



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 005 384 A1** 2008.08.07

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 005 384.5**

(22) Anmeldetag: **02.02.2007**

(43) Offenlegungstag: **07.08.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04D 29/68** (2006.01)

**F01D 5/14** (2006.01)

**F04D 29/38** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, 15827  
Blankenfelde, DE**

(74) Vertreter:

**Hoefler & Partner, 81543 München**

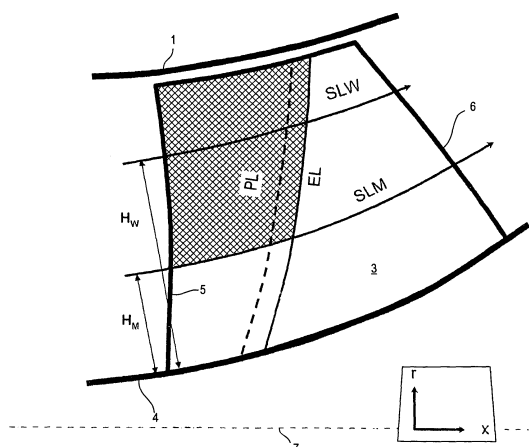
(72) Erfinder:

**Gümmer, Volker, 15831 Mahlow, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Strömungsarbeitsmaschine sowie Rotorscheufel einer Strömungsarbeitsmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschine bzw. eine Rotorscheufel, insbesondere für ein Flugzeugtriebwerk, mit Rotorscheufeln 3 versehenen Rotor, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorscheufel 3 auf einer Saugseite 9 mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante 5 der Rotorscheufel 3, einer Gehäuselinie 1, einer Linie SLM und einer Linie EL angeordnet ist und mit einer grenzschicht-energetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie SLM eine Meridianstromlinie auf einer machzahl-kritischen Schaufelhöhe des Rotors und die Linie EL eine Verbindungslinie aller Punkte E zur Bildung einer senkrechtorthogonalen Projektionslinie EL sind.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Strömungsarbeitsmaschinen wie Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren axialer, halbaxialer und radialer Bauart mit gasförmigem oder flüssigem Arbeitsmedium.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Einzelnen auf Schaufeln von Strömungsarbeitsmaschinen wie etwa Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren in axialer, halbaxialer oder auch radialer Bauart. Das Arbeitsmedium (Fluid) kann gasförmig oder flüssig sein.

**[0003]** Die Strömungsarbeitsmaschine kann eine oder mehrere Stufen mit jeweils einem Rotor und einem Stator umfassen, in Einzelfällen wird die Stufe lediglich durch einen Rotor gebildet. Der Rotor besteht aus einer Anzahl von Schaufeln, die mit der rotierenden Welle der Maschine verbunden sind und Energie an das Arbeitsmedium abgeben. Der Rotor kann mit oder ohne Deckband am äußeren Schaufelende ausgeführt sein. Der Stator besteht aus einer Anzahl feststehender Schaufeln, die nabenseitig wie gehäuseseitig mit festem oder freiem Schaufelende ausgeführt sein können. Die Rotortrommel und die Beschaukelung sind üblicherweise von einem Gehäuse umgeben, in anderen Fällen, z. B. bei Propellern oder Schiffsschrauben, existiert kein Gehäuse. 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. Alternativ kann die besagte Strömungsarbeitsmaschine bei Mehrstufigkeit zwei gegenläufige Wellen besitzen, so dass die Rotorschaukelreihen von Stufe zu Stufe die Drehrichtung wechseln. Hierbei existieren keine Statoren zwischen aufeinanderfolgenden Rotoren. 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.

**[0004]** Die Strömung im Spitzenbereich von Rotoren einer Strömungsarbeitsmaschine wie Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren ist, obwohl dies bei der Auslegung oft vernachlässigt wird, von instationärer, also zeitlich veränderlicher Natur. So lassen sich von einem ruhenden Betrachter die in Umfangsrichtung der Maschine vorbeieilenden Nachlaufdellen der einzelnen Schaufeln beobachten; ein lang bekanntes Phänomen.

**[0005]** Weniger bekannt ist ein häufig im Relativsys-

tem des Rotors festzustellendes Pulsieren des Strömungsfeldes im Blattspitzenbereich, das auf ein instabiles, schwankendes Verhalten der Leckageströmung am Radialspalt zurückzuführen ist. Diese oft mit einer Strömungsablösung an der Gehäusewand verbundene Radialspaltleckage zieht eine zeitlich stark schwankende Einengung des Rotorströmungskanals nach sich und nimmt auf diese Weise Einfluss auf das Verhalten der Profilgrenzschichten in den Schaufelschnitten in der Nähe des Gehäuses. Insbesondere bei transsonischen Rotoren sind mit dieser starken periodisch auftretenden Störung der Profilmströmung Einbußen bezüglich des Wirkungsgrades und der Abreißgrenze der Strömungsarbeitsmaschine verbunden. Die Lebensdauer der betroffenen Rotorschaukel und/oder ihrer haltenden Scheiben kann ebenfalls beeinträchtigt sein.

**[0006]** Ein Weg der Problemlösung ist eine besondere Strukturierung des Gehäuses im Laufbereich der Schaufeln durch sogenannte Casing Treatments. Eine Gestaltung der Schaufeln selbst, durch eine Energetisierung der Profilgrenzschichten in gehäusenahen Schaufelschnitten, das Pulsieren der Blattspitzenströmung zu dämpfen oder zu unterdrücken, ist nicht bekannt.

**[0007]** Hingegen bekannt sind auf der Schaufeloberfläche platzierte Mittel, die bei transsonischen Rotoren den Punkt des Umschlages der Profilgrenzschicht von laminar zu turbulent fixieren sollen. Die Transitionsfixierungsmittel sind sehr schmal, senkrecht zur Strömung ausgeführt (siehe EP-A-1 580 399) und gehen von der Annahme einer zweidimensionalen Strömung im spezifizierten Anwendungsbe- reich aus.

**[0008]** Der Weg, ein Pulsieren der Strömung im Blattspitzenbereich von Rotoren einer Strömungsarbeitsmaschine durch Strukturierung oder Einbauten im Gehäuse zu beheben, ist konstruktiv sehr aufwendig, erfordert eine komplizierte Auslegung und reduziert in den allermeisten Fällen den Wirkungsgrad. Die im Stand der Technik vorgeschlagenen Transitionsfixierungsmittel sind aufgrund der vereinfachenden Annahmen nur bedingt wirksam.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsarbeitsmaschine, insbesondere für ein Flugzeugtriebwerk sowie eine Rotorschaukel einer Strömungsarbeitsmaschine zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit einen verbesserten Wirkungsgrad aufweisen.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe insbesondere durch eine Strömungsarbeitsmaschine bzw. eine Rotorschaukel, insbesondere für ein Flugzeugtriebwerk, gelöst, mit zumindest einem mit Rotorschaukeln versehenen Rotor, wobei die Rotorschaukel auf einer Saugseite mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante der Rotorschaukel, einer Gehäuselinie, einer Linie SLM und einer Linie EL angeordnet ist und mit einer grenzschicht-energetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie SLM eine Meridianstromlinie auf einer machzahl-kritischen Schaukelhöhe des Rotors und die Linie EL eine Verbindungslinie aller Punkte E zur Bildung einer sehnorthogonalen Projektionslinie EL sind.

[0012] Im Einzelnen umfasst die vorliegende Erfindung eine besondere Form der saugseitigen Oberflächengestaltung an mindestens einer Rotorschaukel der Strömungsarbeitsmaschine, mit dem Ziel die Betriebsleistungen und/oder die Lebensdauer der Strömungsarbeitsmaschine zu verbessern.

[0013] Erfindungsgemäß ist für den Einsatz in einer Strömungsarbeitsmaschine eine Rotorschaukel geschaffen, die auf ihrer Saugseite mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, derart, dass entweder

- a) in mindestens einer der Zonen eine grenzschichtenergetisierende Struktur vorliegt, die durch Formung, Materialabtrag oder Materialauftrag erzeugt wird und durch mindestens eine schräg zur Vorderkante und zur Meridianströmungsrichtung orientierte Absatzkante gekennzeichnet ist, oder
- b) in mindestens einer der Zonen eine höhere Oberflächenrauigkeit vorliegt, die durch Formgebung, Nachbehandlung, Partikelbeschuss oder Beschichtung erzeugt wird und bezüglich des Rauigkeitswertes Ra einen Unterschied von mindestens  $0,4 \mu\text{m}$  zu angrenzenden Zonen aufweist, sowie entweder mehr als 5% der Saugseitenfläche einnimmt oder im Wesentlichen schräg zur Vorderkante und zur Meridianströmungsrichtung orientiert ist.

[0014] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

[0015] [Fig. 1](#) eine Skizze der Leckageströmung am Rotorradialspalt,

[0016] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung von Rotoren nach dem Stand der Technik,

[0017] [Fig. 3](#) mögliche Konfigurationen erfindungsrelevanter Strömungsarbeitsmaschinen,

[0018] [Fig. 4](#) die Definition von Meridianstromlinien und Stromlinienprofilschnitten,

[0019] [Fig. 5](#) erfindungsrelevante geometrische Rotordimensionen,

[0020] [Fig. 6](#) erfindungsgemäße Begrenzungslinien (saugseitig),

[0021] [Fig. 7](#) eine erfindungsgemäße Oberflächenstruktur,

[0022] [Fig. 8](#) Beispiele zur Schaffung erfindungsgemäß schräger Absatzkanten,

[0023] [Fig. 9](#) weitere erfindungsgemäße Lösungen,

[0024] [Fig. 10](#) weitere besonders günstige erfindungsgemäße Lösungen.

[0025] Die [Fig. 1](#) zeigt eine Skizze der prinzipiellen Vorgänge der Leckageströmung am Rotorradialspalt, wobei die beiden Pfeile die Hauptströmung und die Spaltströmung darstellen und wobei die Interferenz mit der Gehäusegrenzschicht und der Spaltwirbel mit Wirbelkern gezeigt sind.

[0026] Die [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung von Rotorschaukeln nach dem Stand der Technik, bei welchem auf der Schaukeloberfläche Dreiecksstörkörper oder dünne Schichten aufgetragen sind.

[0027] [Fig. 3](#) zeigt vier nach dieser Beschreibung mögliche Konfigurationen der Strömungsarbeitsmaschine.

[0028] Die [Fig. 4](#) gibt eine Definition der Meridianstromlinien und der Stromlinienprofilschnitte. Die mittlere Meridianstromlinie wird durch die geometrische Mitte des Ringkanals gebildet. Errichtet man an jedem Ort der mittleren Stromlinie eine Normale, so erhält man zum einen den Verlauf der Ringkanalweite  $W$  entlang des Strömungspfad und zum anderen eine Anzahl von Normalen, mit deren Hilfe sich bei gleicher relativer Unterteilung in Richtung der Kanalhöhe weitere Meridianstromlinien ergeben. Der Schnitt einer Meridianstromlinie mit einer Schaukel ergibt einen Stromlinienprofilschnitt.

[0029] Die [Fig. 5](#) zeigt die zur Bestimmung erfindungsmäßiger Begrenzungslinien nötigen Dimensionen eines Rotors. In der Meridianansicht des Rotors, links, ist die Hinterkantenkanalhöhe  $WHK$ , die senkrecht zur mittleren Stromlinie gemessen wird. Die rechte Bildhälfte zeigt einen Meridianstromlinienschnitt A-A auf einer beispielhaft gewählten Schaukelhöhe. Definiert sind hier die Sehnenlänge des Profils C, der Abstand zwischen zwei Schaukeln S sowie der durch senkrechte Projektion auf die Saugseite

des Nachbarprofils erzeugte Punkt P und der um 15% der Sehnenlänge weiter stromab gelegene Punkt E.

**[0030]** Die [Fig. 6](#) zeigt in der Meridianansicht des Rotors vier unterschiedliche Begrenzungslinien, die für die Ortsauswahl der erfindungsgemäßen Oberflächen-Querstruktur bzw. der Zonen erhöhter Rauigkeit notwendig sind. Die Linie PL entsteht durch die Verbindung aller Punkte P der Schaufelschnitte der Schaufel. Die Linie EL entsteht durch die Verbindung aller Punkte E. Die Linie SLM bezeichnet die Meridianstromlinie auf der Schaufelhöhe des Rotors, an der die relative Zuströmmachzahl 1 herrscht. Sie befindet sich bei einer konstanten relativen Höhe  $HM/W$ . Die Linie SLW bezeichnet die Meridianstromlinie auf der Schaufelhöhe des Rotors, bis zu der vom Gehäuse aus mit einem starken Einfluss der Spaltleckageströmung bzw. des Spaltwirbels zu rechnen ist. Sie befindet sich auf der konstanten relativen Höhe

$$HW/W = 0,95 - (S/WHK)(0,35 + 0,15(1 - \cos \lambda))$$

der hierzu verwendete Staffelungswinkel  $\lambda$  und der Abstand zwischen 2 Rotorschaukeln S werden im Schaufelschnitt unmittelbar am Gehäuse gemessen.

**[0031]** Die [Fig. 7](#) zeigt unterschiedliche erfindungsgemäß mögliche Oberflächen-Querstrukturen, denen gemeinsam ist, dass sie durch die zugehörigen, quer zur Grenzschichtströmung angeordneten Absatzkanten Wirbelstrukturen erzeugen, die eine Durchmischung der Grenzschicht quer zur Strömungsrichtung (entlang der Oberfläche) bewirken, siehe Bildteil unten.

**[0032]** Die [Fig. 8](#) gibt Beispiele konkreter Ausführungen der Absatzkanten, die, wie in [Fig. 7](#) angedeutet, über längere Strecken durchgängig sein können oder auch nur auf unterbrochenen kurzen Abschnitten bestehen können. So können flach auf die schräge Kante zulaufende Ausnehmungen mit spitzen oder auch ausgerundeten Ecken verwendet werden. Alternativ kann die Kante selbst eine Erhöhung über der Oberfläche darstellen. Möglich sind auch grubchenhafte Einzelausnehmungen oder entsprechende Erhöhungen auf der Oberfläche. Dabei ist K die Höhe in der Größe der Grenzschichtdicke.

**[0033]** Die [Fig. 9](#) zeigt schließlich eine Anzahl erfindungsgemäßer Anordnungen.

**[0034]** Die [Fig. 10](#) zeigt erfindungsgemäß besonders wirksame Lösungen, bei denen die Oberflächen-Querstruktur bzw. die Zone erhöhter Rauigkeit im Gebiet zwischen Vorderkante, Gehäuselinie, der Linie SLM und der Linie EL angeordnet ist. Besonders wirksam ist, wenn die Oberflächen-Querstruktur bzw. die Zone erhöhter Rauigkeit im Gebiet zwischen Vorderkante, Gehäuselinie, der Linie SLW und

der Linie EL angeordnet ist.

**[0035]** Die vorliegende Erfindung erlaubt eine Vergleichmäßigung und Beruhigung der Strömung im Schaufelrandbereich und kann auf diese Weise insbesondere bei Rotoren in kritischen Fällen eine von dort ausgehende Störung des Betriebsverhaltens vermeiden. Insbesondere die im Fußbereich von Fanschaufeln auftretenden vibratorischen Verschleißerscheinungen, die durch Strömungsinstabilitäten im Blattspitzenbereich der Schaufel hervorgerufen werden, werden bei Anwendung der vorliegenden Erfindung extrem wirksam reduziert. Eine Erhöhung des Stufenwirkungsgrades von rund 0,5% scheint möglich. Bei Einsatz des Konzeptes am Fan eines Flugtriebwerkes mit rund 25000 Pfund Schub ergibt eine Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauches von bis zu 0,5% Ein möglicher Zugewinn an Stabilität, d. h. eine Erhöhung der Abreißgrenze der Strömungsarbeitsmaschine, ist mit rund 5% anzugeben.

#### Bezugszeichenliste

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1 | Gehäuse/Gehäuselinie |
| 2 | Rotorspitze          |
| 3 | Rotorschaukel        |
| 4 | Nabe (Rotortrommel)  |
| 5 | Vorderkante          |
| 6 | Hinterkante          |
| 7 | Maschinenachse       |
| 8 | Ringkanal            |
| 9 | Saugseite            |

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 1580399 A [[0007](#)]

### Patentansprüche

1. Strömungsarbeitsmaschine mit zumindest einem mit Rotorscheufeln (3) versehenen Rotor, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorscheufel (3) auf einer Saugseite (9) mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante (5) der Rotorscheufel (3), einer Gehäuselinie (1), einer Linie (SLM) und einer Linie (EL) angeordnet ist und mit einer grenzschichtenergetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie (SLM) eine Meridianstromlinie auf einer machzahl-kritischen Schaufelhöhe des Rotors und die Linie (EL) eine Verbindungslinie aller Punkte (E) zur Bildung einer sehnorthogonalen Projektionslinie (EL) sind.

2. Rotorscheufel einer Strömungsarbeitsmaschine mit zumindest einem mit Rotorscheufeln (3) versehenen Rotor, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorscheufel (3) auf einer Saugseite (9) mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante (5) der Rotorscheufel (3), einer Gehäuselinie (1), einer Linie (SLM) und einer Linie (EL) angeordnet ist und mit einer grenzschichtenergetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie (SLM) eine Meridianstromlinie auf einer machzahl-kritischen Schaufelhöhe des Rotors und die Linie (EL) eine Verbindungslinie aller Punkte (E) zur Bildung einer sehnorthogonalen Projektionslinie (EL) sind.

3. Strömungsarbeitsmaschine mit zumindest einem mit Rotorscheufeln (3) versehenen Rotor, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorscheufel (3) auf einer Saugseite (9) mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante (5) der Rotorscheufel (3), einer Gehäuselinie (1), einer Linie (SLW) und einer Linie (EL) angeordnet ist und mit einer grenzschichtenergetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie SLW auf einer wie folgt definierten relativen Kanalhöhe HW/W verläuft:

$$HW/W = 0,95 - (S/WHK)(0,35 + 0,15(1 - \cos \lambda))$$

wobei

$\lambda$  der Staffelungswinkel am Rotorgehäuseschnitt,  
S der Abstand zwischen zwei Rotorscheufeln (3) am Rotorgehäuseschnitt,  
WHK eine Hinterkantenkanalweite,  
W eine Kanalweite und  
HW die in Kanalweitenrichtung gemessene Distanz zwischen der Nabe und der Linie SLW sind.

4. Rotorscheufel einer Strömungsarbeitsmaschine mit zumindest einem mit Rotorscheufeln (3) versehenen Rotor, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorscheufel (3) auf einer Saugseite (9) mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante (5) der Rotorscheufel (3), einer Gehäuselinie (1), einer Linie (SLM) und einer Linie (EL) angeordnet ist und mit einer grenzschichtenergetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie (SLM) eine Meridianstromlinie auf einer machzahl-kritischen Schaufelhöhe des Rotors und die Linie (EL) eine Verbindungslinie aller Punkte (E) zur Bildung einer sehnorthogonalen Projektionslinie (EL) sind.

hnenen Rotor, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotorscheufel (3) auf einer Saugseite (9) mindestens zwei Zonen unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit aufweist, wobei die eine Zone zwischen einer Vorderkante (5) der Rotorscheufel (3), einer Gehäuselinie (1), einer Linie (SLW) und einer Linie (EL) angeordnet ist und mit einer grenzschichtenergetisierenden Oberflächenstruktur versehen ist, wobei die Linie SLW auf einer wie folgt definierten relativen Kanalhöhe HW/W verläuft:

$$HW/W = 0,95 - (S/WHK)(0,35 + 0,15(1 - \cos \lambda))$$

wobei

$\lambda$  der Staffelungswinkel am Rotorgehäuseschnitt,  
S der Abstand zwischen zwei Rotorscheufeln (3) am Rotorgehäuseschnitt,  
WHK eine Hinterkantenkanalweite,  
W eine Kanalweite und  
HW die in Kanalweitenrichtung gemessene Distanz zwischen der Nabe und der Linie SLW sind.

5. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die grenzschicht-energetisierende Struktur mindestens eine schräg zur Vorderkante (5) und zur Meridianströmungsrichtung orientierte Absatzkante umfasst.

6. Rotorscheufel nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absatzkante durchgängig ausgebildet ist.

7. Rotorscheufel nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absatzkante auf kurzen, unterbrochenen Abschnitten der Rotorscheufel (3) ausgebildet ist.

8. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absatzkante in Form einer flachen, auf eine schräge Kante zulaufenden Ausnehmung mit spitzen oder ausgerundeten Ecken ausgebildet ist.

9. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absatzkante in Form von grubchenhaften Einzelausnehmungen ausgebildet ist.

10. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absatzkante durch Erhöhungen auf der Oberfläche der Rotorscheufel (3) ausgebildet ist.

11. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die grenzschicht-energetisierende Struktur durch eine Zone mit einer höheren Oberflächenrauigkeit ausgebildet ist.

12. Rotorscheufel nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächenrauigkeit durch Formgebung, Nachbehandlung, Partikelbeschuss und/oder Beschichtung hergestellt ist.

13. Rotorscheufel nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächenrauigkeit einen Rauigkeitswert (Ra) mit einem Unterschied von mindestens  $0,4 \mu\text{m}$  zu angrenzenden Zonen aufweist.

14. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die grenzschicht-energetisierende Struktur mehr als 5% der Saugflächenseite (9) der Rotorscheufel (3) einnimmt.

15. Rotorscheufel nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die grenzschicht-energetisierende Struktur im Wesentlichen schräg zur Vorderkante (5) und zur Meridianströmungsrichtung angeordnet ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

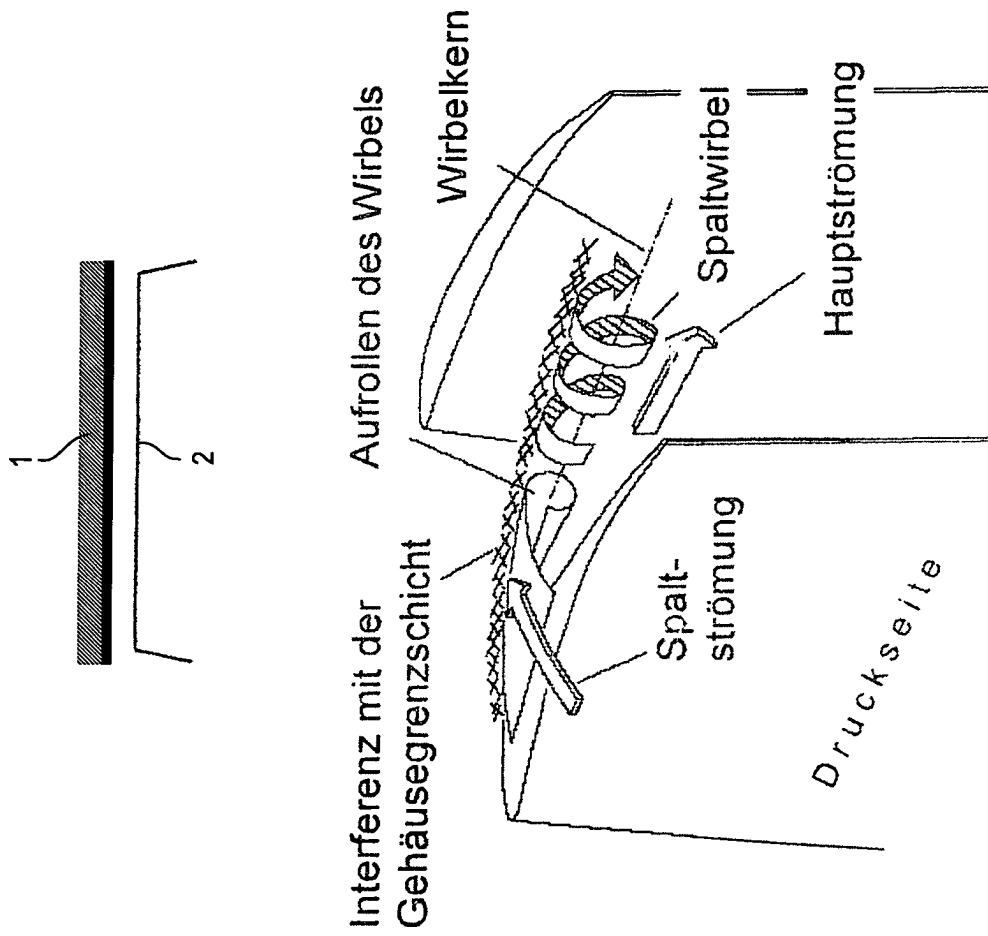


FIG. 1



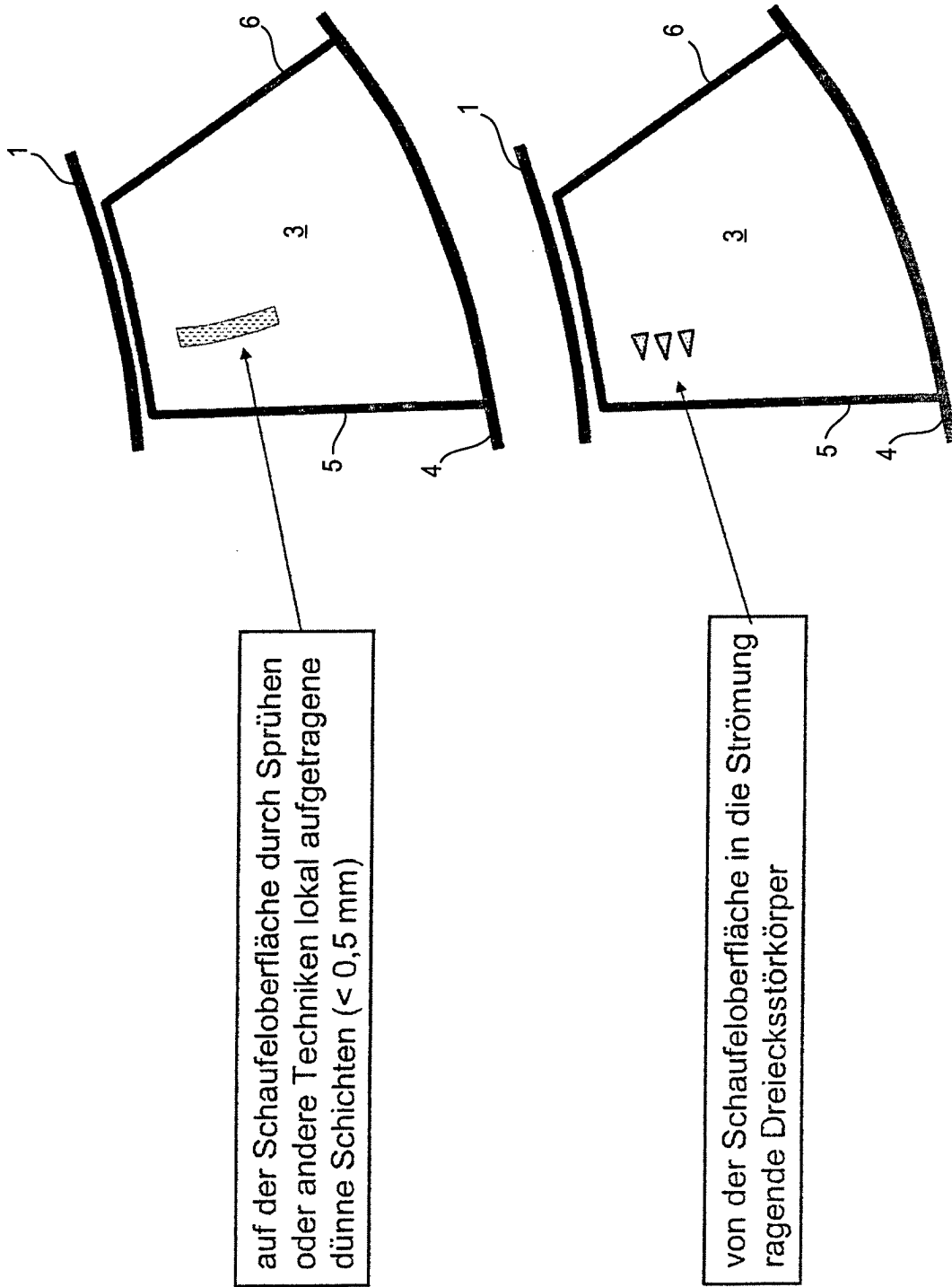


FIG. 2 STAND DER TECHNIK

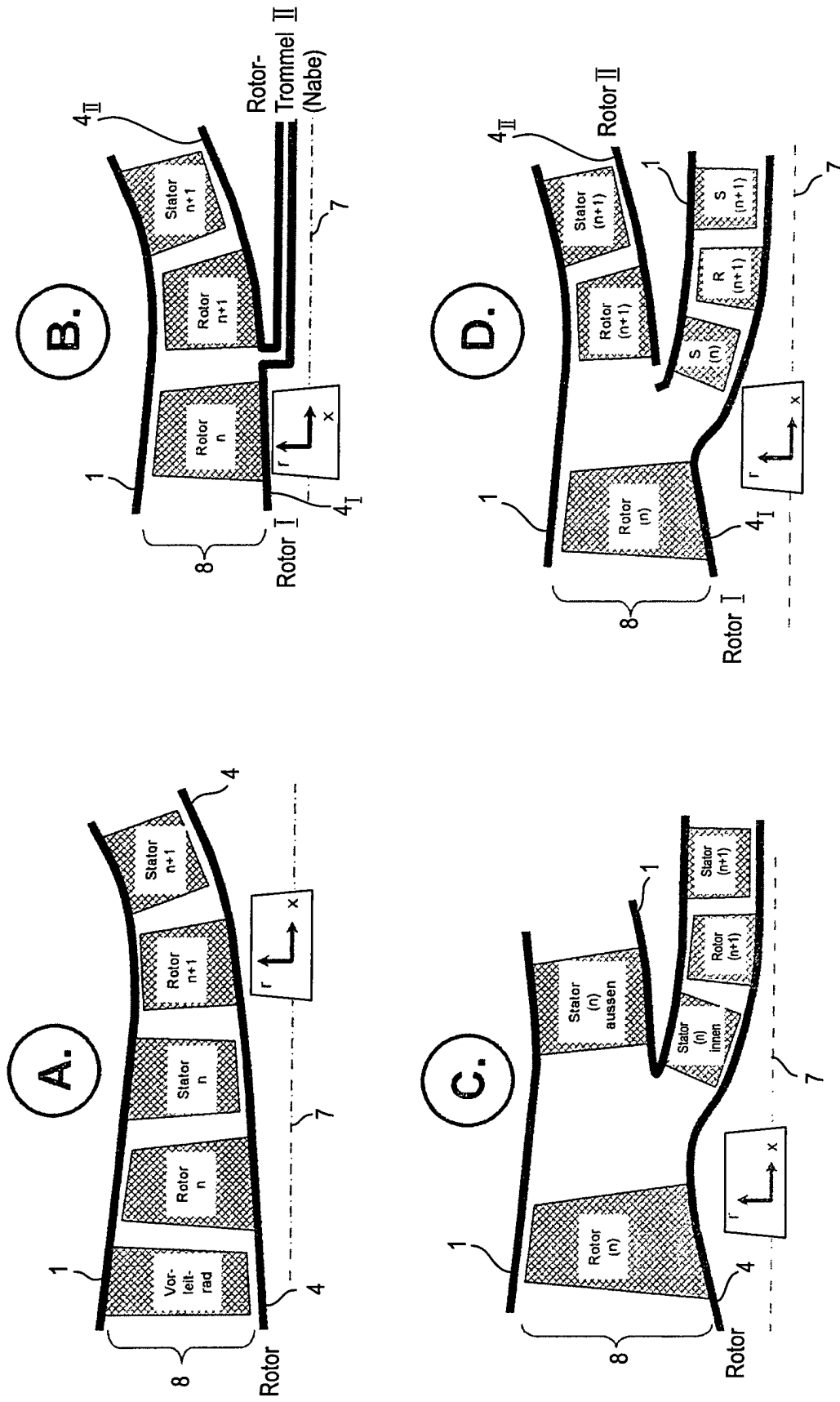


FIG. 3

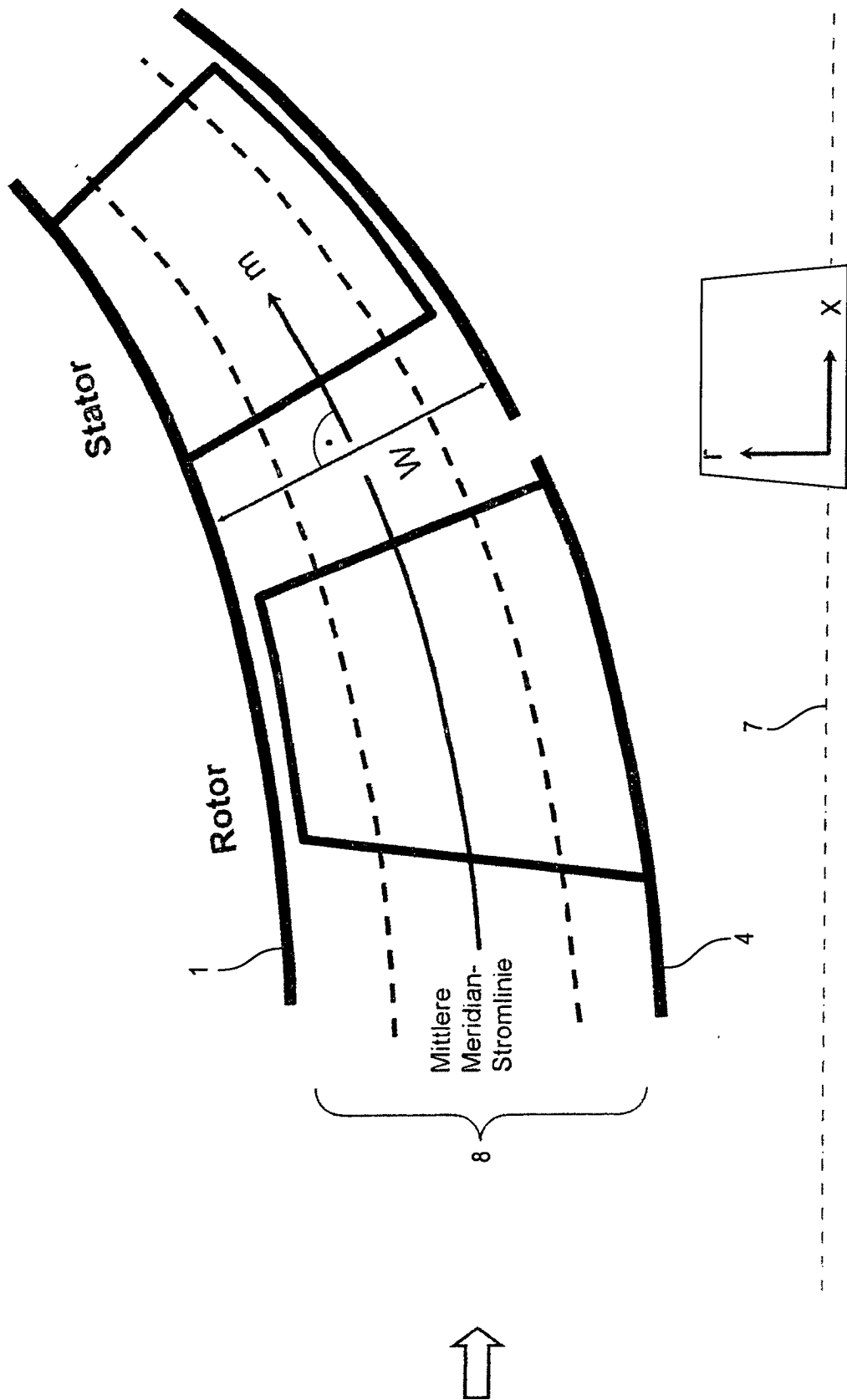


FIG. 4

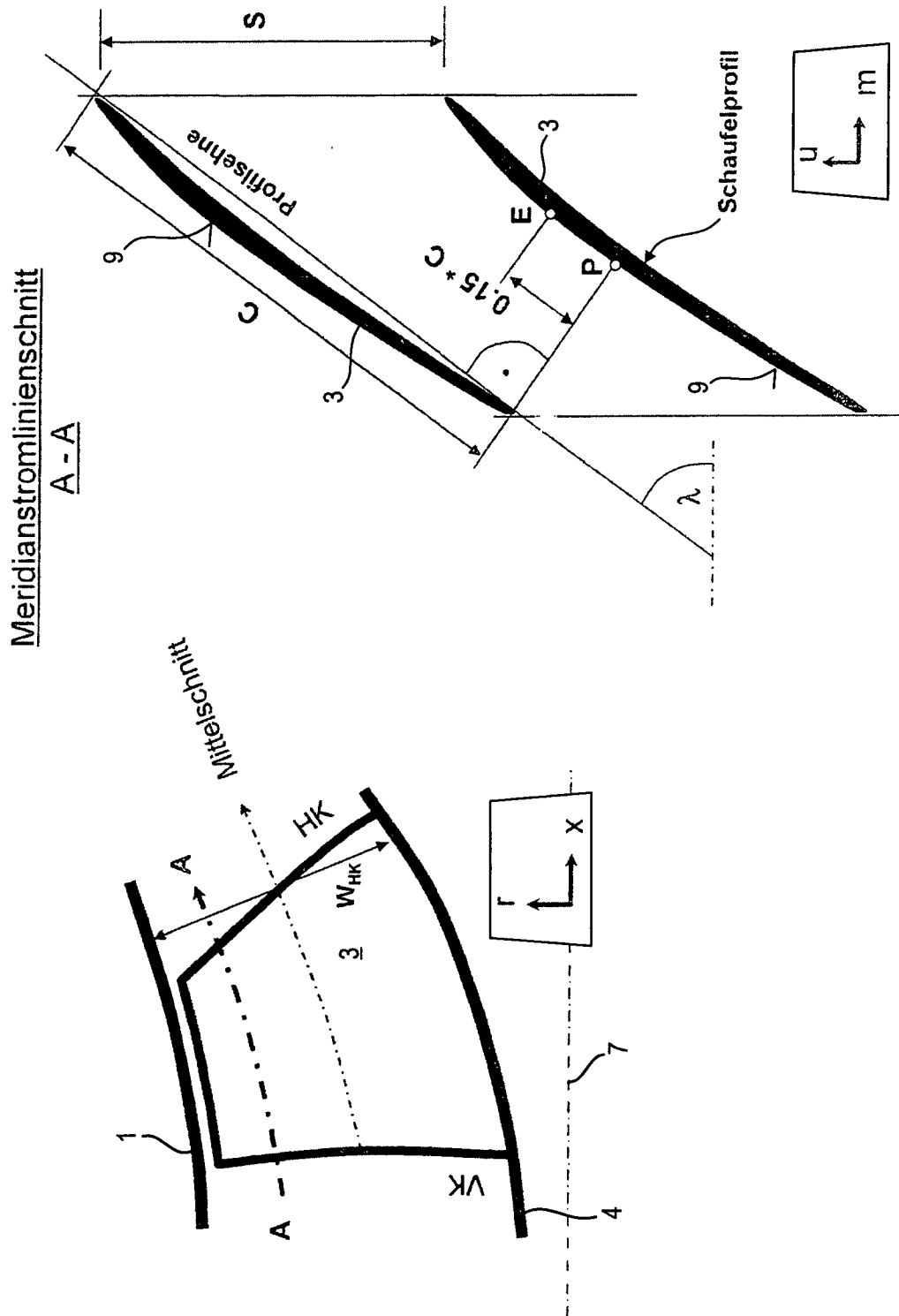


FIG. 5

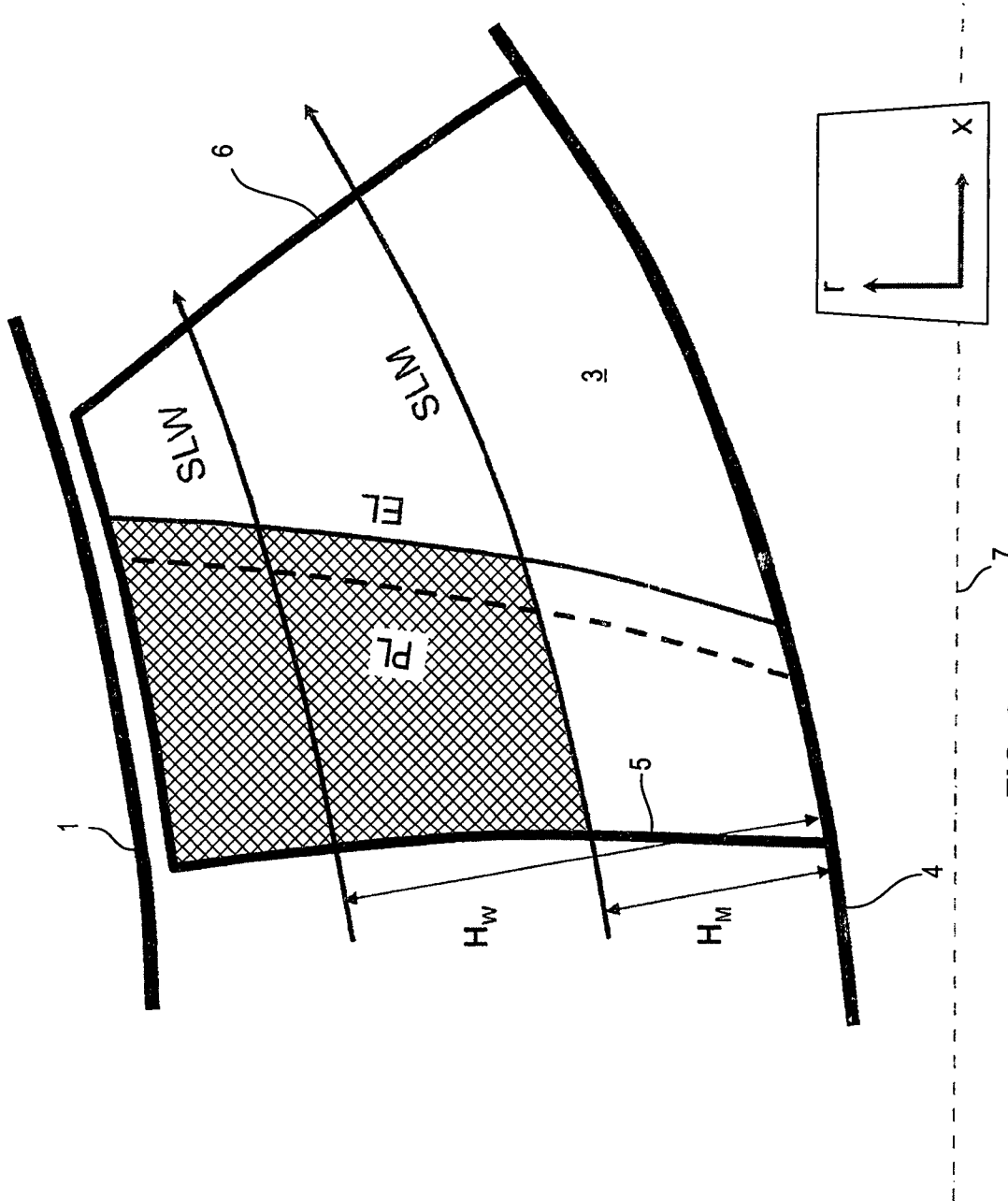


FIG. 6

Sehnorthogonale Projektionslinie **PL**

Erweiterte sehnorthogonale Projektionslinie **EL**

Meridianstromlinie auf Machzahl-kritischer Schaufelhöhe **SLM**

Meridianstromlinie auf Spitzenwirbel-kritischer Schaufelhöhe **SLW**

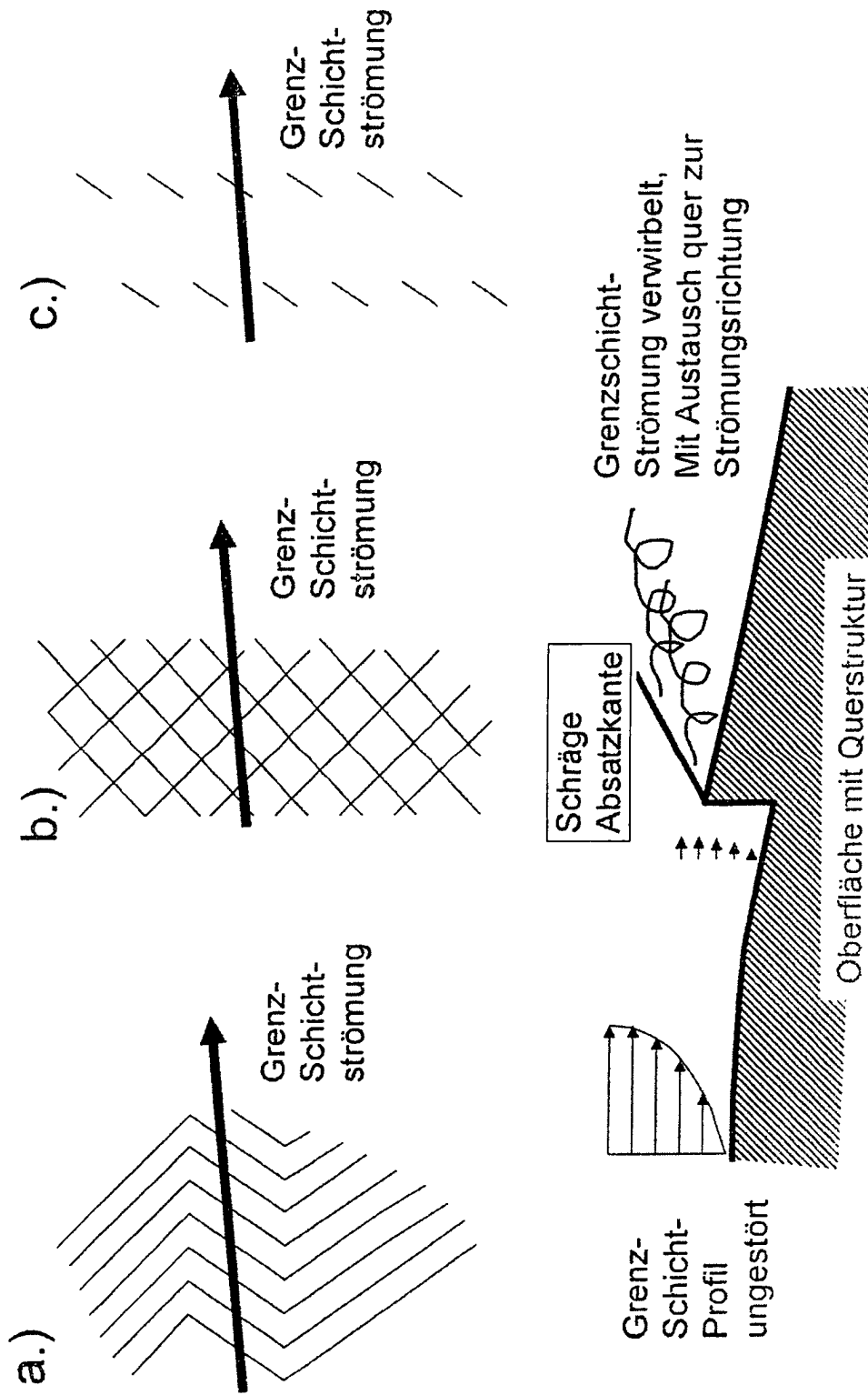


FIG. 7

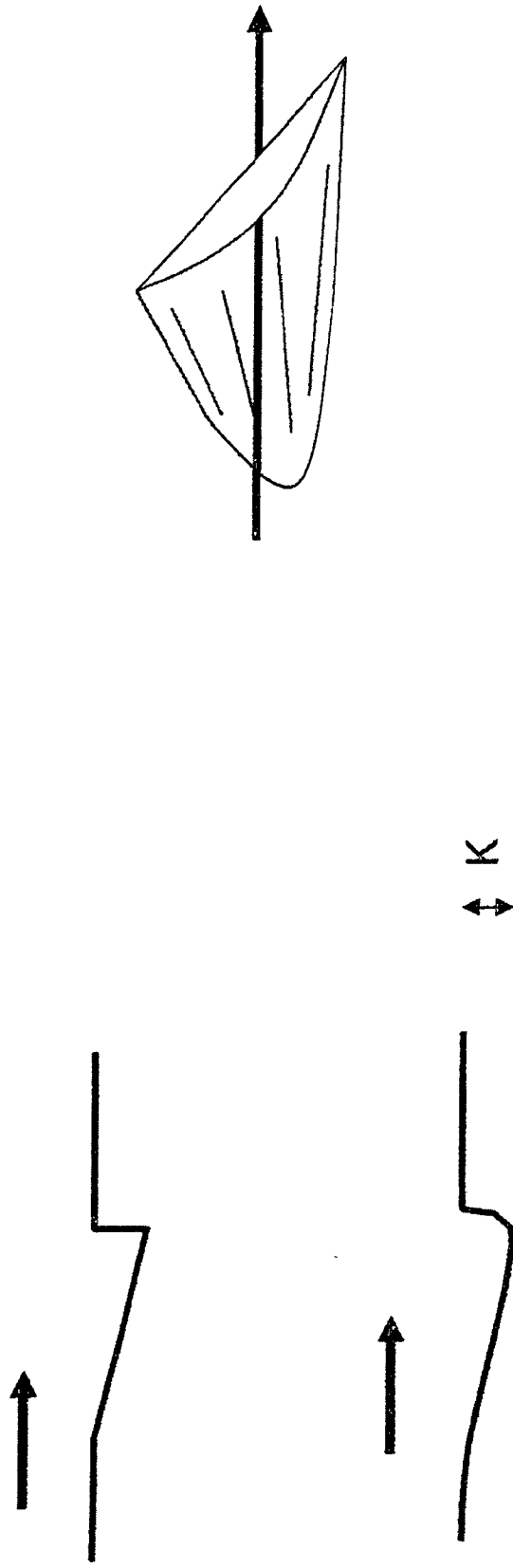


FIG. 8

Oberflächen-Querstruktur in Teilzonen der Schaufelsaugseite, erzeugt durch Formung Materialabtrag oder Materialauftrag, und gekennzeichnet durch schräg zur Vorderkante und zur Meridianströmungsrichtung orientierte Absatzkanten

Abgegrenzte Zonen unterschiedlicher Oberflächenrauigkeit der Schaufelsaugseite, erreicht durch Formgebung, Nachbehandlung oder Beschichtung, mit Unterschieden der Rauigkeit Ra von mindestens 0,4 µm, mehr als 5% der Saugseitenfläche einnehmend oder mit schräger Orientierung zur Vorderkante und zur Meridianströmungsrichtung

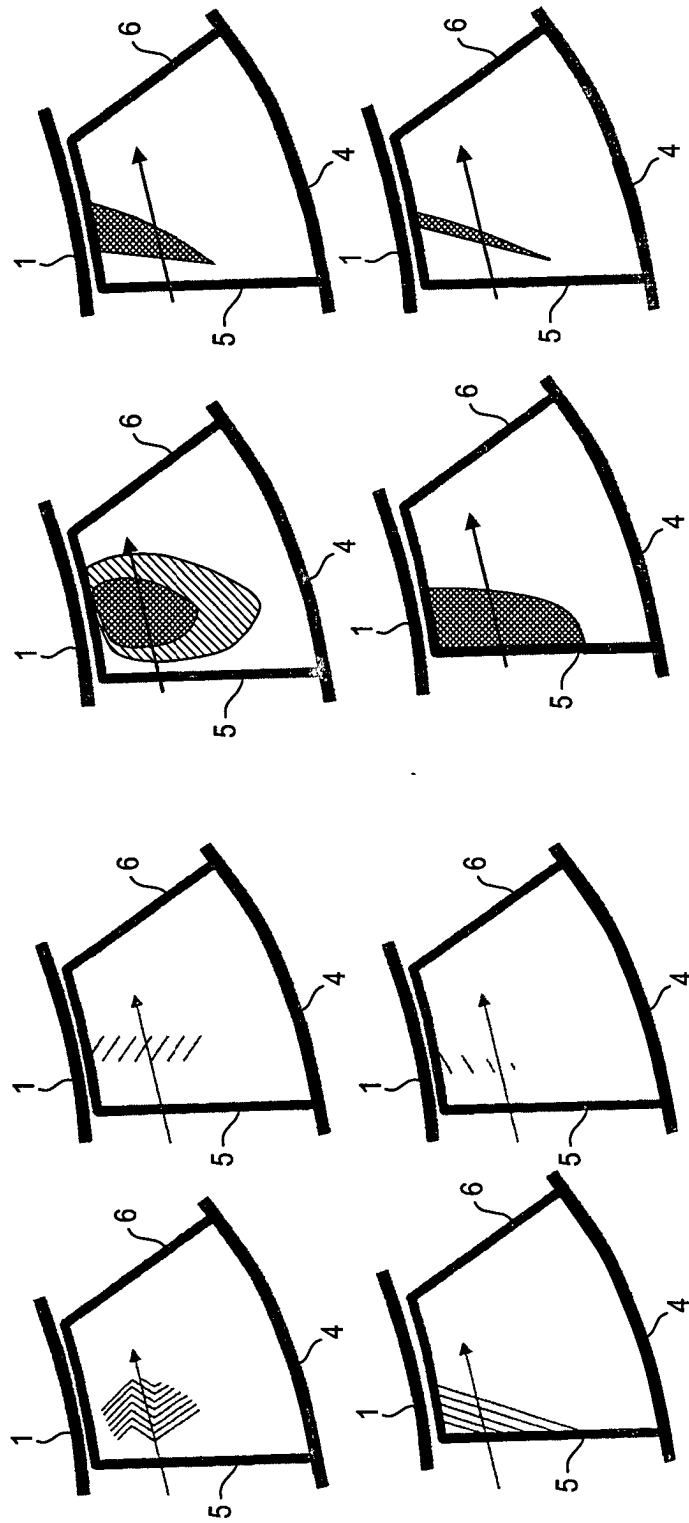


FIG. 9



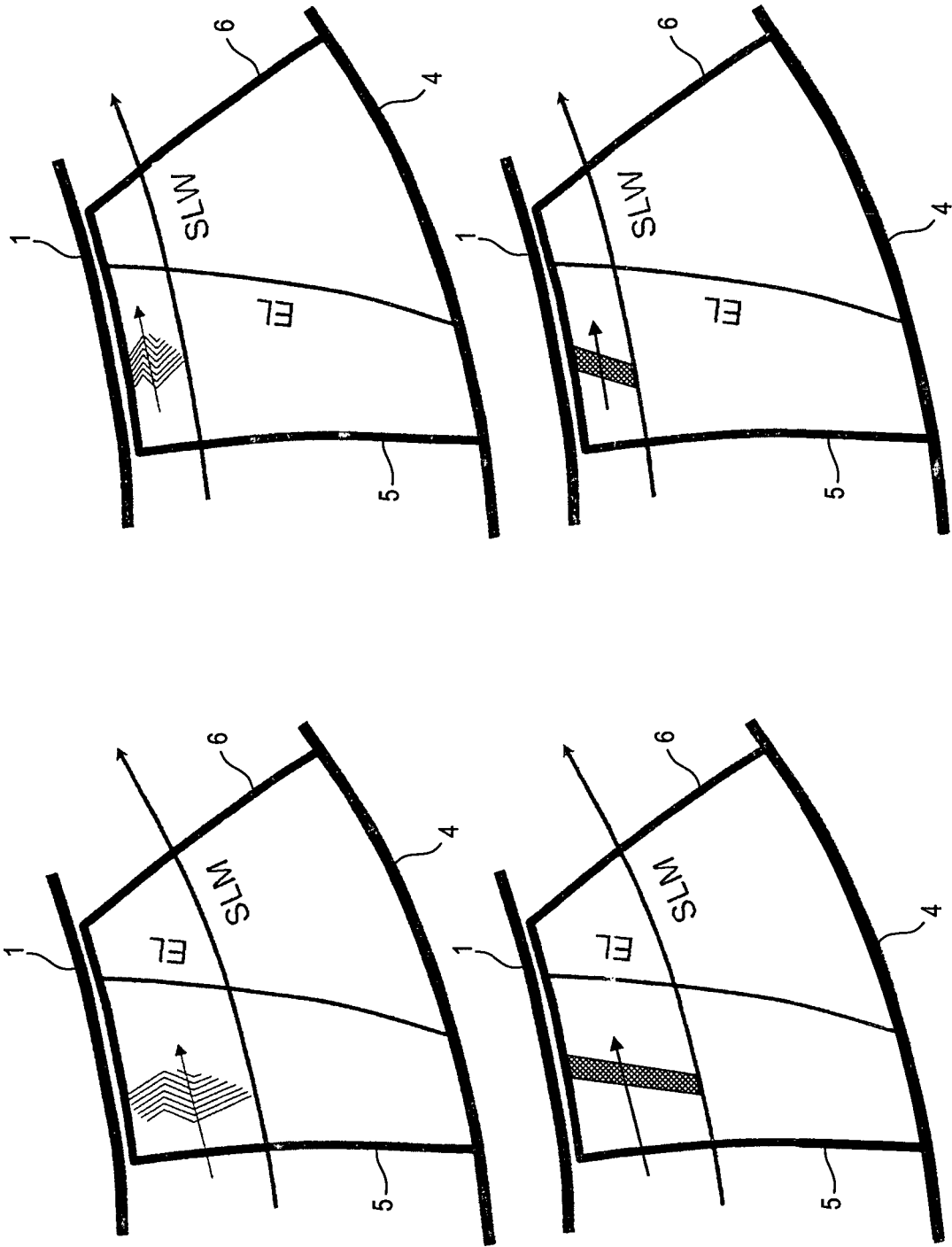


FIG.10