



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.01.2010 Patentblatt 2010/02

(51) Int Cl.:
F04D 27/02 (2006.01) **F04D 29/54** (2006.01)
F04D 29/68 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09007629.0**

(22) Anmeldetag: **09.06.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK TR

(30) Priorität: **07.07.2008 DE 102008031982**

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(72) Erfinder: **Gümmer, Volker, Dr.**
15831 Mahlow (DE)

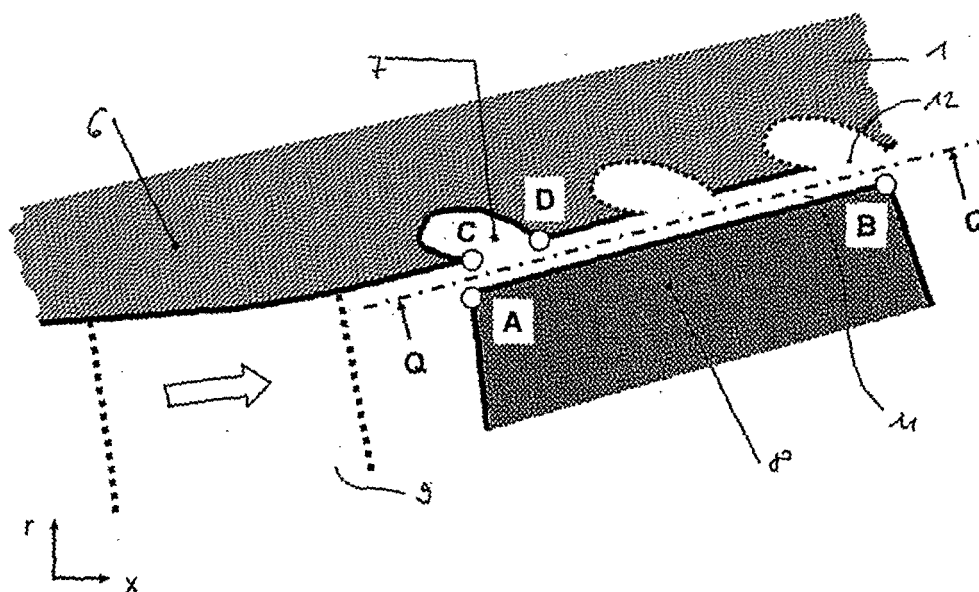
(74) Vertreter: **Weber, Joachim**
Hoefer & Partner
Patentanwälte
Pilgersheimer Strasse 20
81543 München (DE)

(54) **Strömungsarbeitsmaschine mit Nut an einem Laufspalt eines Schaufelendes**

(57) Die Erfindung betrifft eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe (3) und einem Gehäuse (1) berandeten Hauptströmungspfad (2), in welchem mindestens eine Reihe von Schaufeln (5) angeordnet ist, wobei an mindestens einer Schaufelreihe (5) zwischen einem Schaufelende und einer Hauptströmungspfadberandung ein Spalt (11) vorgesehen ist, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung eine rotierende Relativbewegung zueinander ausführen und im

Bereich des Spaltes (11) in der Hauptströmungspfadberandung mindestens eine Nut (7) entlang mindestens eines Teils des Umfangs vorgesehen ist, wobei die Querschnittsfläche der Nut (7) in der Meridianansicht der Strömungsarbeitsmaschine betrachtet wesentlich von einer Parallelogrammform abweicht und aufgrund seiner Konturgebung stromaufwärts geneigt ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwerpunkt des Nutquerschnittsfläche stromauf des Mittelpunktes der Nutöffnung (12) am Hauptströmungspfad vorgesehen ist.

Fig. 3:



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschine gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Im Einzelnen bezieht sich die Erfindung auf eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe und einem Gehäuse begrenzten Hauptströmungspfad, in welchem zumindest eine Reihe von Schaufeln angeordnet ist, die zu der Nabe oder dem Gehäuse einen Laufspalt bildet.

[0003] Die aerodynamische Belastbarkeit und die Effizienz von Strömungsarbeitsmaschinen, beispielsweise Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren, wird insbesondere durch das Wachstum und die Ablösung von Grenzschichten im Rotor- und Statorspitzenbereich nahe der Gehäuse- beziehungsweise Nabenwand begrenzt. Die führt bei Schaufelreihen mit Laufspalt bei höherer Belastung zu Rückströmerscheinungen und dem Auftreten von Instabilität der Maschine.

[0004] Strömungsarbeitsmaschinen nach dem Stand der Technik besitzen entweder keine besonderen Merkmale zur Abhilfe in diesem Bereich oder es werden als Gegenmaßnahme sogenannte Casing Treatments eingesetzt, die:

a.) aus Schlitten/Öffnungen und Kammern im Gehäuse über dem Rotor bestehen; die Öffnungen haben dabei stets Rechteck- beziehungsweise Parallelogrammform,

b.) aus Schlitten im Gehäuse, die im Wesentlichen in Strömungsrichtung orientiert sind und eine schlanke Form mit einer in Umfangsrichtung der Maschine betrachtet geringen Ausdehnung besitzen,

c.) Umfangsnuten mit rechteckigem oder parallelogrammförmigem Querschnitt.

Dazu gehören bekannte Lösungen, die in folgenden Dokumenten offenbart sind:

[0005] US 2005/0226717 A1, EP 0 754 864 A1, DE 101 35 003 C1 und DE 103 30 084 A1.

[0006] Eine Skizze üblicher Schlitz- und Nuten 10 ist in den Fig.1a und Fig.1b gegeben.

[0007] Einfache aus dem Stand der Technik bekannte Konzepte von Casing Treatments in Form von Schlitten und/oder Kammern in der Ringkanalwand bieten eine Steigerung der Stabilität der Strömungsarbeitsmaschine. Diese wird jedoch aufgrund der ungünstig gewählten Anordnung oder Formgebung nur bei Verlust an Wirkungsgrad erzielt. Die bekannten Lösungen nehmen teils einen großen Bauraum an der Peripherie des Ringkanals der Strömungsarbeitsmaschine ein oder sind aufgrund ihrer Form (z. B. einfache parallelogrammförmige Umfangsgehäusenuten) nur bedingt wirksam und sind auf die Anordnung einer von einem Gehäuse umgebenen

Rotorschaukelreihe begrenzt.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsarbeitsmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, welche unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik eine wirkungsvolle Grenzschichtbeeinflussung im Schaufelspitzenbereich aufweist.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Erfindungsgemäß wird somit eine optimierte Ausgestaltung der Nut beschrieben, durch welche sich die Strömungsverhältnisse im Bereich des Schaufelrandes und des Laufspaltes optimieren lassen.

[0011] Im Einzelnen betrifft die Erfindung einen Abschnitt des Ringkanals einer Strömungsarbeitsmaschine, im Bereich einer Schaufelreihe mit freiem Ende und Laufspalt, in dem eine im wesentlichen in Umfangsrichtung der Maschine verlaufende Nut mit strömungsgünstigem Querschnitt vorgesehen ist, wobei der Nutquerschnitt keine Parallelogrammform besitzt und durch seine Konturgebung stromaufwärts orientiert ist. Die Anordnung betrifft Anordnungen mit Laufspalt und Relativbewegung zwischen Schaufelende und Hauptströmungspfadberandung, sowohl am Gehäuse als auch an der Nabe.

[0012] Die vorliegende Erfindung bezieht sich somit auf Strömungsarbeitsmaschinen wie etwa Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren, sowohl in axialer, halbaxialer als auch in radialer Bauart. Das Arbeitsmedium oder Fluid kann gasförmig oder flüssig sein.

[0013] Die Strömungsarbeitsmaschine kann eine oder mehrere Stufen mit jeweils einem Rotor und einem Stator umfassen, in Einzelfällen wird die Stufe lediglich durch einen Rotor gebildet.

[0014] Der Rotor besteht aus einer Anzahl von Schaufeln, die mit der rotierenden Welle der Maschine verbunden sind und Energie an das Arbeitsmedium abgeben: Der Rotor kann mit oder ohne Deckband am äußeren Schaufelende ausgeführt sein.

[0015] Der Stator besteht aus einer Anzahl feststehender Schaufeln, die nabenseitig wie gehäuseseitig mit festem oder freiem Schaufelende ausgeführt sein können.

[0016] Die Rotortrommel und die Beschaukelung sind üblicherweise von einem Gehäuse umgeben, in anderen Fällen, z. B. bei Propellern oder Schiffsschrauben, existiert kein Gehäuse.

[0017] Die Maschine kann auch einen Stator vor dem ersten Rotor, ein sogenanntes Vorleitrad, aufweisen. Mindestens ein Stator oder Vorleitrad kann -abweichend von der unbeweglichen Fixierung- drehbar gelagert sein, um den Anstellwinkel zu verändern. Eine Verstellung erfolgt beispielsweise durch eine von außerhalb des Ringkanals zugängliche Spindel.

[0018] In besonderer Ausgestaltung kann die Strömungsarbeitsmaschine mindestens eine Reihe verstellbarer Rotoren aufweisen.

[0019] Alternativ kann die erfindungsgemäße Strömungsarbeitsmaschine bei Mehrstufigkeit zwei gegenläufige Wellen besitzen, so dass die Rotorschaukelreihen von Stufe zu Stufe die Drehrichtung wechseln. Hierbei existieren keine Statoren zwischen aufeinander folgenden Rotoren.

[0020] Schließlich kann die Strömungsarbeitsmaschine alternativ eine Nebenstromkonfiguration derart aufweisen, dass sich der einstromige Ringkanal hinter einer bestimmten Schaukelreihe in zwei konzentrische Ringkanäle aufteilt, die ihrerseits mindestens jeweils eine weitere Schaukelreihe beherbergen.

[0021] Fig.2 zeigt Beispiele erfindungsgemäß relevanter Strömungsarbeitsmaschinen.

[0022] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1a: eine Skizze des Standes der Technik, Rotorgehäusestrukturierung;

Fig. 1b: eine Skizze des Standes der Technik, Rotorgehäuse, Umfangsnuten;

Fig. 2: Beispiele erfindungsgemäß relevanter Strömungsarbeitsmaschinen;

Fig. 3: eine erfindungsgemäße Umfangsnut, Ansicht im Meridianschnitt;

Fig. 4a: eine erfindungsgemäße Position der Umfangsnut im Meridianschnitt;

Fig. 4b: eine erfindungsgemäße Position der Umfangsnut im Meridianschnitt, Beispiele;

Fig. 4c: eine erfindungsgemäße, günstige Ausführung mit Anstreifbelag;

Fig. 4d: eine erfindungsgemäße, günstige Ausführung mit Anstreifbelag und Ausnehmung am Schaukelende;

Fig. 5a: eine erfindungsgemäße Umfangsnut im Meridianschnitt, Formkenngrößen,

Fig. 5b: eine erfindungsgemäße Umfangsnutformen im Meridianschnitt;

Fig. 5c: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen im Meridianschnitt;

Fig. 5d: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen im Meridianschnitt;

Fig. 5e: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen im Meridianschnitt;

Fig. 6a: erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 6b: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 6c: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 6d: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 6e: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 6f: weitere erfindungsgemäße Umfangsnutformen in der Ansicht Q-Q;

Fig. 7a: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit Unterbrechung;

Fig. 7b: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit geformter Unterbrechung;

Fig. 8a: erfindungsgemäße Umfangsnuten mit internem Umlenkmittel, Meridianansicht;

Fig. 8b: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit internem Umlenkmittel (parallel);

Fig. 8c: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit internem Umlenkmittel (schräg);

Fig. 8d: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit internem Umlenkmittel (schräg und konturiert);

Fig. 8e: eine erfindungsgemäße Umfangsnut mit internem Umlenkmittel (schräg und profiliert).

[0023] Die Fig.3 zeigt die erfindungsgemäße Lösung einer Schaukelreihe 5 mit freiem Ende und Laufspalt 11 sowie einer in Umfangsrichtung verlaufenden Nut 7 im Bereich des Laufspaltes 11, dargestellt in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene.

[0024] Der Laufspalt 11 trennt die Schaukelspitze von einem zum Hauptströmungspfad gehörenden Bauteil an der Nabe 3 oder dem Gehäuse 1 der Strömungsarbeitsmaschine.

[0025] Zwischen der Schaukelspitze und dem zum Hauptströmungspfad gehörenden Bauteil liegt eine rotierende Relativbewegung vor. Die Darstellung gilt somit gleichermaßen für folgende Anordnungen:

- 1.) rotierende Schaukel an stehendem Gehäuse;
- 2.) ruhende Schaukel an rotierender Nabe;
- 3.) ruhende Schaukel an rotierendem Gehäuse;
- 4.) rotierende Schaukel an stehender Nabe.

[0026] Die Hauptströmungsrichtung ist mit einem dicken Pfeil dargestellt. Stromauf der Schaufelreihe mit Laufspalt kann sich, wie hier gestrichelt angedeutet ist, eine weitere Schaufelreihe befinden.

[0027] Der Vorderkantenpunkt der Schaufel 5 am Laufspalt 11 ist mit A bezeichnet und der Hinterkantenpunkt der Schaufel am Laufspalt ist mit B bezeichnet.

[0028] Die Öffnung 12 der Nut 7 am Rand des Hauptströmungspfadestromaufwärts wird durch den Startpunkt C und den Endpunkt D begrenzt. Von der Nutöffnung 12 aus ist eine in das Gehäuse 1 bzw. in die Nabenkontur eingelassene Ausnehmung vorgesehen, die eine stromaufwärts gerichtete Neigung besitzt. Die Ausdehnung der Nut 7 in Umfangsrichtung ist erfindungsgemäß groß gegenüber der Ausdehnung der Nut 7 in Meridionalströmungsrichtung. Die erfindungsgemäße Nut 7 kann demnach entweder am gesamten Umfang der Maschine oder lediglich an einem Abschnitt des Umfangs vorgesehen sein.

[0029] Die in dieser Darstellung gewählte Form der erfindungsgemäßen Nut 7 ist exemplarisch und als stellvertretend für eine Anzahl erfindungsgemäßer möglicher Nutformen mit Stromaufwärtsneigung zu betrachten, die in weiteren Figuren weiter ausgeführt werden.

[0030] Ebenfalls erfindungsgemäß vorteilhaft ist die trivial ableitbare Lösung einer Mehrfachanordnung erfindungsgemäßer Nuten 7 im Bereich eines Schaufelendes mit Spalt. Eine derartige Anordnung ist in Fig. 3 am Beispiel zweier weiterer (hier gepunktet eingezeichneter) Nuten 7 aufgezeigt. Der Einfachheit halber ist jedoch in weiteren folgenden Bildern und Ansichten stets nur eine Nut 7 dargestellt.

[0031] Schließlich enthält die Darstellung noch die Ansicht Q-Q, die in weiteren Darstellungen erfindungsgemäßer Lösungen Verwendung findet.

[0032] Die Fig. 4a zeigt die erfindungsgemäße Nut 7 in vergrößerter Darstellung, wiederum in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene. Enthalten sind jetzt nur noch die Kontur der Nut 7, der relevante Teil der Hauptströmungspfadberandung und ein Schaufelende mit Spalt 11. Ebenfalls gezeigt sind die Eckpunkte des Schaufelendes A und B, sowie der Nutöffnungsstartpunkt C und der Nutöffnungs-
endpunkt D.

[0033] Die gestrichelte Linie durch die Schaufelspitzeneckpunkte A und B gibt die Referenzrichtung für weitere kennzeichnende Größen einer erfindungsgemäßen Nut vor. Alle weiteren eingezeichneten gestrichelten Hilfslinien verlaufen entweder parallel oder senkrecht zur Referenzlinie A-B. So verläuft eine Parallele zu A-B durch den Nutöffnungs-
endpunkt D. Außerdem verläuft jeweils eine Senkrechte zu A-B durch den Nutöffnungs-
startpunkt C und durch den außerhalb des Hauptströmungspfadestromaufwärts gelegenen Schwerpunkt der Nutquerschnittsfläche S.

[0034] Der Nutöffnungsmittelpunkt M ist definiert als ein Punkt auf der Hilfslinie durch den Punkt D, und zwar in Referenzrichtung A-B betrachtet bei halbem Abstand zwischen den Punkten C und D.

[0035] Erfindungsgemäß weicht der Querschnitt der Nut 7 wesentlich von einer Parallelogrammform ab und ist aufgrund seiner Konturgebung stromaufwärts geneigt. Dies ist unter anderem dadurch sichergestellt, dass der Schwerpunkt S der Nutquerschnittsfläche um einen Betrag $d > 0$ stromauf des Mittelpunktes M der Nutöffnung vorgesehen ist.

[0036] Die erfindungsgemäße Positionierung der Nut 7 im Bereich des Schaufelendes ist durch den zwischen den Punkten A und C in der Referenzrichtung A-B gegebenen Abstand VN in Relation zur meridionalen Sehnenlänge an der Schaufelspitze Lm wie folgt gegeben: $-0,25 < VN / Lm < 0,95$. Folglich kann der Nutstartpunkt maximal um 25% der meridionalen Schaufelsehnenlänge stromauf des Vorderkantenpunktes A und maximal um 95% der meridionalen Schaufelsehnenlänge stromab des Vorderkantenpunktes A liegen.

[0037] Erfindungsgemäß vorteilhaft ist eine Positionierung gemäß $-0,15 < VN / Lm < 0,35$. Erfindungsgemäß besonders günstig ist eine Positionierung gemäß $-0,15 < VN / Lm < 0,15$.

[0038] Die Fig. 4b zeigt vier Beispiele für erfindungsgemäße Positionierung von Nuten.

[0039] Die Fig. 4c zeigt drei Beispiele für eine erfindungsgemäße Nut 7 für den Fall, dass in der Hauptströmungspfadberandung im Bereich des Laufspaltes ein Schaufelanstreifbelag vorgesehen ist. Eine besonders günstige erfindungsgemäße Lösung beinhaltet, dass, wie dargestellt, der Anstreifbelag nur innerhalb eines Teilabschnitts der Schaufelaufpadbreite vorgesehen ist, der Anstreifbelag innerhalb dieses Teilabschnitts eine glatte und ununterbrochene Oberfläche an der Hauptströmungspfadberandung bildet und eine erfindungsgemäße Nut den Anstreifbelag nach stromauf und / oder stromab derart begrenzt, dass der Schaufelspitzen-
eckpunkt A und / oder der Schaufelspitzen-
eckpunkt B in einem nicht mit Anstreifbelag überdeckten Bereich liegen. Dies ist für alle drei Darstellungen der Fig. 4c zutreffend, wobei die Darstellung oben links eine Nut 7 im Bereich der Schaufelvorderkante, die Darstellung oben rechts eine Nut 7 im Bereich der Vorder- und Hinterkante, und die Darstellung unten links eine Nut 7 im Bereich der Vorderkante mit Absatz (hier sogar mit einer Überlappung von Nutöffnungsstartkante und Schaufelende quer zur Meridianströmungsrichtung) zeigt.

[0040] Die Fig. 4d zeigt ähnliche erfindungsgemäße Konfigurationen mit Anstreifbelag, wobei hier der Anstreifbelag an den Übergängen zur Nut 7 an seinen Rändern vollständig vom Material des die Hauptströmungspfadberandung bildenden Bauteils eingefasst ist. In diesem Fall ist es erfindungsgemäß günstig, dort, wo das Schaufelende direkt dem Material des die Hauptströmungspfadberandung bildenden Bauteils gegenüber steht, eine Ausnehmung am Schaufelende vorzusehen, die ein Anstreifen des Schaufelendes lokal vermeidet.

[0041] Die Fig. 5a zeigt die erfindungsgemäße Nut 7 in vergrößerter Darstellung mit der Definition ihrer Formkenngrößen, wiederum in der durch die Axialrichtung x

und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene. Die erfindungsgemäße Nut 7 ist durch eine Anordnung von sechs Hilfslinien definiert, für die bestimmte Bedingungen gelten. Die Hilfslinien verlaufen entweder parallel oder senkrecht zur Referenzrichtung A-B:

Die Linie L1 verläuft parallel zu A-B durch den Nutöffnungsendpunkt D.

Die Linie L2 verläuft parallel zu L1 durch den Nutöffnungsstartpunkt C.

Die Linie L3 verläuft parallel zu L1 tangential entlang der Nutkontur, sodass sie erfindungsgemäß mindestens einen Punkt G an einem Ort bei maximaler Eindringtiefe h mit L3 gemeinsam hat.

Die Linie L4 verläuft senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur, sodass sie erfindungsgemäß mindestens einen Punkt F an einem Ort bei maximaler Stromauf-Überhang m mit L4 gemeinsam hat.

Die Linie L5 verläuft senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur, sodass sie erfindungsgemäß mindestens einen Punkt E an einem Ort bei maximalem Stromab-Überhang n mit L5 gemeinsam hat.

Die Linie L6 verläuft senkrecht zu L1 durch den Nutöffnungsstartpunkt C und teilt die Querschnittsfläche der Nut erfindungsgemäß in zwei Teilflächen auf: die stromauf von L6 befindlichen Fläche AF (dick schraffiert) und die stromab von L6 befindlichen Fläche AR (dünn schraffiert).

[0042] Der Schwerpunkt der gesamten Nutquerschnittsfläche (AF+AR) ist auch hier als Punkt S eingezeichnet, ebenso wie der Nutöffnungsmittelpunkt M und der zwischen S und M vorgesehene Abstand d .

[0043] Die Abstände k , h , m , n , d haben in der eingezeichneten Pfeilrichtung positives Vorzeichen.

[0044] Für eine erfindungsgemäße Nut gelten schließlich gemeinsam folgende weitere Merkmale:

$$\begin{aligned} w / L_m &< 0,2 \\ h/w &< 10 \\ m / w &> 0,1 \\ AF / AR &> 0,1 \\ d / w &> 0,05 \\ \text{Betrag } (k / w) &< 2 \end{aligned}$$

[0045] Die Fig. 5b zeigt beispielhaft vier erfindungsgemäß mögliche Nutformen in vergrößerter Darstellung in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene. Zur besseren Orientierung des Betrachters sind die in Fig. 5a beschriebenen Hilfslinien ebenfalls angedeutet. Auch sind die schraffierten Teilflächen der Nut in jedem Bildteil enthalten. Es wird hier deutlich, dass innerhalb der oben beschriebenen

erfindungsgemäßen Definition der Nut in der Meridianansicht unterschiedliche Formen, bestehend aus einer Kombination von geraden und gekrümmten Konturabschnitten, vorgesehen sein können.

[0046] Dabei ist insbesondere eine wenigstens abschnittsweise in Stromauf-Richtung weisende Neigung der Nutkontur ($0^\circ < \gamma_F < 90^\circ$) im Bereich der Teilfläche AF vorteilhaft, siehe Fig. 5b, Bildteil oben links.

[0047] Besonders günstig ist es, wenn der Neigungswinkel der Nutkontur an der Teilfläche AF wenigstens abschnittsweise Werte im Bereich zwischen 15° und 55° annimmt ($15^\circ < \gamma_R < 55^\circ$). Dies gilt im Speziellen für die Konturneigung im Nutöffnungsstartpunkt C.

[0048] Weitere Vorteile ergeben sich, wenn die Nutkontur an der Teilfläche AF geradlinig oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) geformt ist.

[0049] Weiterhin ist eine wenigstens abschnittsweise in Stromauf-Richtung weisende Neigung der Nutkontur im Bereich der Teilfläche AR vorteilhaft ($0 < \gamma_R < 90^\circ$), siehe Fig. 5b, Bildteil unten links.

[0050] Besonders günstig ist es, wenn der Neigungswinkel der Nutkontur an der Teilfläche AR wenigstens abschnittsweise Werte im Bereich zwischen 15° und 55° annimmt ($15^\circ < \gamma_R < 55^\circ$). Dies gilt im Speziellen für die Konturneigung im Nutöffnungsendpunkt D.

[0051] Weitere Vorteile ergeben sich, wenn die Nutkontur an der Teilfläche AR geradlinig oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) geformt ist.

[0052] Die Figuren 5c und 5d zeigen beispielhaft jeweils vier weitere erfindungsgemäß mögliche Nutformen in vergrößerter Darstellung in der Meridianebene. Hier ist die Nutkontur entweder durch einen reinen Polygonzug oder durch eine Kombination aus Kreisbogen und Polygonzug gebildet.

[0053] Während die Figuren 5a bis 5c Beispiele für erfindungsgemäße Nuten zeigen, bei denen der Nutöffnungsstartpunkt C und der Nutöffnungsendpunkt D auf derselben Hilfslinie liegen (also der Versatz k gleich null ist) zeigt die Fig. 5e Beispiele für Nutkonfigurationen mit einem erfindungsgemäßen positiven oder negativen Versatz k .

[0054] Die Fig. 6a zeigt zwei erfindungsgemäße Lösungen einer Nut in der Ansicht Q-Q, die in Fig. 3 eingezeichnet ist. Gezeigt ist ein Blick auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridionalrichtung m aufgespannten Ebene. Dargestellt ist hier nur ein Ausbruch der Hauptströmungspfadberandung, abgewickelt in die Zeichnungsebene. Die Profile zweier benachbarter Schaufelenden der Schaufelreihe sind gestrichelt dargestellt. Die Hauptströmung verläuft von links nach rechts, wie durch den dicken Pfeil angedeutet.

[0055] Der linke Teil der Fig. 6a zeigt eine erfindungsgemäße Nut 7, die exakt in Umfangsrichtung bei gleichbleibender Nutquerschnittform entlang des gesamten Umfangs der Maschine in der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist. Die Linien, die durch die Nutöffnungsstartpunkte C und Nutöffnungsendpunkte D ge-

bildet werden sind entsprechend mit LC und LD gekennzeichnet. Die verdeckte Kante, die sich als Verbindung aller Nutfrontpunkte F ergibt, ist mit LF bezeichnet und gepunktet eingezeichnet. Der parallele, entlang des gesamten Umfangs vorgesehene Verlauf der drei Linien LF, LC und LD stellt die einfachste Variante der erfindungsgemäßen Lösung dar. Der Abstand zweier benachbarter Schaufeln, die sogenannte Schaufelteilung, hat, wie ebenfalls im Bild gekennzeichnet, direkt am Spalt den Betrag t.

[0056] Der rechte Teil der Fig. 6a zeigt eine erfindungsgemäße Nut 7 in Form einer Umfangsnut 13, die zwar im Wesentlichen in Umfangsrichtung und bei gleichbleibender Nutquerschnittform entlang des gesamten Umfangs der Maschine in der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist, aber erfindungsgemäß eine in Umfangsrichtung variierende Position der Nut relativ zum Schaufelende in Meridionalrichtung m aufweist. Besonders günstig sind mit einer bestimmten Periode f wiederkehrende Verläufe der Nut. Der Verlauf der Nut kann wie hier einer Sinusform ähnelnd schwingend beschaffen sein.

[0057] Wie der linke Teil der Fig. 6b zeigt, kann es weiterhin erfindungsgemäß günstig sein, nur eine oder zwei der drei Linien LF, LC und LD schwingend verlaufen zu lassen,

wobei dann auch die Querschnittsform der Nut (in den erfindungsgemäßen Grenzen) entlang des Umfangs variiert. Erfindungsgemäß kann es strömungstechnisch, konstruktiv oder fertigungstechnisch vorteilhaft sein, mindestens eine der drei Linien LF, LC und LD polygonzugartig beziehungsweise gezackt verlaufen zu lassen, siehe rechte Seite der Fig. 6b. Wie bei den bislang beschriebenen erfindungsgemäßen Nuten ist auch hier ein periodisches Wiederkehren eines Nutabschnitts, und insbesondere ein mit ganzem Teiler oder ganzem Vielfachen der Schaufelteilung t periodisches Wiederkehren eines Nutabschnitts, von Vorteil.

[0058] Ebenfalls erfindungsgemäß ist ein Verlauf der Nut, die in Umfangsrichtung unterbrochen ist.

[0059] Die Fig. 6c zeigt erfindungsgemäße Beispiele für einen unterbrochenen sowie einen unterbrochen und versetzten Verlauf der Nut, wobei die Ränder der Unterbrechung im Wesentlichen in Meridionalrichtung m ausgerichtet sind. Die dargestellten Konfigurationen erfüllen erfindungsgemäß die Bedingung, dass die Umfangsersteckung e einer einzelnen Nut deutlich größer ist, als die (möglicherweise in Umfangsrichtung variierende) Weite w der Nutöffnung, und sich auf diese Weise eine in Umfangsrichtung schlanke Formation der Nut vorgesehen ist. Besonders günstig ist dabei, wenn die Nutlänge e mindestens die Größe der Schaufelteilung t aufweist (e/t größer gleich 1).

[0060] Auch Nuten mit veränderlichem (schrägem, gekrümmtem oder schwingendem) Verlauf der Linien LF, LC und/oder LD sind erfindungsgemäß. Zwei Beispiele hierfür sind in Fig. 6d gezeigt.

[0061] Die Fig. 6e zeigt zwei weitere Beispiele für den

entlang des Umfangs in Meridianrichtung variierenden Verlauf einer unterbrochenen Nut.

[0062] Die Fig. 6f zeigt schließlich erfindungsgemäße Ausführungen der Nut, bei der die zwei Ränder der Nutunterbrechung zum einen unterschiedlich und zum anderen schräg zur Meridionalrichtung ausgerichtet sind.

[0063] Die Fig. 7a zeigt eine erfindungsgemäße Nut mit Unterbrechung in unterschiedlichen Ansichten. Rechts oben im Bild ist die Nut in der Meridianebene dargestellt, in der die Ansicht Z-Z und der Schnitt X-X markiert sind. Die Ansicht Z-Z schneidet die Schaufel in der Nähe des Spaltes und bietet einen Blick auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung und die Nutöffnung. Nicht sichtbare Kanten sind gepunktet eingezeichnet. Die hier dargestellte erfindungsgemäße Lösung mit Nutunterbrechung umfasst eine Neigung der unterbrechenden Wandung in Umfangsrichtung auf. Dies ist besonders im Schnitt X-X (siehe Fig. 7a, unten rechts) zu erkennen. Der Schnitt X-X zeigt den Fall einer in dieser Ansicht konkav gekrümmten Hauptströmungspfadberandung (Gehäuse), die vorliegende relative Bewegungsrichtung des Schaufelendes ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. Selbstverständlich sind die gezeigten Merkmale der Nutunterbrechung ebenso für den hier nicht dargestellten Fall einer konvex gekrümmten Hauptströmungspfadberandung (Nabe) erfindungsgemäß. Die Unterbrechungswand kann in vorteilhafter Ausführung, wie hier dargestellt, derart in Umfangsrichtung geneigt sein, dass ausgehend vom Hauptströmungspfad ein schräges Zulaufen auf den Boden der Nut in Richtung der Relativbewegung des Schaufelendes gegeben ist. Eine in Laufrichtung der Schaufel verlaufende Strömung kann auf diese Weise ungestörter in die Nut eintreten. Erfindungsgemäß besonders vorteilhaft sind Neigungswinkel am Hauptströmungspfad von $\delta 1$ größer 45° .

[0064] Die Fig. 7b zeigt in äquivalenter Darstellung zu Fig. 7a eine weitere vorteilhafte Gestaltung der Nutunterbrechung. Die beiden Seiten der Nutunterbrechung besitzen eine besonders konturierte Form, die zur Folge hat, dass die Nutunterbrechung im Schnitt X-X deutlich von einer einfachen stegartigen Form abweicht, derart, dass die in (relative) Laufrichtung des Schaufelendes weisende Seite der Unterbrechung sich flach und gegebenenfalls geschwungen bei Einhaltung von Werten $\delta 1 > 45^\circ$ dem Boden der Nut annähert, und die gegen die (relative) Laufrichtung des Schaufelendes weisende Seite der Unterbrechung sich vom Hauptströmungspfad aus zunächst steil und dann ausrundend dem Boden der Nut annähert. Dabei sind Werte des Neigungswinkels am Hauptströmungspfad von $\delta 2$ zwischen 25° und -25° besonders günstig.

[0065] Die Fig. 8a zeigt neun Beispiele erfindungsgemäß möglicher Konfigurationen von Nuten mit internem Umlenkmittel, dargestellt in der Meridianansicht. Das interne Umlenkmittel stellt erfindungsgemäß zunächst ein Hindernis innerhalb der Nut dar, das einen in Umfangsrichtung ungestörten und kontinuierlichen Strömungsverlauf in einem Teil des Nutquerschnitts unterbricht und

durch seine Formgebung eine Um- oder Ablenkung der Strömung bewirkt. Die freie Kante des internen Umlenkmittels ist erfindungsgemäß entweder vollständig innerhalb der Nut angeordnet (d.h., sie tritt nicht über eine geradlinige Verbindung der Start- und Endpunkte der Nutöffnung C und D in Richtung der Hauptströmung hinaus) oder sie tangiert die geradlinige Verbindung zwischen den Punkten C und D in einem Teil ihres Verlaufes.

[0066] Die Fig. 8b zeigt eine detailliertere Darstellung einer erfindungsgemäßen Nut mit internem Umlenkmittel in drei Ansichten. Rechts oben findet sich die Meridianansicht, die die Nut im Querschnitt zeigt. Innerhalb der Nut ist zwischen Nutboden und etwa halber Nuttiefe ein Umlenkmittel vorgesehen, dessen freie Kante hier parallel zur Hilfslinie durch den Punkt D verläuft. Die Ansicht Z-Z oben links in Fig. 8b zeigt den Verlauf der Nut entlang eines Teils des Umfangs sowie das Umlenkmittel innerhalb der Nut, von dem die hintere Hälfte sichtbar, die vordere Hälfte verdeckt ist (gepunktete Linien). Wie der Schnitt X-X zeigt, besteht das Umlenkmittel hier aus einem einfachen, in Umfangsrichtung geneigten Steg. Selbstverständlich sind auch noch einfachere Stege ohne Neigung erfindungsgemäß.

[0067] Die Fig. 8c zeigt eine erfindungsgemäße Nut mit internem Umlenkmittel, das vom Nutöffnungsstartpunkt C beginnend schräg und mit gekrümmtem Verlauf der freien Kante im stromauf gelegenen Teil der Nut vorgesehen ist. Wie Ansicht Z-Z und der Schnitt X-X verdeutlichen, handelt es sich auch hier um einen geneigten Steg. Wie in Fig. 8b wird auch hier beispielhaft eine vollständig runde Nutform ohne Versatz zwischen den Punkten C und D ($k=0$) betrachtet.

[0068] Die Fig. 8d zeigt eine erfindungsgemäße Nut mit internem Umlenkmittel, das in der Meridianansicht dem in Fig. 8c dargestellten gleicht. Allerdings ist hier nun, wie die Ansicht Z-Z und der Schnitt X-X zeigen, eine Konturierung des Umlenkmittels vorgesehen.

[0069] Die Fig. 8e zeigt schließlich eine erfindungsgemäße Nut mit internem Umlenkmittel, das in der Meridianansicht dem in Fig. 8c dargestellten ähnelt. Allerdings ist hier beispielhaft eine Nutkonfiguration mit Versatz ($k < 0$) dargestellt. Wie die Ansicht Z-Z und der Schnitt X-X zeigen, ist hier zur besseren Strömungsführung/-umlenkung eine Profilierung und Krümmung des Umlenkmittels vorgesehen.

Die Erfindung kann auch wie folgt beschrieben werden:

[0070] Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe und einem Gehäuse berandeten Hauptströmungspfad, in welchem mindestens eine Reihe von Schaufeln angeordnet ist, wobei an mindestens einer Schaufelreihe zwischen einem Schaufelende und einer Hauptströmungspfadberandung ein Spalt vorgesehen ist, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung eine rotierende Relativbewegung zueinander ausführen und im Bereich des Spaltes in der Hauptströmungspfadberandung mindestens eine im wesentlichen in Umfangsrichtung der Maschine verlaufende Nut mit strömungsgünstigem Querschnitt entlang mindestens eines Teils des Umfangs vorgesehen ist, wobei die Ausdehnung der Nut in Umfangsrichtung groß gegenüber der Ausdehnung der Nut in Meridionalströmungsrichtung ist, und wobei die Querschnittsfläche der Nut in der Meridianansicht der Strömungsarbeitsmaschine betrachtet wesentlich von einer Parallelogrammform abweicht und aufgrund ihrer Konturgebung stromaufwärts geneigt ist, wobei der Schwerpunkt der Nutquerschnittsfläche stromauf des Mittelpunktes der Nutöffnung am Hauptströmungspfad vorgesehen ist, wobei die Position der mindestens einen Nut, beschrieben durch den Abstand VN zwischen dem Schaufelvorderkanteneckpunkt A und dem Nutöffnungsstartpunkt C, durch die Bedingung $-0,25 < VN / Lm < 0,95$ gegeben ist, wobei Lm die meridionale Sehnenlänge am Schaufelende am Spalt ist, wobei die Position der mindestens einen Nut relativ zur Schaufelvorderkante wie folgt festgelegt ist: $-0,15 < VN / Lm < 0,35$, wobei die Position der mindestens einen Nut relativ zur Schaufelvorderkante wie folgt festgelegt ist: $-0,15 < VN / Lm < 0,15$, wobei die mindestens eine Nut eine stark stromauf geneigte Gestalt besitzt, deren Kenngrößen in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene durch ein Netz von sechs Hilfslinien definiert sind, wobei

a.) alle Hilfslinien parallel oder senkrecht zur Referenzrichtung A-B entlang des Schaufelendes verlaufen,

b.) eine Linie L1 parallel zu A-B durch den Nutöffnungsstartpunkt C verläuft,

c.) eine Linie L2 parallel zu L1 durch den Nutöffnungsstartpunkt C verläuft,

d.) eine Linie L3 parallel zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie mindestens einen Punkt G an einem Ort bei maximaler Nuteindringtiefe h mit L3 gemeinsam hat,

e.) eine Linie L4 senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie mindestens einen Punkt F an einem Ort bei maximalem Nut-Stromauf-Überhang m mit L4 gemeinsam hat,

f.) eine Linie L5 senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie erfindungsgemäß mindestens einen Punkt E an einem Ort bei maximalem Nut-Stromab-Überhang n mit L5 gemeinsam hat,

g.) eine Linie L6 senkrecht zu L1 durch den Nutöff-

nungsstartpunkt C verläuft und die Querschnittsfläche der Nut in die stromauf von L6 befindlichen Fläche AF und die stromab von L6 befindlichen Fläche AR aufteilt,

h.) der Schwerpunkt S der Nutquerschnittsgesamtfläche und der Nutöffnungsmittelpunkt M einen Abstand d aufweisen,

i.) zwischen den Randpunkten C und D der Nutöffnung eine Nutöffnungsweite w gegeben ist,

j.) zwischen den Hilfslinien L1 und L2 ein Versatz k vorgesehen ist,

k.) die Schaufel an ihrem Ende eine meridionale Sehnenlänge L_m besitzt, und wobei Kenngrößen der Nut in folgender Weise festgelegt sind:

$$w / L_m < 0,2 \text{ und } h / w < 10 \text{ und } d / w > 0,05 \text{ und } m / w > 0,1, \text{ und}$$

$$AF / AR > 0,1 \text{ und Betrag von } (k / w) < 2,$$

wobei im Bereich der Fläche AR im Abschnitt zwischen dem Nutöffnungsendpunkt D und dem Punkt G bei maximaler Nuteindringtiefe der Neigungswinkel der Nutkontur γ_R ausschließlich Werte zwischen 0° und 90° annimmt,

wobei im Bereich der Fläche AR in mindestens einem Teil des Abschnitts zwischen dem Nutöffnungsendpunkt D und dem Punkt G bei maximaler Nuteindringtiefe die Nutkontur linear oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) beschaffen ist,

wobei der Neigungswinkel der Nutkontur γ_R am Nutöffnungsendpunkt D Werte zwischen 15° und 55° annimmt,

wobei im Bereich der Fläche AF im Abschnitt zwischen dem Nutöffnungsstartpunkt C und dem Punkt F bei maximaler Stromaufausdehnung der Neigungswinkel der Nutkontur γ_F ausschließlich Werte zwischen 0° und 90° annimmt,

wobei im Bereich der Fläche AF in mindestens einem Teil des Abschnitts zwischen dem Nutöffnungsstartpunkt C und dem Punkt F bei maximaler Stromaufausdehnung die Nutkontur linear oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) beschaffen ist,

wobei der Neigungswinkel der Nutkontur γ_F am Nutöffnungsstartpunkt C Werte zwischen 15° und 55° annimmt,

wobei gemeinsam mit der mindestens einen Nut ein Schaufelanstreifbelag als Hauptströmungspfadberandung im Bereich des Laufspaltes vorgesehen ist, wobei der Anstreifbelag nur innerhalb eines Abschnitts der meridionalen Erstreckung des Schaufellaufpfades beziehungsweise Laufspaltes vorgesehen ist, und der Anstreifbelag nach stromauf und / oder stromab von einer Nut derart begrenzt wird,

dass mindestens einer der Schaufelkantenpunkte A und B in einem nicht mit Anstreifbelag überdeckten Abschnitt liegen,

wobei der Anstreifbelag an seinem Übergang zu mindestens einer Nut eine vollständig vom Material des die Hauptströmungspfadberandung bildenden Bauteils eingefassten Rand aufweist, und an mindestens einer Stelle, an der das Schaufelende direkt dem Material des den Anstreifbelag umrandenden Bauteils gegenüber steht, eine Ausnehmung am Schaufelende vorgesehen ist, die lokal ein Anstreifen des Schaufelendes vermeidet,

wobei die Signaturlinien mindestens einer Nut, d. h. die Frontlinie LF, die Nutöffnungsstartlinie LC und die Nutöffnungsendlinie LD, exakt in Umfangsrichtung entlang der Hauptströmungspfadberandung verlaufen,

wobei mindestens eine Signaturlinie mindestens einer Nut (Frontlinie LF, Nutöffnungsstartlinie LC, Nutöffnungsendlinie LD) einen entlang des Umfangs in meridionaler Richtung variierenden Verlauf aufweist,

wobei der entlang des Umfangs in meridionaler Richtung variierende Verlauf der mindestens einen Signaturlinie mindestens einer Nut eine Periodizität aufweist,

wobei die im Meridianschnitt betrachtete Querschnittsform mindestens einer Nut entlang des Umfangs variiert,

wobei der Verlauf mindestens einer Nut entlang des Umfangs mindestens einmal vollständig unterbrochen ist,

wobei benachbarte Enden mindestens einer Nut im Bereich der Unterbrechung in meridionaler Richtung versetzt angeordnet sind,

wobei die Tiefe h mindestens einer Nut in Richtung der Relativbewegung des betreffenden Schaufelendes kontinuierlich wenigstens über einen Abschnitt ihres Verlaufes zunimmt,

wobei innerhalb mindestens einer Nut mindestens ein Umlenkmittel vorgesehen ist, das für eine nutinterne Strömung ein örtliches Hindernis darstellt und so beschaffen ist, dass eine Richtungsänderung der Strömung erreicht wird, wobei das mindestens eine Umlenkmittel von der Hauptströmungspfadberandung zurückgesetzt angeordnet ist, derart, dass eine freie Kante des Umlenkmittels höchstens die geradlinige Verbindung der Nutöffnungspunkte C und D in einem Teil ihres Verlaufes tangierend erreicht,

wobei ein nutinternes Umlenkmittel vorgesehen ist, das im Bereich seiner freien Kante zur besseren Strömungsführung eine Wölbung und/oder Profilierung aufweist.

55 Bezugszeichenliste

[0071]

- 1 Gehäuse
- 2 Ringkanal / Hauptströmungspfad
- 3 Rotortrommel (Nabe)
- 4 Maschinenachse
- 5 Schaufel / Schaufelreihe
- 6 Naben- oder Gehäusebaugruppe
- 7 Ringnut / Nut (stromauf orientiert)
- 8 Schaufelreihe mit freiem Ende und Laufspalt
- 9 stromaufliegende Schaufelreihe (Optional)
- 10 Schlitz / Nut
- 11 Spalt / Laufspalt
- 12 Nutöffnung
- 13 Umfangsnut

Patentansprüche

1. Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe (3) und einem Gehäuse (1) berandeten Hauptströmungspfad (2), in welchem mindestens eine Reihe von Schaufeln (5) angeordnet ist, wobei an mindestens einer Schaufelreihe (5) zwischen einem Schaufelende und einer Hauptströmungspfadberandung ein Spalt (11) vorgesehen ist, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung eine rotierende Relativbewegung zueinander ausführen und im Bereich des Spaltes (11) in der Hauptströmungspfadberandung mindestens eine im wesentlichen in Umfangsrichtung der Maschine verlaufende Nut (7) entlang mindestens eines Teils des Umfangs vorgesehen ist, wobei die Ausdehnung der Nut (7) in Umfangsrichtung groß gegenüber der Ausdehnung der Nut (7) in Meridionalströmungsrichtung ist, und wobei die Querschnittsfläche der Nut (7) in der Meridianansicht der Strömungsarbeitsmaschine betrachtet wesentlich von einer Parallelogrammform abweicht und aufgrund seiner Konturgebung stromaufwärts geneigt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwerpunkt der Nutquerschnittsfläche stromauf des Mittelpunktes der Nutöffnung (12) am Hauptströmungspfad vorgesehen ist.
2. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Position der mindestens einen Nut (7), beschrieben durch den Abstand VN zwischen dem Schaufelvorderkanteneckpunkt A und dem Nutöffnungsstartpunkt C, durch die Bedingung $-0,25 < VN / Lm < 0,95$ gegeben ist, wobei Lm die meridionale Sehnenlänge am Schaufelende am Spalt (11) ist, und/oder dass die Position der mindestens einen Nut (7) relativ zur Schaufelvorderkante wie folgt festgelegt ist: $-0,15 < VN / Lm < 0,35$, und/oder, dass die Position der mindestens einen Nut (7) relativ zur Schaufelvorderkante wie folgt festgelegt ist: $-0,15 < VN / Lm < 0,15$.
3. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die

mindestens eine Nut (7) eine stark stromauf geneigte Form aufweist, deren Kenngrößen in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r aufgespannten Meridianebene durch ein Netz von sechs Hilfslinien definiert sind, wobei

- a.) alle Hilfslinien parallel oder senkrecht zur Referenzrichtung A-B entlang des Schaufelendes verlaufen,
- b.) eine Linie L1 parallel zu A-B durch den Nutöffnungsendpunkt D verläuft,
- c.) eine Linie L2 parallel zu L1 durch den Nutöffnungsstartpunkt C verläuft,
- d.) eine Linie L3 parallel zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie mindestens einen Punkt G an einem Ort bei maximaler Nuteindringtiefe h mit L3 gemeinsam hat,
- e.) eine Linie L4 senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie mindestens einen Punkt F an einem Ort bei maximalem Nut-Stromauf-Überhang m mit L4 gemeinsam hat,
- f.) eine Linie L5 senkrecht zu L1 tangential entlang der Nutkontur verläuft, sodass sie erfindungsgemäß mindestens einen Punkt E an einem Ort bei maximalem Nut-Stromab-Überhang n mit L5 gemeinsam hat,
- g.) eine Linie L6 senkrecht zu L1 durch den Nutöffnungsstartpunkt C verläuft und die Querschnittsfläche der Nut in die stromauf von L6 befindlichen Fläche AF und die stromab von L6 befindlichen Fläche AR aufteilt,
- h.) der Schwerpunkt S der Nutquerschnittsgesamtfläche und der Nutöffnungsmittelpunkt M einen Abstand d aufweisen,
- i.) zwischen den Randpunkten C und D der Nutöffnung eine Nutöffnungsweite w gegeben ist,
- j.) zwischen den Hilfslinien L1 und L2 ein Versatz k vorgesehen ist,
- k.) die Schaufel an ihrem Ende eine meridionale Sehnenlänge Lm besitzt und wobei Kenngrößen der Nut in folgender Weise festgelegt sind:

$$w / Lm < 0,2 \text{ und } h / w < 10 \text{ und } d / w > 0,05 \text{ und } m / w > 0,1 \text{ und } AF / AR > 0,1 \text{ und Betrag von } (k / w) < 2.$$

4. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich der Fläche AR im Abschnitt zwischen dem Nutöffnungsendpunkt D und dem Punkt G bei maximaler Nuteindringtiefe der Neigungswinkel der Nutkontur γ_R ausschließlich Werte zwischen 0° und 90° annimmt, und vorzugsweise im Bereich der Fläche AR in mindestens einem Teil des Abschnitts zwischen dem Nutöffnungsendpunkt D und dem Punkt G bei maximaler Nuteindringtiefe die Nutkontur linear oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) beschaffen

ist, und/oder der Neigungswinkel der Nutkontur γ_R am Nutöffnungsendpunkt D Werte zwischen 15° und 55° annimmt.

5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich der Fläche AF im Abschnitt zwischen dem Nutöffnungsstartpunkt C und dem Punkt F bei maximaler Stromaufausdehnung der Neigungswinkel der Nutkontur γ_F ausschließlich Werte zwischen 0° und 90° annimmt, und vorzugsweise im Bereich der Fläche AF in mindestens einem Teil des Abschnitts zwischen dem Nutöffnungsstartpunkt C und dem Punkt F bei maximaler Stromaufausdehnung die Nutkontur linear oder konkav (bezogen auf das Innere der Nut) beschaffen ist, und/oder der Neigungswinkel der Nutkontur γ_F am Nutöffnungsstartpunkt C Werte zwischen 15° und 55° annimmt. 5
10
15

6. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** gemeinsam mit der mindestens einen Nut (7) ein Schaufelanstreifbelag als Hauptströmungspfadberandung im Bereich des Laufspaltes (11) vorgesehen ist, wobei der Anstreifbelag nur innerhalb eines Abschnitts der meridionalen Erstreckung des Schaufellaufpfades beziehungsweise Laufspaltes (11) vorgesehen ist, und der Anstreifbelag nach stromauf und / oder stromab von einer Nut (7) derart begrenzt wird, dass mindestens einer der Schaufelkantenpunkte A und B in einem nicht mit Anstreifbelag überdeckten Abschnitt liegen, und vorzugsweise der Anstreifbelag an seinem Übergang zu mindestens einer Nut (7) eine vollständig vom Material des die Hauptströmungspfadberandung bildenden Bauteils eingefassten Rand aufweist, und an mindestens einer Stelle, an der das Schaufelende direkt dem Material des den Anstreifbelag umrandenden Bauteils gegenüber steht, eine Ausnehmung am Schaufelende vorgesehen ist, die lokal ein Anstreifen des Schaufelendes vermeidet. 20
25
30
35
40

7. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Signaturlinien mindestens einer Nut, d. h. die Frontlinie LF, die Nutöffnungsstartlinie LC und die Nutöffnungsendlinie LD, exakt in Umfangsrichtung entlang der Hauptströmungspfadberandung verlaufen, und/oder mindestens eine Signaturlinie mindestens einer Nut (Frontlinie LF, Nutöffnungsstartlinie LC, Nutöffnungsendlinie LD) einen entlang des Umfangs in meridionaler Richtung variierenden Verlauf aufweist, wobei vorzugsweise der entlang des Umfangs in meridionaler Richtung variierende Verlauf der mindestens einen Signaturlinie mindestens einer Nut (7) eine Periodizität aufweist. 45
50
55

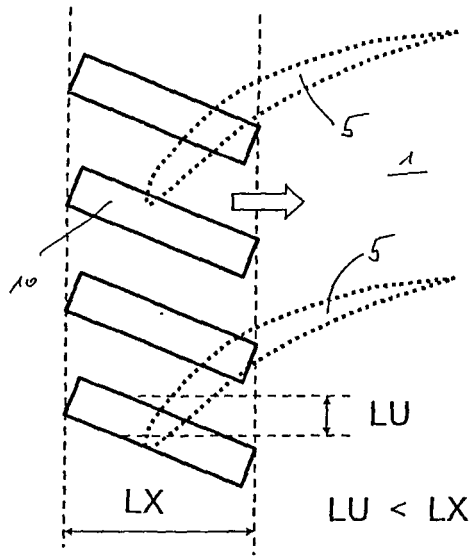
8. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprü-

che 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Meridianschnitt betrachtete Querschnittsform mindestens einer Nut (7) entlang des Umfangs variiert und/oder der Verlauf mindestens einer Nut entlang des Umfangs mindestens einmal vollständig unterbrochen ist, wobei vorzugsweise die Tiefe h mindestens einer Nut (7) in Richtung der Relativbewegung des betreffenden Schaufelendes kontinuierlich wenigstens über einen Abschnitt ihres Verlaufes zunimmt, und/oder benachbarte Enden mindestens einer Nut (7) im Bereich der Unterbrechung in meridionaler Richtung versetzt angeordnet sind, wobei vorzugsweise die Tiefe h mindestens einer Nut (7) in Richtung der Relativbewegung des betreffenden Schaufelendes kontinuierlich wenigstens über einen Abschnitt ihres Verlaufes zunimmt.

9. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb mindestens einer Nut (7) mindestens ein Umlenkmittel vorgesehen ist, das für eine nutinterne Strömung ein örtliches Hindernis darstellt und so beschaffen ist, dass eine Richtungsänderung der Strömung erreicht wird, wobei das mindestens eine Umlenkmittel von der Hauptströmungspfadberandung zurückgesetzt angeordnet ist, derart, dass eine freie Kante des Umlenkmittels höchstens die geradlinige Verbindung der Nutöffnungspunkte C und D in einem Teil ihres Verlaufes tangierend erreicht, wobei vorzugsweise ein nutinternes Umlenkmittel vorgesehen ist, das im Bereich seiner freien Kante zur besseren Strömungsführung eine Wölbung und/oder Profilierung aufweist.

Fig. 1a: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Axiale Ansicht

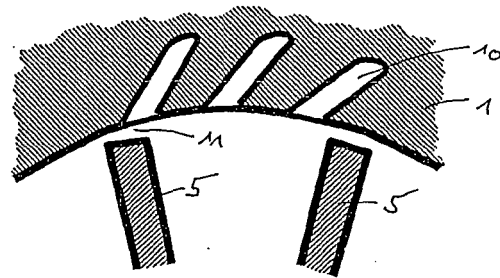
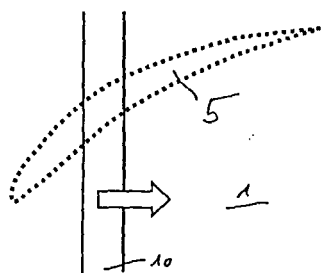


Fig. 1b: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Meridianansicht

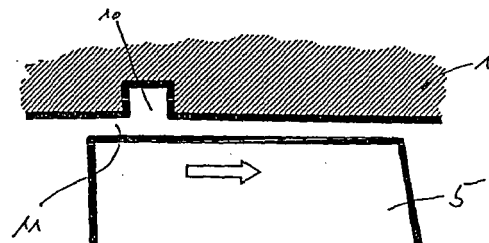


Fig. 2:

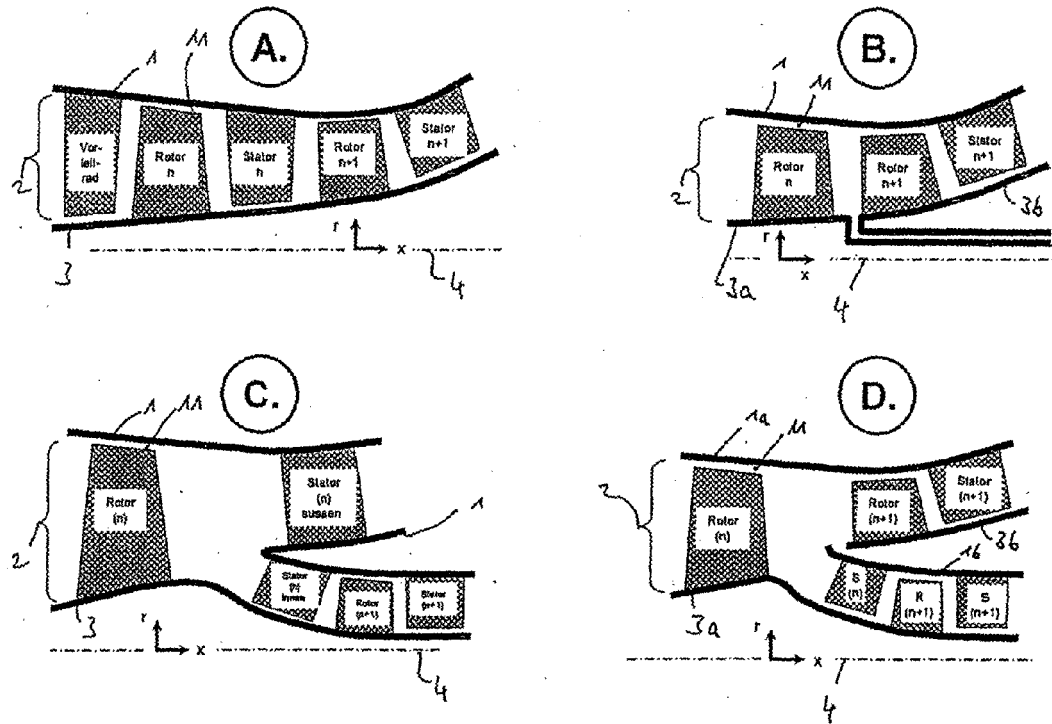


Fig. 3:

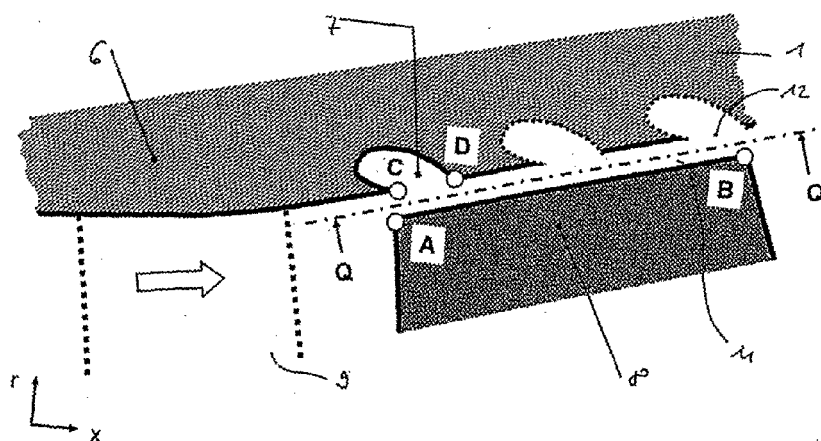


Fig. 4a:

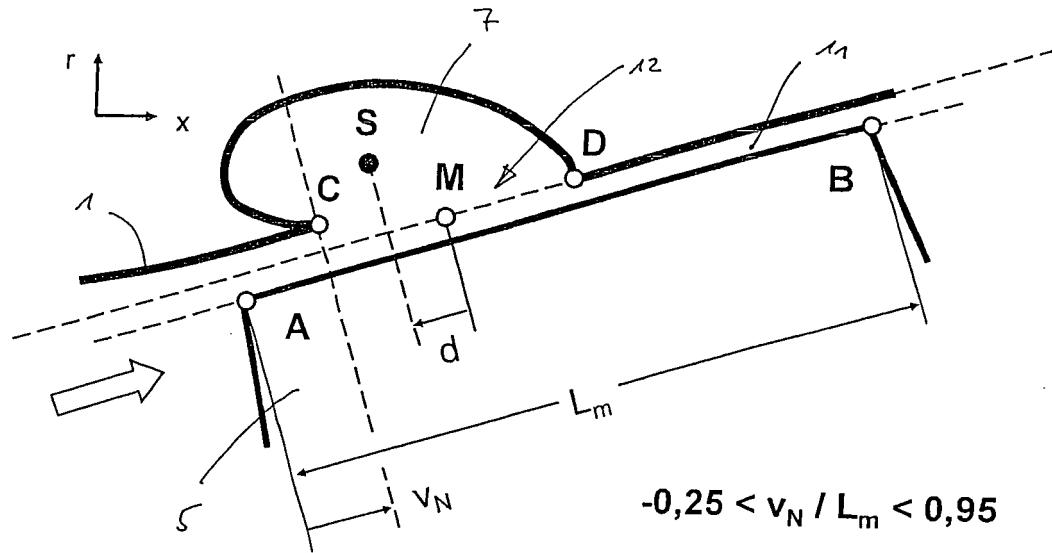


Fig. 4b:

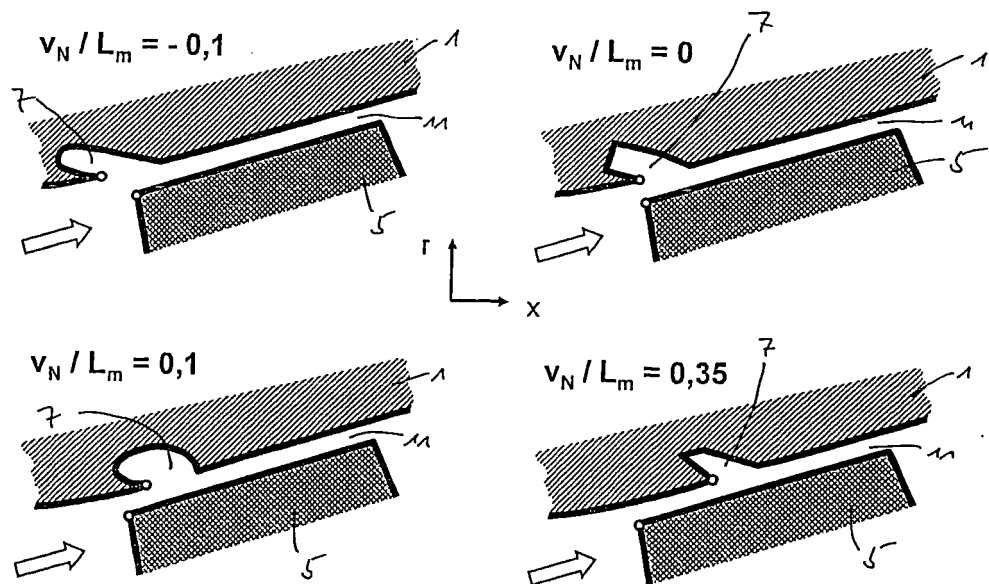


Fig. 4c:

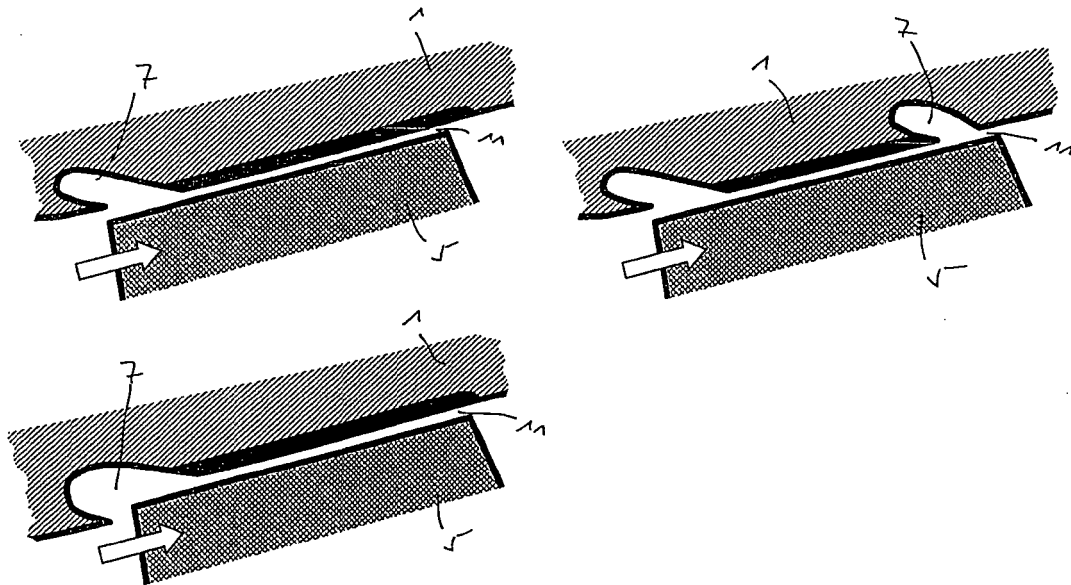


Fig. 4d:

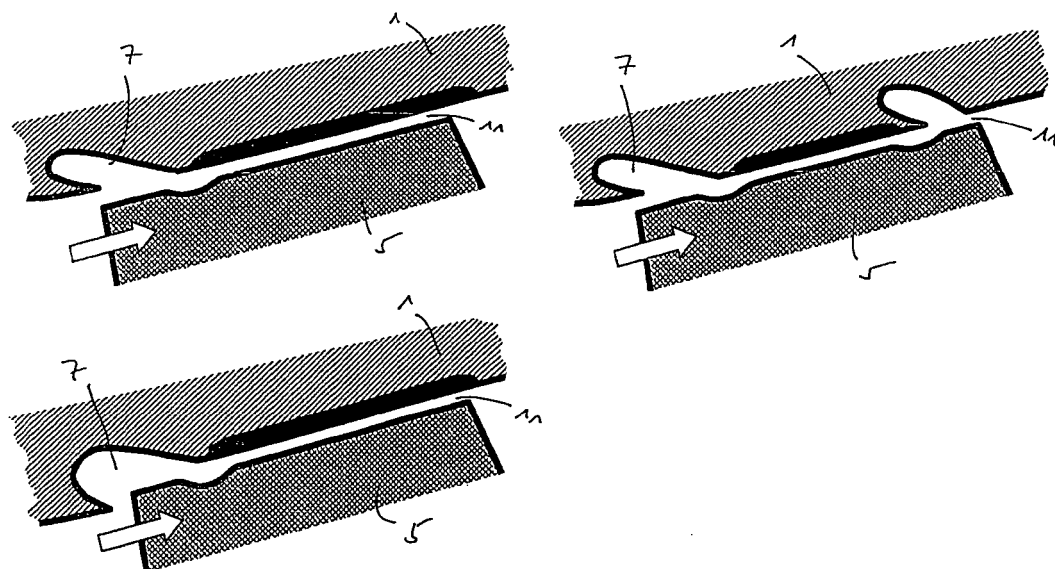


Fig. 5a:

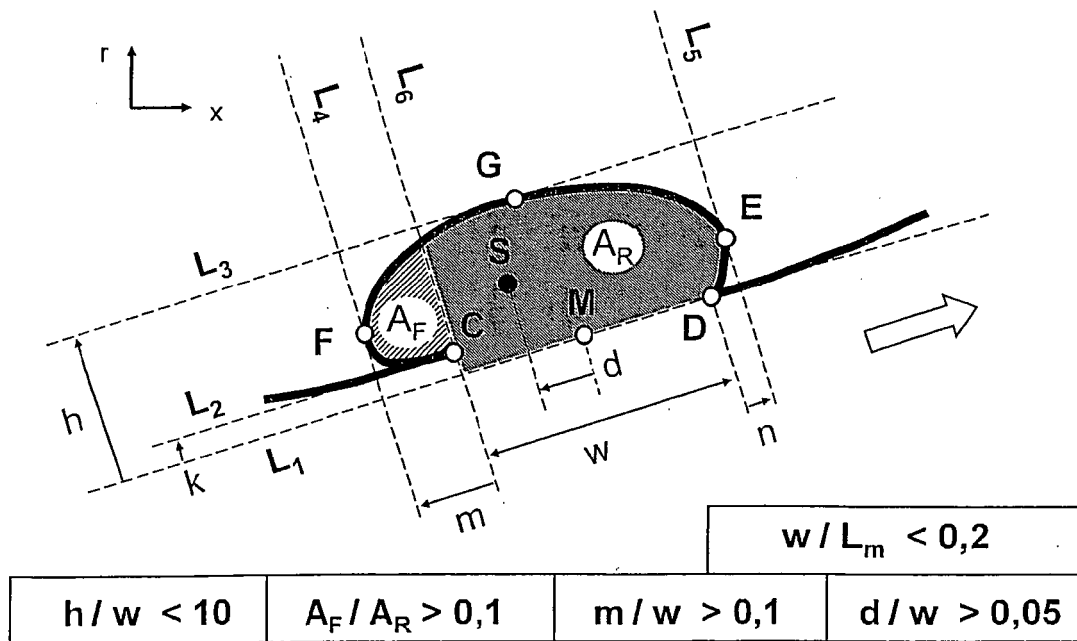


Fig. 5b:

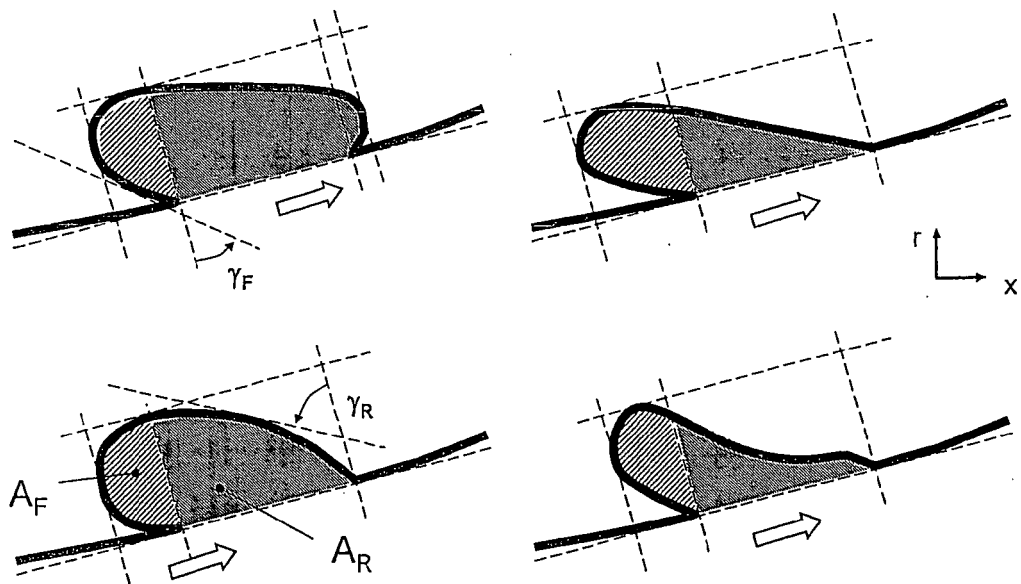


Fig. 5c:

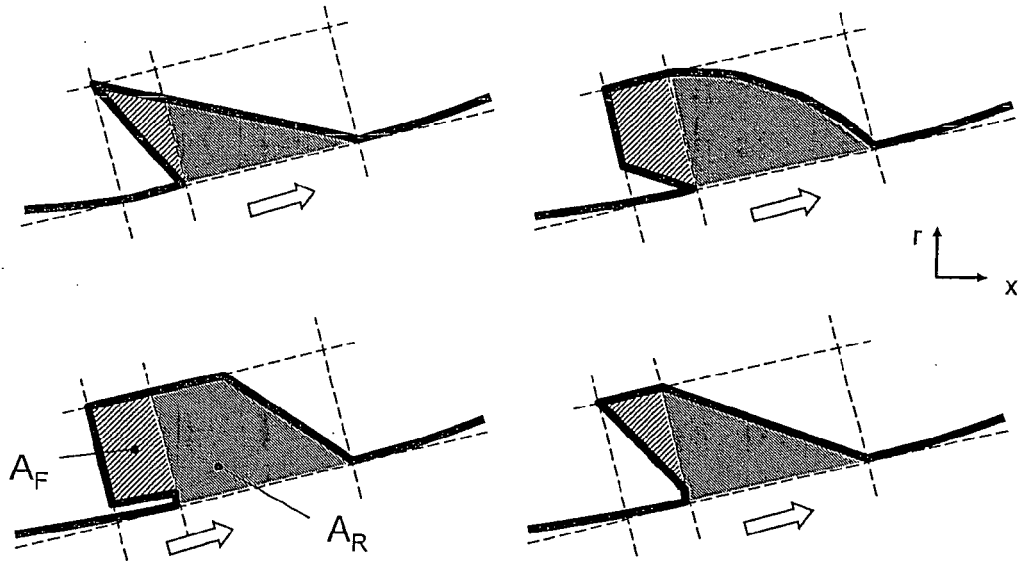


Fig. 5d:

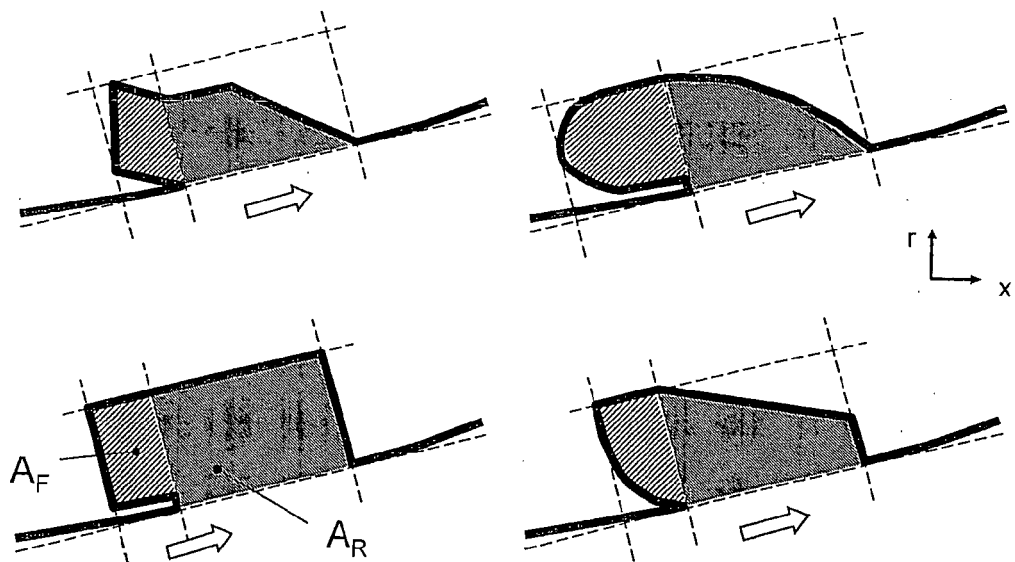


Fig. 5e:

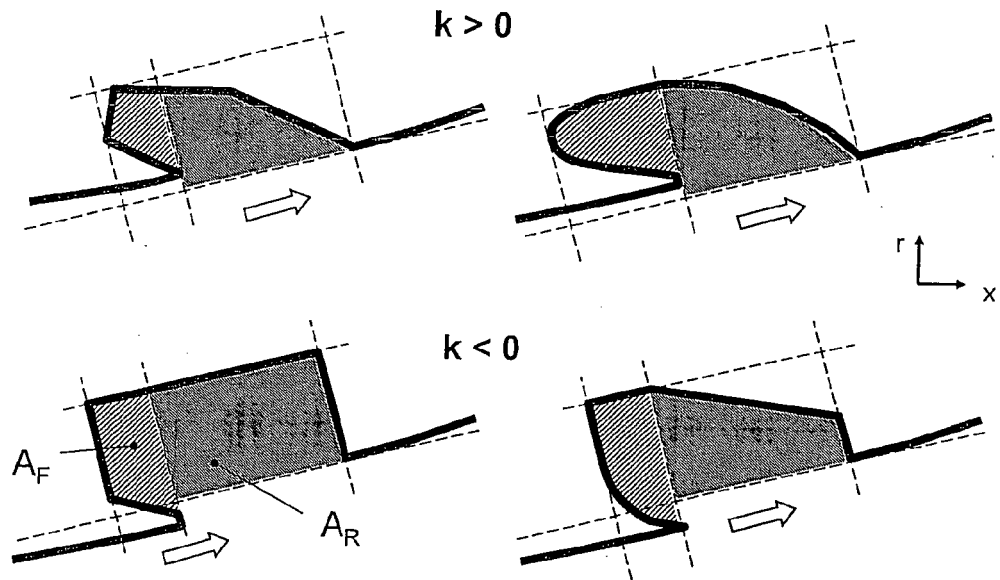


Fig. 6a:

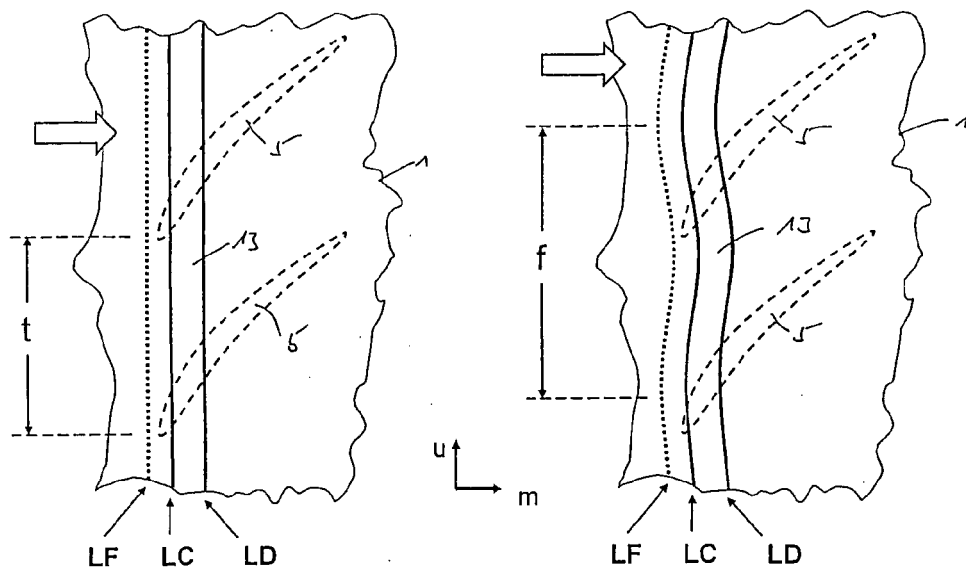


Fig. 6b:

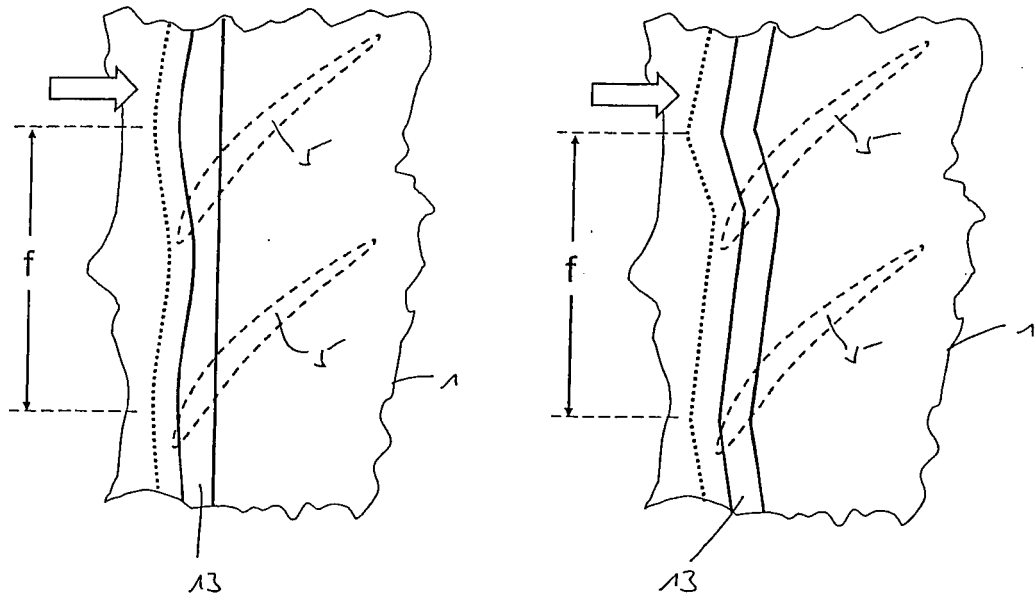


Fig. 6c:

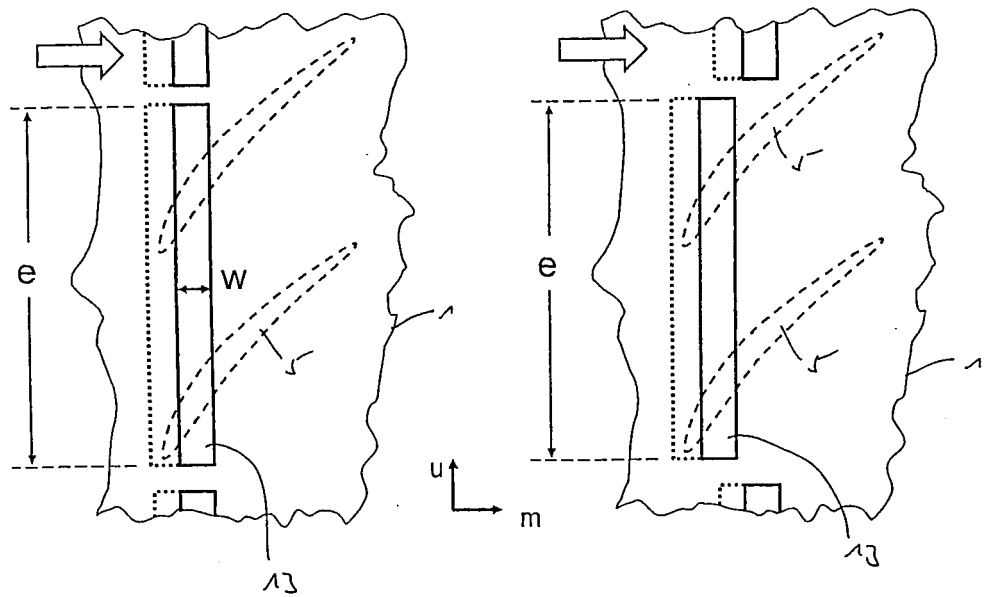


Fig. 6d:

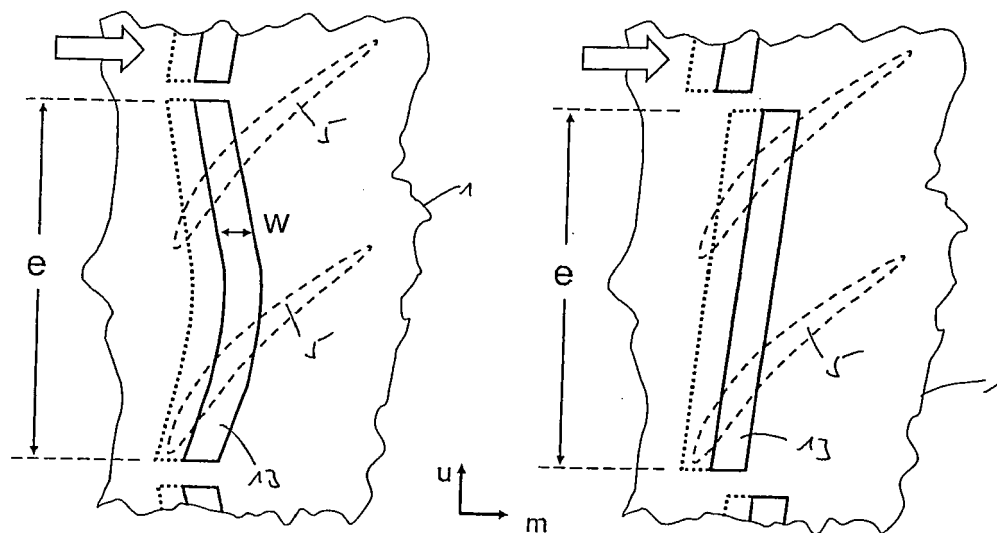


Fig. 6e:

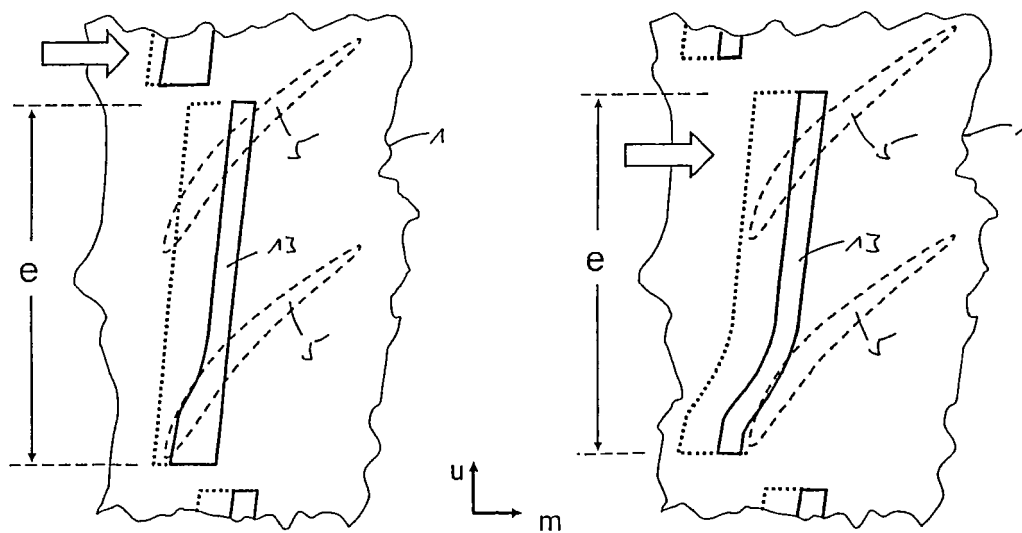


Fig. 6f:

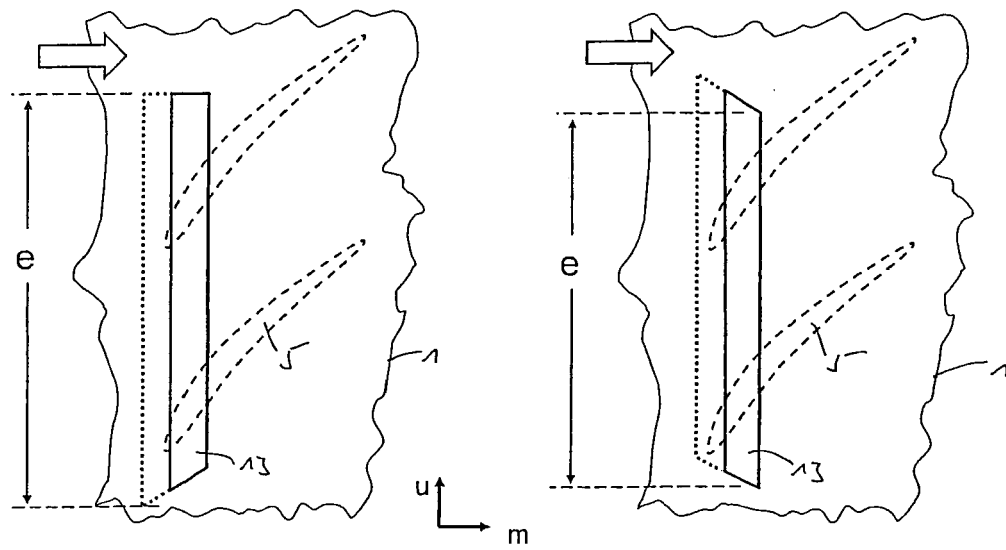


Fig. 7a:

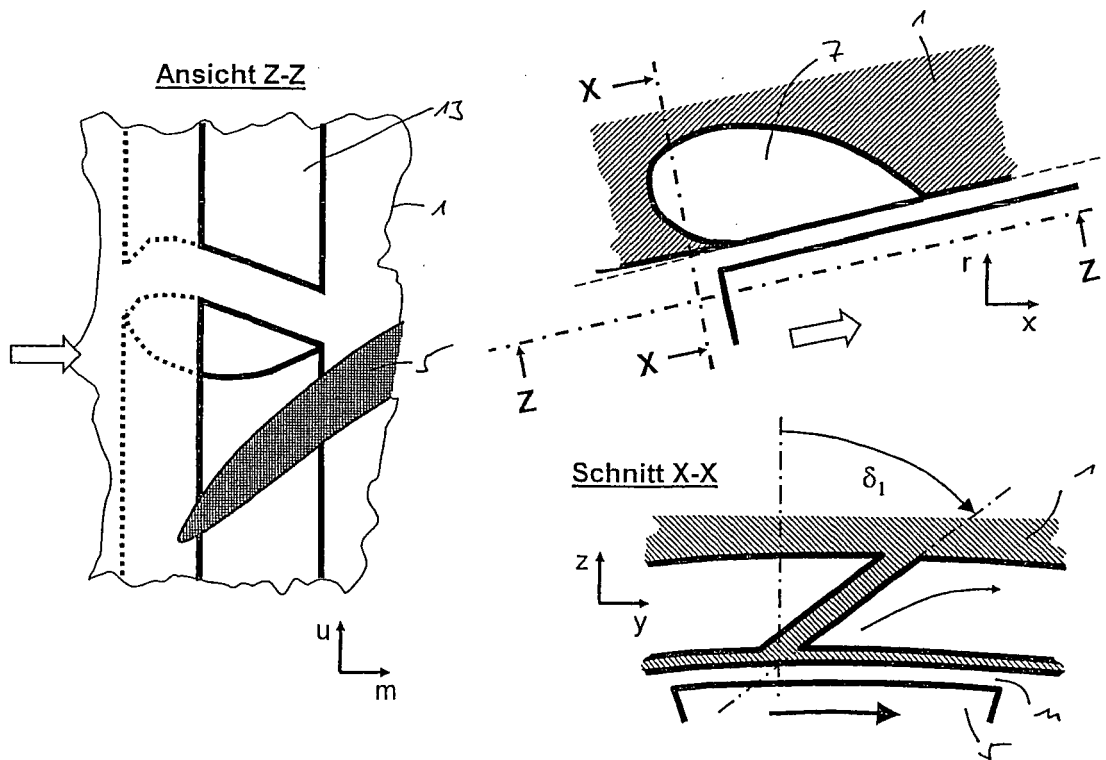


Fig. 7b:

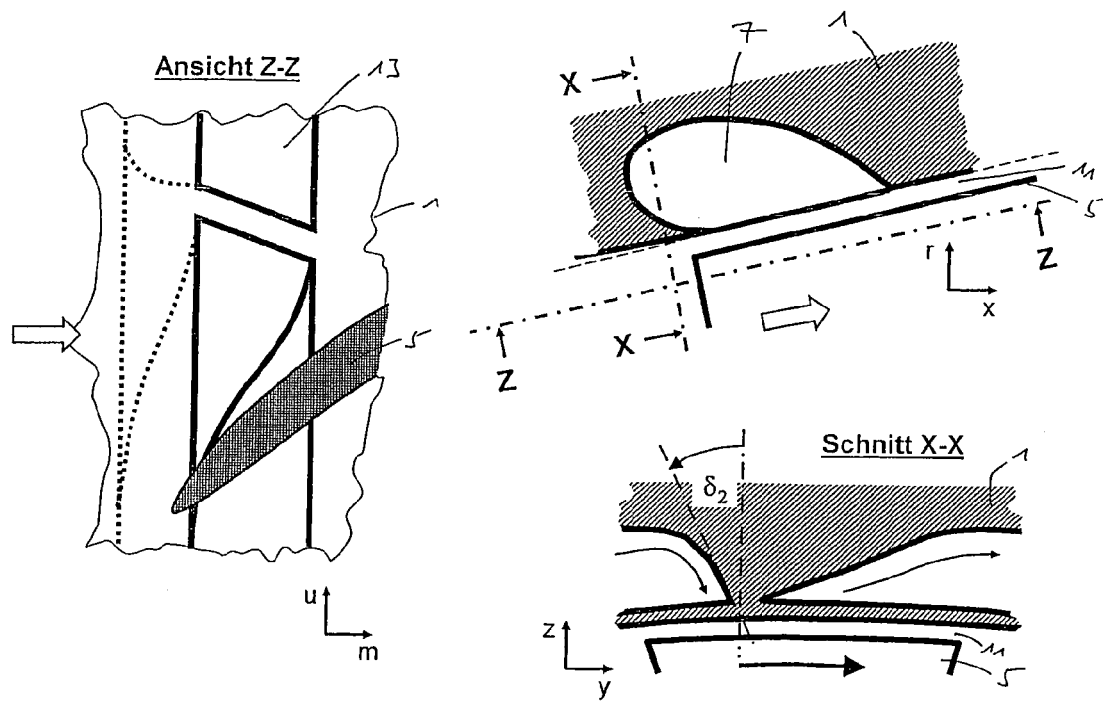


Fig. 8a:

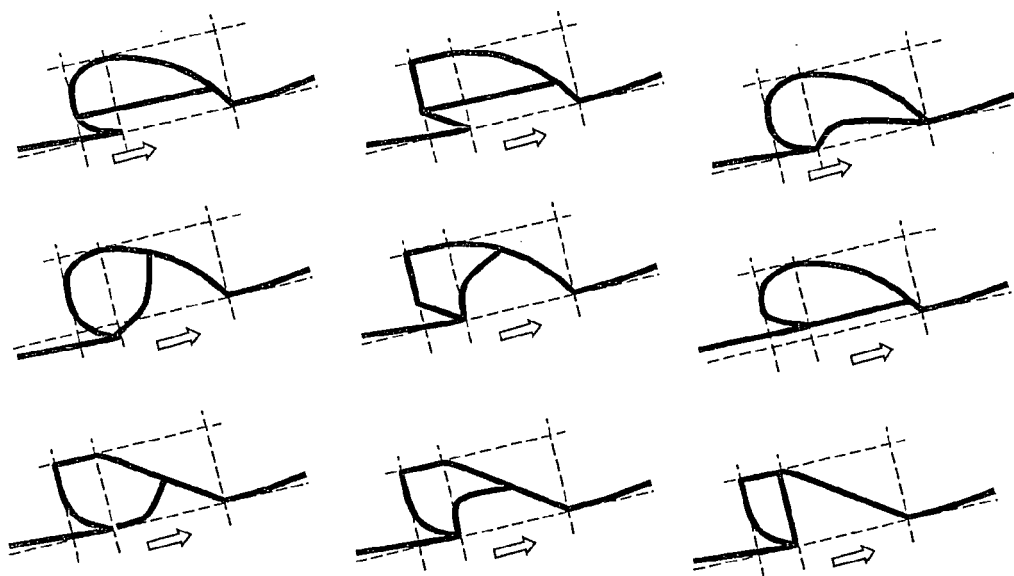


Fig. 8b:

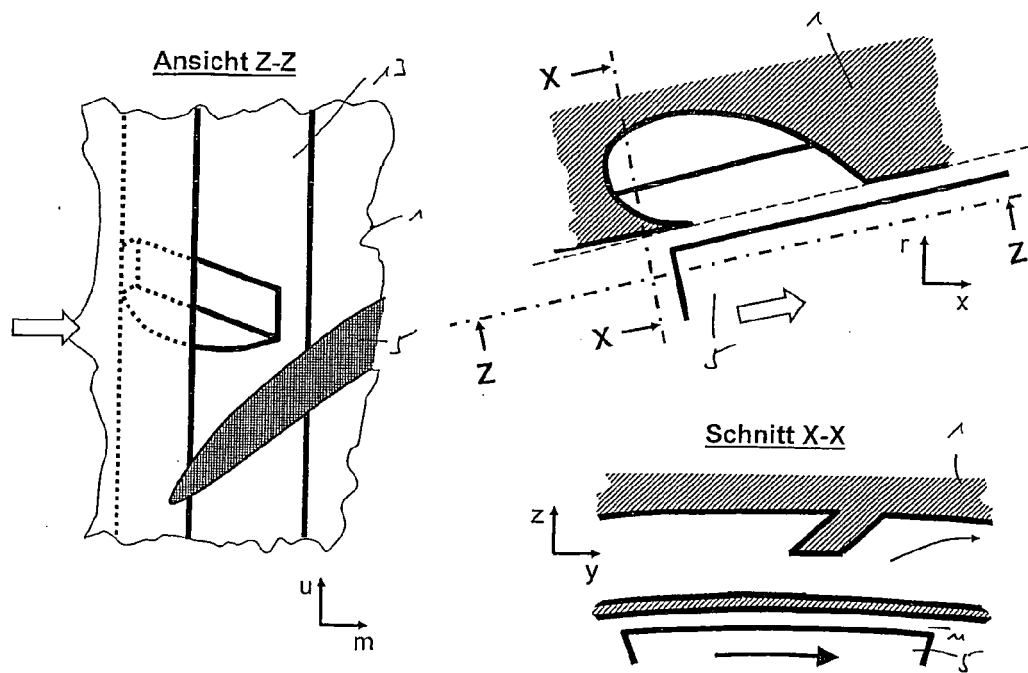


Fig. 8c:

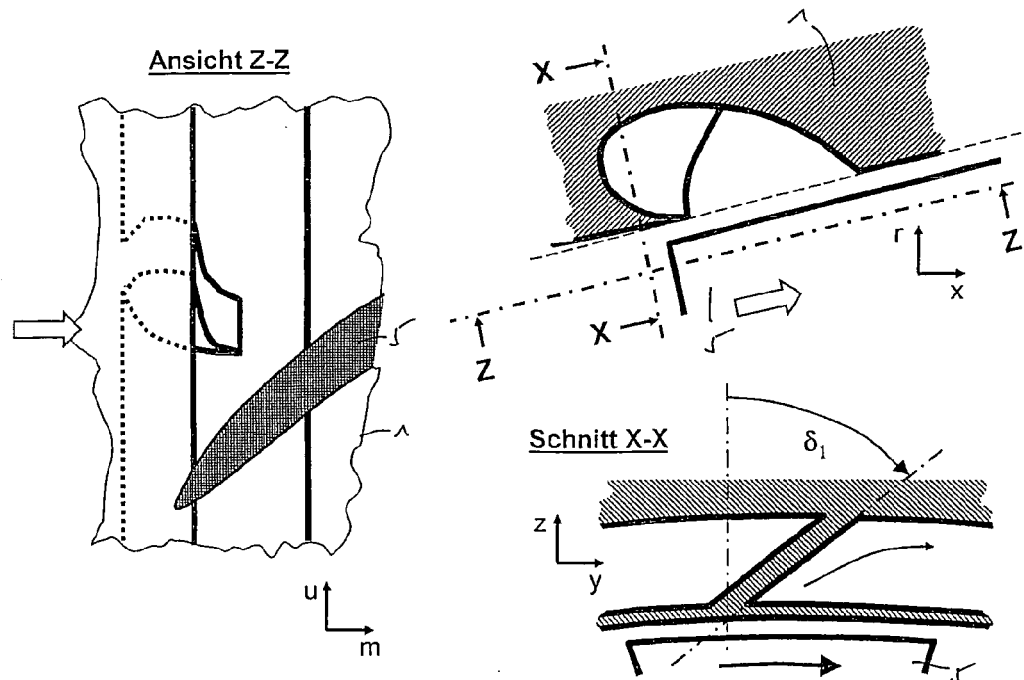


Fig. 8d:

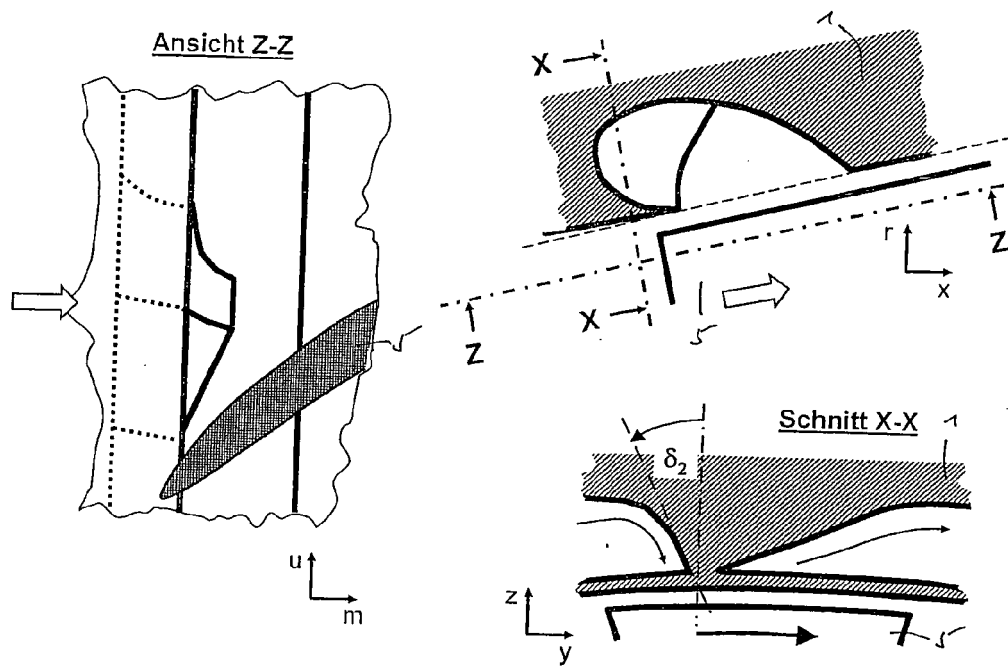
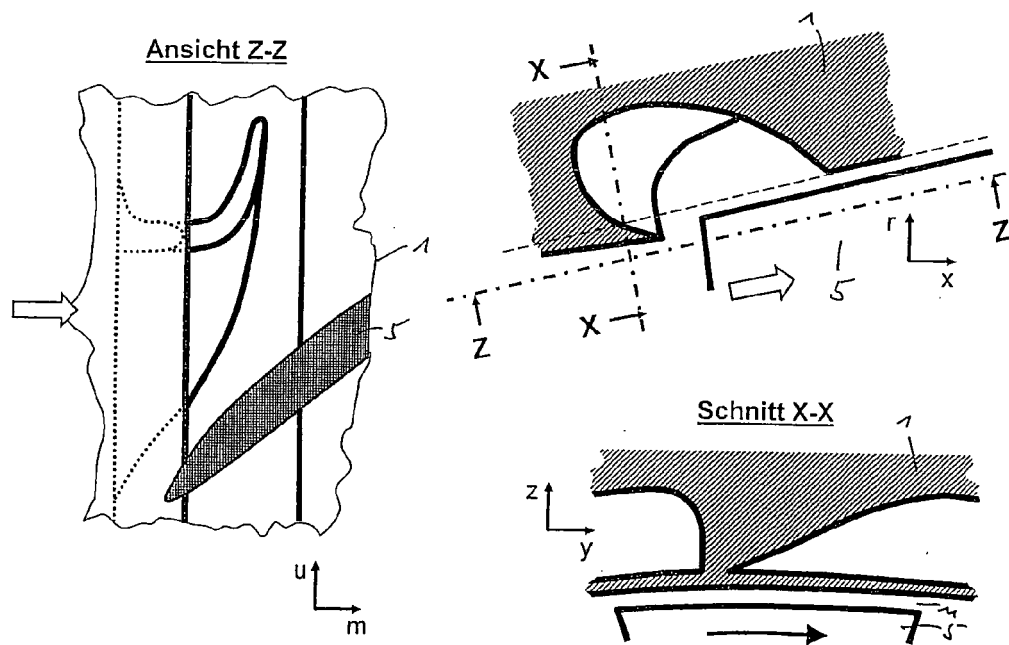


Fig. 8e:



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 20050226717 A1 [0005]
- EP 0754864 A1 [0005]
- DE 10135003 C1 [0005]
- DE 10330084 A1 [0005]