



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.02.2010 Patentblatt 2010/06

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

(21) Anmeldenummer: **09009508.4**

(22) Anmeldetag: **22.07.2009**

(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 SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

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

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

(30) Priorität: **08.08.2008 DE 102008037154**

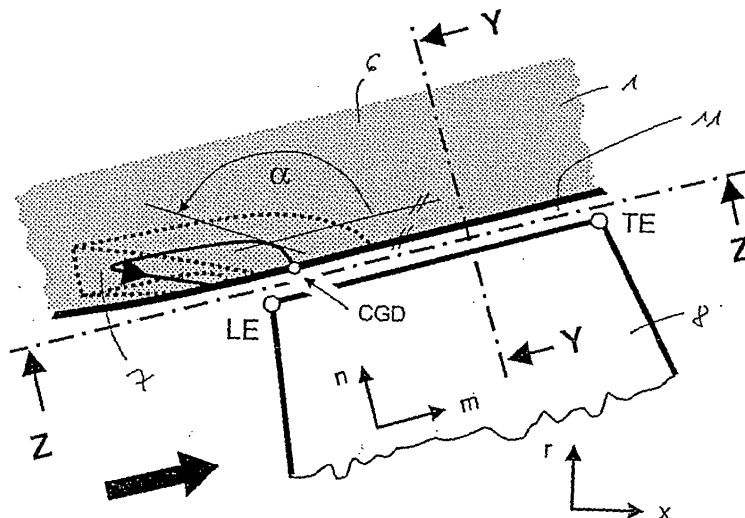
(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(54) **Strömungsarbeitsmaschine**

(57) 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 der Schaufelvorderkante in der Hauptströmungspfadberandung mindestens ein Umkehrkanal (7) an einer diskreten Umfangsposition vorgesehen ist, wobei:

- a.) ein Umkehrkanal (7) zwei an der Hauptströmungspfadberandung angeordnete Öffnungen (12,13) miteinander verbindet,
- b.) Fluid durch eine Entnahmeöffnung aus dem Hauptströmungspfad (2) in den Umkehrkanal (7) strömt
- c.) Fluid durch eine Zufuhröffnung (13) aus dem Umkehrkanal (7) in den Hauptströmungspfad (2) strömt
- d.) der Verlauf des Umkehrkanals (7) räumlich kompakt beschaffen ist
- e.) der Umkehrkanal (7) eine Mittellinie aufweist, die als die Verbindung aller Flächenschwerpunkte der Querschnitte des Umkehrkanals (7) definiert ist.

Fig. 3a:



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Strömungsarbeitsmaschine mit Umkehrkanal gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] 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 Betriebsinstabilität der Maschine.

[0003] 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.

[0004] Die einfachste Form von Casing Treatments sind Umfangsnuten mit rechteckigem oder parallelogrammförmigem Querschnitt, wie beispielsweise in EP 0 754 864 A1 offenbart und in Fig. 1a beispielhaft skizziert ist.

[0005] Andere Lösungen sehen Reihen von Schlitten oder Öffnungen im Gehäuse vor, wobei die einzelnen Schlitten/Öffnungen im Wesentlichen in Strömungsrichtung orientiert sind und eine schlanke Form mit einer in Umfangsrichtung der Maschine betrachtet geringen Ausdehnung besitzen; so beispielsweise in der DE 101 35 003 C1 offenbart und in Fig. 1b skizziert.

[0006] Weitere Casing Treatments bestehen aus Rückführkanälen, die als Ring am gesamten Umfang im Bereich eines Rotors im Gehäuse vorgesehen sind, wobei oftmals Leitschaufeln zur Reduzierung des Strömungsdralls innerhalb des Casing Treatments vorgesehen sind; so beispielsweise in EP 0 497 574 A1, US 2005-0226717 A1, US 6 585 479 B2, US 2005-0226717 A1 und DE 103 30 084 A1.

[0007] Existierende Konzepte von Casing Treatments in Form von Schlitten und/oder Kammern in der Ringkanalwand bieten eine Steigerung der Stabilität der Strömungsarbeitsmaschine. Die wird jedoch aufgrund der ungünstig gewählten Anordnung oder Formgebung nur bei Verlust an Wirkungsgrad erzielt. Derzeitig bekannte Lösungen nehmen zudem einen großen Bauraum an der Peripherie des Ringkanals der Strömungsarbeitsmaschine ein, sie sind aufgrund ihrer Form (z. B. einfache parallelogrammförmige Umfangsgehäusenuten) nur bedingt wirksam und sie sind stets im Gehäuse im Bereich einer Rotorschaukelreihe vorgesehen.

[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 sehr 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] Im Einzelnen betrifft die Erfindung somit einen Abschnitt des Ringkanals einer Strömungsarbeitsmaschine, im Bereich einer Schaufelreihe mit freiem Ende und Laufspalt, in dem eine Reihe von in Umfangsrichtung verteilten Umkehrkanälen vorgesehen ist, die räumlich kompakt und strömungsgünstig Fluid an einen weiter stromauf gelegenen Ort rückführen. Die Erfindung betrifft Anordnungen mit Laufspalt und Relativbewegung zwischen Schaufelende und Hauptströmungspfadberandung, sowohl am Gehäuse als auch an der Nabe.

[0011] 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.

[0012] 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.

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.

[0013] Der Stator besteht aus einer Anzahl feststehender Schaufeln, die nabenseitig wie gehäuseseitig mit festem oder freiem Schaufelende ausgeführt sein können.

[0014] Die Rotortrommel und die Beschaukelung sind üblicherweise von einem Gehäuse umgeben, in anderen Fällen, z. B. bei Propellern oder Schiffsschrauben, existiert kein Gehäuse.

[0015] 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.

[0016] In besonderer Ausgestaltung kann die Strömungsarbeitsmaschine mindestens eine Reihe verstellbarer Rotoren aufweisen.

[0017] Alternativ kann die besagte 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.

[0018] Schließlich kann die Strömungsarbeitsmaschine alternativ eine Nebenstromkonfiguration derart aufweisen, dass sich der einstromige Ringkanal hinter einer bestimmten Schaufelreihe in zwei konzentrische Ringkanäle aufteilt, die ihrerseits mindestens jeweils eine weitere Schaufelreihe beherbergen.

[0019] Die Fig.2 zeigt Beispiele erfindungsgemäß relevanter Strömungsarbeitsmaschinen.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von

Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 a: eine Skizze des Standes der Technik, Rotor-
gehäuse, Umfangsnuten;

Fig. 1 b: eine Skizze des Standes der Technik, Rotor-
gehäusestrukturierung;

Fig. 2: Beispiele erfindungsgemäß relevanter Strö-
mungsarbeitsmaschinen;

Fig. 3a: die erfindungsgemäße Lösung, Meridian-
schnitt;

Fig. 3b: die erfindungsgemäße Lösung, Meridian-
schnitt;

Fig. 3c: die erfindungsgemäße Lösung, Meridian-
schnitt, weitere Bezeichnungen;

Fig. 3d: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3e: die erfindungsgemäße Lösung, Ansicht Z-Z,
weitere Bezeichnungen;

Fig. 3f: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3g: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3h: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3i: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3j: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3k: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3l: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3m: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 3n: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4a: die erfindungsgemäße Lösung, Meridian-
schnitt;

Fig. 4b: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-

Y und Z-Z;

Fig. 4c: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4d: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4e: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4f: die erfindungsgemäße Lösung, räumliche
Ansicht;

Fig. 4g: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4h: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 4i: die erfindungsgemäße Lösung, räumliche
Ansicht;

Fig. 4j: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 5a: die erfindungsgemäße Lösung, räumliche
Ansicht;

Fig. 5b: die erfindungsgemäße Lösung, Ansichten Y-
Y und Z-Z;

Fig. 6a: die erfindungsgemäße Lösung, räumliche
Ansicht;

Fig. 6b: die erfindungsgemäße Lösung, räumliche
Ansicht;

Fig. 6c: eine weitere erfindungsgemäße Ausgestal-
tung.

[0021] Die Fig.3a zeigt die erfindungsgemäße Lösung einer Schaufelreihe 5 mit freiem Ende und Laufspalt 11 in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r gebildeten Meridianebene.

[0022] Der Laufspalt 11 trennt die Schaufelspitze von einem zum Hauptströmungspfad 2 gehörenden Bauteil an der Nabe 3 oder dem Gehäuse 1 der Strömungsarbeitsmaschine.

[0023] Zwischen der Schaufelspitze und dem zum Hauptströmungspfad gehörenden Bauteil liegt eine rotierende Relativbewegung vor. Die Darstellung gilt somit gleichermaßen für folgende Anordnungen:

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

[0024] Die Hauptströmungsrichtung ist mit einem dicken Pfeil dargestellt. Stromauf und/oder stromab der Schaufelreihe mit Laufspalt 11 können sich weitere Schaufelreihen 8 befinden. Der Vorderkantenpunkt der Schaufel 5 am Laufspalt ist mit LE bezeichnet. Der Hinterkantenpunkt der Schaufel 5 am Laufspalt 11 ist mit TE bezeichnet.

[0025] Innerhalb des zum Hauptströmungspfad 2 gehörenden Bauteils ist im Bereich des Laufspaltes 11 eine Reihe von am Umfang verteilten Umkehrkanälen 7 vorgesehen. Jeder Umkehrkanal 7 verbindet jeweils eine Entnahmeöffnung 12 mit einer weiter stromauf vorgesehenen Zufuhröffnung 13. Die Figur zeigt den Umriss beziehungsweise die Projektion eines einzelnen Umkehrkanals 7 in der Meridianebene. Ein schlanker Pfeil zeigt den erfindungsgemäß vorgesehenen Strömungsverlauf durch den Umkehrkanal 7 in dieser Ebene.

[0026] Der Verlauf des Umkehrkanals 7 ist so beschaffen, dass Fluid vom Rand des Hauptströmungspfades 2 durch eine Öffnung 12 entnommen wird, nah am Hauptströmungspfad 2 im Wesentlichen parallel zur Hauptströmungspfadberandung ausgerichtet wird, gegen die Hauptströmungsrichtung stromauf geführt wird und schließlich durch eine Strömungsumkehr unter flachem Winkel mit der Hauptströmungsrichtung 2 in den Hauptströmungspfad zurückgeleitet wird.

[0027] Der Umkehrkanal 7 besitzt eine in der hier betrachteten Meridianebene nicht erkennbare Erstreckung und Formgebung in Umfangsrichtung. Die Strömungsrichtungsumkehr von "gegen die Hauptströmung" zu "mit der Hauptströmung" wird erfindungsgemäß zu einem großen Teil in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene erreicht.

[0028] Die Mittellinie des Umkehrkanals 7 ergibt sich aus der Verbindung aller Querschnittsflächenschwerpunkte des Umkehrkanals 7. Die Projektion der Mittellinie in die Meridianebene ist in Fig. 3a und 3b als ein den Fluidverlauf zeigender Pfeil dargestellt. Die Neigung der Mittellinie relativ zur Hauptströmungspfadberandung ist erfindungsgemäß kennzeichnend und wird durch den Neigungswinkel α gemessen, der zwischen einer Parallelen zur Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD und der Tangente an die projizierte Mittellinie des Umkehrkanals ausgebildet ist. Eine stromaufwärts gerichtete Neigung der Mittellinie ergibt gemäß des eingezeichneten Richtungssinns Winkelwerte von $\alpha > 90^\circ$ und nach der Fluidrichtungsumkehr können sich, insbesondere in Nähe der Zufuhröffnung, Winkelwerte von $\alpha > 270^\circ$ ergeben.

[0029] Die Meridiankoordinate m weist in Hauptströmungsrichtung und kann bei entsprechender Neigung des Strömungspfades, wie im Bild gezeigt, gegen die Axialrichtung x geneigt sein. Die Normalenrichtung zu m ist durch die Normalenkoordinate n gekennzeichnet.

[0030] In weiteren Darstellungen der erfindungsgemäßen Lösung werden die in Fig. 3a eingezeichneten Ansichten Y-Y und Z-Z zur vertieften Erläuterung der Erfindung herangezogen.

[0031] Die Ansicht Y-Y richtet sich entgegen der Hauptströmungsrichtung und verdeutlicht die Geometrie der erfindungsgemäßen Umkehrkanäle 7 in der durch Umfangskoordinate u und Normalkoordinate n gebildeten Ebene.

[0032] Die Ansicht Z-Z gestattet einen Blick auf die abgewinkelte Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung und verdeutlicht die Geometrie der erfindungsgemäßen Umkehrkanäle 7 in der durch Meridiankoordinate m und Umfangskoordinate u gebildeten Ebene.

[0033] Die Fig. 3b zeigt eine Abwandlung der in Fig. 3a gezeigten Konfiguration des Umkehrkanals 7. Hier ist der Umkehrkanal 7 so beschaffen, dass Fluid vom Rand des Hauptströmungspfades entnommen wird, nah am Hauptströmungspfad unter einem flachen Winkel zur Hauptströmungspfadberandung stromaufwärts ausgerichtet wird, gegen die Hauptströmungsrichtung stromauf geführt wird und schließlich durch eine Strömungsumkehr unter einem ebenfalls flachen Winkel zur Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad 7 zurückgeleitet wird.

[0034] Erfindungsgemäß besonders günstige Ausgestaltungen ergeben sich, wenn die Projektion der Mittellinie des Umkehrkanals 7 in die Meridianebene in dem Abschnitt des Umkehrkanals, in dem eine stromauf gerichtete Fluidführung vorgesehen ist, mit der Hauptströmungspfadberandung über mindestens 60% der Lauflänge dieses Abschnitts einen Winkel α zwischen 135° und 225° bildet. Der Abschnitt des Umkehrkanals mit stromauf gerichteter Fluidführung wird, wie in den Fig. 3b eingezeichnet ist, durch die Punkte CGD und H eingegrenzt. Dabei liegt der Punkt CGD in der Entnahmeöffnung und stellt den dortigen Flächenschwerpunkt dar. Der Punkt H stellt den am weitesten meridional stromauf befindlichen Punkt der Mittellinie des Umkehrkanals dar. Im Abschnitt zwischen dem Punkt H und dem Punkt CGU (Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung) herrscht stromab gerichtete Fluidführung.

[0035] Erfindungsgemäß günstige Lösungen sehen vor, dass die Fluidführung vom Punkt H an ausschließlich zur Hauptströmungspfadberandung hin gerichtet ist und sich der Umkehrkanal 7 in diesem Abschnitt unter zunehmend flachem Winkel in Hauptströmungsrichtung dem Hauptströmungspfad annähert. Im Abschnitt des Umkehrkanals mit stromab gerichteter Fluidführung gilt dann: $270^\circ < \alpha < 360^\circ$. Besonders günstige Lösungen sehen an der Zufuhröffnung einen Neigungswinkel α von größer 335° vor.

[0036] Die Fig. 3c definiert weitere erfindungsrelevante Größen. Gezeigt sind hier jetzt nur noch die Hauptströmungspfadberandung, ein Teil der Schaufel und die Mittellinie des Umkehrkanals 7 mit seinen kennzeichnenden Punkten CGD, CGU und H. Abstände zwischen diesen Punkten werden senkrecht beziehungsweise parallel zur Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD gemessen. So liegt zwischen den Punkten CGU und H der meridionale Abstand a und zwischen den Punkten CGD und H der meridionale Abstand b. Die Nor-

malhöhe h ergibt sich senkrecht dazu als Abstand zwischen CGD und H. Die Größen a , b und h sind geeignet, um erfindungsgemäße Dimensionsverhältnisse des Umkehrkanals 7 festzulegen. So ist es erfindungsgemäß besonders günstig, wenn der gesamte Umkehrkanal nahe am Hauptströmungspfad vorgesehen ist, sodass sich ein Verhältnis von h zu b von kleiner 0,6 ergibt ($h / b < 0,6$). Eine erfindungsgemäße besonders vorteilhafte Flachbauweise ergibt sich bei Werten von $h / b < 0,3$.

[0037] Die Fig. 3d zeigt die in Fig. 3b und 3c dargestellte erfindungsgemäße Lösung in den Ansichten Y-Y und Z-Z. Die Ansicht Z-Z auf der rechten Bildseite zeigt einen Blick auf einen Ausschnitt der abgewinkelten Hauptströmungspfadberandung in der aus Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene. Die Schaufelspitzen der betrachteten Schaufelreihe sowie die Verbindungslinie der Vorderkantenpunkte LE sind zur besseren Orientierung gestrichelt eingezeichnet, obwohl sie eigentlich nicht in der Betrachtungsebene Z-Z liegen.

[0038] Der Abstand zweier benachbarter Profile an der Schaufelspitze ist als Schaufelteilung tS gekennzeichnet. Der Abstand zweier benachbarter Schwerpunkte einer Entnahmeöffnung ist mit tD gekennzeichnet. Der Abstand zweier benachbarter Schwerpunkte einer Zufuhröffnung ist mit tU gekennzeichnet.

[0039] Der gestrichelt eingezeichnete dicke Pfeil kennzeichnet die zwischen den Schaufeln und der Hauptströmungspfadberandung vorgesehene Relativbewegung in Umfangsrichtung. Die erfindungsgemäße Anordnung besteht aus einer Reihe von entlang des Umfangs verteilten Umkehrkanälen, wobei jeder Umkehrkanal eine Entnahmeöffnung OD mit einem Flächenschwerpunkt CGD und eine Zufuhröffnung OU mit einem Flächenschwerpunkt CGU verbindet.

[0040] Der dünne gekrümmte Pfeil in einem der Umkehrkanäle stellt die Projektion der Mittellinie des Umkehrkanals in der m - u -Ebene dar.

[0041] Die Lage der Flächenschwerpunkte ist in erster Linie erfindungsrelevant, die genaue Form der Entnahme- und Zufuhröffnungen hingegen von untergeordneter Bedeutung.

[0042] Erfindungsgemäß gilt:

- 1.) der Flächenschwerpunkt CGU ist stromauf der Vorderkantenlinie LE vorgesehen,
- 2.) der Flächenschwerpunkt CGD ist stromab der Vorderkantenlinie LE vorgesehen.

[0043] Dabei kann die Entnahmeöffnung OD teilweise oder vollständig stromab der Vorderkantenlinie und die Zufuhröffnung OU teilweise oder vollständig stromauf der Vorderkantenlinie vorgesehen sein.

[0044] Erfindungsgemäß vorteilhaft ist es, wenn wenigstens einer der Abstände tU (Abstand zweier benachbarter Flächenschwerpunkte einer Zufuhröffnung) und tD (Abstand zweier benachbarter Flächenschwerpunkte einer Entnahmeöffnung) ein ganzzahliges Vielfaches

oder einen ganzzahligen Teiler der Schaufelteilung tS bildet. Dies umfasst selbstverständlich die Fälle $tU = tS$ und $tD = tS$.

[0045] Die Ansicht Y-Y auf der linken Bildseite zeigt einen Ausschnitt der Hauptströmungspfadberandung mit mehreren Umkehrkanälen, dargestellt in einer aus Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene. Der gekrümmte dünne Pfeil, der beispielhaft für alle Umkehrkanäle in einem der Umkehrkanäle eingezeichnet ist, markiert den Verlauf der Fluidführung. Ebenfalls eingezeichnet ist eine Schaufelspitze sowie ein dicker Pfeil zur Markierung ihrer Laufrichtung relativ zur Hauptströmungspfadberandung.

[0046] Die Fig. 3e zeigt weitere erfindungsrelevante Größen in einem Ausschnitt der Ansicht Z-Z aus der vorhergehenden Fig. 3d. Hier sind nur noch ein ausgewählter Umkehrkanal 7 mit seinen zwei Öffnungen und der (Projektion der) Mittellinie dargestellt. Neben den Flächenschwerpunkten der Entnahme- und Zufuhröffnung CGD und CGU sind weitere kennzeichnende Punkte festgelegt: der bekannte Punkt maximaler Stromaufstreckung H, der Punkt maximaler Umfangserstreckung gegen die relative Bewegungsrichtung der Schaufelreihe S und der Punkt maximaler Umfangserstreckung in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe Q.

[0047] In erfindungsgemäßen Fällen, in denen einer der Flächenschwerpunkte CGU und CGD einen in Umfangsrichtung am weitesten außen liegenden Punkt bildet, ist der Punkt S oder der Punkt Q mit CGU oder CGD identisch.

[0048] Abstände zwischen diesen Punkten werden senkrecht beziehungsweise parallel zur Meridianrichtung m gemessen. So liegt zwischen den Punkten CGU und H der bekannte meridionale Abstand a und zwischen den Punkten S und Q der Abstand d . Die Größen a und d sind geeignet, um weitere erfindungsgemäße Dimensionsverhältnisse des Umkehrkanals 7 festzulegen. So ist es erfindungsgemäß günstig, wenn ein größerer Teil der kontinuierlich (und nicht abrupt) zu gestaltenden Fluidumkehr von "stromauf" nach "stromab" in der m - u -Ebene vorgesehen ist, sodass sich ein Verhältnis von h zu d von kleiner 1 ergibt ($h / d < 1$). Eine erfindungsgemäße besonders vorteilhafte Fluidumkehr ergibt sich bei Werten von $h / d < 0,7$.

[0049] Erfindungsgemäß ist eine verlustarme Fluidumkehr bei einem Verhältnis von a zu d von kleiner 1,5 vorteilhaft und wird bei Verhältnissen $a / d < 0,7$ besonders begünstigt. Wie die in Fig. 3d und 3e dargestellte Konfiguration zeigt, kann die Zufuhröffnung erfindungsgemäß gegenüber der Entnahmeöffnung des selben Umkehrkanals 7 entgegen der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet sein.

[0050] Die Fig. 3f zeigt nun eine erfindungsgemäße Konfiguration, bei der die Zufuhröffnung gegenüber der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals 7 in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist. Wie oben schon

ausgeführt, ist die genaue Form der Entnahme- und Zufuhröffnungen von untergeordneter Bedeutung. Hier ist ein Beispiel elliptischer Öffnungsquerschnitte gezeigt.

[0051] Die Fig. 3g zeigt eine erfindungsgemäße Konfiguration, bei der die Zufuhröffnung gegenüber der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals 7 entgegen der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist. Das Verhältnis von a/d liegt hier erkennbar unter 1.

[0052] Die Ansicht Y-Y lässt erkennen, dass hier der Umkehrkanal von der Entnahmeöffnung ausgehend zunächst in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt ist. Die Startneigung des Umkehrkanals in der u-n-Ebene ist erfindungsgemäß durch den zwischen der Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie des Umkehrkanals in dieser Ebene eingeschlossenen Winkel β festgelegt. Neigungswinkel β unterhalb von 45° sind dabei besonders vorteilhaft ($\beta < 45^\circ$).

[0053] Die Fig. 3h zeigt eine erfindungsgemäße Konfiguration, bei der die Zufuhröffnung gegenüber der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals 7 in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist. Das Verhältnis von a/d liegt hier nahe 1. Wie die Ansicht Y-Y (u-n-Ebene) zeigt, ist der Umkehrkanal auch hier von der Entnahmeöffnung ausgehend zunächst in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt.

[0054] Die Fig. 3i zeigt eine erfindungsgemäße Konfiguration, bei der die Zufuhröffnung gegenüber der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals 7 entgegen der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist. Das Verhältnis von a/d liegt deutlich über 1. Als erfindungsgemäß vorteilhaftes Merkmal zeigt diese Abbildung, dass wenigstens ein Teil der Umrandungskanten der Entnahmeöffnung im Wesentlichen in Richtung der Schaufelprofilsehne orientiert ist. Dies bedeutet kleine Unterschiede zwischen der Neigung der Tangente an die Entnahmeöffnung (Winkel ϵ) und der Neigung der Profilsehne (Winkel λ) mit Beträgen kleiner 15° .

[0055] Die Ansicht Y-Y zeigt, dass der Umkehrkanal ist auch hier von der Entnahmeöffnung ausgehend zunächst in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt ist. Zudem ist der Umkehrkanal im Bereich der Zufuhröffnung ebenfalls in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt. Diese Endneigung des Umkehrkanals in der u-n-Ebene ist erfindungsgemäß durch den zwischen der Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie des Umkehrkanals in dieser Ebene eingeschlossenen Winkel γ festgelegt. Neigungswinkel γ zwischen 30° und 150° sind dabei besonders vorteilhaft ($30^\circ < \gamma < 150^\circ$).

[0056] Die Fig. 3j und 3k zeigen weitere ähnliche erfindungsgemäße Konfigurationen.

[0057] Die Fig. 3l zeigt eine weitere erfindungsgemäße mögliche Besonderheit des Umkehrkanals 7. Hier ist in der Ansicht Y-Y (u-n-Ebene) eine (projizierte) Mittellinie mit Überkreuzung vorgesehen, derart, dass der Umkehr-

kanal 7 sich ausgehend von der Entnahmeöffnung 12 unter einem Neigungswinkel von der Hauptströmungspfadberandung entfernt und anschließend einen schleifenartigen Verlauf nimmt, der ihn in Richtung der Zufuhröffnung 13 wieder zur Hauptströmungspfadberandung zurückführt.

[0058] Die Fig. 3m und 3n zeigen erfindungsgemäße Konfiguration des Umkehrkanals 7, bei denen der Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung 13 CGU bezüglich seiner Umfangsposition (u-Richtung) zwischen den Flächenschwerpunkten der Entnahmeöffnungen CGD der nächsten zwei benachbarten Umkehrkanäle 7 vorgesehen ist und sich in Folge dessen eine Überlappung benachbarter Umkehrkanäle 7 in der Y-Y-Ansicht (u-n-Ebene) ergibt. Die Darstellung zeigt hier sogar den speziellen Fall, dass die Zufuhröffnung bezüglich ihrer Umfangsposition (u-Richtung) zwischen den Entnahmeöffnungen der nächsten zwei benachbarten Umkehrkanäle 7 vorgesehen ist.

[0059] Die Fig. 4a zeigt eine weitere erfindungsgemäße Variante des Umkehrkanals 7. Auch ist der Umkehrkanal 7 prinzipiell so beschaffen, dass Fluid vom Rand des Hauptströmungspfades entnommen wird, nah am Hauptströmungspfad unter einem flachen Winkel zur Hauptströmungspfadberandung stromaufwärts ausgerichtet wird, gegen die Hauptströmungsrichtung stromaufgeführt wird und schließlich durch eine Strömungsumkehr unter einem ebenfalls flachen Winkel zur Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad zurückgeleitet wird. Die Entnahmeöffnung 12 ist hier jedoch vollständig stromab der Vorderkantenlinie LE angeordnet. Erfindungsgemäß günstige Lösungen sehen, bezogen auf die Meridianströmungsrichtung m, eine Anordnung des Flächenschwerpunktes der Entnahmeöffnung 12 CGD zwischen der Vorderkante LE und einem Punkt bei halber Profiltiefe an der Schaufelspitze (Punkt M, mittig zwischen LE und TE) vor.

[0060] Die Fig. 4b bis 4e zeigen mehrere erfindungsgemäße Varianten des Umkehrkanals 7 aus Fig. 4a in der Ansicht Y-Y (u-n-Ebene) und der Ansicht Z-Z (m-u-Ebene).

[0061] Die Fig. 4f zeigt eine räumliche Darstellung des Umkehrkanals 7 aus Fig. 4a und 4e.

[0062] Die Fig. 4g und 4h zeigen jeweils eine erfindungsgemäße Variante, bei der die Entnahmeöffnung 12 durch einen besonders flachen Stauelauf gebildet wird. Kennzeichnend hierfür ist zunächst ein Neigungswinkel der projizierten Mittellinie in der u-n-Ebene von $\beta < 25^\circ$. Besonders günstig ist ein in Einstromrichtung divergierender Verlauf der Seitenkanten SK1 und SK2 der Entnahmeöffnung. Die Entnahmeöffnung 12 und ihre Kanten können, wie in Fig. 4g dargestellt, symmetrisch oder gar gerade gestaltet, oder, wie in Fig. 4h dargestellt, gekrümmt ausgeführt sein. Die Fig. 4i zeigt schließlich eine räumliche Darstellung der erfindungsgemäßen Entnahmeöffnung 12.

[0063] Die Fig. 4j zeigt eine erfindungsgemäße Variante, bei der die Entnahmeöffnungen 12 benachbarter

Umkehrkanäle 12 direkt aneinander grenzen. Die dargestellte Variante zeigt eine geradlinige Kantenanordnung, jedoch sind andere Varianten mit in mindestens einem Punkt aneinander grenzenden Entnahmeöffnungen 12 benachbarter Umkehrkanäle 7 ebenfalls erfindungsgemäß.

[0064] Die Fig. 5a und 5b zeigen eine erfindungsgemäße Lösung, bei der die Zufuhröffnung 13 in einer bis stromab hinter die Vorderkantenlinie reichenden Nut vorgesehen ist. Die Nut kann dabei parallel oder, wie hier dargestellt, geneigt zur Meridianströmungsrichtung verlaufen.

[0065] Die Fig. 6a bis 6c zeigen erfindungsgemäße Lösungen für Konfigurationen mit einem Anstreifbelag an der Hauptströmungspfadberandung. Die Fig. 6a zeigt den Fall eines zweigeteilten Anstreifbelages 14, wobei jeweils ein Teil vor und hinter der Zone der Entnahmeöffnungen 12 vorgesehen ist. Die Schaufel weist über den nicht mit Anstreifbelag 14 gedeckten Bereich eine flache Ausnehmung auf.

[0066] Die Fig. 6b zeigt ebenfalls einen Fall mit zweigeteiltem Anstreifbelag 14, wobei jeweils ein Teil vor und hinter der Zone der Entnahmeöffnungen 12 vorgesehen ist. Die Schaufel weist hier nur in den zwei kurzen Bereichen jeweils eine flache Ausnehmung auf, die zwischen dem Bereich der Entnahmeöffnungen 12 und dem jeweiligen Rand des Anstreifbelages 14 vorgesehen sind.

[0067] Die Fig. 6c zeigt schließlich einen Fall mit gekürztem Anstreifbelag 14, wobei dieser hinter der Zone der Entnahmeöffnungen 12 vorgesehen ist. Vor der Entnahmeöffnung befindet sich eine Anzahl von Nuten, die in den beschauften Bereich reichen und in denen die Zufuhröffnungen der Umkehrkanäle positioniert sind. Die Schaufel weist hier eine flache bis zur Vorderkante reichende Ausnehmung auf.

[0068] Die Erfindung lässt sich zusammenfassend auch wie folgt beschreiben:

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 der Schaufelvorderkante in der Hauptströmungspfadberandung mindestens ein Umkehrkanal an einer diskreten Umfangsposition vorgesehen ist, wobei

- a.) ein Umkehrkanal zwei an der Hauptströmungspfadberandung angeordnete Öffnungen miteinander verbindet,
- b.) Fluid durch eine Entnahmeöffnung aus dem Hauptströmungspfad in den Umkehrkanal strömt und der Flächenschwerpunkt CGD der Entnahme-

öffnung stromab der Vorderkante der Schaufelspitze angeordnet ist,

c.) Fluid durch eine Zufuhröffnung aus dem Umkehrkanal in den Hauptströmungspfad strömt und der Flächenschwerpunkt CGU der Zufuhröffnung stromauf der Vorderkante der Schaufelspitze angeordnet ist,

c.) der Verlauf des Umkehrkanals räumlich kompakt beschaffen ist, derart, dass Fluid nah am Hauptströmungspfad gegen die Hauptströmungsrichtung stromauf geführt und ausschließlich durch eine Strömungsumkehr unter flachem Winkel in den Hauptströmungspfad zurückgeleitet wird,

e.) der Umkehrkanal eine Mittellinie besitzt, die als die Verbindung aller Flächenschwerpunkte der Querschnitte des Umkehrkanals definiert ist und aufgrund ihrer dreidimensionalen Gestalt nicht vollständig in einer Ebene verläuft,

wobei die Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals einen Umkehrpunkt H aufweist, der die am weitesten meridional stromauf befindliche Position der Mittellinie kennzeichnet, und die Projektion der Mittellinie in die Meridianebene (x-r-Ebene) im Abschnitt stromauf gerichteter Fluidführung (Abschnitt zwischen den Punkten CGD und H) mit der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD über mindestens 60% der Lauflänge dieses Abschnitts einen Winkel α zwischen 135° und 225° bildet,

wobei der Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung gegenüber dem Flächenschwerpunkt der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals entgegen der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist,

wobei die Projektion der Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals in die Meridianebene (x-r-Ebene) im Abschnitt zwischen dem Umkehrpunkt H und dem Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung CGU ausschließlich zur Hauptströmungspfadberandung hin gerichtet ist und sich zunehmend flach dem Hauptströmungspfad annähert, gekennzeichnet durch Neigungswinkel α von größer 335° im Punkt CGU,

wobei die räumliche Kompaktheit mindestens eines Umkehrkanals in der Meridianebene (x-r-Ebene) durch weitere Merkmale gegeben ist, wobei:

- a.) in Richtung der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD ein Abstand a zwischen den Punkten CGU und H vorgesehen ist,
- b.) in Richtung der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD ein Abstand b zwischen den Punkten CGD und H vorgesehen ist,
- c.) senkrecht zur Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD die Höhe h zwischen den Punkten CGD und H vorgesehen ist,
- d.) das Verhältnis von Höhe h zu Abstand b weniger als 0,6 beträgt,

wobei das Verhältnis von Höhe h zu Abstand b weniger als 0,3 beträgt,
wobei bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene in Umfangsrichtung eine Schaufelteilung tS zwischen jeweils zwei benachbarten Schaufelspitzen vorgesehen ist, ein Abstand tU zwischen jeweils zwei benachbarten Flächenschwerpunkten einer Zufuhröffnung vorgesehen ist und ein Abstand tD zwischen jeweils zwei benachbarten Flächenschwerpunkten einer Entnahmeöffnung vorgesehen ist, wobei wenigstens einer der beiden Abstände tU und tD ein ganzzahliges Vielfaches oder einen ganzzahligen Teiler der Schaufelteilung tS bildet, wobei die räumliche Kompaktheit mindestens eines Umkehrkanals in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene durch weitere Merkmale gegeben ist, wobei:

- a.) die Projektion der Mittellinie in die u - m -Ebene einen Punkt S aufweist, der die maximale Ausdehnung der Mittellinie entgegen der relativen Bewegungsrichtung der Schaufelreihe markiert,
- b.) die Projektion der Mittellinie in die u - m -Ebene einen Punkt Q aufweist, der die maximale Ausdehnung der Mittellinie in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe markiert,
- c.) in Meridianrichtung m der Abstand a zwischen den Punkten CGU und H vorgesehen ist,
- d.) in Umfangsrichtung u der Abstand d zwischen den Punkten S und Q vorgesehen ist,
- e.) ein Verhältnis von Abstand a zu Abstand d kleiner als 1,5 gegeben ist,

wobei ein Verhältnis von Abstand a zu Abstand d kleiner als 0,7 gegeben ist,
wobei das Verhältnis von Höhe h zu Abstand d unter 1 gegeben ist,
wobei das Verhältnis von Höhe h zu Abstand d unter 0,7 gegeben ist,
wobei bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene mindestens ein Umkehrkanal im Bereich der Entnahmeöffnung in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt ist, wobei der Winkel β zwischen der Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie in die u - n -Ebene im Punkt CGD weniger als 45° beträgt,
wobei wenigstens ein Zehntel der Länge der Umrandungskante der Entnahmeöffnung im Wesentlichen in Richtung der Schaufelprofilsehne orientiert ist, sodass in dem betreffenden Abschnitt kleine Unterschiede zwischen der Neigung der Tangente an die Entnahmeöffnung (Winkel ϵ) und der Neigung der Profilsehne (Winkel λ) mit Beträgen kleiner 15° bestehen,
wobei bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene mindestens ein Umkehrkanal im Bereich der Zufuhröffnung geneigt ist, wobei der Winkel γ zwischen der

Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie in die u - n -Ebene im Punkt CGU zwischen 30° und 150° liegt,

- 5 wobei bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene die in diese Ebene projizierte Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals eine Überkreuzung aufweist, derart, dass sich die Mittellinie schräg von der Hauptströmungspfadberandung entfernt, dann einen Bogen in entgegengesetzter Richtung zurück zur Hauptströmungspfadberandung durchläuft und auf diese Weise einen schleifenartigen Verlauf mit einem Kreuzungspunkt außerhalb des Hauptströmungspfades zeigt,
- 10 wobei der Flächenschwerpunkt CGU der Zufuhröffnung mindestens eines Umkehrkanals bezüglich seiner Umfangsposition (u -Richtung) zwischen den Flächenschwerpunkten CGD der Entnahmeöffnungen der jeweils nächsten zwei benachbarten Umkehrkanäle vorgesehen ist und auf diese Weise bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene eine Überlappung benachbarter Umkehrkanäle vorgesehen ist,
- 15 wobei die Entnahmeöffnung mindestens eines Umkehrkanals vollständig stromab der Vorderkantenlinie LE angeordnet ist und des Flächenschwerpunkt CGD der Entnahmeöffnung in der Meridianströmungsrichtung m zwischen der Vorderkante LE und einem Punkt bei halber Profiltiefe der Schaufelspitze (mittig zwischen LE und TE) vorgesehen ist,
- 20 wobei die Entnahmeöffnung mindestens eines Umkehrkanals durch einen flachen Stauelauf gebildet wird, wobei ein Neigungswinkel β der projizierten Mittellinie in die u - n -Ebene gegen die Hauptströmungspfadberandung von weniger als 25° vorgesehen ist,
- 25 wobei der Verlauf der Seitenkanten $SK1$ und $SK2$ der Entnahmeöffnung mindestens eines Umkehrkanals in Einstromrichtung divergiert, wobei die Entnahmeöffnungen benachbarter Umkehrkanäle in mindestens einem Punkt direkt aneinandergrenzen,
- 30 wobei die Zufuhröffnung mindestens eines Umkehrkanals in einer bis stromab hinter die Vorderkantenlinie reichenden Nut vorgesehen ist, wobei im Bereich des Laufspaltes der Schaufelreihe ein zweigeteilter Anstreifbelag mit je einem Teil stromauf und stromab der Entnahmezone der Umkehrkanäle vorgesehen ist und die Schaufelspitze am Laufspalt in dem nicht mit Anstreifbelag gedeckten Bereich eine flache Ausnehmung aufweist,
- 35 wobei im Bereich des Laufspaltes der Schaufelreihe ein zweigeteilter Anstreifbelag mit je einem Teil stromauf und stromab der Entnahmezone der Umkehrkanäle vorgesehen ist und die Schaufelspitze am Laufspalt zwei kurze flache Ausnehmung aufweist, die im Bereich zwischen der Entnahmezone und dem jeweiligen Teil des Anstreifbelages angeordnet sind,
- 40 wobei im Bereich des Laufspaltes der Schaufelreihe ein gekürzter Anstreifbelag stromab der Entnahmezone der
- 45
- 50
- 55

Umkehrkanäle vorgesehen ist, stromauf der Entnahmezone eine Anzahl von Nuten in der Hauptströmungspfadberandung angeordnet sind, in denen Zufuhröffnungen platziert sind, und die Schaufelspitze am Laufspalt eine flache bis zur Vorderkante reichende Ausnehmung aufweist, wobei entlang des Umfangs der Hauptströmungspfadberandung Umkehrkanäle mit unterschiedlicher Form, Position oder Ausdehnung vorgesehen sind.

Bezugszeichenliste

[0069]

1	Gehäuse	15
2	Ringkanal/Hauptströmungspfad	
3	Rotortrommel (Nabe)	
4	Maschinenachse	
5	Schaukel/Schaufelreihe	
6	Naben- oder Gehäusebaugruppe	20
7	Umkehrkanal	
8	Schaukelreihe mit freiem Ende und Laufspalt	
9	stromaufliegende Schaukelreihe (Optional)	
10	Schlitz/Nut	
11	Spalt/Laufspalt	25
12	Entnahmeöffnung	
13	Zufuhröffnung	
14	Anstreifbelag	

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 der Schaufelvorderkante in der Hauptströmungspfadberandung mindestens ein Umkehrkanal (7) an einer diskreten Umfangsposition vorgesehen ist, wobei:
 - a.) ein Umkehrkanal (7) zwei an der Hauptströmungspfadberandung angeordnete Öffnungen (12, 13) miteinander verbindet,
 - b.) Fluid durch eine Entnahmeöffnung aus dem Hauptströmungspfad (2) in den Umkehrkanal (7) strömt und der Flächenschwerpunkt CGD der Entnahmeöffnung (12) stromab der Vorderkante der Schaufelspitze angeordnet ist,
 - c.) Fluid durch eine Zufuhröffnung (13) aus dem Umkehrkanal (7) in den Hauptströmungspfad (2) strömt und der Flächenschwerpunkt CGU der Zufuhröffnung (13) stromauf der Vorderkan-

te der Schaufelspitze angeordnet ist, d.) der Verlauf des Umkehrkanals (7) räumlich kompakt beschaffen ist, derart, dass Fluid nah am Hauptströmungspfad (2) gegen die Hauptströmungsrichtung stromauf geführt und ausschließlich durch eine Strömungsumkehr unter flachem Winkel in den Hauptströmungspfad (2) zurückgeleitet wird e.) der Umkehrkanal (7) eine Mittellinie aufweist, die als die Verbindung aller Flächenschwerpunkte der Querschnitte des Umkehrkanals (7) definiert ist und aufgrund ihrer dreidimensionalen Gestalt nicht vollständig in einer Ebene verläuft.

2. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals (7) einen Umkehrpunkt aufweist, der die am weitesten meridional stromauf befindliche Position der Mittellinie kennzeichnet, und die Projektion der Mittellinie in die Meridianebene (x-r-Ebene) im Abschnitt stromauf gerichteter Fluidführung (Abschnitt zwischen den Punkten CGD und H) mit der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD über mindestens 60% der Lauflänge dieses Abschnitts einen Winkel (α) zwischen 135° und 225° bildet
3. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung gegenüber dem Flächenschwerpunkt der Entnahmeöffnung desselben Umkehrkanals (7) entgegen der Relativbewegung der Schaufelreihe in Umfangsrichtung versetzt angeordnet ist und/oder dass der Flächenschwerpunkt CGU der Zufuhröffnung mindestens eines Umkehrkanals (7) bezüglich seiner Umfangsposition (u-Richtung) zwischen den Flächenschwerpunkten CGD der Entnahmeöffnungen der jeweils nächsten zwei benachbarten Umkehrkanäle vorgesehen ist und auf diese Weise bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene eine Überlappung benachbarter Umkehrkanäle vorgesehen ist.
4. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektion der Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals (7) in die Meridianebene (x-r-Ebene) im Abschnitt zwischen dem Umkehrpunkt H und dem Flächenschwerpunkt der Zufuhröffnung CGU ausschließlich zur Hauptströmungspfadberandung hin gerichtet ist und sich zunehmend flach dem Hauptströmungspfad annähert, **gekennzeichnet durch** Neigungswinkel (α) von größer 335° im Punkt CGU.
5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die

räumliche Kompaktheit mindestens eines Umkehrkanals (7) in der Meridanebene (x-r-Ebene) durch weitere Merkmale gegeben ist, wobei:

- a.) in Richtung der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD ein Abstand a zwischen den Punkten CGU und H vorgesehen ist, 5
 - b.) in Richtung der Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD ein Abstand b zwischen den Punkten CGD und H vorgesehen ist, 10
 - c.) senkrecht zur Tangente an die Hauptströmungspfadberandung im Punkt CGD die Höhe h zwischen den Punkten CGD und H vorgesehen ist, 15
 - d.) das Verhältnis von Höhe h zu Abstand b weniger als 0,6 beträgt.
6. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene in Umfangsrichtung eine Schaufelteilung tS zwischen jeweils zwei benachbarten Schaufelspitzen vorgesehen ist, ein Abstand tU zwischen jeweils zwei benachbarten Flächenschwerpunkten einer Zufuhröffnung vorgesehen ist und ein Abstand tD zwischen jeweils zwei benachbarten Flächenschwerpunkten einer Entnahmeöffnung vorgesehen ist, wobei wenigstens einer der beiden Abstände tU und tD mit tS übereinstimmen oder ein ganzzahliges Vielfaches oder einen ganzzahligen Teiler der Schaufelteilung tS bildet und/oder dass bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene mindestens ein Umkehrkanal (7) im Bereich der Entnahmeöffnung in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe geneigt ist, wobei der Winkel β zwischen der Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie in die u-n-Ebene im Punkt CGD weniger als 45° beträgt und/oder dass bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene mindestens ein Umkehrkanal im Bereich der Zufuhröffnung geneigt ist, wobei der Winkel γ zwischen der Hauptströmungspfadberandung und der Projektion der Mittellinie in die u-n-Ebene im Punkt CGU zwischen 30° und 150° liegt und/oder dass bei Betrachtung der Konfiguration in der durch Umfangsrichtung u und Normalenrichtung n gebildeten Ebene die in diese Ebene projizierte Mittellinie mindestens eines Umkehrkanals (7) eine Überkreuzung aufweist, derart, dass sich die Mittellinie schräg von der Hauptströmungspfadberandung entfernt, dann einen Bogen in entgegengesetzter Richtung zurück zur Hauptströmungspfadberandung durchläuft und auf diese Weise einen schleifenartigen Verlauf mit 20 25 30 35 40 45 50 55

einem Kreuzungspunkt außerhalb des Hauptströmungspfades zeigt

7. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die räumliche Kompaktheit mindestens eines Umkehrkanals (7) in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene durch weitere Merkmale gegeben ist, wobei:
 - a.) die Projektion der Mittellinie in die u-m-Ebene einen Punkt S aufweist, der die maximale Ausdehnung der Mittellinie entgegen der relativen Bewegungsrichtung der Schaufelreihe markiert,
 - b.) die Projektion der Mittellinie in die u-m-Ebene einen Punkt Q aufweist, der die maximale Ausdehnung der Mittellinie in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe markiert,
 - c.) in Meridianrichtung m der Abstand a zwischen den Punkten CGU und H vorgesehen ist,
 - d.) in Umfangsrichtung u der Abstand d zwischen den Punkten S und Q vorgesehen ist,
 - e.) ein Verhältnis von Abstand a zu Abstand d kleiner als 1,5 gegeben ist.
8. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Verhältnis von Abstand a zu Abstand d kleiner als 0,7 gegeben ist und/oder dass das Verhältnis von Höhe h zu Abstand d unter 1 gegeben ist und/oder dass das Verhältnis von Höhe h zu Abstand d unter 0,7 gegeben ist und/oder dass das Verhältnis von Höhe h zu Abstand b weniger als 0,3 beträgt.
9. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Zehntel der Länge der Umrandungskante der Entnahmeöffnung (12) im Wesentlichen in Richtung der Schaufelprofilsehne orientiert ist, so dass in dem betreffenden Abschnitt kleine Unterschiede zwischen der Neigung der Tangente an die Entnahmeöffnung (Winkel ε) und der Neigung der Profilsehne (Winkel λ) mit Beträgen kleiner 15° bestehen.
10. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entnahmeöffnung (12) mindestens eines Umkehrkanals (7) vollständig stromab der Vorderkantenlinie LE angeordnet ist und des Flächenschwerpunkt CGD der Entnahmeöffnung (12) in der Meridianströmungsrichtung m zwischen der Vorderkante LE und einem Punkt bei halber Profiltiefe der Schaufelspitze (mittig zwischen LE und TE) vorgesehen ist und/oder dass die Entnahmeöffnung mindestens eines Umkehrkanals (7) durch einen flachen Stauelauf gebildet wird, wobei ein Neigungswinkel β der projizierten Mittellinie in die u-n-Ebene gegen die Hauptströmungsrichtung m zwischen 30° und 150° liegt.

mungspfadberandung von weniger als 25° vorgesehen ist.

11. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verlauf der Seitenkanten SK1 und SK2 der Entnahmeöffnung (12) mindestens eines Umkehrkanals (7) in Einstromrichtung divergiert. 5

12. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entnahmeöffnungen (12) benachbarter Umkehrkanäle (7) in mindestens einem Punkt direkt aneinandergrenzen. 10
15

13. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zufuhröffnung (13) mindestens eines Umkehrkanals (7) in einer bis stromab hinter die Vorderkantenlinie reichenden Nut vorgesehen ist. 20

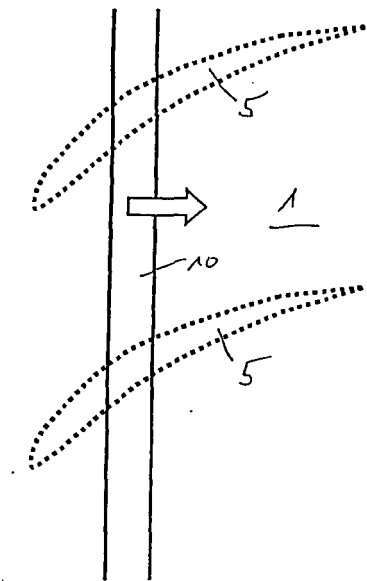
14. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich des Laufspaltes (11) der Schaufelreihe ein zweigeteilter Anstreifbelag (14) mit je einem Teil stromauf und stromab der Entnahmezona der Umkehrkanäle (7) vorgesehen ist und die Schaufelspitze am Laufspalt (11) in dem nicht mit Anstreifbelag (14) gedeckten Bereich eine flache Ausnehmung aufweist und/oder dass im Bereich des Laufspaltes (11) der Schaufelreihe ein zweigeteilter Anstreifbelag (14) mit je einem Teil stromauf und stromab der Entnahmezona der Umkehrkanäle (7) vorgesehen ist und die Schaufelspitze am Laufspalt (11) zwei kurze flache Ausnehmung aufweist, die im Bereich zwischen der Entnahmezona und dem jeweiligen Teil des Anstreifbelages (14) angeordnet sind und/oder dass im Bereich des Laufspaltes der Schaufelreihe ein gekürzter Anstreifbelag (14) stromab der Entnahmezona der Umkehrkanäle (7) vorgesehen ist, stromauf der Entnahmezona eine Anzahl von Nuten in der Hauptströmungspfadberandung angeordnet sind, in denen Zufuhröffnungen (13) platziert sind, und die Schaufelspitze am Laufspalt (11) eine flache bis zur Vorderkante reichende Ausnehmung aufweist. 25
30
35
40
45

15. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** entlang des Umfangs der Hauptströmungspfadberandung Umkehrkanäle (7) mit unterschiedlicher Form, Position oder Ausdehnung vorgesehen sind. 50

55

Fig. 1a: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Meridianansicht

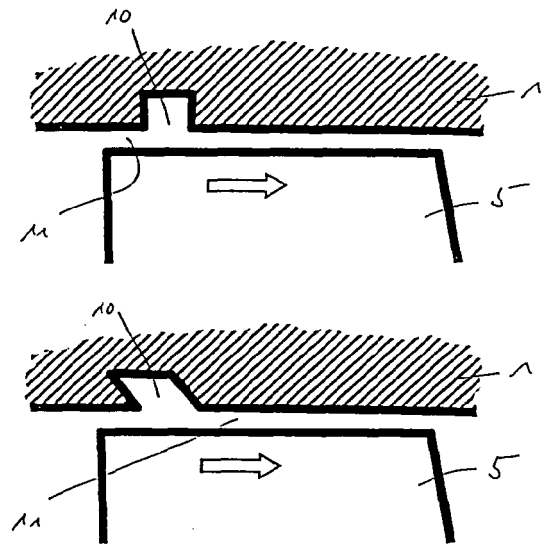
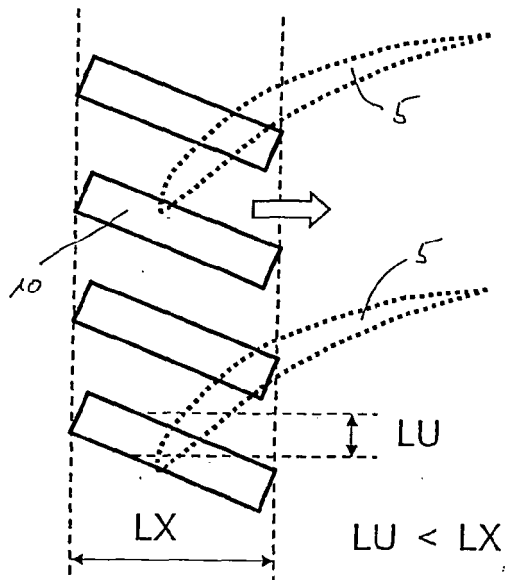


Fig. 1b: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Axiale Ansicht

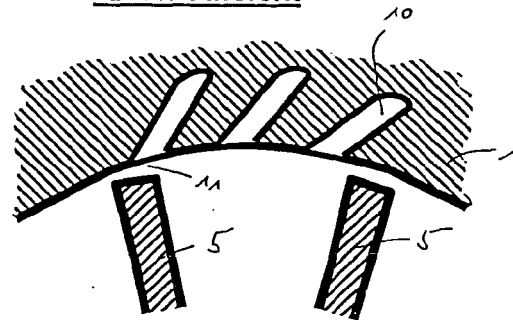


Fig. 2:

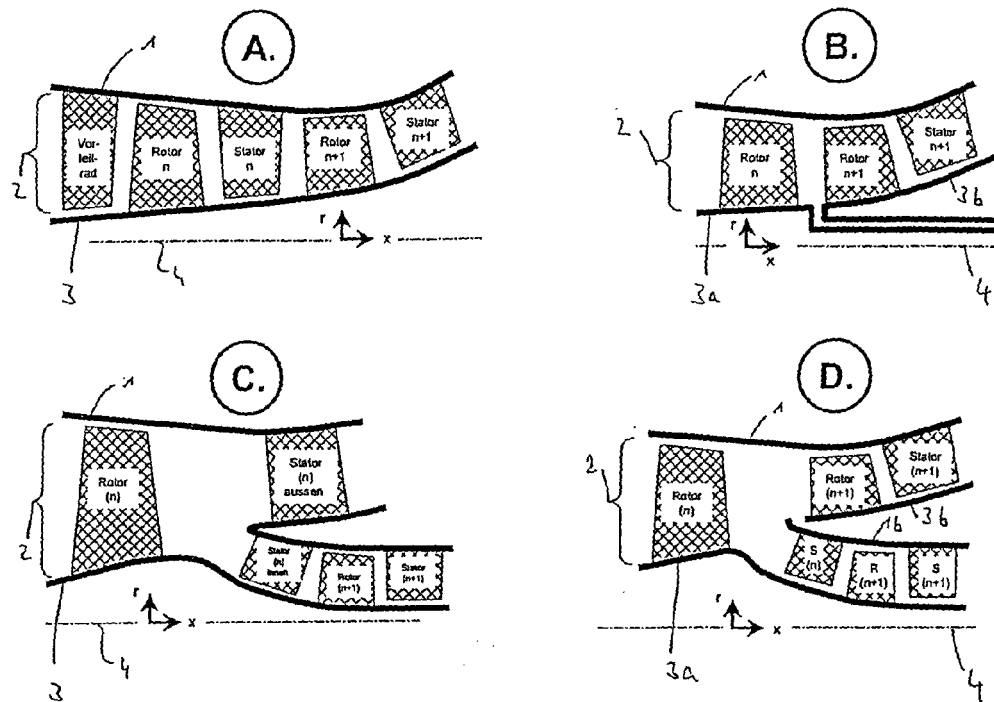


Fig. 3a:

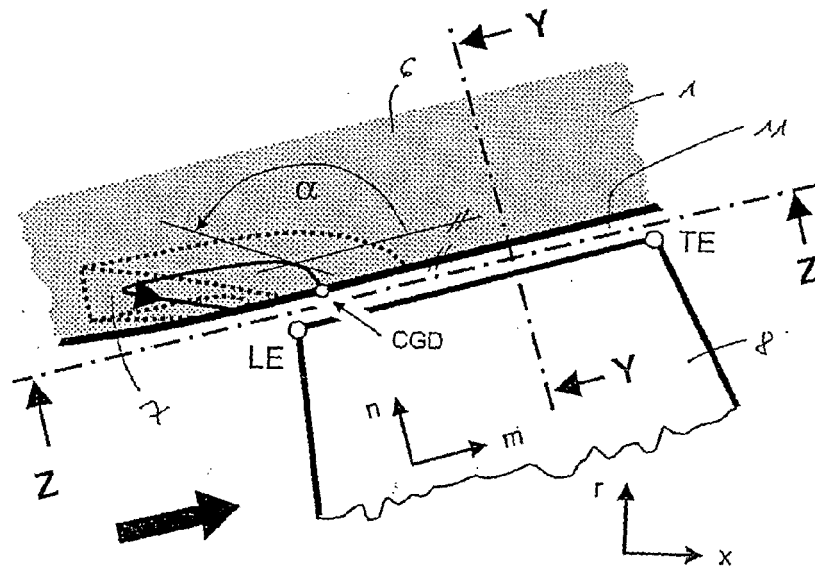


Fig. 3b:

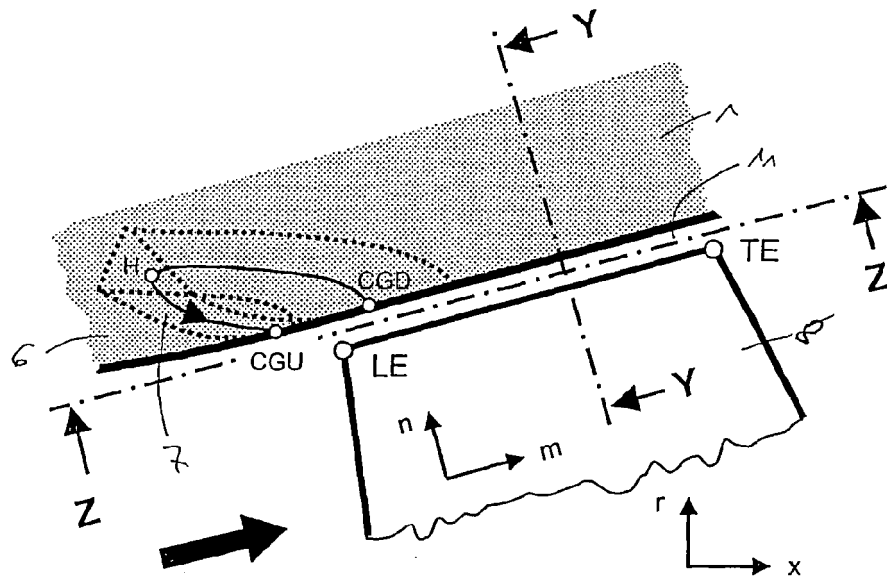


Fig. 3c:

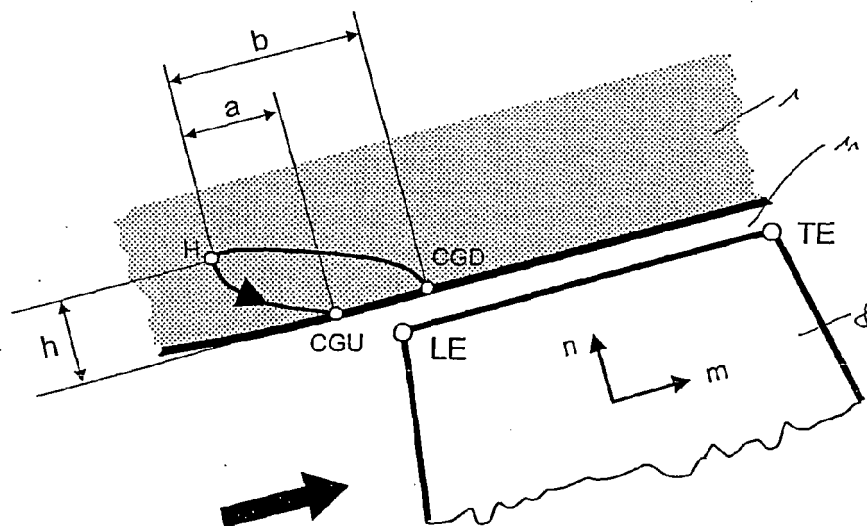


Fig. 3d:

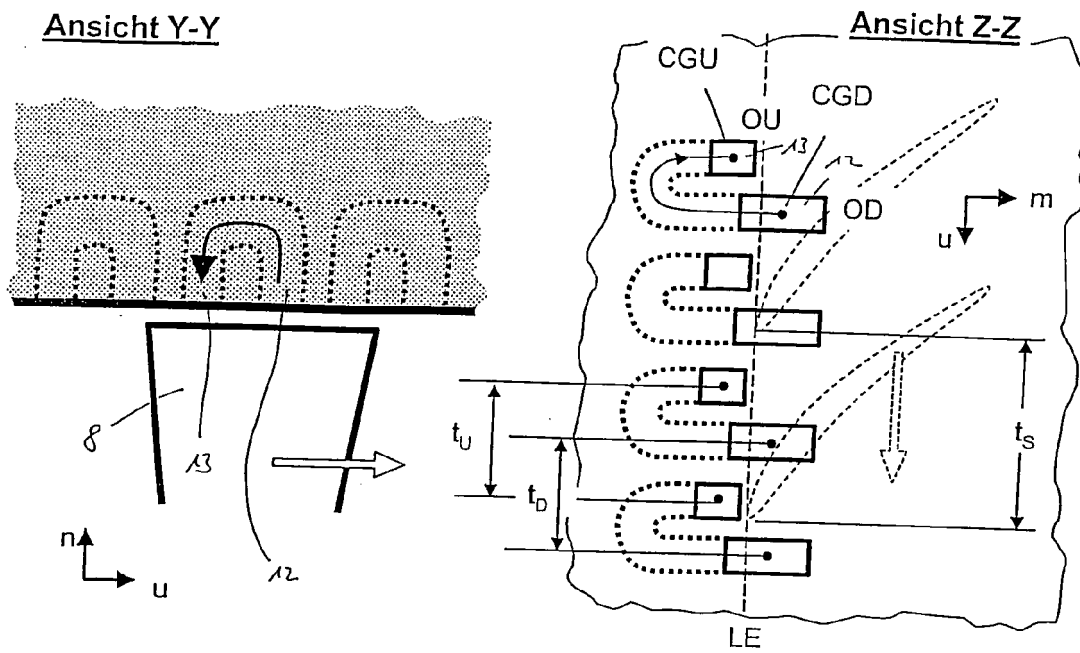


Fig. 3e:

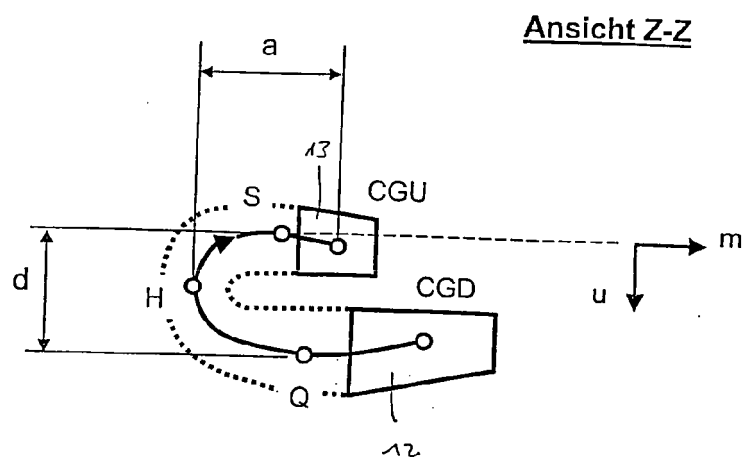


Fig. 3f:

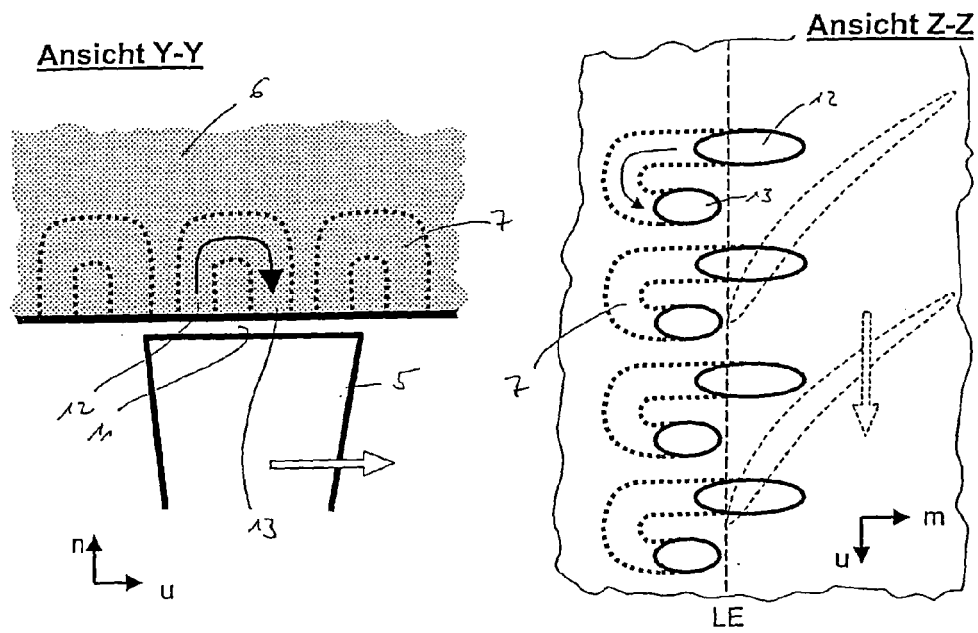


Fig. 3g:

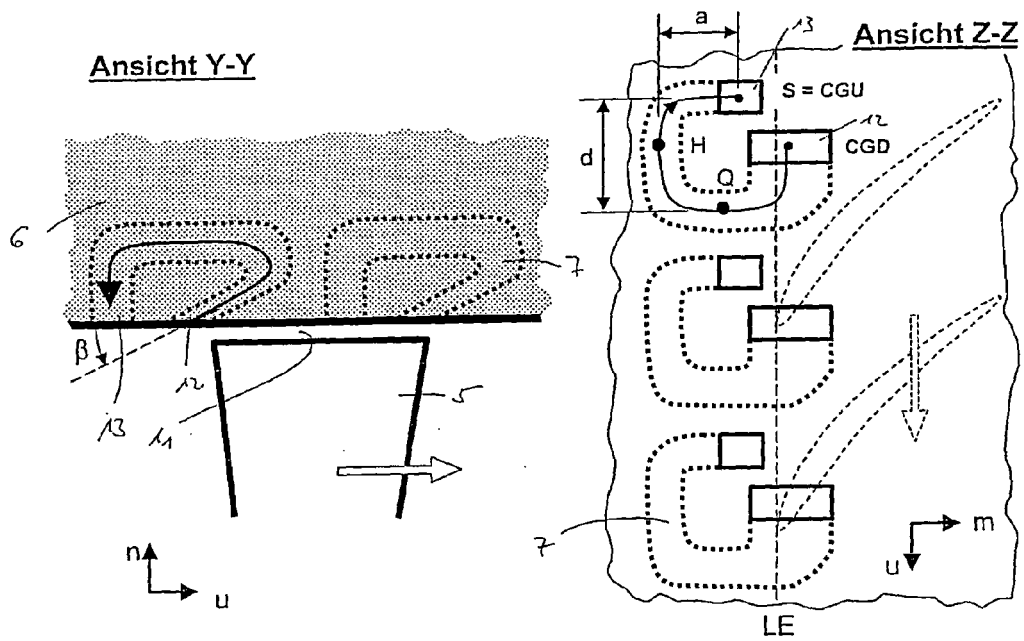


Fig. 3h:

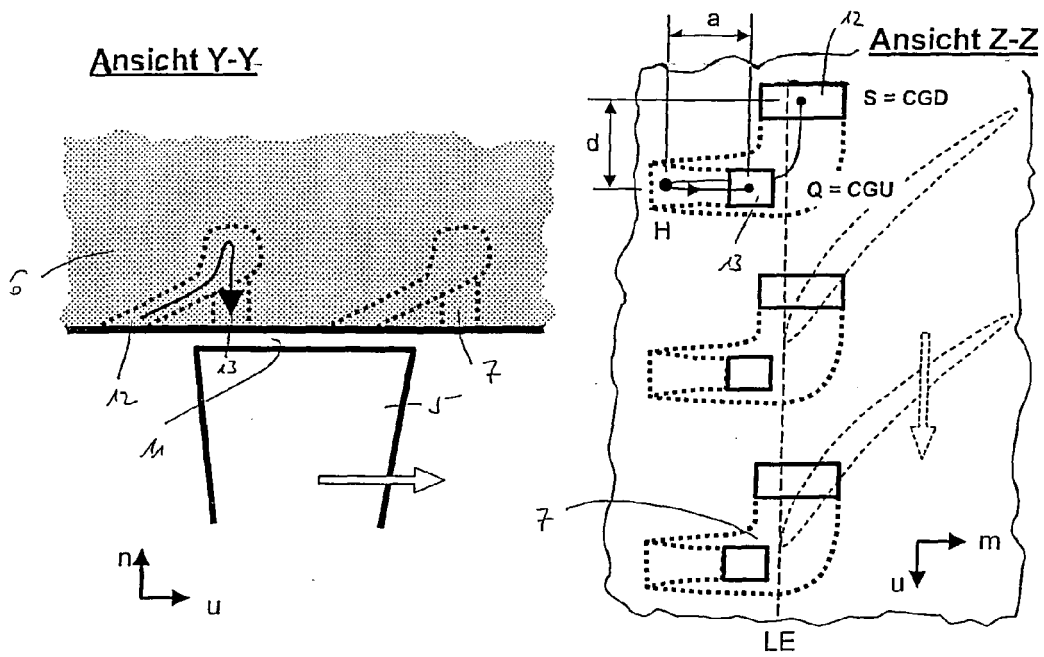


Fig. 3i:

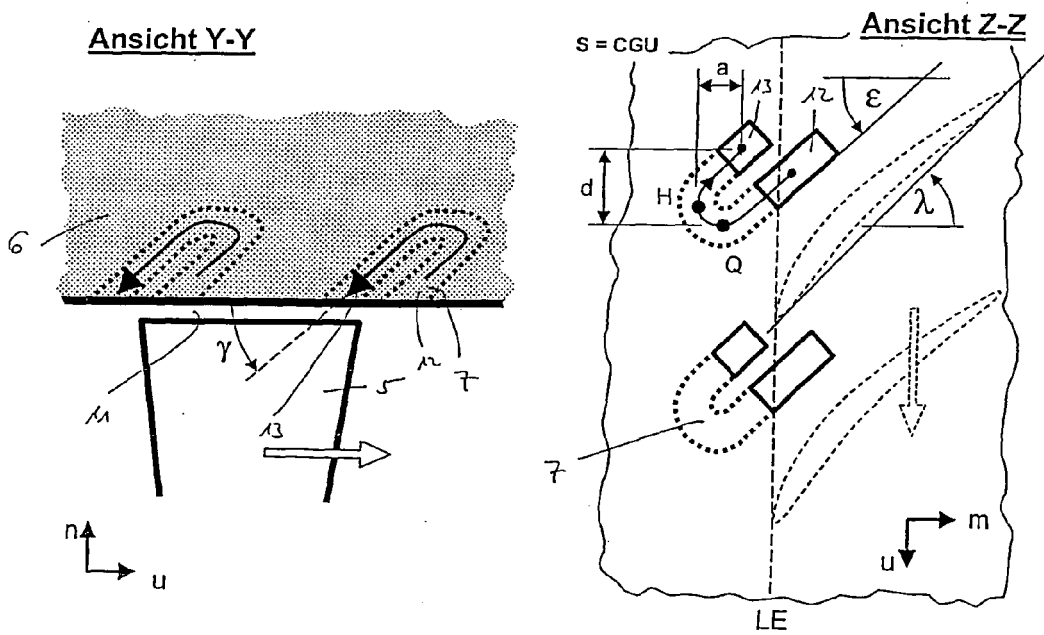


Fig. 3j:

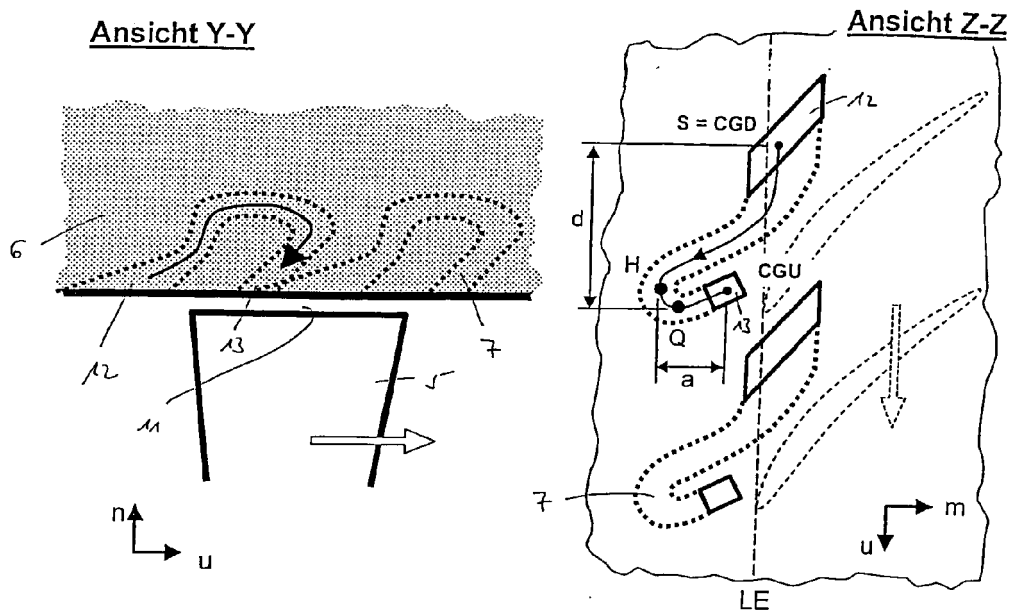


Fig. 3k:

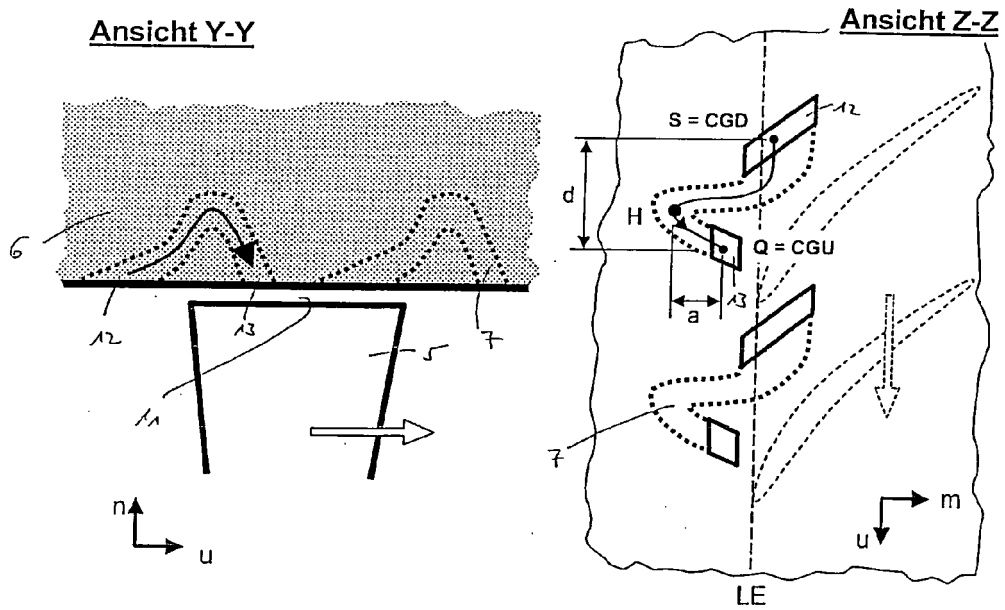


Fig. 3l:

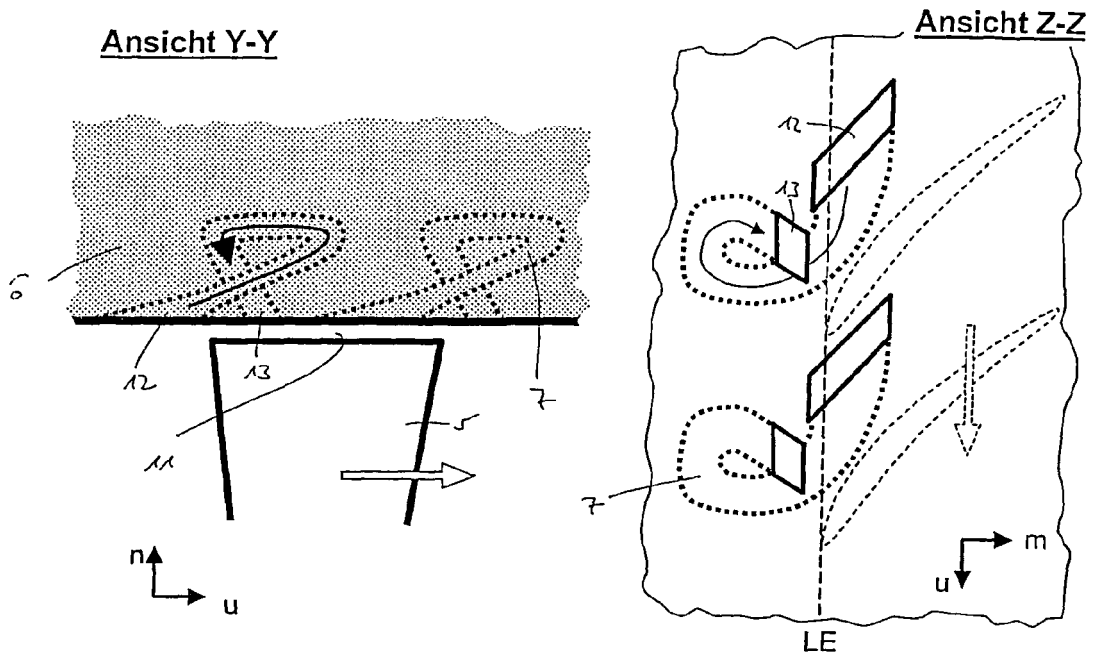


Fig. 3m:

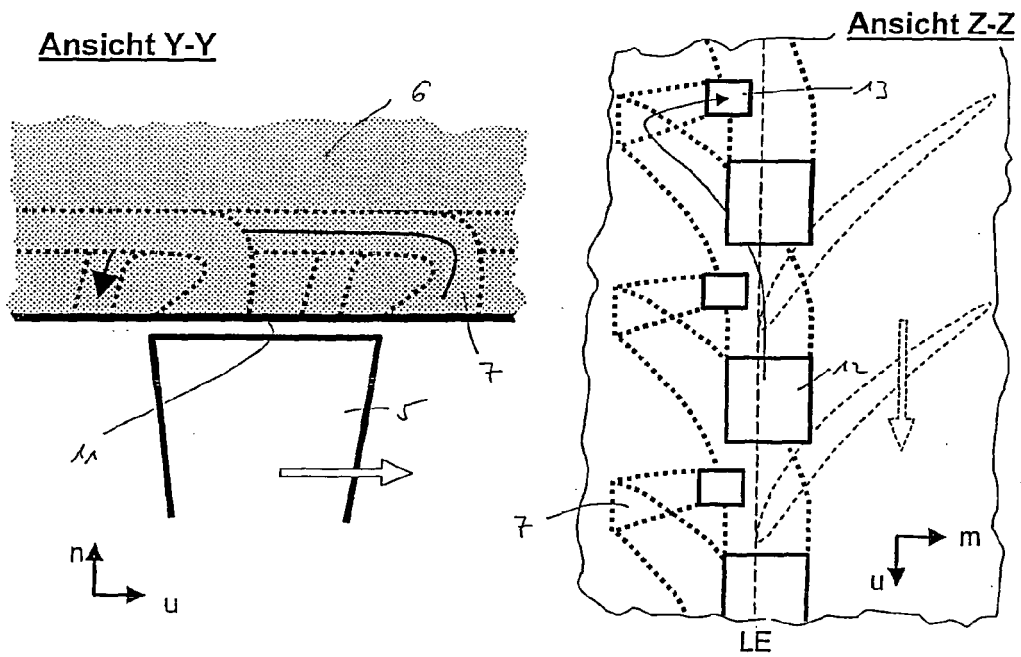


Fig. 3n:

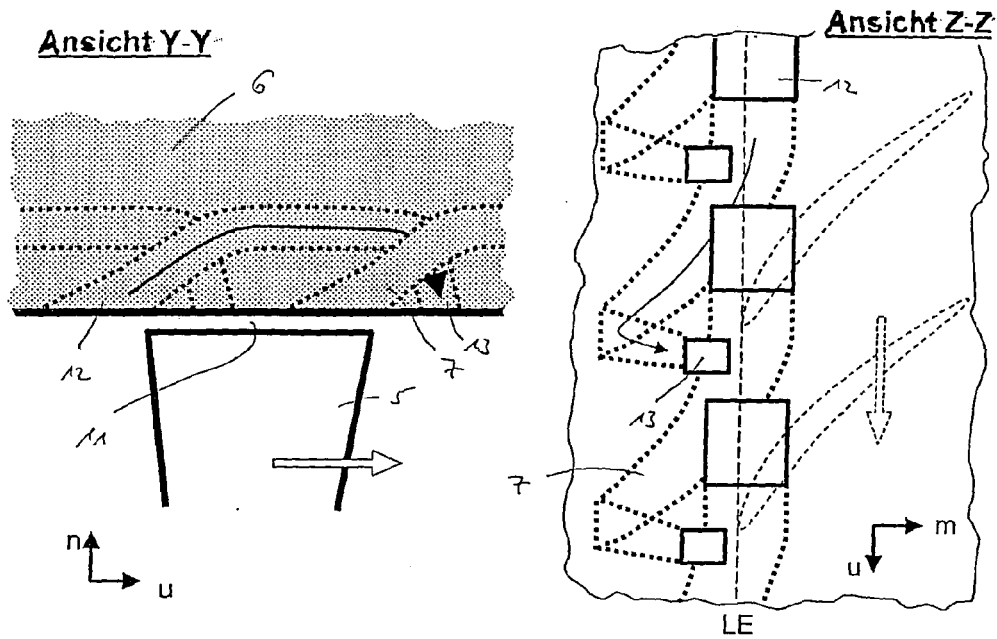


Fig. 4a:

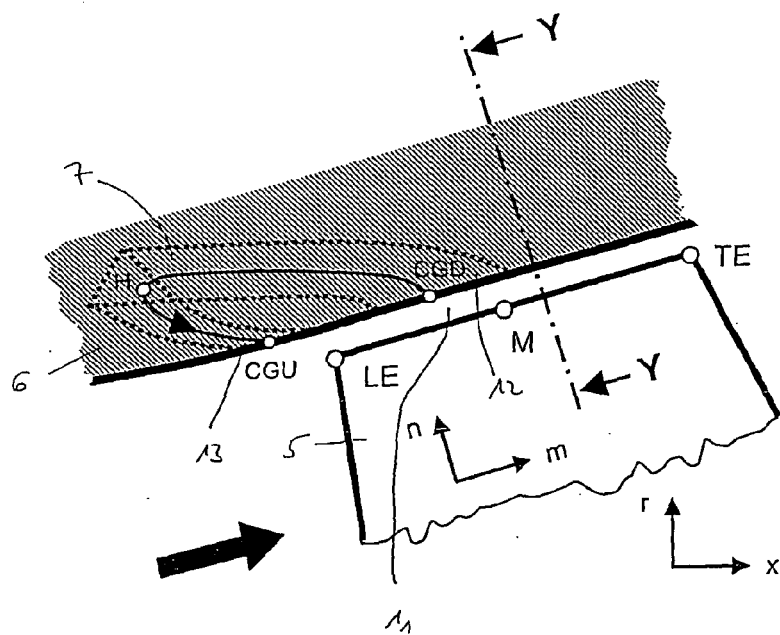


Fig. 4b:

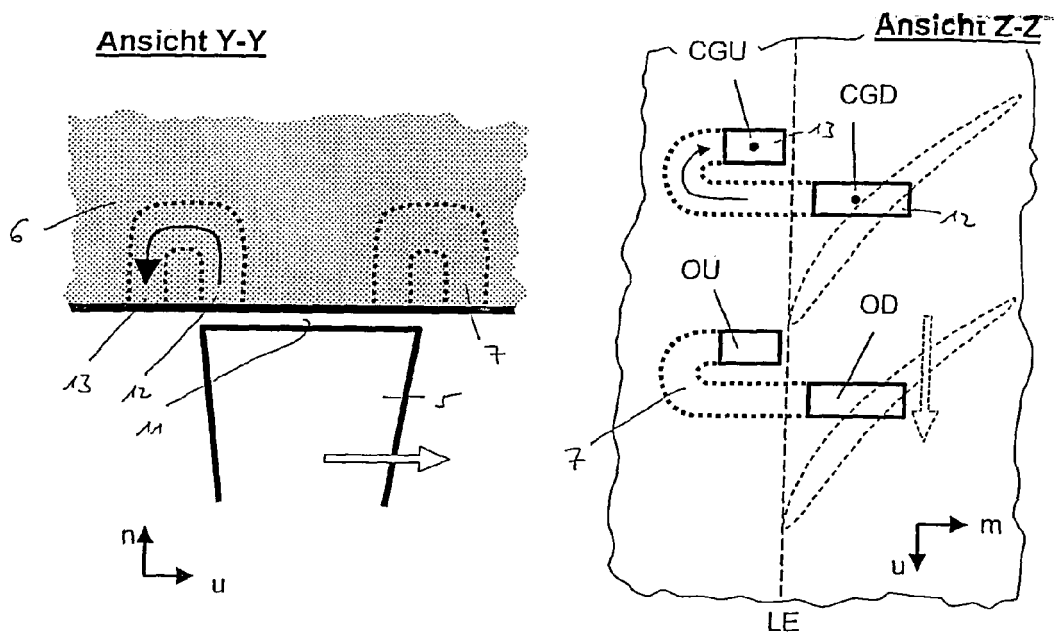


Fig. 4c:

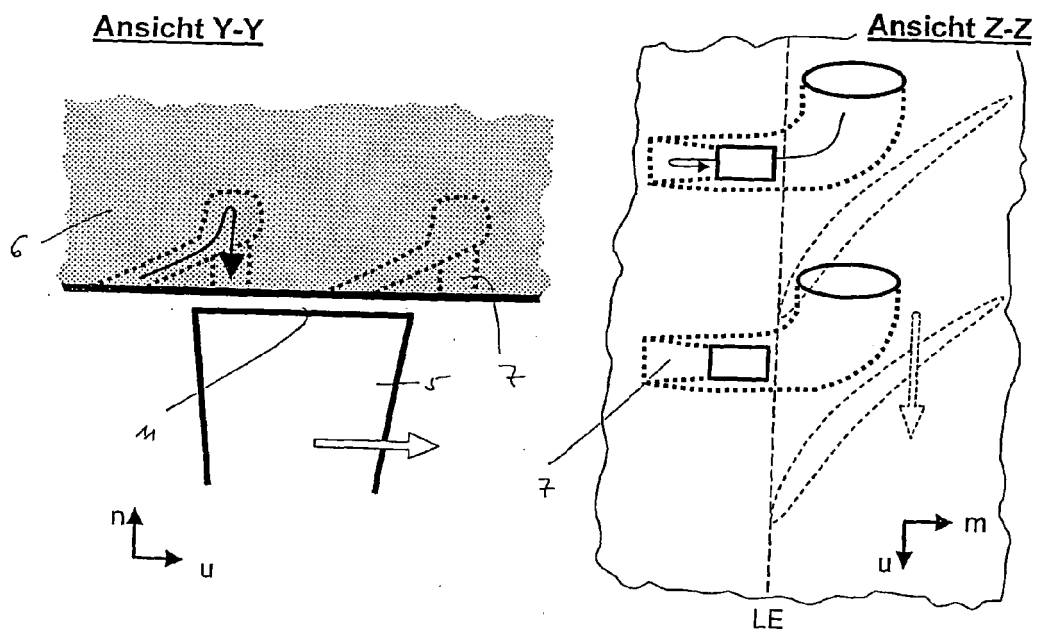


Fig. 4d:

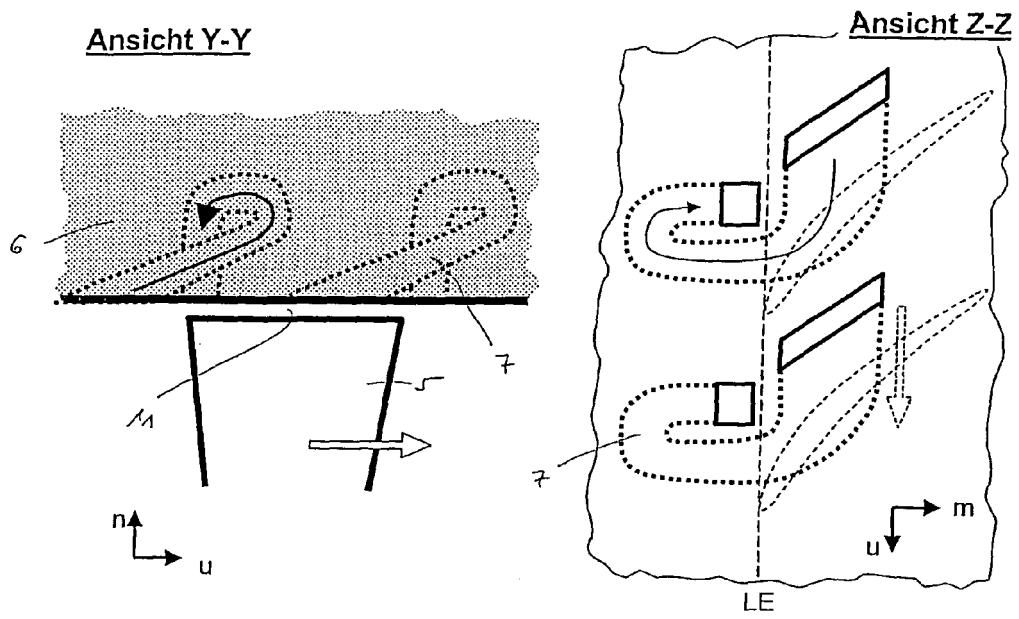


Fig. 4e:

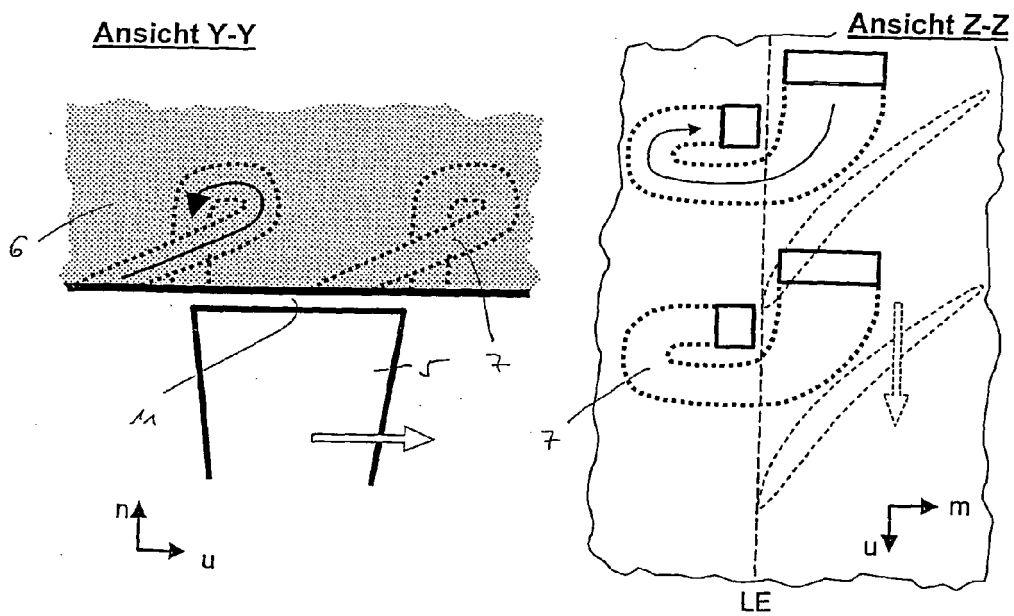


Fig. 4f:

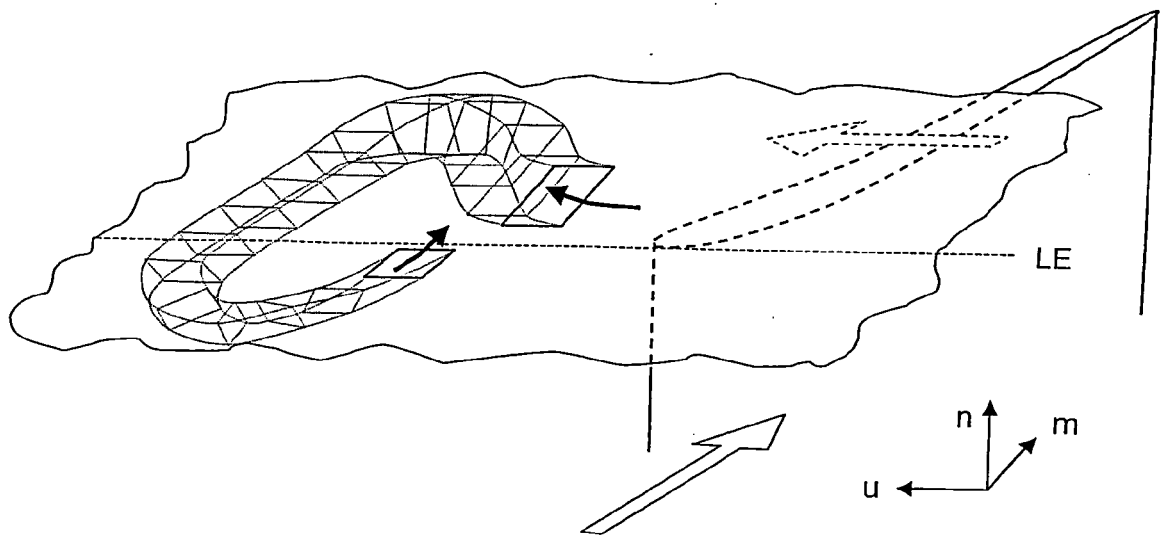


Fig. 4g:

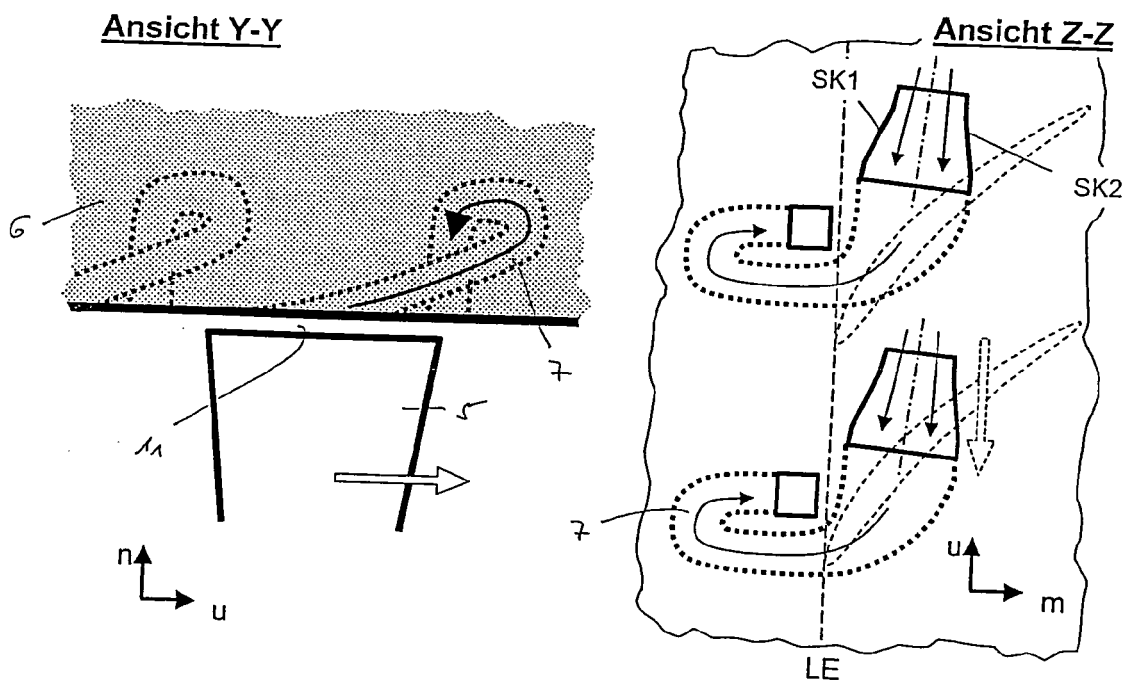


Fig. 4h:

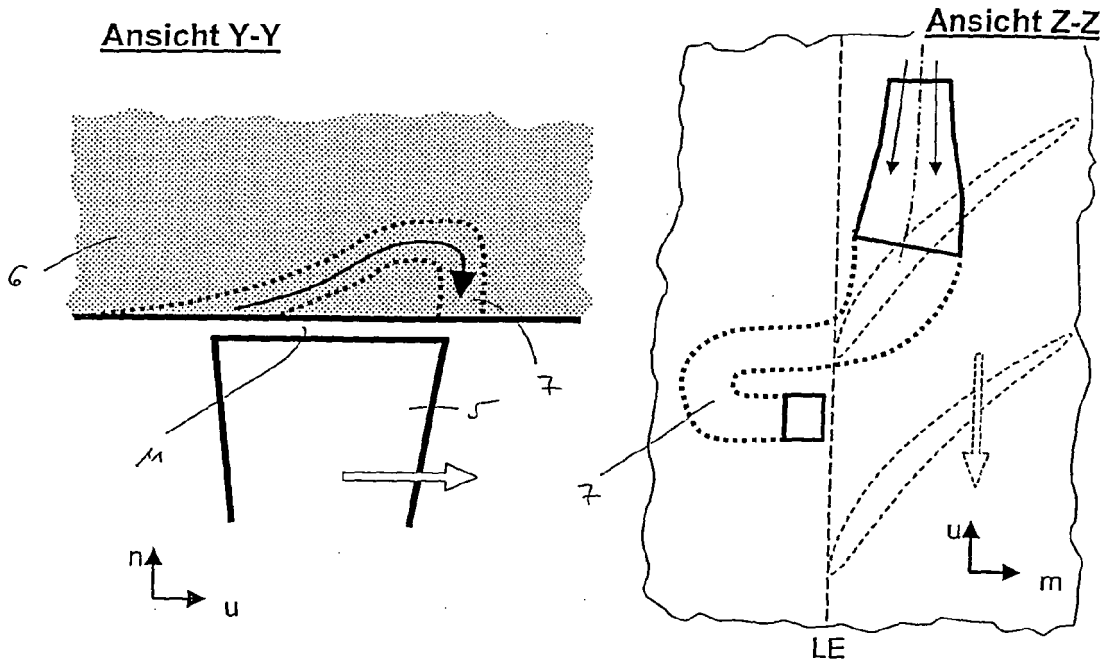


Fig. 4i: I

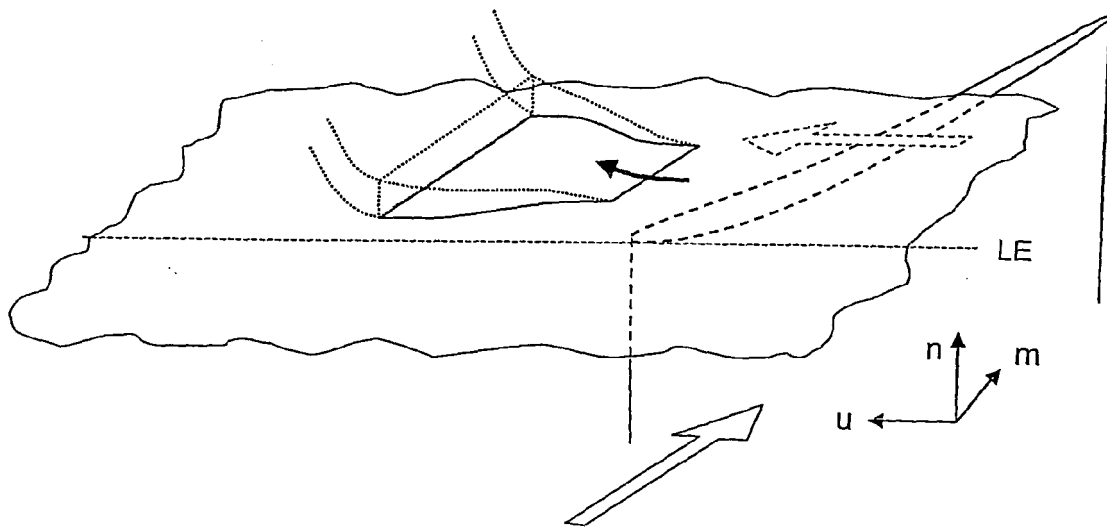


Fig. 4j:

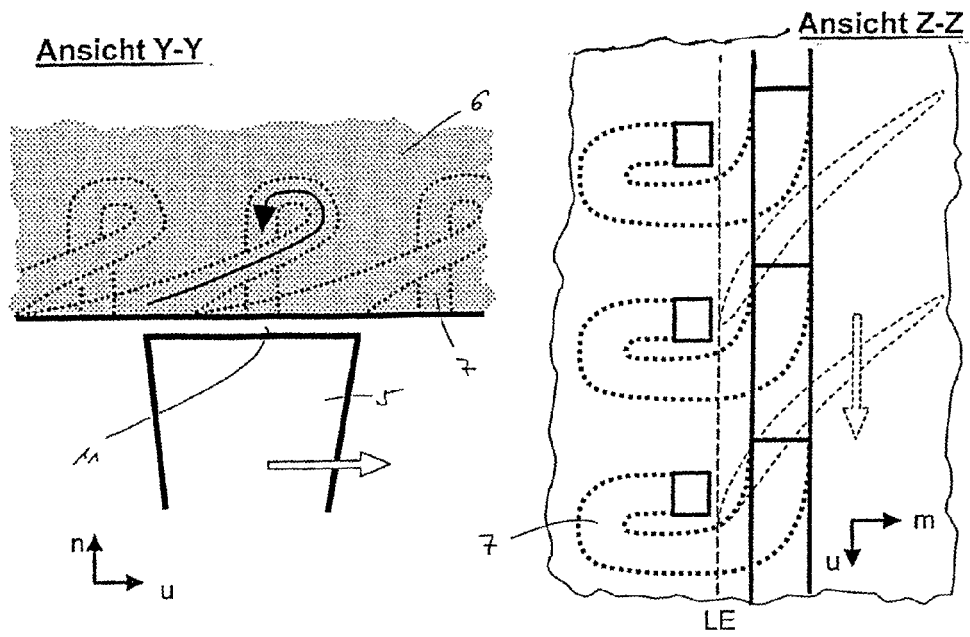


Fig. 5a:

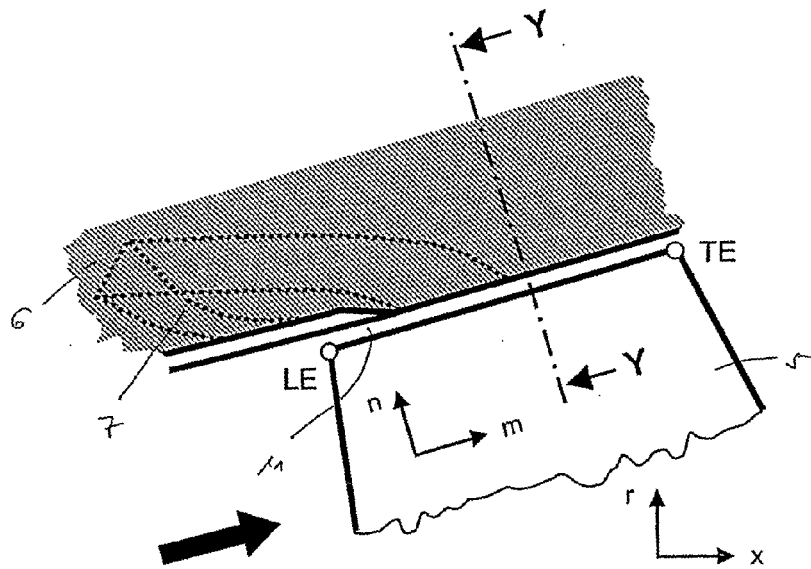


Fig. 5b:

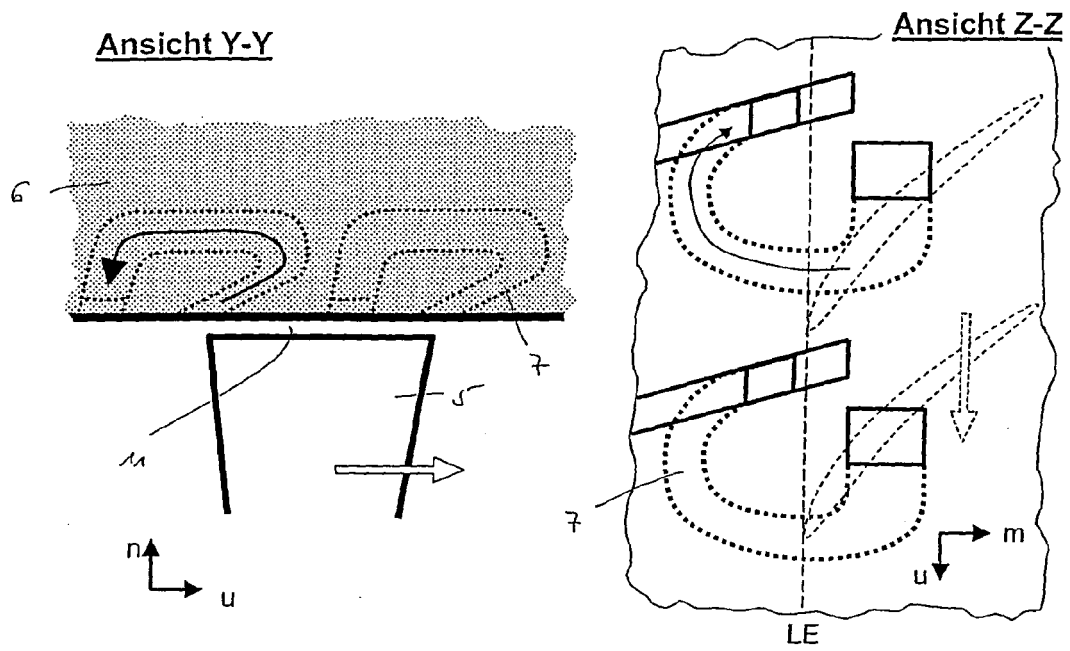


Fig. 6a:

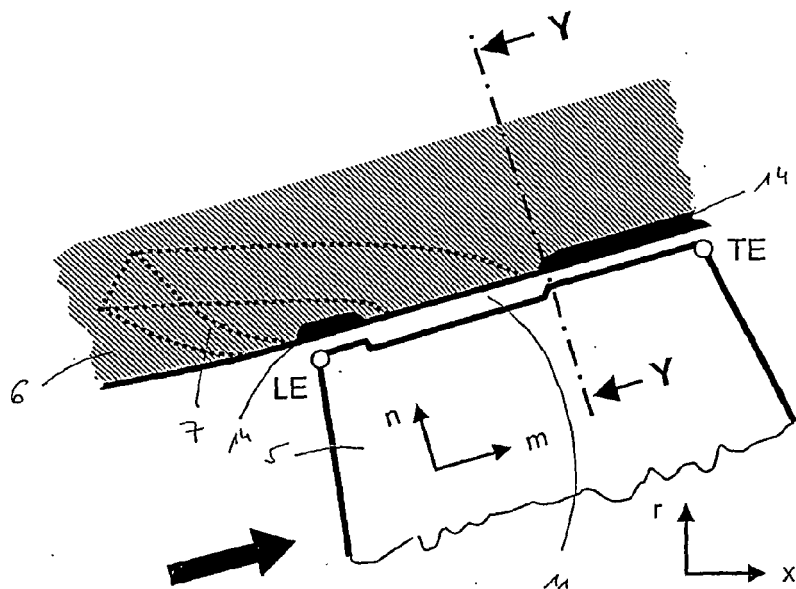


Fig. 6b:

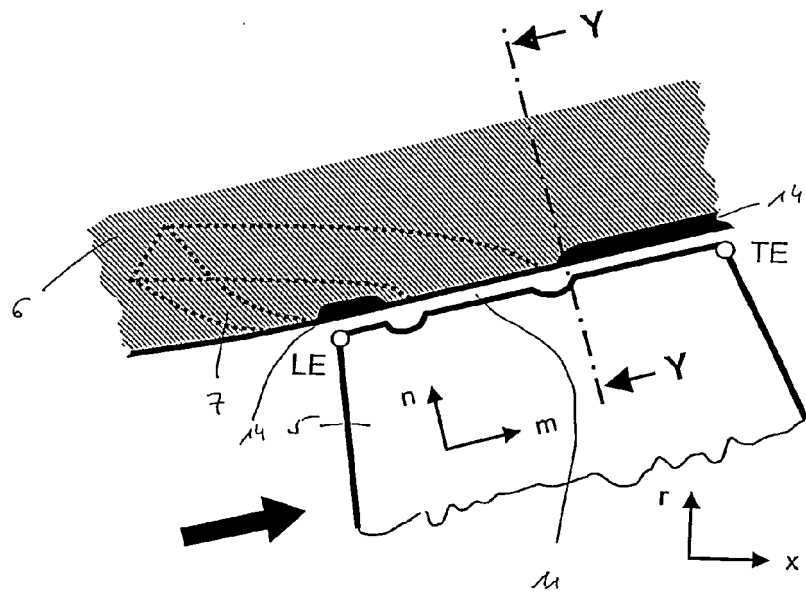
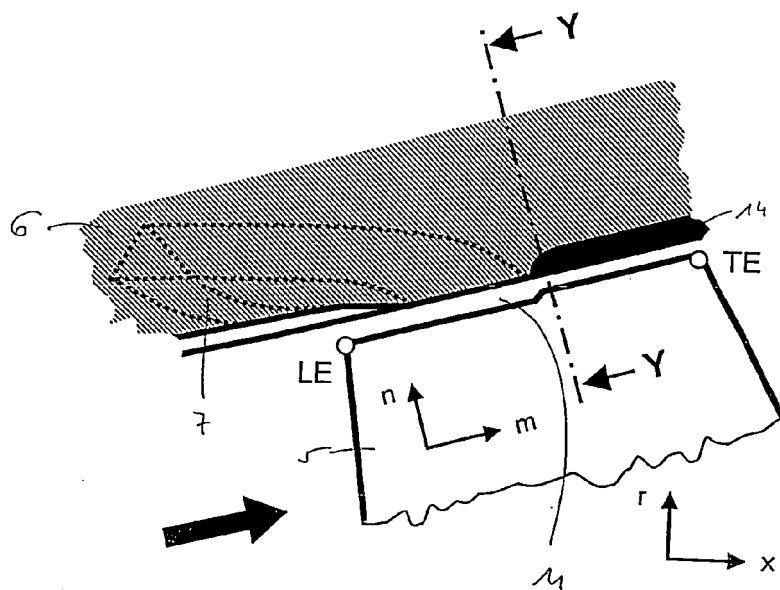


Fig. 6c:



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

- EP 0754864 A1 [0004]
- DE 10135003 C1 [0005]
- EP 0497574 A1 [0006]
- US 20050226717 A1 [0006]
- US 6585479 B2 [0006]
- DE 10330084 A1 [0006]