

(19)



(11)

EP 3 088 663 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.11.2016 Patentblatt 2016/44

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) **F01D 5/16** (2006.01)
F04D 29/32 (2006.01) **F04D 29/54** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15165330.0**

(22) Anmeldetag: **28.04.2015**

(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

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

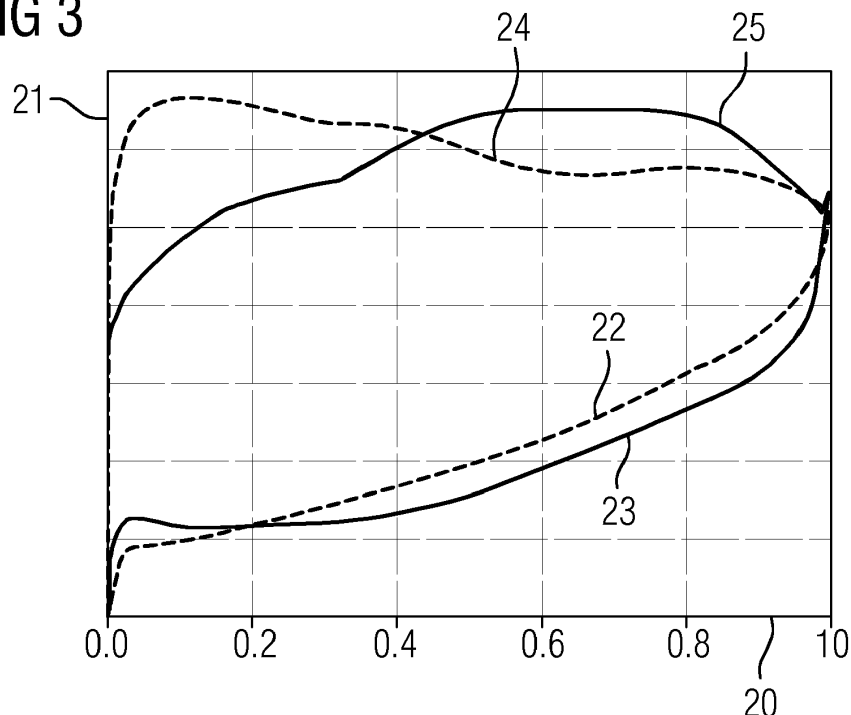
(72) Erfinder:
• **Peeren, Christian**
47918 Tönisvorst (DE)
• **Schmitt, Stefan**
45481 Mülheim an der Ruhr (DE)
• **Waltke, Ulrich**
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)

(54) VERFAHREN ZUM PROFILIEREN EINER SCHAUFEL

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Profilieren einer Schaufel (14, 15) für eine Axialströmungsmaschine mit den Schritten: Bereitstellen eines geometrischen Modells eines Schaufelprofils, das eine Skelettlinie (3) eines Profilschnitts der Schaufel (14, 15) aufweist; Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel (14, 15) umströmende Strömung; Verändern der Skelettlinie (3) derart, dass die anhand der Randbe-

dingungen sich einstellende Strömung das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl (22 bis 25) zwischen der Druckseite und der Saugseite der Schaufel (14, 15) in einem Schaufelabschnitt verursacht, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante (5) in Richtung zu der Schaufelvorderkante (4) erstreckt und 65% der Länge S der Schaufelsehne lang ist.

FIG 3



EP 3 088 663 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Profilieren einer Schaufel für eine Axialströmungsmaschine.

[0002] Der Trend bei der Auslegung von Schaufeln für eine Axialströmungsmaschine geht dahin, das Aspektverhältnis der Schaufeln zu erhöhen und die Schaufeln dünner auszuführen. Die derart ausgelegten Schaufeln neigen dazu im Betrieb der Axialströmungsmaschine zu flattern. Bei dem Flattern handelt es sich um eine selbst-erregte Schwingung bei der Eigenfrequenz der Schaufel. Bei dieser Schwingung kann es sich um eine Longitudinalschwingung der Schaufel mit einem Schwingungsknoten an dem Fuß der Schaufel handeln. Dabei wird Energie von dem in der Axialströmungsmaschine strömenden Fluid auf die Schaufel übertragen. Das Flattern kann bei einem wiederholten Lastwechsel der Axialströmungsmaschine zu einer Materialermüdung der Schaufel führen (englisch: high cycle fatigue). Die Materialermüdung kann zu der Bildung eines Risses führen und einen kostenintensiven Tausch der Schaufel erforderlich machen.

[0003] Herkömmlich wird das Flattern unterbunden, indem die auf die Schaufel wirkende Last vermindert wird. Dies führt jedoch nachteilig zu einer Verminderung des Wirkungsgrades der Axialströmungsmaschine. Außerdem werden herkömmlich Dämpfungselemente vorgesehen, wie beispielsweise ein Deckband, was das Flattern der Schaufeln dämpft. Dies stellt jedoch eine konstruktiv aufwändige Lösung dar. Daher wäre es wünschenswert die Schaufel derart auszulegen, dass sie im Betrieb der Axialströmungsmaschine nicht zum Flattern neigt.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zum Profilieren einer Schaufel für eine Axialströmungsmaschine zu schaffen, bei dem die Schaufel wenig zum Flattern neigt.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Profilieren einer Schaufel für eine Axialströmungsmaschine weist die Schritte auf: Bereitstellen eines geometrischen Modells eines Schaufelprofils, das eine Skelettlinie eines Profilschnitts der Schaufel aufweist; Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel umströmende Strömung; Verändern der Skelettlinie derart, dass die anhand der Randbedingungen sich einstellende Strömung das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl zwischen der Druckseite und der Saugseite der Schaufel in einem Schaufelabschnitt verursacht, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante in Richtung zu der Schaufelvorderkante erstreckt und 65% der Länge S der Schaufelsehne lang ist. Die Skelettlinie ist diejenige Linie des Profilschnitts, deren Punkte den gleichen Abstand von der Druckseite wie von der Saugseite haben. Die Schaufelsehne bezeichnet die Strecke in dem Profilschnitt von der Schaufelvorderkante bis zu der Schaufelhinterkante. Rechnungen haben gezeigt, dass, wenn das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl in dem erfindungsgemäßen Schaufelabschnitt angeordnet

ist, sich die instationäre Druckverteilung derart verändert, dass lokale dämpfende Bereiche und lokale anregende Bereiche sich weitestgehend kompensieren. Dadurch neigen die derart ausgelegten Schaufeln wesentlich weniger zum Flattern als herkömmlich ausgelegte Schaufeln. Durch die geringe Neigung zum Flattern können die Schaufeln stärker als die herkömmlich ausgelegten Schaufeln belastet werden. Zudem brauchen zusätzliche Dämpfungselemente, wie beispielsweise ein Deckband, vorteilhaft nicht vorgesehen werden.

[0006] Die Skelettlinie wird bevorzugt gebildet von einem erstem Polynom vierten Grades, das die Skelettlinie von der Schaufelvorderkante bis zu einem Extrempunkt beschreibt, und einem zweiten Polynom vierten Grades, das die Skelettlinie von dem Extrempunkt bis zu der Schaufelhinterkante beschreibt, wobei der Extrempunkt derjenige Punkt der Skelettlinie ist, der den maximalen Abstand zu der Schaufelsehne hat. Der Abstand bezeichnet die Länge einer sich rechtwinklig von der Schaufelsehne bis zu der Skelettlinie erstreckende Strecke. Es ist bevorzugt, dass das erste Polynom gebildet wird unter Heranziehen eines Vorderkantenskelett winkels, der der Winkel zwischen der Vorderkantentangente der Skelettlinie und der Schaufelsehne ist, der Länge x_{S1} von der Schaufelvorderkante bis dem Punkt der Schaufelsehne, der den maximalen Abstand zu der Skelettlinie hat, und der Länge S_1 , die der Abstand von dem Extrempunkt bis zu der Schaufelsehne ist, wobei das zweite Polynom gebildet wird unter Heranziehen eines Hinterkantenskelett winkels, der der Winkel zwischen der Hinterkantentangente der Skelettlinie und der Schaufelsehne ist, der Länge $S-x_{S1}$ von der Schaufelhinterkante bis zu dem Punkt der Schaufelsehne, der den maximalen Abstand zu der Skelettlinie hat, und der Länge S_2 , die der Abstand von der Skelettlinie bis zu dem Punkt der Schaufelsehne ist, der den Abstand $x_{S1}+0,5 \cdot (S-x_{S1})$ von der Schaufelhinterkante hat, wobei S die Länge der Schaufelsehne ist. Wenn für den Extrempunkt eine Steigung von Null angenommen wird, sind anhand dieser Parameter das erste Polynom und das zweite Polynom ausreichend bestimmt.

[0007] Es ist bevorzugt, dass die Skelettlinie derart verändert wird, dass S_1 von 10,3% bis 11,3% der Länge S beträgt, x_{S1} von 35,1% bis 38,4% der Länge S der Schaufelsehne beträgt, S_2 von 64,8% bis 67,9% der Länge S_1 beträgt, der Hinterkantenskelett winkel von 15,192° bis 19,020° beträgt und der Vorderkantenskelett winkel von 37,663° bis 39,256° beträgt. Anhand dieser Parameter ist vorteilhaft sichergestellt, dass die Schaufel nur eine geringe Neigung zum Flattern aufweist. Die Skelettlinie wird bevorzugt derart verändert, dass S_1 10,8% der Länge S, x_{S1} 36,8% der Länge S beträgt, S_2 66,3% der Länge S_1 beträgt, der Vorderkantenskelett winkel 17,106° beträgt und der Hinterkantenskelett winkel 38,460° beträgt. Anhand dieser Parameter wird vorteilhaft erreicht, dass die Schaufel eine besonders geringe Neigung zum Flattern hat.

[0008] Es ist bevorzugt, dass das geometrische Modell

eine sich entlang der Skelettlinie variierende Dicke aufweist, die während dem Verändern der Skelettlinie gleich gelassen wird. Hier wird vorteilhaft nur die Skelettlinie verändert, um die Neigung der Schaufel zum Flattern zu vermindern, was vorteilhaft ein einfaches Verfahren mit nur wenigen zu verändernden Parametern darstellt.

[0009] Es ist bevorzugt, dass die Randbedingungen der Strömung sich aus der Nennbetriebsbedingung der Axialströmungsmaschine ergeben. Die isentropen Machzahlen werden bevorzugt experimentell bestimmt und/oder rechnerisch bestimmt. Es ist bevorzugt, dass das Verfahren für verschiedene Profilschnitte der Schaufel wiederholt wird. Dadurch erfolgt eine Auslegung der Schaufel entlang deren Höhe. Der Profilschnitt liegt bevorzugt 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.

[0010] Im Folgenden wird anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 ein geometrisches Modell eines Profilschnitts,

Figur 2 jeweils einen Profilschnitt einer herkömmlichen und einer erfindungsgemäß ausgelegten Schaufel,

Figur 3 jeweils eine Auftragung eines isentropen Machzahlverlaufs einer herkömmlichen und einer erfindungsgemäß ausgelegten Schaufel und

Figur 4 jeweils einen Dämpfungswertverlauf einer herkömmlichen und einer erfindungsgemäß ausgelegten Schaufel.

[0011] Figur 1 zeigt ein geometrisches Modell eines Profilschnitts einer Schaufel für eine Axialströmungsmaschine. Der Profilschnitt liegt beispielsweise 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.

[0012] Wie es aus Figur 1 ersichtlich ist, weist das geometrische Modell eine gekrümmte Skelettlinie 3 auf, die diejenige Linie des Profilschnitts ist, deren Punkte den gleichen Abstand von der Druckseite wie von der Saugseite der Schaufel haben. Weiterhin ist es aus Figur 1 ersichtlich, dass die Schaufel eine Schaufelvorderkante 4 und eine Schaufelhinterkante 5 hat. Die Schaufelvorderkante 4 und die Schaufelhinterkante 5 begrenzen die Skelettlinie 3. Die Strecke zwischen der Schaufelvorderkante 4 und der Schaufelhinterkante 5 ist die Schaufelsehne 13. Das geometrische Modell ist in Figur 1 in einer Auftragung eingezeichnet, deren Abszisse 1 mit der

Schufelsehne 13 zusammenfällt und über deren Ordinate der Abstand der Skelettlinie 3 von der Schaufelsehne 13 aufgetragen ist. Der Abstand bezeichnet die Länge einer sich rechtwinklig von der Schaufelsehne 13 bis zu der Skelettlinie erstreckende Strecke. Das Koordinatensystem in Figur 1 ist derart gewählt, dass die Schaufelvorderkante 4 mit dem Ursprung des Koordinatensystems zusammenfällt. Die Schaufelhinterkante 5 liegt in dem Punkt $(S,0)$, wobei S die Länge der Schaufelsehne 13 ist.

[0013] Die Skelettlinie 3 wird gebildet von einem ersten Polynom 11 vierten Grades und einem zweiten Polynom 12 vierten Grades. Das erste Polynom 11 beschreibt die Skelettlinie 3 von der Schaufelvorderkante 4 bis zu einem Extrempunkt 30. Der Extrempunkt 30 ist derjenige Punkt der Skelettlinie 3, der den maximalen Abstand von der Schaufelsehne 13 hat. Das zweite Polynom 12 beschreibt die Skelettlinie 3 von dem Extrempunkt 30 bis zu der Schaufelhinterkante 5. Ebenfalls eingezeichnet ist in Figur 1 eine Vorderkantentangente 7, die die Tangente der Skelettlinie 3 an der Schaufelvorderkante 4 ist. Die Vorderkantentangente 7 schließt mit der Schaufelsehne 13 einen Vorderkantenskelettwinkel LESA ein. Weiterhin ist in Figur 1 eine Hinterkantentangente 8 eingezeichnet, die die Tangente der Skelettlinie 3 an der Schaufelhinterkante 5 ist. Die Hinterkantentangente 8 schließt mit der Schaufelsehne 13 einen Hinterkantenskelettwinkel TESA ein.

[0014] Das erste Polynom 11 wird gebildet durch Wählen des Vorderkantenskelett winkels LESA, der Länge x_{S1} von der Schaufelvorderkante 4 bis zu dem Punkt $(x_{S1},0)$ auf der Schaufelsehne 13, der den maximalen Abstand zu der Skelettlinie 13 hat, und der Länge S_1 , die der Abstand von dem Punkt $(x_{S1},0)$ bis zu dem Extrempunkt 30 ist. Dadurch, dass die Steigung des Extrempunktes 30 Null beträgt und die Schaufelvorderkante 4 im Ursprung des Koordinatensystems liegt, ist das erste Polynom 11 ausreichend bestimmt. Das zweite Polynom 12 wird gebildet durch Wählen des Hinterkantenskelett winkels TESA, der Länge $S-x_{S1}$ von der Schaufelhinterkante 5 bis zu dem Punkt $(x_{S1},0)$ auf der Schaufelsehne 13, und der Länge S_2 , die der Abstand von dem Punkt $(x_{S1}+0,5*(S-x_{S1}),0)$ bis zu Skelettlinie 3 ist. Dadurch, dass die Steigung des Extrempunktes 30 Null beträgt und die Schaufelhinterkante 5 in dem Punkt $(S,0)$ liegt, ist das zweite Polynom 12 ausreichend bestimmt.

[0015] Bei dem Verfahren zum Profilieren der Schaufel wird das geometrische Modell des Schaufelprofils bereitgestellt, wie für Figur 1 beschrieben. Es werden Randbedingungen für eine die Schaufel umströmende Strömung bereitgestellt. Die Randbedingungen können sich beispielsweise aus der Nennbetriebsbedingung der Axialströmungsmaschine ergeben. Die Skelettlinie 3 wird derart verändert, dass die anhand der Randbedingungen sich einstellende Strömung das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl 22 bis 25 zwischen der Druckseite und der Saugseite der Schaufel 14, 15 in einem Schaufelabschnitt verursacht, der sich ausgehend von

der Schaufelhinterkante 5 in Richtung zu der Schaufelvorderkante 4 erstreckt und 65% der Länge S der Schaufelsehne lang ist.

[0016] Figur 2 zeigt eine Schaufel 14, welche herkömmlich ausgelegt ist, und eine Schaufel 15, welche erfindungsgemäß ausgelegt ist. Die herkömmlich ausgelegte Schaufel 14 hat eine Schaufelvorderkante 16 und eine Schaufelhinterkante 18. Nach dem Verändern der Skelettlinie 3 ergibt sich die erfindungsgemäß ausgelegte Schaufel 15. Die erfindungsgemäß ausgelegte Schaufel 15 hat eine Schaufelvorderkante 17 und eine Schaufelhinterkante 19. Aus Figur 2 ist ersichtlich, dass die erfindungsgemäß ausgelegte Schaufel 15 nach dem Verändern der Skelettlinie 3 eine stärker gekrümmte Skelettlinie 3 als die herkömmlich ausgelegte Schaufel 14 hat.

[0017] Um zu erreichen, dass sich das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl in dem erfindungsgemäßen Schaufelabschnitt befindet, können die das erste Polynom 11 und zweite Polynom 12 beschreibenden Parameter beispielsweise folgende Werte annehmen:

	Mittelwert	Untergrenze	Obergrenze
S_1/S	0,108	0,113	0,103
X_{S1}/S	0,368	0,384	0,351
S_2/S_1	0,663	0,679	0,648
TESA/°	17,106	19,020	15,192
LESA/°	38,460	39,256	37,663

[0018] Figur 3 zeigt eine Auftragung, über deren Abszisse 20 die Länge der Schaufelsehne 13 und über deren Ordinate 21 die isentrope Machzahl aufgetragen ist. Figur 3 zeigt einen Machzahlverlauf 22 an der Druckseite und einen Machzahlverlauf 24 an der Saugseite der herkömmlich ausgelegten Schaufel 14. Ebenfalls dargestellt ist ein Machzahlverlauf 23 an der Druckseite und ein Machzahlverlauf 25 an der Saugseite der erfindungsgemäß ausgelegten Schaufel 15. Die Machzahlverläufe 22 bis 25 wurden rechnerisch bestimmt. Dazu wurden die Navier-Stokes Gleichungen für den stationären Zustand des gegebenen Problems gelöst.

[0019] Die Machzahlverläufe 22 bis 25 zeigen, dass für die herkömmlich ausgelegte Schaufel die Differenz der Machzahlverläufe 25 und 23 im vorderen Bereich der Schaufel 14 größer ist als im hinteren Bereich der Schaufel 14. Dahingegen ist die Differenz der Machzahlverläufe 24 und 22 für die erfindungsgemäß profilierte Schaufel 15 im hinteren Bereich der Schaufel 15 größer als im vorderen Bereich der Schaufel 15. Das Maximum der Differenz der erfindungsgemäß ausgelegten Schaufel 15 befindet sich im Wesentlichen bei einer Länge der Schaufelsehne 13 von $0,5 \cdot S$.

[0020] Figur 4 zeigt eine Auftragung, bei der über die Abszisse 25 der Phasenwinkel zwischen zwei benachbarten Schaufeln (englisch: Interblade Phase Angle) auf-

getragen ist. Über die Ordinate 26 der Figur 4 ist ein aerodynamischer Dämpfungswert aufgetragen. Ebenfalls eingezeichnet ist eine Nulllinie 27, bei der der aerodynamische Dämpfungswert den Wert Null annimmt. Um zu bestimmen, ob die Schaufel gedämpft oder angeregt wird, werden für jeden Phasendifferenzwinkel die linearisierten Navier-Stokes Gleichungen gelöst und der aerodynamische Dämpfungswert berechnet. Figur 4 zeigt einen Dämpfungswertverlauf 28 für die herkömmlich ausgelegte Schaufel 14 und einen Dämpfungswertverlauf 29 für die erfindungsgemäß ausgelegte Schaufel 15. Der Dämpfungswertverlauf 28 nimmt auch negative Werte an, was bedeutet, dass die herkömmlich ausgelegte Schaufel 14 im Betrieb der Axialströmungsmaschine eine selbsterregte Flatterschwingung hat. Der Dämpfungswertverlauf 29 hat jedoch für alle Phasendifferenzwinkel einen positiven Wert, was bedeutet, dass die erfindungsgemäß ausgelegte Schaufel 15 im Betrieb der Axialströmungsmaschine keine selbsterregte Flatterschwingung hat.

[0021] Es ist bevorzugt, dass die Schaufel eine Leitschaufel oder eine Laufschaufel ist. Die Axialströmungsmaschine ist bevorzugt eine Gasturbine, eine Dampfturbine oder ein Verdichter.

[0022] 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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Profilieren einer Schaufel (14, 15) für eine Axialströmungsmaschine mit den Schritten:

- Bereitstellen eines geometrischen Modells eines Schaufelprofils, das eine Skelettlinie (3) eines Profilschnitts der Schaufel (14, 15) aufweist;
- Festlegen von Randbedingungen für eine die Schaufel (14, 15) umströmende Strömung;
- Verändern der Skelettlinie (3) derart, dass die anhand der Randbedingungen sich einstellende Strömung das Maximum der Differenz der isentropen Machzahl (22 bis 25) zwischen der Druckseite und der Saugseite der Schaufel (14, 15) in einem Schaufelabschnitt verursacht, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante (5) in Richtung zu der Schaufelvorderkante (4) erstreckt und 65% der Länge S der Schaufelsehne lang ist.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Skelettlinie (3) gebildet wird von einem erstem Polynom (11) vierten Grades, das die Skelettlinie (3) von der Schaufelvorderkante (4) bis zu einem Extrempunkt (30) beschreibt, und einem

- zweiten Polynom (12) vierten Grades, das die Skelettlinie (3) von dem Extrempunkt (30) bis zu der Schaufelhinterkante (5) beschreibt, wobei der Extrempunkt (30) derjenige Punkt der Skelettlinie (3) ist, der den maximalen Abstand zu der Schaufelsehne (13) hat.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei das erste Polynom (11) gebildet wird unter Heranziehen eines Vorderkantenskelett winkels (LE-SA), der der Winkel zwischen der Vorderkantentangente (7) der Skelettlinie (3) und der Schaufelsehne (13) ist, der Länge x_{S1} von der Schaufelvorderkante (4) bis dem Punkt der Schaufelsehne (13), der den maximalen Abstand zu der Skelettlinie (3) hat, und der Länge S_1 , die der Abstand von dem Extrempunkt (30) bis zu der Schaufelsehne ist, wobei das zweite Polynom (12) gebildet wird unter Heranziehen eines Hinterkantenskelett winkels (TE-SA), der der Winkel zwischen der Hinterkantentangente (8) der Skelettlinie (3) und der Schaufelsehne (13) ist, der Länge $S-x_{S1}$ von der Schaufelhinterkante (5) bis zu dem Punkt der Schaufelsehne (13), der den maximalen Abstand zu der Skelettlinie (3) hat, und der Länge S_2 , die der Abstand von der Skelettlinie (3) bis zu dem Punkt der Schaufelsehne (13) ist, der den Abstand $x_{S1}+0,5*(S-x_{S1})$ von der Schaufelhinterkante (5) hat, wobei S die Länge der Schaufelsehne ist.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei die Skelettlinie derart verändert wird, dass S_1 von 10,3% bis 11,3% der Länge S beträgt, x_{S1} von 35,1% bis 38,4% der Länge S beträgt, S_2 von 64,8% bis 67,9% der Länge S_1 beträgt, der Hinterkantenskelett winkel von 15, 192° bis 19, 020° beträgt und der Vorderkantenskelett winkel von 37, 663° bis 39, 256° beträgt.
5. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei die Skelettlinie derart verändert wird, dass S_1 10,8% der Länge S beträgt, x_{S1} 36,8% der Länge S beträgt, S_2 66,3% der Länge S_1 beträgt, der Vorderkantenskelett winkel 17, 106° beträgt und der Hinterkantenskelett winkel 38, 460° beträgt.
6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das geometrische Modell eine sich entlang der Skelettlinie (3) variierende Dicke aufweist, die während dem Verändern der Skelettlinie (3) gleich gelassen wird.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Randbedingungen der Strömung sich aus der Nennbetriebsbedingung der Axialströmungsmaschine ergeben.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die isentropen Machzahlen experimentell bestimmt werden und/oder rechnerisch bestimmt werden.
9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Verfahren für verschiedene Profilschnitte der Schaufel (14, 15) wiederholt wird.
10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Profilschnitt 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 liegt.
11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Schaufel (14, 15) eine Leitschaufel oder eine Laufschaufel ist.
12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Axialströmungsmaschine eine Gasturbine, eine Dampfturbine oder ein Verdichter ist.

FIG 1

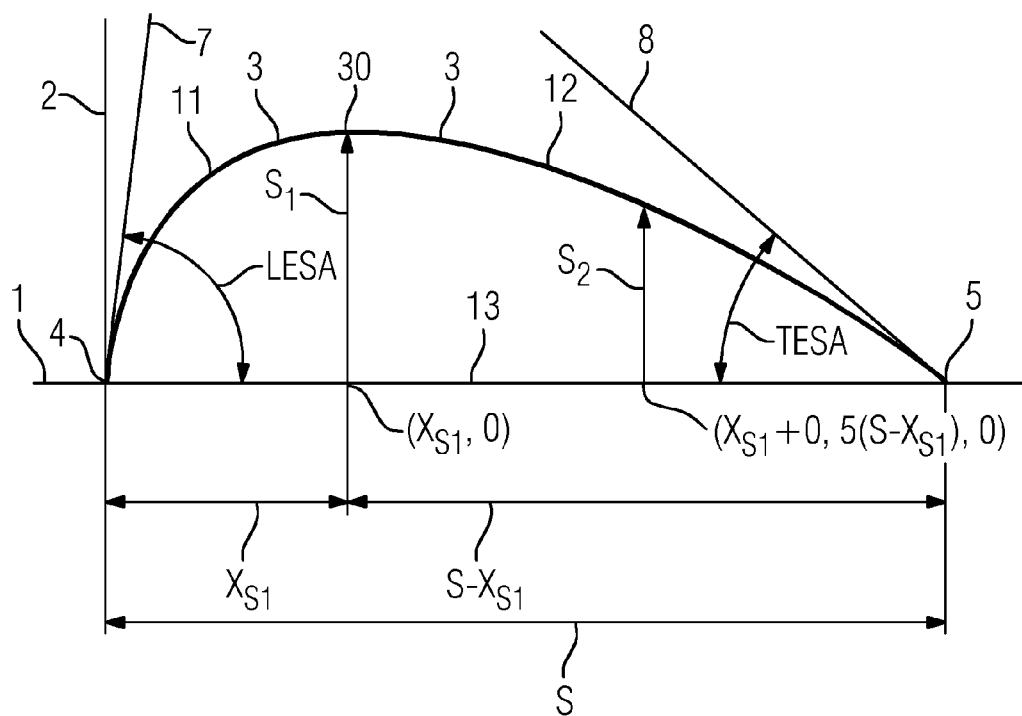


FIG 2

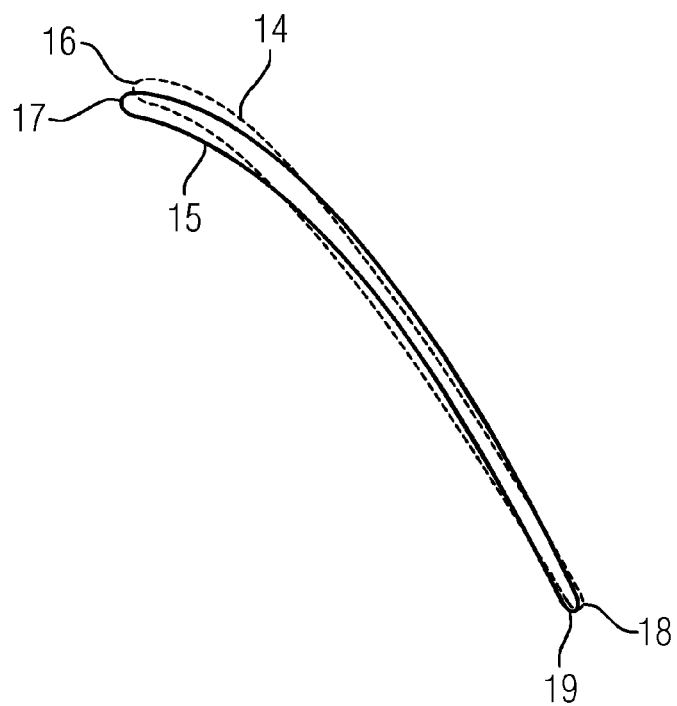


FIG 3

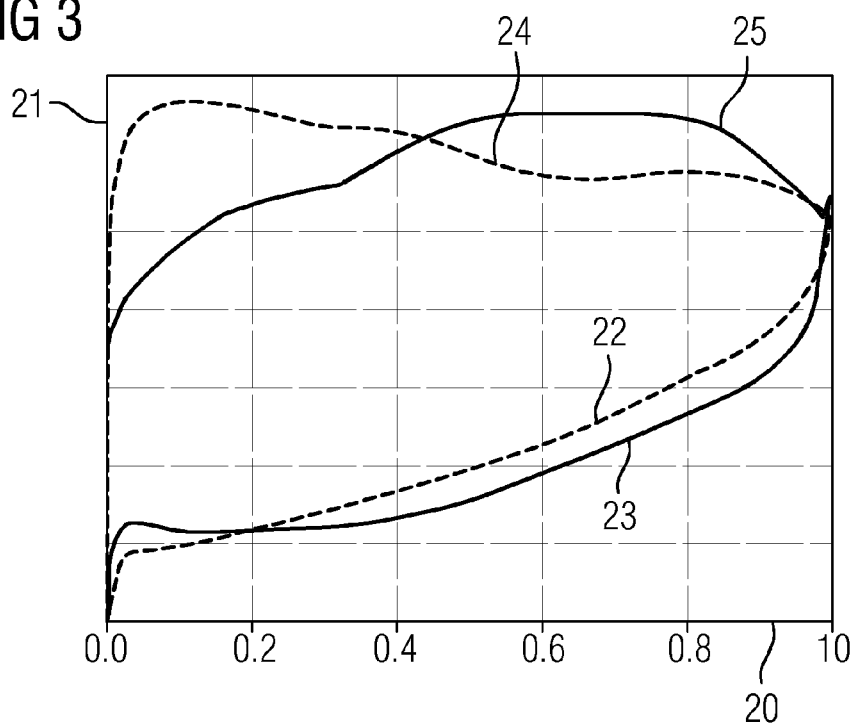
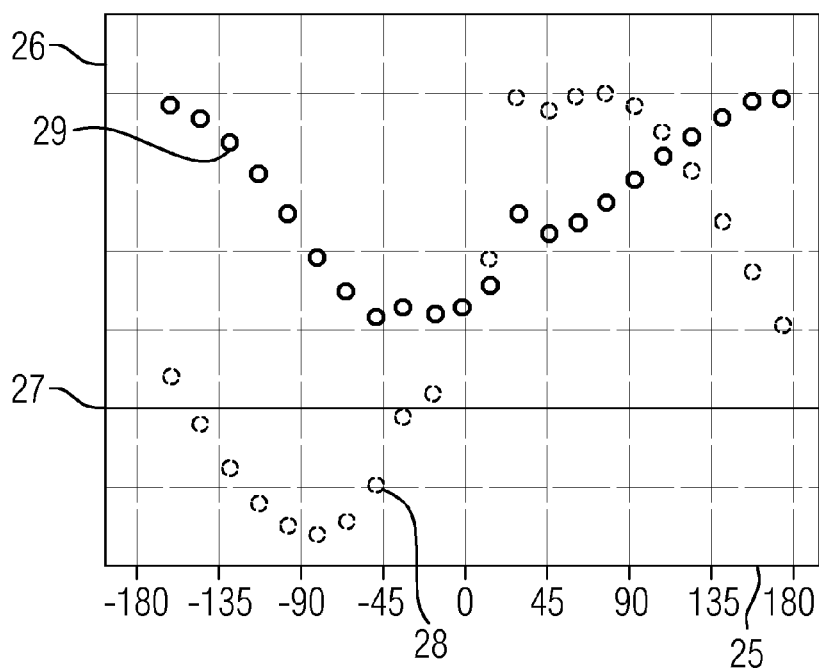


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 16 5330

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2013/178914 A1 (SNECMA [FR]) 5. Dezember 2013 (2013-12-05) * Seite 2, Zeile 17 - Zeile 23 * * Abbildungen 1,3,4 * -----	1-12	INV. F01D5/14 F01D5/16 F04D29/32 F04D29/54
X	EP 2 299 124 A1 (SIEMENS AG [DE]; DLR EV [DE]) 23. März 2011 (2011-03-23) * Absatz [0042] - Absatz [0043] * * Abbildungen 3-5 * -----	1-12	
X	EP 2 360 377 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 24. August 2011 (2011-08-24) * Abbildungen 15-16 * -----	1-12	
X	DE 10 2005 025213 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) * Abbildungen 6,8 * -----	1-12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 2. Oktober 2015	Prüfer Rapenne, Lionel
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	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 15 16 5330

5 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.

02-10-2015

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 2013178914	A1	05-12-2013	CA	2873942 A1	05-12-2013
				CN	104364473 A	18-02-2015
				EP	2855847 A1	08-04-2015
15				FR	2991373 A1	06-12-2013
				US	2015152880 A1	04-06-2015
				WO	2013178914 A1	05-12-2013

	EP 2299124	A1	23-03-2011	CN	102483072 A	30-05-2012
20				EP	2299124 A1	23-03-2011
				EP	2473743 A1	11-07-2012
				JP	5678066 B2	25-02-2015
				JP	2013503999 A	04-02-2013
				RU	2012112930 A	10-10-2013
25				US	2012230834 A1	13-09-2012
				WO	2011026714 A1	10-03-2011

	EP 2360377	A2	24-08-2011	EP	2360377 A2	24-08-2011
				US	2011206527 A1	25-08-2011

30	DE 102005025213	A1	07-12-2006	DE	102005025213 A1	07-12-2006
				JP	4537951 B2	08-09-2010
				JP	2006336637 A	14-12-2006
				US	2006275134 A1	07-12-2006

35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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