

(19)



(11)

EP 2 653 658 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
23.10.2013 Patentblatt 2013/43

(51) Int Cl.:
F01D 5/16 (2006.01) **F01D 5/14** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12164299.5**

(22) Anmeldetag: **16.04.2012**

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

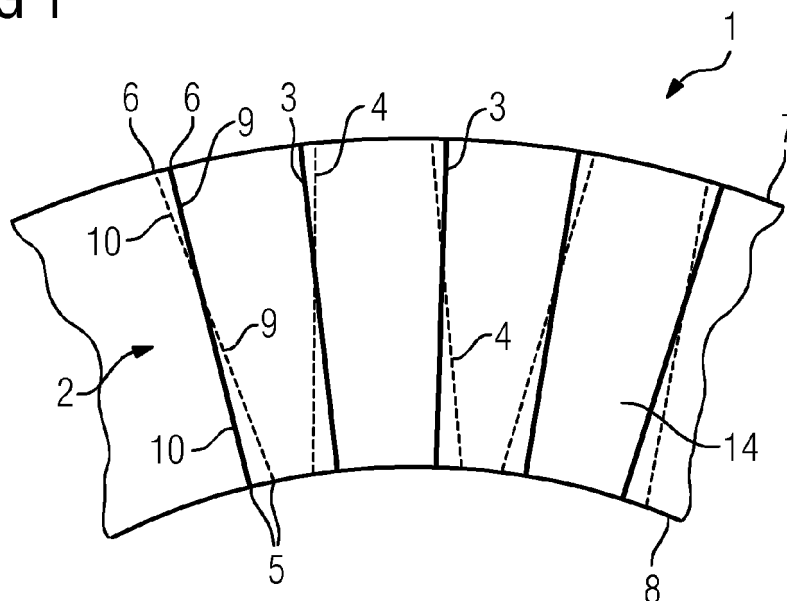
(72) Erfinder:
• **Richter, Christoph Hermann Dr.**
49477 Ibbenbüren (DE)
• **Stüer, Heinrich Dr.**
45721 Haltern (DE)

(54) **Leitschaufelkranz für eine Axialströmungsmaschine und Verfahren zum Auslegen des Leitschaufelkranzes**

(57) Ein Verfahren zum Auslegen einer Stufe (22) für eine Axialströmungsmaschine (1) aufweisend einen Leitschaufelkranz (2) und einen dem Leitschaufelkranz (2) stromab angeordneten Laufschaufelkranz (20) weist folgende Schritte auf: Profilieren eines Leitschaufelkranzes (2) mit regelmäßig über den Umfang des Leitschaufelkranzes (2) angeordneten Leitschaufeln (3) gemäß aerodynamischer und mechanischer Randbedingungen; Verschieben von mindestens einem Profilschnitt von

mindestens einer der Leitschaufeln (3) in Umfangsrichtung derart, dass der Teilungswinkel (13) für die mindestens eine Leitschaufel (4) und einer ihr benachbart angeordneten Leitschaufel (4) derart über die Schaufelhöhe variiert, dass im Betrieb der Axialströmungsmaschine (1) die dem Leitschaufelkranz (2) stromab ausgebildete Abströmung derart unregelmäßig über den Umfang der Axialströmungsmaschine ausgebildet ist, dass die Schwingungsanregung der Laufschaufeln (19) des Laufschaufelkranzes (20) gering ist.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Leitschaufelkranz für eine Axialströmungsmaschine, die Axialströmungsmaschine und ein Verfahren zum Auslegen des Leitschaufelkranzes.

[0002] In einer Dampfturbine wird zur Erzeugung von Rotationsenergie Wasserdampf entspannt. Die Dampfturbine weist eine Mehrzahl von Stufen auf, wobei jede Stufe einen Leitschaufelkranz mit einer Mehrzahl an Leitschaufeln und einen Laufschaufelkranz mit einer Mehrzahl an Laufschaufeln aufweist. Die Laufschaufeln sind an der Welle der Dampfturbine angebracht und rotieren im Betrieb der Dampfturbine, die Leitschaufeln sind an dem Gehäuse der Dampfturbine angebracht und stehen fest. Die Schaufeln können im Betrieb der Dampfturbine zu einer Schwingung angeregt werden. Die Schwingung zeichnet sich dadurch aus, dass an den Schaufelfüßen der Schaufeln ein Schwingungsknoten angeordnet ist. Die Spannungsbelastung durch die Schwingung ist insbesondere an den Schaufelfüßen hoch, so dass es an den Schaufelfüßen zu einer Materialermüdung kommen kann, welche einen kostenintensiven Tausch der Leitschaufeln erforderlich macht.

[0003] Zwischen jeweils zwei benachbart angeordneten Leitschaufeln ist ein Strömungskanal ausgebildet, durch welchen im Betrieb der Dampfturbine der Wasserdampf strömt. Die Geschwindigkeitsverteilung der Strömung stromab des Leitschaufelkranzes weist im Bereich der Hinterkanten der Leitschaufeln lokale Geschwindigkeitsminima auf, die als Nachlaufdellen bezeichnet werden. Die Nachlaufdellen können die dem Leitschaufelkranz stromab angeordneten Laufschaufeln zu der Schwingung anregen.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Stufe für eine Axialturbomaschine, die Axialturbomaschine mit der Stufe und ein Verfahren zum Auslegen der Stufe zu schaffen, wobei die oben genannten Probleme überwunden sind und die Laufschaufeln der Stufe eine lange Lebensdauer haben.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Auslegen einer Stufe für eine Axialströmungsmaschine aufweisend einen Leitschaufelkranz und einen dem Leitschaufelkranz stromab angeordneten Laufschaufelkranz weist folgende Schritte auf: Profilieren eines Leitschaufelkranzes mit regelmäßig über den Umfang des Leitschaufelkranzes angeordneten Leitschaufeln gemäß aerodynamischer und mechanischer Randbedingungen; Verschieben von mindestens einem Profilschnitt von mindestens einer der Leitschaufeln in Umfangsrichtung derart, dass der Teilungswinkel für die mindestens eine Leitschaufel und einer ihr benachbart angeordneten Leitschaufel derart über die Schaufelhöhe variiert, dass im Betrieb der Axialströmungsmaschine die dem Leitschaufelkranz stromab ausgebildete Abströmung derart unregelmäßig über den Umfang der Axialströmungsmaschine ausgebildet ist, dass die Schwingungsanregung der Laufschaufeln des Laufschaufelkranzes gering ist.

[0006] Bei der Profilierung werden verschiedene Profilschnitte gemäß der Randbedingungen ausgelegt. Jede Leitschaufel setzt sich aus den Profilschnitten zusammen, wobei jedem Profilschnitt ein Fädelpunkt zugewiesen wird und alle Profilschnitte mit ihren Fädelpunkten auf einer Fädellinie "aufgefädelt" sind. Gemäß der Erfindung erfolgt eine Verschiebung des mindestens einen Profilschnitts, so dass der Fädelpunkt des mindestens einen Profilschnitts nicht mehr auf der ursprünglichen Fädellinie liegt.

[0007] Der Teilungswinkel ist der Winkel zwischen zwei Verbindungslinien, die von einem gemeinsamen Punkt auf der Achse der Axialströmungsmaschine ausgehen sowie senkrecht zu der Achse verlaufen und an entsprechenden Punkten auf den Oberflächen der beiden benachbart angeordneten Leitschaufeln enden. Bei den zwei entsprechenden Punkten handelt es sich um zwei Punkte, die den gleichen radialen Abstand von der Achse der Axialströmungsmaschine haben und jeweils an gleichen Stellen der Leitschaufeln, d.h. beispielsweise ein Punkt entweder auf der Druckseite, auf der Saugseite, auf der Vorderkante oder auf der Hinterkante der jeweiligen Leitschaufel, angeordnet sind. Bei dem Leitschaufelkranz mit regelmäßig über den Umfang angeordneten Leitschaufeln ist der Teilungswinkel der Nominalteilungswinkel $2 \cdot \Pi / n$, mit der Kreiszahl Π und n der Anzahl der in dem Leitschaufelkranz angeordneten Leitschaufeln.

[0008] Die Laufschaufeln können zwei verschiedenen Anregungsmechanismen für Schwingungen ausgesetzt sein, nämlich einem Flattern und einer erzwungenen Schwingung (englisch: "forced response"). Bei dem Flattern handelt es sich um eine selbsterregte Schwingung, bei der Energie von der Strömung in die Schwingungen der Laufschaufeln übertragen wird. Das Flattern wird durch kleine Schaufelschwingungen angeregt, die selbstverstärkend sein können, so dass die Schaufel mit jeder folgenden Schwingungsperiode stärker schwingt. Dies kann zu einem Abriss der Laufschaufeln führen. Dadurch, dass der Teilungswinkel variiert, ergibt sich bei zwei benachbart angeordneten Kanälen ein anderer Umlenkungswinkel der Strömung, wodurch sich die Zuströmung von dem Leitschaufelkranz zu dem Laufschaufelkranz unregelmäßig über den Umfang der Axialströmungsmaschine ausbildet. Dadurch ändert sich die Belastung der Laufschaufeln während einer Umdrehung, wodurch das Flattern vorteilhaft vermindert wird.

[0009] Die erzwungene Schwingung ergibt sich aufgrund einer periodischen Anregung der Laufschaufeln. Zwischen zwei benachbart angeordneten Leitschaufeln ist jeweils ein Kanal angeordnet, durch welchen ein Fluid der Axialströmungsmaschine strömbar ist. Die den beiden Kanälen zugeordneten Nachlaufdellen haben durch den sich ändernden Teilungswinkel eine unterschiedliche Form und Umfangslage. Im Betrieb der Axialströmungsmaschine tauchen die stromab angeordneten Laufschaufeln in die Nachlaufdellen ein, wodurch die Laufschaufeln eine instationäre Anströmung erfahren,

die zu einer Schwingungsanregung der Laufschaufeln führen kann. Dadurch, dass die Nachlaufdüellen über den Umfang inhomogenisiert sind, erfolgt die Schwingungsanregung unperiodisch, wodurch die erzwungenen Schwingungen der Laufschaufeln ebenfalls vorteilhaft schwach sind.

[0010] Das Verschieben des mindestens einen Profilschnitts erfolgt bevorzugt auf einem Verschiebeweg, der für jede der beiden benachbart angeordneten Leitschaufeln maximal 10% der Erstreckung des Kanals zwischen den beiden Leitschaufeln in Umfangsrichtung beträgt. Die Profilschnitte werden bevorzugt derart verschoben, dass die Leitschaufel gegen eine ihr benachbart angeordnete Leitschaufel geneigt wird. In diesem Fall variiert der Teilungswinkel linear über die Schaufelhöhe.

[0011] Bevorzugtermaßen werden die Profilschnitte derart verschoben, dass mindestens eine von zwei benachbart angeordneten Leitschaufeln gekrümmt ausgeführt wird. Hier variiert der Teilungswinkel nichtlinear über die Schaufelhöhe. Die Leitschaufeln, in denen Profilschnitte verschoben sind, werden bevorzugt symmetrisch um die Achse der Axialströmungsmaschine verteilt angeordnet. Somit ist die stromabwärtige Strömung von dem Leitschaufelkranz symmetrisch.

[0012] Die Laufschaufeln werden bevorzugt derart ausgelegt, dass keine der Eigenfrequenzen der Laufschaufeln mit der Drehfrequenz der Axialströmungsmaschine oder einem Vielfachen der Drehfrequenz bis einschließlich dem Achtfachen der Drehfrequenz übereinstimmt. Somit ist vorteilhaft sichergestellt, dass es im Betrieb der Axialströmungsmaschine nicht zu einer Kopplung zwischen der Rotation der Axialströmungsmaschine und den Schwingungen der Laufschaufeln kommt. Die Kopplung kann zu einer Vergrößerung eines Energieeintrags von der Strömung in die Schwingungen führen.

[0013] Bevorzugtermaßen liegen die Profilschnitte auf einer Zylinderfläche oder einer Kegelfläche, deren Achsen mit der Achse der Axialströmungsmaschine zusammenfallen, auf einer S_1 -Strömungsfläche oder in einer tangentialen Ebene der Axialströmungsmaschine. Die S_1 -Strömungsfläche erstreckt sich in Umfangsrichtung und in Axialrichtung der Axialströmungsmaschine und beschreibt eine Fläche, der eine idealisierte Strömung folgt. Das Verfahren weist bevorzugt den Schritt auf: Anpassen des mindestens einen Profilschnitts an die nach dem Verschieben geänderten aerodynamischen Randbedingungen.

[0014] Die erfindungsgemäße Stufe ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgelegt. Die erfindungsgemäße Axialströmungsmaschine weist die Stufe auf, insbesondere als die letzte, stromab liegende Stufe der Axialströmungsmaschine. Die Laufschaufeln in der letzten Stufe der Axialströmungsmaschine sind die Laufschaufeln mit den längsten radialen Erstreckungen in der Axialströmungsmaschine und sind somit besonders anfällig für eine Schwingungsanregung. Eine unperiodische Schwingungsanregung der Laufschaufeln ist damit besonders in der letzten Stufe vorteilhaft.

[0015] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Stufe anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen

Figuren 1 bis 3 jeweils einen Ausschnitt einer Draufsicht einer der Ausführungsformen eines Leitschaufelkranzes einer erfindungsgemäßen Stufe und

Figur 4 einen Längsschnitt durch die erfindungsgemäße Stufe.

[0016] Wie es aus Figuren 1 bis 3 ersichtlich ist, weist eine Axialströmungsmaschine 1 einen Leitschaufelkranz 2 und ein Gehäuse 7 auf. Der Leitschaufelkranz 2 weist eine Mehrzahl an Leitschaufeln 3, 4 auf, wobei jede der Leitschaufeln 3, 4 einen Schaufelfuß 5, eine Schaufelspitze 6, eine Druckseite 9 und eine Saugseite 10 aufweist. Jede der Leitschaufeln 3, 4 ist mit ihrer Schaufelspitze 6 an dem Gehäuse und mit ihrem Schaufelfuß 5 an einem Nabenring 8 fest angebracht. Zwischen zwei benachbart angeordneten Leitschaufeln 3, 4 ist ein Kanal 14 ausgebildet, in dem ein Arbeitsfluid strömbar ist. Dargestellt ist in Figuren 1 bis 3 jeweils die Hinterkante der Leitschaufeln 3, 4.

[0017] In Figur 3 ist beispielhaft ein Teilungswinkel 13 der Axialströmungsmaschine 1 dargestellt. An den beiden benachbart angeordneten Leitschaufeln 3, 4 ist jeweils ein Oberflächenpunkt 15 auf den Hinterkanten der Leitschaufeln 3, 4 dargestellt. Die beiden Oberflächenpunkte 15 haben dabei den gleichen Abstand zu der Achse 11 der Axialströmungsmaschine 1. Ebenso sind in Figur 3 zwei Verbindungslinien 16 gezeigt, die jeweils von den beiden Oberflächenpunkten 15 ausgehen, senkrecht zu der Achse 11 der Axialströmungsmaschine 1 verlaufen und jeweils auf demselben Punkt auf der Achse 11 der Axialströmungsmaschine 1 enden. Die beiden Verbindungslinien 16 schließen den Teilungswinkel 13 ein.

[0018] In Figuren 1 bis 3 ist der Leitschaufelkranz 2 vor einem Verschieben von mindestens einem Profilschnitt und nach dem Verschieben des mindestens einen Profilschnitts dargestellt. Gezeigt sind in den Figuren 1 bis 3 Leitschaufeln 3 vor dem Verschieben (durchgezogene Linien) und Leitschaufeln 4 nach dem Verschieben (gestrichelte Linien). Die Leitschaufeln 3 zeichnen sich dadurch aus, dass sie für jede Leitschaufel 3 und für jeden Oberflächenpunkt 15 den gleichen Teilungswinkel 13 aufweisen, nämlich den Nominalteilungswinkel 12. Der Nominalteilungswinkel 12 ergibt sich zu $2 \cdot \Pi / n$, wobei n die Anzahl der Leitschaufeln 3 in dem Leitschaufelkranz 2 und Π die Kreiszahl ist.

[0019] In Figur 1 sind die Profilschnitte derart verschoben, dass die Leitschaufeln 4 im Vergleich zu den Leitschaufeln 3 geneigt sind. Dabei weist der Leitschaufelkranz 2 nach dem Verschieben jeweils gleiche Paare von benachbart angeordneten Leitschaufeln 4 auf. Die Paare

zeichnen sich dadurch aus, dass der Schauffelfuß 5 der einen Leitschaufel 4 des Paares in eine Umfangsrichtung des Leitschaufelkranzes 2 und die Schauffelspitze 6 in die andere Umfangsrichtung verschoben ist, die der einen Umfangsrichtung entgegen gerichtet ist. Die andere Leitschaufel 4 des Paares wird entgegen der einen Leitschaufel 4 des Paares geneigt, d.h. der Schauffelfuß 5 der anderen Leitschaufel 4 des Paares wird in die andere Umfangsrichtung verschoben und die Schauffelspitze 6 der anderen Leitschaufel 4 wird in die eine Umfangsrichtung verschoben. Die so angeordneten Leitschaufeln 4 führen zu einer linearen Variation des Teilungswinkels 13 über die Schauffelhöhe, d.h. in Abhängigkeit des radialen Abstands von der Achse 11 der Axialströmungsmaschine 1. In Figur 1 ist der Leitschaufelkranz 2 vollständig durch die gleichen Paare gebildet. Es ist ebenso denkbar, dass der Leitschaufelkranz 2 abwechselnd von den Paaren und von den Leitschaufeln 3 ohne verschobene Profilschnitte gebildet ist. Dabei können jeweils zwischen zwei Paaren eine Leitschaufel 3 oder eine Mehrzahl an Leitschaufeln 3 vorgesehen werden, wobei die Störung der aeroelastischen Kopplung effektiver ist, wenn nur eine Leitschaufel 3 vorgesehen wird.

[0020] Der Leitschaufelkranz 2 aus Figur 2 weist ebenfalls Paare von Leitschaufeln 4 auf. Die Leitschaufeln 4 der Paare sind derart gekrümmt, dass die Leitschaufeln 4 einen Bauch aufweisen. Dabei weist eine Leitschaufel 4 des Paares einen Bauch in die eine Umfangsrichtung und die andere Leitschaufel 4 des Paares einen Bauch in die andere Umfangsrichtung auf. Es ist ebenso denkbar, dass die Leitschaufeln 4 eine Mehrzahl an Bäuchen aufweisen, die entweder auf der gleichen Seite der Leitschaufeln 3 in Umfangsrichtung oder auf beiden Seiten der Leitschaufeln 4 in Umfangsrichtung angeordnet sind. Weiterhin ist es möglich, die Form des Bauches von Leitschaufel 4 zu Leitschaufel 4 zu variieren, um die aeroelastische Kopplung besonders effektiv zu stören. Indem die Leitschaufeln 4 gekrümmt ausgeführt sind, variiert der Teilungswinkel 13 nichtlinear über die Schauffelhöhe. Auch in Figur 2 ist der Leitschaufelkranz 2 vollständig aus den Paaren gebildet und auch hier ist denkbar, dass zwischen zwei Paare eine oder eine Mehrzahl an Leitschaufeln 3 angeordnet ist. Ebenso ist denkbar, dass abwechselnd eine gekrümmt ausgeführte Leitschaufel 4 und eine Leitschaufel 3 angeordnet sind.

[0021] In Figur 3 ist jede zweite der Leitschaufeln 3, 4 in dem Leitschaufelkranz 2 im Vergleich zu den entsprechenden Leitschaufeln 3 geneigt. Die derart geneigten Leitschaufeln 4 sind mit ihren Schauffelfüßen 5 abwechselnd in die eine Umfangsrichtung respektive in die andere Umfangsrichtung und mit ihren Schauffelspitzen 6 abwechselnd in die andere Umfangsrichtung respektive in die eine Umfangsrichtung verschoben. In den Figuren 1 bis 3 betragen die Abweichungen der Leitschaufeln 4 gegenüber den Leitschaufeln 3 maximal 10% der verfügbaren Erstreckung der Kanäle 14 in Umfangsrichtung. Die Abweichungen werden erhalten, in dem Profilschnitte der Leitschaufeln 3 in Umfangsrichtung verschoben

werden. Die Profilschnitte der Leitschaufeln 3 können dabei auf einer um die Achse 11 symmetrischen Zylinderfläche oder Kegelfläche, in einer tangentialen Ebene der Axialströmungsmaschine 1 oder auf einer S_1 -Strömungsfläche liegen.

[0022] In Figur 4 ist ein Längsschnitt durch die Axialströmungsmaschine 1 mit einer Hauptströmungsrichtung 21 und mit der erfindungsgemäßen Stufe 22 dargestellt. Die Stufe 22 weist den Leitschaufelkranz 2 und einen stromab von dem Leitschaufelkranz 2 angeordneten Laufschaufelkranz 20 auf. Gezeigt sind jeweils eine Leitschaufel 18 und eine Laufschaufel 19. Ebenfalls dargestellt ist eine Nabe 17, die sich im Betrieb der Axialströmungsmaschine 1 um die Achse 11 dreht. Die Leitschaufel 18 ist an dem Gehäuse 7, die Laufschaufel 19 an der Nabe 17 angebracht. Im Betrieb der Axialströmungsmaschine 1 bildet sich stromab des Leitschaufelkranzes 2 eine Strömung mit einer inhomogenen Geschwindigkeitsverteilung aus. Dadurch ändert sich die Belastung der Laufschaufeln 19 während einer Umdrehung, wodurch ein Flattern der Laufschaufeln 19 vorteilhaft vermindert wird.

[0023] Das Verfahren zum Auslegen einer Stufe 22 für eine Axialströmungsmaschine 1 aufweisend einen Leitschaufelkranz 2 und einen dem Leitschaufelkranz 2 stromab angeordneten Laufschaufelkranz 20 ist bevorzugt wie folgt durchzuführen: Profilieren eines Leitschaufelkranzes 2 mit regelmäßig über den Umfang des Leitschaufelkranzes 2 angeordneten Leitschaufeln 3 gemäß aerodynamischer und mechanischer Randbedingungen; Verschieben von mindestens einem Profilschnitt von mindestens einer der Leitschaufeln 3 in Umfangsrichtung derart, dass der Teilungswinkel 13 für die mindestens eine Leitschaufel 4 und einer ihr benachbart angeordneten Leitschaufel 4 derart über die Schauffelhöhe variiert, dass im Betrieb der Axialströmungsmaschine 1 die dem Leitschaufelkranz 2 stromab ausgebildete Abströmung derart unregelmäßig über den Umfang der Axialströmungsmaschine ausgebildet ist, dass die Schwingungsanregung der Laufschaufeln 19 des Laufschaufelkranzes 20 gering ist; Anpassen des mindestens einen Profilschnitts an die nach dem Verschieben geänderten aerodynamischen Randbedingungen.

[0024] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele 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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Auslegen einer Stufe (22) für eine Axialströmungsmaschine (1) aufweisend einen Leitschaufelkranz (2) und einen dem Leitschaufelkranz (2) stromab angeordneten Laufschaufelkranz (20), mit den Schritten:

- Profilieren eines Leitschaufelkranzes (2) mit regelmäßig über den Umfang des Leitschaufelkranzes (2) angeordneten Leitschaufeln (3) gemäß aerodynamischer und mechanischer Randbedingungen;
 - Verschieben von mindestens einem Profilschnitt von mindestens einer der Leitschaufeln (3) in Umfangsrichtung derart, dass der Teilungswinkel (13) für die mindestens eine Leitschaufel (4) und einer ihr benachbart angeordneten Leitschaufel (4) derart über die Schaufelhöhe variiert, dass im Betrieb der Axialströmungsmaschine (1) die dem Leitschaufelkranz (2) stromab ausgebildete Abströmung derart unregelmäßig über den Umfang der Axialströmungsmaschine ausgebildet ist, dass die Schwingungsanregung der Laufschaufeln (19) des Laufschaufelkranzes (20) gering ist.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Verschieben des mindestens einen Profilschnitts auf einem Verschiebeweg erfolgt, der für jede der beiden benachbart angeordneten Leitschaufeln (4) maximal 10% der Erstreckung des Kanals (14) zwischen den beiden Leitschaufeln (3) in Umfangsrichtung beträgt.
3. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Profilschnitte derart verschoben werden, dass die Leitschaufel (4) gegen eine ihr benachbart angeordnete Leitschaufel (4) geneigt wird.
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Profilschnitte derart verschoben werden, dass mindestens eine von zwei benachbart angeordneten Leitschaufeln (4) gekrümmt ausgeführt wird.
5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Leitschaufeln (4), in denen Profilschnitte verschoben sind, symmetrisch um die Achse (11) der Axialströmungsmaschine verteilt angeordnet werden.
6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Leitschaufeln (3, 4) derart ausgelegt werden, dass keine der Eigenfrequenzen der Laufschaufeln (19) mit der Drehfrequenz der Axialströmungsmaschine (1) oder einem Vielfachen der Drehfrequenz bis einschließlich dem Achtfachen der Drehfrequenz übereinstimmt.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Profilschnitte auf einer Zylinderfläche oder einer Kegelfläche, deren Achsen mit der Achse (11) der Axialströmungsmaschine (1) zusammenfallen, auf einer S_1 -Strömungsfläche oder in einer tangentialen Ebene der Axialströmungsmaschine (1) liegen.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, mit dem Schritt:
- Anpassen des mindestens einen Profilschnitts an die nach dem Verschieben geänderten aerodynamischen Randbedingungen.
9. Stufe für eine Axialströmungsmaschine (1), die mit einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgelegt ist.
10. Axialströmungsmaschine, die eine Stufe (22) gemäß Anspruch 9 aufweist, insbesondere als letzte, stromab liegende Stufe der Axialströmungsmaschine (1).

FIG 1

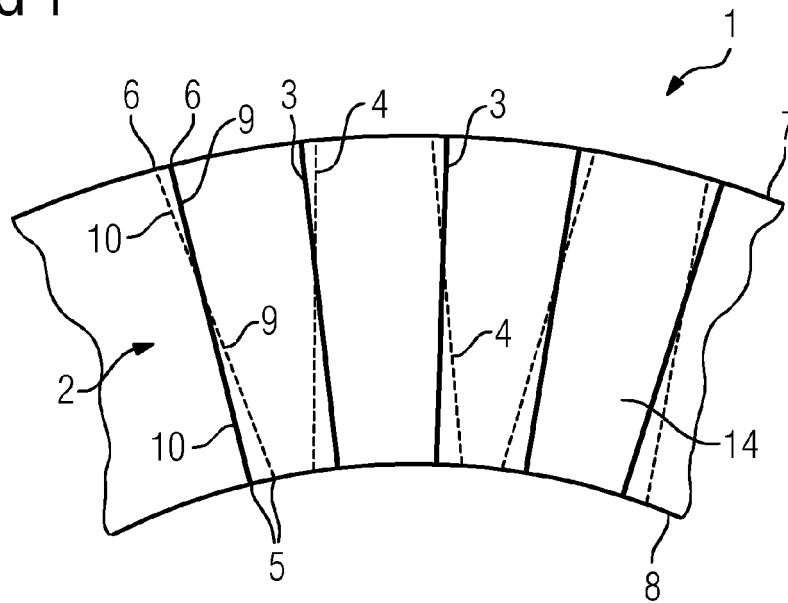


FIG 2

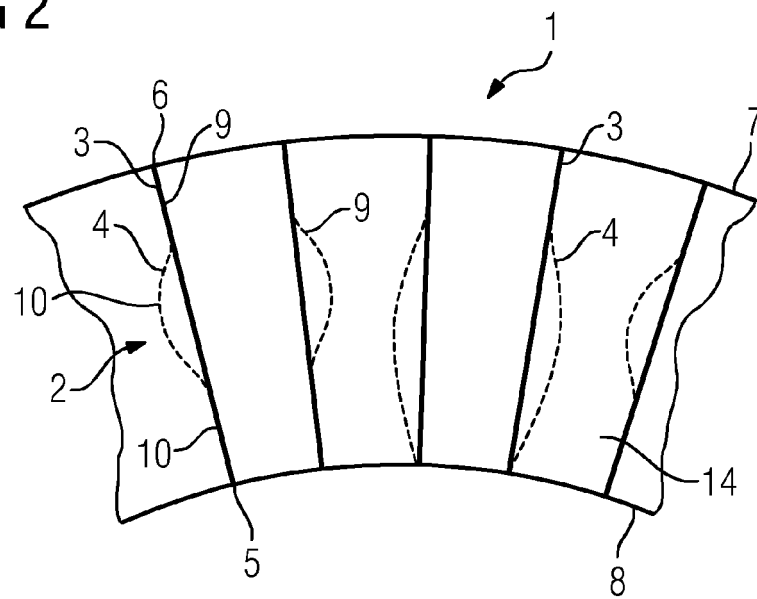


FIG 3

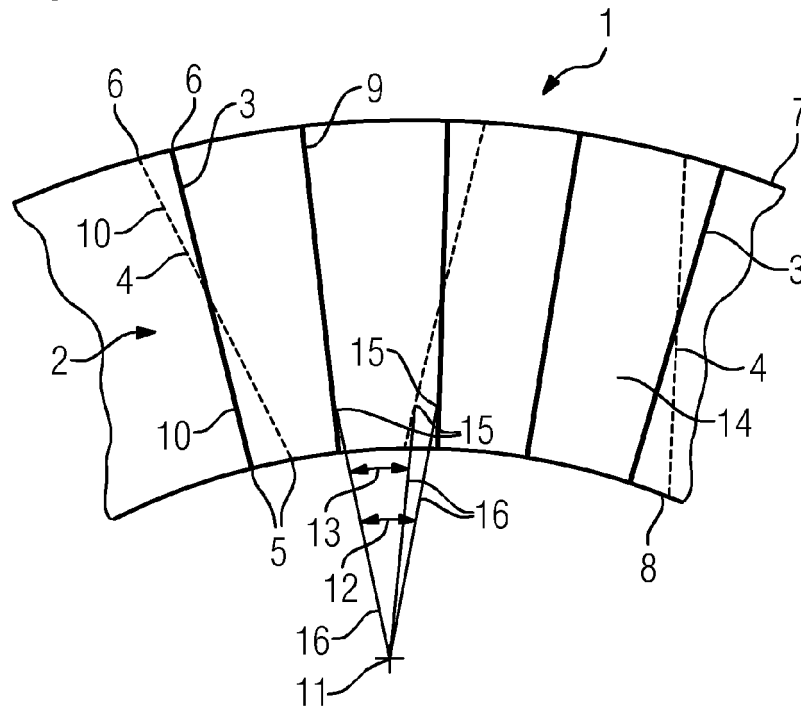
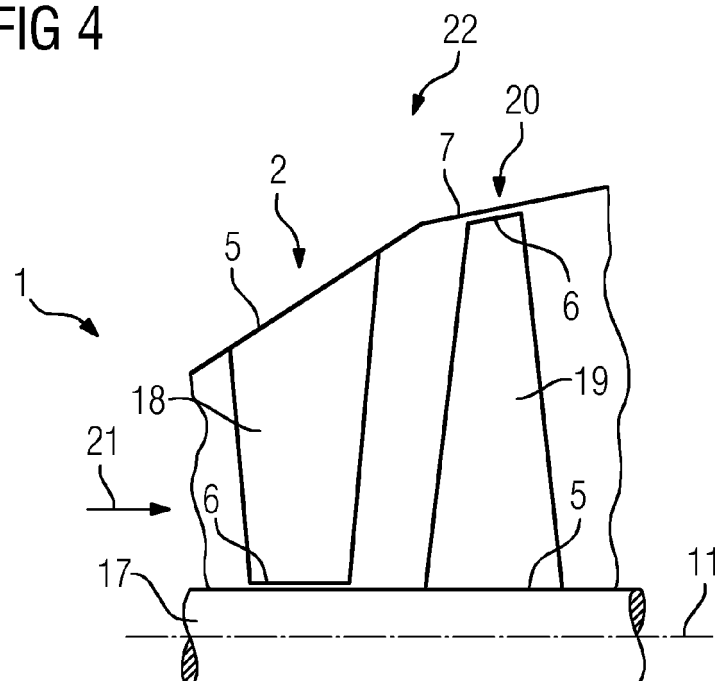


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 16 4299

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2009/169371 A1 (TSUCHIYA NAOKI [JP] ET AL) 2. Juli 2009 (2009-07-02) * Zusammenfassung * * Absatz [0006] - Absatz [0008] * * Absatz [0020] * * Absatz [0068] - Absatz [0071] * * Absatz [0127] - Absatz [0128] * * Abbildungen *	1-10	INV. F01D5/16 F01D5/14
A	US 2010/247310 A1 (KELLY FRANK [CA] ET AL) 30. September 2010 (2010-09-30) * Zusammenfassung * * Absatz [0002] * * Absatz [0014] - Absatz [0015] * * Abbildung 2 *	1-10	
A	DE 10 2009 033618 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 20. Januar 2011 (2011-01-20) * Absatz [0004] * * Absatz [0010] * * Abbildung 1 *	1-10	
A	US 2002/064458 A1 (MONTGOMERY MATTHEW [US] ET AL) 30. Mai 2002 (2002-05-30) * Zusammenfassung * * Absatz [0010] - Absatz [0011] * * Absatz [0036] * * Absatz [0038] * * Abbildungen *	1-10	F01D
A	US 4 253 800 A (SEGAWA YORIHIDE ET AL) 3. März 1981 (1981-03-03) * Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeile 24 - Zeile 41 * * Spalte 3, Zeile 19 - Zeile 45 * * Abbildungen *	1-10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 29. August 2013	Prüfer Mielimonka, Ingo
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 16 4299

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

29-08-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009169371 A1	02-07-2009	KEINE	
US 2010247310 A1	30-09-2010	CA 2697121 A1 US 2010247310 A1	26-09-2010 30-09-2010
DE 102009033618 A1	20-01-2011	KEINE	
US 2002064458 A1	30-05-2002	EP 1211382 A2 JP 2002188404 A US 2002064458 A1	05-06-2002 05-07-2002 30-05-2002
US 4253800 A	03-03-1981	JP S5525555 A US 4253800 A	23-02-1980 03-03-1981

EPO FORM P0461

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