schaufeln des Schaufelgitters 1
r_{S2} [m]:	Charakteristischer Radius der Schaufeln im Schaufelgitter 2. Dies ist der Radius, bei dem im Schaufelgitter 2 eine Ablösung auftritt, welche durch das erfindungsgemäße Schaufelgitter 1 unterdrückt wird. Bevorzugterweise entspricht r_{S2} in etwa dem Außenradius der Schaufeln im Schaufelgitter 2.
l_{S2} [m]:	Schaufellänge bei r_{S2} im Schaufelgitter 2
β_{S2} [°]:	Schaufelwinkel bzgl. Umfangsrichtung bei r_{S2} im Schaufelgitter 2
C_{ax-S2} [m/s]:	Axialgeschwindigkeit der Strömung bei r_{S2} vor dem Schaufelgitter 2
σ' :	Schaufelkoeffizient für die Formulierung 1
σ'' :	Schaufelkoeffizient für die Formulierung 2

[0034] Das erfindungsgemäße asymmetrische Schaufelgitter 1 kann prinzipiell für den folgenden Wertebereich angewendet werden:

$$\sigma' = [0,25 \dots 1,15]$$

$$\sigma'' = [0,55 \dots 7,25]$$

[0035] Bevorzugterweise wird das asymmetrische Schaufelgitter 1 für den folgenden Wertebereich angewendet:

$$\sigma' = [0,65 \dots 0,75]$$

$$\sigma'' = [1,4 \dots 4,7]$$

zung beträgt die Winkeldifferenz maximal 10° .

[0037] Zur Deutlichmachung, dass die erfindungsgemäße Umstaffelung bzw. Profiländerung auch bei Verdichtern in Diagonalbauweise und in Radialbauweise Anwendung findet, wird auf die Figuren 7 und 8 verwiesen. Figur 7 zeigt einen Ausschnitt eines Verdichterstators in Diagonalbauweise und Figur 8 zeigt einen Ausschnitt eines Verdichterstators in Radialbauweise. Beispielhaft sind die Schaufeln 2 beziffert. Selbstverständlich kann die Erfindung auch turbinenseitig verwirklicht werden.

[0038] Offenbart sind ein Schaufelgitter für eine Strömungsmaschine mit einer Vielzahl von in Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Schaufeln, wobei zumindest zwei Schaufeln im hinteren Bereich eine Variation zur Erzeugung einer asymmetrischen Abströmung aufweisen, sowie eine Strömungsmaschine, mit einem asymmetrischen Schaufelgitter, das einem weiteren Schaufelgitter vorgeschaltet ist.

Bezugszeichenliste

[0039]

1	Schaufelgitter
2	Schaufel
2'	benachbarte Schaufel
4	Hinterkante
6	Bereich
8	Vorderkante
U	Ufangsrichtung
α	Hinterkantenwinkel
β	Schaufelwinkel
$\Delta\alpha$	Änderung Hinterkantenwinkel
$\Delta\beta$	Änderung Schaufelwinkel

Patentansprüche

1. Schaufelgitter (1) für eine Strömungsmaschine, mit einer Vielzahl von in Umfangsrichtung nebeneinander angeordneten Schaufeln (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zwei benachbarte Schaufeln (2, 2') unterschiedliche Hinterkantenwinkel (α) aufweisen. 40 45
2. Schaufelgitter nach Anspruch 1, wobei die Schaufeln (2, 2') über ihre gesamte Höhe unterschiedlich gestaffelt sind. 50
3. Schaufelgitter nach Anspruch 1, wobei die Schaufeln (2, 2') über einen Teil ihrer Höhe unterschiedlich gestaffelt sind.
4. Schaufelgitter nach Anspruch 1, wobei die Schaufeln (2, 2') über ihre gesamte Höhe unterschiedlich profiliert sind. 55

5. Schaufelgitter nach Anspruch 1, wobei die Schaufeln (2, 2') über einen Teil ihrer Höhe unterschiedlich profiliert sind.
6. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schaufeln (2, 2') unterschiedlich stark verstellbar sind. 5
7. Schaufelgitter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Anordnung der Schaufeln (2, 2') in Umfangsrichtung mehrfach periodisch fortgeführt ist. 10
8. Strömungsmaschine mit einem symmetrischen Schaufelgitter, **gekennzeichnet durch** ein stromaufwärtiges sich relativ zum symmetrischen Schaufelgitter in Umfangsrichtung bewegendes asymmetrisches Schaufelgitter (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche. 15
9. Strömungsmaschine nach Anspruch 8, wobei eine Verstelleinrichtung zur unterschiedlich starken Staffelung der Schaufeln (2, 2') vorgesehen ist. 20
10. Strömungsmaschine nach Anspruch 8 oder 9, wobei das asymmetrische Schaufelgitter (1) ein Statorgitter ist. 25
11. Strömungsmaschine nach Anspruch 8 oder 9, wobei das asymmetrische Schaufelgitter (1) ein Rotorgitter ist. 30

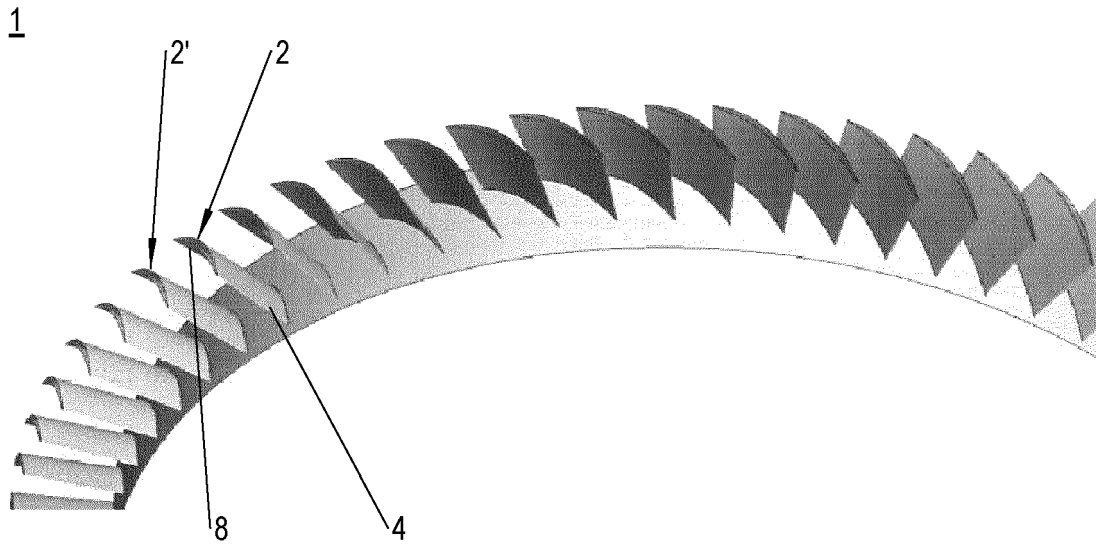


Fig. 1

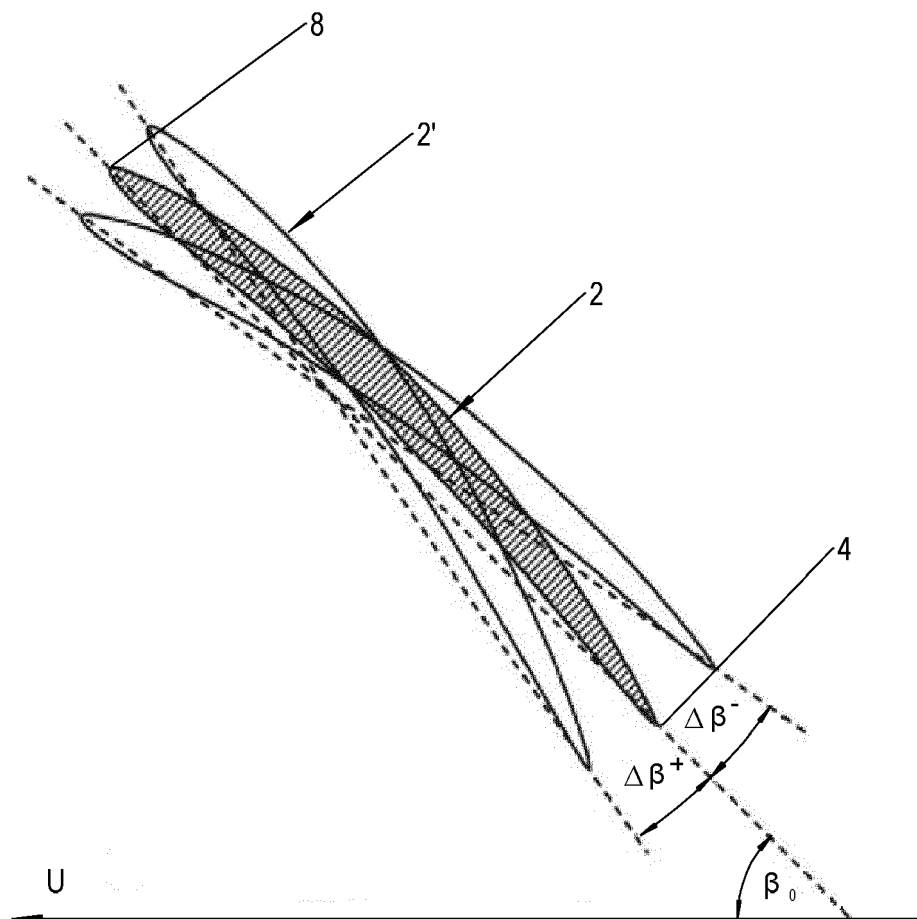


Fig. 2

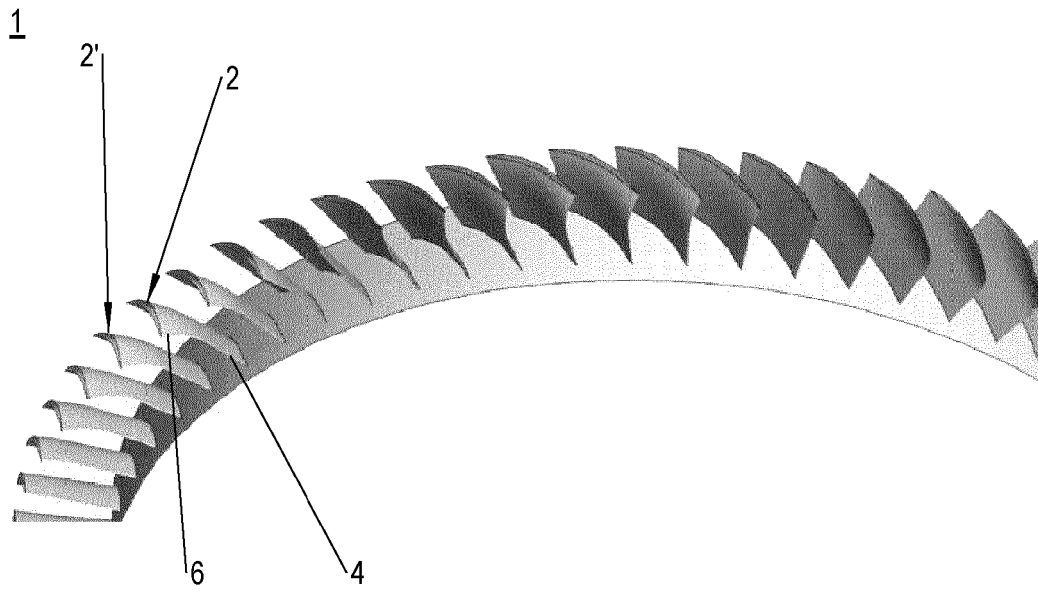


Fig. 3

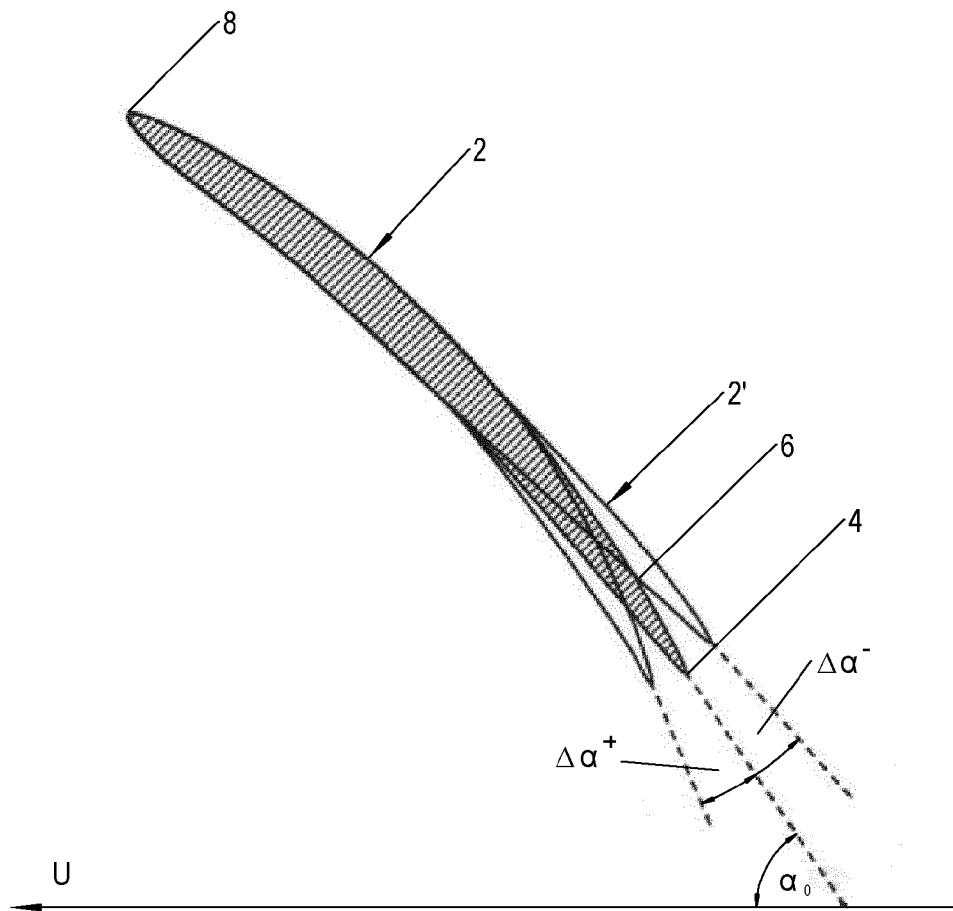


Fig. 4

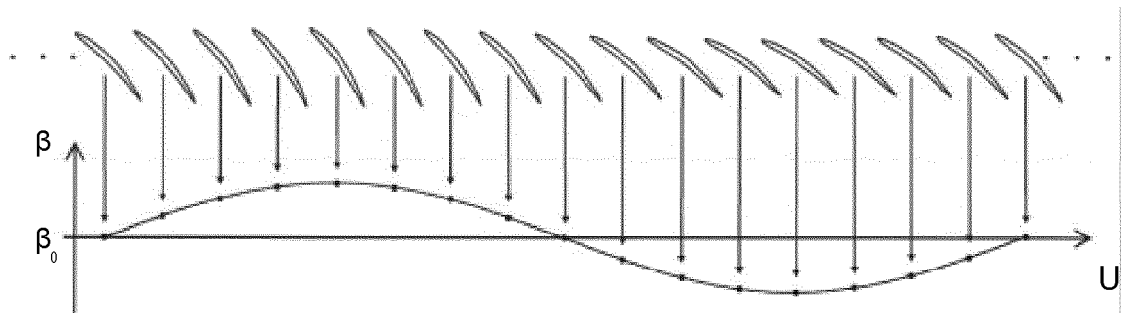


Fig. 5

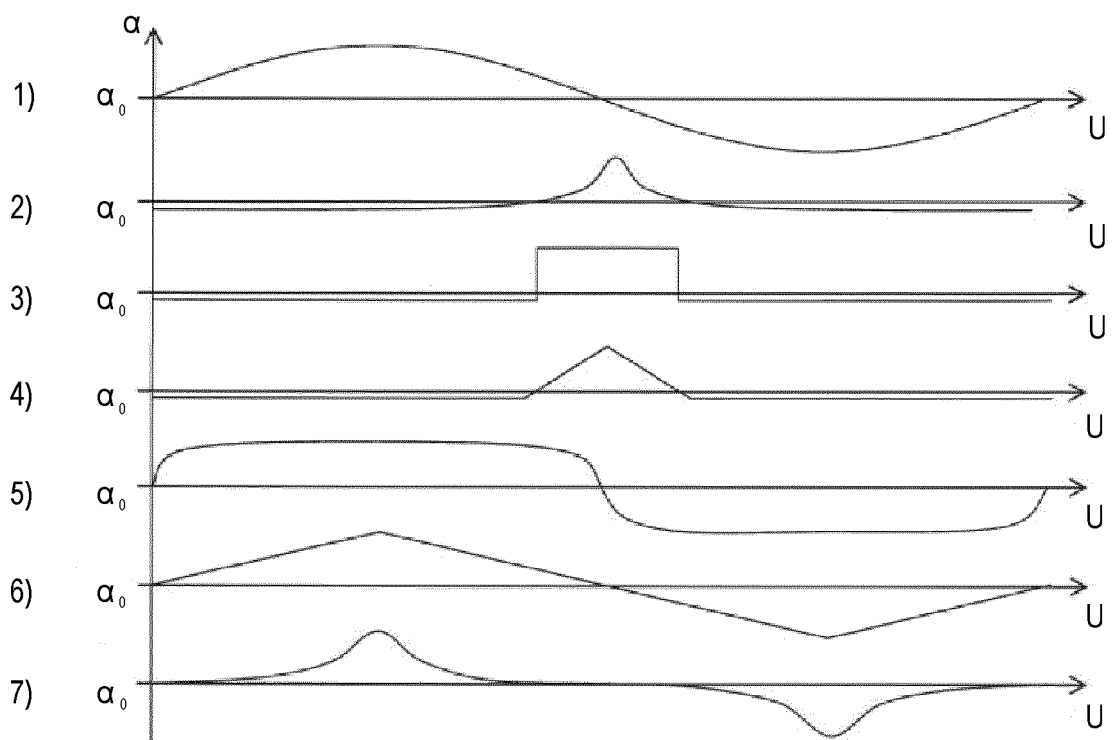


Fig. 6

1

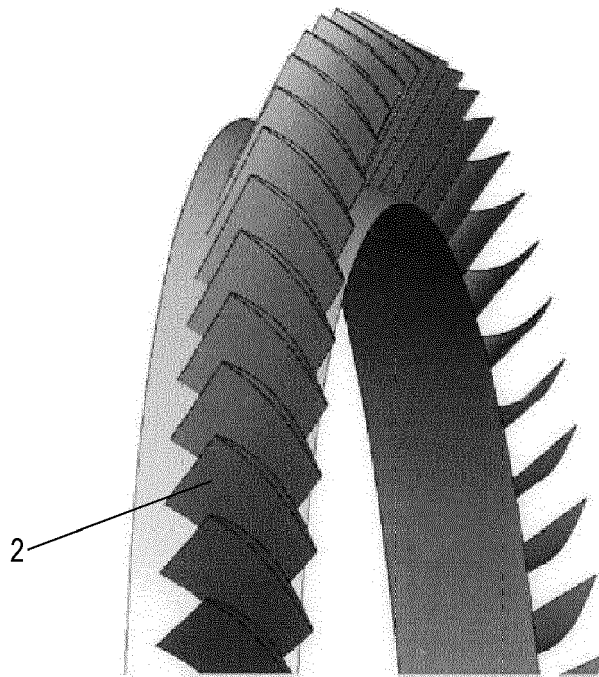


Fig. 7

1

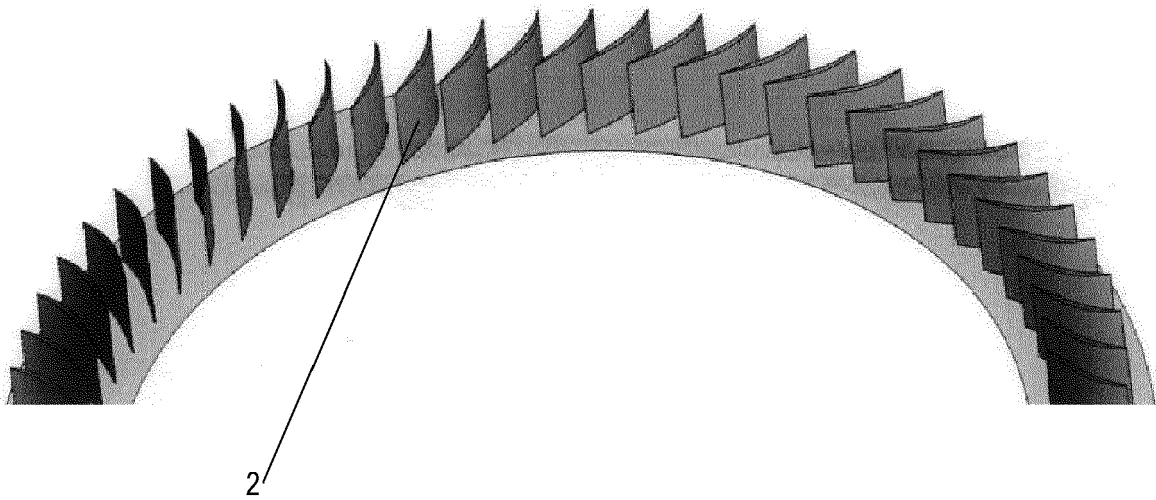


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 15 3623

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 861 822 A (WANGER ROBERT P) 21. Januar 1975 (1975-01-21) * Spalte 2, Zeile 29 - Zeile 44; Abbildung 1 * * Spalte 3, Zeile 22 - Zeile 41; Abbildung 3 *	1-3,6-10	INV. F04D29/18 F04D29/24 F04D29/30 F04D29/32 F04D29/44 F04D29/46 F04D29/54 F04D29/66
X	US 3 169 747 A (GLENFIELD SEYMOUR DONALD) 16. Februar 1965 (1965-02-16) * Spalte 2, Zeile 54 - Spalte 3, Zeile 5; Abbildung 1 * * Spalte 4, Zeile 19 - Zeile 45; Abbildung 2 * * Spalte 5, Zeile 41 - Zeile 59; Abbildung 3 *	1,3,5,7,8,10	
X	GB 2 475 140 A (DRESSER RAND CO [US]) 11. Mai 2011 (2011-05-11) * Absatz [0022] - Absatz [0027]; Abbildungen 1,2 *	1,4,5,7,8,10	
X	US 2004/187475 A1 (USAB WILLIAM J [US] ET AL) 30. September 2004 (2004-09-30) * Absatz [0042] - Absatz [0046]; Abbildungen 2,3 *	1-5,7,8,10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D F01D
X	US 2003/123975 A1 (HORNG ALEX [TW] ET AL) 3. Juli 2003 (2003-07-03) * Absatz [0030] - Absatz [0031]; Abbildungen 8,10 *	1,4,5,7,8,11	
X	US 2009/162198 A1 (OGINO KAZUO [JP] ET AL) 25. Juni 2009 (2009-06-25) * Absätze [0055], [0057], [0058]; Abbildungen 1,3 *	1,4,5,7,8,11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. Juli 2012	Prüfer Di Giorgio, F
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 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 12 15 3623

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

10-07-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3861822	A	21-01-1975	KEINE	
US 3169747	A	16-02-1965	KEINE	
GB 2475140	A	11-05-2011	GB 2475140 A	11-05-2011
			US 2011110763 A1	12-05-2011
US 2004187475	A1	30-09-2004	KEINE	
US 2003123975	A1	03-07-2003	KEINE	
US 2009162198	A1	25-06-2009	US 2009162198 A1	25-06-2009
			WO 2007108342 A1	27-09-2007

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

- DE 102008049358 A1 **[0004]**
- GB 2046849 B1 **[0004]**
- EP 1508669 A1 **[0004]**