



(11)

EP 3 940 200 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.03.2024 Patentblatt 2024/11

(21) Anmeldenummer: **21195914.3**

(22) Anmeldetag: **09.08.2019**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/14 ^(2006.01) **F01D 5/16** ^(2006.01)
F01D 17/16 ^(2006.01) **F04D 29/32** ^(2006.01)
F04D 29/54 ^(2006.01) **F04D 29/56** ^(2006.01)
F04D 29/66 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 29/324; F01D 5/141; F01D 5/16;
F01D 17/162; F04D 29/544; F04D 29/563;
F04D 29/666; F04D 29/668; F05D 2240/125;
F05D 2250/73; F05D 2250/90; F05D 2260/70;
F05D 2260/961; F05D 2270/101

(54) **SCHAUFELRAD EINER STRÖMUNGSMASCHINE**

BUCKET WHEEL OF A TURBOMACHINE

ROUE À AUBES D'UNE TURBOMACHINE

(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

(30) Priorität: **14.08.2018 DE 102018119704**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:
19190987.8 / 3 611 387

(73) Patentinhaber:
• **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
• **Rolls-Royce plc**
London N1 9FX (GB)

(72) Erfinder:
• **SCHRAPE, Sven**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

- **MUECK, Bernhard**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
- **NIPKAU, Jens**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
- **GIERSCH, Thomas**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
- **HEINICHEN, Frank**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
- **DODDS, John**
Derby, DE24 8BJ (GB)

(74) Vertreter: **Müller, Wolfram Hubertus**
Patentanwalt
Teltower Damm 15
14169 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102016 212 767 US-A1- 2011 158 793
US-A1- 2014 286 758 US-A1- 2015 285 085
US-B1- 6 379 112

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 940 200 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schaufelrad einer Strömungsmaschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Es ist bekannt, dass die Schaufeln von Verdichtern eines Triebwerks nichtsynchrone Schwingungen erfahren. Ein dabei auftretendes Phänomen ist als rotierende Ablösung ("rotating stall") bekannt, bei dem Abrissmuster der Strömung im Referenzsystem des Rotors rotieren. Dabei verhält es sich so, dass der Abreißvorgang auf einzelne Schaufelbereiche lokal begrenzt ist. Es kann sich um eine oder mehrere rotierende Abrissmuster handeln. Häufig sind die rotierenden Abrissmuster auf einen begrenzten radialen Schaufelbereich beschränkt. Die rotierende Ablösung regt in nachteiliger Weise die einzelnen Schaufeln zu Schwingungen bzw. Vibrationen an, wodurch die Lebensdauer der Schaufeln reduziert wird. Auch ein Schaufelversagen infolge von Resonanz ist möglich, wenn die periodischen Anregungen im Bereich der Eigenschwingungen der Schaufeln liegen. Wird ein Verdichter über längere Zeit bei rotierender Ablösung betrieben, kann es des Weiteren zu Wärmeschäden an den Schaufeln kommen.

[0003] Aus der US 2015/285085 A1 ist ein gattungsgemäßes Schaufelrad bekannt.

[0004] Die US 2011/158793 A1 beschreibt ein Gasturbinentriebwerk ist mit einem Schaufelrad, das drehbare Leitschaufeln umfasst, die Teilspalte zur inneren und äußeren Strömungspfadberandung aufweisen.

[0005] Aus der US 2014/0286758 A1 ist ein Schaufelrad bekannt, bei dem die Schaufeln einer Schaufelreihe in zwei oder mehr Segmente aufgeteilt sind, die eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln umfassen. Um trotz der unterschiedlichen Anzahl von Schaufeln in den Segmenten zu erreichen, dass der engste Abstand zwischen den Schaufeln jeweils gleich ist, sind die Schaufeln in den jeweiligen Segmenten unterschiedlich ausgerichtet.

[0006] Die DE 10 2016 212 767 A1 beschreibt ein verstellbares Turbomaschinen-Schaufelgitter mit wenigstens einer ersten Schaufel, die von einer in Umfangsrichtung benachbarten Schaufel in Umfangsrichtung einen ersten Abstand aufweist, und mit wenigstens einer zweiten Schaufel, die von einer in Umfangsrichtung benachbarten Schaufel in Umfangsrichtung einen zweiten Abstand aufweist, der kleiner als der erste Abstand ist. Weiter ist eine Verstellvorrichtung zum gemeinsamen und/oder reversiblen Verstellen der ersten und der zweiten Schaufel von einer ersten Stellung in eine zweite Stellung vorgesehen.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Schaufelrad einer Strömungsmaschine und eine Schaufelradanordnung zur Verfügung zu stellen, bei denen die durch eine rotierende Ablösung erzeugten Vibrationen reduziert sind.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein Schaufelrad mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und eine Schaufelradanordnung mit den Merkmalen des Patentan-

spruchs 9 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Danach betrachtet die vorliegende Erfindung ein Schaufelrad mit einer Mehrzahl von Leitschaufeln, die sich in einem Strömungspfad der Strömungsmaschine erstrecken, wobei die Leitschaufeln jeweils in ihrem Staffelungswinkel einstellbar ausgebildet sind. Die Leitschaufeln weisen erste Teilspalte zu einer äußeren Strömungspfadberandung und/oder zweite Teilspalte zu einer inneren Strömungspfadberandung auf.

[0010] Die radial innere Strömungspfadberandung wird beispielsweise durch eine Nabe des Verdichters und die äußere Strömungspfadberandung durch ein Verdichtergehäuse bereitgestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Teilspalte aufgrund der Drehbarkeit der Leitschaufeln notwendigerweise angrenzend an die Strömungspfadberandung ausgebildet sind und ihre Existenz eine Drehung bzw. Änderung des Staffelungswinkels erst ermöglicht, da ohne solche Teilspalte bei Änderung des Staffelungswinkels ein Kontakt bzw. Zusammenstoß mit der Strömungspfadberandung erfolgen würde. Die Spalte werden als Teilspalte bezeichnet, da sie sich nicht über die gesamte axiale Länge der Leitschaufeln erstrecken, sondern nur über eine Teillänge.

[0011] Gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass das Schaufelrad N Blöcke von Schaufeln mit $N \geq 2$ ausbildet, wobei die Schaufeln eines Blocks jeweils in gleicher Weise ausgebildete Teilspalte aufweisen und die Schaufeln von mindestens zwei aneinandergrenzender Blöcken unterschiedlich ausgebildete Teilspalte aufweisen.

[0012] Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, die Entstehung einer rotierenden Ablösung durch Einbringen einer sich verändernden aerodynamischen Last, die auf die Schaufeln wirkt, zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Durch die erfindungsgemäß vorgesehenen Blöcke von Schaufeln, die unterschiedliche Teilspalte zur Strömungspfadberandung ausbilden, wird die Strömung in den einzelnen Blöcken variiert.

[0013] Dabei sind die Teilspalte in den unterschiedlichen Blöcken unterschiedlich ausgebildet. Insbesondere liegt eine axiale und/oder radiale Variation der Teilspalte vor. Dabei kann vorgesehen sein, dass das Schaufelrad insgesamt zwei unterschiedliche Ausgestaltungen der Teilspalte implementiert, die die Blöcke des Schaufelrads alternierend realisieren.

[0014] Die erfindungsgemäße Lösung, die eine Variation der Teilspalte in benachbarten Blöcken vorsieht, kann mit einer Variation des Schaufeleintrittswinkels und/oder des Schaufelaustrittswinkels in benachbarten Blöcken kombiniert werden.

[0015] Eine Ausgestaltung sieht vor, dass die Schaufeln von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken Teilspalte aufweisen, die eine unterschiedliche axiale Länge aufweisen. Eine Variation der Teilspalte in unterschiedlichen Blöcken erfolgt somit über die axiale Länge der Teilspalte. Eine solche Variation kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass der Durchmesser von Drehtellern, die die Leitschaufeln an ihrem radial äu-

ßeren Ende und/oder an ihrem radial inneren Ende ausbilden und die ihre Drehbarkeit ermöglichen, variiert wird.

[0016] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Schaufeln von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken Teilspalte aufweisen, die eine unterschiedliche radiale Höhe aufweisen. Eine Variation der Teilspalte in unterschiedlichen Blöcken erfolgt somit über die radiale Höhe der Teilspalte. Eine solche Variation kann über die radiale Tiefe von Rückschnitten erreicht werden, die im Bereich der Vorderkante und/oder im Bereich der Hinterkante und dabei radial angrenzend an die jeweilige Strömungspfadberandung an den Leitschaufeln ausgebildet sind.

[0017] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass die Schaufeln von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken Teilspalte aufweisen, die eine unterschiedliche axiale Länge und eine unterschiedliche radiale Höhe aufweisen, die vorstehend erläuterten Variationen der Teilspalte somit kombiniert werden.

[0018] Die Teilspalte sind gemäß einer Ausgestaltung durch Rückschnitte gebildet, die die Leitschaufeln zu der angrenzenden Strömungspfadberandung bilden.

[0019] Über Länge und Höhe der Teilspalte wird ein Spaltvolumen des Teilspalts definiert. Die Teilspalte der Schaufeln benachbarter Blöcke weisen ein unterschiedliches Spaltvolumen auf.

[0020] Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt betrifft die Erfindung eine Schaufelradanordnung für einen Verdichter einer Strömungsmaschine, die aufweist: ein erstes Schaufelrad, das als Laufrad ausgebildet ist, ein zweites Schaufelrad, das stromaufwärts des ersten Schaufelrads angeordnet und als Leitrad ausgebildet ist, und ein drittes Schaufelrad, das stromabwärts des ersten Schaufelrads angeordnet und als Leitrad ausgebildet ist. Dabei ist vorgesehen, dass das zweite Schaufelrad und/oder das dritte Schaufelrad als Schaufelrad gemäß Anspruch 1 ausgebildet sind.

[0021] Eine Ausgestaltung der Schaufelradanordnung sieht vor, dass das zweite Schaufelrad und das dritte Schaufelrad als Schaufelrad gemäß Anspruch 1 ausgebildet sind, wobei beide Schaufelräder die gleiche Zahl von N Blöcken von Schaufeln mit $N \geq 2$ ausbilden.

[0022] Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass das zweite Schaufelrad als Eintrittsleitrad ausgebildet ist, wobei einem Block des zweiten Schaufelrads, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte größer ist, ein Block des dritten Schaufelrads zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte kleiner ist, und umgekehrt. Die Strömung, die in einem Block des stromauf gelegenen Eintrittsleitrads aufgrund des größeren Teilspalts eine stärkere Störung erfahren hat, erfährt somit in dem entsprechenden Block des dritten, stromab gelegenen Schaufelrads aufgrund des kleineren Teilspalts eine geringere Störung und umgekehrt. Die Bezeichnungen "größer" und "kleiner" beziehen sich dabei jeweils auf das Spaltvolumen des benachbarten Blocks des betrachteten Schaufelrads.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist die

Schaufelradanordnung in einen Verdichter eingebettet, wobei das zweite Schaufelrad als eingebetteter Stator (und nicht als Eintrittsleitrad) ausgebildet ist. Dabei ist vorgesehen, dass einem Block des zweiten Schaufelrads, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte kleiner ist, ein Block des dritten Schaufelrads zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte ebenfalls kleiner ist, und einem Block des zweiten Schaufelrads, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte größer ist, ein Block des dritten Schaufelrads zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte ebenfalls größer ist. Die Strömung, die in einem Block des stromauf gelegenen Schaufelrads aufgrund eines größeren Teilspalts eine stärkere Störung erfahren hat, erfährt somit in dem entsprechenden Block des dritten, stromab gelegenen Schaufelrads aufgrund ebenfalls größeren Teilspalts ebenfalls eine stärkere Störung als in den Blöcken mit kleineren Teilspalten. Die Bezeichnungen "größer" und "kleiner" beziehen sich wiederum jeweils auf das Spaltvolumen des benachbarten Blocks des betrachteten Schaufelrads.

[0024] Die vorliegende Offenbarung umfasst auch ein Gasturbinentriebwerk, insbesondere für ein Luftfahrzeug, mit einer erfindungsgemäßen Schaufelradanordnung. Dabei kann vorgesehen sein, dass das Gasturbinentriebwerk aufweist:

- einen Triebwerkskern, der eine Turbine, einen Verdichter mit einer erfindungsgemäßen Schaufelradanordnung und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende, als Hohlwelle ausgebildete Turbinenwelle umfasst;
- einen Fan, der stromaufwärts des Triebwerkskerns positioniert ist, wobei der Fan mehrere Fanschaufeln umfasst; und
- ein Getriebe, das einen Eingang von der Turbinenwelle empfängt und Antrieb für den Fan zum Antreiben des Fans mit einer niedrigeren Drehzahl als die Turbinenwelle abgibt.

[0025] Eine Ausgestaltung hierzu kann vorsehen, dass

- die Turbine eine erste Turbine ist, der Verdichter ein erster Verdichter ist und die Turbinenwelle eine erste Turbinenwelle ist;
- der Triebwerkskern ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Turbinenwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfasst; und
- die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Turbinenwelle dahingehend angeordnet sind, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Turbinenwelle zu drehen.

[0026] Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung, soweit sie sich auf ein Flugtriebwerk bezieht, bezogen auf ein zylindrisches Koordinatensystem beschrieben ist, das die Koordinaten x , r und φ aufweist. Dabei gibt x die axiale Richtung, r die radiale Richtung

und φ den Winkel in Umfangsrichtung an. Die axiale Richtung ist dabei identisch mit der Maschinenachse eines Gasturbinentriebwerks, in dem das Schaufelrad bzw. die Schaufelradanordnung angeordnet ist. Von der x-Achse ausgehend zeigt die radiale Richtung radial nach außen. Begriffe wie "vor", "hinter", "vordere" und "hintere" beziehen sich auf die axiale Richtung bzw. die Strömungsrichtung im Triebwerk, in dem das Planetengetriebe angeordnet ist. Begriffe wie "äußere" oder "innere" beziehen sich auf die radiale Richtung.

[0027] Wie hier an anderer Stelle angeführt wird, kann sich die vorliegende Offenbarung auf ein Gasturbinentriebwerk beziehen. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann einen Triebwerkskern umfassen, der eine Turbine, einen Brennraum, einen Verdichter und eine die Turbine mit dem Verdichter verbindende Kernwelle umfasst. Solch ein Gasturbinentriebwerk kann ein Gebläse (mit Gebläseschaufeln) umfassen, das stromaufwärts des Triebwerkskerns positioniert ist.

[0028] Anordnungen der vorliegenden Offenbarung können insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, für Gebläse, die über ein Getriebe angetrieben werden, von Vorteil sein. Entsprechend kann das Gasturbinentriebwerk ein Getriebe umfassen, das einen Eingang von der Kernwelle empfängt und Antrieb für das Gebläse zum Antreiben des Gebläses mit einer niedrigeren Drehzahl als die Kernwelle abgibt. Der Eingang für das Getriebe kann direkt von der Kernwelle oder indirekt von der Kernwelle, beispielsweise über eine Stirnwelle und/oder ein Stirnzahnrad, erfolgen. Die Kernwelle kann mit der Turbine und dem Verdichter starr verbunden sein, so dass sich die Turbine und der Verdichter mit derselben Drehzahl drehen (wobei sich das Gebläse mit einer niedrigeren Drehzahl dreht).

[0029] Das Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben wird, kann eine beliebige geeignete allgemeine Architektur aufweisen. Beispielsweise kann das Gasturbinentriebwerk eine beliebige gewünschte Anzahl an Wellen, die Turbinen und Verdichter verbinden, beispielsweise eine, zwei oder drei Wellen, aufweisen. Lediglich beispielhaft kann die mit der Kernwelle verbundene Turbine eine erste Turbine sein, der mit der Kernwelle verbundene Verdichter kann ein erster Verdichter sein und die Kernwelle kann eine erste Kernwelle sein. Der Triebwerkskern kann ferner eine zweite Turbine, einen zweiten Verdichter und eine zweite Kernwelle, die die zweite Turbine mit dem zweiten Verdichter verbindet, umfassen. Die zweite Turbine, der zweite Verdichter und die zweite Kernwelle können dahingehend angeordnet sein, sich mit einer höheren Drehzahl als die erste Kernwelle zu drehen.

[0030] Bei solch einer Anordnung kann der zweite Verdichter axial stromabwärts des ersten Verdichters positioniert sein. Der zweite Verdichter kann dahingehend angeordnet sein, Strömung von dem ersten Verdichter aufzunehmen (beispielsweise direkt aufzunehmen, beispielsweise über einen allgemein ringförmigen Kanal).

[0031] Das Getriebe kann dahingehend angeordnet

sein, von der Kernwelle, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen, (beispielsweise die erste Kernwelle in dem obigen Beispiel) angetrieben zu werden. Beispielsweise kann das Getriebe dahingehend angeordnet sein, lediglich von der Kernwelle, die dazu konfiguriert ist, sich (beispielsweise im Gebrauch) mit der niedrigsten Drehzahl zu drehen, (beispielsweise nur von der ersten Kernwelle und nicht der zweiten Kernwelle bei dem obigen Beispiel) angetrieben zu werden. Alternativ dazu kann das Getriebe dahingehend angeordnet sein, von einer oder mehreren Wellen, beispielsweise der ersten und/oder der zweiten Welle in dem obigen Beispiel, angetrieben zu werden.

[0032] Bei einem Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben wird, kann ein Brennraum axial stromabwärts des Gebläses und des Verdichters (der Verdichter) vorgesehen sein. Beispielsweise kann der Brennraum direkt stromabwärts des zweiten Verdichters (beispielsweise an dessen Ausgang) liegen, wenn ein zweiter Verdichter vorgesehen ist. Als ein weiteres Beispiel kann die Strömung am Ausgang des Verdichters dem Einlass der zweiten Turbine zugeführt werden, wenn eine zweite Turbine vorgesehen ist. Der Brennraum kann stromaufwärts der Turbine (der Turbinen) vorgesehen sein.

[0033] Der oder jeder Verdichter (beispielsweise der erste Verdichter und der zweite Verdichter gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorschaufeln und eine Reihe von Statorschaufeln, bei denen es sich um variable Statorschaufeln (dahingehend, dass ihr Anstellwinkel variabel sein kann) handeln kann, umfassen. Die Reihe von Rotorschaufeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial voneinander versetzt sein.

[0034] Die oder jede Turbine (beispielsweise die erste Turbine und die zweite Turbine gemäß obiger Beschreibung) kann eine beliebige Anzahl an Stufen, beispielsweise mehrere Stufen, umfassen. Jede Stufe kann eine Reihe von Rotorschaufeln und eine Reihe von Statorschaufeln umfassen. Die Reihe von Rotorschaufeln und die Reihe von Statorschaufeln können axial voneinander versetzt sein.

[0035] Jede Gebläseschaufel kann mit einer radialen Spannweite definiert sein, die sich von einem Fuß (oder einer Nabe) an einer radial innenliegenden von Gas überströmten Stelle oder an einer Position einer Spannweite von 0 % zu einer Spitze an einer Position einer Spannweite von 100 % erstreckt. Das Verhältnis des Radius der Gebläseschaufel an der Nabe zu dem Radius der Gebläseschaufel an der Spitze kann weniger als (oder in der Größenordnung von): 0,4, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31, 0,3, 0,29, 0,28, 0,27, 0,26 oder 0,25 liegen. Das Verhältnis des Radius der Gebläseschaufel an der Nabe zu dem Radius der Gebläseschaufel an der Spitze kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere

oder untere Grenzen bilden). Diese Verhältnisse können allgemein als das Nabe-Spitze-Verhältnis bezeichnet werden. Der Radius an der Nabe und der Radius an der Spitze können beide an dem vorderen Randteil (oder dem axial am weitesten vorne liegenden Rand) der Schaufel gemessen werden. Das Nabe-Spitze-Verhältnis bezieht sich natürlich auf den von Gas überströmten Abschnitt der Gebläseschaufel, d. h. den Abschnitt, der sich radial außerhalb jeglicher Plattform befindet.

[0036] Der Radius des Gebläses kann zwischen der Mittellinie des Triebwerks und der Spitze der Gebläseschaufel an ihrem vorderen Rand gemessen werden. Der Durchmesser des

[0037] Gebläses (der einfach das Doppelte des Radius des Gebläses sein kann) kann größer als (oder in der Größenordnung von): 250 cm (etwa 100 Inch), 260 cm, 270 cm (etwa 105 Inch), 280 cm (etwa 110 Inch), 290 cm (etwa 115 Inch), 300 cm (etwa 120 Inch), 310 cm, 320 cm (etwa 125 Inch), 330 cm (etwa 130 Inch), 340 cm (etwa 135 Inch), 350 cm, 360 cm (etwa 140 Inch), 370 cm (etwa 145 Inch), 380 cm (etwa 150 Inch) oder 390 cm (etwa 155 Inch) sein (liegen). Der Gebläsedurchmesser kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0038] Die Drehzahl des Gebläses kann im Gebrauch variieren. Allgemein ist die Drehzahl geringer für Gebläse mit einem größeren Durchmesser. Lediglich als ein nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen weniger als 2500 U/min, beispielsweise weniger als 2300 U/min, betragen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann auch die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Gebläsedurchmesser im Bereich von 250 cm bis 300 cm (beispielsweise 250 cm bis 280 cm) im Bereich von 1700 U/min bis 2500 U/min, beispielsweise im Bereich von 1800 U/min bis 2300 U/min, beispielsweise im Bereich von 1900 U/min bis 2100 U/min, liegen. Lediglich als ein weiteres nicht einschränkendes Beispiel kann die Drehzahl des Gebläses bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen für ein Triebwerk mit einem Gebläsedurchmesser im Bereich von 320 cm bis 380 cm in dem Bereich von 1200 U/min bis 2000 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1300 U/min bis 1800 U/min, beispielsweise in dem Bereich von 1400 U/min bis 1600 U/min, liegen.

[0039] Im Gebrauch des Gasturbinentriebwerks dreht sich das Gebläse (mit zugehörigen Gebläseschaufeln) um eine Drehachse. Diese Drehung führt dazu, dass sich die Spitze der Gebläseschaufel mit einer Geschwindigkeit U_{Spitze} bewegt. Die von den Gebläseschaufeln an der Strömung verrichtete Arbeit resultiert in einem Anstieg der Enthalpie dH der Strömung. Eine Gebläsespitzenbelastung kann als dH/U_{Spitze}^2 definiert werden, wobei dH der Enthalpieanstieg (beispielsweise der durchschnittliche 1-D-Enthalpieanstieg) über das Gebläse hin-

weg ist und U_{Spitze} die (Translations-) Geschwindigkeit der Gebläsespitze, beispielsweise an dem vorderen Rand der Spitze, ist (die als Gebläsespitzenradius am vorderen Rand multipliziert mit der Winkelgeschwindigkeit definiert werden kann). Die Gebläsespitzenbelastung bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann mehr als (oder in der Größenordnung von): 0,3, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39 oder 0,4 betragen (liegen) (wobei alle Einheiten in diesem Abschnitt $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}/(\text{ms}^{-1})^2$ sind). Die Gebläsespitzenbelastung kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0040] Gasturbinentriebwerke gemäß der vorliegenden Offenbarung können ein beliebiges gewünschtes Bypassverhältnis aufweisen, wobei das Bypassverhältnis als das Verhältnis des Massendurchsatzes der Strömung durch den Bypasskanal zu dem Massendurchsatz der Strömung durch den Kern bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen definiert wird. Bei einigen Anordnungen kann das Bypassverhältnis mehr als (in der Größenordnung von): 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, 16, 16,5 oder 17 betragen (liegen). Das Bypassverhältnis kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Bypasskanal kann im Wesentlichen ringförmig sein. Der Bypasskanal kann sich radial außerhalb des Triebwerkskerns befinden. Die radial äußere Fläche des Bypasskanals kann durch eine Triebwerksgondel und/oder ein Gebläsegehäuse definiert werden.

[0041] Das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben wird, kann als das Verhältnis des Staudrucks stromaufwärts des Gebläses zu dem Staudruck am Ausgang des Höchstdruckverdichters (vor dem Eingang in den Brennraum) definiert werden. Als ein nicht einschränkendes Beispiel kann das Gesamtdruckverhältnis eines Gasturbinentriebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, bei Konstantgeschwindigkeit mehr als (oder in der Größenordnung von): 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 betragen (liegen). Das Gesamtdruckverhältnis kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden).

[0042] Der spezifische Schub eines Triebwerks kann als der Nettoschub des Triebwerks dividiert durch den Gesamtmassenstrom durch das Triebwerk hindurch definiert werden. Bei Konstantgeschwindigkeitsbedingungen kann der spezifische Schub eines Triebwerks, das hier beschrieben und/oder beansprucht wird, weniger als (oder in der Größenordnung von): 110 Nkg^{-1}s , 105 Nkg^{-1}s , 100 Nkg^{-1}s , 95 Nkg^{-1}s , 90 Nkg^{-1}s , 85 Nkg^{-1}s oder 80 Nkg^{-1}s betragen (liegen). Der spezifische Schub kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h.

die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Solche Triebwerke können im Vergleich zu herkömmlichen Gasturbinentriebwerken besonders effizient sein.

[0043] Ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben wird, kann einer beliebigen gewünschten Höchstschub aufweisen. Lediglich als ein nicht einschränken- des Beispiel kann eine Gasturbine, die hier beschrieben und/oder beansprucht wird, zur Erzeugung eines Höchstschubs von mindestens (oder in der Größenordnung von): 160kN, 170kN, 180kN, 190kN, 200kN, 250kN, 300kN, 350kN, 400kN, 450kN, 500kN oder 550kN in der Lage sein. Der Höchstschub kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Der Schub, auf den oben Bezug genommen wird, kann der Nettohöchstschub bei standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen auf Meereshöhe plus 15 Grad C (Umgebungsdruck 101,3 kPa, Temperatur 30 Grad C) bei statischem Triebwerk sein.

[0044] Im Gebrauch kann die Temperatur der Strömung am Eingang der Hochdruckturbine besonders hoch sein. Diese Temperatur, die als TET bezeichnet werden kann, kann an dem Ausgang zum Brennraum, beispielsweise unmittelbar stromaufwärts der ersten Turbinenschaufel, die wiederum als eine Düsenleitschaufel bezeichnet werden kann, gemessen werden. Bei Konstantgeschwindigkeit kann die TET mindestens (oder in der Größenordnung von): 1400K, 1450K, 1500K, 1550K, 1600K oder 1650K betragen (liegen). Die TET bei Konstantgeschwindigkeit kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET im Gebrauch des Triebwerks kann beispielsweise mindestens (oder in der Größenordnung von): 1700K, 1750K, 1800K, 1850K, 1900K, 1950K oder 2000K betragen (liegen). Die maximale TET kann in einem einschließenden Bereich liegen, der von zwei der Werte im vorhergehenden Satz begrenzt wird (d. h. die Werte können obere oder untere Grenzen bilden). Die maximale TET kann beispielsweise bei einer Bedingung von hohem Schub, beispielsweise bei einer MTO-Bedingung (MTO - Maximum Take-Off thrust - maximaler Startschub), auftreten.

[0045] Eine Gebläseschaufel und/oder ein Blattabschnitt einer Gebläseschaufel, die hier beschrieben wird, kann aus einem beliebigen geeigneten Material oder einer Kombination aus Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Verbundstoff, beispielsweise einem Metallmatrix-Verbundstoff und/oder einem Verbundstoff mit organischer Matrix, wie z. B. Kohlefaser, hergestellt werden. Als ein weiteres Beispiel kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufel und/oder des Blatts zumindest zum Teil aus einem Metall, wie z. B. einem auf Titan basierendem Metall oder einem auf Aluminium basierendem Material (wie z. B. einer Aluminium-Lithium-Legierung) oder einem auf

Stahl basierendem Material hergestellt werden. Die Gebläseschaufel kann mindestens zwei Bereiche umfassen, die unter Verwendung verschiedener Materialien hergestellt werden. Beispielsweise kann die Gebläseschaufel einen vorderen Schutzrand aufweisen, der unter Verwendung eines Materials hergestellt wird, das dem Aufschlagen (beispielsweise von Vögeln, Eis oder anderem Material) besser widerstehen kann als der Rest der Schaufel. Solch ein vorderer Rand kann beispielsweise unter Verwendung von Titan oder einer auf Titan basierenden Legierung hergestellt werden. Somit kann die Gebläseschaufel lediglich als ein Beispiel einen auf Kohlefaser oder Aluminium basierenden Körper (wie z. B. eine Aluminium-Lithium-Legierung) mit einem vorderen Rand aus Titan aufweisen.

[0046] Ein Gebläse, das hier beschrieben wird, kann einen mittleren Abschnitt umfassen, von dem sich die Gebläseschaufeln, beispielsweise in einer radialen Richtung, erstrecken können. Die Gebläseschaufeln können auf beliebige gewünschte Art und Weise an dem mittleren Abschnitt angebracht sein. Beispielsweise kann jede Gebläseschaufel eine Fixierungsvorrichtung umfassen, die mit einem entsprechenden Schlitz in der Nabe (oder Scheibe) in Eingriff gelangen kann. Lediglich als ein Beispiel kann solch eine Fixierungsvorrichtung in Form eines Schwalbenschwanzes vorliegen, der zur Fixierung der Gebläseschaufel an der Nabe/Scheibe in einen entsprechenden Schlitz in der Nabe/Scheibe eingesteckt und/oder damit in Eingriff gebracht werden kann. Als ein weiteres Beispiel können die Gebläseschaufeln integral mit einem mittleren Abschnitt ausgebildet sein. Solch eine Anordnung kann als eine Blisk oder ein Bling bezeichnet werden. Ein beliebiges geeignetes Verfahren kann zur Herstellung solch einer Blisk oder solch eines Bling verwendet werden. Beispielsweise kann zumindest ein Teil der Gebläseschaufeln aus einem Block maschinell herausgearbeitet werden und/oder mindestens ein Teil der Gebläseschaufeln kann durch Schweißen, wie z. B. lineares Reibschweißen, an der Nabe/Scheibe angebracht werden.

[0047] Die Gasturbinentriebwerke, die hier beschrieben werden, können oder können nicht mit einer VAN (Variable Area Nozzle - Düse mit variablem Querschnitt) versehen sein. Solch eine Düse mit variablem Querschnitt kann eine Variation des Ausgangsquerschnitts des Bypasskanals im Gebrauch gestatten. Die allgemeinen Prinzipien der vorliegenden Offenbarung können auf Triebwerke mit oder ohne eine VAN zutreffen.

[0048] Das Gebläse einer Gasturbine, die hier beschrieben wird, kann eine beliebige gewünschte Anzahl an Gebläseschaufeln, beispielsweise 16, 18, 20 oder 22 Gebläseschaufeln, aufweisen.

[0049] Gemäß der hier erfolgenden Verwendung können Konstantgeschwindigkeitsbedingungen Konstantgeschwindigkeitsbedingungen eines Luftfahrzeugs, an dem das Gasturbinentriebwerk angebracht ist, bedeuten. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können herkömmlicherweise als die Bedingungen während

des mittleren Teils des Flugs definiert werden, beispielsweise die Bedingungen, denen das Luftfahrzeug und/oder das Triebwerk zwischen (hinsichtlich Zeit und/oder Entfernung) dem Ende des Steigflugs und dem Beginn des Sinkflugs ausgesetzt wird bzw. werden.

[0050] Lediglich als ein Beispiel kann die Vorwärtsgeschwindigkeit bei der Konstantgeschwindigkeitsbedingung bei einem beliebigen Punkt im Bereich von Mach 0,7 bis 0,9, beispielsweise 0,75 bis 0,85, beispielsweise 0,76 bis 0,84, beispielsweise 0,77 bis 0,83, beispielsweise 0,78 bis 0,82, beispielsweise 0,79 bis 0,81, beispielsweise in der Größenordnung von Mach 0,8, in der Größenordnung von Mach 0,85 oder in dem Bereich von 0,8 bis 0,85 liegen. Eine beliebige Geschwindigkeit innerhalb dieser Bereiche kann die Konstantfahrtbedingung sein. Bei einigen Luftfahrzeugen können die Konstantfahrtbedingungen außerhalb dieser Bereiche, beispielsweise unter Mach 0,7 oder über Mach 0,9, liegen.

[0051] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer Höhe, die im Bereich von 10.000 m bis 15.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.000 m bis 12.000 m, beispielsweise im Bereich von 10.400 m bis 11.600 m (etwa 38.000 Fuß) beispielsweise im Bereich von 10.500 m bis 11.500 m, beispielsweise im Bereich von 10.600 m bis 11.400 m, beispielsweise im Bereich von 10.700 m (etwa 35.000 Fuß) bis 11.300 m, beispielsweise im Bereich von 10.800 m bis 11.200 m, beispielsweise im Bereich von 10.900 m bis 11.100 m, beispielsweise in der Größenordnung von 11.000 m, liegt, entsprechen. Die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können standardmäßigen atmosphärischen Bedingungen bei einer beliebigen gegebenen Höhe in diesen Bereichen entsprechen.

[0052] Lediglich als ein Beispiel können die Konstantgeschwindigkeitsbedingungen Folgendem entsprechen: einer Vorwärts-Mach-Zahl von 0,8; einem Druck von 23.000 Pa und einer Temperatur von -55 Grad C.

[0053] So wie sie hier durchweg verwendet werden, können "Konstantgeschwindigkeit" oder "Konstantgeschwindigkeitsbedingungen" den aerodynamischen Auslegungspunkt bedeuten. Solch ein aerodynamischer Auslegungspunkt (oder ADP - Aerodynamic Design Point) kann den Bedingungen (darunter beispielsweise die Mach-Zahl, Umgebungsbedingungen und Schubanforderung), für die der Gebläsebetrieb ausgelegt ist, entsprechen. Dies kann beispielsweise die Bedingungen, bei denen das Gebläse (oder das Gasturbinentriebwerk) konstruktionsgemäß den optimalen Wirkungsgrad aufweist, bedeuten.

[0054] Im Gebrauch kann ein Gasturbinentriebwerk, das hier beschrieben wird, bei den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen, die hier an anderer Stelle definiert werden, betrieben werden. Solche Konstantgeschwindigkeitsbedingungen können von den Konstantgeschwindigkeitsbedingungen (beispielsweise den Bedingungen während des mittleren Teils des Fluges) eines Luftfahrzeugs, an dem mindestens ein (beispielsweise 2

oder 4) Gasturbinentriebwerk zur Bereitstellung von Schubkraft befestigt sein kann, bestimmt werden.

[0055] Für den Fachmann ist verständlich, dass ein Merkmal oder Parameter, das bzw. der in Bezug auf einen der obigen Aspekte beschrieben wird, bei einem beliebigen anderen Aspekt angewendet werden kann, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Des Weiteren kann ein beliebiges Merkmal oder ein beliebiger Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird, bei einem beliebigen Aspekt angewendet werden und/oder mit einem beliebigen anderen Merkmal oder Parameter, das bzw. der hier beschrieben wird, kombiniert werden, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Der Schutzbereich der Erfindung wird allein durch die Patentansprüche definiert.

[0056] Die Offenbarung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- | | | |
|----|---------|---|
| 20 | Figur 1 | eine Seitenschnittansicht eines Gasturbinentriebwerks; |
| 25 | Figur 2 | eine Seitenschnittgroßansicht eines stromaufwärtigen Abschnitts eines Gasturbinentriebwerks; |
| 30 | Figur 3 | eine zum Teil weggeschnittene Ansicht eines Getriebes für ein Gasturbinentriebwerk; |
| 35 | Figur 4 | den grundlegenden geometrischen Aufbau und die Basisbezeichnungen an einem Verdichtergitter; |
| 40 | Figur 5 | schematisch in axialer Schnittdarstellung eine Schaufelradanordnung eines Verdichters eines Gasturbinentriebwerks mit einem stromaufwärtigen Stator, einem Rotor und einem stromabwärtigen Stator; |
| 45 | Figur 6 | schematisch einen Schnitt durch das Schaufelrad eines Rotors oder eines Stators gemäß der Figur 5 in einer Ebene senkrecht zur Maschinenachse, wobei das Schaufelrad zwei Bereiche umfasst, die einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel aufweisen; |
| 50 | Figur 7 | eine Schaufelradanordnung gemäß Figur 5, wobei die Schaufeln der einzelnen Schaufelräder jeweils als nominale Schaufeln ausgebildet sind; |
| 55 | Figur 8 | eine Schaufelradanordnung gemäß Figur 5, bei der die Schaufeln aller drei Schaufelräder Blöcke ausbilden, die einen unterschiedlichen Schaufel-Staffelungswinkel ausbilden; |
| | Figur 9 | eine Schaufelradanordnung gemäß Figur 5, |

- bei der die Schaufeln aller drei Schaufelräder Blöcke ausbilden, die einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel oder Schaufelaustrittswinkel aufweisen; und
- Figur 10 eine schematische Darstellung der mit der Erfindung erzielten Vorteile unter Darstellung der aerodynamischen Dämpfung in Abhängigkeit vom Knotendurchmesser, wobei bei einer erfindungsgemäßen Schaufelradanordnung die Schaufeln zu Schwingungen angeregt werden, die stärker gedämpft werden;
- Figur 11 schematisch eine Strukturbaugruppe, die ein Eintrittsleitrad mit verstellbarem Staffellungswinkel und Teilspalten zu den benachbarten Strömungspfadberandungen aufweist;
- Figur 12 ein Eintrittsleitrad gemäß der Figur 11 mit daran ausgebildeten Teilspalten;
- Figur 13 in einer Gitterdarstellung ein Ausführungsbeispiel einer Schaufelradanordnung mit einem stromaufwärtigen Eintrittsleitrad, einem Rotor und einem stromabwärtigen Stator, wobei die Schaufeln des Eintrittsleitrads und des Stators jeweils in Blöcken angeordnet sind, die unterschiedlich ausgebildete Teilspalte aufweisen; und
- Figur 14 in einer Gitterdarstellung ein Ausführungsbeispiel einer in einen Verdichter eingebetteten Schaufelradanordnung mit einem stromaufwärtigen Stator, einem Rotor und einem stromabwärtigen Stator, wobei die Schaufeln der beiden Statoren jeweils in Blöcken angeordnet sind, die unterschiedlich ausgebildete Teilspalte aufweisen.

[0057] Es wird darauf hingewiesen, dass die Figuren 11-14 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Schaufelrads betreffen und dass die Figuren 4-9 kein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung betreffen. Sie können jedoch mit dem erfindungsgemäßen Schaufelrad kombiniert werden.

[0058] Figur 1 stellt ein Gasturbinentriebwerk 10 mit einer Hauptdrehachse 9 dar. Das Triebwerk 10 umfasst einen Lufteinlass 12 und ein Schubgebläse bzw. Fan 23, das zwei Luftströme erzeugt: einen Kernluftstrom A und einen Bypassluftstrom B. Das Gasturbinentriebwerk 10 umfasst einen Kern 11, der den Kernluftstrom A aufnimmt. Der Triebwerkskern 11 umfasst in Axialströmungsreihenfolge einen Niederdruckverdichter 14, einen Hochdruckverdichter 15, eine Verbrennungseinrichtung 16, eine Hochdruckturbine 17, eine Niederdruckturbine 19 und eine Kernschubdüse 20. Eine Triebwerks-

gondel 21 umgibt das Gasturbinentriebwerk 10 und definiert einen Bypasskanal 22 und eine Bypassschubdüse 18. Der Bypassluftstrom B strömt durch den Bypasskanal 22. Das Gebläse 23 ist über eine Welle 26 und ein Epizykloidengetriebe 30 an der Niederdruckturbine 19 angebracht und wird durch diese angetrieben.

[0059] Im Gebrauch wird der Kernluftstrom A durch den Niederdruckverdichter 14 beschleunigt und verdichtet und in den Hochdruckverdichter 15 geleitet, wo eine weitere Verdichtung erfolgt. Die aus dem Hochdruckverdichter 15 ausgestoßene verdichtete Luft wird in die Verbrennungseinrichtung 16 geleitet, wo sie mit Kraftstoff vermischt wird und das Gemisch verbrannt wird. Die resultierenden heißen Verbrennungsprodukte breiten sich dann durch die Hochdruck- und die Niederdruckturbine 17, 19 aus und treiben diese dadurch an, bevor sie zur Bereitstellung einer gewissen Schubkraft durch die Düse 20 ausgestoßen werden. Die Hochdruckturbine 17 treibt den Hochdruckverdichter 15 durch eine geeignete Verbindungswelle 27 an. Das Gebläse 23 stellt allgemein den Hauptteil der Schubkraft bereit. Das Epizykloidengetriebe 30 ist ein Untersetzungsgetriebe.

[0060] Eine beispielhafte Anordnung für ein Getriebegebläse-Gasturbinentriebwerk 10 wird in Figur 2 gezeigt. Die Niederdruckturbine 19 (siehe Figur 1) treibt die Welle 26 an, die mit einem Sonnenrad 28 der Epizykloidengetriebeanordnung 30 gekoppelt ist. Mehrere Planetenräder 32, die durch einen Planetenträger 34 miteinander gekoppelt sind, befinden sich von dem Sonnenrad 28 radial außen und kämmen damit. Der Planetenträger 34 beschränkt die Planetenräder 32 darauf, synchron um das Sonnenrad 28 zu kreisen, während er ermöglicht, dass sich jedes Planetenrad 32 um seine eigene Achse drehen kann. Der Planetenträger 34 ist über Gestänge 36 mit dem Gebläse 23 dahingehend gekoppelt, seine Drehung um die Triebwerksachse 9 anzutreiben. Ein Außenrad oder Hohlrad 38, das über Gestänge 40 mit einer stationären Stützstruktur 24 gekoppelt ist, befindet sich von den Planetenrädern 32 radial außen und kämmt damit. Es wird angemerkt, dass die Begriffe "Niederdruckturbine" und "Niederdruckverdichter", so wie sie hier verwendet werden, so aufgefasst werden können, dass sie die Turbinenstufe mit dem niedrigsten Druck bzw. die Verdichterstufe mit dem niedrigsten Druck (d. h. dass sie nicht das Gebläse 23 umfassen) und/oder die Turbinen- und Verdichterstufe, die durch die Verbindungswelle 26 mit der niedrigsten Drehzahl in dem Triebwerk (d. h. dass sie nicht die Getriebeausgangswelle, die das Gebläse 23 antreibt, umfasst) miteinander verbunden sind, bedeuten. In einigen Schriften können die "Niederdruckturbine" und der "Niederdruckverdichter", auf die hier Bezug genommen wird, alternativ dazu als die "Mitteldruckturbine" und "Mitteldruckverdichter" bekannt sein. Bei der Verwendung derartiger alternativer Nomenklatur kann das Gebläse 23 als eine erste Verdichtungsstufe oder Verdichtungsstufe mit dem niedrigsten Druck bezeichnet werden.

[0061] Das Epizykloidengetriebe 30 wird in Figur 3 bei-

spielhaft genauer gezeigt. Das Sonnenrad 28, die Planetenräder 32 und das Hohlrad 38 umfassen jeweils Zähne um ihre Peripherie zum Kämme mit den anderen Zahnrädern. Jedoch werden der Übersichtlichkeit halber lediglich beispielhafte Abschnitte der Zähne in Figur 3 dargestellt. Obgleich vier Planetenräder 32 dargestellt werden, liegt für den Fachmann auf der Hand, dass mehr oder weniger Planetenräder 32 vorgesehen sein können. Praktische Anwendungen eines Epizykloidengetriebes 30 umfassen allgemein mindestens drei Planetenräder 32.

[0062] Das in Figur 2 und 3 beispielhaft dargestellte Epizykloidengetriebe 30 ist ein Planetengetriebe, bei dem der Planetenträger 34 über Gestänge 36 mit einer Ausgangswelle gekoppelt ist, wobei das Hohlrad 38 festgelegt ist. Jedoch kann eine beliebige andere geeignete Art von Epizykloidengetriebe 30 verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel kann das Epizykloidengetriebe 30 eine Sternanordnung sein, bei der der Planetenträger 34 festgelegt gehalten wird, wobei gestattet wird, dass sich das Hohlrad (oder Außenrad) 38 dreht. Bei solch einer Anordnung wird das Gebläse 23 von dem Hohlrad 38 angetrieben. Als ein weiteres alternatives Beispiel kann das Getriebe 30 ein Differenzialgetriebe sein, bei dem gestattet wird, dass sich sowohl das Hohlrad 38 als auch der Planetenträger 34 drehen.

[0063] Es versteht sich, dass die in Figur 2 und 3 gezeigte Anordnung lediglich beispielhaft ist und verschiedene Alternativen in dem Schutzzumfang der vorliegenden Offenbarung liegen. Lediglich beispielhaft kann eine beliebige geeignete Anordnung zur Positionierung des Getriebes 30 in dem Triebwerk 10 und/oder zur Verbindung des Getriebes 30 mit dem Triebwerk 10 verwendet werden. Als ein weiteres Beispiel können die Verbindungen (z. B. die Gestänge 36, 40 in dem Beispiel von Figur 2) zwischen dem Getriebe 30 und anderen Teilen des Triebwerks 10 (wie z. B. der Eingangswelle 26, der Ausgangswelle und der festgelegten Struktur 24) einen gewissen Grad an Steifigkeit oder Flexibilität aufweisen. Als ein weiteres Beispiel kann eine beliebige geeignete Anordnung der Lager zwischen rotierenden und stationären Teilen des Triebwerks (beispielsweise zwischen der Eingangs- und der Ausgangswelle des Getriebes und den festgelegten Strukturen, wie z. B. dem Getriebegehäuse) verwendet werden, und die Offenbarung ist nicht auf die beispielhafte Anordnung von Figur 2 beschränkt. Beispielsweise ist für den Fachmann ohne Weiteres erkenntlich, dass sich die Anordnung von Ausgang und Stützgestängen und Lagerpositionierungen bei einer Sternanordnung (oben beschrieben) des Getriebes 30 in der Regel von jenen, die beispielhaft in Figur 2 gezeigt werden, unterscheiden würden.

[0064] Entsprechend dehnt sich die vorliegende Offenbarung auf ein Gasturbinentriebwerk mit einer beliebigen Anordnung der Getriebearten (beispielsweise sternförmig oder planetenartig), Stützstrukturen, Eingangs- und Ausgangswellenanordnung und Lagerpositionierungen aus.

[0065] Optional kann das Getriebe Neben- und/oder alternative Komponenten (z. B. den Mitteldruckverdichter und/oder einen Nachverdichter) antreiben.

[0066] Andere Gasturbinentriebwerke, bei denen die vorliegende Offenbarung Anwendung finden kann, können alternative Konfigurationen aufweisen. Beispielsweise können derartige Triebwerke eine alternative Anzahl an Verdichtern und/oder Turbinen und/oder eine alternative Anzahl an Verbindungswellen aufweisen. Als ein weiteres Beispiel weist das in Figur 1 gezeigte Gasturbinentriebwerk eine Teilungsstromdüse 20, 22 auf, was bedeutet, dass der Strom durch den Bypasskanal 22 seine eigene Düse aufweist, die von der Triebwerkskerndüse 20 separat und davon radial außen ist. Jedoch ist dies nicht einschränkend und ein beliebiger Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann auch auf Triebwerke zutreffen, bei denen der Strom durch den Bypasskanal 22 und der Strom durch den Kern 11 vor (oder stromaufwärts) einer einzigen Düse, die als eine Mischstromdüse bezeichnet werden kann, vermischt oder kombiniert werden. Eine oder beide Düsen (ob Misch- oder Teilungsstrom) kann einen festgelegten oder variablen Bereich aufweisen. Obgleich sich das beschriebene Beispiel auf ein Turbogebälsetriebwerk bezieht, kann die Offenbarung beispielsweise bei einer beliebigen Art von Gasturbinentriebwerk, wie z. B. bei einem Open-Rotor- (bei dem die Gebläsestufe nicht von einer Triebwerks gondel umgeben wird) oder einem Turboprop-Triebwerk, angewendet werden. Bei einigen Anordnungen umfasst das Gasturbinentriebwerk 10 möglicherweise kein Getriebe 30.

[0067] Die Geometrie des Gasturbinentriebwerks 10 und Komponenten davon wird bzw. werden durch ein herkömmliches Achsensystem definiert, das eine axiale Richtung (die auf die Drehachse 9 ausgerichtet ist), eine radiale Richtung (in der Richtung von unten nach oben in Figur 1) und eine Umfangsrichtung (senkrecht zu der Ansicht in Figur 1) umfasst. Die axiale, die radiale und die Umfangsrichtung verlaufen senkrecht zueinander.

[0068] Im Kontext der vorliegenden Erfindung ist die Ausbildung der Schaufelräder insbesondere im Verdichter von Bedeutung. Die Erfindung ist dabei grundsätzlich in einem Niederdruckverdichter, einem Mitteldruckverdichter (sofern vorhanden) und/oder einem Hochdruckverdichter einsetzbar.

[0069] Zunächst wird dabei anhand der Figur 4 der grundlegende Aufbau eines Verdichtergitters beschrieben. Das Verdichtergitter ist in üblicher Darstellung im Meridianschnitt und abgerollt dargestellt. Es umfasst eine Mehrzahl von Schaufeln S, die jeweils eine Vorderkante S_{VK} und eine Hinterkante S_{HK} aufweisen. Die Vorderkanten S_{VK} liegen auf einer gedachten Linie L_1 , die Hinterkanten S_{HK} liegen auf einer gedachten Linie L_2 . Die Linien L_1 und L_2 verlaufen parallel. Die Schaufeln S umfassen des Weiteren jeweils eine Saugseite SS und eine Druckseite DS. Ihre maximale Profildicke ist mit d angegeben.

[0070] Das Verdichtergitter weist eine Gitterteilung t und eine Profildicke s mit einer Profildickenlänge s_k auf.

Die Profillehne s ist die Verbindungslinie zwischen der Vorderkante S_{VK} und der Hinterkante S_{HK} des Profils. Zwischen der Profillehne s und der Senkrechten auf der Linie L_1 (wobei die Senkrechte zumindest näherungsweise der durch die Maschinenachse definierten Richtung entspricht) ist der Schaufel-Staffelungswinkel (im folgenden Staffelungswinkel) α_s gebildet. Der Staffelungswinkel α_s gibt die Neigung der Schaufeln S an.

[0071] Die Schaufeln S weisen eine Skelettlinie SL auf, die auch als Profilmittellinie bezeichnet wird. Diese ist definiert durch die Verbindungslinie der in das Profil eingeschriebenen Kreismittelpunkte. Die Tangente an die Skelettlinie SL an der Vorderkante ist mit T_1 bezeichnet. Die Tangente an die Skelettleitlinie SL an der Hinterkante ist mit T_2 bezeichnet. Der Winkel, unter dem sich die beiden Tangenten T_1 , T_2 schneiden, ist der Schaufelwölbungswinkel λ . Die Zuströmrichtung, mit der Gas auf das Gitter zuströmt, ist mit Z und die Abströmrichtung, mit der Gas vom Gitter weg strömt, ist mit D gekennzeichnet. Der Inzidenzwinkel β , ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten T_1 und der Zuströmrichtung Z . Der Deviationswinkel β_2 ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten T_2 und der Abströmrichtung A .

[0072] Der Schaufelaustrittswinkel γ_1 ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten T_1 an die Skelettlinie SL und der Senkrechten auf der Linie L_1 . Der Schaufelaustrittswinkel γ_2 ist definiert als der Winkel zwischen der Tangenten T_2 an die Skelettlinie SL und der Senkrechten auf der Linie L_2 . Der Schaufeleintrittswinkel γ_1 wird auch als Blatteintrittswinkel oder als Zuström-Metallwinkel und der Schaufelaustrittswinkel γ_2 auch als Blattaustrittswinkel oder als Abström-Metallwinkel bezeichnet.

[0073] Der Schaufeleintrittswinkel γ_1 und der Schaufelaustrittswinkel γ_2 ändern sich beide, wenn der Staffelungswinkel α_s bei gleichbleibender Form der Schaufeln geändert wird, da eine Änderung des Staffelungswinkels α_s in einem solchen Fall durch die damit verbundene Neigungsverstellung der Schaufeln die Ausrichtung der Tangenten T_1 , T_2 verändert. Durch Änderung der Wölbung der Schaufeln S können der Schaufeleintrittswinkel γ_1 und/oder der Schaufelaustrittswinkel γ_2 jedoch auch ohne eine Änderung des Staffelungswinkels α_s geändert werden. Auch kann vorgesehen sein, dass durch entsprechende Formgebung der Schaufeln S nur der Schaufeleintrittswinkel γ_1 oder der Schaufelaustrittswinkel γ_2 geändert wird, wobei dies auch zu einer Änderung des Staffelungswinkels α_s führt.

[0074] Die Figur 5 zeigt eine Schaufelradanordnung für einen Verdichter, die ein erstes Schaufelrad 6 aufweist, das als Laufrad ausgebildet ist. Stromaufwärts des Laufrads 6 ist ein zweites Schaufelrad 5 angeordnet, dass als Leitrad ausgebildet ist. Des Weiteren ist stromabwärts des Laufrads 6 ein drittes Schaufelrad 7 angeordnet, das als weiteres Leitrad ausgebildet ist. Das stromaufwärts angeordnete Leitrad 5 kann als Eingangsleitrad (IGV) ausgebildet sein. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. Es kann sich auch um einen normalen Verdichter-Stator einer in den Verdichter eingebetteten Stufe handeln.

Durch die Schaufelradanordnung erstreckt sich ein Strömungspfad 8 des Verdichters bzw. des Kerntriebwerks.

[0075] Jedes dieser Schaufelräder 5, 6, 7 umfasst eine Mehrzahl von Schaufeln, die sich radial im Strömungspfad 8 der Strömungsmaschine erstrecken. Dabei ist vorgesehen, dass an zumindest einem der Schaufelräder 5, 6, 7 die Schaufeln in Blöcke unterteilt sind, für die gilt, dass die Schaufeln innerhalb eines Blocks jeweils den gleichen Schaufeleintrittswinkel und den gleichen Schaufelaustrittswinkel aufweisen. Die Schaufeln von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken weisen dagegen einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel und/oder einen unterschiedlichen Schaufelaustrittswinkel auf.

[0076] Dies ist beispielhaft und schematisch anhand der Figur 6 illustriert. Die Figur 6 zeigt in einem Querschnitt quer zur Maschinenachse unter Darstellung der Polarkoordinaten r , φ ein Schaufelrad, bei dem es sich um eines der Schaufelräder 5, 6, 7 der Figur 5 handeln kann. Die einzelnen Schaufeln sind nicht gesondert dargestellt. Das Schaufelrad ist in zwei Blöcke $B1$, $B2$ unterteilt. Jeder der Blöcke erstreckt sich in Umfangsrichtung φ über einen Erstreckungswinkel δ von 180° . Alternativ kann das Schaufelrad in eine größere Anzahl von Blöcken unterteilt sein, wobei für den Erstreckungswinkel δ gilt:

$$\delta = 360^\circ / N$$

wobei N die Anzahl der Blöcke angibt und eine natürliche Zahl größer oder gleich 2 ist. In der Figur 6 ist N gleich 2.

[0077] Die Schaufeln der Blöcke $B1$, $B2$ weisen einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel und/oder einen unterschiedlichen Schaufelaustrittswinkel auf.

[0078] Die Figur 6 zeigt zusätzlich ein alternatives Ausführungsbeispiel, bei dem die einzelnen Blöcke $B1$, $B2$ einen unterschiedlichen Erstreckungswinkel in Umfangsrichtung aufweisen. So weist der eine Block $B1$ einen Erstreckungswinkel δ_1 kleiner 180° auf und der Block $B2$ einen Erstreckungswinkel auf, der entsprechend größer als 180° ist. In weiteren Varianten ist das Schaufelrad in eine größere Anzahl von Blöcken unterteilt, wobei die einzelnen Blöcke jeweils einen unterschiedlichen Erstreckungswinkel und dementsprechend eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln aufweisen.

[0079] Anhand der Figuren 7 bis 9 werden zwei Ausführungsbeispiele erläutert, bei denen die Schaufelräder Blöcke mit unterschiedlichem Schaufeleintrittswinkel und/oder unterschiedlichem Schaufelaustrittswinkel bilden. Die Figur 7 zeigt dabei zunächst eine nominale Stellung der Schaufeln, wobei sämtliche Schaufeln den gleichen Schaufeleintrittswinkel und den gleichen Schaufelaustrittswinkel aufweisen. Dabei umfasst die dargestellte Schaufelradanordnung einen Rotor bzw. ein Laufrad 6, das eine Mehrzahl von Laufschaufeln 60 aufweist, die in eine Richtung F rotieren. Die Schaufeln 60 des Laufrad

6 bilden eine Schaufelreihe.

[0080] Stromaufwärts des Laufrads 6 ist ein Stator bzw. ein Leitrad 5 angeordnet, das eine Mehrzahl von Leitschaufeln 50 aufweist. Des Weiteren ist stromabwärts des Laufrads 6 ein Stator bzw. ein Leitrad 7 angeordnet, das eine Mehrzahl von Leitschaufeln 70 aufweist. Die Strömungsrichtung, mit der das Gas auf das Leitrad 5 zuströmt, ist durch den Pfeil E gekennzeichnet. Sämtliche Schaufeln der Schaufelräder 5, 6, 7 sind in der Figur 7 in identischer Weise geformt und ausgerichtet.

[0081] Die Figur 8 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer hierzu abweichenden Schaufelradanordnung. Es wird zunächst das Leitrad 5 betrachtet. Dieses weist N Blöcke von Schaufeln auf, wobei Schaufeln zweier Blöcke, nämlich der Blöcke B_j und B_k dargestellt ist. Die einzelnen Blöcke umfassen in der Darstellung der Figur 8 jeweils zwei Schaufeln. Dies ist lediglich beispielhaft zu verstehen. Die einzelnen Blöcke B_j und B_k können auch eine größere Anzahl von Schaufeln aufweisen, wobei die Schaufeln insgesamt in mindestens N=2 Blöcke unterteilt sind. Auch kann die Figur 8 dahingehend aufgefasst werden, dass nicht alle Schaufeln eines Blocks dargestellt sind, also sich oberhalb der in der Zeichnung obersten Schaufel weitere Schaufeln des Blocks B_j und unterhalb der in der Zeichnung untersten Schaufel weitere Schaufeln des Blocks B_k anschließen, wobei in der Figur 8 nur der Übergang zwischen den beiden Blöcken B_j und B_k dargestellt ist.

[0082] Die Figur 8 zeigt sowohl die Schaufeln 50 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln in einer dazu geänderten Stellung. Die Schaufeln in der geänderten Stellung sind im Block B_j mit 51 und im Block B_k mit 52 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 51, 52 der beiden Blöcke B_j und B_k einen unterschiedlichen Staffelungswinkel aufweisen. Der Staffelungswinkel ist beim Leitrad 5 (dem zweiten Schaufelrad S2 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\alpha_{S2,i} = \alpha_{S2,0} + (-1)^i \Delta\alpha_{S2}$$

[0083] Dabei ist $\alpha_{S2,0}$ eine Konstante, die den nominalen Staffelungswinkel gemäß der Figur 7 angibt. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Von der Nominalstellung wird der Staffelungswinkel in die eine Richtung oder in die andere Richtung um den Änderungsbetrag $\Delta\alpha_{S2}$ verstellt. Bei den Schaufeln aneinandergrenzender Blöcke B_j und B_k wird der Staffelungswinkel dabei mit unterschiedlichem Vorzeichen geändert. So liegt eine Änderung des Staffelungswinkels zwischen den Schaufeln 50 und den Schaufeln 51 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $-\Delta\alpha_{S2}$ vor, wie in der Figur 5 angedeutet ist. Zwischen den Schaufeln 50 und den Schaufeln 52 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Staffelungswinkels um den Änderungsbetrag $+\Delta\alpha_{S2}$ vor. Der Staffelungswinkel ist dabei wie in Bezug auf die Figur 4 erläutert definiert.

[0084] Die Änderung des Staffelungswinkels in den einzelnen Blöcken geht damit einher, dass gegenüber

der Nominalstellung im Block B_j die Statorschaufeln stärker geschlossen und im Block B_k stärker geöffnet sind.

[0085] Im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise, sind auch Modifikationen im Staffelungswinkel beim Laufrad 6 und beim Leitrad 7 erfolgt. Dabei wird zunächst das weitere Leitrad 7 betrachtet. Dieses ist in die gleiche Anzahl N von Blöcken jeweils unterschiedlichem Staffelungswinkel unterteilt.

[0086] Die Figur 8 zeigt sowohl die Schaufeln 70 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln in modifizierter Stellung. Die Schaufeln in der modifizierten Stellung sind im Block B_j mit 71 und im Block B_k mit 72 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 71, 72 der beiden Blöcke B_j und B_k einen unterschiedlichen Staffelungswinkel aufweisen. Der Staffelungswinkel ist beim Leitrad 7 (dem dritten Schaufelrad S3 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\alpha_{S3,i} = \alpha_{S3,0} - (-1)^i \Delta\alpha_{S3}$$

[0087] Dabei ist $\alpha_{S3,0}$ eine Konstante, die den nominalen Staffelungswinkel gemäß der Figur 7 angeht. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Die Erläuterungen zum Leitrad 5 gelten dabei in entsprechender Weise. So liegt eine Änderung des Staffelungswinkels zwischen den Schaufeln 70 und den Schaufeln 71 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $+\Delta\alpha_{S3}$ vor, wie in der Figur 5 angedeutet ist. Zwischen den Schaufeln 70 und den Schaufeln 72 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Staffelungswinkels um den Änderungsbetrag $-\Delta\alpha_{S3}$ vor.

[0088] Die Vorzeichenänderung in den einzelnen Blöcken des Leitrad 7 ist dabei in entgegengesetzter Richtung als bei den Blöcken des Leitrad 5. Wenn somit im Block B_j des Leitrad 5 die Statorschaufeln 51 stärker geschlossen, so sind im Block B_j des Leitrad 7 die Statorschaufeln 71 stärker geöffnet. Ebenso gilt, dass, wenn im Block B_k des Leitrad 5 die Statorschaufeln 52 stärker geöffnet sind, die Statorschaufeln 71 im Block B_k des Leitrad 7 stärker geschlossen sind.

[0089] Der Änderungsbetrag $\Delta\alpha_{S3}$ kann gleich dem Änderungsbetrag $\Delta\alpha_{S2}$ sein. Dies ist aber nicht notwendigerweise der Fall.

[0090] In der Figur 8 sind auch die Schaufeln des Laufrads 6 in Gruppen mit unterschiedlichem Staffelungswinkel unterteilt. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. In Ausführungsbeispielen der Erfindung sind lediglich die Schaufeln des Leittrads 5 und/oder die Schaufeln des Leittrads 7 in Gruppen mit unterschiedlichem Staffelungswinkel unterteilt. In weiteren Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass nur die Schaufeln des Laufrads 6 in Gruppen mit unterschiedlichem Staffelungswinkel unterteilt sind.

[0091] Die Figur 8 zeigt sowohl die Schaufeln 60 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln in modifizierter Stellung. Das Laufrad 6 ist dabei in die gleiche Anzahl N von Blöcken jeweils unterschiedlichem Staffelungswinkel wie die Leiträder 5, 7 un-

terteilt. Die Schaufeln in der modifizierten Stellung sind im Block B_j mit 61 und im Block B_k mit 62 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 61, 62 der beiden Blöcke B_j und B_k einen unterschiedlichen Staffellungswinkel aufweisen. Der Staffellungswinkel ist beim Laufrad 6 (dem ersten Schaufelrad S1 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\alpha_{S1,i} = \alpha_{S1,0} - (-1)^i \Delta\alpha_{S1}$$

[0092] Dabei ist $\alpha_{S1,0}$ eine Konstante, die den nominalen Staffellungswinkel gemäß der Figur 7 angeht. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Die Erläuterungen zum Leitrad 5 gelten in entsprechender Weise. So liegt eine Änderung des Staffellungswinkels zwischen den Schaufeln 60 und den Schaufeln 61 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $+\Delta\alpha_{S1}$ vor, wie in der Figur 5 angedeutet ist. Zwischen den Schaufeln 60 und den Schaufeln 62 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Staffellungswinkels um den Änderungsbetrag $-\Delta\alpha_{S1}$ vor.

[0093] Es wird darauf hingewiesen, dass, wie in Bezug auf die Figur 4 erläutert, eine Änderung des Staffellungswinkels α_S bei identischer Formgebung der Schaufeln automatisch auch zu einer Änderung des Schaufeleintrittswinkels und des Schaufelaustrittswinkels der Schaufeln führt.

[0094] Die Figur 9 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer zu der Anordnung der Figur 7 abweichenden Schaufelradanordnung. Der grundsätzliche Unterschied zum Ausführungsbeispiel der Figur 8 besteht darin, dass beim Ausführungsbeispiel der Figur 9 nicht der Staffellungswinkel (und damit bei identischer Form der einzelnen Schaufeln der Schaufeleintrittswinkel und der Schaufelaustrittswinkel) geändert ist, sondern unter Bereitstellung einer unterschiedlichen Formgebung der Schaufeln der unterschiedlichen Blöcke nur der Schaufeleintrittswinkel oder der Schaufelaustrittswinkel geändert ist.

[0095] Es wird zunächst das Leitrad 5 betrachtet. Dieses weist N Blöcke von Schaufeln auf, wobei Schaufeln zweier Blöcke, nämlich der Blöcke B_j und B_k dargestellt ist. Die Anmerkungen zur Größe und Anzahl der Blöcke im Hinblick auf die Figur 8 gelten in entsprechender Weise auch für die Figur 9.

[0096] Die Figur 9 zeigt sowohl die Schaufeln 50 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln in einer dazu geänderten Stellung. Die Schaufeln mit modifizierter Formgebung sind im Block B_j mit 53 und im Block B_k mit 54 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 53, 54 der beiden Blöcke B_j und B_k bei identischem Schaufeleintrittswinkel einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel aufweisen. Der Schaufelaustrittswinkel γ_2 des i -ten Blocks ist beim Leitrad 5 (dem zweiten Schaufelrad S2 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\gamma_{2,S2,i} = \gamma_{2,S2,0} + (-1)^i \Delta\gamma_{2,S2}$$

[0097] Dabei ist $\gamma_{2,S2,0}$ eine Konstante, die den nominalen Schaufelaustrittswinkel gemäß der Figur 7 angibt. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Von der Nominalstellung wird der Schaufelaustrittswinkel in die eine Richtung oder in die andere Richtung um den Änderungsbetrag $\Delta\gamma_{2,S2}$ verstellt. Bei den Schaufeln aneinandergrenzender Blöcke B_j und B_k wird der Schaufelaustrittswinkel dabei mit unterschiedlichem Vorzeichen geändert. So liegt eine Änderung des Schaufelaustrittswinkels zwischen den Schaufeln 50 und den Schaufeln 53 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $-\Delta\gamma_{2,S2}$ vor, wie in der Figur 5 angedeutet ist. Zwischen den Schaufeln 50 und den Schaufeln 54 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Schaufelaustrittswinkels um den Änderungsbetrag $+\Delta\gamma_{2,S2}$ vor. Der Schaufelaustrittswinkel ist dabei wie in Bezug auf die Figur 4 erläutert definiert.

[0098] Die Änderung des Schaufelaustrittswinkels in den einzelnen Blöcken geht damit einher, dass im Block B_j die Statorschaufeln stärker geschlossen und im Block B_k stärker geöffnet sind.

[0099] Im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise, sind auch Modifikationen im Staffellungswinkel beim Laufrad 6 und beim Leitrad 7 erfolgt. Dabei wird zunächst das weitere Leitrad 7 betrachtet. Dieses ist in die gleiche Anzahl N von Blöcken jeweils unterschiedlichem Staffellungswinkel unterteilt.

[0100] Die Figur 9 zeigt sowohl die Schaufeln 70 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln in modifizierter Stellung. Die Schaufeln mit modifizierter Formgebung sind im Block B_j mit 73 und im Block B_k mit 74 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 73, 74 der beiden Blöcke B_j und B_k bei identischem Schaufeleintrittswinkel einen unterschiedlichen Schaufelaustrittswinkel aufweisen. Der Schaufelaustrittswinkel γ_2 des i -ten Blocks ist beim Leitrad 7 (dem dritten Schaufelrad S3 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\gamma_{2,S3,i} = \gamma_{2,S3,0} + (-1)^i \Delta\gamma_{2,S3}$$

[0101] Dabei ist $\gamma_{2,S3,0}$ eine Konstante, die den nominalen Schaufelaustrittswinkel gemäß der Figur 7 angibt. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Von der Nominalstellung wird der Schaufelaustrittswinkel in die eine Richtung oder in die andere Richtung um den Änderungsbetrag $\Delta\gamma_{2,S3}$ verstellt. Bei den Schaufeln aneinandergrenzender Blöcke B_j und B_k wird der Schaufelaustrittswinkel dabei mit unterschiedlichem Vorzeichen geändert. So liegt eine Änderung des Schaufelaustrittswinkels zwischen den Schaufeln 70 und den Schaufeln 73 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $+\Delta\gamma_{2,S3}$ vor. Zwischen den Schaufeln 70 und den Schaufeln 74 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Schaufelaustrittswinkels um den Änderungsbetrag $-\Delta\gamma_{2,S3}$ vor.

[0102] Die Vorzeichenänderung in den einzelnen Blö-

cken des Leitrad 7 ist dabei in entgegengesetzter Richtung als bei den Blöcken des Leitrad 5. Wenn somit im Block B_j des Leitrad 5 die Statorschaufeln 51 stärker geschlossen, so sind im Block B_j des Leitrad 7 die Statorschaufeln 71 stärker geöffnet. Ebenso gilt, dass, wenn im Block B_k des Leitrad 5 die Statorschaufeln 52 stärker geöffnet sind, die Statorschaufeln 71 im Block B_k des Leitrad 7 stärker geschlossen sind.

[0103] In der Figur 9 sind auch die Schaufeln des Laufrad 6 in Gruppen mit unterschiedlichem Schaufeleintrittswinkels unterteilt, wobei dies nicht notwendigerweise der Fall ist. Auch kann in einer Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass nur die Schaufeln des Laufrads 6 in Gruppen mit unterschiedlichem Schaufeleintrittswinkel unterteilt sind.

[0104] Die Figur 9 zeigt sowohl die Schaufeln 60 in der nominalen Stellung entsprechend der Figur 7 als auch die Schaufeln mit modifizierter Formgebung. Das Laufrad 6 ist dabei in die gleiche Anzahl N von Blöcken unterteilt wie die anderen Schaufelräder 5, 7. Die Schaufeln in der modifizierten Formgebung sind im Block B_j mit 61 und im Block B_k mit 62 gekennzeichnet. Es verhält sich so, dass die Schaufeln 61, 62 der beiden Blöcke B_j und B_k bei identischem Schaufelaustrittswinkel einen unterschiedlichen Schaufeleintrittswinkel aufweisen. Der Schaufeleintrittswinkel γ_1 des i -ten Blocks ist beim Laufrad 6 (dem ersten Schaufelrad S1 der Figur 5) wie folgt definiert:

$$\gamma_{1,S1,i} = \gamma_{1,S1,0} + (-1)^i \Delta\gamma_{1,S1}$$

[0105] Dabei ist $\gamma_{1,S1,0}$ eine Konstante, die den nominalen Schaufeleintrittswinkel gemäß der Figur 7 angibt. Für i gilt: $1 \leq i \leq N$. Von der Nominalstellung wird der Schaufelaustrittswinkel in die eine Richtung oder in die andere Richtung um den Änderungsbetrag $\Delta\gamma_{1,S1}$ verstellt. Bei den Schaufeln aneinandergrenzender Blöcke B_j und B_k wird der Schaufeleintrittswinkel dabei mit unterschiedlichem Vorzeichen geändert. So liegt eine Änderung des Schaufeleintrittswinkels zwischen den Schaufeln 60 und den Schaufeln 63 des Blocks B_j um den Änderungsbetrag $+\Delta\gamma_{1,S1}$ vor. Zwischen den Schaufeln 60 und den Schaufeln 64 des Blocks B_k liegt eine Änderung des Schaufelaustrittswinkels um den Änderungsbetrag $-\Delta\gamma_{1,S1}$ vor.

[0106] Anhand der Figuren 11-14 wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben, bei dem die Schaufeln eines Schaufelrads ebenfalls in eine Mehrzahl von Blöcken unterteilt sind, wobei die Schaufeln innerhalb eines Blocks identisch ausgebildet sind. Die Eigenschaft, in der sich die einzelnen Blöcke unterscheiden, ist jedoch anders als bei den Ausführungsbeispielen der Figuren 4-9 nicht der Schaufeleintrittswinkel und/oder der Schaufelaustrittswinkel, sondern liegt in der Ausgestaltung von Teilspalten, die die Schaufeln zur jeweils angrenzenden Strömungspfadberandung ausbilden. Dabei gelten im Hinblick auf die Aufteilung des Schau-

felrads in einzelne Blöcke die Ausführungen zu den Figuren 4-9 entsprechender Weise.

[0107] Die Figur 11 zeigt in Schnittdansicht eine Strukturbaugruppe, die einen Strömungspfad 8 definiert und ein Leitrad 5, einen Rotor 6 einer Verdichterstufe eines Verdichters und Strömungspfadberandungen umfasst. Das Leitrad 5 ist als Eintrittsleitrad ausgebildet, wobei dies nicht notwendigerweise der Fall ist. Der Strömungspfad 8 leitet den Kernluftstrom A gemäß der Figur 1 durch das Kerntriebwerk.

[0108] Der Strömungspfad 8 wird radial innen durch eine Nabe 95 begrenzt, die eine innere Strömungspfadberandung 950 ausbildet. Radial außen wird der Strömungspfad 8 durch ein Verdichtergehäuse 4 begrenzt, dass eine radial äußere Strömungspfadberandung 410 ausbildet. Der Strömungspfad 8 ist als Ringraum ausgebildet. Das Eintrittsleitrad 5 weist im Staffelungswinkel verstellbare Statorschaufeln bzw. Leitschaufeln 55 auf, die in Umfangsrichtung verteilt im Strömungspfad 8 angeordnet sind. Die Leitschaufeln 55 weisen jeweils eine Vorderkante 551 und eine Hinterkante 552 auf.

[0109] Durch das Eintrittsleitrad 5 wird der Drall in der Strömung erhöht und dadurch der nachfolgende Rotor 6 in effektiverer Weise angestrebt. Der Rotor 6 umfasst eine Reihe von Rotorschaufeln bzw. Laufschaufeln 60, die sich im Strömungspfad 8 radial erstrecken.

[0110] Für eine Einstellbarkeit des Staffelungswinkels sind die Leitschaufeln 55 drehbar gelagert. Hierzu sind sie jeweils mit einer Spindel 25 drehfest verbunden oder integral mit einer solchen ausgebildet. Die Spindel 25 weist eine Drehachse auf, die gleich der Drehachse der Leitschaufel 55 ist. Die Spindel 25 ist dabei von außerhalb des Strömungspfads 8 zugänglich und verstellbar.

[0111] Im Einzelnen ist vorgesehen, dass die Leitschaufel 55 an ihrem radial äußeren Ende mit einer äußeren kreisförmigen Plattform 75 verbunden ist, die einen Drehteller bildet und mit einem radial äußeren Spindelabschnitt 251 der Spindel 25 verbunden ist. Die Plattform 75 und der Spindelabschnitt 251 sind dabei in einem Gehäusedeckband 420 gelagert, das Teil des Verdichtergehäuse 4 ist. In entsprechender Weise ist die Leitschaufel 55 an ihrem radial inneren Ende mit einer inneren kreisförmigen Plattform 78 verbunden, die einen weiteren Drehteller bildet und mit einem radial inneren Spindelabschnitt 252 der Spindel 25 verbunden ist. Die Plattform 78 und der Spindelabschnitt 252 sind dabei in einem inneren Deckband 910 gelagert, das lokal die innere Strömungspfadberandung 950 bildet.

[0112] Um eine Drehbarkeit der Leitschaufeln 55 bzw. Einstellbarkeit des Staffelungswinkels zu ermöglichen, ist es erforderlich, dass die Leitschaufeln 55 im Bereich ihrer Hinterkante 552 radial angrenzend an die äußere Strömungspfadberandung 410 und radial angrenzend an die innere Strömungspfadberandung 950 Rückschnitte 553, 554 ausbilden, die sicherstellen, dass die Leitschaufeln 55 in ihrem axial hinteren Bereich jeweils einen Teilspalt 81 zur radial äußeren Strömungspfadberandung 410 und einen Teilspalt 82 zur radial inneren Strömungs-

pfadberandung 950 ausbilden. Hierdurch wird verhindert, dass bei einer Verstellung der Leitschaufel 55 durch Drehung um die Drehachse diese mit der äußeren Strömungspfadberandung 410 und/oder mit der inneren Strömungspfadberandung 950 kollidiert.

[0113] Die Spalte 81, 82 werden dabei als Teilspalte bezeichnet, da sie sich nicht über die gesamte axiale Länge der Leitschaufeln 55 erstrecken.

[0114] Alternativ kann vorgesehen sein, dass die Leitschaufeln 55 an ihrem radial inneren Ende ohne Deckband ausgebildet sind, für welchen Fall sie frei schwebend unter Ausbildung eines durchgängigen Spaltes radial beanstandet zur inneren Strömungspfadberandung 95 enden. Auch kann alternativ vorgesehen sein, dass Teilspalte im Bereich der Vorderkante 51 oder sowohl im Bereich der Vorderkante 51 als auch im Bereich der Hinterkante 52 ausgebildet sind.

[0115] Die Figur 12 zeigt die Anordnung von Leitschaufel 55, äußerer und innerer Plattform 75, 78 und Spindel 25 der Figur 11 in vergrößerter Darstellung. Durch die Rücksnitte 553, 554 entstehen die Teilspalte 81, 82 zur äußeren bzw. inneren Strömungspfadberandung. Die Teilspalte 81, 82 weisen dabei ein Spaltvolumen aus, das durch die axiale Länge und die radiale Höhe der Teilspalte 81, 82 bzw. der diese bildenden Rücksnitte 553, 554 definiert ist.

[0116] Zur Variation des Teilspalts 81 und/oder des Teilspalts 82 in unterschiedlichen Blöcken, die die Leitschaufeln 55 des Leittrads 5 bilden, kann die radiale Höhe r des Teilspalts und/oder die axiale Länge x des Teilspalts variiert werden. In die Figur 12 sind als gestrichelte Linie zwei Variationen V1, V2 der Teilspalte 81, 82 eingezeichnet. Die erste Variation V1 ist am oberen Teilspalt 81 vorgenommen, wobei sie alternativ oder gleichzeitig auch beim unteren Teilspalt 82 erfolgen kann. Danach ist die radiale Höhe des Teilspalts 81 vergrößert, indem der Rückschnitt 553' tiefer ausgeführt ist. Die zweite Variation V2 ist am unteren Teilspalt 82 vorgenommen, wobei sie alternativ oder gleichzeitig auch beim oberen Teilspalt 81 erfolgen kann. Danach ist die axiale Länge des Teilspalts 81 vergrößert, indem der Durchmesser der unteren Plattform 78 reduziert ist und gleichzeitig der Rückschnitt 554 eine größere axiale Länge besitzt.

[0117] Auch können die dargestellten Variationen kombiniert werden, d. h. der oberen Teilspalt 81 und/oder der untere Teilspalt 82 sind durch eine veränderte axiale Länge und eine veränderte radiale Höhe variiert.

[0118] Anhand der Figuren 13 und 14 werden im Folgenden zwei Ausführungsbeispiele erläutert, bei denen die Schaufelräder Blöcke mit unterschiedlich ausgestalteten Teilspalten ausbilden. Die grundlegende Anordnung entspricht dabei der der Figur 5, wobei eine Schaufelradanordnung für einen Verdichter einen Rotor 6, einen stromaufwärts des Rotors 6 angeordneten variablen Stator 5 und einen stromabwärts des Rotors 6 angeordneten variablen Stator 7 aufweist. Bei der Figur 13 handelt es sich bei dem stromaufwärts angeordneten Stator 5 um ein Eintrittsleitrad. Bei der Figur 14 ist eine in einen

Verdichter eingebettete Abfolge von Stator 5, Rotor 6 und Stator 7 dargestellt.

[0119] Bezugnehmend auf die Figur 13 wird zunächst das Eintrittsleitrad 5 betrachtet. Dieses weist N Blöcke von Schaufeln auf, wobei Schaufeln zweier Blöcke, nämlich der Blöcke B_j und B_k dargestellt ist. Die einzelnen Blöcke umfassen in der Darstellung der Figur 13 jeweils zwei Schaufeln 56, 57. Dies ist lediglich beispielhaft zu verstehen. Die einzelnen Blöcke B_j und B_k können auch eine größere Anzahl von Schaufeln aufweisen, wobei die Schaufeln insgesamt in mindestens $N=2$ Blöcke unterteilt sind. Auch kann die Figur 13 dahingehend aufgefasst werden, dass nicht alle Schaufeln eines Blocks dargestellt sind, also sich oberhalb der in der Zeichnung obersten Schaufel weitere Schaufeln des Blocks B_j und unterhalb der in der Zeichnung untersten Schaufel weitere Schaufeln des Blocks B_k anschließen, wobei in der Figur 13 nur der Übergang zwischen den beiden Blöcken B_j und B_k dargestellt ist.

[0120] Die Blöcke B_j und B_k unterscheiden sich durch die Teilspalte, die die Schaufeln 56, 57 gegenüber der angrenzenden Strömungspfadberandung ausbilden. So weisen die Teilspalte 811 der Schaufeln 56 des Blocks B_j des Eintrittsleittrads 5 eine größere axiale Erstreckung auf als die Teilspalte 812 der Schaufeln 57 des Blocks B_k . Die durch die Teilspalte 811 abgedeckte Spaltfläche ist dementsprechend größer als die durch die Teilspalte 812 abgedeckte Spaltfläche.

[0121] Im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise, sind auch Modifikationen in den Teilspalten beim Leitrad 7 realisiert. Dieses ist in die gleiche Anzahl N von Blöcken B_j und B_k mit jeweils unterschiedlich ausgebildeten Teilspalten zur äußeren Strömungspfadberandung und/oder zur inneren Strömungspfadberandung unterteilt. Alternativ sind Modifikationen in den Teilspalten nur beim Leitrad 7 realisiert.

[0122] Die Teilspalte 813 der Schaufeln 76 des Blocks B_j des Stators 7 weisen eine geringere axiale Erstreckung als die Teilspalte 814 der Schaufeln 77 des Blocks B_k auf. Die durch die Teilspalte 813 abgedeckte Spaltfläche ist dementsprechend kleiner als die durch die Teilspalte 814 abgedeckte Spaltfläche. Die Zuordnung der Teilspalte zwischen den Blöcken des Eintrittsleittrads 5 und den Blöcken des Stators 7 ist dabei versetzt, d. h. Blöcken mit größeren Teilspalten 811 des Eintrittsleittrads 5 sind Blöcke 813 mit kleineren Teilspalten 813 des Stators 7 zugeordnet und umgekehrt.

[0123] In der Figur 13 und auch in der Figur 14 erfolgt dabei der Schnitt der Darstellung unmittelbar angrenzend an die radial äußere Strömungspfadberandung 410. In den Bereichen 811, 812, 813, 814 sind somit Teilspalte ausgebildet. In entsprechender Weise können Teilspalte zusätzlich angrenzend an die radial innere Strömungspfadberandung 950 oder nur angrenzend an die radial innere Strömungspfadberandung 950 ausgebildet sein, vgl. Figur 11.

[0124] Weiter wird darauf hingewiesen, dass die Teilspalte 811, 812, 813, 814 zusätzlich auch eine radiale

Variation, wie schematisch in der Figur 12 dargestellt, aufweisen können. In der Schnittdarstellung der Figuren 13 und 14 ist eine solche radiale Variation nicht erkennbar.

[0125] Eine weitere Variation kann darin bestehen, dass die Teilspalte nicht im Bereich der Hinterkante der Schaufeln, sondern im Bereich der Vorderkante der Schaufeln, oder sowohl im Bereich der Hinterkante als auch im Bereich der Vorderkante der Schaufeln realisiert sind.

[0126] Die Figur 14 zeigt im Schaufelprofil eine Schaufelradanordnung, die zwei in einen Verdichter eingebettete variable Statorn 5, 7 und einen dazwischen angeordneten Rotor 6 umfasst.

[0127] Das Eintrittsleitrad 5 weist N Blöcke von Schaufeln auf, wobei Schaufeln zweier Blöcke, nämlich der Blöcke B_j und B_k dargestellt ist. Die einzelnen Blöcke umfassen in der Darstellung der Figur 14 jeweils zwei Schaufeln 58, 59. Im Hinblick auf die Größe der einzelnen Blöcke B_j und B_k gelten die Ausführungen zur Figur 13 in entsprechender Weise. Die Blöcke B_j und B_k unterscheiden sich durch die Teilspalte, die die Schaufeln 58, 59 gegenüber der angrenzenden Strömungspfadberandung ausbilden. So weisen die Teilspalte 815 der Schaufeln 58 des Blocks B_j des Stators 5 eine geringere axiale Erstreckung auf als die Teilspalte 816 der Schaufeln 59 des benachbarten Blocks B_k . Die durch die Teilspalte 815 abgedeckte Spaltfläche ist dementsprechend kleiner als die durch die Teilspalte 816 abgedeckte Spaltfläche.

[0128] Im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise, sind auch Modifikationen in den Teilspalten beim Stator 7 realisiert. Dieses ist in die gleiche Anzahl N von Blöcken B_j und B_k mit jeweils unterschiedlich ausgebildeten Teilspalten zur äußeren Strömungspfadberandung und/oder zur inneren Strömungspfadberandung unterteilt. Alternativ sind Modifikationen in den Teilspalten nur beim Stator 7 realisiert. Der Stator 7 ist dabei in gleicher Weise wie der Stator 5 der Figur 13 ausgebildet. Die Teilspalte 813 der Schaufeln 76 des Blocks B_j des Leitrads 7 weisen eine geringere axiale Erstreckung auf als die Teilspalte 814 der Schaufeln 77 des Blocks B_k auf. Die durch die Teilspalte 813 abgedeckte Spaltfläche ist dementsprechend kleiner als die durch die Teilspalte 814 abgedeckte Spaltfläche. Die Zuordnung der Teilspalte zwischen den Blöcken des Eintrittsleitrads 5 und den Blöcken des Stators 7 ist dabei derart, dass Blöcken mit kleineren Teilspalten 815 des Stators 5 Blöcke 813 mit kleineren Teilspalten 813 des Stators 7 zugeordnet sind und Blöcken mit größeren Teilspalten 816 des Stators 5 Blöcke mit größeren Teilspalten 814 des Stators 7 zugeordnet sind.

[0129] Die in Bezug auf das Ausführungsbeispiel der Figur 13 erläuterten Varianten gelten in entsprechender Weise auch für das Ausführungsbeispiel der Figur 14.

[0130] Es wird weiter darauf hingewiesen, dass die erfinderischen Ausgestaltungen der Figuren 11-14 mit der Ausgestaltungen der Figuren 3-9 kombiniert werden können. Die einzelnen Blöcke von Schaufeln, die ein Schau-

felrad ausbildet, können sich somit sowohl im Hinblick auf den Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel bzw. den Staffelungswinkel als auch im Hinblick auf die Ausgestaltung der Teilspalte unterscheiden.

[0131] Die Figur 10 zeigt schematisch die durch die vorliegende Erfindung erzielten Vorteile. Es ist die aerodynamische Dämpfung in Abhängigkeit vom Knotendurchmesser angegeben. Hierzu ist zunächst zu bemerken, dass die Schaufelreihen zyklische Gesamtschwingungsformen bilden, die durch Knotenlinien charakterisiert werden. Die maximale Anzahl an Knotenlinien ist dabei bei einer geraden Schaufelanzahl gleich der Hälfte der Schaufeln und bei einer ungeraden Schaufelanzahl bei der Hälfte der Schaufeln minus eins. In einer Knotenlinie ist die Auslenkung gleich Null.

[0132] Der Knotendurchmesser wird durch das Knotenmuster festgelegt. In der Figur 10 zeigt der Balken X1 Schwingungsanregungen ohne Implementierung der Erfindung und der Balken X2 Schwingungsanregungen mit Implementierung der Erfindung. Durch die Erfindung ist ein anderes Knotenmuster entstanden, bei dem die aerodynamische Dämpfung erhöht ist, so dass der Aufbau eines rotierenden Abrisses wirksam verhindert wird.

[0133] Es versteht sich, dass die Offenbarung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und verschiedene Modifikationen und Verbesserungen vorgenommen werden können, ohne von den hier beschriebenen Konzepten abzuweichen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Blöcke mehr als zwei unterschiedliche Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel realisieren, dass also beispielsweise insgesamt 6 Blöcke vorgesehen sind, von denen zwei einen ersten Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel aufweisen, zwei weitere einen zweiten Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel aufweisen, und zwei weitere einen dritten Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel aufweisen. Dabei kann in weiteren Ausführungsbeispielen vorgesehen sein, dass der Schaufeleintrittswinkel und/oder Schaufelaustrittswinkel zwischen benachbarten Blöcken sich nicht diskret, sondern kontinuierlich ändert, beispielsweise entsprechend der Form einer Sinuskurve.

[0134] Weiter wird darauf hingewiesen, dass bei einer diskreten Änderung eine identische, nur im Vorzeichen unterschiedliche Abweichung des jeweils betrachteten Winkels von der Nominalstellung nur beispielhaft zu verstehen ist. Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Änderungswinkel in die eine Richtung nicht zwangsläufig dem Änderungswinkel in die andere Richtung entspricht.

[0135] Es wird hingewiesen, dass beliebige der beschriebenen Merkmale separat oder in Kombination mit beliebigen anderen Merkmalen eingesetzt werden können, sofern sie sich nicht gegenseitig ausschließen. Die Offenbarung dehnt sich auf alle Kombinationen und Unterkombinationen eines oder mehrerer Merkmale aus, die hier beschrieben werden und umfasst diese. Sofern Bereiche definiert sind, so umfassen diese sämtliche

Werte innerhalb dieser Bereiche sowie sämtliche Teilbereiche, die in einen Bereich fallen.

[0136] Der Schutzbereich der Erfindung wird allein durch ein Schaufelrad mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und eine Schaufelradanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 definiert. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Patentansprüche

1. Schaufelrad einer axialen Strömungsmaschine, das aufweist:

- eine Mehrzahl von Leitschaufeln (56-59, 76-77), die eine Schaufelreihe bilden und dafür geeignet und vorgesehen sind, sich in einem Strömungspfad (8) der axialen Strömungsmaschine, der radial außen durch eine äußere Strömungspfadberandung (410) und radial innen durch eine innere Strömungspfadberandung (950) begrenzt ist, zu erstrecken, wobei die Leitschaufeln (56-59, 76-77) in ihrem Staffelungswinkel einstellbar ausgebildet sind,
- wobei die Leitschaufeln (56-59, 76-77) erste Teilspalte (81, 811-816) zur äußeren Strömungspfadberandung (410) und/oder zweite Teilspalte (82) zur inneren Strömungspfadberandung (950) aufweisen,
- wobei die ersten Teilspalte (81, 811-816) und die zweiten Teilspalte (82) sich jeweils nicht über die gesamte axiale Länge der Leitschaufeln (56-59, 76-77) erstrecken, sondern nur über eine Teillänge,
- wobei die Teilspalte (81, 811-816, 82) dazu vorgesehen und ausgebildet sind, eine Änderung des Staffelungswinkels der Leitschaufeln (56-59, 76-77) zu ermöglichen,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Mehrzahl von Leitschaufeln (56-59, 76-77) N Blöcke (B_j, B_k) von Schaufeln mit $N \geq 2$ ausbildet, wobei

- die Leitschaufeln (56-59, 76-77) eines Blocks (B_j, B_k) jeweils in gleicher Weise ausgebildete Teilspalte (81, 811-816, 82) aufweisen, und
- die Leitschaufeln (56-59, 76-77) von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken (B_j, B_k) unterschiedlich ausgebildete Teilspalte (81, 811-816, 82) aufweisen.

2. Schaufelrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (56-59, 76-77) von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken (B_j, B_k) Teilspalte (811-816) aufweisen, die eine unterschiedliche axiale Länge aufweisen.

3. Schaufelrad nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Variation der axialen Länge der Teilspalte (811-816) der Durchmesser von Drehtellern (75, 78), die die Leitschaufeln (56-59, 76-77) an ihrem radial äußeren Ende und/oder an ihrem radial inneren Ende ausbilden, variiert.

4. Schaufelrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (56-59, 76-77) von mindestens zwei aneinandergrenzenden Blöcken (B_j, B_k) Teilspalte (811-816) aufweisen, die eine unterschiedliche radiale Höhe aufweisen.

5. Schaufelrad nach Anspruch einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilspalte (81, 811-816, 82) durch Rückschnitte (553, 554) gebildet sind, die die Leitschaufeln (56-59, 76-77) zu der angrenzenden Strömungspfadberandung (410, 950) bilden.

6. Schaufelrad nach Anspruch 5, soweit rückbezogen auf Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variation der radialen Höhe der Teilspalte (811-816) über die radiale Tiefe der Rückschnitte (553, 553') erfolgt, die im Bereich der Vorderkante (551) und/oder im Bereich der Hinterkante (552) und dabei radial angrenzend an die jeweilige Strömungspfadberandung (410, 950) an den Leitschaufeln ausgebildet sind.

7. Schaufelrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (56-59, 76-77) insgesamt zwei unterschiedliche Ausgestaltungen der Teilspalte implementieren, die die Blöcke (B_j, B_k) des Schaufelrads alternierend realisieren.

8. Schaufelrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (56-59, 76-77) jeweils mit einer Spindel (25) drehfest verbunden oder integral mit einer solchen ausgebildet, wobei die Spindel (25) eine Drehachse aufweist, die gleich der Drehachse der Leitschaufel (56-59, 76-77), wobei die Spindel (25) von außerhalb des Strömungspfads (8) zugänglich und verstellbar ist.

9. Schaufelradanordnung für einen Verdichter einer Strömungsmaschine, der aufweist:

- ein erstes Schaufelrad (6), das als Laufrad ausgebildet ist,
- ein zweites Schaufelrad (5), das stromaufwärts des ersten Schaufelrads (6) angeordnet und als Leitrad ausgebildet ist, und
- ein drittes Schaufelrad (7), das stromabwärts des ersten Schaufelrads (6) angeordnet und als

Leitrad ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

das zweite Schaufelrad (5) und/oder das dritte Schaufelrad (7) als Schaufelrad gemäß Anspruch 1 ausgebildet ist.

10. Schaufelradanordnung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Schaufelrad (5) und das dritte Schaufelrad (7) als Schaufelrad gemäß Anspruch 1 ausgebildet sind, wobei beide Schaufelräder (5, 7) die gleiche Zahl von N Blöcken (B_j , B_k) von Schaufeln (51-54, 71-74) mit $N \geq 2$ ausbilden.

11. Schaufelradanordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Schaufelrad (5) als Eintrittsleitrad ausgebildet ist und einem Block (B_j) des zweiten Schaufelrads (5), in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (811) größer ist, ein Block (B_j) des dritten Schaufelrads (7) zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (813) kleiner ist, und einem Block (B_k) des zweiten Schaufelrads (5), in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (812) kleiner ist, ein Block (B_k) des dritten Schaufelrads (7) zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (814) größer ist.

12. Schaufelradanordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Schaufelrad (5) als eingebetteter Stator ausgebildet ist, wobei einem Block (B_j) des zweiten Schaufelrads (5), in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (815) kleiner ist, ein Block (B_j) des dritten Schaufelrads (7) zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (813) ebenfalls kleiner ist, und einem Block (B_k) des zweiten Schaufelrads (5), in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (816) größer ist, ein Block (B_k) des dritten Schaufelrads (7) zugeordnet ist, in dem das Spaltvolumen der Teilspalte (814) ebenfalls größer ist.

Claims

1. Blade wheel of an axial turbomachine, which blade wheel has:

- a multiplicity of blades (56-69, 76-77) which form a blade row and are suitable and provided for extending in a flow path (8) of the axial turbomachine that is radially outwardly delimited by an outer flow path boundary (410) and radially inwardly delimited by an inner flow path boundary (950), wherein the blades (56-59, 76-77) are configured so as to be adjustable in terms of their stagger angle,
- wherein the blades (56-59, 76-77) have first partial gaps (81, 811-816) for the outer flow path

boundary (410) and/or second partial gaps (82) for the inner flow path boundary (950),

- wherein the first partial gaps (81, 811-816) and the second partial gaps (82) in each case do not extend over the entire axial length of the blades (56-59, 76-77), but only over a partial length,
- wherein the partial gaps (81, 811-816, 82) are specified and provided to enable a change in the stagger angle of the blades (56-59, 76-77),

characterized in that

the multiplicity of blades (56-59, 76-77) form N blocks (B_j , B_k) of blades with $N \geq 2$, wherein

- the blades (56-59, 76-77) of a block (B_j , B_k) have in each case identically configured partial gaps (81, 811-816, 82), and
- the blades (56-59, 76-77) of at least two mutually adjacent blocks (B_j , B_k) have dissimilarly configured partial gaps (81, 811-816, 82).

2. Blade wheel according to Claim 1, **characterized in that** the blades (56-59, 76-77) of at least two mutually adjacent blocks (B_j , B_k) have partial gaps (811-816) which have a different axial length.

3. Blade wheel according to Claim 2, **characterized in that** for varying the axial length of the partial gaps (811-816) the diameter of rotary plates (75, 78), which the blades (56-59, 76-77) form on their radially outer end and/or on their radially inner end, varies.

4. Blade wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the blades (56-59, 76-77) of at least two mutually adjacent blocks (B_j , B_k) have partial gaps (811-816) which have a different radial height.

5. Blade wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the partial gaps (81, 811-816, 82) are formed by cut-backs (553, 554) which the blades (56-59, 76-77) form in relation to the adjacent flow path boundary (410, 950).

6. Blade wheel according to Claim 5, if referring back to Claim 4, **characterized in that** the variation of the radial height of the partial gaps (811-816) is performed by way of the radial depth of the cut-backs (553, 553') that are formed in the region of the leading edge (551) and/or in the region of the trailing edge (552) and herein are radially adjacent to the respective flow path boundary (410, 950) on the blades.

7. Blade wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the blades (56-59, 76-77) implement a total of two dissimilar design embodiments of the partial gaps that in an alternating manner implement the blocks (B_j , B_k) of the blade

wheel.

8. Blade wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the blades (56-59, 76-77) are in each case connected in a rotationally fixed manner to a spindle (25), or are configured so as to be integral to the latter, wherein the spindle (25) has a rotation axis which is identical to the rotation axis of the blades (56-59, 76-77), wherein the spindle (25) is accessible and adjustable from outside the flow path (8). 5

9. Blade wheel arrangement for a compressor of a turbomachine, which compressor has: 10
 - a first blade wheel (6), which is formed as a rotor; 15
 - a second blade wheel (5), which is arranged upstream of the first blade wheel (6) and which is formed as a stator; and 20
 - a third blade wheel (7), which is arranged downstream of the first blade wheel (6) and which is formed as a stator, 25

characterized in that 25
the second blade wheel (5) and/or the third blade wheel (7) are/is formed as a blade wheel according to Claim 1.

10. Blade wheel arrangement according to Claim 9, **characterized in that** the second blade wheel (5) and the third blade wheel (7) are formed as blade wheels according to Claim 1, wherein both blade wheels (5, 7) form the same number of N blocks (B_j , B_k) of blades (51-54, 71-74), where $N \geq 2$. 30

11. Blade wheel arrangement according to Claim 10, **characterized in that** the second blade wheel (5) is configured as an inlet stator and a block (B_j) of the second blade wheel (5), in which the gap volume of the partial gaps (881) is relatively large, is assigned a block (B_j) of the third blade wheel (7), in which the gap volume of the partial gaps (813) is relatively small, and a block (B_k) of the second blade wheel (5), in which the gap volume of the partial gaps (812) is relatively small, is assigned a block (B_k) of the third blade wheel (7), in which the gap volume of the partial gaps (814) is relatively large. 35

12. Blade wheel arrangement according to Claim 10, **characterized in that** the second blade wheel (5) is configured as an embedded stator, wherein a block (B_j) of the second blade wheel (5), in which the gap volume of the partial gaps (815) is relatively small, is assigned a block (B_j) of the third blade wheel (7), in which the gap volume of the partial gaps (813) is likewise relatively small, and a block (B_k) of the second blade wheel (5), in which the gap volume of the 40

partial gaps (816) is relatively large, is assigned a block (B_k) of the third blade wheel (7), in which the gap volume of the partial gaps (814) is likewise relatively large.

Revendications

1. Roue à aubes d'une turbomachine axiale, qui comporte :
 - une pluralité d'aubes directrices (56-59, 76-77) qui forment une rangée d'aubes et sont donc adaptées et prévues pour s'étendre dans le plan radial dans un chemin d'écoulement (8) de la turbomachine axiale qui est délimité à l'extérieur dans le plan radial par un bord de chemin d'écoulement extérieur (410) et à l'intérieur dans le plan radial par un bord de chemin d'écoulement intérieur (950), dans laquelle les aubes directrices (56-59, 76-77) sont réalisées de façon à pouvoir être réglées selon leur angle de décalage ;
 - dans laquelle les aubes directrices (56-59, 76-77) comportent des premières fentes partielles (81, 811-816) par rapport au bord de chemin d'écoulement extérieur (410) et/ou des deuxièmes fentes partielles (82) par rapport au bord de chemin d'écoulement intérieur (950) ;
 - dans laquelle les premières fentes partielles (81, 811-816) et les deuxièmes fentes partielles (82) ne s'étendent respectivement pas sur la totalité de la longueur axiale des aubes directrices (56-59, 76-77) mais seulement sur une partie de leur longueur ;
 - dans laquelle les fentes partielles (81, 811-816, 82) sont adaptées et prévues pour permettre une modification de l'angle de décalage des aubes directrices (56-59, 76-77) ;

caractérisée en ce que :
la pluralité d'aubes directrices (56-59, 76-77) forment N blocs (B_j , B_k) d'aubes avec $N \geq 2$;

 - les aubes directrices (56-59, 76-77) d'un bloc (B_j , B_k) comportent des fentes partielles (81, 811-816, 82) respectivement réalisées de la même façon ; et
 - les aubes directrices (56-59, 76-77) d'au moins deux blocs (B_j , B_k) connexes comportent des fentes partielles (81, 811-816, 82) réalisées de façon différente.

2. Roue à aubes selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les aubes directrices (56-59, 76-77) d'au moins deux blocs (B_j , B_k) connexes comportent des fentes partielles (811-816) comportant une longueur axiale différente.

3. Roue à aubes selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** pour faire varier la longueur axiale des fentes partielles (811-816), le diamètre des disques tournants (75, 78) fait varier les aubes directrices (56-59, 76-77) formées au niveau de leur extrémité extérieure dans le plan radial et/ou au niveau de leur extrémité intérieure dans le plan radial. 5
4. Roue à aubes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les aubes directrices (56-59, 76-77) d'au moins deux blocs (B_j , B_k) connexes comportent des fentes partielles (811-816) présentant une hauteur radiale différente. 10
5. Roue à aubes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les fentes partielles (81, 811-816, 82) sont formées par des rabattages (553, 554) formant les aubes directrices (56-59, 76-77) devenant le chemin d'écoulement (410, 950) connexe. 15
6. Roue à aubes selon la revendication 5, en référence à la revendication 4, **caractérisée en ce que** la variation de la hauteur radiale des fentes partielles (811-816) se produit sur la totalité de la profondeur radiale des rabattages (553, 553') qui sont réalisés dans la zone de l'arête avant (551) et/ou dans la zone de l'arête arrière (552) et en l'occurrence de façon connexe dans le plan radial avec le bord de chemin d'écoulement (410, 950) respectif au niveau des aubes directrices. 20 25 30
7. Roue à aubes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les aubes directrices (56-59, 76-77) peuvent mettre en œuvre en tout deux configurations différentes des fentes partielles réalisant en alternance les blocs (B_j , B_k) de la roue à aubes. 35 40
8. Roue à aubes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** : les aubes directrices (56-59, 76-77) sont respectivement réalisées avec un arbre (25) relié fixement en rotation ou font partie intégrante d'un tel arbre, l'arbre (25) comportant un axe de rotation comme l'axe de rotation de l'aube directrice (56-59, 76-77), l'arbre (25) étant accessible et réglable depuis l'extérieur du chemin d'écoulements (8). 45 50
9. Agencement de roues à aubes pour un compresseur d'une turbomachine, comportant : 55
- une première roue à aubes (6) qui est réalisée sous la forme d'un rotor ;
 - une deuxième roue à aubes (5) qui est disposée en amont de la première roue à aubes (6) et est réalisée sous la forme d'une roue directrice ; et
 - une troisième roue à aubes (7) qui est disposée en aval de la première roue à aubes (6) et est réalisée sous la forme d'une roue directrice ;
- caractérisé en ce que** : la deuxième roue à aubes (5) et/ou la troisième roue à aubes (7) est réalisée sous la forme d'une roue à aubes selon la revendication 1.
10. Agencement de roues à aubes selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la deuxième roue à aubes (5) et la troisième roue à aubes (7) sont réalisées sous la forme d'une roue à aubes selon la revendication 1, dans laquelle les deux roues à aubes (5, 7) forment le même nombre de N blocs (B_j , B_k) d'aubes (51-54, 71-74) avec $N \geq 2$.
11. Agencement de roues à aubes selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la deuxième roue à aubes (5) est réalisée sous la forme d'une roue directrice en entrée et qu'un bloc (B_j) de la troisième roue à aubes (7) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (813) est plus petit est associé à un bloc (B_j) de la deuxième roue à aubes (5) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (811) est plus important et qu'un bloc (B_k) de la troisième roue à aubes (7) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (814) est plus grand est associé à un bloc (B_k) de la deuxième roue à aubes (5) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (812) est plus petit.
12. Agencement de roues à aubes selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la deuxième roue à aubes (5) est réalisée sous la forme d'un stator encastré, dans lequel un bloc (B_j) de la troisième roue à aubes (7) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (813) est plus petit est associé à un bloc (B_j) de la deuxième roue à aubes (5) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (815) est également plus petit et un bloc (B_k) de la troisième roue à aubes (7) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (814) est plus important est associé à un bloc (B_k) de la deuxième roue à aubes (5) dans lequel le volume interstitiel des fentes partielles (816) est également plus important.

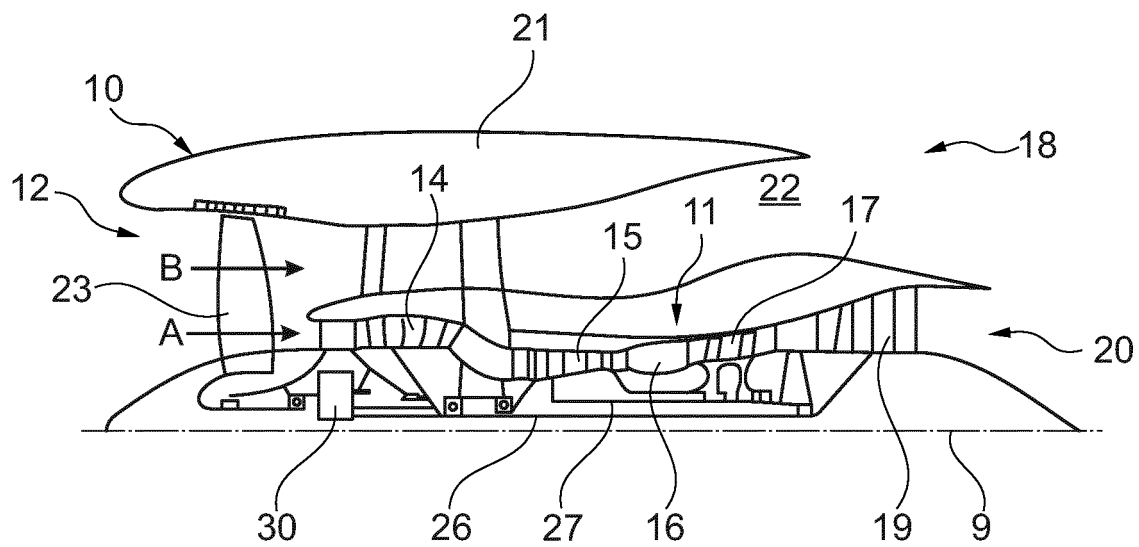


Fig. 1

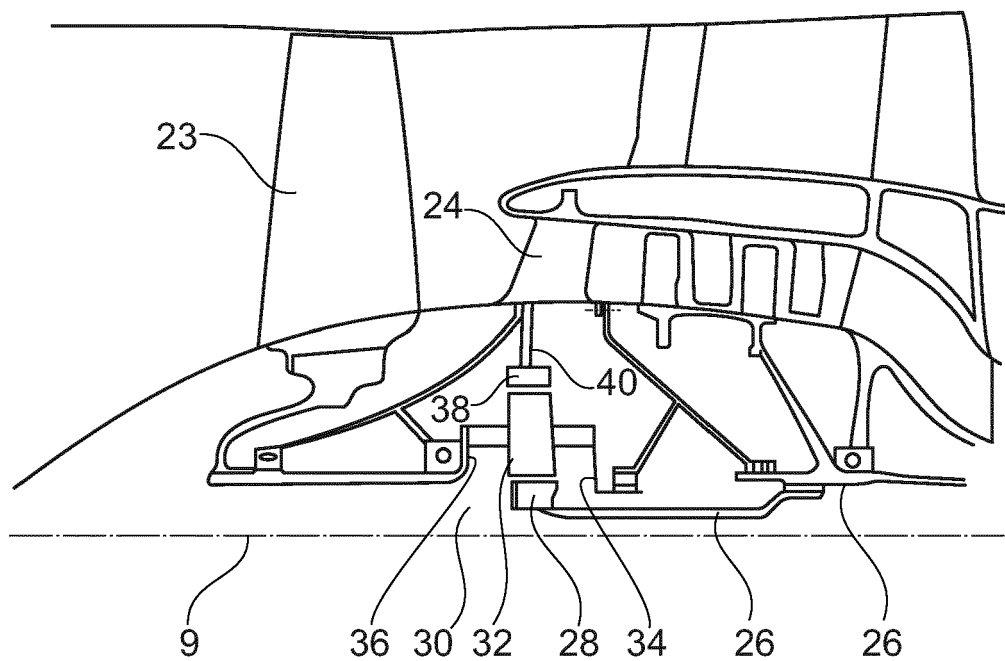


Fig. 2

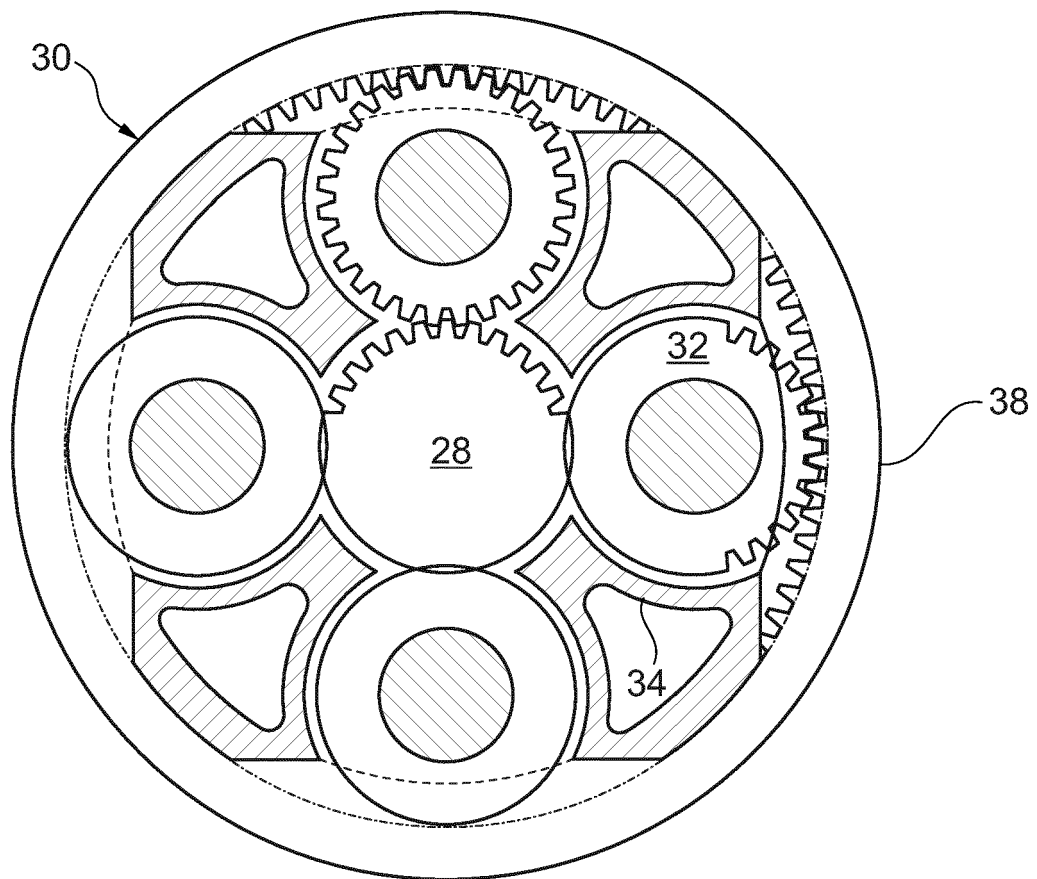


Fig. 3

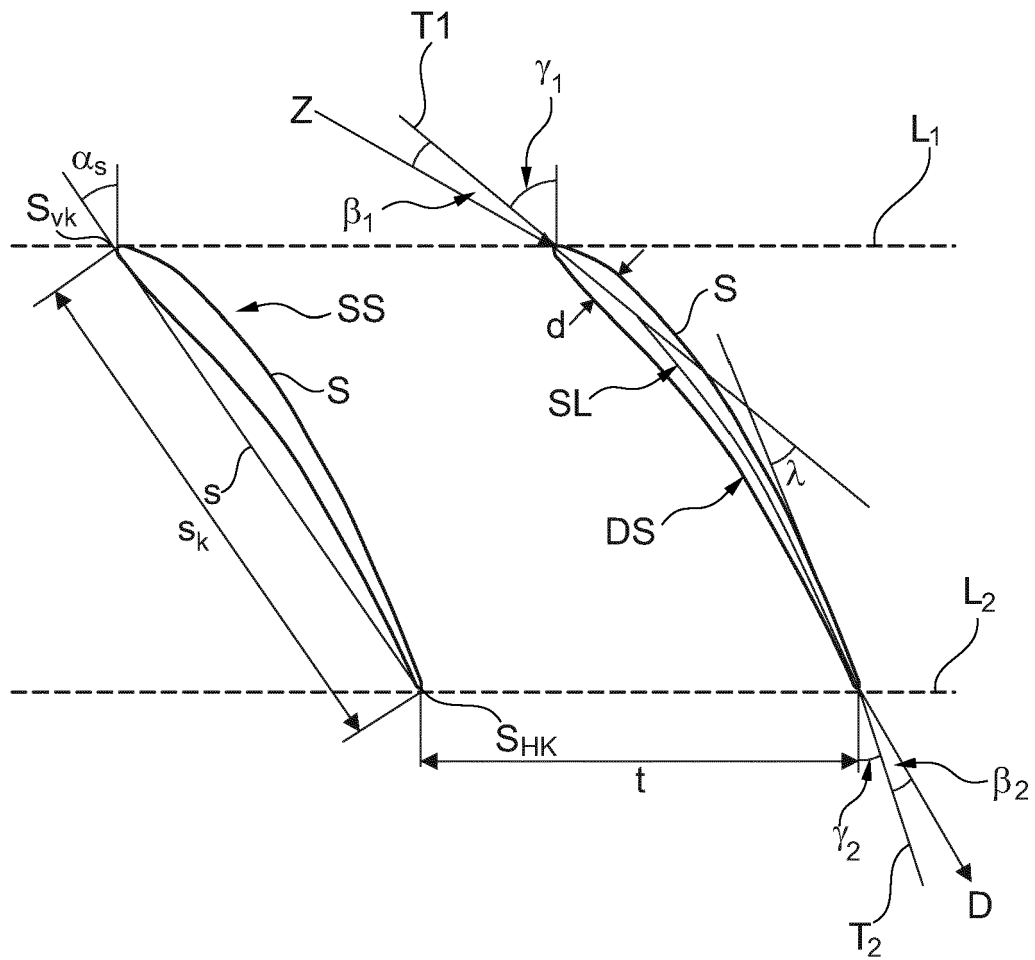


Fig. 4

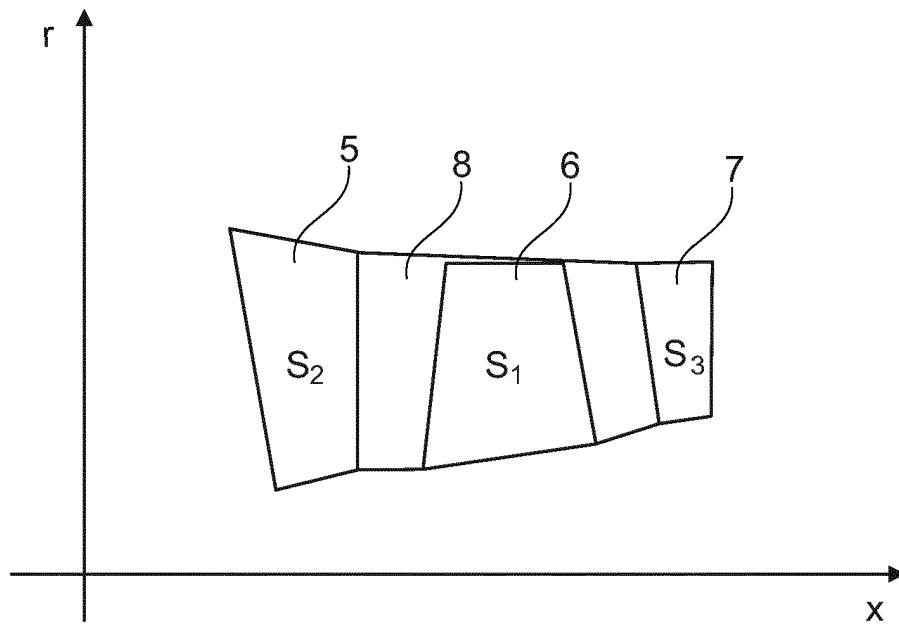


Fig. 5

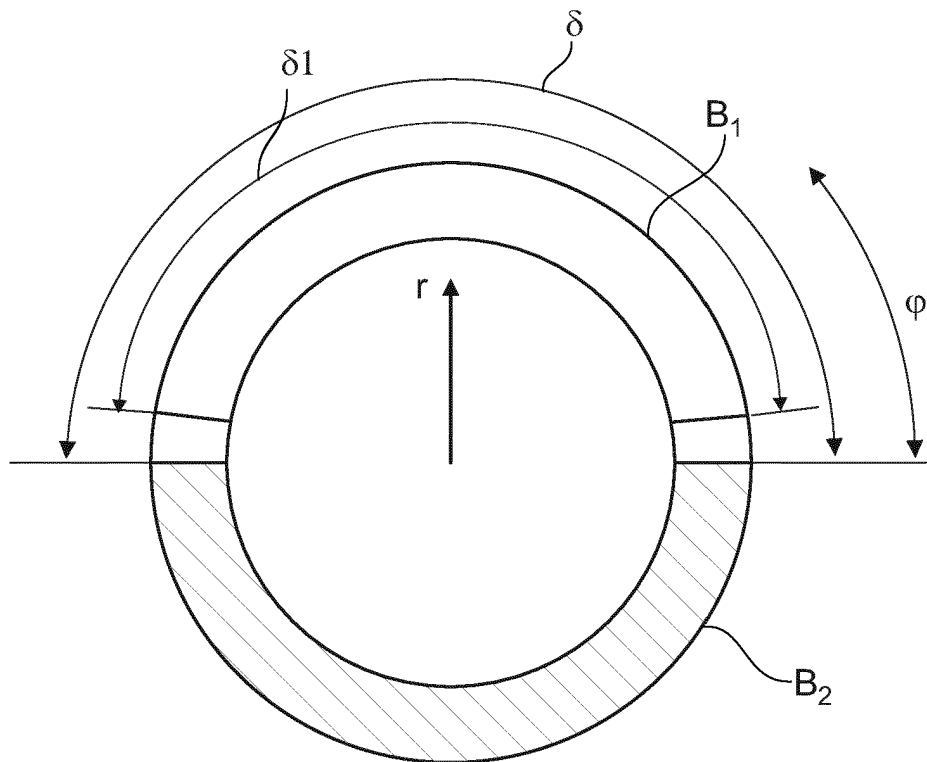


Fig. 6

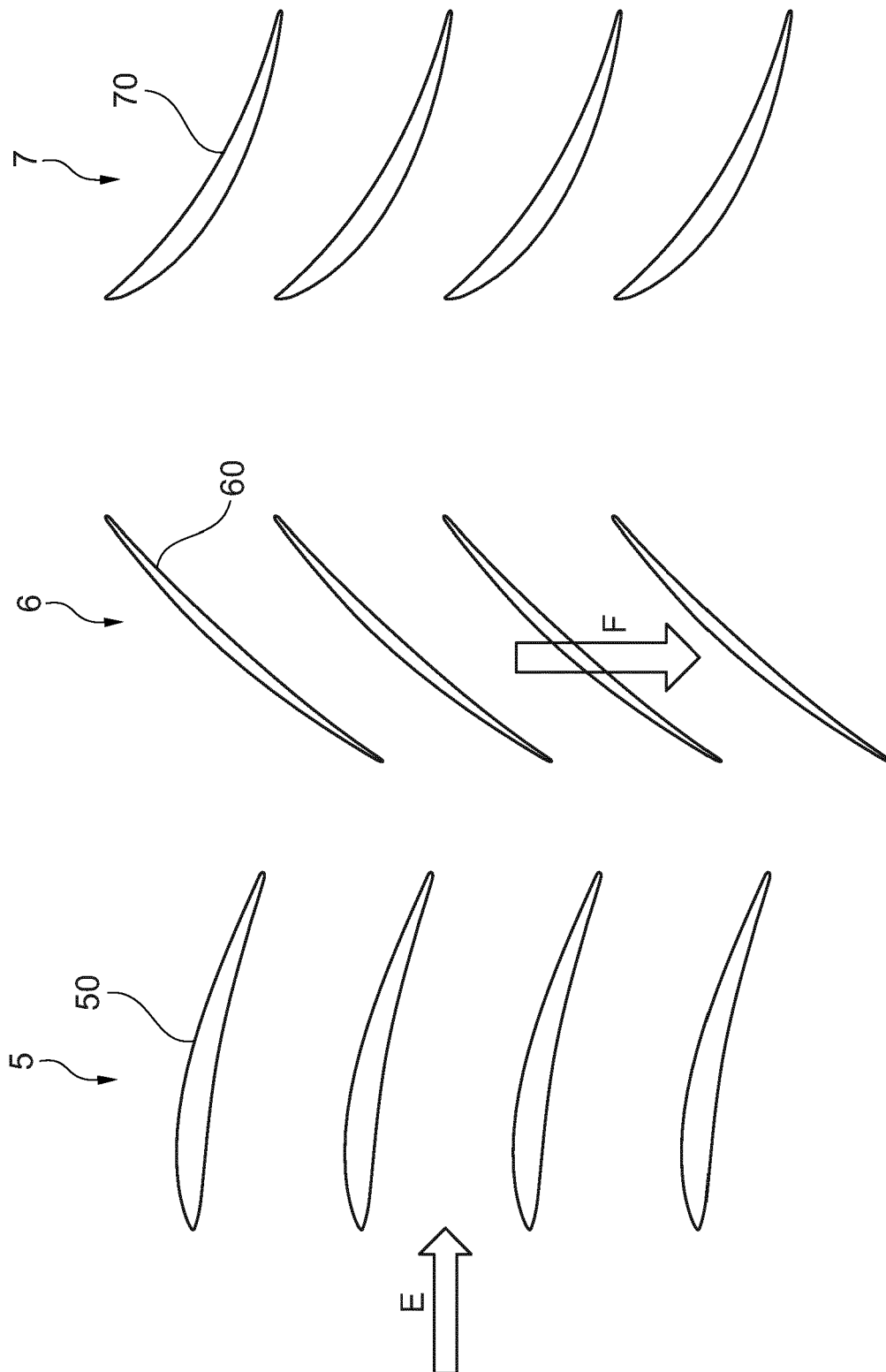


Fig. 7

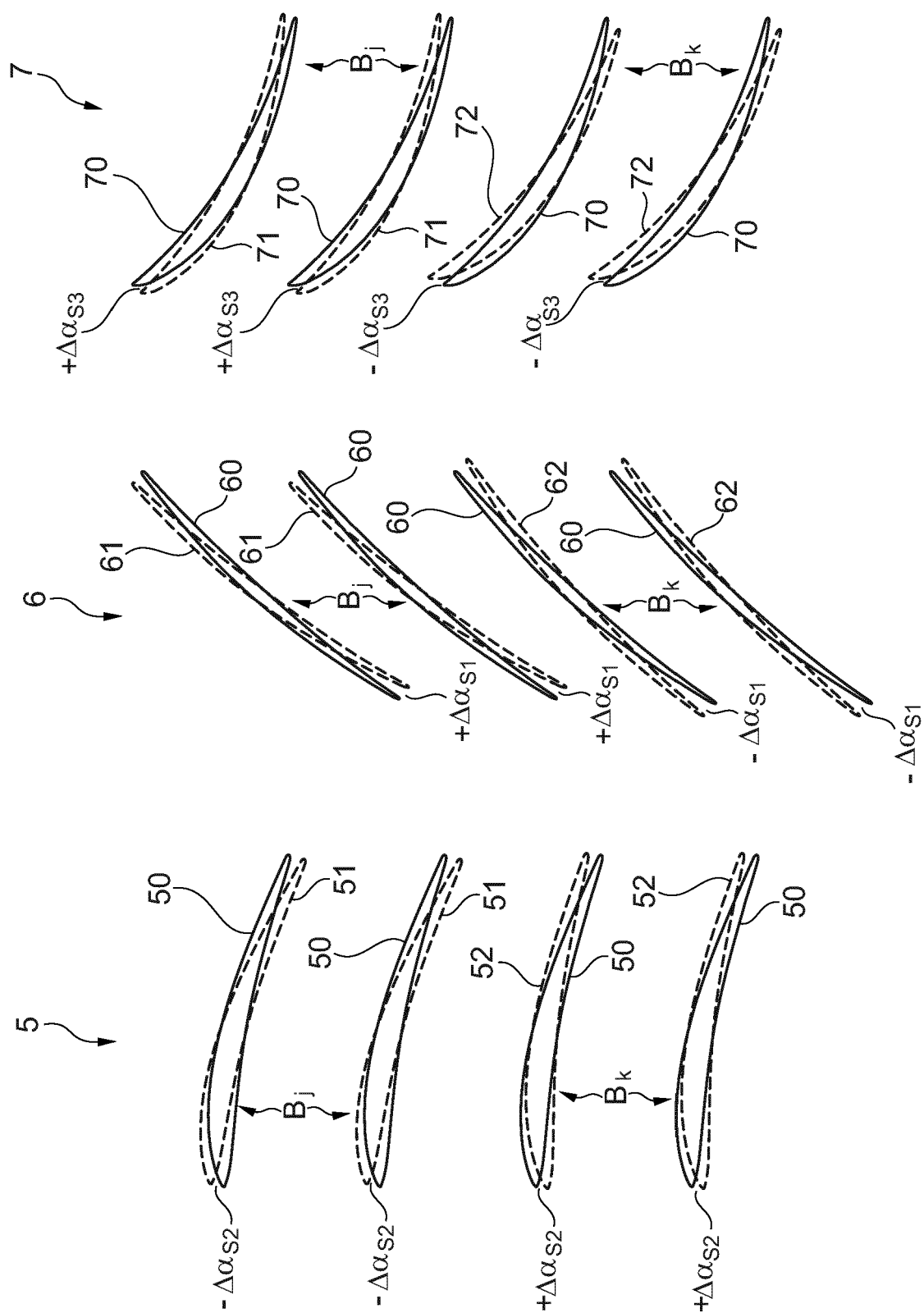


Fig. 8

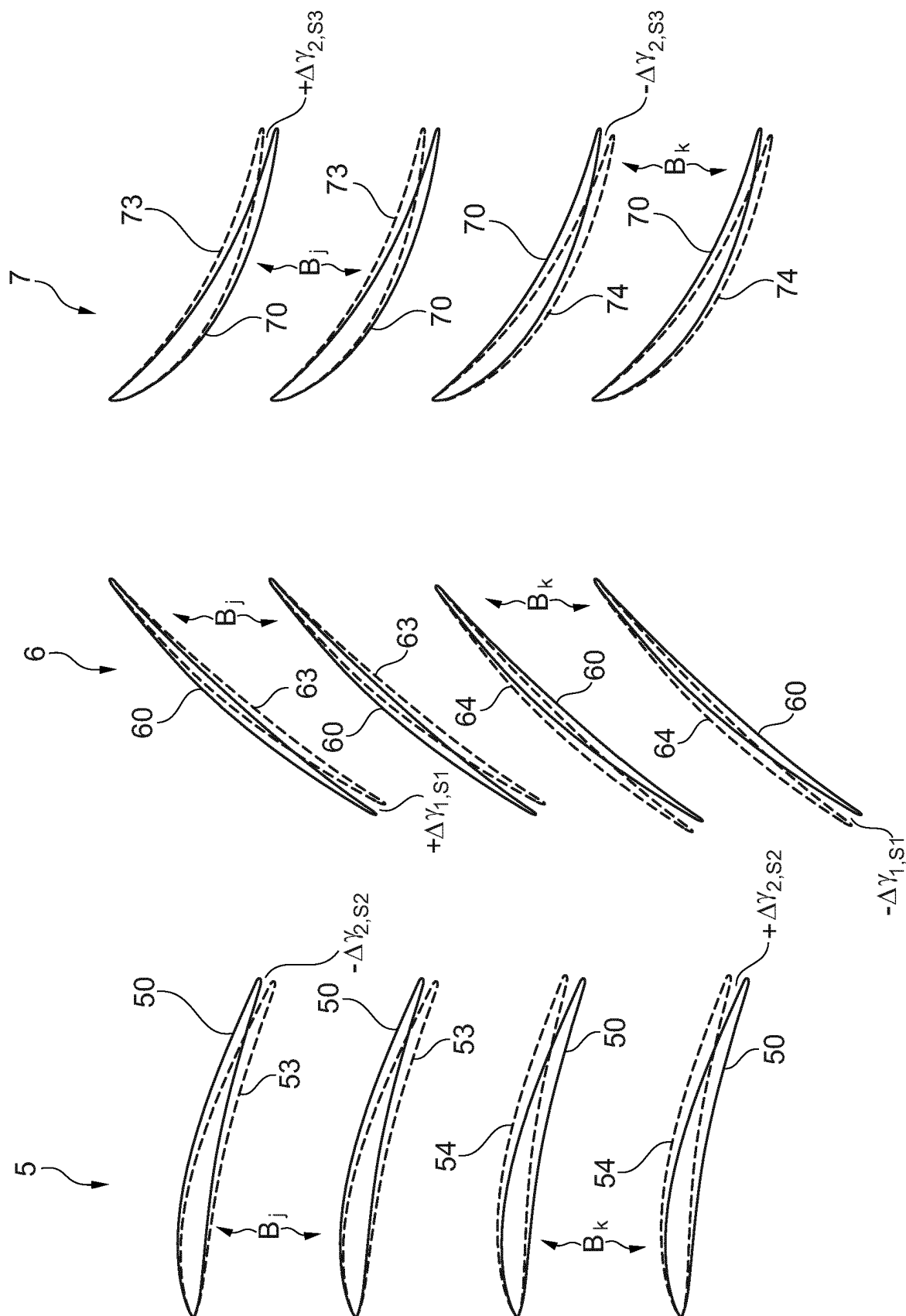


Fig. 9

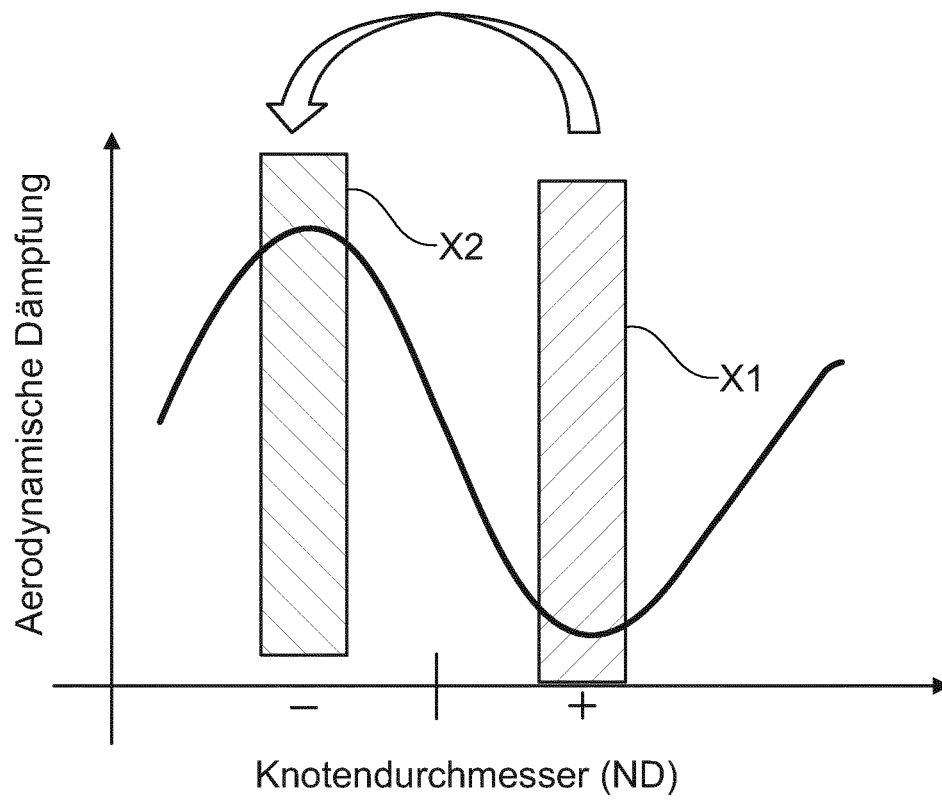


Fig. 10

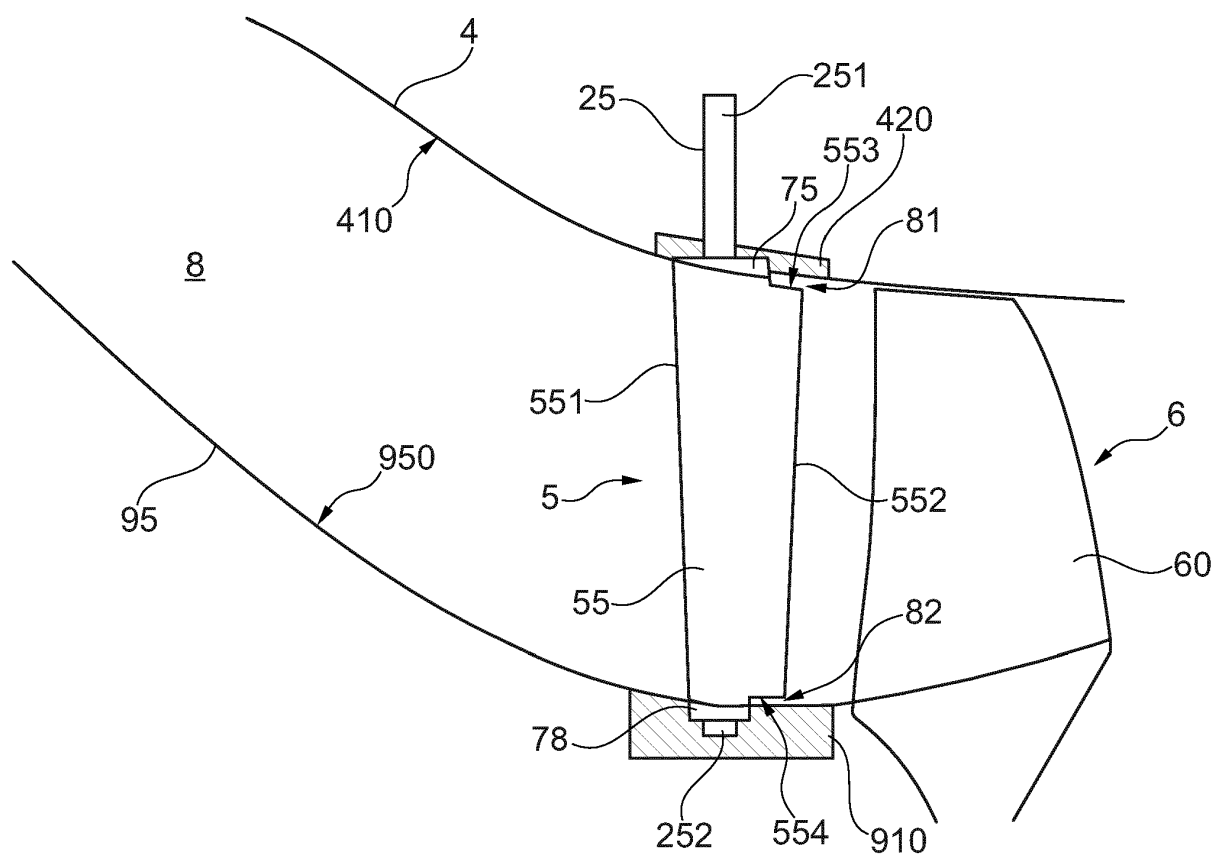


Fig. 11

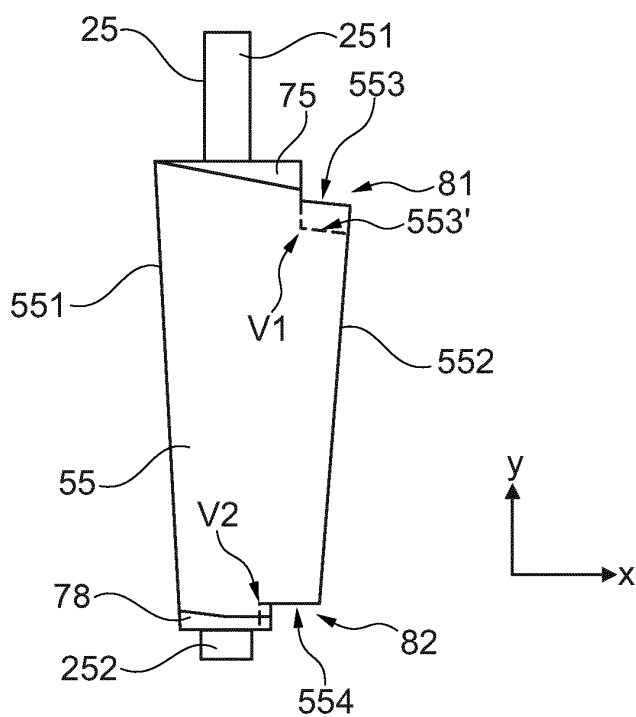


Fig. 12

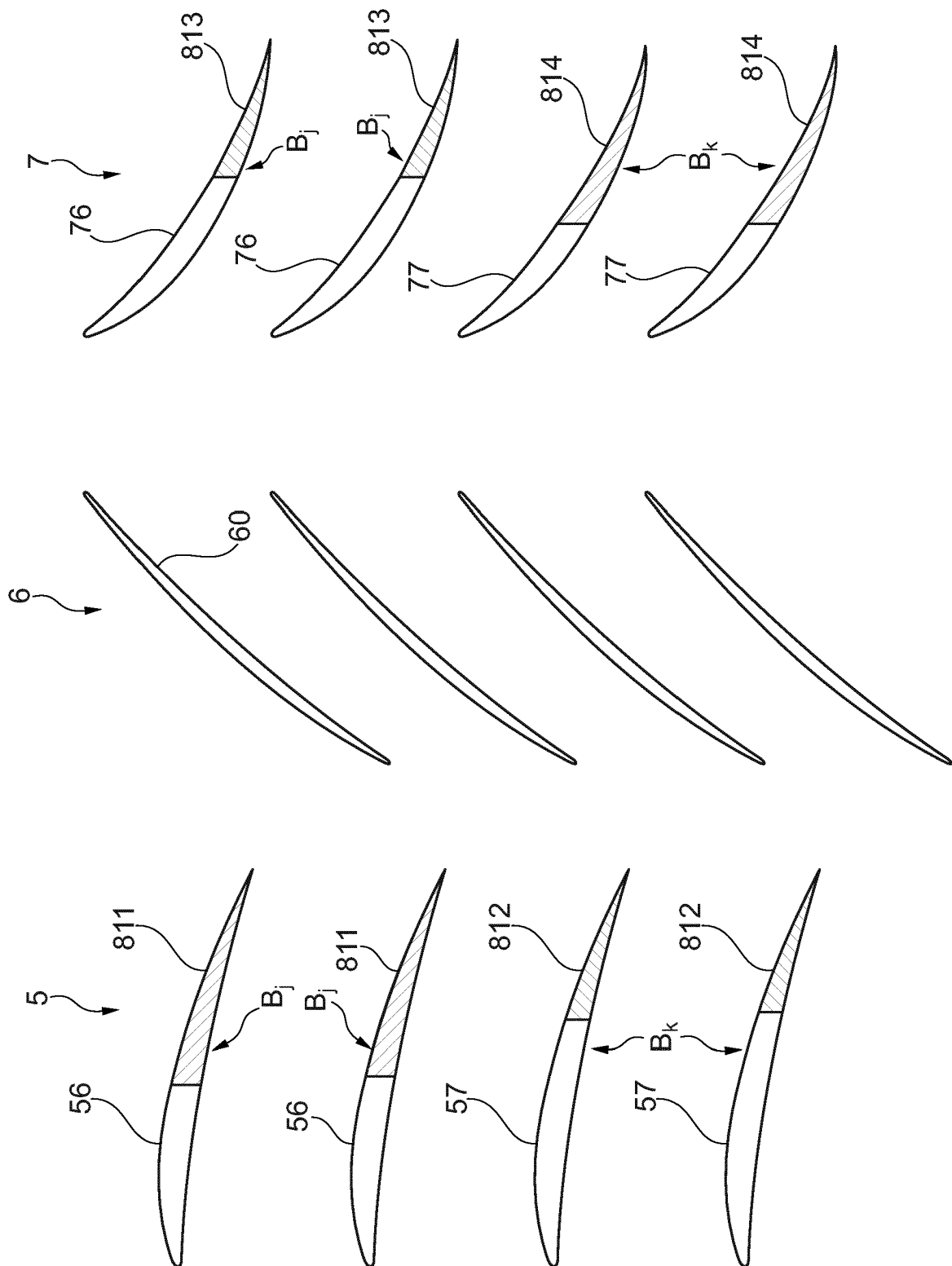


Fig. 13

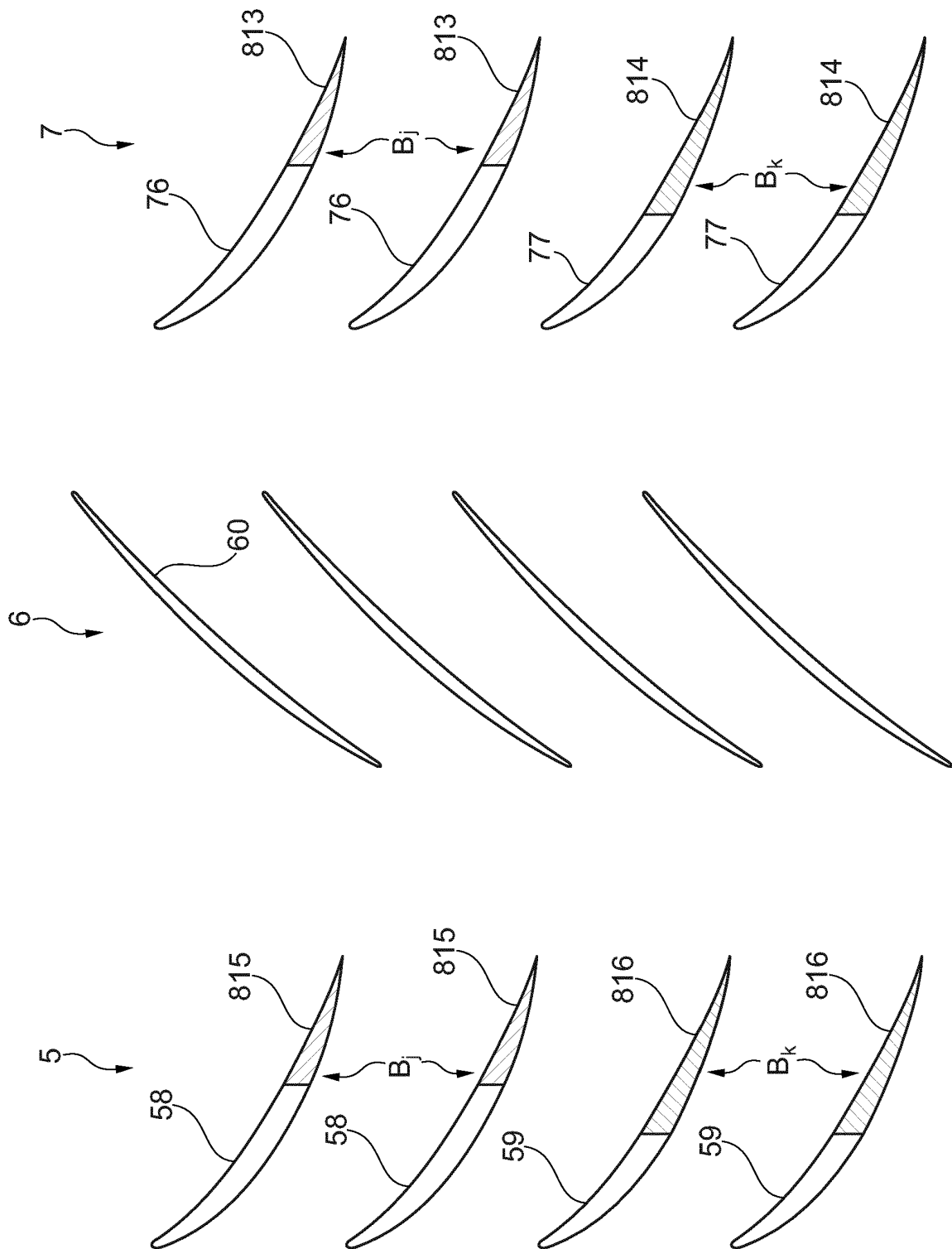


Fig. 14

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

- US 2015285085 A1 [0003]
- US 2011158793 A1 [0004]
- US 20140286758 A1 [0005]
- DE 102016212767 A1 [0006]