(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 110 559 A2**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2009 Patentblatt 2009/43

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

(21) Anmeldenummer: **09003693.0**

(22) Anmeldetag: **13.03.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(30) Priorität: **18.04.2008 DE 102008019603**

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

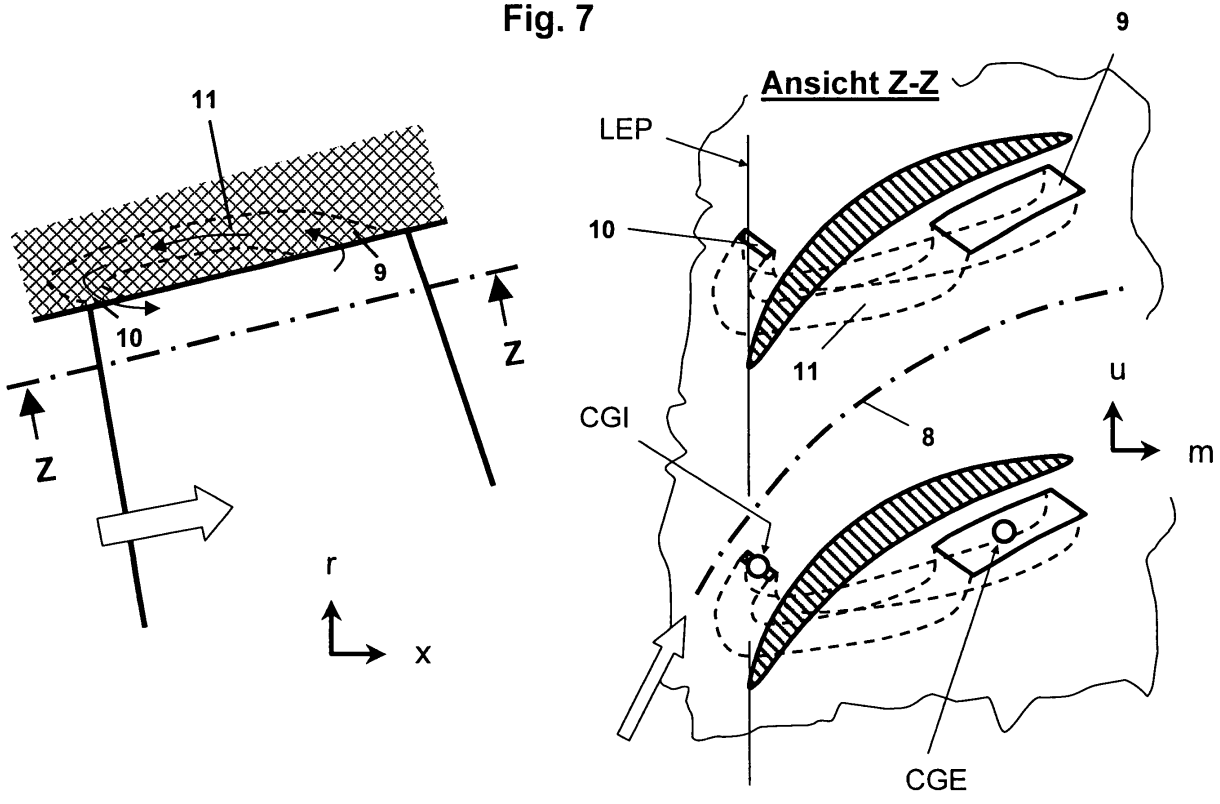
(72) Erfinder: **Gümmer, Volker, Dr.**
15831 Mahlow (DE)

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

(54) Strömungsmaschine mit Fluidrückfuhr zur Grenzschichtbeeinflussung

(57) Strömungsarbeitsmaschine mit einem Strömungspfad (2), welcher durch zumindest eine Wandung begrenzt wird, an welcher zumindest eine Reihe von Schaufeln (6, 7) mit fester Verbindung angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Wandung in einem Bereich einer Schaufelreihe (6, 7) zumindest eine Fluidentnahmeöffnung (9) und zumindest eine Fluidzufuhröffnung (10) angeordnet sind, welche durch zumindest einen Fluidrückführweg (11) verbunden sind, wobei die Erstreckung der Fluidzufuhröffnung (10) in Umfangsrichtung geringer als der Abstand zweier benachbarter Schaufeln ist.

Fig. 7



EP 2 110 559 A2

Beschreibung

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

[0002] Im Einzelnen bezieht sich die Erfindung auf eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem Strömungspfad, welcher durch zumindest eine Wandung begrenzt wird, an welcher zumindest eine Reihe von Schaufeln (Rotorschaufeln oder Statorschaufeln) angeordnet sind, wobei sich zwischen der Wandung und den Schaufeln keine Relativbewegung ergibt.

[0003] Die aerodynamische Belastbarkeit und die Effizienz von Strömungsarbeitsmaschinen, beispielsweise Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren, wird insbesondere durch das Wachstum und die Ablösung von Grenzschichten nahe der Gehäusewand begrenzt.

[0004] Der Stand der Technik hält für dieses fundamentale Problem nur bedingt Lösungen bereit. Es existieren zahlreiche Konzepte zur Fluidzufuhr an Turbinenschaufeln, die im wesentlichen der Oberflächenkühlung und nicht der Grenzschichtenergetisierung dienen.

[0005] Es existieren für Verdichter Konzepte zur Luftzufuhr an Nabe und Gehäuse durch achsensymmetrisch angeordnete Schlitze, um die dortigen Wandgrenzschichten zu beeinflussen. Die Luft wird dabei an oder innerhalb einer anderen stromab gelegenen Schaufelreihe entnommen und dann rückgeführt (DE 10 2004 030 597 A1 und EP 1 382 855 B1) oder aber von außen durch ein Hilfsaggregat zugeführt.

[0006] Der allgemeine Gedanke der Grenzschichtbeeinflussung durch Fluidrückführung ist somit im Stand der Technik enthalten, doch sind die bekannten Lösungen nur bedingt effektiv und in ihrer praktischen Anwendbarkeit sehr begrenzt. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass die im Seitenwandbereich von Strömungsarbeitsmaschinen auftretenden Grenzschichtströmungsphänomene sehr komplex sind.

[0007] Die vorliegende Erfindung bezieht sich somit auf Schaufeln von Strömungsarbeitsmaschinen wie Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren axialer, halbaxialer und radialer Bauart mit gasförmigem oder flüssigem Arbeitsmedium.

[0008] 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.

[0009] 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.

[0010] Der Stator besteht aus einer Anzahl feststehender Schaufeln, die nabenseitig wie gehäuseseitig mit festem oder freiem Schaufelende ausgeführt sein können. Die Rotortrommel und die Beschaufelung sind üblicherweise von einem Gehäuse umgeben, in anderen Fällen, z. B. bei Propellern oder Schiffsschrauben, existiert kein Gehäuse.

[0011] Die Maschine kann auch einen Stator vor dem ersten Rotor, ein sogenanntes Vorleitrad aufweisen. Mindestens ein Stator oder Vorleitrad kann -abweichend von der unbeweglichen Fixierungdrehbar gelagert sein, um den Anstellwinkel zu verändern. Eine Verstellung erfolgt beispielsweise durch eine von außerhalb des Ringkanals zugängliche Spindel. In besonderer Ausgestaltung kann die Strömungsarbeitsmaschine mindestens eine Reihe verstellbarer Rotoren aufweisen.

[0012] Alternativ kann die erfindungsgemäße Strömungsarbeitsmaschine bei Mehrstufigkeit zwei gegenläufige Wellen besitzen, so dass die Rotorschaufelreihen von Stufe zu Stufe die Drehrichtung wechseln. Hierbei existieren keine Statoren zwischen aufeinander folgenden Rotoren.

[0013] 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.

[0014] Erfindungsgemäß bezieht sich die Erfindung auf eine Strömungsarbeitsmaschine, mit welcher Arbeit auf das Strömungsmedium aufgebracht wird.

[0015] Wird das rückzuführende Fluid an einer Stelle der Strömungsarbeitsmaschine entnommen, die ein energetisch deutlich höheres Niveau aufweist, kommt es aufgrund einer mehrfache Zufuhr von Arbeit am gleichen Fluid zu Einbussen beim Wirkungsgrad. Zudem sind die Überführungswege bei der üblichen Rezirkulation von Fluid zwischen unterschiedlichen Schaufelreihen üblicherweise lang und verursachen so entsprechend hohe Druckverluste.

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsarbeitsmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit ein verbessertes Strömungsverhalten und einen erhöhten Wirkungsgrad aufweist.

[0017] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0018] Im Einzelnen betrifft die Erfindung somit eine schaufelreiheninterne, möglichst kurze Fluidrückführung bzw. einen Fluidrückführkanal durch die Seitenwand der betreffenden Schaufelreihe im Bereich eines Schaufelendes, ohne eine in Umfangsrichtung verlaufende Relativbewegung zwischen Schaufel und der den Hauptströmungspfad begrenzenden Seitenwand, wobei die Entnahmestelle im Bereich der Schaufelhinterkante oder der Schaufeldruckseite vorgesehen ist und die Zufuhrstelle Nähe zur Schaufelsaugseite aufweist.

[0019] Somit ist erfindungsgemäß eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem Strömungspfad, welcher durch zumindest eine Wandung begrenzt wird, an welcher zumindest eine Reihe von Schaufeln mit fester Verbindung

angeordnet ist vorgesehen. Dabei ist in der Wandung in einem Bereich einer Schaufelreihe zumindest eine Fluidentnahmeöffnung und zumindest eine Fluidzufuhröffnung angeordnet, welche durch zumindest einen Fluidrückführweg verbunden sind, wobei die Erstreckung der Fluidzufuhröffnung in Umfangsrichtung geringer als der Abstand zweier benachbarter Schaufeln ist.

[0020] Die erfindungsgemäße Fluidrückführung gewinnt insbesondere an Wirksamkeit wenn die Strömungsumlenkung der betreffenden Schaufelreihe ein hohes Maß von mehr als 35° annimmt.

[0021] Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, die Strömungsrückführung im Bereich einer Schaufel oder Schaufelreihe vorzunehmen. Hieraus ergeben sich kurze Strömungswege für die Fluidrückführung. Weiterhin kann durch die Berücksichtigung der Schaufelsaugseite und der Schaufeldruckseite gezielt eine Optimierung des Strömungsverhaltens erreicht werden.

[0022] Bei der erfindungsgemäßen Strömungsmaschine wird somit ein hohes Maß an raumsparender Randströmungsbeeinflussung erzielt, die eine bedeutende Reduzierung des Bau- und Kostenaufwandes ermöglicht. Je nach Ausnutzungsgrad des Konzeptes sind Verbesserungen des Wirkungsgrades bis zu 1% möglich.

[0023] In vorteilhaften Ausbildungen ist vorgesehen, dass

- der Flächenschwerpunkt der Fluidzufuhröffnung in Meridianströmugsrichtung betrachtet stromauf des Flächenschwerpunktes der Fluidentnahmeöffnung vorgesehen ist,

- die Fluidzufuhröffnung wenigstens teilweise stromab der Vorderkantenebene der Schaufelreihe vorgesehen ist,

- der Fluidrückführweg an einer Rotorschaufelreihe und/oder Statorschaufelreihe, bestehend aus einzelnen Schaufeln mit einer Schaufelplattform angeordnet ist, wobei die die Rotorschaufeln haltende Rotortrommel und/oder das die Statorschaufeln haltende Gehäuse und die Schaufelplattform mindestens einen neben dem Hauptströmungspfad angeordneten Hohlraum bilden und in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidzufuhröffnung vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad verbindet,

- in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidentnahmeöffnung vorgesehen ist, welche den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,

- zwischen mindestens einer Schaufelplattform und der Rotortrommel (3) und/oder dem Gehäuse mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad (2) mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,

- zumindest eine Schaufel der Schaufelreihe (6, 7) um eine Schaufelverdrehachse verstellbar ist, wobei im Gehäuse und/oder der Rotortrommel (3) mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneter und von der Schaufelverdrehachse durchdrungener Hohlraum ausgebildet ist, wobei in mindestens einer Schaufelpassage mindestens eine Fluidzuführöffnung (10) und/oder mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen sind, um Hauptströmungspfad (2) und Hohlraum zu verbinden,

- die Wandung teilweise durch ein Innendeckband einer Schaufelreihe (6, 7) gebildet ist, wobei im Innendeckband mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneter Hohlraum ausgebildet ist, und wobei in mindestens einer Schaufelpassage mindestens eine Fluidzuführöffnung (10) und/oder mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen sind, um Hauptströmungspfad (2) und Hohlraum zu verbinden,

- mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) eine in den Hauptströmungspfad (2) vorstehende gekrümmte Düse umfasst,

- mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) einen in den Hauptströmungspfad vorstehenden gekrümmten Staueinlauf umfasst.

[0024] Erfindungsgemäß ist es besonders vorteilhaft, wenn bei einer Strömungsarbeitsmaschine mit mindestens einer Reihe von Rotor-oder Statorschaufeln und einer durch eine Gehäuse- oder eine Nabenkontur des Hauptströmungspfades der Strömungsarbeitsmaschine gebildete Seitenwand:

a.) die Seitenwand an mindestens eine der Schaufelreihen derart angrenzt, dass zwischen der Seitenwand und den Schaufelenden der Schaufelreihe in Umfangsrichtung keine Relativbewegung vorgesehen ist,

b.) in der Seitenwand im Bereich mindestens eines der Schaufelenden ohne Relativbewegung zwischen Schaufel und Seitenwand Mittel zur schaufelreiheninternen Fluidrückführung vorgesehen sind,

c.) besagte Mittel der schaufelreiheninternen Fluidrückführung mindestens eine Fluidentnahmeöffnung innerhalb einer im Wesentlichen an der Schaufeldruckseite konzentrierten Zone der Seitenwand, mindestens eine Zufuhröffnung innerhalb einer im Wesentlichen an der Schaufelsaugseite konzentrierten Zone der Seitenwand und mindestens einen Fluidrückführweg in der Seitenwand umfassen, wobei der Fluidrückführweg mindestens eine Entnah-

meöffnung mit mindestens einer Zufuhröffnung verbindet,

d.) vorgesehene Fluidzufuhröffnungen nur an einen Teil des Umfangs der Strömungarbeitsmaschine angeordnet sind,

insbesondere, wenn

- die mit Mittel zur Fluidrückführung versehene Schaufelreihe in mindestens einem ihrer Schaufelschnitte eine Profilwölbung, d.h., einen Winkelunterschied der an die Profilskelettlinie an der Vorder- und Hinterkante angelegten Tangenten, von mindestens 35° besitzt,
- mindestens eine Fluidentnahmeöffnung innerhalb der umfassenden Entnahmezone EA1 vorgesehen ist,
- mindestens eine Fluidzufuhröffnung innerhalb der umfassenden Zufuhrzone IA1 vorgesehen ist,
- mindestens eine Fluidentnahmeöffnung innerhalb der eingeschränkten Entnahmezone EA2 vorgesehen ist,
- mindestens eine Fluidzufuhröffnung innerhalb der eingeschränkten Zufuhrzone IA2 vorgesehen ist,
- die in einer Schaufelpassage vorgesehenen Fluidentnahmeöffnungen und Fluidzufuhröffnungen auf unterschiedlichen Seiten der Schaufelpassagenmittellinie angeordnet sind,
- mindestens ein Fluidrückführweg mindestens eine Entnahmeöffnung mit einer Zufuhröffnung in einer anderen Schaufelpassage verbindet,
- mindestens ein Fluidrückführweg mindestens eine Entnahmeöffnung mit einer Zufuhröffnung in der selben Schaufelpassage verbindet,
- die Fluidrückführung an einer Rotorschaufelreihe, bestehend aus einzelnen Schaufeln mit Schaufelplattform und Umfangsfuß, vorgesehen ist, wobei die die Rotorschaufeln haltende Rotortrommel und die Rotorschaufelplattformen mindestens einen neben dem Hauptströmungspfad angeordneten Hohlraum bilden und in mindestens einer Rotorschaufelplattform mindestens eine Zufuhröffnung vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad verbindet,
- in mindestens einer Rotorschaufelplattform mindestens eine Entnahmeöffnung ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- zwischen mindestens einer Rotorschaufelplattform und der Rotortrommel mindestens eine Entnahmeöffnung ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- die Fluidrückführung an einer Statorschaufelreihe, bestehend aus einzelnen Schaufel mit Schaufelplattform und Umfangsfuß, vorgesehen ist, das die Statorschaufeln haltende Gehäuse und die Statorschaufelplattformen mindestens einen neben dem Hauptströmungspfad angeordneten Hohlraum bilden und in mindestens einer Statorschaufelplattform mindestens eine Zufuhröffnung vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad verbindet,
- in mindestens einer Statorschaufelplattform mindestens eine Entnahmeöffnung ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- zwischen mindestens einer Statorschaufelplattform und dem Gehäuse mindestens eine Entnahmeöffnung ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- die Fluidrückführung am äußeren Ende einer Statorschaufelreihe mit im Gehäuse verdrehbar gelagerten Schaufeln vorgesehen ist, im Gehäuse mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad angeordneter und von der Schaufelverdrehachse durchdrungener Hohlraum ausgebildet ist, in mindestens einer Statorschaufelpassage mindestens eine Zufuhröffnung vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad verbindet, und in mindestens einer Statorschaufelpassage mindestens eine Entnahmeöffnung vorgesehen ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- die Fluidrückführung am Innendeckband einer Statorschaufelreihe mit festen oder auch verdrehbar gelagerten Schaufeln vorgesehen ist, im Innendeckband mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad angeordneter Hohlraum ausgebildet ist, in mindestens einer Statorschaufelpassage mindestens eine Zufuhröffnung vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad verbindet, und in mindestens einer Statorschaufelpassage mindestens eine Entnahmeöffnung vorgesehen ist, die den Hauptströmungspfad mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet,
- mindestens eine Zufuhröffnung eine im Wesentlichen tangential entlang der Seitenwand gerichteten Fluidstrahl erzeugt,
- mindestens eine Zufuhröffnung die Form einer mit

der Oberfläche bündigen oder auch in den in den Hauptströmungspfad vorstehenden, idealerweise in ihrem Verlauf gekrümmten Düse aufweist,

- mindestens eine Entnahmeöffnung die Form eines in den Hauptströmungspfad vorstehenden, idealerweise in seinem Verlauf gekrümmten Staueinlaufes aufweist,
- mindestens ein Fluidrückführweg zur Aufteilung des rezirkulierten Fluid auf mehrere Zufuhröffnungen mindestens eine Verzweigung aufweist,
- mindestens ein Fluidrückführweg wenigstens in einem Teil seines Verlaufs eine in Strömungsrichtung kontinuierlich kontrahierenden Querschnitt aufweist,
- die Summe der Querschnittsflächen aller Entnahmeöffnungen größer ist als die Summe der Querschnittsflächen aller Zufuhröffnungen.

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1: eine Skizze einer Strömungsarbeitsmaschine am Beispiel eines Verdichters;

Fig. 2: den Stand der Technik mit Rückführung von Schaufelreihe zu Schaufelreihe;

Fig. 3: den Stand der Technik mit Gehäusestrukturierung (Casing Treatment);

Fig. 4: eine erfindungsgemäße Entnahmezone bei Seitenwand-Fluidrückführung;

Fig. 5: eine erfindungsgemäße Zufuhrzone bei Seitenwand-Fluidrückführung;

Fig. 6: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung am festen Schaufelende, innerhalb einer Schaufelpassage via Einzelöffnungen;

Fig. 7: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung am festen Schaufelende, von Schaufelpassage zu Schaufelpassage via Einzelöffnungen;

Fig. 8: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung am festen Schaufelende, von Austritt zu Schaufelpassage via Einzelöffnungen;

Fig. 9: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung am festen Schaufelende, von Austritt zu Schaufelpassage via Umfangskammer;

Fig. 10: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am Beispiel eines Rotors mit Plattform und Umfangsfuß;

Fig. 11: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am Beispiel eines Stators mit Plattform und Umfangsfuß;

Fig. 12: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am Beispiel eines Stators mit Plattform und Umfangsfuß, Variante mit Entnahme via Staueinlauf;

Fig. 13: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am Beispiel eines Stators mit Nabendeckband, Variante mit Entnahme via Staueinlauf;

Fig. 14: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am verdrehbar gelagerten Schaufelende, von Schaufelpassage zu Schaufelpassage via Einzelöffnungen; und

Fig. 15: eine erfindungsgemäße Fluidrückführung, am Beispiel eines Verstellstators.

[0026] Die Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Strömungsarbeitmaschine in der Meridianansicht, hier das Beispiel eines Verdichters, bestehend aus einem Ringkanal 2, der innen durch eine Nabenkontur 3 und außen durch eine Gehäusekontur 1 begrenzt wird, und mit einer Anzahl von Rotorschaufelreihen 6 und Statorschaufelreihen 7 innerhalb des Ringkanals 2 bzw. Hauptströmungspfades ausgestattet ist. Zwischen den Schaufelreihen 6, 7 existieren beschaufelungsfreie Räume. Wie durch den großen Pfeil dargestellt, wird die Strömungsmaschine von links anströmt. Die erfindungsgemäße Fluidrückführung bezieht sich auf alle Bereiche der Seitenwände (Nabe 3 oder Gehäuse 1), in denen ein Schaufelende ohne eine Relativbewegung zwischen Schaufelreihe und angrenzender Seitenwand vorgesehen ist, siehe markierte Bereiche.

[0027] Die Fig. 2 zeigt unterschiedliche Arten der Fluidrezirkulation nach dem Stand der Technik, von Schaufelreihe zu Schaufelreihe, gegebenenfalls zwischen Schaufelreihen gleichen oder unterschiedlichen Typs (Rotor 6 oder Stator 7).

[0028] Die Fig. 3 zeigt schematisch eine weitere Kategorie von Fluidrückführungen nach dem Stand der Technik. Diese beziehen sich sämtlichst auf Anordnungen von Rotoren 6 mit Radialspalt und Relativbewegung zwischen Rotor 6 und dem umgebenden Gehäuse 1. Hier wird Luft von einem Ort über dem Rotor 6 zu einem nahe der Rotorvorderkante gelegenen Ort rezirkuliert.

[0029] Die Fig. 4 zeigt auf der linken Seite den Bereich eines Schaufelendes ohne eine in Umfangsrichtung verlaufende Relativbewegung zwischen Schaufel und der den Hauptströmungspfad begrenzenden Seitenwand. Die erfindungsgemäße Fluidrückführung sieht die Entnahme und die Zufuhr des Fluids in festgelegten Zonen der Seitenwand im Bereich der betreffenden selben

Schaufelreihe vor. Die rechte Seite der Fig. 4 zeigt die Ansicht Z-Z, das heißt einen Schnitt durch die Schaufelreihe mit Blick auf die Seitenwand und die zwischen zwei Schaufeln befindliche Schaufelpassage in einer durch die Umfangsrichtung u und die Meridionalrichtung m aufgespannten Ebene. Die Anströmung der Schaufelreihe erfolgt von links. Hier sind zwei Fluidentnahmezonen definiert, die beide im Wesentlichen an die Profildruckseite gestützt sind: eine umfassende Entnahmezone EA1, in der eine Entnahme vorteilhaft ist und eine innerhalb von EA1 befindliche weiter eingeschränkte Entnahmezone EA2, in der eine Entnahme besonders günstig ist.

[0030] Die umfassende Entnahmezone EA1 wird begrenzt durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem auf der Profilsaugseite um den Betrag 0,5*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Punkt A und dem gegenüberliegenden Profilvorderkantenpunkt L; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;

b.) die Profildruckseite PS;

c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Hinterkantenpunkt T1 und dem von ihm in Meridionalströmungsrichtung stromab um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt B;

d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt B und dem von ihm bei gleicher Meridionalkoordinate, aber in Umfangsrichtung und in Richtung der benachbarten Saugseite um die Schaufelteilung SO versetzt gelegenen Punkt C;

e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt C und dem bei dieser Meridionalkoordinate befindlichen Hinterkantenpunkt T2;

f.) den hinteren Teil der Profilsaugseite SS zwischen dem Hinterkantenpunkt T2 und dem Punkt A.

[0031] Die eingeschränkte Entnahmezone EA2 wird begrenzt durch:

a.) einen Teil der Profildruckseite im Bereich zwischen der Hinterkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Ebene;

b.) eine geradlinige Verbindung zwischen den Punkten D und E, wobei der Punkt D in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,35*SO von der Druckseite PS entfernt liegt und der Punkt E in der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,5*SO von der Druckseite PS entfernt liegt;

c.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt D zur Profildruckseite PS;

d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt E zur Hinterkantenpunkt T1.

[0032] Die Fig. 5 zeigt wie Fig. 4 auf der linken Seite den Bereich eines Schaufelendes ohne eine in Umfangsrichtung verlaufende Relativbewegung zwischen Schaufel und der den Hauptströmungspfad begrenzenden Seitenwand. Die rechte Seite der Fig. 5 zeigt die Ansicht Z-Z, d. h. die Schaufelpassage in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridionalrichtung m aufgespannten Ebene, nun mit zwei Fluidzufuhrzonen, die beide im Wesentlichen an die Profilsaugseite gestützt sind: eine umfassende Zufuhrzone IA1, in der eine Zufuhr vorteilhaft ist und eine innerhalb von IA1 befindliche weiter eingeschränkte Zufuhrzone IA2, in der eine Zufuhr besonders günstig ist.

[0033] Die umfassende Zufuhrzone IA1 wird begrenzt durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;

b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem in meridionaler Richtung um den Betrag 0,3*CM stromauf des Vorderkantenpunktes L2 liegenden Punkt G;

c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt G und dem Vorderkantenpunkt L2;

d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L2 und dem Punkt H, der sich in der Hinterkantenebene in einer Entfernung 0,6*SO von der gegenüberliegenden Profilsaugseite befindet;

e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt H und dem Hinterkantenpunkt T;

f.) die Profilsaugseite SS.

[0034] Die eingeschränkte Zufuhrzone IA2 wird begrenzt durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;

b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem bei selber Meridionalkoordinate befindlichen und in Umfangsrichtung um 0,6*SO von F ent-

fernt liegenden Punkt I;

c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt I und dem um 0,7*CM stromab von der Vorderkantenebene und relativ zum Hinterkantenpunkt T um 0,4*SO in Umfangsrichtung zur benachbarten Profildruckseite hin versetzt angeordneten Punkt J;

d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt J zur Profilsaugseite;

e.) einen Teil der Profilsaugseite im Bereich zwischen der Vorderkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,7*CM stromab der Vorderkantenebene gelegenen Ebene.

[0035] Die Fig. 6 zeigt eine erfindungsgemäße schaufelreiheninterne Fluidrückführung. Die linke Bildseite zeigt die Anordnung in der Meridionalebene, aufgespannt durch die Axialkoordinate x und die Radialkoordinate r. Im Bereich der Seitenwand der dargestellten Schaufelreihe ist ein Strömungsweg vorgesehen, der eine Fluidrückführung von einer Einzelöffnung in der erfindungsgemäßen Entnahmezone zu einer Einzelöffnung in der erfindungsgemäßen Zufuhrzone ermöglicht. Der Rückführströmungsweg ist gestrichelt dargestellt, da er sich über einen Bereich des Umfangs erstreckt, der in dieser Ansicht nicht vollständig darstellbar ist. Weitere Merkmale der Fluidrückführung zeigt der rechte Bildteil. Dort ist die Anordnung in der Ansicht Z-Z gezeigt. Fluid kann vom Hauptströmungspfad der Strömungsarbeitsmaschine in eine Öffnung in der Nähe der Profildruckseite einer Schaufel eintreten, wird durch einen Strömungskanal in die Nähe der Profilsaugseite der benachbarten Schaufel geführt und dort im Wesentlichen tangential zur Seitenwand dem Hauptströmungspfad zugeführt. Dabei ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, dass die Entnahmeöffnung eine größere Querschnittsfläche als die Zufuhröffnung aufweist und auf diese Weise eine stetige Kontraktion des Rückführströmungsweges möglich ist.

[0036] Die erfindungsgemäße Lösung mit einer einzigen Zufuhröffnung ist mit dicken Linien gezeigt, jedoch kann, wie mit dünnen, gepunkteten Linien angedeutet, auch mindestens eine Verzweigung des Rückführströmungsweges zur Versorgung mindestens einer weiteren Zufuhröffnung existieren, wobei alle Zufuhröffnungen in der erfindungsgemäßen Zufuhrzone vorgesehen sind.

[0037] In Fig. 7 ist eine alternative erfindungsgemäße Lösung für die Fluidrückführung dargestellt. Hier tritt Fluid vom Hauptströmungspfad der Strömungsarbeitsmaschine in eine Öffnung in der Nähe der Profildruckseite einer Schaufel ein, wird durch einen Strömungskanal in die Nähe der Profilsaugseite derselben Schaufel geführt und dort im Wesentlichen tangential zur Seitenwand dem Hauptströmungspfad zugeführt. Bei Betrachtung in der durch Umfangsrichtung u und Meridionalrichtung m aufgespannten Ebene (siehe rechter Teil von Fig. 7) kreuzen sich der Rückführströmungsweg und der Umriss des Schaufelprofils. Zudem ist im rechten Bildteil die Mittellinie der Passage zwischen zwei benachbarten Schaufelprofilen eingezeichnet. Erfindungsgemäß ist es besonders günstig, wenn in einer Schaufelpassage die dortige Entnahmeöffnung und die dortige Zufuhröffnung auf unterschiedlichen Seiten der Passagenmittellinie angeordnet sind. Weiterhin ist es erfindungsgemäß besonders wirksam, wenn der mit CGI bezeichnete Flächenschwerpunkt der Fluidzufuhröffnung in Meridianströmungsrichtung m betrachtet stromauf des mit CGE bezeichneten Flächenschwerpunktes der Fluidentnahmeöffnung angeordnet ist. Zudem ist es erfindungsgemäß günstig, wenn die Fluidzufuhröffnung wenigstens teilweise stromab der Vorderkantenebene LEP vorgesehen ist. Auch hier kann, wenn auch nicht mehr in Fig. 7 dargestellt, mindestens eine Verzweigung des Rückführströmungsweges zur Versorgung mindestens einer weiteren Zufuhröffnung existiert.

[0038] Die Fig. 8 zeigt eine ähnliche Anordnung der Fluidrückführung wie Fig. 7, jedoch ist hier eine Entnahme nicht in der Schaufelpassage, sondern stromab der Hinterkante vorgesehen.

[0039] Die Fig. 9 zeigt eine ähnliche Anordnung der Fluidrückführung wie Fig. 8, jedoch ist hier eine Entnahme stromab der Hinterkante mit Hilfe einer sich am gesamten Umfang der Hauptströmungspfades erstreckende Kammer vorgesehen, von der im weiteren Rückführströmungsverlauf einzelne Kanäle zur Versorgung mehrerer Zufuhröffnungen abgehen.

[0040] Die Fig. 10 zeigt eine erfindungsgemäße Lösung für eine Fluidrückführung am Beispiel eines Rotors mit Schaufelplattform und Schaufelumfangsfüßen. Die Rotorschaufeln sind in einer Nabe befestigt, wobei Nabe und Schaufelplattform eine Kammer außerhalb des Hauptströmungspfades ausbilden. In der Schaufelplattform sind je eine Entnahmeöffnung und eine Zufuhröffnung vorgesehen, zwischen denen Fluid durch die Kammer unter der Plattform ausgetauscht werden kann. Die Zufuhröffnung ist hier als in den Hauptströmungspfad vorstehende Düse ausgebildet.

[0041] Die Fig. 11 zeigt eine erfindungsgemäße Lösung für eine Fluidrückführung am Beispiel eines Stators mit Schaufelplattform und Schaufelumfangsfüßen. Die Statorschaufeln sind in einem Gehäuse befestigt, wobei Gehäuse und Schaufelplattform eine Kammer außerhalb des Hauptströmungspfades ausbilden. In der Schaufelplattform sind je eine Entnahmeöffnung und eine Zufuhröffnung vorgesehen, zwischen denen Fluid durch die Kammer über der Plattform ausgetauscht werden kann. Die Zufuhröffnung ist hier als eine in den Hauptströmungspfad vorstehende Düse ausgebildet.

[0042] Die Fig. 12 zeigt eine ähnliche Anordnung wie Fig. 11, jedoch ist hier die Entnahmeöffnung als ein in den Hauptströmungspfad vorstehender Staueinlauf ausgebildet.

[0043] Die Fig. 13 zeigt ebenfalls eine Fluidrückführung am Stator, nun sowohl an der Gehäuseseite als

auch an der Nabenseite des Hauptströmungspfades. An der Nabenseite weist der Stator ein Innendeckband auf, welchem gegenüber die von ihm umgebene Rotortrommel eine drehende Relativbewegung ausführt. Eine Verbindung von Entnahme- und Zufuhröffnungen kann wie in den Figuren 6 bis 9 gezeigt, als eine Anzahl einzelner Kanäle vorgesehen sein, oder aber, wie hier in Fig. 13 dargestellt, mit Hilfe einer entlang des Umfangs reichende innerhalb des Deckbandes vorgesehene Kammer geschehen. Die Zufuhröffnung ist hier als eine in den Hauptströmungspfad vorstehende Düse, die Entnahmeöffnung als ein in den Hauptströmungspfad vorstehender Staueinlauf ausgebildet. Die Ansicht Y-Y zeigt eine Schaufelschnitt mit Blick auf das Deckband und die Öffnungen für die Fluidrückführung.

[0044] Die Fig. 14 zeigt eine erfindungsgemäße Lösung für eine Fluidrückführung am Beispiel eines verdrehbar gelagerten Schaufelendes. Dies kann eine Verbindung aus Rotorschaufel und Nabe, eine Verbindung aus Statorschaufel und Gehäuse oder auch eine Verbindung aus Statorschaufel und Innendeckband sein. Der linke Bildteil zeigt die Fluidrückführung im Bereich des verdrehbaren Schaufelendes. Das Fluid wird unter Umgehung der Verstellachse der Schaufel von der Entnahmeöffnung zur Zufuhröffnung geleitet. Beide Öffnungen sind hier beispielhaft als mit dem Hauptströmungspfad bündig ausgeführt. Die in der rechten Bildhälfte dargestellte Ansicht Z-Z (Schaufelschnitt mit Blick auf die Hauptströmungspfadwand und die Drehteller der Schaufeln) zeigt einen möglichen Verlauf des Rückführweges. Die Schaufelprofile sind hier in der Auslegungsposition gezeigt und würden sich bei Verstellung im Teilastbetrieb über die Öffnungen hinweg bewegen.

[0045] Die Fig. 15 zeigt eine erfindungsgemäße Lösung für eine Fluidrückführung am Beispiel eines Verstellstators mit Innendeckband an der Nabe und drehbarer Fixierung der Schaufeln an beiden Enden. Die Statorschaufeln sind außen in einem Gehäuse gelagert, in dem eine Strömungskammer ausgebildet ist, die die Entnahmeöffnungen mit den Zufuhröffnungen verbindet. Innen sind die Statorschaufeln im Deckband gelagert, in dem ebenfalls eine Strömungskammer vorgesehen ist, die die Entnahmeöffnungen mit den Zufuhröffnungen verbindet. Weitere Einzelheiten dieser beispielhaften erfindungsgemäßen Anordnung zeigt die Ansicht Y-Y in der rechten Bildhälfte von Fig. 15.

[0046] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Klauseln nochmals erläutert:

1. Strömungsarbeitsmaschine mit einem Strömungspfad (2), welcher durch zumindest eine Wandung begrenzt wird, an welcher zumindest eine Reihe von Schaufeln (6, 7) mit fester Verbindung angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Wandung in einem Bereich einer Schaufelreihe (6, 7) zumindest eine Fluidentnahmeöffnung (9) und zumindest eine Fluidzufuhröffnung (10) angeordnet sind, welche durch zumindest einen Fluidrückführweg (11) verbunden sind, wobei die Erstreckung der Fluidzufuhröffnung (10) in Umfangsrichtung geringer als der Abstand zweier benachbarter Schaufeln ist.

2. Strömungsarbeitsmaschine nach Klausel 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelreihe (6, 7) in mindestens einem ihrer Schaufelschnitte eine Profilwölbung mit einem Winkelunterschied der an die Profilskelettlinie an der Vorder- und Hinterkante angelegten Tangenten von mindestens 35° aufweist.

3. Strömungsarbeitsmaschine nach Klausel 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidentnahmeöffnung (9) innerhalb einer Entnahmezone (EA1) angeordnet ist, wobei die Entnahmezone (EA1) begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem auf der Profilsaugseite um den Betrag 0,5*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Punkt A und dem gegenüberliegenden Profilvorderkantenpunkt L; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand
b.) die Profildruckseite PS;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Hinterkantenpunkt T1 und dem von ihm in Meridionalströmungsrichtung stromab um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt B;
d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt B und dem von ihm bei gleicher Meridionalkoordinate, aber in Umfangsrichtung und in Richtung der benachbarten Saugseite um die Schaufelteilung SO, versetzt gelegenen Punkt C;
e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt C und dem bei dieser Meridionalkoordinate befindlichen Hinterkantenpunkt T2;
f.) den hinteren Teil der Profilsaugseite SS zwischen dem Hinterkantenpunkt T2 und dem Punkt A.

4. Strömungsarbeitsmaschine nach Klausel 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidentnahmeöffnung (9) innerhalb einer Entnahmezone (EA2) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) einen Teil der Profildruckseite im Bereich zwischen der Hinterkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Ebene;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen den Punkten D und E, wobei der Punkt D in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,35*SO von der Druckseite PS entfernt liegt

und der Punkt E in der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,5*SO von der Druckseite PS entfernt liegt;
c.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt D zur Profildruckseite PS;
d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt E zur Hinterkantenpunkt T1.

5. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) innerhalb einer Zufuhrzone (IA1) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem in meridionaler Richtung um den Betrag 0,3*CM stromauf des Vorderkantenpunktes L2 liegenden Punkt G;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt G und dem Vorderkantenpunkt L2;
d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L2 und dem Punkt H, der sich in der Hinterkantenebene in einer Entfernung 0,6*SO von der gegenüberliegenden Profilsaugseite befindet;
e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt H und dem Hinterkantenpunkt T;
f.) die Profilsaugseite SS.

6. Strömungsarbeitsmaschine nach Klausel 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) innerhalb einer Zufuhrzone (IA2) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem bei selber Meridionalkoordinate befindlichen und in Umfangsrichtung um 0,6*SO von F entfernt liegenden Punkt I;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt I und dem um 0,7*CM stromab von der Vorderkantenebene und relativ zum Hinterkantenpunkt T um 0,4*SO in Umfangsrichtung zur benachbarten Profildruckseite hin versetzt angeordneten Punkt J;
d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt J zur Profilsaugseite;
e.) einen Teil der Profilsaugseite im Bereich zwischen der Vorderkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,7*CM stromab der Vorderkantenebene gelegenen Ebene.

7. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flächenschwerpunkt der Fluidzufuhröffnung (10) in Meridianströmungsrichtung betrachtet stromauf des Flächenschwerpunktes der Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen ist.

8. Strömungsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in einer Schaufelpassage vorgesehenen Fluidentnahmeöffnungen (9) und Fluidzufuhröffnungen (10) auf unterschiedlichen Seiten einer Schaufelpassagenmittellinie (8) angeordnet sind.

9. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) wenigstens teilweise stromab der Vorderkantenebene der Schaufelreihe (6, 7) vorgesehen ist.

10. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Fluidrückführweg (11) mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) mit einer Fluidzufuhröffnung (10) in einer anderen Schaufelpassage verbindet.

11. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Fluidrückführweg (11) mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) mit einer Fluidzufuhröffnung (10) in derselben Schaufelpassage verbindet.

12. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Fluidrückführweg (11) an einer Rotorschaufelreihe (6) und/oder Statorschaufelreihe (7), bestehend aus einzelnen Schaufeln mit einer Schaufelplattform angeordnet ist, wobei die die Rotorschaufeln haltende Rotortrommel (3) und/oder das die Statorschaufeln haltende Gehäuse und die Schaufelplattform mindestens einen neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneten Hohlraum bilden und in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad (2) verbindet.

13. Strömungsarbeitsmaschine nach Klausel 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) ausgebildet ist, welche den Hauptströmungspfad (2) mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet.

14. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der Klauseln 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen mindestens einer Schaufelplattform und der Rotortrommel (3) und/oder dem Gehäuse mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad (2) mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet.

15. Strömungsarbeitmaschine nach einer der vorhergehenden Klauseln, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Schaufel der Schaufelreihe (6, 7) um eine Schaufelverdrehachse verstellbar ist, wobei im Gehäuse und/oder der Rotortrommel (3) mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneter und von der Schaufelverdrehachse durchdrungener Hohlraum ausgebildet ist, wobei in mindestens einer Schaufelpassage mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) und/oder mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen sind, um Hauptströmungspfad (2) und Hohlraum zu verbinden.

16. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der vorhergehenden Klauseln, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandung teilweise durch ein Innendeckband einer Schaufelreihe (6, 7) gebildet ist, wobei im Innendeckband mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneter Hohlraum ausgebildet ist, und wobei in mindestens einer Schaufelpassage mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) und/oder mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen sind, um Hauptströmungspfad (2) und Hohlraum zu verbinden.

17. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der vorhergehenden Klauseln, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) eine in den Hauptströmungspfad (2) vorstehende gekrümmte Düse umfasst.

18. Strömungsarbeitsmaschine nach einer der vorhergehenden Klauseln, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) einen in den Hauptströmungspfad vorstehenden gekrümmten Staueinlauf umfasst.

Bezugszeichenliste

[0047]

1 Gehäuse
2 Ringkanal/Strömungspfad/Hauptströmungspfad
3 Rotortrommel/Nabe
4 Maschinenachse
5 Vorleitrad
6 Rotor/Rotorschaufel/Rotorschaufelreihe
7 Stator/Statorschaufel/Statorschaufelreihe
8 Passagenmittellinie
9 Fluidentnahmeöffnung
10 Fluidzufuhröffnung
11 Fluidkanal/Fluidrückführweg

Patentansprüche

1. Strömungsarbeitsmaschine mit einem Strömungspfad (2), welcher durch zumindest eine Wandung begrenzt wird, an welcher zumindest eine Reihe von Schaufeln (6, 7) mit fester Verbindung angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Wandung in einem Bereich einer Schaufelreihe (6, 7) zumindest eine Fluidentnahmeöffnung (9) und zumindest eine Fluidzufuhröffnung (10) angeordnet sind, welche durch zumindest einen Fluidrückführweg (11) verbunden sind, wobei die Erstreckung der Fluidzufuhröffnung (10) in Umfangsrichtung geringer als der Abstand zweier benachbarter Schaufeln ist.

2. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelreihe (6, 7) in mindestens einem ihrer Schaufelschnitte eine Profilwölbung mit einem Winkelunterschied der an die Profilskelettlinie an der Vorder- und Hinterkante angelegten Tangenten von mindestens 35° aufweist.

3. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidentnahmeöffnung (9) innerhalb einer Entnahmezone (EA1) angeordnet ist, wobei die Entnahmezone (EA1) begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem auf der Profilsaugseite um den Betrag 0,5*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Punkt A und dem gegenüberliegenden Profilvorderkantenpunkt L; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand
b.) die Profildruckseite PS;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Hinterkantenpunkt T1 und dem von ihm in Meridionalströmungsrichtung stromab um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt B;
d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt B und dem von ihm bei gleicher Meridionalkoordinate, aber in Umfangsrichtung und in Richtung der benachbarten Saugseite um die Schaufelteilung SO versetzt gelegenen Punkt C;
e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt C und dem bei dieser Meridionalkoordinate befindlichen Hinterkantenpunkt T2;
f.) den hinteren Teil der Profilsaugseite SS zwischen dem Hinterkantenpunkt T2 und dem

Punkt A.

4. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidentnahmeöffnung (9) innerhalb einer Entnahmezone (EA2) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) einen Teil der Profildruckseite im Bereich zwischen der Hinterkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene gelegenen Ebene;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen den Punkten D und E, wobei der Punkt D in meridionaler Richtung um 0,75*CM stromauf der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,35*SO von der Druckseite PS entfernt liegt und der Punkt E in der Hinterkantenebene und in Umfangsrichtung um 0,5*SO von der Druckseite PS entfernt liegt;
c.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt D zur Profildruckseite PS;
d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt E zur Hinterkantenpunkt T1.

5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) innerhalb einer Zufuhrzone (IA1) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem in meridionaler Richtung um den Betrag 0,3*CM stromauf des Vorderkantenpunktes L2 liegenden Punkt G;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt G und dem Vorderkantenpunkt L2;
d.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L2 und dem Punkt H, der sich in der Hinterkantenebene in einer Entfernung 0,6*SO von der gegenüberliegenden Profilsaugseite befindet;
e.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt H und dem Hinterkantenpunkt T;
f.) die Profilsaugseite SS.

6. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) innerhalb einer Zufuhrzone (IA2) angeordnet ist, welche begrenzt wird durch:

a.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Vorderkantenpunkt L1 und dem von ihm in meridionaler Richtung stromauf um den Betrag 0,3*CM entfernten Punkt F; CM bezeichnet die meridionale Länge des Schaufelprofils an der Seitenwand;
b.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt F und dem bei selber Meridionalkoordinate befindlichen und in Umfangsrichtung um 0,6*SO von F entfernt liegenden Punkt I;
c.) eine geradlinige Verbindung zwischen dem Punkt I und dem um 0,7*CM stromab von der Vorderkantenebene und relativ zum Hinterkantenpunkt T um 0,4*SO in Umfangsrichtung zur benachbarten Profildruckseite hin versetzt angeordneten Punkt J;
d.) eine geradlinige Verbindung in Umfangsrichtung vom Punkt J zur Profilsaugseite;
e.) einen Teil der Profilsaugseite im Bereich zwischen der Vorderkantenebene und einer in meridionaler Richtung um 0,7*CM stromab der Vorderkantenebene gelegenen Ebene.

7. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Flächenschwerpunkt der Fluidzufuhröffnung (10) in Meridianströmungsrichtung betrachtet stromauf des Flächenschwerpunktes der Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen ist.

8. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in einer Schaufelpassage vorgesehenen Fluidentnahmeöffnungen (9) und Fluidzufuhröffnungen (10) auf unterschiedlichen Seiten einer Schaufelpassagenmittellinie (8) angeordnet sind.

9. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fluidzufuhröffnung (10) wenigstens teilweise stromab der Vorderkantenebene der Schaufelreihe (6, 7) vorgesehen ist.

10. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Fluidrückführweg (11) mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) mit einer Fluidzufuhröffnung (10) in einer anderen Schaufelpassage verbindet.

11. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Fluidrückführweg (11) mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) mit einer Fluidzufuhröffnung (10) in derselben Schaufelpassage verbindet.

12. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Fluidrückführweg (11) an einer Rotorschaufelreihe (6) und/oder Statorschaufelreihe (7), bestehend aus einzelnen Schaufeln mit einer Schaufelplattform an-

geordnet ist, wobei die die Rotorschaufeln haltende Rotortrommel (3) und/oder das die Statorschaufeln haltende Gehäuse und die Schaufelplattform mindestens einen neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneten Hohlraum bilden und in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) vorgesehen ist, die den mindestens einen Hohlraum mit dem Hauptströmungspfad (2) verbindet.

13. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in mindestens einer Schaufelplattform mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) ausgebildet ist, welche den Hauptströmungspfad (2) mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet.

14. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen mindestens einer Schaufelplattform und der Rotortrommel (3) und/oder dem Gehäuse mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) ausgebildet ist, die den Hauptströmungspfad (2) mit dem mindestens einen Hohlraum verbindet.

15. Strömungsarbeitmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Schaufel der Schaufelreihe (6, 7) um eine Schaufelverdrehachse verstellbar ist, wobei im Gehäuse und/oder der Rotortrommel (3) mindestens ein neben dem Hauptströmungspfad (2) angeordneter und von der Schaufelverdrehachse durchdrungener Hohlraum ausgebildet ist, wobei in mindestens einer Schaufelpassage mindestens eine Fluidzufuhröffnung (10) und/oder mindestens eine Fluidentnahmeöffnung (9) vorgesehen sind, um Hauptströmungspfad (2) und Hohlraum zu verbinden.

Fig. 1

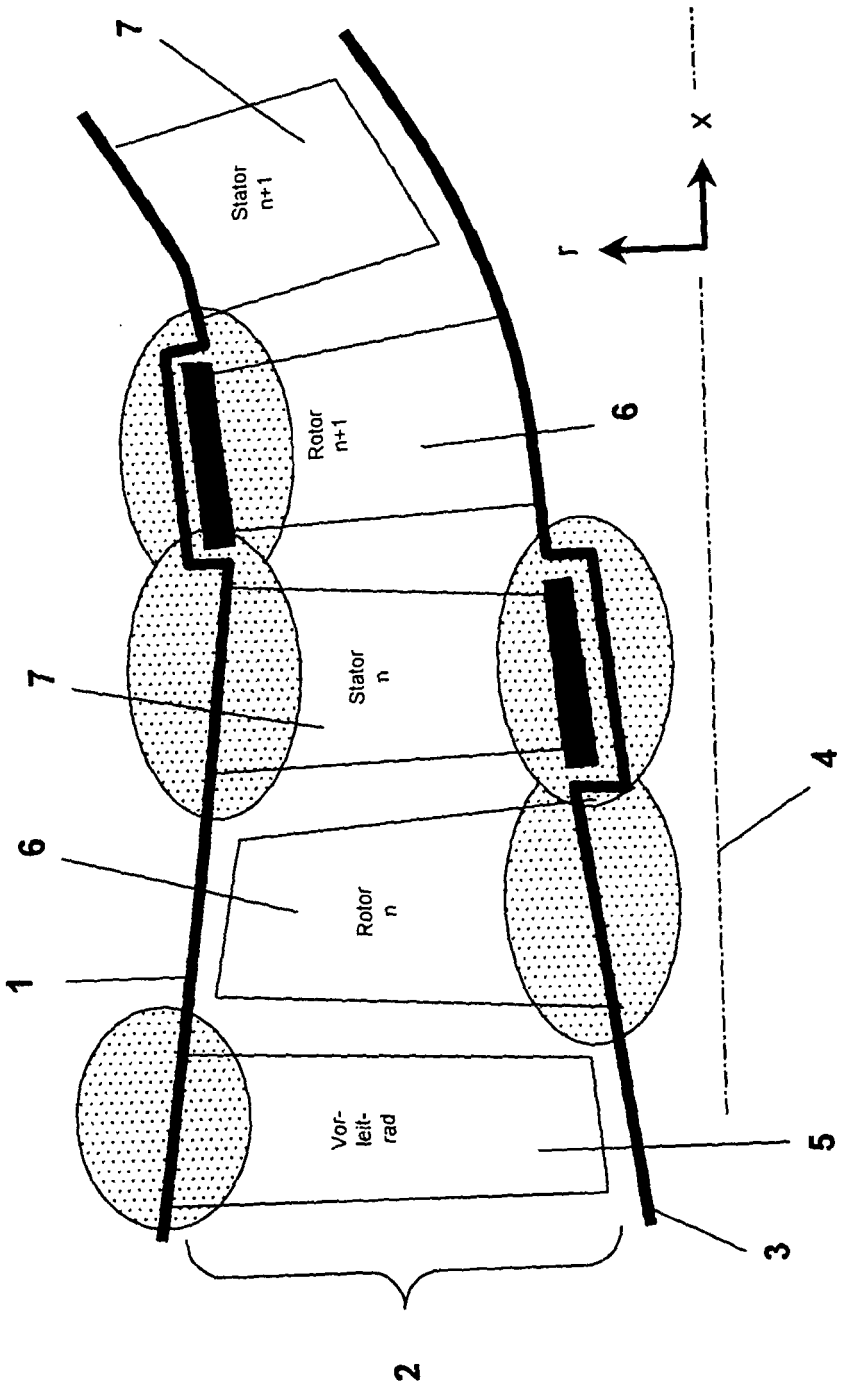


Fig. 2

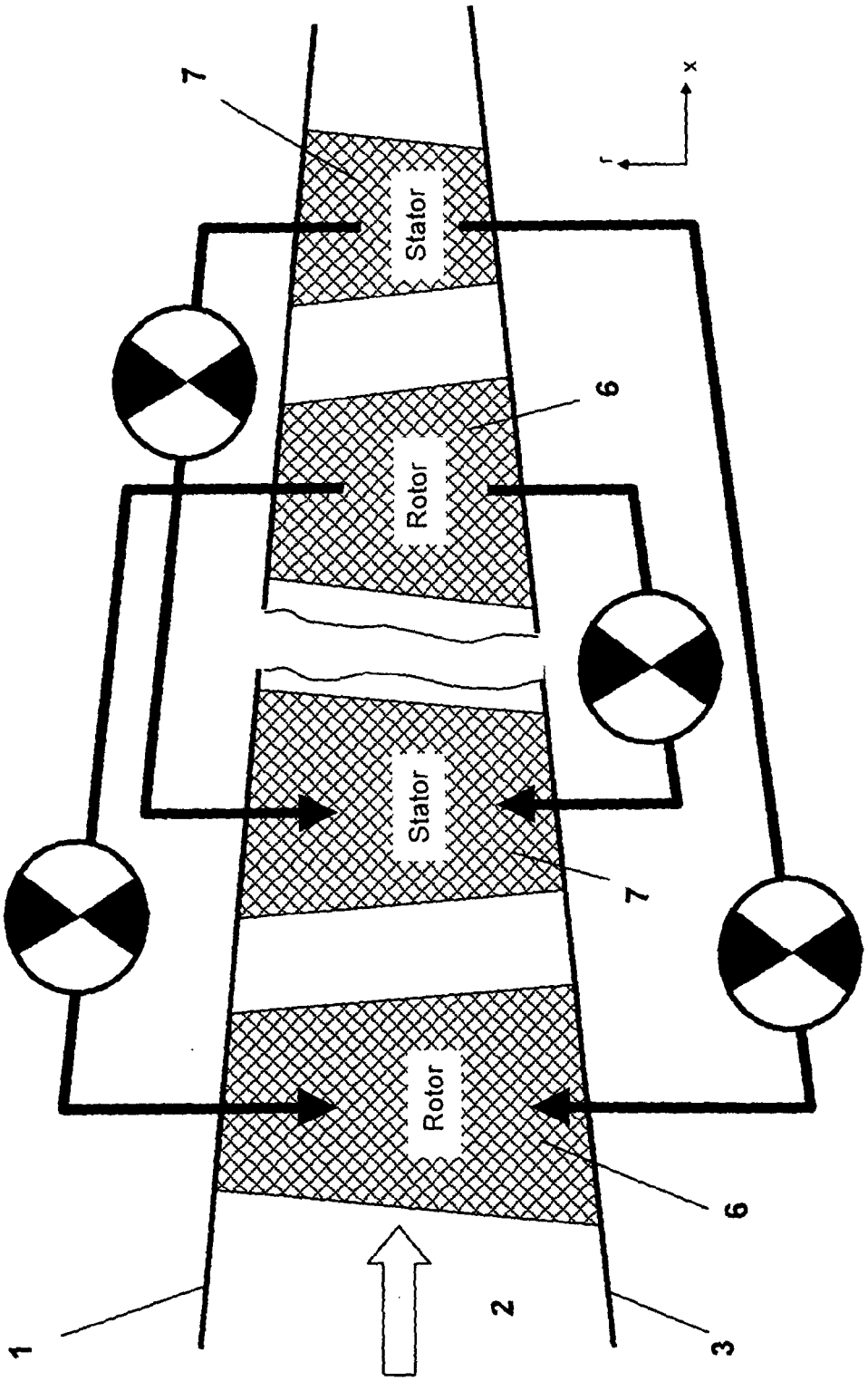


Fig. 3

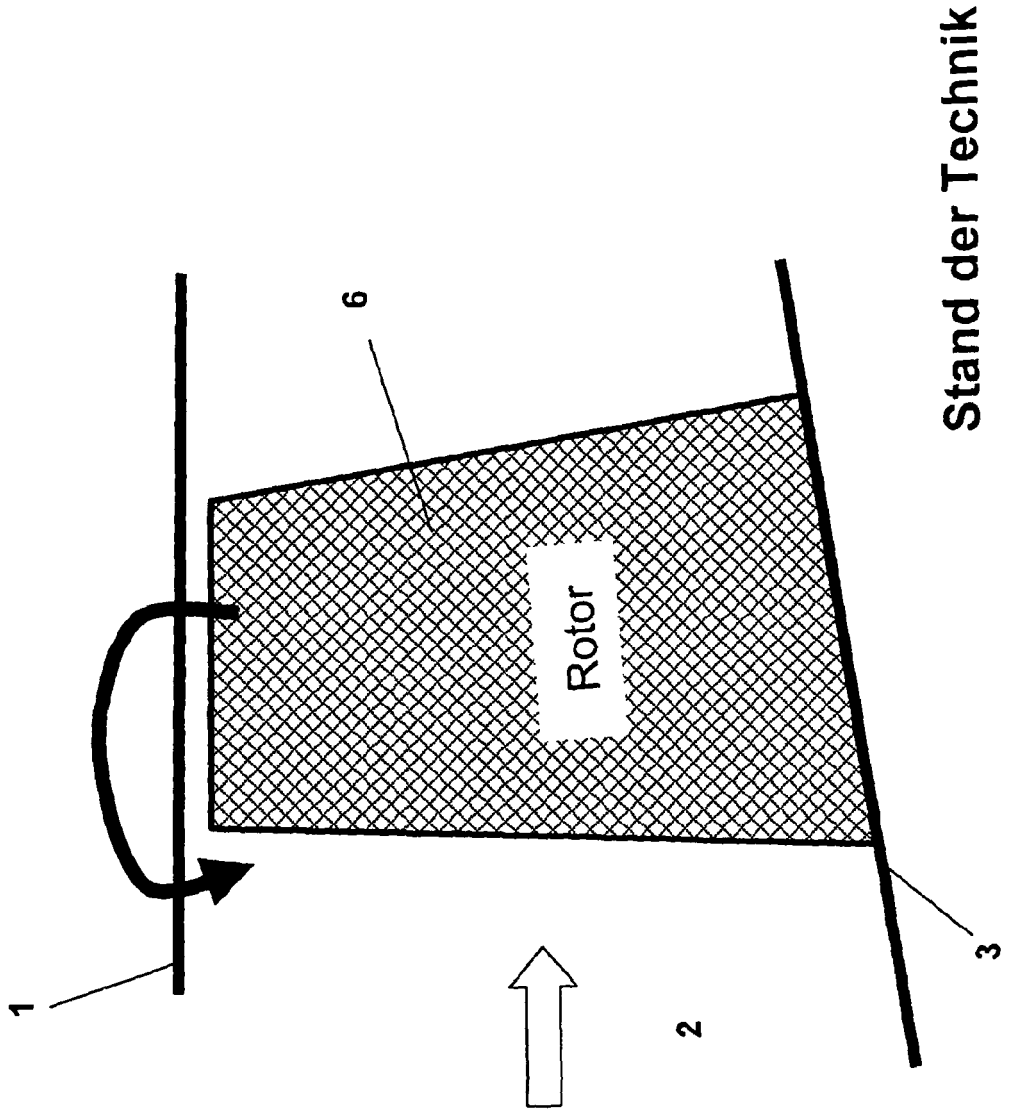
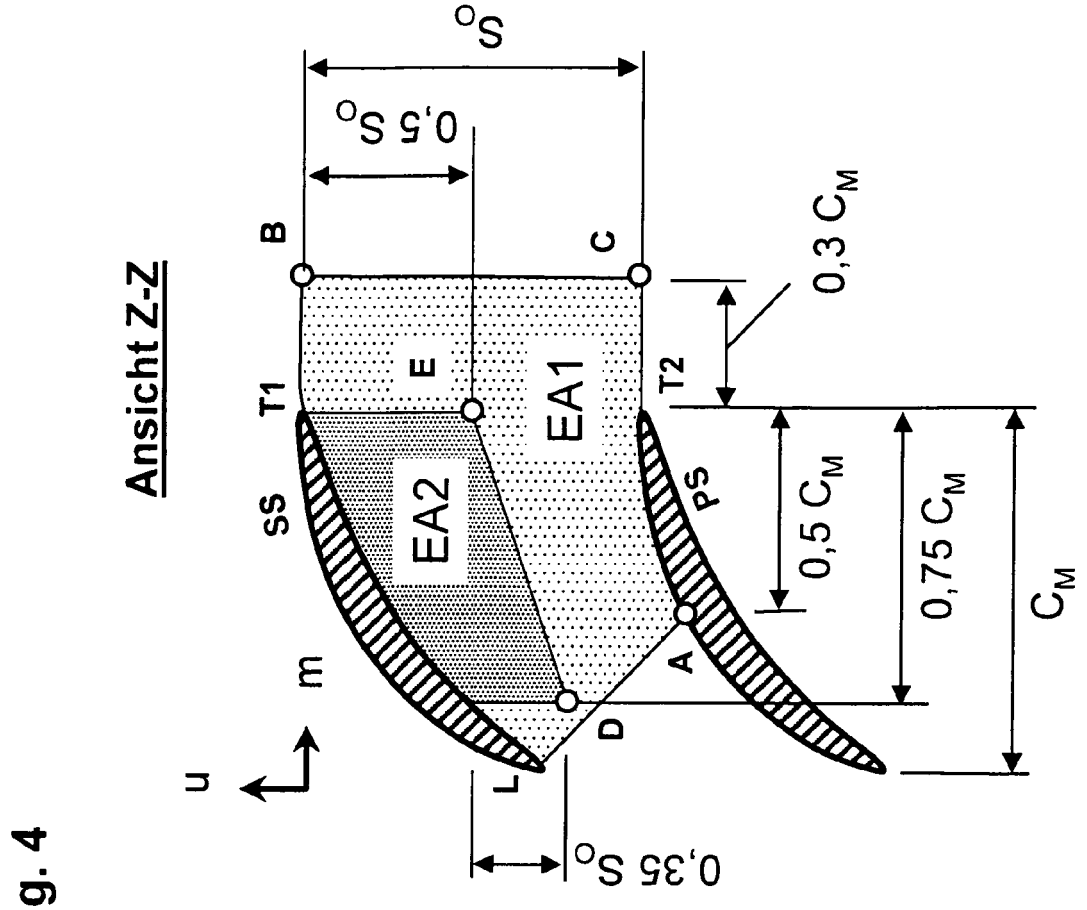


Fig. 4


Ansicht Z-Z
s_o
0,5 s_o
B
C
0,3 C_M
T2
T1
E
EA1
EA2
SS
PS
0,5 C_M
0,75 C_M
C_M
A
D
m
u
L
0,35 s_o

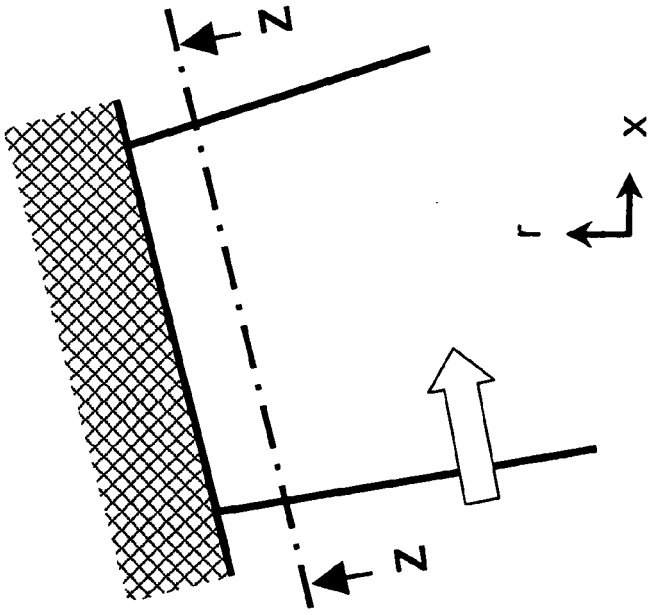
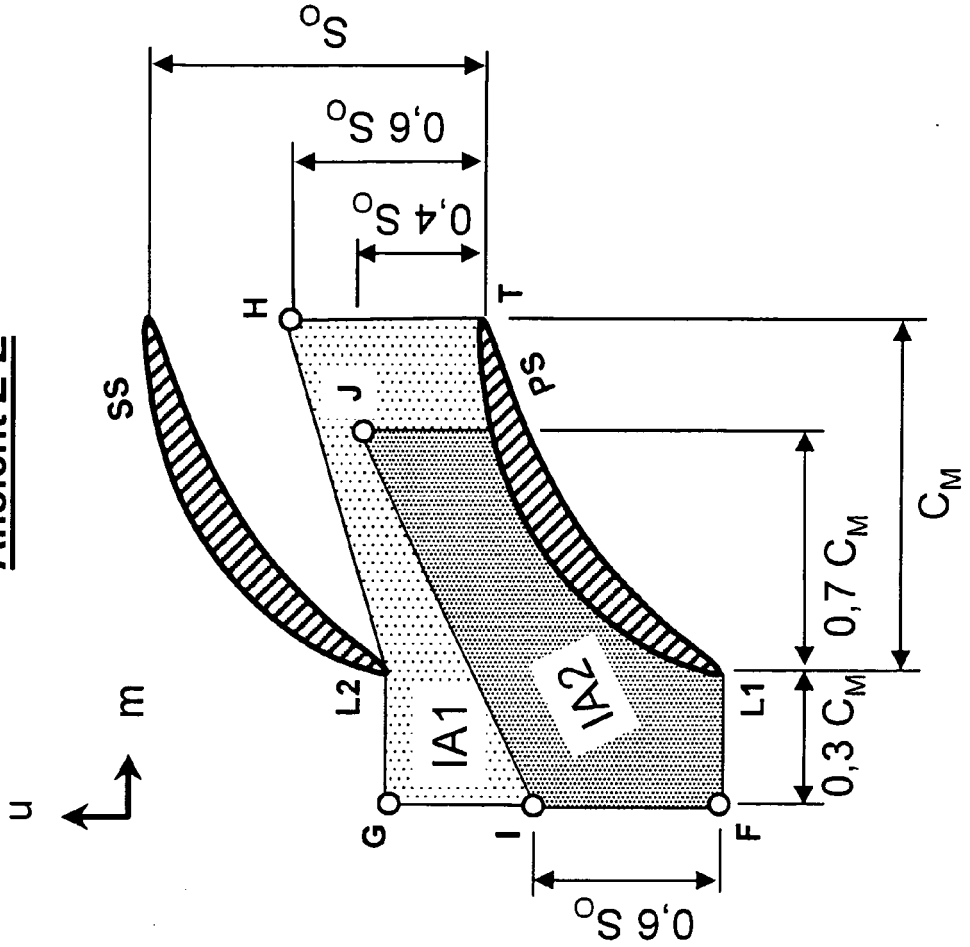

Z
Z
x
r

Fig. 5


Ansicht Z-Z
^{O}S
$0{,}6\ S_O$
$0{,}4\ S_O$
H
T
SS
PS
J
C_M
$0{,}7\ C_M$
$0{,}3\ C_M$
L2
L1
IA1
IA2
G
I
F
$0{,}6\ S_O$
u
m

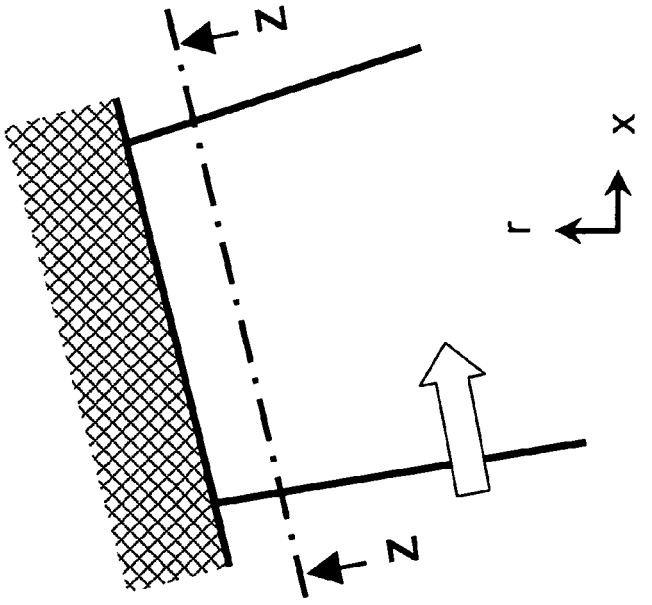
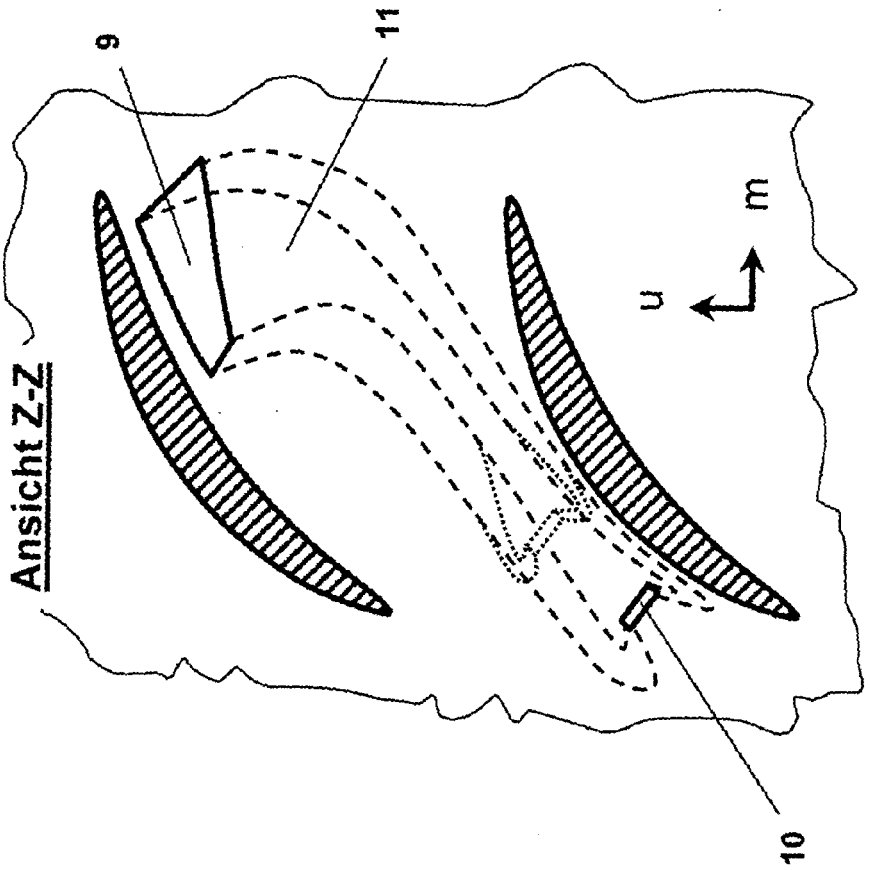
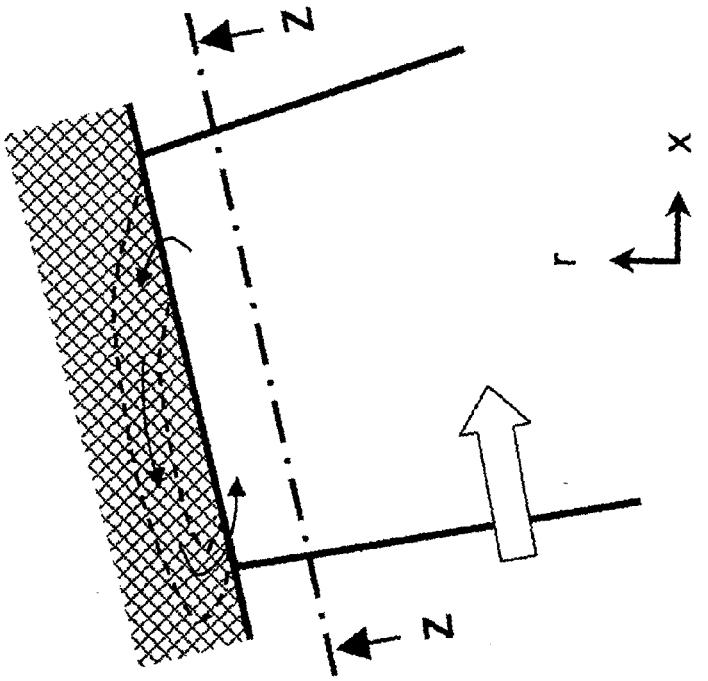

Z
Z
x
r

Fig. 6





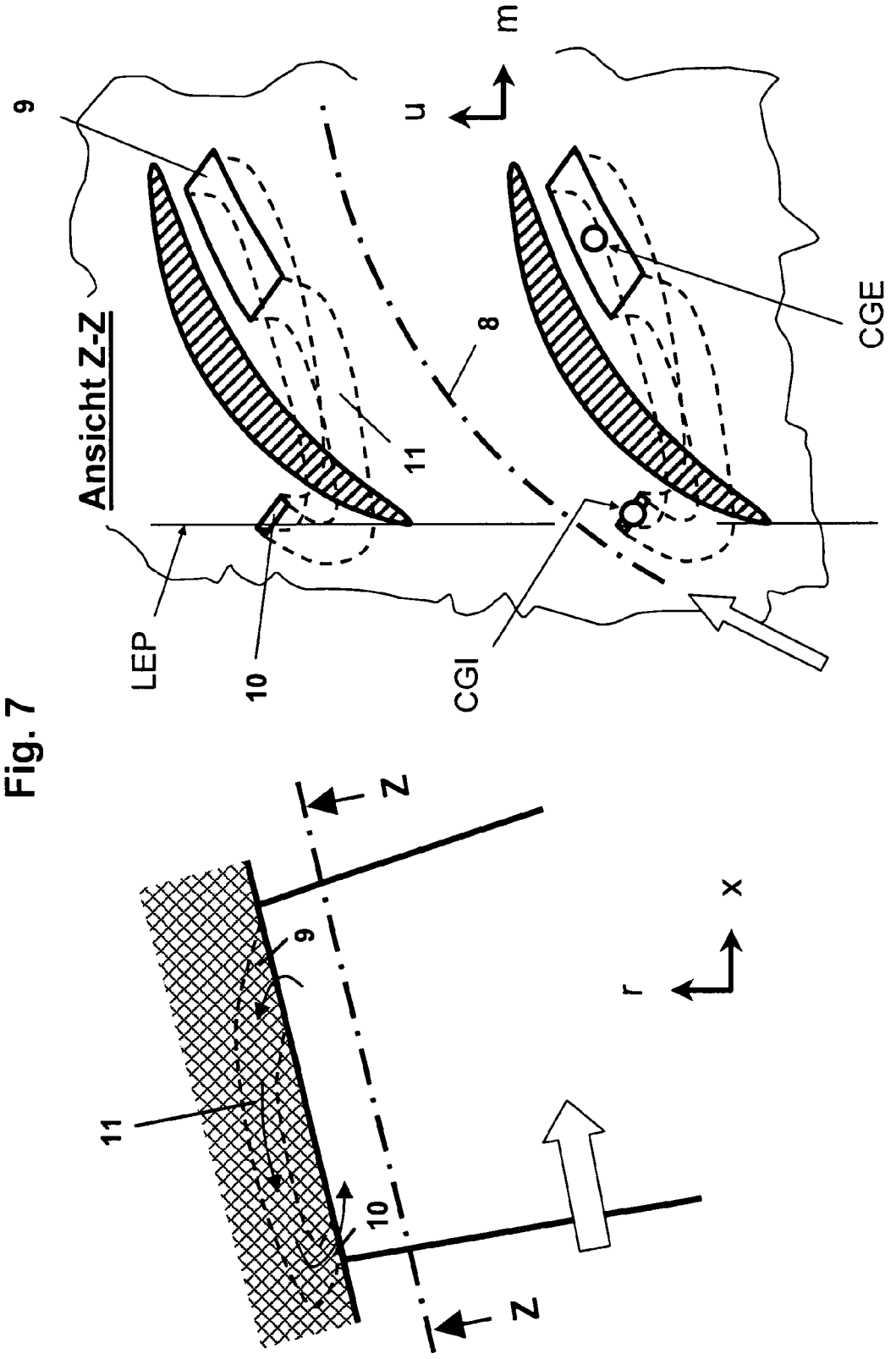
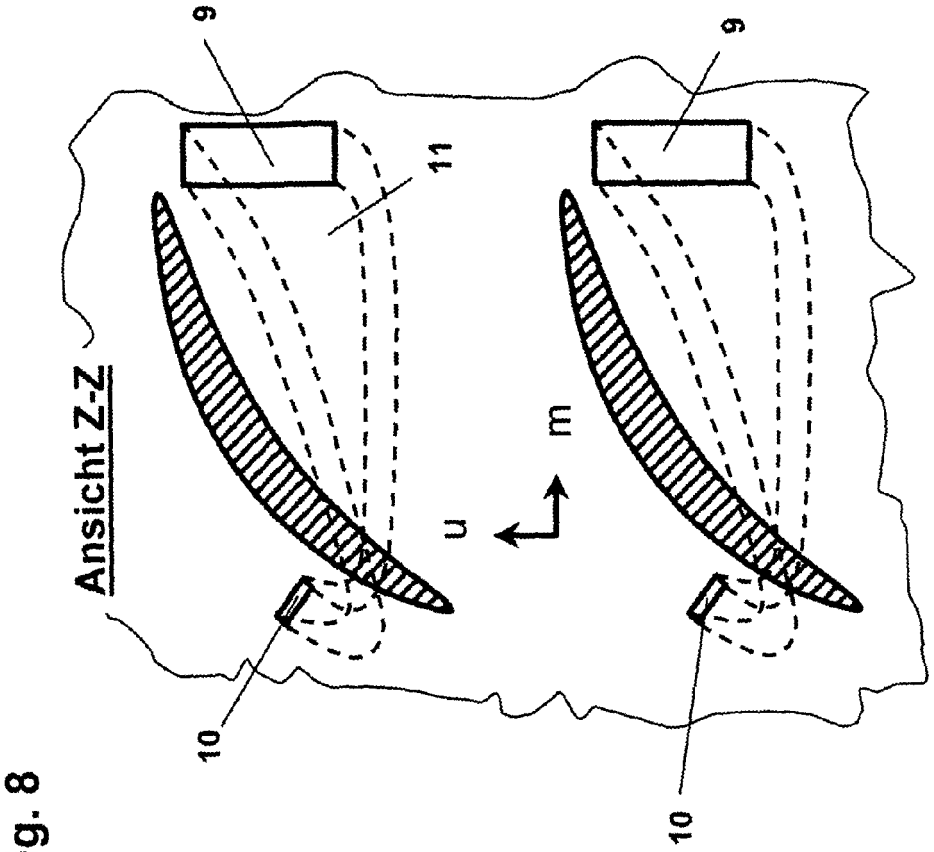


Fig. 7

Fig. 8



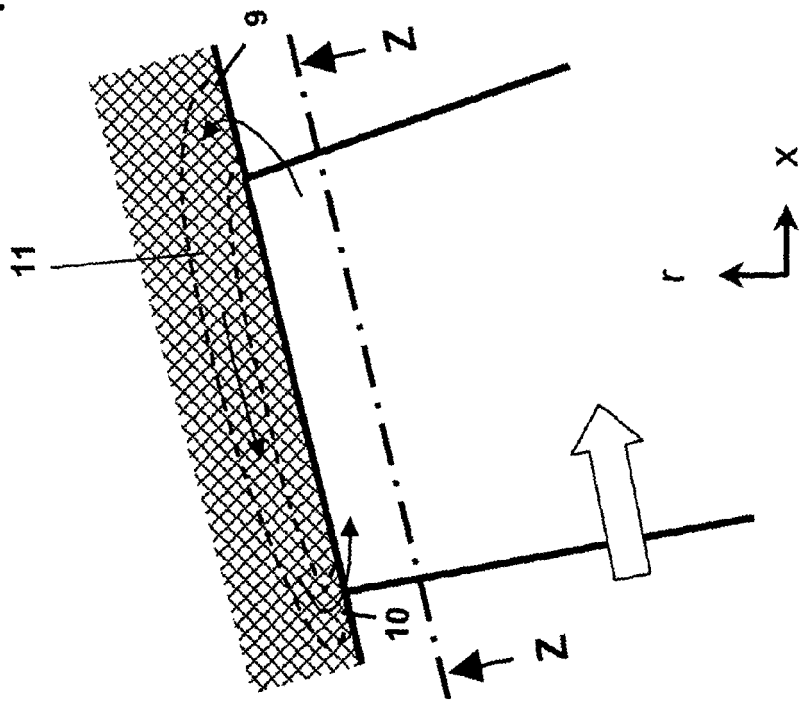


Fig. 9

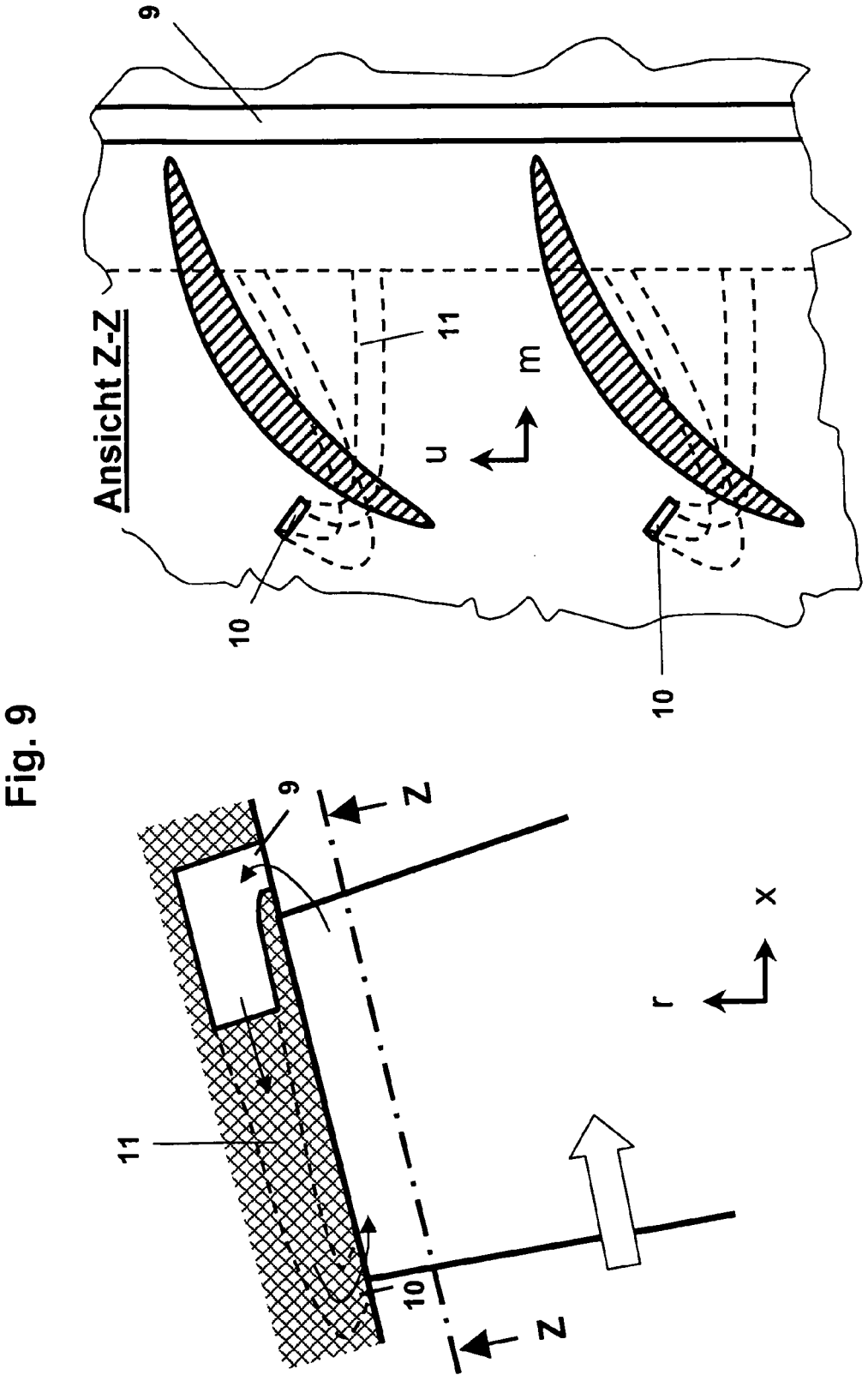
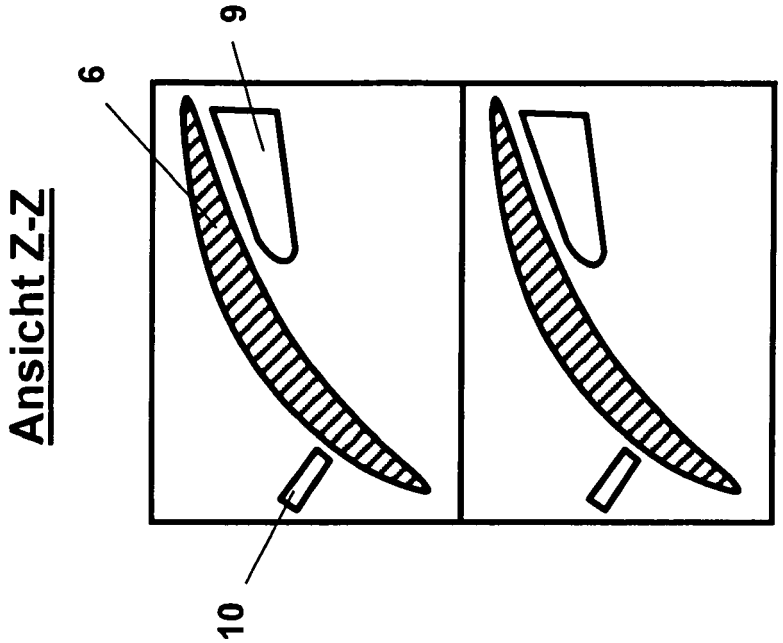


Fig. 10



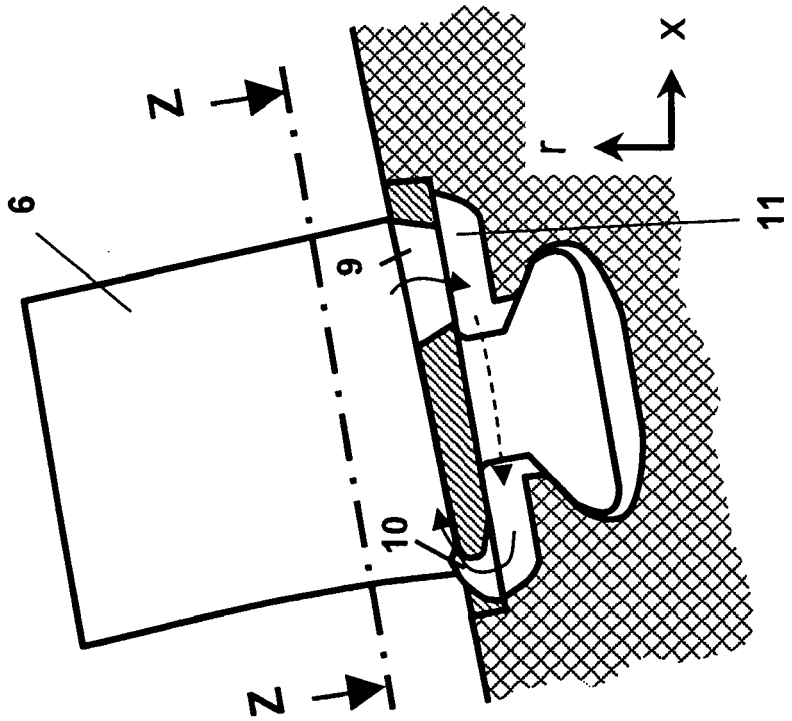
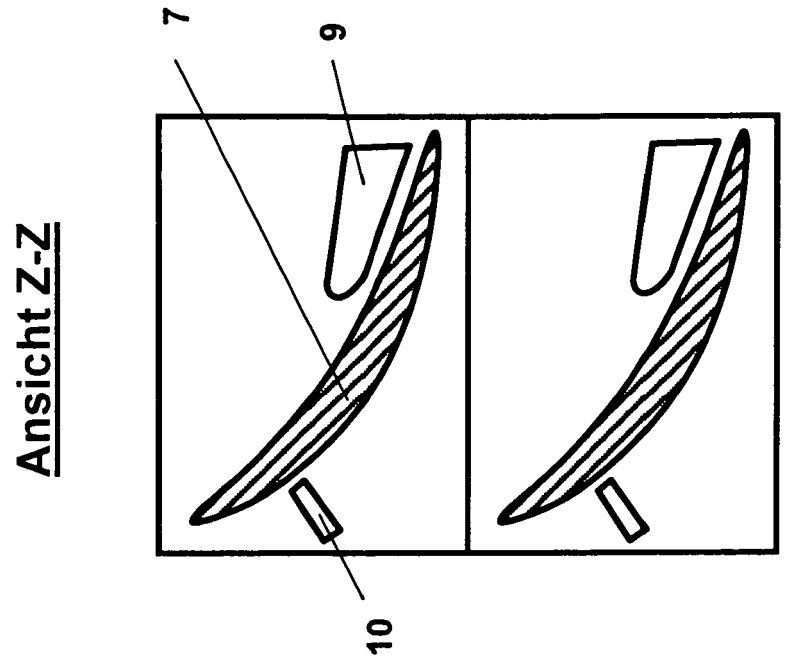


Fig. 11



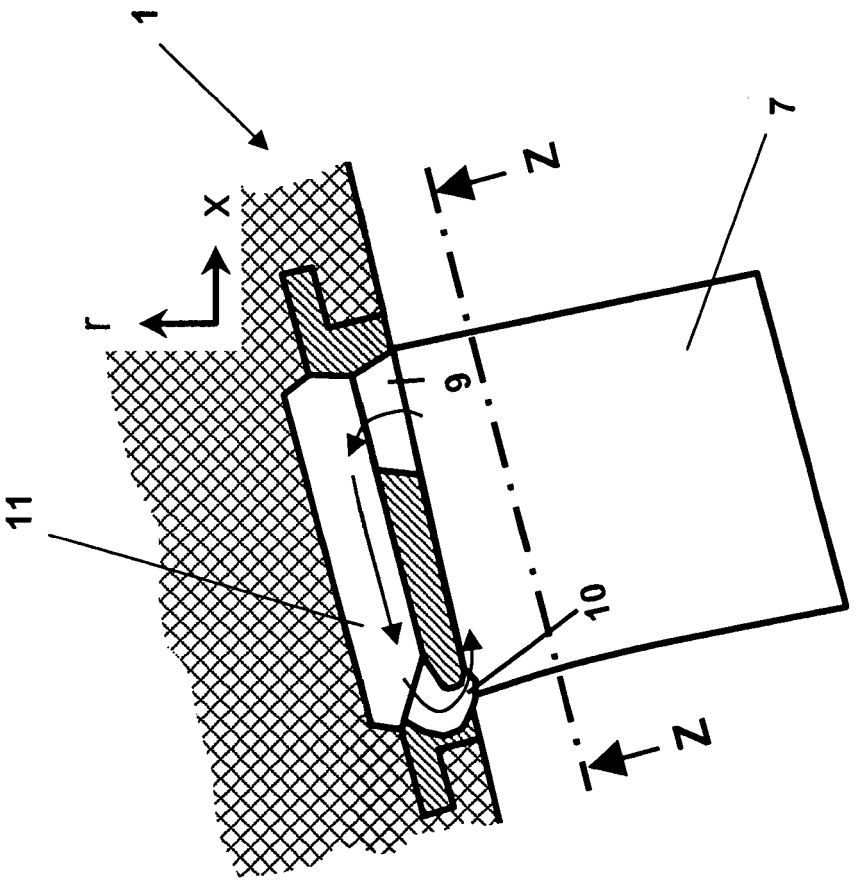
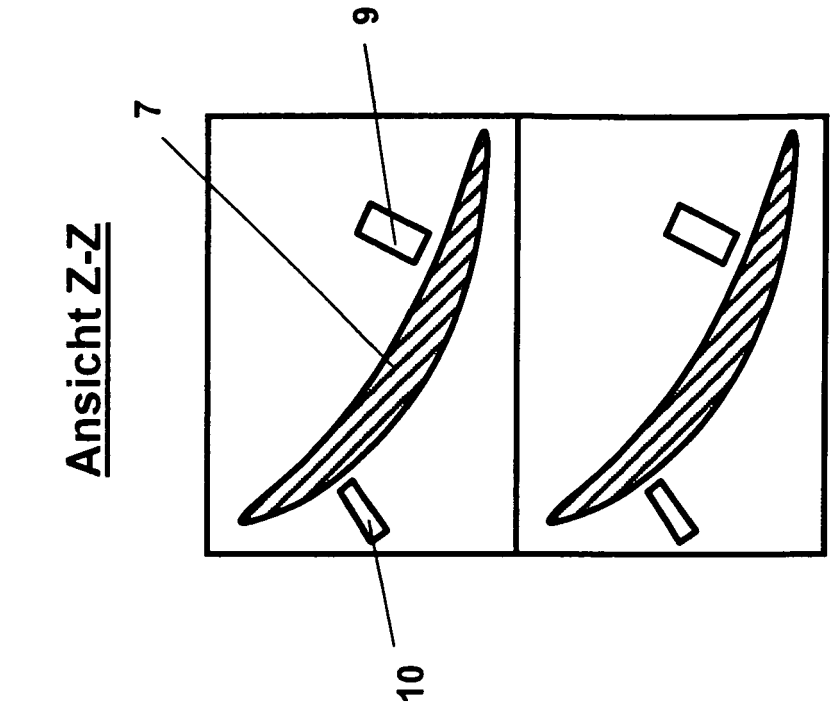


Fig. 12



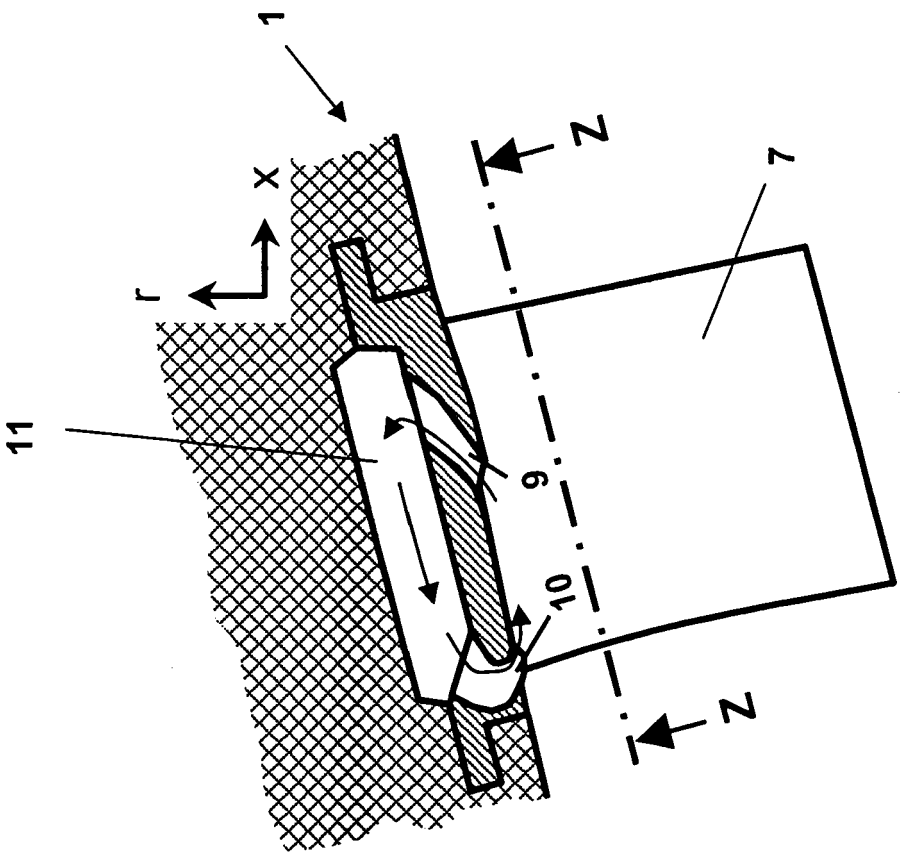


Fig. 13

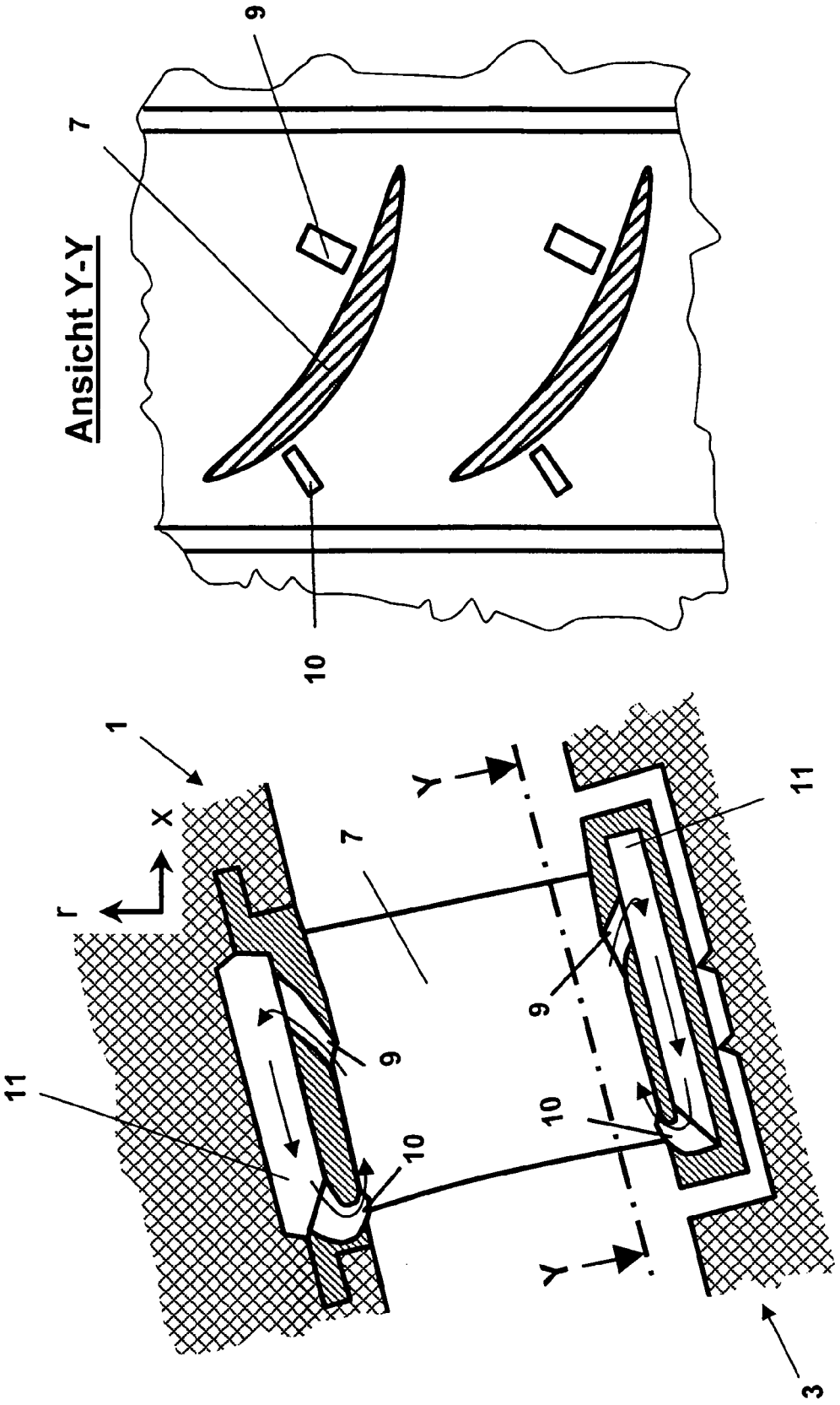
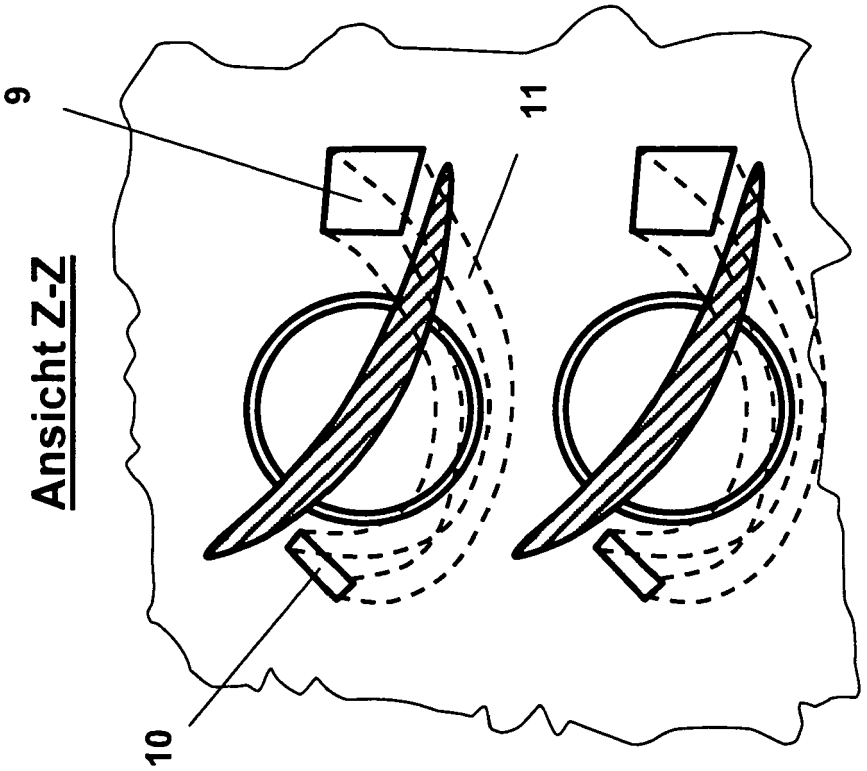


Fig. 14



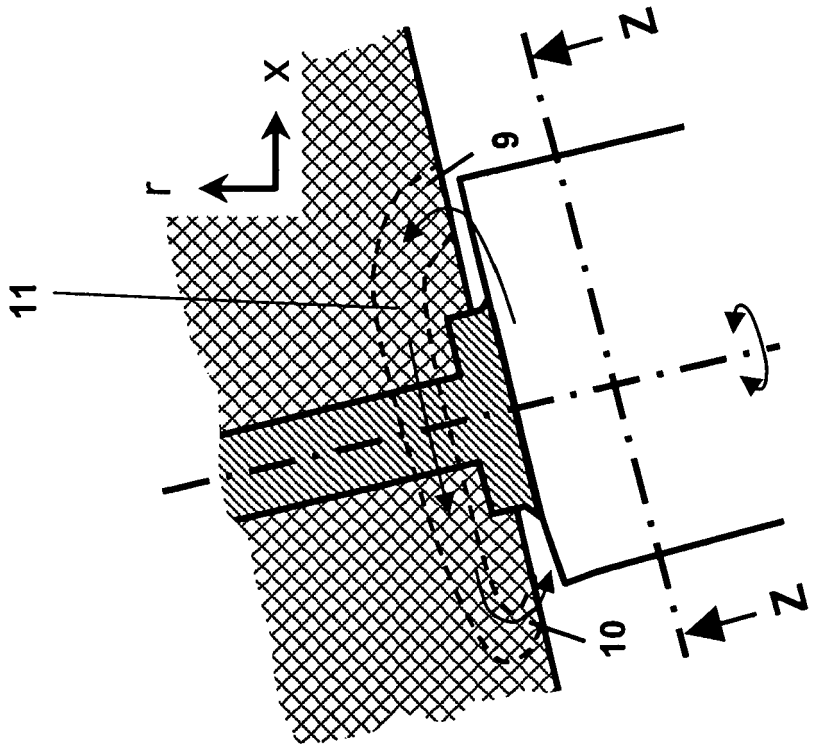
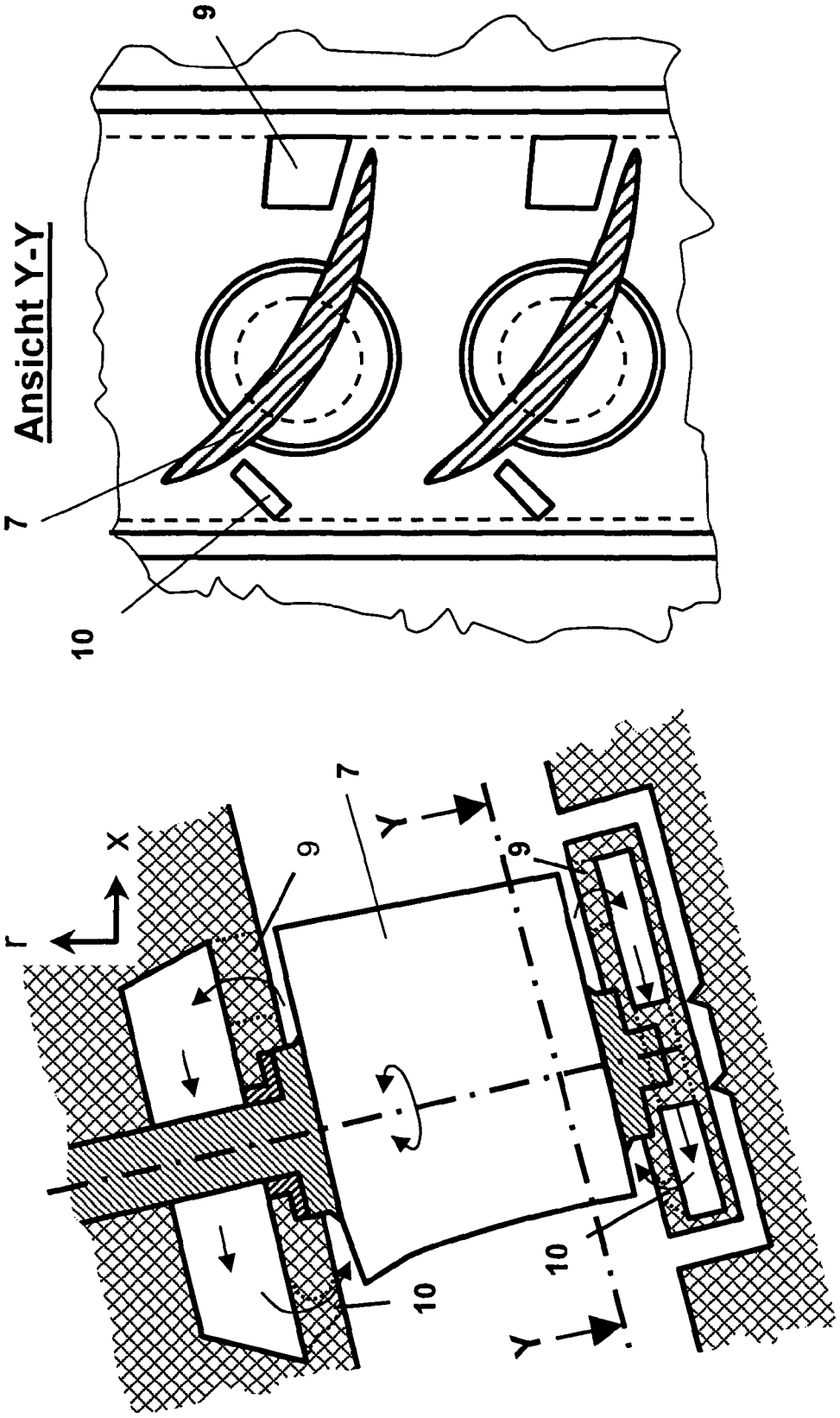


Fig. 15



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

- DE 102004030597 A1 **[0005]**
- EP 1382855 B1 **[0005]**