



(11) **EP 2 180 195 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.04.2010 Patentblatt 2010/17

(51) Int Cl.: **F04D 29/16** (2006.01) **F04D 29/68** (2006.01)
F04D 29/52 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09010618.8**

(22) Anmeldetag: 18.08.2009

(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, Dr.**
15831 Mahlow (DE)

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

(30) Priorität: 21.10.2008 DE 102008052401

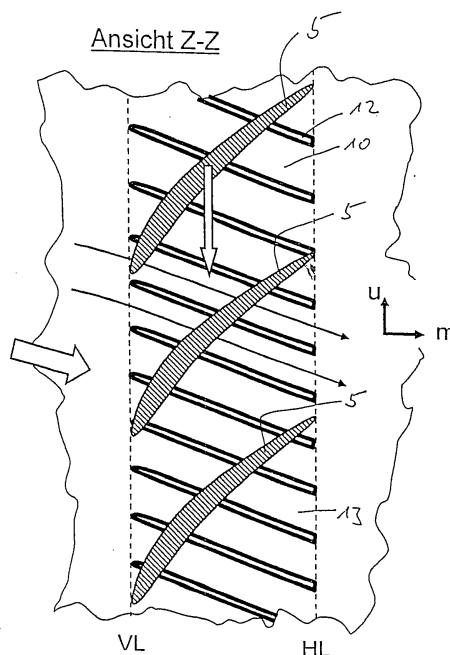
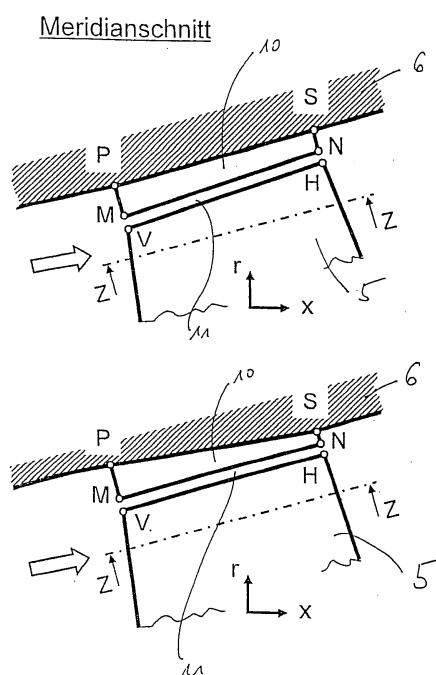
(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(54) **Strömungsarbeitsmaschine mit Laufspalteinzug**

(57) Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe (3) und einem Gehäuse (1) berandeten Hauptströmungspfad, in welchem mindestens eine Reihe von Schaufeln (5) angeordnet ist, welche ein Schaufelende mit Spalt bilden, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung in der Nähe des Schaufelendes in einer rotierenden Relativbewegung zueinander

bewegbar sind, wobei zumindest ein Teil des Laufspaltes (11) von der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad radial verkleinert ausgebildet ist und der Laufspalt (11) an den verkleinerten Bereichen nicht mehr durch die Hauptströmungspfadberandung, sondern durch einen von der Hauptströmung durchströmten und mit der Hauptströmungspfadberandung fest verbundenen Randleitapparat (10), bestehend aus einer Reihe von Profilen (12), begrenzt wird.

Fig. 5a:



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Strömungsarbeitsmaschine mit Laufspalteinzug gemäß Anspruch 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. Dies führt bei Schaufelreihen mit Laufspalt bei höherer Belastung zu Rückströmerscheinungen und dem Auftreten von Instabilität 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, die

- a.) aus Schlitten/Öffnungen und Kammern im Gehäuse über dem Rotor bestehen
- 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 unterschiedlicher Querschnittsformen

[0004] Dazu gehören bekannte Lösungen, die in folgenden Dokumenten offenbart sind:

US 2005/0226717 A1
EP 0 754 864 A1
DE 101 35 003 C1
DE 103 30 084 A1

[0005] Eine Skizze üblicher Schlitz- und Nuten 10 ist in den Fig. 1a und Fig. 1b gegeben.

[0006] 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. Die Stabilitätssteigerung 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, sind aufgrund ihrer Form nur bedingt wirksam und/oder sind auf die Anordnung einer von einem Gehäuse umgebenen Rotorschaukelreihe begrenzt.

[0007] 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.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die

Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0009] Im Einzelnen betrifft die Erfindung somit eine Schaufelreihe einer Strömungsarbeitsmaschine mit freiem Schaufelende und Laufspalt, wobei wenigstens ein Teil des Laufspaltes um einen endlichen Betrag von der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad eingezogen ist, wobei der Laufspalt an den eingezogenen Positionen nicht mehr durch die Hauptströmungspfadberandung, sondern durch einen von der Hauptströmung durchströmten und mit der Hauptströmungspfadberandung verbundenen Randleitapparat, bestehend aus einer Reihe von geraden oder gewölbten Profilen, begrenzt wird. Der erfindungsgemäße Laufspalteinzug betrifft Anordnungen mit Laufspalt und Relativbewegung zwischen dem Schaufelende und Hauptströmungspfadberandung, sowohl am Gehäuse als auch an der Nabe der Strömungsarbeitsmaschine.

[0010] 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.

[0011] 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.

[0012] 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 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.

[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] 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. 1a eine Skizze des Standes der Technik, Rotor-
gehäusestrukturierung,

Fig. 1b eine Skizze des Standes der Technik, Rotor-
gehäuse, Umfangsnuten,

Fig. 2 Beispiele erfindungsgemäß relevanter Strö-
mungsarbeitsmaschinen,

Fig. 3 eine Laufspaltanordnung nach dem Stand der
Technik im Meridianschnitt,

Fig. 4a ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Lauf-
spaltanordnung im Meridianschnitt,

Fig. 4b eine Definition von Kenngrößen der erfin-
dungsgemäßen Anordnung,

Fig. 5a erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen,

Fig. 5b erfindungsgemäße Anordnungen des Rand-
leitapparats, Ansicht Z-Z aus Fig. 5a,

Fig. 6 erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen,

Fig. 7a erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen,

Fig. 7b erfindungsgemäße Anordnungen des Rand-
leitapparats, Ansicht Z-Z aus Fig. 7a,

Fig. 7c erfindungsgemäße Anordnungen des Rand-
leitapparats, Ansicht Z-Z aus Fig. 7a,

Fig. 8 eine erfindungsgemäße Laufspaltanordnung,

Fig. 9 eine erfindungsgemäße Laufspaltanordnung,

Fig. 10 eine erfindungsgemäße Laufspaltanordnun-
gen im Meridianschnitt, Definition der Lauf-
spaltneigung,

Fig. 11 erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen
mit Anstreifbelag und Absatz an der Schau-
felspitze,

Fig. 12 eine erfindungsgemäße Laufspaltanordnun-
gen mit Anstreifbelag und Absatz am Rand-
leitapparat.

[0021] Die Fig.3 zeigt eine Spaltanordnung nach dem Stand der Technik in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r gebildeten Meridiane Ebene im Bereich des Schaufelendes einer Schaufelreihe 5 einer Strömungsarbeitsmaschine. Der Laufspalt 11 an der Spitze des freien Schaufelendes liegt direkt am Rand des Hauptströmungspfad 2, der durch eine Naben- oder Gehäusebaugruppe 6 gebildet wird. Infolge dessen wird beim Stand der Technik der Spalt 11 von der inneren oder äußeren Ringkanalkontur (Nabe oder Gehäuse 6) der Strömungsarbeitsmaschine auf der einen Seite und durch die Spitze einer Rotor- oder Statorschaufel auf der anderen Seite gebildet.

[0022] Zwischen der Schaufelspitze und dem die Hauptströmungspfadberandung (Ringkanalkontur 2) bildenden Bauteilgruppe liegt eine rotierende Relativbewegung vor. Diese Darstellung, und auch jede weitere zur vorliegenden Erfindung, gilt somit gleichermaßen für folgende mögliche Anordnungen:

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

[0023] Die Hauptströmungsrichtung ist mit einem dicken Pfeil dargestellt. Stromauf der Schaufelreihe 5 mit Laufspalt kann sich, wie hier gestrichelt angedeutet ist, mindestens eine weitere Schaufelreihe befinden. Auch stromab kann sich (wie hier nicht mit skizziert) mindestens eine weitere Schaufelreihe befinden. Durch drei dünne lange Pfeile ist die Meridianströmung in der Nähe der Hauptströmungspfadberandung dargestellt. Sie verläuft durch die Schaufelreihe 5 im Wesentlichen parallel zur Schaufelspitze und parallel zum Laufspalt. Der Laufspalt 11 ist in einer Anordnung nach dem Stand der Technik durch vier Eckpunkte markiert:

- 1.) den Vorderkantenpunkt V an der Schaufelspitze,
- 2.) den Hinterkantenpunkt H an der Schaufelspitze,
- 3.) den vorderen Spaltrandpunkt M, der dem Vorderkantenpunkt V gegenüber angeordnet ist,
- 4.) den hinteren Spaltrandpunkt N, der dem Hinterkantenpunkt H gegenüber angeordnet ist.

[0024] Zwischen den Punkten V und H sowie zwischen den Punkten M und N kann nach dem Stand der Technik ein gerader oder gekrümmter Linienverlauf vorgesehen sein.

[0025] Die Fig.4 zeigt in gleicher Darstellung ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Spaltanordnung in der durch die Axialrichtung x und die Radialrichtung r gebildeten Meridiane Ebene im Bereich des Schaufelendes einer Schaufelreihe einer Strömungsarbeitsmaschine. Der Laufspalt 11 an der Spitze des freien Schaufelendes liegt um einen endlichen Abstand vom der Hauptströmungs-

pfadberandung entfernt.

[0026] Durch unterschiedliche Abstände des Laufspaltes 11 von der Hauptströmungspfadberandung an der Vorder- und Hinterkante ist der Laufspalt gegenüber der Hauptströmungspfadberandung und auch gegenüber der Meridianströmung geneigt.

[0027] Durch das erfindungsgemäße Einziehen des Laufspaltes 11 ins Innere des Hauptströmungspfades und gegebenenfalls das erfindungsgemäße Neigen des Laufspaltes wird die Spaltleckageströmung reduziert und insbesondere ein meridionales Rückströmen im Bereich des Laufspaltes unterdrückt.

[0028] In der durch das Einziehen des Laufspaltes 11 in den Hauptströmungspfad entstandene Lücke zwischen dem Laufspalt 11 und der Hauptströmungspfadberandung ist ein Randleitapparat, bestehend aus einer Reihe von geraden oder gewölbten Profilen vorgesehen. Der Randleitapparat ist mit der die Hauptströmungspfadberandung bildenden Bauteilgruppe fest verbunden.

[0029] Die Darstellung in Fig. 4 zeigt eine erfindungsgemäße Variante mit Spalteinzug an Vorder- und Hinterkante und demzufolge mit einem von der Vorder- bis zur Hinterkante reichenden Randleitapparat 10. Hier ist die Laufspaltanordnung durch sechs Punkte markiert:

- 1.) den Vorderkantenpunkt V an der Schaufelspitze,
- 2.) den Hinterkantenpunkt H an der Schaufelspitze,
- 3.) den vorderen Spaltrandpunkt M, der dem Vorderkantenpunkt V gegenüber angeordnet ist,
- 4.) den hinteren Spaltrandpunkt N, der dem Hinterkantenpunkt H gegenüber angeordnet ist,
- 5.) den vorderen Konturpunkt P der Hauptströmungspfadberandung, der den Randleitapparat nach stromauf begrenzt,
- 6.) den hinteren Konturpunkt S der Hauptströmungspfadberandung, der den Randleitapparat 10 nach stromab begrenzt.

[0030] Zwischen den Punkten V und H sowie zwischen den Punkten M und N als auch zwischen den Punkten P und S kann erfindungsgemäß ein gerader (wie in Fig. 4 dargestellt) oder gekrümmter/geknickter Linienverlauf vorgesehen sein.

[0031] Die Fig. 4b zeigt die Definition erfindungsgemäß relevanter Kenngrößen der Laufspaltanordnung. Die Einzugtiefe des Laufspaltes 11 kann erfindungsgemäß variieren. Die Definition der Kenngrößen erfolgt mit Hilfe einer Referenzgeraden durch die Punkte P und S der Hauptströmungspfadberandung, wenn der Randleitapparat in Strömungsrichtung bis zur oder über die Hinterkante der Schaufelreihe hinaus vorgesehen ist. Für den Fall, dass der Randleitapparat 10 bereits stromauf der Hinterkante der Schaufelreihe 5 endet und auf diese Weise der Punkt N auf die Hauptströmungspfadberandung fällt, ist die Referenzgerade durch die Punkte P und N definiert. Die Laufspalteinzugtiefe an der Vorderkante t_V ist definiert als der Abstand des vorderen Spaltrandpunktes M von der Hauptströmungspfadberandung, ge-

messen in der Richtung senkrecht zur Referenzlinie.

[0032] Die Laufspalteinzugtiefe an der Hinterkante t_H ist definiert als der Abstand des hinteren Spaltrandpunktes N von der Hauptströmungspfadberandung, gemessen in der Richtung senkrecht zur Referenzlinie.

[0033] Die Länge der Schaufelspitze IVH ist definiert als der senkrechte Abstand des Hinterkantenpunktes H von der durch den Vorderkantenpunkt V verlaufenden Orthogonalen zur Referenzgeraden. Der Vorderkantenversatz dVM ist definiert als der senkrechte Abstand des Spaltrandpunktes M von der durch den Vorderkantenpunkt V verlaufenden Orthogonalen zur Referenzgeraden.

[0034] Der Hinterkantenversatz dHN ist definiert als der senkrechte Abstand des Spaltrandpunktes N von der durch den Hinterkantenpunkt H verlaufenden Orthogonalen zur Referenzgeraden.

[0035] Die Stromauferstreckung des Randleitapparates v ist definiert als der senkrechte Abstand des Konturpunktes P der Hauptströmungspfadberandung von der durch den Vorderkantenpunkt V verlaufenden Orthogonalen zur Referenzgeraden, und positiv wie eingezeichnet. Die Stromaberstreckung des Randleitapparates w ist definiert als der senkrechte Abstand des Konturpunktes S der Hauptströmungspfadberandung von der durch den Vorderkantenpunkt V verlaufenden Orthogonalen zur Referenzgeraden, und positiv wie eingezeichnet.

[0036] Dabei gelten erfindungsgemäß folgende Einschränkungen:

- 1.) $t_V < 0,3 \cdot IVH$
- 2.) $t_H < 0,3 \cdot IVH$
- 3.) $-0,05 \cdot VH < dVM < 0,05 \cdot IVH$
- 4.) $-0,1 \cdot IVH < dHN < 0,1 \cdot IVH$
- 5.) $-0,05 \cdot IVH < v < IVH$
- 6.) $0 < w < 1,1 \cdot IVH$

[0037] Die Laufspalteinzugtiefe an einem beliebigen Punkt innerhalb des beschauelten Bereichs (zwischen Vorder- und Hinterkante) der Schaufelreihe 5 ist definiert als der Abstand des jeweiligen Punktes von der Hauptströmungspfadberandung, gemessen in der Richtung senkrecht zur Referenzlinie.

[0038] Die Fig. 5a zeigt zwei erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen, bei denen sich der Randleitapparat 10 entlang der gesamten Schaufelspitze erstreckt. In der linken Bildhälfte (Meridianschnitt, x-r-Ebene) ist oben eine Variante mit geradlinigem Verlauf der Hauptströmungspfadberandung und unten eine Variante mit geschwungenem Verlauf der Hauptströmungspfadberandung dargestellt. Bei beiden Varianten ist die Einzugtiefe des Laufspaltes an der Vorderkante größer als an der Hinterkante ($t_V > t_H$).

[0039] Die Ansicht Z-Z ist in beiden Varianten eingezeichnet.

[0040] Auf der rechten Bildseite ist die Konfiguration in der Ansicht Z-Z, d. h. in der von der Meridianrichtung

m und der Umfangsrichtung u gebildeten Ebene, dargestellt. Die Schnittebene Z-Z verläuft innerhalb des Hauptströmungspfadbes durch die dort befindlichen Schaufeln 5, von denen im dargestellten Ausschnitt drei eingezeichnet sind. Der Blick fällt dann weiter auf den Randleitapparat 10, der hier aus einer Reihe von schlanken geraden Profilen 12 besteht. Der Randleitapparat 10 ist fest mit der Hauptströmungspfadberandung verbunden. Die Schaufeln 5 der Schaufelreihe führen, wie durch den in Umfangsrichtung u weisenden schlanken Pfeil angedeutet, eine (rotierende) Relativbewegung gegenüber dem Randleitapparat 10 und gegenüber der Hauptströmungspfadberandung aus. Die Hauptströmung passiert die Anordnung von links nach recht, siehe dicker Pfeil. Die Strömung durch zwei benachbarte Passagen des Randleitapparats 10 ist durch je einen dünnen Pfeil angedeutet. Die Profile und die Passagen des Randleitapparats 10 sind in diesem Beispiel gerade ausgeführt. Die Verbindungslinie der Vorderkantenpunkte V der Schaufeln ist mit VL und die Verbindungslinie der Hinterkantenpunkte H der Schaufeln ist mit HL gekennzeichnet. Zwischen VL und HL liegt der beschauelte Bereich der Schaufelreihe 5, der in dem hier dargestellten erfindungsgemäßen Beispiel auch im Wesentlichen mit dem vom Randleitapparat 10 eingenommenen Bereich übereinstimmt.

[0041] Die Fig. 5b zeigt zwei weitere erfindungsgemäße mögliche Anordnungen des Randleitapparats 10 in der aus Fig. 5a bekannten Ansicht Z-Z. Auf der linken Bildseite besteht der Randleitapparat 10 aus einer Reihe gewölbter Profile 12 konstanter Dicke. Die Passage zwischen zwei Profilen 12 des Randleitapparats 10 ist deutlich gekrümmt, derart, dass die Umfangskomponente der Strömung beim Passieren des Randleitapparats 10 in Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe 5 zunimmt. Der Staffelungswinkel λ_R der Profile des Randleitapparates 10 und der Staffelungswinkel λ_S der Profile der Schaufelreihe 5 besitzen in diesem Fall entgegengesetztes Vorzeichen. Der Staffelungswinkel wird zwischen der Meridianrichtung m und der Sehnenlinie des jeweiligen Profils 12 gemessen. Der Staffelungswinkel λ_R der Profile des Randleitapparates 10 besitzt in der eingezeichneten Richtung negatives Vorzeichen. Der Staffelungswinkel λ_S der Profile der Schaufelreihe 5 besitzt in der eingezeichneten Richtung positives Vorzeichen. Für den Fall, dass die Profile keine Wölbung und eine nicht-konstante Dicke besitzen, wird anstelle der Profilsehne die Längssymmetrielinie des Profils zur Bestimmung des Staffelungswinkels verwendet.

[0042] Eine ganz ähnliche Konfiguration zeigt die rechte Bildhälfte. Dort ist ein Randleitapparat mit gewölbten und tropfenförmig gestalteten Profilen vorgesehen.

[0043] Die Fig. 6 zeigt zwei erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen, bei denen sich der Randleitapparat 10 entlang der gesamten Schaufelspitze erstreckt, wobei die Einzugs- und Abzugstiefe des Laufspaltes 11 allerdings bis zur Hinterkante der Schaufelreihe 5 auf Null absinkt ($t_V > t_H = 0$). Der hintere Spaltrandpunkt N des Randleitapparats fällt hier mit dem hinteren Konturpunkt S der Hauptströmungspfadberandung zusammen.

Dadurch erhält der Randleitapparat 10 im Meridianschnitt eine erfindungsgemäße günstige keilartige Form.

[0044] Die rechte Bildseite zeigt die Ansicht Z-Z in der von der Meridianrichtung m und der Umfangsrichtung u gebildeten Ebene. Die Profile 12 und die Passagen 13 des Randleitapparats 10 sind hier wieder gerade ausgeführt und der vom Randleitapparat 10 eingenommene Bereich stimmt im Wesentlichen mit dem beschauelten Bereich der Schaufelreihe 5 (zwischen VL und HL) überein.

[0045] Der Staffelungswinkel λ_R der Profile des Randleitapparates 10 und der Staffelungswinkel λ_S der Profile der Schaufelreihe 5 besitzen in diesem Fall gleiches Vorzeichen. Erfindungsgemäß sind Werte des Staffelungswinkels der Randleitapparatprofile im Bereich zwischen -70° und 70° möglich ($-70^\circ < \lambda_R < 70^\circ$), besonders günstig ist es jedoch, Werte aus dem Bereich $-40^\circ < \lambda_R < 30^\circ$ vorzusehen.

[0046] Die Fig. 7a zeigt zwei erfindungsgemäße Laufspaltanordnungen, bei denen sich der Randleitapparat 10 über den vorderen Teil der Schaufelspitze erstreckt. Der hintere Spaltrandpunkt N liegt nun auf der Hauptströmungspfadberandung und der Konturpunkt S liegt innerhalb des beschauelten Bereiches der Schaufelreihe 5. Die Einzugs- und Abzugstiefe des Laufspaltes 11 nimmt bis zum Punkt S auf Null ab. Die Spalteinzugs- und Abzugstiefe ist somit im Bereich zwischen dem Konturpunkt S und dem hinteren Spaltrandpunkt N durchgehend null. Auch hier besitzt der Randleitapparat 10 im Meridianschnitt eine erfindungsgemäße günstige keilartige Form.

[0047] Die linke Bildseite zeigt oben eine erfindungsgemäße Anordnung, bei der die Hauptströmungspfadberandung annähernd geradlinig verläuft und in der Schaufelspitze aufgrund der keilartigen Form des Randleitapparats 10 in der Nähe des Konturpunktes S ein Knickpunkt K vorgesehen ist. Auch der Laufspalt verläuft entsprechend mit Knick.

[0048] Der linke untere Bildteil zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung, bei der die Hauptströmungspfadberandung derart geschwungen verläuft, dass trotz der keilartigen Form des Randleitapparats 10 ein knickfreier Verlauf der Schaufelspitze und des Laufspaltes 11 vorgesehen werden kann.

[0049] Die rechte Bildseite zeigt die Ansicht Z-Z in der von der Meridianrichtung m und der Umfangsrichtung u gebildeten Ebene. Die Profile und die Passagen des Randleitapparats 10 sind hier gekrümmt ausgeführt und der vom Randleitapparat 10 eingenommene Bereich nimmt an der Vorderkantenlinie VL beginnend nur einen Teil des beschauelten Bereiches der Schaufelreihe 5 ein. Der Staffelungswinkel λ_R der Profile des Randleitapparates 10 und der Staffelungswinkel λ_S der Profile der Schaufelreihe 5 besitzen hier entgegengesetztes Vorzeichen.

[0050] Die Fig. 7b zeigt zwei weitere erfindungsgemäße mögliche Anordnungen des Randleitapparats 10 in der aus Fig. 7a bekannten Ansicht Z-Z. Auf der linken Bild-

seite besteht der Randleitapparat 10 aus einer Reihe ungewölbter Profile konstanter Dicke. Auf der rechten Bildseite besteht der Randleitapparat 10 aus einer Reihe gewölbter Profile konstanter Dicke. Die Passage zwischen zwei Profilen des Randleitapparats 10 ist derart gekrümmt, dass die Umfangskomponente der Strömung beim Passieren des Randleitapparats 10 entgegen der Richtung der Relativbewegung der Schaufelreihe 5 zunimmt.

[0051] Die Fig. 7c zeigt zwei weitere erfindungsgemäß mögliche Anordnungen des Randleitapparats 10 in der aus Fig. 7a bekannten Ansicht Z-Z. Auf der linken Bildseite besteht der Randleitapparat aus einer Reihe ungewölbter keilartiger Profile mit maximaler Dicke an ihrer Hinterkante. Die Verdrängungswirkung nimmt hier in Strömungsrichtung kontinuierlich zu. Auf der rechten Bildseite besteht der Randleitapparat 10 aus einer Reihe ungewölbter dicker Profile mit maximaler Verdrängungswirkung in ihrem mittleren Teil. In beiden Bildhälften ist für ein Profil des Randleitapparates 10 die Längssymmetrieachse eingezeichnet, die bei dieser Art von Profilen zur Bestimmung des Staffelungswinkels zu verwenden ist.

[0052] Die Fig. 8 zeigt eine erfindungsgemäß günstige Laufspaltanordnung, bei der sich der Randleitapparat 10 im Meridianschnitt (x-r-Ebene) nur entlang des vorderen Drittels der Schaufelspitze erstreckt, gemäß folgender Maßgabe: $w < 0,33$ IVH. Die rechte Bildseite zeigt die Ansicht Z-Z in der von der Meridianrichtung m und der Umfangsrichtung u gebildeten Ebene. Die Profile und die Passagen des Randleitapparats 10 sind hier kurz und gerade ausgeführt.

[0053] Die Fig. 9 zeigt eine weitere erfindungsgemäß günstige Laufspaltanordnung. Wie in der linken Bildhälfte im Meridianschnitt (x-r-Ebene) dargestellt ist, verläuft der Laufspalt parallel zur Maschinenachse.

[0054] Der vordere Konturpunkt P der Hauptströmungspfadberandung ist zudem deutlich stromauf des vorderen Spaltrandpunkt M vorgesehen, sodass sich eine deutliche Stromauferstreckung des Randleitapparates 10 v von etwa 0,4·IVH ergibt. Auf diese Weise verläuft die Vorderkante der Randleitapparatprofile nicht mehr, wie in vorangehend dargestellten erfindungsgemäßen Lösungen, im Wesentlichen orthogonal zum Laufspalt oder zur Hauptströmungspfadberandung, sondern (entsprechend einer aerodynamischen Pfeilung) schräg zum Laufspalt und schräg zur Hauptströmungspfadberandung. Die rechte Bildseite zeigt die Ansicht Z-Z in bekannter Weise. Die Profile und die Passagen des Randleitapparats 10 sind hier gekrümmt ausgeführt. Der Randleitapparat 10 nimmt aufgrund der vorgesehenen Pfeilung einen Bereich stromauf der Vorderkantenlinie VL und einen Teil des beschauelten Bereichs der Schaufelreihe 5 ein.

[0055] Die Fig. 10 zeigt weitere erfindungsgemäß günstige Laufspaltanordnungen mit einem geringen Spaltneigungswinkel. Der Spaltneigungswinkel α wird zwischen der Längsachse der Strömungsarbeitsmaschine

und einer Geraden durch die Punkte V und H gemessen, wenn die Schaufelspitze keinen Knick aufweist, siehe linke Bildhälfte. Der Spaltneigungswinkel α wird zwischen der Längsachse der Strömungsarbeitsmaschine und einer Geraden durch die Punkte V und K gemessen, wenn die Schaufelspitze einen Knickpunkt K aufweist, siehe rechte Bildhälfte. α ist positiv wie eingezeichnet.

[0056] Erfindungsgemäß ist es besonders günstig, wenn der Spaltneigungswinkel einen Betrag von kleiner 8° aufweist ($-8^\circ < \alpha < 8^\circ$).

[0057] In Fig. 11 ist eine erfindungsgemäße Spaltanordnung mit einem im vorderen Bereich der Schaufelreihe 5 angeordneten Randleitapparat 10 und einem sich in Strömungsrichtung anschließenden Anstreifbelag 14 dargestellt, der im hinteren Teil des beschauelten Bereichs der Schaufelreihe 5 vorgesehen ist. Bei einer solchen Anordnung kann es erfindungsgemäß günstig sein, die Schaufelspitze mit einem Absatz zu versehen, dahin gehend, dass der Laufspalt im Bereich des Randleitapparats 10 größer ist, als im Bereich des Anstreifbelages 14.

[0058] In Fig. 12 ist ebenfalls eine erfindungsgemäße Spaltanordnung mit einem im vorderen Bereich der Schaufelreihe angeordneten Randleitapparat 10 und einem sich in Strömungsrichtung anschließenden Anstreifbelag 14 dargestellt, der im hinteren Teil des beschauelten Bereichs der Schaufelreihe 5 vorgesehen ist. Bei einer solchen Anordnung kann es alternativ zu einem Absatz in der Schaufelspitze erfindungsgemäß günstig sein, den Randleitapparat 10 im Vergleich zum Anstreifbelag 14 etwas zurückzunehmen, dahin gehend, dass der Laufspalt 11 im Bereich des Randleitapparats 10 größer ist, als im Bereich des Anstreifbelages 14.

Die Erfindung kann auch wie folgt beschrieben werden:

[0059] Strömungsarbeitsmaschine mit einem von einer Nabe und einem Gehäuse berandeten Hauptströmungspfad, in welchem mindestens eine Reihe von Schaufeln angeordnet ist, an welcher ein Schaufelende mit Spalt vorgesehen ist, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung in der Nähe des besagten Schaufelendes eine rotierende Relativbewegung zueinander ausführen, wobei wenigstens ein Teil des Laufspaltes um einen endlichen Betrag von der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad eingezogen ist und der Laufspalt an den eingezogenen Positionen nicht mehr durch die Hauptströmungspfadberandung selbst, sondern durch einen von der Hauptströmung durchströmten und mit der Hauptströmungspfadberandung fest verbundenen Randleitapparat, bestehend aus einer Reihe von Profilen, begrenzt wird, wobei bevorzugt bei Betrachtung im Meridianschnitt die Konfiguration des Randleitapparates und des Laufspaltes bezüglich sechs wichtiger Kenngrößen weiteren Einschränkungen unterworfen ist, wobei:

1.) IHV die Länge zwischen Vorder- und Hinterkante

an der Schaufelspitze ist

2.) für die Laufspalteinzugtiefe an der Vorderkante tV gilt: $tV < 0,3 \cdot IVH$

3.) für die Laufspalteinzugtiefe an der Hinterkante tH gilt: $tH < 0,3 \cdot IVH$

4.) für den Vorderkantenversatz dVM gilt: $-0,05 \cdot IVH < dVM < 0,05 \cdot IVH$

5.) für den Hinterkantenversatz dHN gilt: $-0,1 \cdot IVH < dHN < 0,1 \cdot IVH$

6.) für die Stromaufwärtserstreckung des Randleitapparates v gilt: $-0,05 \cdot IVH < v < IVH$

7.) für die Stromabwärtserstreckung des Randleitapparates w gilt: $0 < w < 1,1 \cdot IVH$

wobei bevorzugt die Laufspalteinzugtiefe an der Vorderkante tV größer ist als die Laufspalteinzugtiefe an der Hinterkante tH, so dass der Laufspalt wenigstens in einen Teilabschnitt gegenüber der Hauptströmungspfadberandung und auch gegenüber der Meridianströmung geneigt ist und auf diese Weise die Spaltleckageströmung reduziert wird,

wobei bevorzugt die Laufspalteinzugtiefe bis zur Hinterkante der Schaufelreihe kontinuierlich auf Null absinkt und auf diese Weise der Randleitapparat im Meridianschnitt eine keilartige Form zeigt,

wobei bevorzugt die Laufspalteinzugtiefe bis zu einem Punkt stromauf der Hinterkante und innerhalb des beschauften Bereiches der Schaufelreihe kontinuierlich auf Null absinkt und auf diese Weise der Randleitapparat im Meridianschnitt eine keilartige Form zeigt,

wobei bevorzugt die Stromabwärtserstreckung des Randleitapparates w auf höchstens das vordere Drittel der Schaufelspitze begrenzt ist, wobei gilt: $w < 0,33 \cdot IVH$, wobei bevorzugt die Hauptströmungspfadberandung im Wesentlichen glatt verläuft und infolge dessen bei Wahrung der keilartigen Form des Randleitapparats in der Schaufelspitze und im Laufspalt ein Knickpunkt vorgesehen ist,

wobei bevorzugt die Hauptströmungspfadberandung S-förmig geschwungen verläuft und bei Wahrung der keilartigen Form des Randleitapparats ein geradliniger Verlauf der Schaufelspitze und des Laufspalts vorgesehen ist,

wobei bevorzugt ein Neigungswinkel des Laufspaltes mit einem Betrag von kleiner 8° vorgesehen ist ($-8^\circ < \alpha < 8^\circ$), wobei bevorzugt eine Stromaufwärtserstreckung des Randleitapparates v von größer $0,25 \cdot IVH$ vorgesehen ist und auf diese Weise die Vorderkante der Randleitapparatprofile entsprechend einer aerodynamischen Pfeilung schräg zum Laufspalt und schräg zur Hauptströmungspfadberandung orientiert ist,

wobei bevorzugt die Profile des Randleitapparats keine Wölbung besitzen,

wobei bevorzugt die Profile des Randleitapparats gewölbt sind,

wobei bevorzugt ein Staffelungswinkel der Profile des Randleitapparates λ_R mit einem Wert im Bereich $-40^\circ < \lambda_R < 30^\circ$ vorgesehen ist,

wobei bevorzugt der Staffelungswinkel der Profile des Randleitapparates λ_R und der Staffelungswinkel der Profile der Schaufelreihe λ_S unterschiedliches Vorzeichen besitzen,

5 wobei bevorzugt der Staffelungswinkel der Profile des Randleitapparates λ_R und der Staffelungswinkel der Profile der Schaufelreihe λ_S dasselbe Vorzeichen besitzen, wobei bevorzugt die Profile des Randleitapparates keilartig mit maximaler Dicke an ihrer Hinterkante geformt sind,

10 wobei bevorzugt im hinteren Teil des beschauften Bereichs der Schaufelreihe ein Anstreifbelag vorgesehen ist und die Schaufelspitze mit einem Absatz zu versehen, dahin gehend, dass dadurch der Laufspalt im Bereich des Randleitapparats größer ist als im Bereich des Anstreifbelages,

wobei bevorzugt im hinteren Teil des beschauften Bereichs der Schaufelreihe ein Anstreifbelag vorgesehen ist und der Randleitapparat im Vergleich zum Anstreifbelag etwas zurückgenommen ist, dahin gehend, dass der Laufspalt im Bereich des Randleitapparats größer ist als im Bereich des Anstreifbelages.

[0060] Die vorliegende Erfindung erlaubt eine deutlich höhere aerodynamische Belastbarkeit von Rotoren und Statoren in Strömungsarbeitmaschinen, bei gleichbleibendem oder erhöhtem Wirkungsgrad. Es ist eine Reduzierung der Teilezahl und des Komponentengewichts von mehr als 20% erreichbar. Bei Einsatz des Konzeptes im Hochdruckverdichter eines Flugtriebwerkes mit rund 25000 Pfund Schub ergibt sich eine Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauches von bis zu 0,5%.

Bezugszeichenliste

35 [0061]

- 1 Gehäuse
- 2 Ringkanal / Hauptströmungspfad
- 3 Rotortrommel (Nabe)
- 40 4 Maschinenachse
- 5 Schaufel / Schaufelreihe
- 6 Naben- oder Gehäusebaugruppe
- 7 Ringnut / (stromauforientierte) Nut
- 8 Schaufelreihe mit freiem Ende und Laufspalt
- 45 9 stromauffliegende Schaufelwerke (optional)
- 10 Reihe von Profilen (gerade oder gewölbt), Randleitapparat
- 11 Spalt / Laufspalt
- 12 Profile von 10
- 50 13 Passage
- 14 Anstreifbelag

Patentansprüche

55

1. Strömungsarbeitmaschine mit einem von einer Nabe (3) und einem Gehäuse (1) berandeten Hauptströmungspfad, in welchem mindestens eine Reihe

von Schaufeln (5) angeordnet ist, welche ein Schaufelende mit Spalt (11) bilden, wobei das Schaufelende und die Hauptströmungspfadberandung in der Nähe des Schaufelendes in einer rotierenden Relativbewegung zueinander bewegbar sind, wobei zumindest ein Teil des Laufspaltes (11) von der Hauptströmungspfadberandung abgerückt und innerhalb des Hauptströmungspfades ausgebildet ist und der Laufspalt (11) in den abgerückten Bereichen nicht mehr durch die Hauptströmungspfadberandung, sondern durch einen von der Hauptströmung durchströmten und mit der Hauptströmungspfadberandung fest verbundenen Randleitapparat (10), bestehend aus einer Reihe von Profilen (12), begrenzt wird.

2. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf einen Meridianschnitt bezogen die Konfiguration des Randleitapparates (10) und des Laufspaltes (11) durch folgende Werte definiert ist:

- 1.) IHV ist die Länge zwischen Vorder- und Hinterkante an der Schaufelspitze,
- 2.) für die Laufspalteinzugtiefe an der Vorderkante tV gilt: $tV < 0,3 \cdot IVH$,
- 3.) für die Laufspalteinzugtiefe an der Hinterkante tH gilt: $tH < 0,3 \cdot IVH$,
- 4.) für den Vorderkantenversatz dVM gilt: $-0,05 \cdot IVH < dVM < 0,05 \cdot IVH$,
- 5.) für den Hinterkantenversatz dHN gilt: $-0,1 \cdot IVH < dHN < 0,1 \cdot IVH$,
- 6.) für die Stromaufwärtserstreckung des Randleitapparates v gilt:

$$-0,05 \cdot IVH < v < IVH,$$

- 7.) für die Stromabwärtserstreckung des Randleitapparates w gilt:

$$0 < w < 1,1 \cdot IVH.$$

3. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laufspalteinzugtiefe an der Vorderkante tV größer ist als die Laufspalteinzugtiefe an der Hinterkante tH, und der Laufspalt wenigstens in einem Teilabschnitt gegenüber der Hauptströmungspfadberandung und gegenüber der Meridianströmung geneigt ist.
4. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laufspalteinzugtiefe bis zur Hinterkante der Schaufelreihe (5) kontinuierlich auf Null reduziert ist.

5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laufspalteinzugtiefe bis zu einem Punkt stromauf der Hinterkante und innerhalb des beschauften Bereiches der Schaufelreihe (5) kontinuierlich auf Null reduziert ist und der Randleitapparat (10) im Meridianschnitt eine keilartige Form zeigt.

6. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stromabwärtserstreckung des Randleitapparates (10) w auf höchstens das vordere Drittels der Schaufelspitze begrenzt ist, wobei gilt: $w < 0,33 \cdot IVH$.

7. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptströmungspfadberandung im Wesentlichen glatt verlaufend ausgebildet ist und infolge durch die keilartige Form des Randleitapparates (10) in der Schaufelspitze und im Laufspalt ein Knickpunkt ausgebildet ist.

8. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptströmungspfadberandung S-förmig geschwungen verlaufend ausgebildet ist und durch die keilartige Form des Randleitapparates (10) ein geradlinger Verlauf der Schaufelspitze und des Laufspaltes (11) ausgebildet ist.

9. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Neigungswinkel α des Laufspaltes (11) mit einem Betrag von kleiner 8° vorgesehen ist ($-8^\circ < \alpha < 8^\circ$).

10. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laufspalt (11) parallel zur Maschinenachse (4) ausgebildet ist.

11. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Stromaufwärtserstreckung des Randleitapparates (10) v von größer $0,25 \cdot IVH$ vorgesehen ist und auf diese Weise die Vorderkante der Randleitapparatprofile (12) entsprechend einer aerodynamischen Pfeilung schräg zum Laufspalt (11) und schräg zur Hauptströmungspfadberandung ausgerichtet ist.

12. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile (12) des Randleitapparates (10) keine Wölbung aufweisen.

13. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile (12) des Randleitapparates (10) in ihrer Längserstreckung gewölbt oder keilartig mit maximaler Dicke an ihrer Hinterkante ausgebildet sind.

14. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Staffelungswinkel der Profile (12) des Randleitapparates (10) λ_R mit einem Wert im Bereich $-40^\circ < \lambda_R < 30^\circ$ vorgesehen ist und/oder dass der Staffelungswinkel der Profile (12) des Randleitapparates (10) λ_R und der Staffelungswinkel der Profile der Schaufelreihe λ_S ein unterschiedliches Vorzeichen haben oder dass der Staffelungswinkel der Profile (12) des Randleitapparates (10) λ_R und der Staffelungswinkel der Profile der Schaufelreihe λ_S dasselbe Vorzeichen haben.
15. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** im hinteren Teil des beschauelten Bereichs der Schaufelreihe ein Anstreifbelag (14) angeordnet ist und die Schaufelspitze mit einem Absatz zu versehen, wobei der Laufspalt (11) im Bereich des Randleitapparats (10) größer ist als im Bereich des Anstreifbelages (14) und/oder dass im hinteren Teil des beschauelten Bereichs der Schaufelreihe (5) ein Anstreifbelag (14) angeordnet ist und der Randleitapparat (12) im Vergleich zum Anstreifbelag (14) in Radialrichtung zurückgenommen ist, wobei der Laufspalt im Bereich des Randleitapparats (14) größer ist als im Bereich des Anstreifbelages (14).

30

35

40

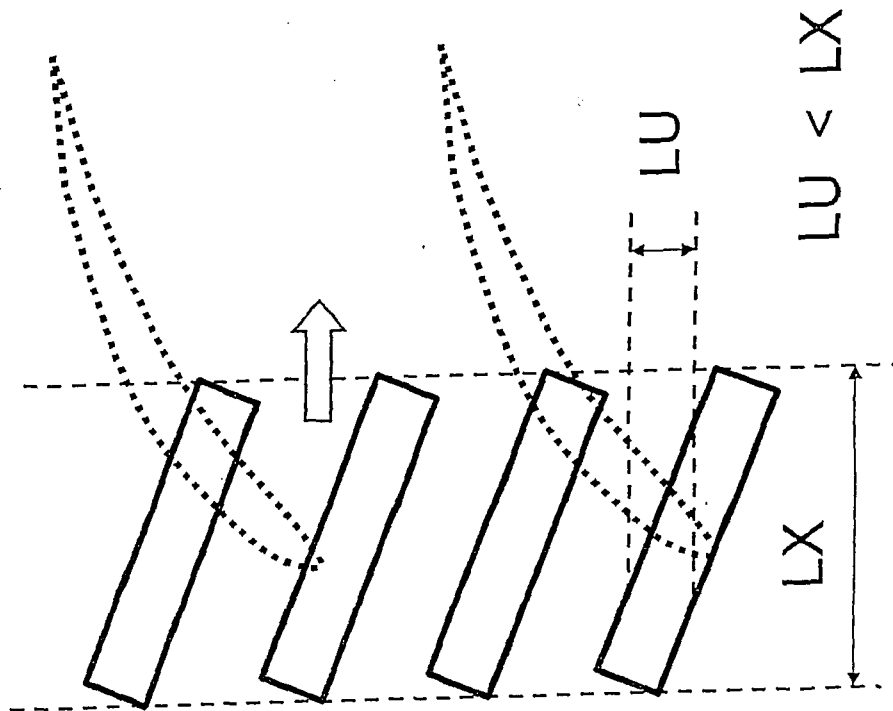
45

50

55

Fig. 1a: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Axiale Ansicht

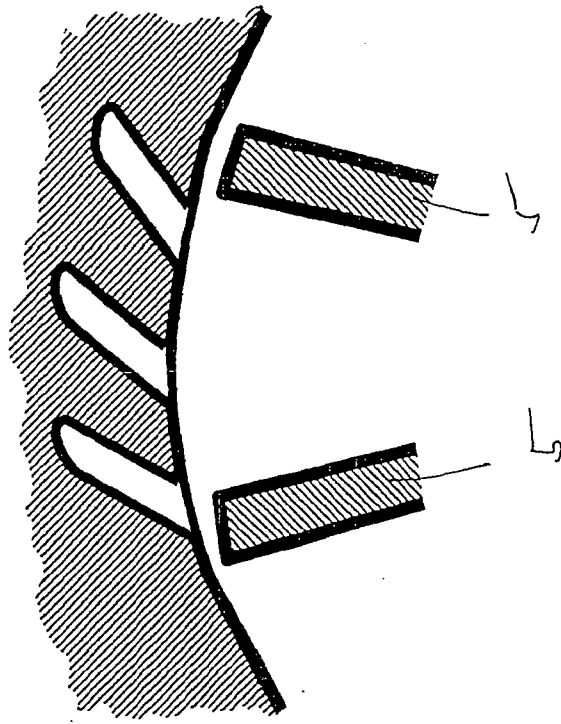
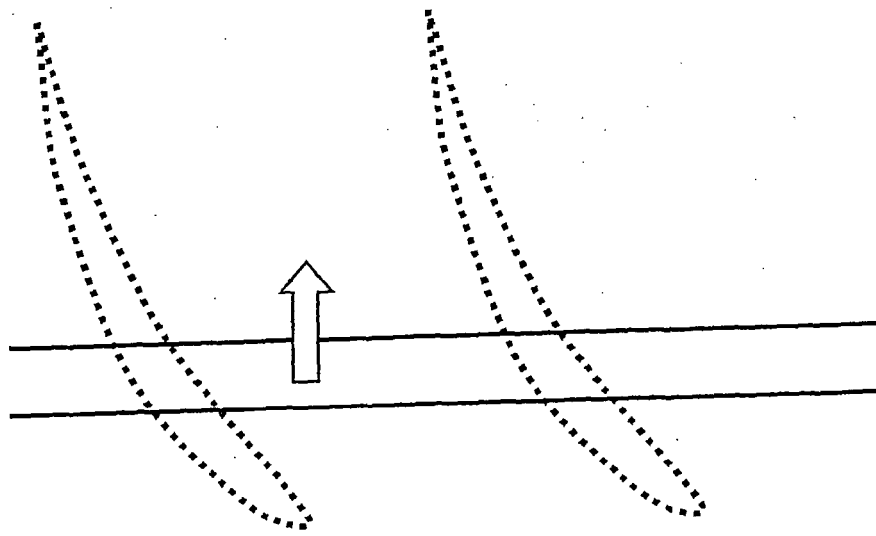


Fig. 1b: Stand der Technik

Abgewinkelte Ringkanalwandansicht



Meridianansicht

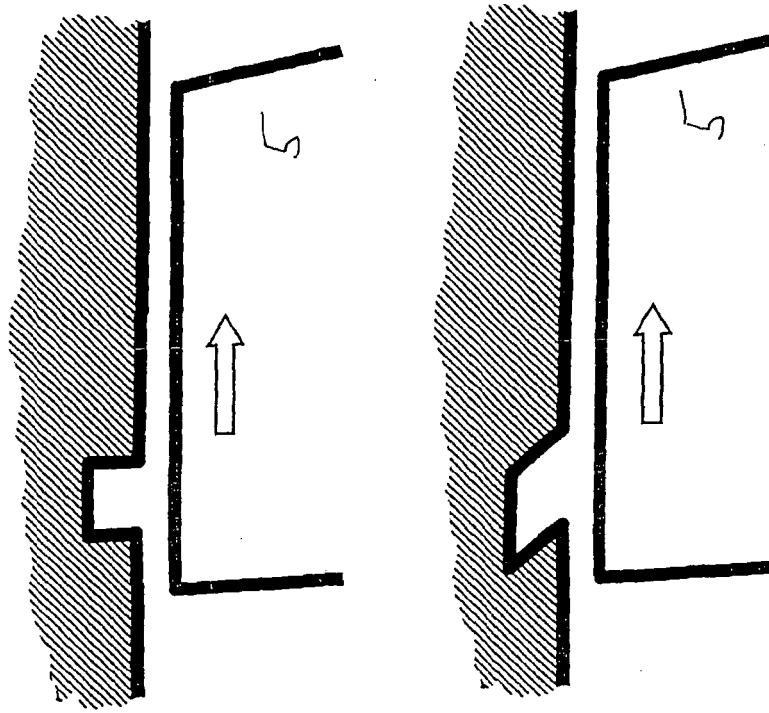


Fig. 2:

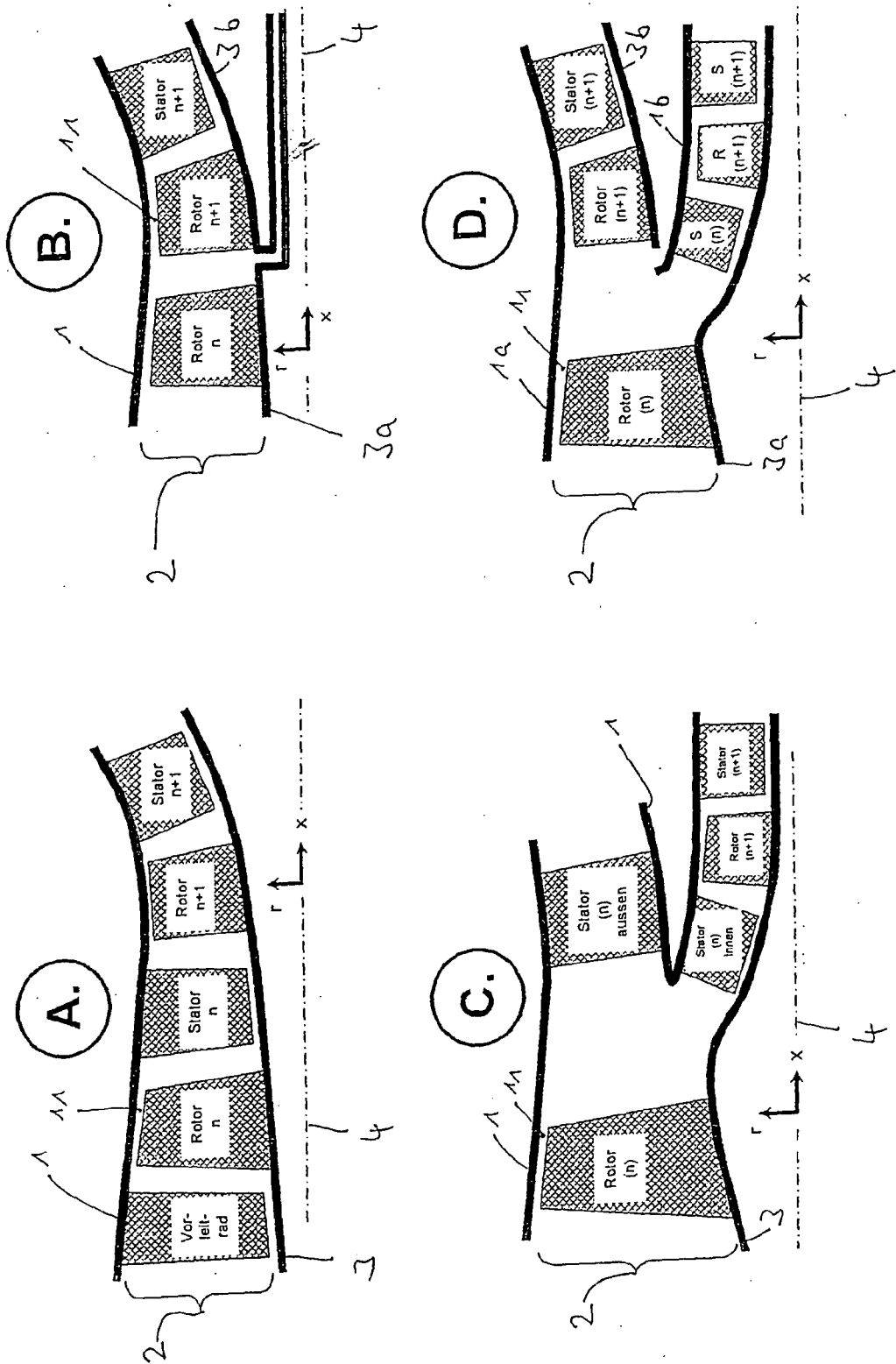
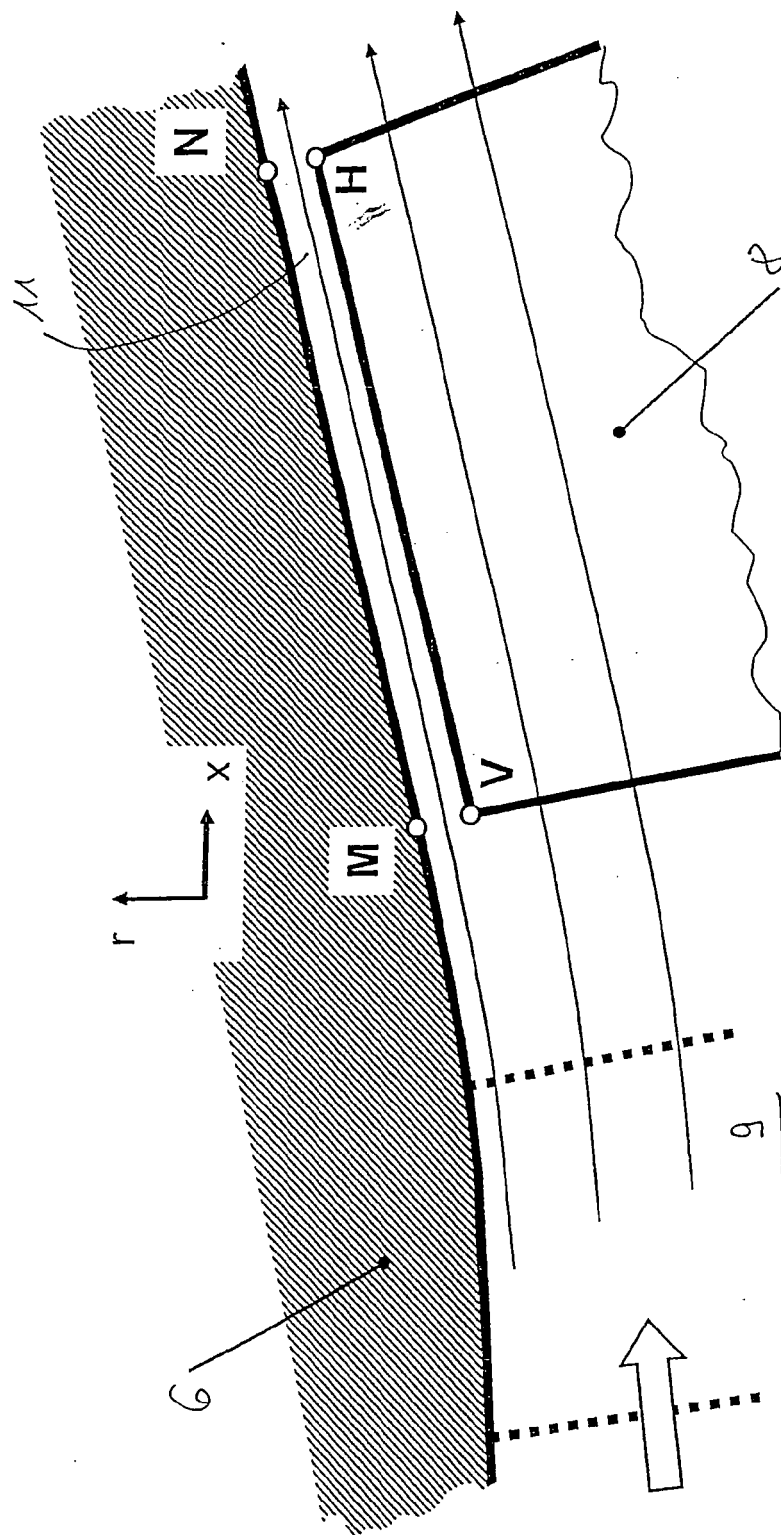


Fig. 3: Stand der Technik



11-12-45

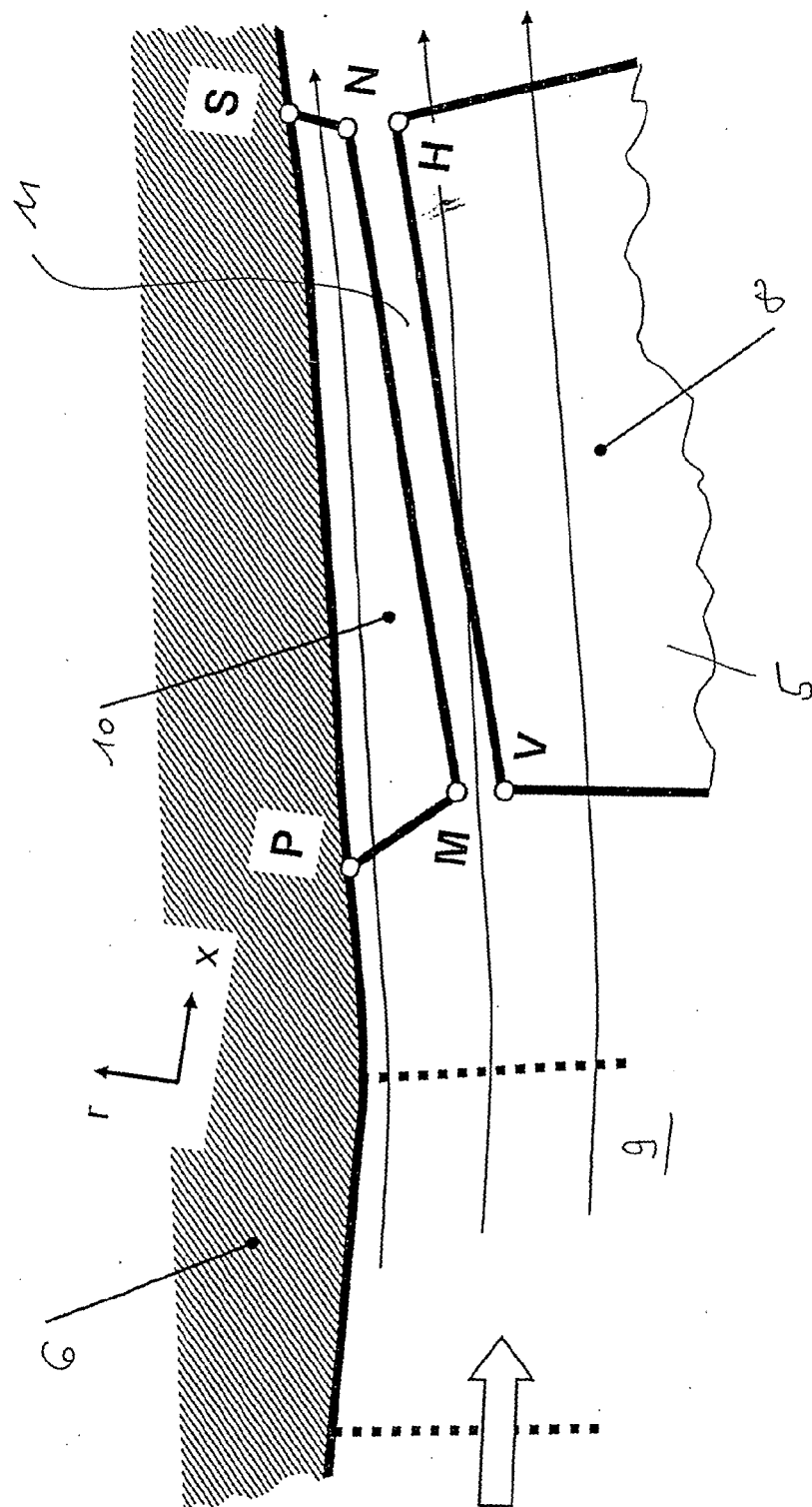


Fig. 4b:

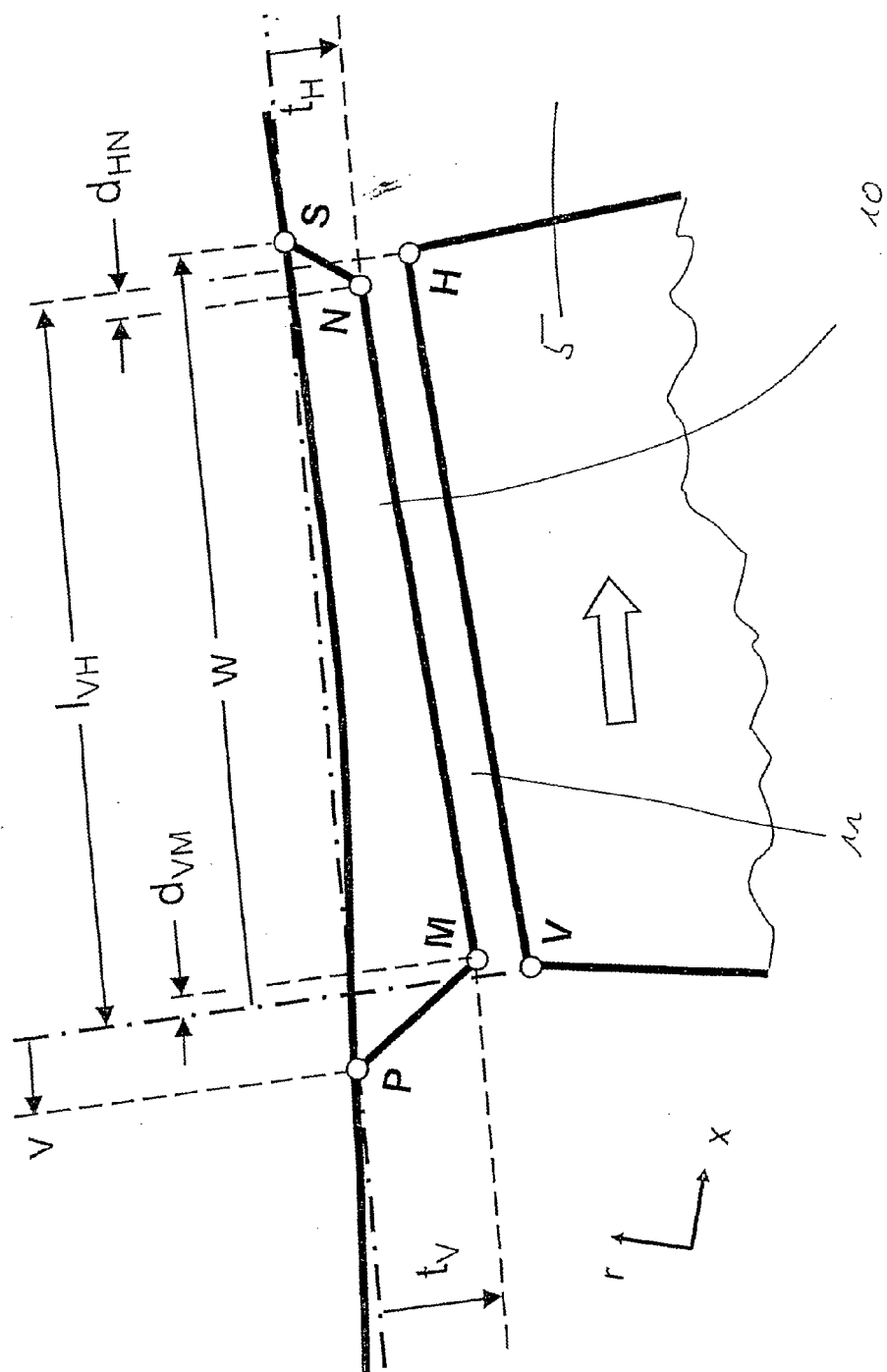


Fig. 5a:

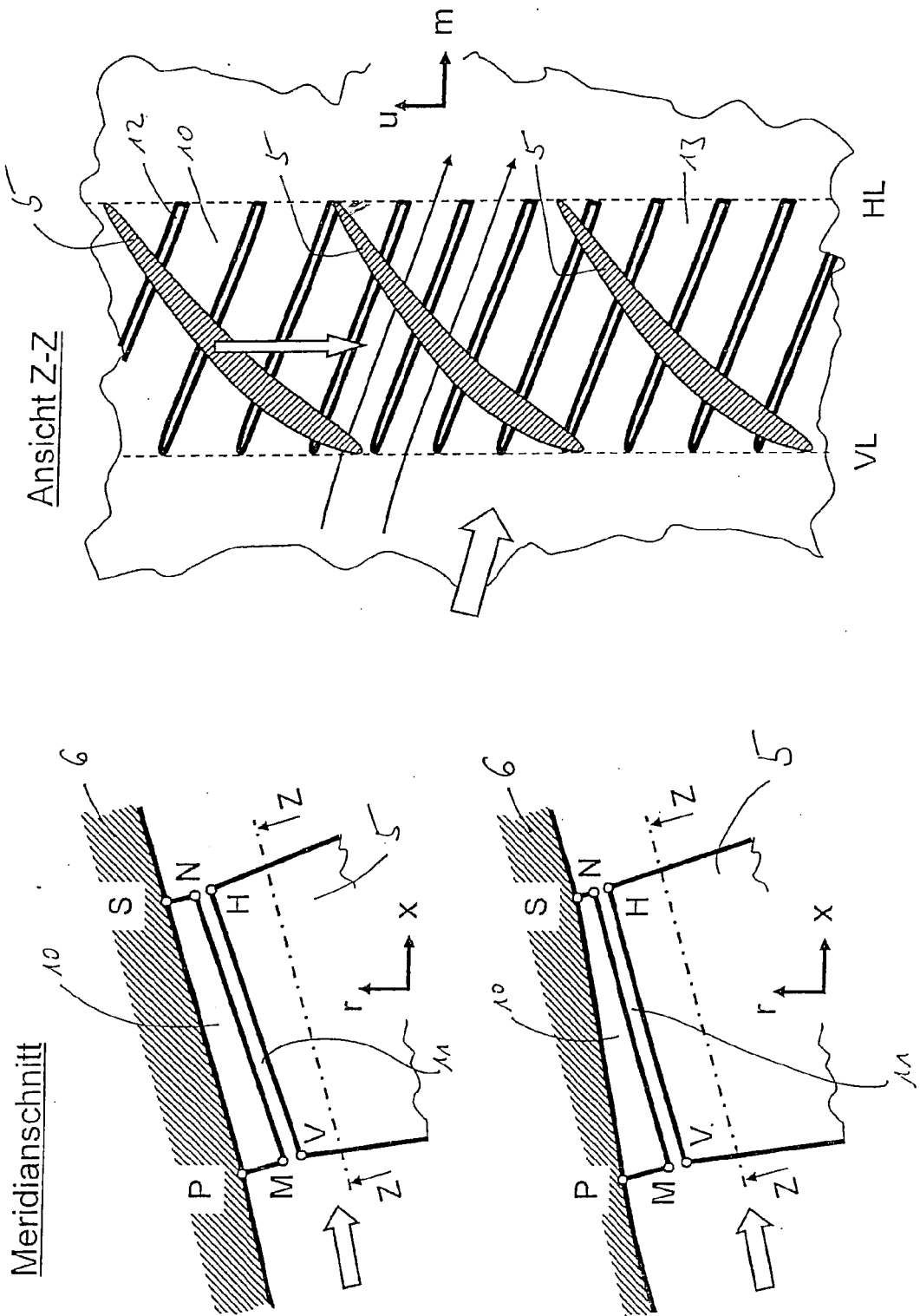


Fig. 5b:

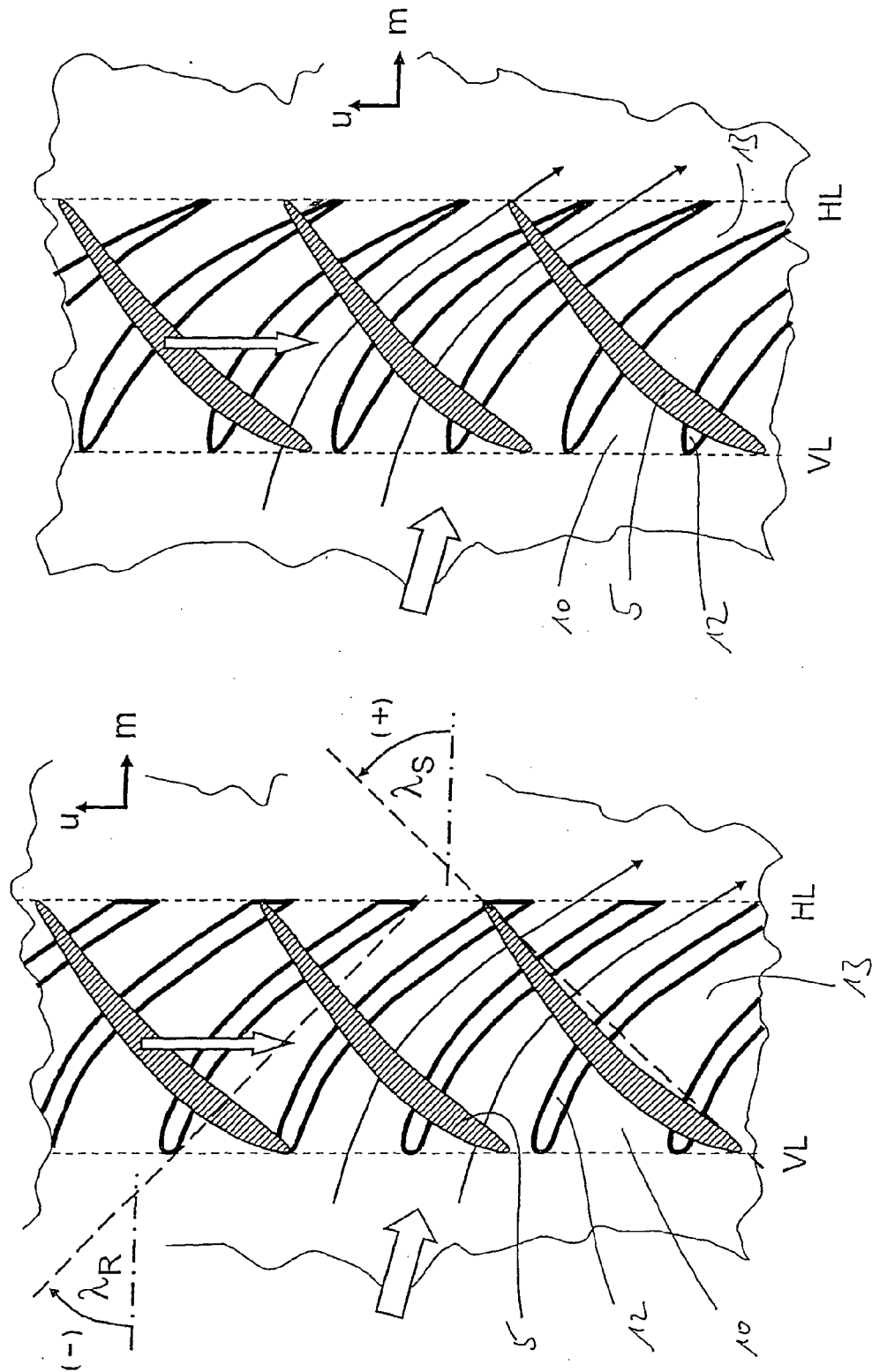


Fig. 6:

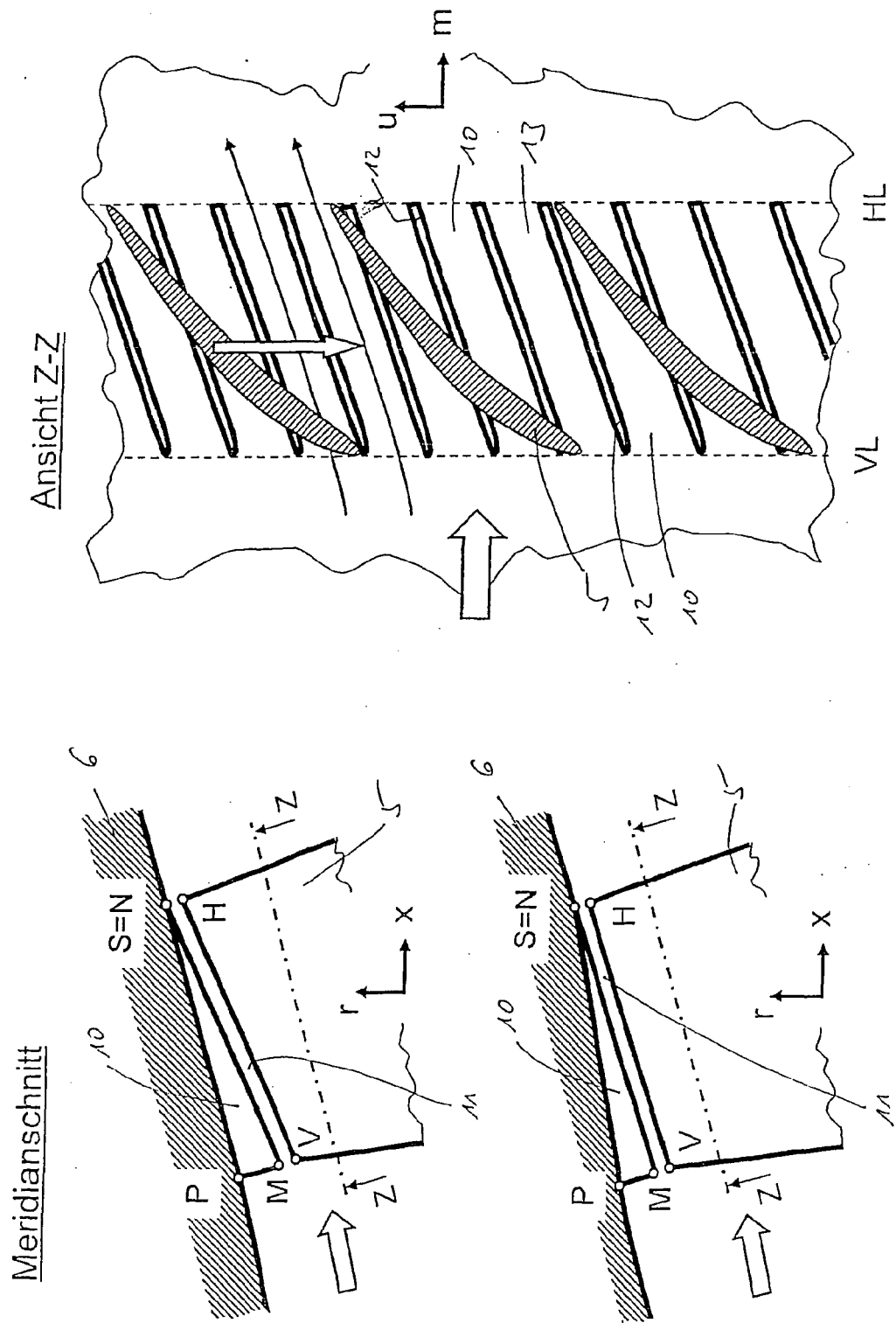


Fig. 7a:

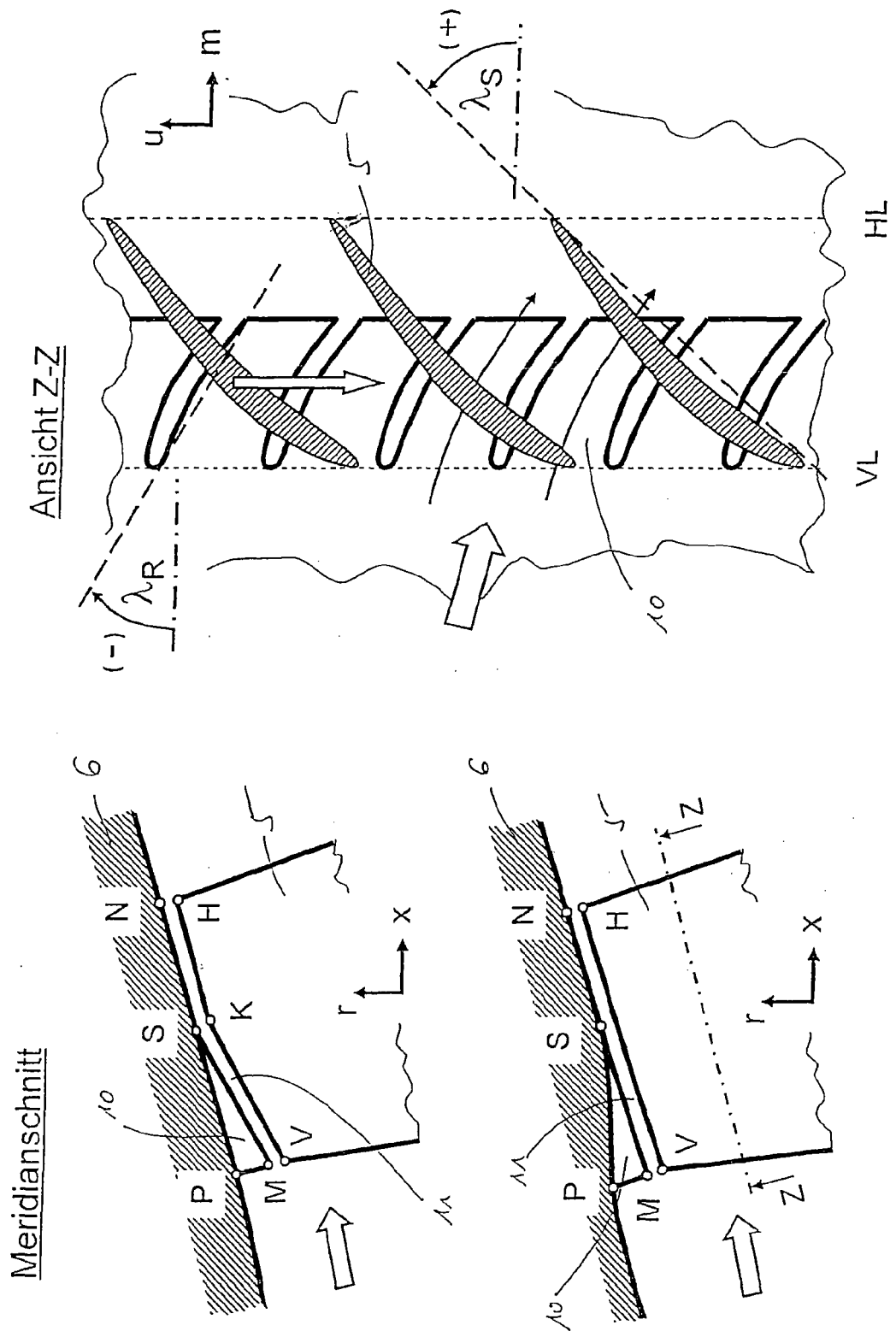


Fig. 7b:

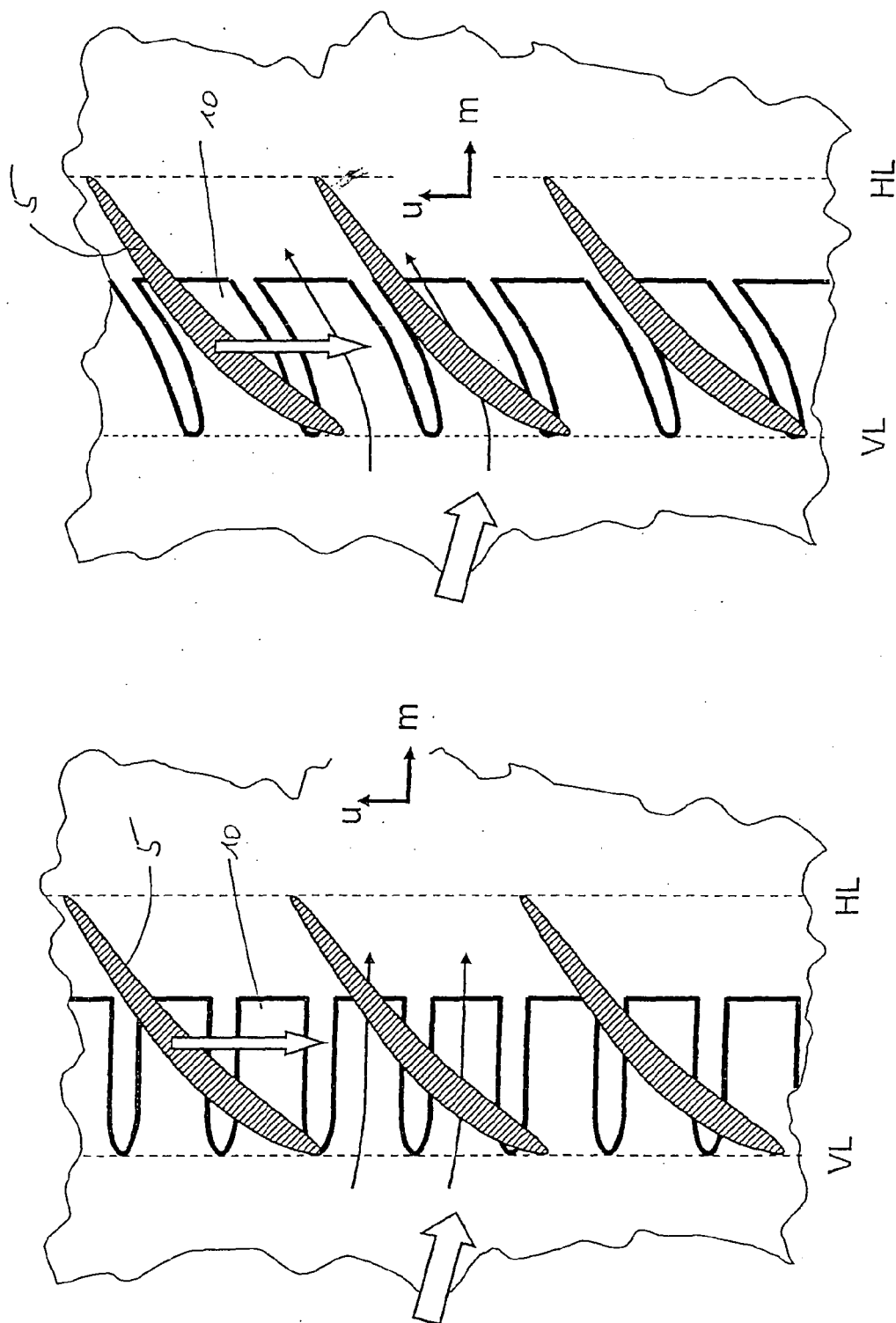


Fig. 7c:

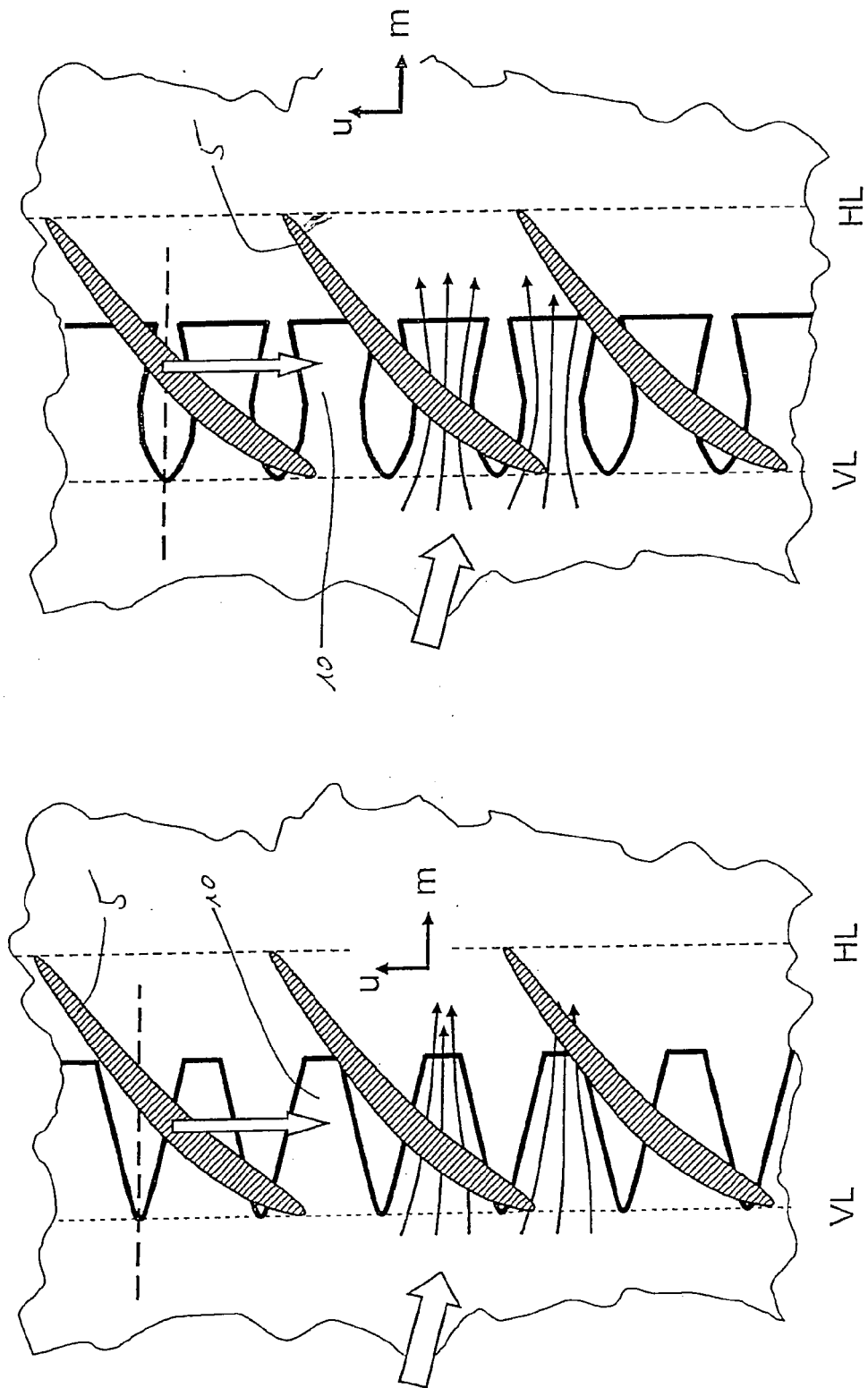


Fig. 8:

Meridianschnitt

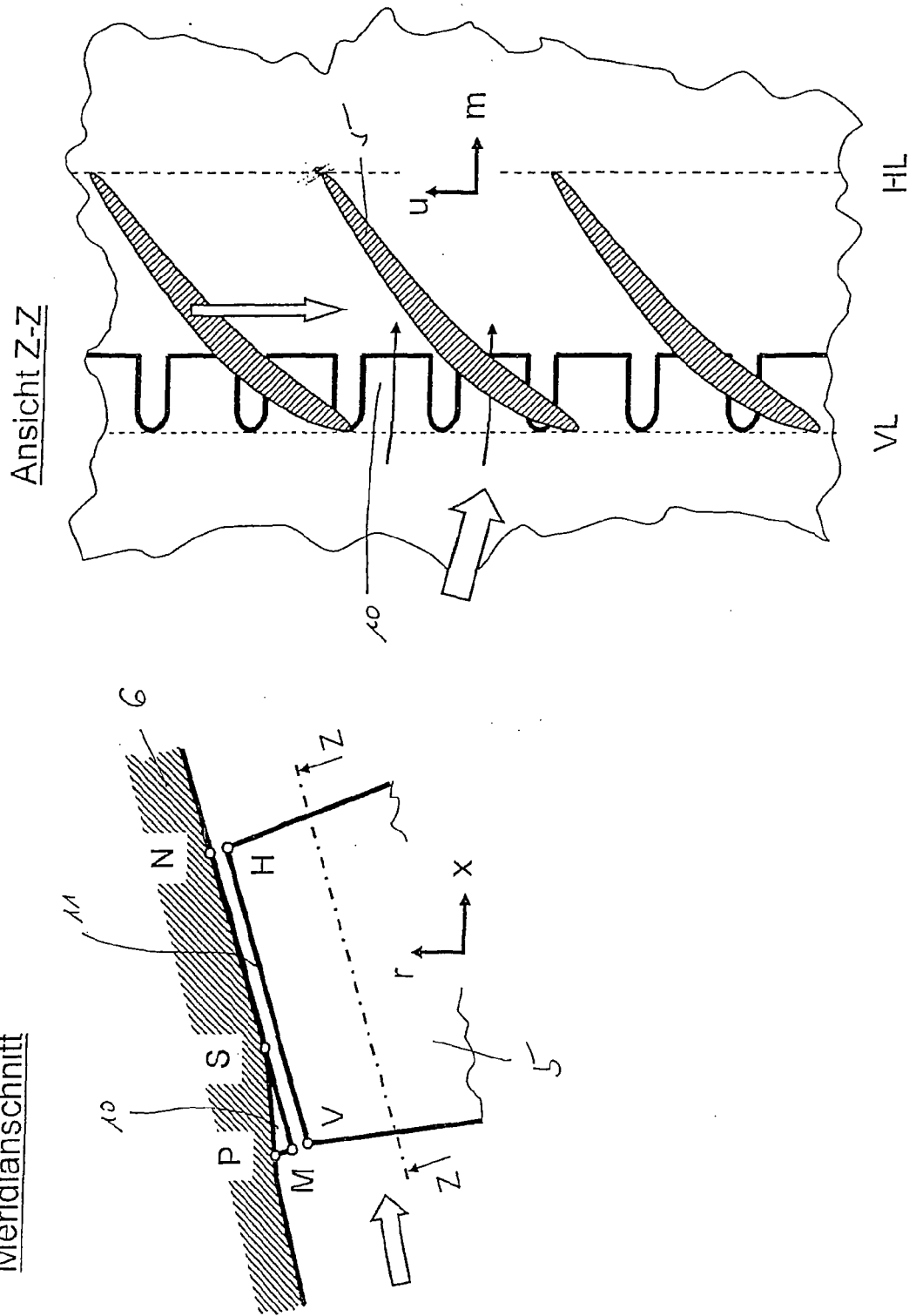


Fig. 9:

Meridianschnitt

Ansicht Z-

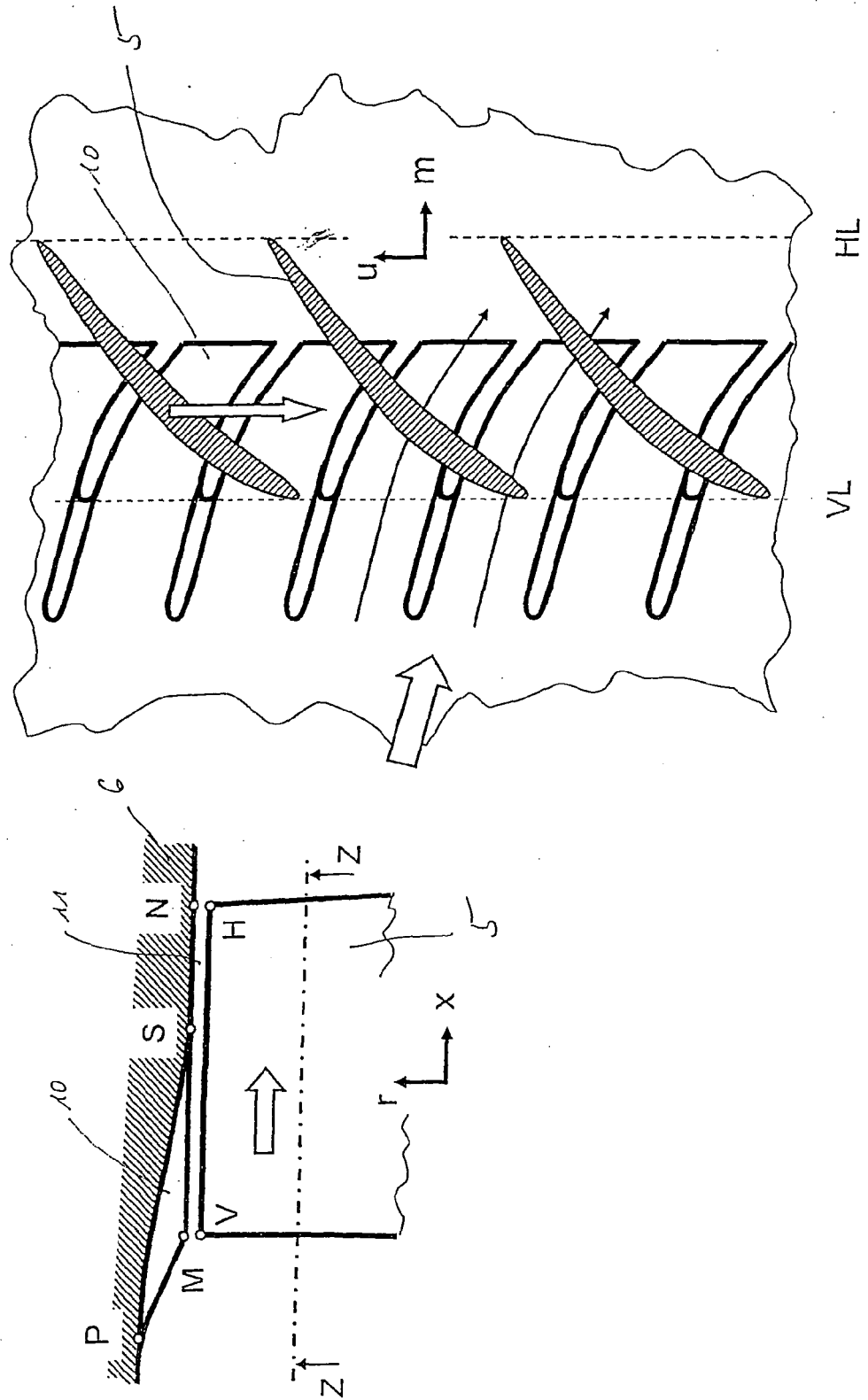


Fig. 10:

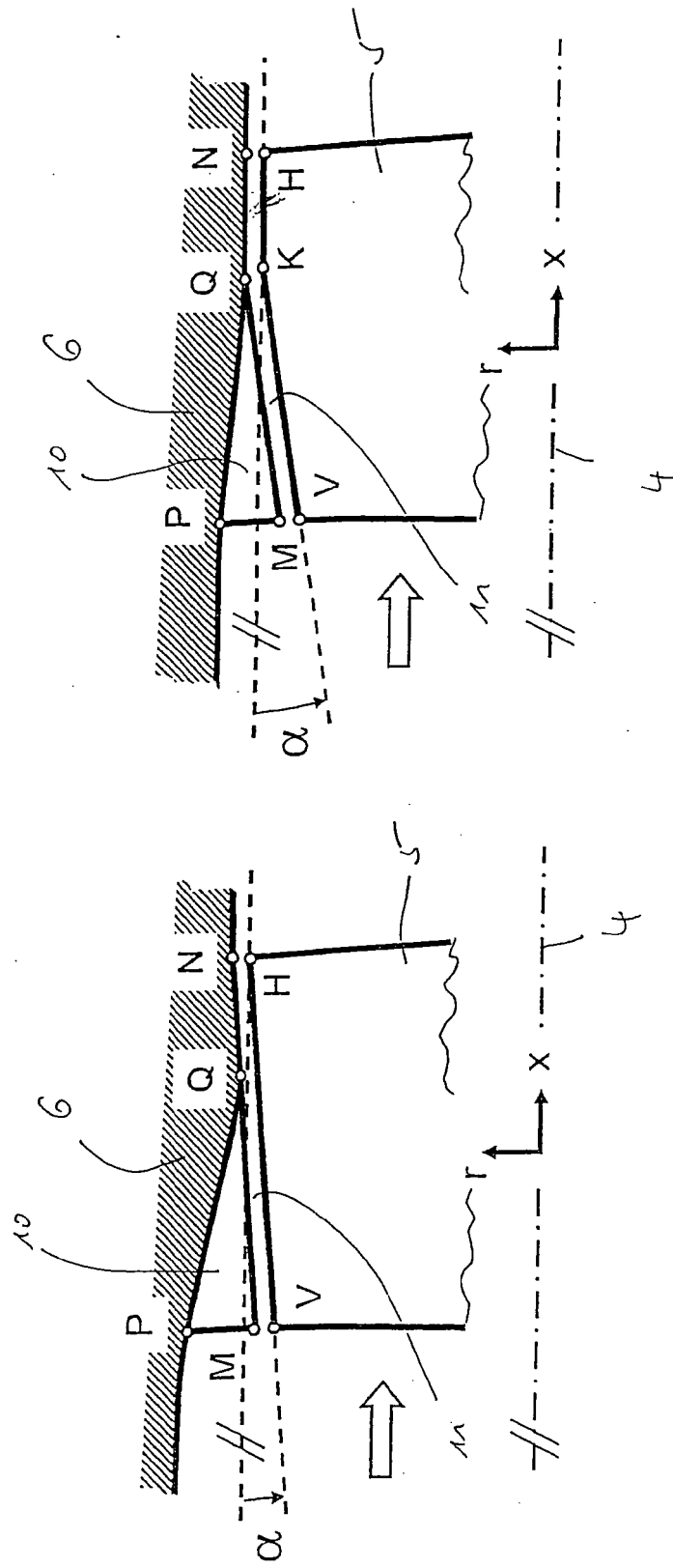


Fig. 11:

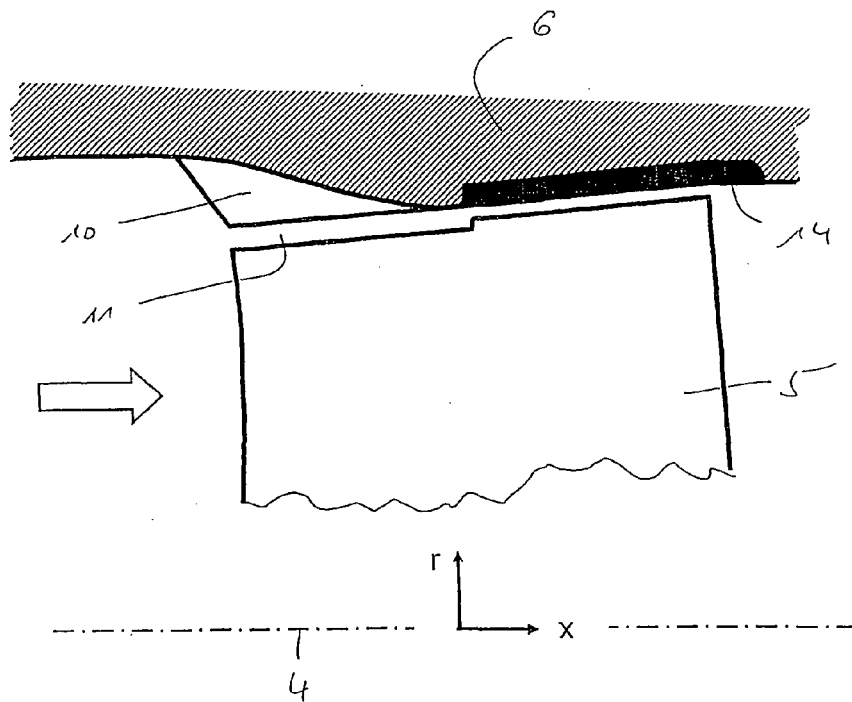
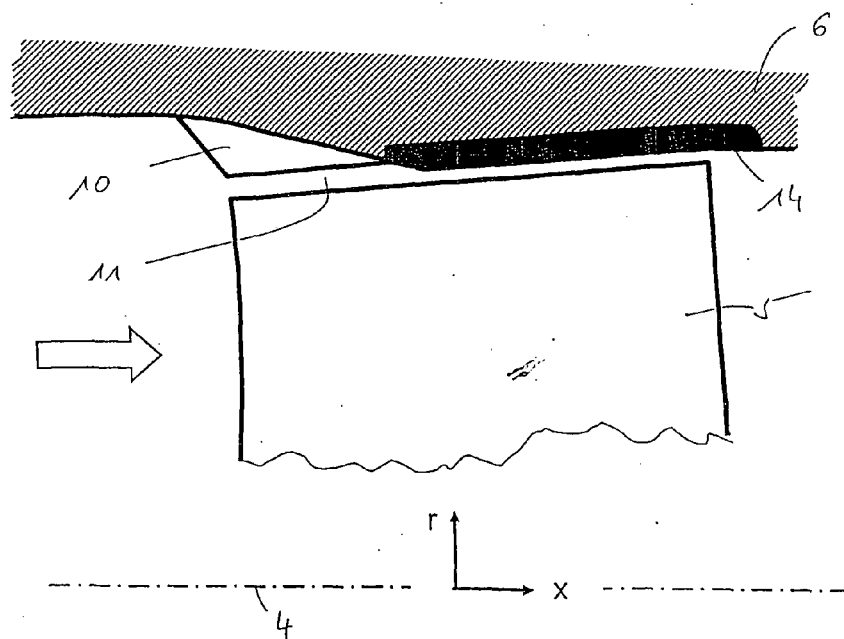


Fig. 12:



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 [0004]
- EP 0754864 A1 [0004]
- DE 10135003 C1 [0004]
- DE 10330084 A1 [0004]