



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.05.2023 Patentblatt 2023/21

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22202319.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 5/20; F05D 2240/307; F05D 2260/941

(22) Anmeldetag: **18.10.2022**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

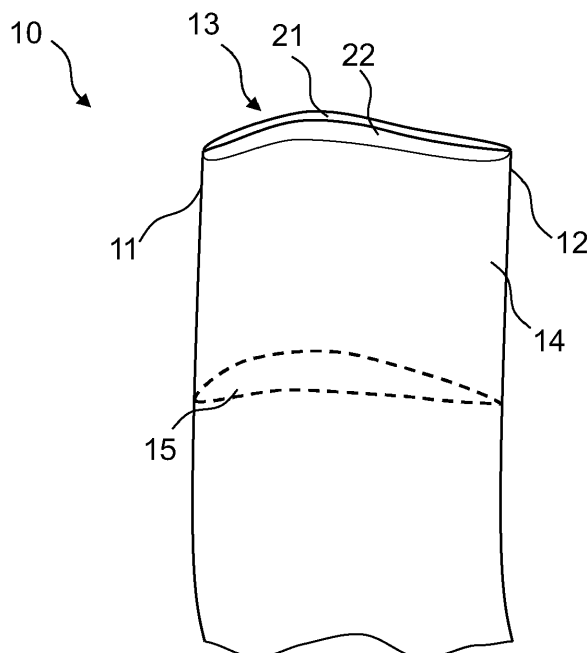
(72) Erfinder:
• **Stettner, Axel**
80995 München (DE)
• **Koellmann, Ulf**
80995 München (DE)

(30) Priorität: **23.11.2021 DE 102021130682**

(54) **SCHAUFELBLATT FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt (10) sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Schaufelblatts für eine Strömungsmaschine, aufweisend eine Vorderkante (11) und eine Hinterkante (12), welche durch eine Saugseite (13) und eine Druckseite (14) miteinander verbunden sind und welches sich in wenigstens einem Bereich gekrümmt von einem Schaufelblattfuß bis zu einer Schaufelblattspitze (21) erstreckt, wobei die Schaufelblattspitze (21) einen Squealer-Tip (22) aufweist, welcher an der Schaufelblattspitze (21) angeordnet ist.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine, aufweisend eine Vorderkante und eine Hinterkante, welche durch eine Saugseite und eine Druckseite miteinander verbunden sind und welches sich in wenigstens einem Bereich gekrümmt von einem Schaufelblattfuß bis zu einer Schaufelblattspitze erstreckt. Des Weiteren betrifft die Erfindung einen Verdichter mit einem solchen Schaufelblatt sowie eine Strömungsmaschine.

[0002] Es ist bekannt, dass zu einer Reduzierung verschiedenartiger Strömungsverluste bei einer Auslegung eines dreidimensionalen Schaufelblatts beispielsweise ein Schaufelprofil, eine Neigung bzw. Biegung des Schaufelblatts in Umfangsrichtung oder eine Verdrehung des Schaufelblatts anwendbar sind. Zudem ist bekannt, dass Schaufelspitzen von Schaufelblättern in Strömungsmaschinen, beispielsweise von Laufschaufeln in Flugzeugtriebwerken, regelmäßig Schwingspannungen ausgesetzt sind. Diese Schwingspannungen können beispielsweise Risse entweder in einer spitzenseitigen Panzerung und/oder im Schaufelblattkörper hervorrufen. Zur Reduzierung von Schwingspannungen in den Schaufelspitzen ist bekannt, Schaufelspitzen gegenüber benachbarten Blattabschnitten querschnittsverjüngt auszubilden. Solche als "Squealer-Tip" bezeichnete Schaufelspitzen sind in vielfachen Ausführungen bekannt und können beispielsweise druckseitig oder saugseitig ausgebildet sein.

[0003] Hiervon ausgehend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine anzugeben, welches insbesondere ein verbessertes Schwingspannungsverhalten aufweist. Dies wird erfindungsgemäß durch die Lehre der unabhängigen Ansprüche erreicht. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0004] Zur Lösung der Aufgabe wird in einem ersten Aspekt der Erfindung ein Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine vorgeschlagen, welches eine Vorderkante und eine Hinterkante aufweist, welche durch eine Saugseite und eine Druckseite miteinander verbunden sind und welches sich in wenigstens einem Bereich gekrümmt von einem Schaufelblattfuß bis zu einer Schaufelblattspitze erstreckt. Die Schaufelblattspitze weist dabei einen Squealer-Tip auf, welcher entlang einer Schwerkurve an der Schaufelblattspitze angeordnet ist, wobei die Schwerkurve durch die Schwerachsen des Schaufelblatts verläuft.

[0005] Ein gekrümmter Bereich eines Schaufelblatts kann beispielsweise eine Krümmung, Biegung oder Neigung einer Druckseite bzw. einer Wandung der Druckseite oder einer Saugseite bzw. einer Wandung der Saugseite in einer Längs- und/oder Quererstreckung aufweisen. Eine solche Krümmung kann auf einer Verwindung oder Verdrehung des Schaufelblatts um eine seiner Achsen und/oder einer, insbesondere kontinuier-

lichen Änderung von Querschnittsprofilen des Schaufelblatts über dessen Höhe beruhen. Beispielsweise kann sich eine Profildicke des Schaufelblatts bei gleichbleibender Sehnenlänge ändern, voneinander beabstandete Querschnittsprofile können gegeneinander verdreht sein oder ein Kantenwinkel weist über die Schaufelblatthöhe eine Veränderung auf.

[0006] Ein Squealer-Tip ist insbesondere ein querschnittsverjüngter Bereich der Schaufelblattspitze, der beispielsweise durch eine saugseitige Verjüngung und/oder eine druckseitige Verjüngung der Schaufelblattspitze gebildet sein kann. Eine solche Verjüngung kann insbesondere durch Abtragen von Material oder eine Einschnürung im Bereich der Schaufelblattspitze geschaffen werden, wobei ein davon abgewandter Bereich der Schaufelblattspitze unverändert verbleibt. Der Squealer-Tip weist eine Höhe in axialer Richtung des Schaufelblatts, eine Längserstreckung zwischen Vorderkante und Hinterkante des Schaufelblatts sowie eine Breite zwischen einer saugseitigen Flanke und einer druckseitigen Flanke des Squealer-Tips auf. Der Querschnitt in Bezug auf die Höhe und die Breite des Squealer-Tips bzw. die Größe(n) der jeweiligen Verjüngung(en) bestimmen sich aus der Geometrie und den Anforderungen an das Schaufelblatt insbesondere hinsichtlich auftretender Schwingspannungen im Betrieb. Die Auslegung eines Squealer-Tips in Hinblick auf dessen Querschnitt ist nicht Schwerpunkt der vorliegenden Erfindung und wird entsprechend nur am Rande thematisiert.

[0007] Bei einer Ausführungsform kann in wenigstens einem Bereich einer Längserstreckung des Squealer-Tips, also entlang der Schaufelblattspitze, eine saugseitige Verjüngung in dem Schaufelblatt vorgesehen sein, wobei eine Druckseitenwandung des Schaufelblatts die druckseitige Flanke des Squealer-Tips ausbildet. Außerdem kann in wenigstens einem weiteren Bereich einer Längserstreckung des Squealer-Tips eine druckseitige Verjüngung in dem Schaufelblatt vorgesehen sein, wobei eine Saugseitenwandung des Schaufelblatts die saugseitige Flanke des Squealer-Tips ausbildet. Zudem kann in wenigstens einem weiteren Bereich einer Längserstreckung des Squealer-Tips zu dessen beiden Seiten eine Verjüngung vorgesehen sein, wodurch beide Flanken des Squealer-Tips, wenigstens in einem der Squealer-Tip-Stirnseite zugewandten Abschnitt, in Bezug auf die Schaufelblattwandungen nach innen versetzt sind. Die Squealer-Tip-Stirnseite bildet dabei die äußerste Schaufelblattspitze.

[0008] Eine oder beide Flanken des Squealer-Tips kann/ können in einem an eine der Wandungen des Schaufelblatts angrenzenden Abschnitt eine Verrundung insbesondere in Form einer Konkavfläche aufweisen, insbesondere einen Radius, wodurch eine mechanisch stabile Struktur des Squealer-Tips geschaffen werden kann.

[0009] Die Schwerkurve verläuft an der Stirnseite der Schaufelblattspitze durch Schwerachsen von senkrecht auf der Profilmittellinie stehenden Querschnittsflächen

des Schaufelblatts. Eine Schwerachse ist insbesondere die neutrale Faser bzw. die geometrische Mittelachse einer solchen Querschnittsfläche. Die Profilmittellinie ist die Verbindungslinie der in ein Profil der Schaufelblattspitze/ einen Profilschnitt des Schaufelblatts einbeschriebenen Kreismittelpunkte und weist an jedem Punkt den gleichen Abstand zu Saugseite und Druckseite auf. Die Schwerkurve erstreckt sich insbesondere zwischen der Vorderkante und der Hinterkante der Schaufelblattspitze und kann in einem der Vorderkante zugewandten Bereich bezüglich der Profilmittellinie zur Druckseite hin und/oder in einem der Hinterkante zugewandten Bereich bezüglich der Profilmittellinie zur Saugseite hin versetzt angeordnet sein.

[0010] Durch die Anordnung des Squealer-Tips entlang der Schwerkurve können Schwingspannungen an der Schaufelspitze verringert werden, wodurch ein Rissrisiko im Bereich der Schaufelblattspitze verringert werden und das Schwingungsverhalten des Schaufelblatts verbessert werden kann.

[0011] Bei einer Ausführungsform des Schaufelblatts ist der Squealer-Tip beidseitig der Schwerkurve angeordnet. Insbesondere ist der Squealer-Tip, insbesondere über dessen gesamte Höhe, derart ausgebildet, dass eine Schwerachse des Schaufelblatts an wenigstens einer Position der Schwerkurve innerhalb eines Querschnitts des Squealer-Tips verläuft. Insbesondere in einem Bereich, in welchem die Schwerkurve in einem saug- oder druckseitigen Randbereich angeordnet ist, kann eine Ausführung des Squealer-Tips, bei welcher eine Flanke durch eine Seitenwandung des Schaufelblatts gebildet ist, genutzt werden, um den Squealer-Tip beidseitig zu der Schwerkurve anzuordnen. Damit ist der Squealer-Tip wenigstens im Wesentlichen um neutrale Fasern des Schaufelblatts zentriert angeordnet, wodurch eine Schwingspannungsreduktion an der Schaufelblattspitze ermöglicht ist.

[0012] Bei einer Ausführungsform des Schaufelblatts ist der Squealer-Tip, insbesondere in wenigstens einem Bereich seiner Längserstreckung, wenigstens im Wesentlichen symmetrisch um die Schwerkurve angeordnet. Insbesondere weisen dabei die Flanken des Squealer-Tips, insbesondere wenigstens in einem Bereich seiner Längserstreckung, in Bezug auf dessen Mittelebene eine im Wesentlichen symmetrische oder eine symmetrische Ausprägung auf. Beispielsweise können die Flanken des Squealer-Tips über dessen Höhe, insbesondere in wenigstens einem Abschnitt, parallel zueinander ausgebildet sein, in Bezug auf eine Mittelachse des Squealer-Tips gleich beabstandet sein und/ oder ein Radius oder eine Schräge im Übergang von Schaufelblattquerschnitt zu Squealer-Tip-Querschnitt im Wesentlichen gleich sein.

[0013] Bei einer Ausführungsform des Schaufelblatts ist der Squealer-Tip kontinuierlich, also unterbrechungsfrei ausgebildet. Insbesondere ist der Squealer-Tip in seiner Längserstreckung zwischen Vorderkante und Hinterkante des Schaufelblatts in Bezug auf eine Breite und/

oder Höhe insbesondere gleichmäßig oder sogar invariant ausgebildet. Hierbei kann insbesondere eine Querschnittsbreite an der Stirnseite des Squealer-Tips gleichmäßig oder sogar invariant ausgebildet sein. Hierdurch kann eine verbesserte Radialspaltabdichtung im Schaufelblattspitzenbereich erreicht werden.

[0014] Bei einer weiteren Ausführungsform kann eine Höhe, eine Breite und/ oder eine Flankengeometrie des Squealer-Tips über dessen Verlauf entlang der Schwerkurve veränderlich ausgebildet sein, um eine flexible Anpassung an Schaufelgeometrien und/ oder Spannungsanforderungen zu ermöglichen.

[0015] Bei einer Ausführungsform des Schaufelblatts ist ein Querschnitt des Squealer-Tips kleiner als ein Querschnitt der Schaufelblattspitze. Hierbei kann beispielsweise eine Höhe des Squealer-Tips größer als dessen Breite sein, die Breite des Squealer-Tips größer als dessen Höhe sein oder die Höhe und die Breite des Squealer-Tips können im Wesentlichen gleich ausgebildet sein. Durch die mittels des Squealer-Tips bereitgestellte Querschnittsverringerung können Schwingspannungen im Schaufelblattspitzenbereich reduziert werden, wodurch eine höhere Belastbarkeit der Schaufeln ermöglicht ist.

[0016] Die Erfindung betrifft auch eine Schaufelblattanordnung für eine Strömungsmaschine, welche wenigstens ein hierin beschriebenes Schaufelblatt aufweist. Eine Schaufelblattanordnung umfasst dabei eine Rotorscheibe und eine Mehrzahl daran radial angeordnete Schaufelblätter. Insbesondere sind hierbei die Schaufelblätter formschlüssig mit der Rotorscheibe verbunden oder die Schaufelblattanordnung weist mehrere einstückig stoffschlüssig mit der Rotorscheibe verbundene Schaufelblätter auf (Blik). Eine derartige Ausgestaltung der Schaufelblattanordnung ermöglicht eine höhere mechanische Belastbarkeit und kann zu einer besseren aerodynamischen Effizienz der Schaufelblattanordnung beitragen.

[0017] Die Erfindung betrifft ferner einen Verdichter für eine Strömungsmaschine mit wenigstens einem wie hierin beschrieben ausgebildeten Schaufelblatt und/ oder wenigstens einer hierin beschriebenen Schaufelblattanordnung. Der Verdichter kann hierbei als Niederdruckverdichter oder Hochdruckverdichter ausgebildet sein.

[0018] Die Erfindung betrifft ferner eine Strömungsmaschine mit wenigstens einem hierin beschriebenen Schaufelblatt und/ oder wenigstens einer hierin beschriebenen Schaufelblattanordnung. In einer Ausführungsform sind die Schaufelblätter mehrerer, vorzugsweise aller, Verdichter- bzw. Turbinenstufen in erfindungsgemäßer Weise ausgestaltet.

[0019] In einem weiteren Aspekt wird ein Verfahren zum Herstellen eines Schaufelblatts für eine Strömungsmaschine vorgeschlagen. In einem ersten Schritt a) werden dabei die Schwerachsen des Schaufelblatts in Abhängigkeit einer Schaufelgeometrie ermittelt. In einem Schritt b) wird eine Schwerkurve an der Schaufelblattspitze in Abhängigkeit der Schwerachsen bestimmt. Im

Schritt c) wird eine Anordnung des Squealer-Tips in Abhängigkeit der bestimmten Schwerkurve bestimmt und im Schritt d) wird das Schaufelblatt mit dem Squealer-Tip gemäß der im Schritt c) bestimmten Anordnung hergestellt.

[0020] Dabei wird, basierend auf einer vorbestimmten Schaufelblattgeometrie, welche insbesondere wenigstens eine Krümmung aufweist, eine Schwerachse bzw. die neutrale Faser einer senkrecht auf der Profilmittellinie des Schaufelblatts stehenden Querschnittsfläche des Schaufelblatts ermittelt. Basierend auf einer Vielzahl von insbesondere auf diese Weise ermittelten Schwerachsen kann eine Schwerkurve insbesondere an der Stirnseite der Schaufelblattspitze bestimmt werden.

[0021] Anhand der bestimmten Schwerkurve kann ein Verlauf des Squealer-Tips an der Schaufelblattspitze, und insbesondere unter Anwendung weiterer Auslegungskriterien beispielsweise dessen Höhe, Breite und eine Flankengeometrie des Squealer-Tips bestimmt werden. Insbesondere können Vorgaben bezüglich einer Platzierung und Ausgestaltung von Verjüngungen oder Abtragungen, insbesondere entlang oder versetzt zu der Schwerkurve, bestimmt werden.

[0022] Beim Herstellen des Schaufelblatts kann Material in Abhängigkeit von der festgelegten Anordnung und/oder Geometrie von der Schaufelspitze abgetragen werden, um den Squealer-Tip bereitzustellen.

[0023] Eine Verwendung eines hierin beschriebenen Schaufelblatts in einer Schaufelblattanordnung und/oder einem Verdichter und/oder einer Strömungsmaschine ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Offenbarung. Neben einem vorgeschlagenen Einsatz des Schaufelblatts in einem Verdichter einer Strömungsmaschine ist die vorgeschlagene Gestaltung des Squealer-Tips für alle Schwingspannungen ausgesetzten Schaufelblätter in einer Strömungsmaschine anwendbar, insbesondere für Turbinenschaufelblätter und auch für freikragende Statoren der Strömungsmaschine.

[0024] Im Allgemeinen gilt die Offenbarung des hierin beschriebenen Schaufelblatts, der Schaufelblattanordnung, des Verdichters und der Strömungsmaschine auch für ein entsprechendes Verfahren zur Auslegung oder zur Herstellung eines Schaufelblatts und umgekehrt. Die Merkmale und Vorteile der verschiedenen oben oder unten beschriebenen beispielhaften Aspekte und Ausführungsbeispiele können kombiniert werden, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben.

[0025] Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines beispielhaften erfindungsgemäßen Schaufelblatts für eine Strömungsmaschine;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines

Profils eines beispielhaften erfindungsgemäßen Schaufelblatts für eine Strömungsmaschine;

5 Fig. 3a bis 3c schematische Darstellungen dreier Schaufelblattquerschnitte eines beispielhaften erfindungsgemäßen Schaufelblatts; und

10 Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung eines Schaufelblatts für eine Strömungsmaschine.

15 **[0026]** Fig. 1 zeigt ein beispielhaftes Ausführungsbeispiel eines Schaufelblatts 10 für eine Strömungsmaschine in einer schematischen Darstellung. Das Schaufelblatt weist eine Vorderkante 11 und eine Hinterkante 12 auf, welche durch eine Saugseite 13 und eine Druckseite 14 miteinander verbunden sind. Dabei erstreckt sich das Schaufelblatt 10 in wenigstens einem Bereich gekrümmt von einem nicht dargestellten Schaufelblattfuß bis zu einer Schaufelblattspitze 21. Eine solche Krümmung ist schematisch durch eine geometrische Profilschnittänderung 15 angedeutet.

20 **[0027]** Die Schaufelblattspitze 21 weist einen im Wesentlichen kontinuierlich ausgebildeten Squealer-Tip 22 auf, welcher entlang einer Schwerkurve an der Schaufelblattspitze 21 angeordnet ist, wobei die Schwerkurve durch die Schwerachsen des Schaufelblatts 10 verläuft (vgl. Fig. 2). Hierbei weist der Squealer-Tip 22 einen Querschnitt, insbesondere orthogonal zu der Profilmittellinie, auf, der kleiner ist als ein solcher Querschnitt der Schaufelblattspitze 21.

25 **[0028]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Schaufelblattspitze 21 des Schaufelblatts 10 aus Fig. 1. Das Schaufelblatt 10 erstreckt sich zwischen einer anströmungsseitigen Vorderkante 11 und einer Hinterkante 12. Das Schaufelblatt 10 weist eine Saugseite 13 und eine gegenüberliegende Druckseite 14 auf.

30 **[0029]** Eine Profilmittellinie 16 hat an jeder Stelle zur Saugseite 13 und zur Druckseite 14 des Profils des Schaufelblatts 10 den gleichen Abstand. Eine Schwerkurve K des Schaufelblatts 10 verläuft an der Schaufelblattspitze 21 durch Schwerachsen von senkrecht auf der Profilmittellinie 16 stehenden Querschnittsflächen Q des Schaufelblatts 10.

35 **[0030]** Fig. 3a bis 3c zeigen jeweils eine schematische Darstellung dreier Schaufelblattquerschnitte des beispielhaften gekrümmten Schaufelblatts 10 aus Fig. 2. Das Schaufelblatt 10 weist an seiner Schaufelblattspitze 21 den Squealer-Tip 22 mit einer saugseitigen Flanke 23 und einer druckseitigen Flanke 24 auf.

40 **[0031]** Fig. 3a zeigt eine schematische Darstellung des beispielhaften Schnitts A-A aus Fig. 2 an einer ersten Schwerachse S_A in einem ersten Bereich des Schaufelblatts 10. In Fig. 3a ist erkennbar, dass der Squealer-Tip

22 eine Höhe H ausgehend von einem insbesondere unveränderten Schaufelblattquerschnitt bis zu dem stirnseitigen Ende des Squealer-Tips 22 aufweist. Ferner weist der Squealer-Tip 22 eine Breite B auf, welche von der saugseitigen Flanke 23 und der druckseitigen Flanke 24 begrenzt und insbesondere in einem Endbereich des Squealer-Tips 22 angeordnet ist, in dem die saugseitige Flanke 23 und die druckseitige Flanke 24 wenigstens im Wesentlichen parallel zueinander ausgebildet sind.

[0032] Der Squealer-Tip 22 ist beidseitig der Schwerachse S_A bzw. der Schwerkurve K angeordnet, wobei eine saugseitige Verjüngung 33 an der Schaufelblattspitze 21 des Schaufelblatts 10 angeordnet ist, um die saugseitige Flanke 23 des Squealer-Tips 22 zu bilden. Die Druckseitenwandung 14 des Schaufelblatts 10 bildet die druckseitige Flanke 24 des Squealer-Tips 22 aus. Insbesondere in einem der Vorderkante 11 zugewandten und/oder von einem Wendepunkt der Schwerkurve K beabstandeten Bereich kann der Squealer-Tip 22 derart ausgebildet sein.

[0033] Fig. 3b zeigt eine schematische Darstellung des beispielhaften Schnitts B-B aus Fig. 2 an einer zweiten Schwerachse S_B in einem zweiten Bereich des Schaufelblatts 10. Hierbei ist der Squealer-Tip 22 im Wesentlichen symmetrisch um die zweite Schwerachse S_B bzw. um die Schwerkurve K angeordnet. Die Schaufelblattspitze 21 weist sowohl saug- als auch druckseitig eine Verjüngung 33, 34 auf, wodurch die Flanken 23, 24 des Squealer-Tips 22 relativ zu einem Schaufelblattquerschnitt nach innen versetzt angeordnet sind.

[0034] Fig. 3c zeigt eine schematische Darstellung des beispielhaften Schnitts C-C aus Fig. 2 an einer dritten Schwerachse S_C in einem dritten Bereich des Schaufelblatts 10. Der Squealer-Tip 22 ist weiterhin beidseitig der Schwerachse S_C bzw. der Schwerkurve K angeordnet, wobei eine druckseitige Verjüngung 34 an der Schaufelblattspitze 21 des Schaufelblatts 10 angeordnet ist, um die druckseitige Flanke 24 des Squealer-Tips 22 zu bilden. Die Saugseitenwandung 13 des Schaufelblatts 10 bildet die saugseitige Flanke 23 des Squealer-Tips 22 aus. Insbesondere in einem der Hinterkante 12 zugewandten und/oder von einem Wendepunkt der Schwerkurve K beabstandeten Bereich kann der Squealer-Tip 22 derart ausgebildet sein.

[0035] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms eines beispielhaften Verfahrens 100 zur Auslegung bzw. Herstellung eines Schaufelblatts 10 für eine Strömungsmaschine.

[0036] In einem ersten Schritt 101 werden Schwerachsen S des Schaufelblatts 10 ausgehend von einer Schaufelgeometrie ermittelt. In Abhängigkeit der Schwerachsen S wird in einem Schritt 102 eine Schwerkurve K an der Schaufelblattspitze 21 bestimmt. In einem weiteren Schritt 103 wird eine Anordnung eines Squealer-Tips 22 abhängig von der bestimmten Schwerkurve K bestimmt und in einem Schritt 104 wird das Schaufelblatt 10 mit einem Squealer-Tip 22 gemäß der im Schritt 103 bestimmten Anordnung hergestellt.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0037]

5	10	Schaufelblatt
	11	Vorderkante
	12	Hinterkante
	13	Saugseite
	14	Druckseite
10	15	Profilschnitt
	16	Profilmittellinie
	21	Schaufelblattspitzen
	22	Squealer-Tip
	23	saugseitige Flanke
15	24	druckseitige Flanke
	K	Schwerkurve
	S	Schwerachse
	Q	Querschnittsfläche

20

Patentansprüche

1. Schaufelblatt (10) für eine Strömungsmaschine, aufweisend eine Vorderkante (11) und eine Hinterkante (12), welche durch eine Saugseite (13) und eine Druckseite (14) miteinander verbunden sind und welches sich in wenigstens einem Bereich gekrümmt von einem Schaufelblattfuß bis zu einer Schaufelblattspitze (21) erstreckt, wobei die Schaufelblattspitze (21) einen Squealer-Tip (22) aufweist, welcher entlang einer Schwerkurve (K) an der Schaufelblattspitze (21) angeordnet ist, wobei die Schwerkurve (K) durch die Schwerachsen (S) des Schaufelblatts (10) verläuft.
2. Schaufelblatt (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Squealer-Tip (22) beidseitig der Schwerkurve (K) angeordnet ist.
3. Schaufelblatt (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Squealer-Tip (22) wenigstens im Wesentlichen symmetrisch um die Schwerkurve (K) angeordnet ist.
4. Schaufelblatt (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Squealer-Tip (22) kontinuierlich ausgebildet ist.
5. Schaufelblatt (10) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Querschnitt des Squealer-Tips (22) kleiner ist als ein Querschnitt der Schaufelblattspitze (21).
6. Schaufelblattanordnung für eine Strömungsmaschine, **gekennzeichnet durch** wenigstens ein Schau-

felblatt (10) nach Anspruch 1 bis 5.

7. Verdichter für eine Strömungsmaschine, **gekennzeichnet durch** wenigstens ein Schaufelblatt (10) nach Anspruch 1 bis 5 und/oder wenigstens einer Schaufelblattanordnung nach Anspruch 6. 5
8. Strömungsmaschine **gekennzeichnet durch** wenigstens ein Schaufelblatt (10) nach Anspruch 1 bis 5 und/ oder wenigstens eine Schaufelblattanordnung nach Anspruch 6 und/ oder einen Verdichter nach Anspruch 7. 10
9. Verfahren (100) zum Herstellen eines Schaufelblatts (10) für eine Strömungsmaschine, aufweisend die folgenden Schritte: 15
 - a) Ermitteln (101) der Schwerachsen (S) des Schaufelblatts (10) in Abhängigkeit einer Schaufelgeometrie; 20
 - b) Bestimmen (102) einer Schwerkurve (K) an einer Schaufelblattspitze (21) in Abhängigkeit der Schwerachsen (S);
 - c) Bestimmen (103) einer Anordnung eines Squealer-Tips (22) in Abhängigkeit der bestimmten Schwerkurve (K); und 25
 - d) Herstellen des Schaufelblatts (10) mit einem Squealer-Tip (22) gemäß der im Schritt c) bestimmten Anordnung. 30

35

40

45

50

55

Fig. 1

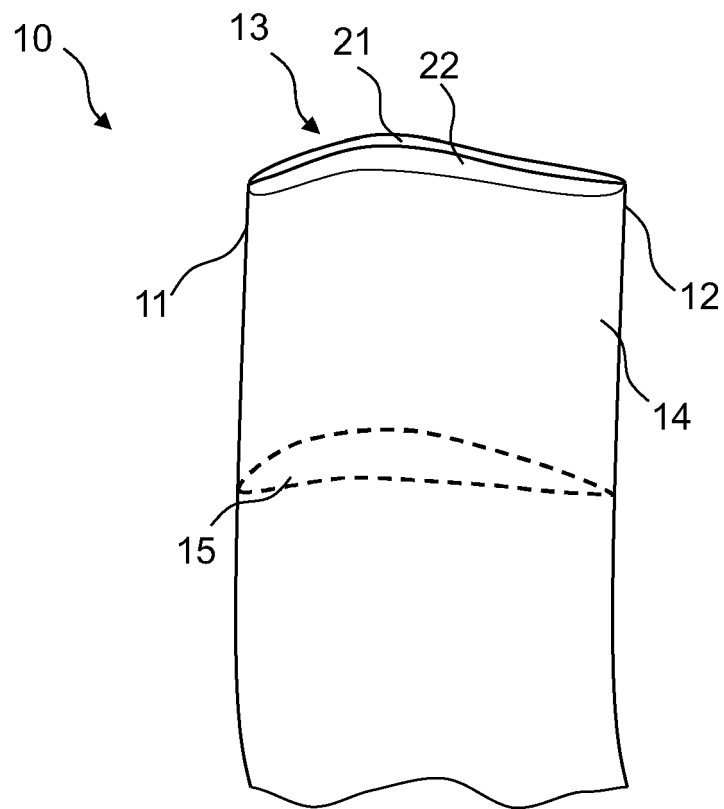


Fig. 2

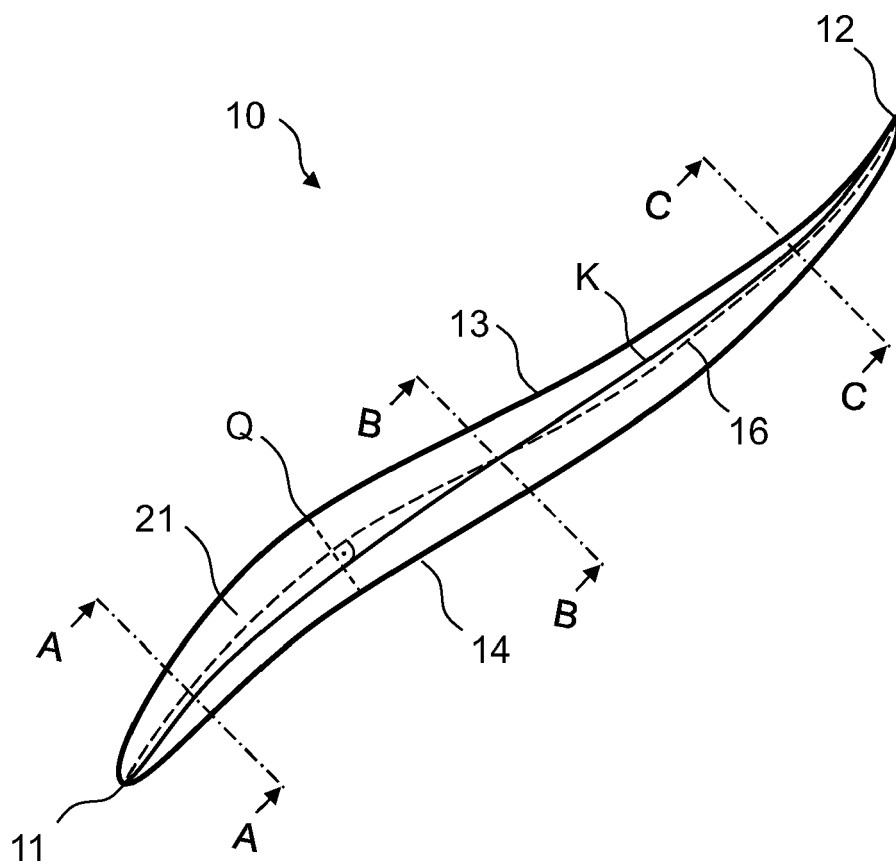


Fig. 3a

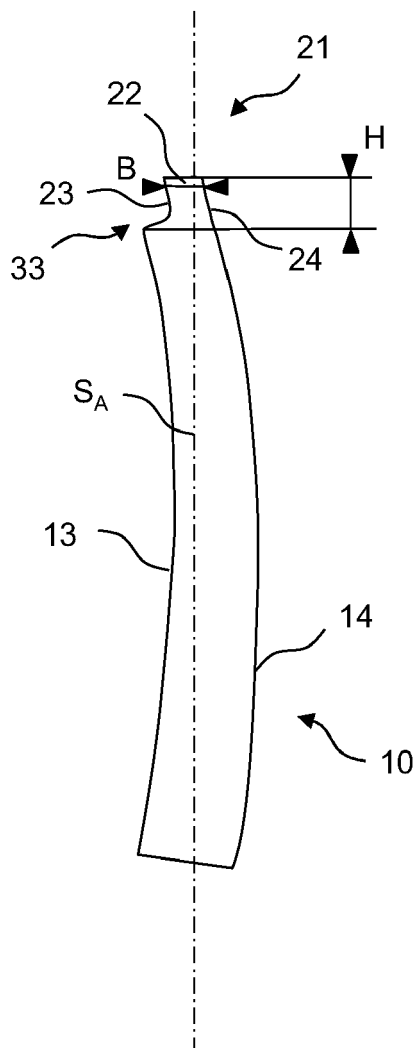


Fig. 3b

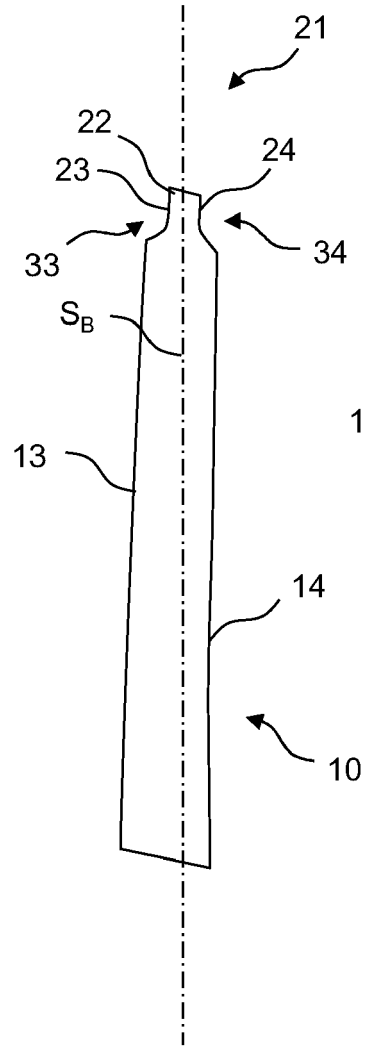


Fig. 3c

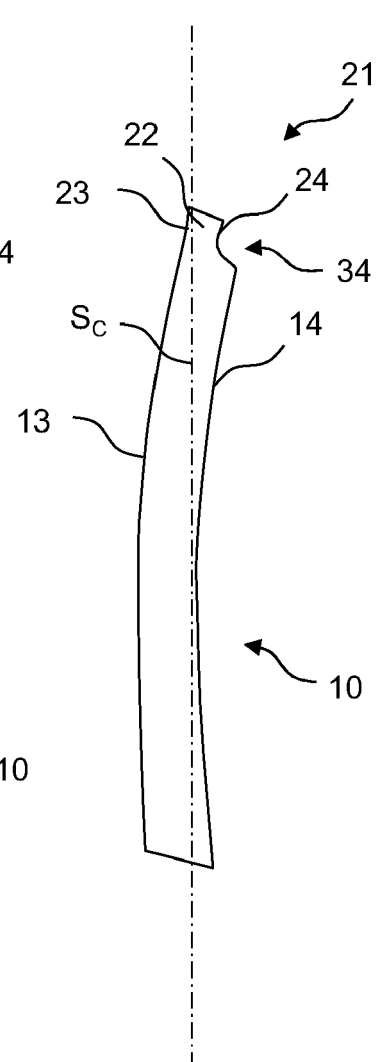
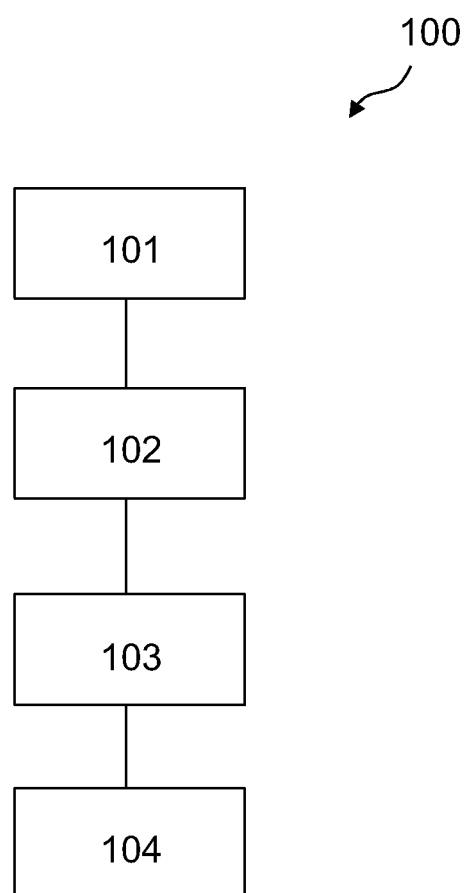


Fig. 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 20 2319

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 9 399 918 B2 (MTU AERO ENGINES AG [DE]; MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 26. Juli 2016 (2016-07-26) * Spalte 4, Zeilen 7-13 * * Spalte 5, Zeilen 8-53; Abbildungen 1,6 * -----	1-9	INV. F01D5/20
X	US 2012/269638 A1 (DYER JOHN DAVID [US] ET AL) 25. Oktober 2012 (2012-10-25) * Absätze [0028], [0029]; Abbildung 2 * -----	1-9	
X	US 2018/245469 A1 (BLOXHAM MATTHEW J [US] ET AL) 30. August 2018 (2018-08-30) * Absatz [0022]; Abbildungen 1A,1B * -----	1-6, 8, 9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. März 2023	Prüfer Pileri, Pierluigi
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	

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

EP 22 20 2319

5 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.

23-03-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	US 9399918	B2	26-07-2016	EP 2696031 A1		12-02-2014
				US 2014044553 A1		13-02-2014
15	US 2012269638	A1	25-10-2012	CN 102758792 A		31-10-2012
				EP 2514922 A2		24-10-2012
				US 2012269638 A1		25-10-2012
20	US 2018245469	A1	30-08-2018	CA 2987197 A1		27-08-2018
				EP 3366886 A1		29-08-2018
				US 2018245469 A1		30-08-2018
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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