

(19)



(11)

EP 2 275 643 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.01.2011 Patentblatt 2011/03

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) F01D 5/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10005471.7**

(22) Anmeldetag: **26.05.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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:
BA ME RS

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

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

(30) Priorität: **17.07.2009 DE 102009033593**

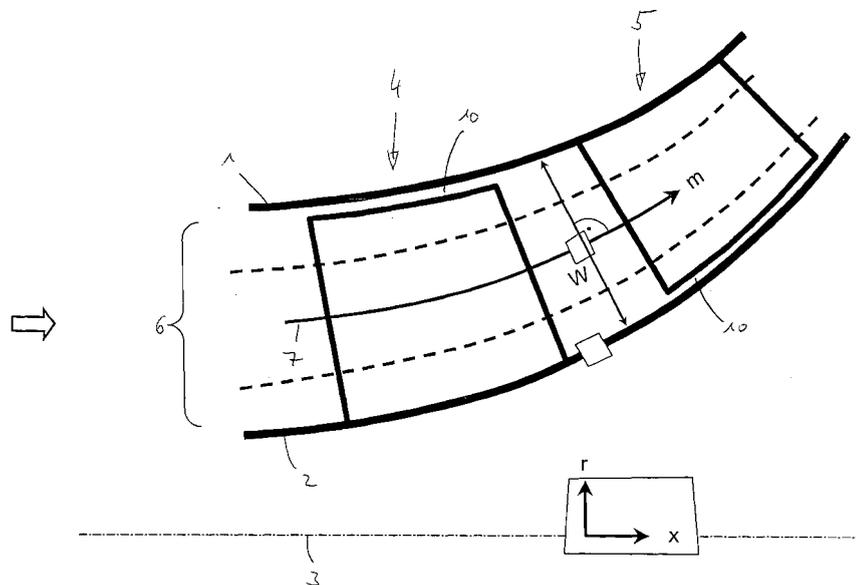
(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(54) Triebwerkschaufel mit überhöhter Vorderkantenbelastung

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine angeordnet in einem von einer Nabe 2 und einem Gehäuse 1 berandeten Hauptströmungspfad 6, wobei zwischen einem Ende der Schaufel und einer durch eine Nabe 2 oder ein Gehäuse 1 gebildeten Hauptströmungspfadberandung ein Spalt 10 ausgebildet ist und somit ein freies Schaufelende ausgebildet ist, wobei in mindestens einem Schaufelprofilstromlinienschnitt im Bereich zwischen dem Spalt 10 und einem Schaufelschnitt im Abstand von 30% der Hauptströmungspfadweite W vom Spalt 10 eine Skelettlinien-

wölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, wobei s^* die auf die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie bezogene lokale Lauflänge darstellt und α^* als die von der Vorderkante bis zu einer bezogenen Lauflänge s^* erreichte Winkeländerung der Skelettlinie bezogen auf die Gesamtwölbung der Skelettlinie gebildet wird, wobei die Skelettlinienwölbungsverteilung in dieser Darstellung im Vorderkantenpunkt V $s^*=0, \alpha^*=0$ beginnt und im Hinterkantenpunkt H $s^*=1, \alpha^*=1$ endet.

Fig.2:



EP 2 275 643 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Triebwerkschaufel mit überhöhter Vorderkantenbelastung.

[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 Bereich von Rotor- und Statorradialspalten und von festen Schaufelenden nahe der Ringkanalwände begrenzt. Der Stand der Technik hält für dieses fundamentale Problem nur bedingt Lösungen bereit. Der allgemeine Gedanke der Randbeeinflussung durch Änderung des Skelettliniertyps entlang der Schaufelhöhe ist im Stand der Technik enthalten, doch sind die bekannten Lösungen, insbesondere für die Strömungsverhältnisse an einem Schaufelende mit Radialspalt, nicht genügend zielgerichtet.

[0003] Im Einzelnen betrifft die Erfindung mindestens eine Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine. Die betreffende Beschaukelung ist innerhalb eines Hauptströmungspfad vorgesehen, außen begrenzt durch ein Gehäuse und innen begrenzt durch eine Nabe. Während ein Rotor mehrere an einer rotierenden Welle befestigte Rotorschaukeln umfasst und Energie an das Arbeitsmedium abgibt, besteht ein Stator aus mehreren feststehenden, meist im Gehäuse befestigten Statorschaukeln.

[0004] Zum einen betrifft die Erfindung einen Rotor mit fester Anbindung an einer rotierenden Nabe und einem freien Schaufelende mit Spalt am Gehäuse. In analoger Weise betrifft die Erfindung einen Stator, der gehäuseseitig eine feste Verbindung zum Rand aufweist und nabenseitig ein freies Schaufelende mit Spalt zur Nabe besitzt.

[0005] Die vorliegende Erfindung bezieht sich 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.

[0006] Aus dem Stand der Technik ist folgendes bekannt:

[0007] Die Fig. 1 zeigt auf der linken Seite in schematischer Darstellung zwei Schaufelkonfigurationen nach dem Stand der Technik in der durch die Radialrichtung r und die Axialrichtung x gebildeten Meridianebene. Es handelt sich dabei um eine Rotorschaukelreihe 4 mit Spalt am Gehäuse 1 (oben), wobei das Gehäuse 1 steht oder in Spezialfällen auch rotiert und die Schaufelreihe um die Maschinenachse 3 rotiert. Es handelt sich weiterhin um eine Statorschaukelreihe 5 mit Spalt an der Nabe 2 (unten), wobei die Nabe 2 um die Maschinenachse 3 rotiert oder in Spezialfällen auch ruht und die Schaufelreihe 5 steht. Gemäß dem Stand der Technik ist der Schaufelprofilschnitt direkt am Laufspalt eines Rotors 4 oder Stators 5 so gestaltet, dass die Profilbelastung und somit die Profilwölbung im Bereich der Vorderkante ein bestimmtes Maß nicht übersteigt, weil konventionelle Entwurfsregeln, basierend auf Überlegungen zur Natur

zweidimensionaler Strömungen um Profile dies empfehlen.

[0008] Die rechte Seite der Fig. 1 zeigt unterschiedliche, dem Stand der Technik entsprechende Verteilungen der Skelettlinienwölbung im Profilschnitt direkt am Laufspalt, dargestellt als relative Wölbung α^* über der bezogenen Lauflänge s^* (Definitionen siehe Fig. 3). Kennzeichnend für alle Wölbungsverteilungen ist, dass bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ bei Weitem nicht Werte der relativen Wölbung von $\alpha^* \geq 0,35$ oder gar $\alpha^* \geq 0,50$ oder $\alpha^* \geq 0,65$ vorgesehen werden. Dadurch wird eine extreme Vorderkantenbelastung bewusst vermieden. In diese Kategorie fallen die sogenannten CDA (controlled diffusion aerofoils) gemäß US 4431376 A. Aerodynamisch betrachtet wird durch die CDA eine moderate Profilvorderlast angestrebt.

[0009] Als nachteilig erweist sich beim Stand der Technik, dass die entsprechenden Schaufelformen oft bewusst mit geringer Komplexität bezüglich der Skelettlinienförmigkeit entworfen werden. Für den Fall starker Laufspaltleckageströmungen fehlt eine überhöhte Profilwölbung im Vorderkantenbereich der Schaufelprofilschnitte in der Nähe des Laufspaltes, um eine im Schaufelmittenbereich günstige übliche Skelettlinienwölbungsverteilung auf angemessene Weise mit einer für die Randbereiche günstigeren Skelettlinienwölbungsverteilung zu kombinieren.

[0010] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Rotor- oder Statorschaukel der eingangs genannten Art zu schaffen, welche unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik eine sehr wirkungsvolle Beeinflussung der Randströmung durch eine überhöhte Skelettlinienwölbung im Bereich der Vorderkante der nahe des Laufspaltes befindlichen Schaufelprofilschnitte erreicht.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0012] Erfindungsgemäß ist somit eine Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine, welche in einem von einer Nabe und einem Gehäuse berandeten Hauptströmungspfad angeordnet ist, vorgesehen, wobei zwischen einem Ende der Schaufel und der Hauptströmungspfadberandung, Nabe oder Gehäuse, ein Spalt vorgesehen ist und somit ein freies Schaufelende ausgebildet ist, wobei in mindestens einem Schaufelprofilstromlinienschnitt im Bereich zwischen dem Spalt und einem Schaufelschnitt im Abstand von 30% der Hauptströmungspfadweite W vom Spalt eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, wobei s^* die auf die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie bezogene lokale Lauflänge darstellt und α^* als die von der Vorderkante bis zu einer bezogenen Lauflänge s^* erreichte Winkeländerung der Skelettlinie bezogen auf die Gesamtwölbung der Skelettlinie gebildet wird, wobei die Skelett-

linienwölbungsverteilung in dieser Darstellung im Vorderkantenpunkt V ($s^*=0, \alpha^*=0$) beginnt und im Hinterkantenpunkt H ($s^*=1, \alpha^*=1$) endet.

[0013] Wie sich insbesondere aus der Fig. 4c (siehe nachfolgende Beschreibung) ergibt, ist am vorderen Bereich der Schaufel ein sehr hoher Anstieg der Strömungs-Umlenkung vorgesehen.

[0014] Die Erfindung lässt sich auch wie folgt darstellen:

[0015] Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine, welche in einem von einer Nabe und einem Gehäuse berandeten Hauptströmungspfad angeordnet ist, wobei zwischen einem Ende der Schaufel und der Hauptströmungspfadberandung, Nabe oder Gehäuse, ein Spalt vorgesehen ist und somit ein freies Schaufelende ausgebildet ist, wobei in mindestens einem Schaufelprofilstromlinienschnitt im Bereich zwischen dem Spalt und einem Schaufelschnitt im Abstand von 30% der Hauptströmungspfadweite W vom Spalt eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, wobei s^* die auf die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie bezogene lokale Lauflänge darstellt und α^* als die von der Vorderkante bis zu einer bezogenen Lauflänge s^* erreichte Winkeländerung der Skelettlinie bezogen auf die Gesamtwölbung der Skelettlinie gebildet wird, wobei die Skelettlinienwölbungsverteilung in dieser Darstellung im Vorderkantenpunkt V ($s^*=0, \alpha^*=0$) beginnt und im Hinterkantenpunkt H ($s^*=1, \alpha^*=1$) endet, wobei insbesondere mindestens direkt am Spalt eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, und/oder mindestens innerhalb der an den Spalt angrenzenden 5% der Hauptströmungspfadweite eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, wobei bevorzugt bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ ein überhöhter Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,50$ vorgesehen ist, wobei bevorzugt die Skelettlinienwölbungsverteilung die mit hohem Gradienten im Vorderkantenpunkt V beginnt und im weiteren Verlauf sich der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ mit abnehmendem Gradienten nähert, wobei bevorzugt die Skelettlinienwölbungsverteilung sich von der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ aus in Richtung des Hinterkantenpunktes H gehend knickfrei und mit abnehmendem oder konstanten Gradienten bis zum Hinterkantenpunkt H fortsetzt, wobei die Stelle stärkster Krümmung der Skelettlinienwölbungsverteilung im Bereich $0 \leq s^* \leq 0,2$ vorgesehen ist, wobei vorteilhaft die Skelettlinienwölbungsverteilung sich von der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ aus in Richtung des Hinterkantenpunktes H gehend knickfrei zunächst

mit weiter geringer werdenden Gradienten fortsetzt und ab einem Punkt T, in dem die Krümmung ihr Vorzeichen wechselt, für wenigstens einen Teil des Bereiches $0,1 \leq s^* \leq 1$ wieder ansteigende Gradienten aufweist, wobei weiter bevorzugt die Skelettlinienwölbungsverteilung nur einen einzigen Krümmungsvorzeichenwechsel besitzt und somit einen S-förmigen Verlauf zeigt, und/oder dass der Punkt T des ersten Krümmungsvorzeichenwechsels im Bereich $0,35 \leq s^* \leq 0,65$ vorgesehen ist, wobei bevorzugt weiterhin die Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens in einem Teil des Bereiches $0,1 \leq s^* \leq 1$ bei konstanten Werten der relativen Skelettlinienwölbung α^* verläuft, und/oder die Skelettlinienwölbungsverteilung bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,9$ einen Wert der relativen Skelettlinienwölbung von $\alpha^* < \alpha^*(s^*=0,1) + 0,75 (1 - \alpha^*(s^*=0,1))$ aufweist, und/oder die Skelettlinienwölbungsverteilung gekrümmt, abschnittsweise gekrümmt oder abschnittsweise geradlinig verläuft und auf diese Weise zwischen dem Vorderkantenpunkt V und dem Hinterkantenpunkt H eine beliebige Anzahl von Knickstellen aufweist, wobei weiter bevorzugt bei einer bezogenen Lauflänge von $s^* = 0,1$ ein überhöhter Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^* = 0,65$ vorgesehen ist, wobei weiter bevorzugt bei einer bezogenen Lauflänge von $s^* = 0,1$ ein überhöhter Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^* = 1,0$ vorgesehen ist, und/oder in wenigstens einem Teil der Lauflänge von $0,1 < s^* < 1$ Werte der relativen Skelettlinienwölbung von $\alpha^* > 1$ vorgesehen sind.

[0016] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

- Fig.1: eine schematische Darstellung zum Stand der Technik,
- Fig.2: die Definition von Meridianstromlinien und Stromlinienprofilschnitten,
- Fig.3: die Definition der Skelettlinie eines Stromlinienprofilschnitts,
- Fig.4a: erfindungsgemäße Lösungen,
- Fig.4b: weitere erfindungsgemäße Lösungen,
- Fig.4c: weitere erfindungsgemäße Lösungen.

[0017] Die Fig.2 gibt eine genaue Definition der Meridianstromlinien und der Stromlinienprofilschnitte an. Die mittlere Meridianstromlinie 7 wird durch die geometrische Mitte eines Ringkanals 6 gebildet. Errichtet man an jedem Ort der mittleren Stromlinie 7 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 Schaufel ergibt einen Stromlinienprofilschnitt.

[0018] Der jeweilige Skelettliniertyp für einen Stromlinienprofilschnitt wird in relativer Darstellung mit Hilfe der relativen Wölbung α^* und der bezogenen Lauflänge s^* festgelegt, siehe Fig. 3. Die Figur zeigt einen Stromlinienprofilschnitt der Schaufel auf einer Meridianstromfläche (u-m-Ebene).

[0019] Dazu werden in allen Punkten der Skelettlinie der Neigungswinkel α_p und die bis dorthin zurückgelegte Lauflänge s_p bestimmt. Als Bezugsgrößen werden die Neigungswinkel an Vorder- und Hinterkante α_1 und α_2 sowie die Gesamtlauflänge der Skelettlinie S verwendet. Es gilt:

$$\alpha^* = \frac{\alpha_1 - \alpha_p}{\alpha_1 - \alpha_2} \quad S^* = \frac{s_p}{S}$$

[0020] Die Fig. 4a zeigt eine Schar erfindungsgemäßer spaltnaher Verteilungen der Profilskelettlinienwölbung. Sie sind **dadurch gekennzeichnet, dass** die relative Skelettlinienwölbung α^* bei bezogenen Lauflängen von $s^* > 0,1$ stets Werte größer oder gleich 0,35 aufweist.

[0021] Erfindungsgemäß ist es weiter vorteilhaft, wenn die relative Skelettlinienwölbung α^* bei bezogenen Lauflängen von $s^* > 0,1$ stets Werte gleich oder größer 0,50 aufweist. In besonderen Fällen kann es erfindungsgemäß sogar günstig sein, wenn die relative Skelettlinienwölbung α^* ab einer bezogenen Lauflänge von $s^* = 0,1$ den Wert 0,65 oder gar 1,0 annimmt.

[0022] Die oberste in Fig. 4a dargestellte Verteilung zeigt den erfindungsgemäßen Spezialfall eines Wechsels des Skelettlinienkrümmungsvorzeichens. In diesem dargestellten Fall ist die Skelettlinie zur Profilsaugseite hin in einem Teil der Lauflänge s^* konvex und in einem unteren Teil der Lauflänge s^* konkav gekrümmt, wie es sich ergibt, wenn wenigstens in einem Teil der Lauflänge s^* Werte von $\alpha^* > 1$ vorgesehen sind.

[0023] Der bei $s^* = 0,1$ vorliegende Wert von α^* wird im weiteren mit α^*_B bezeichnet, d. h. $\alpha^*_B = \alpha^*(s^* = 0,1)$. In analoger Weise wird der bei $s^* = 0,9$ vorliegende Wert von α^* im weiteren mit α^*_C bezeichnet, d. h. $\alpha^*_C = \alpha^*(s^* = 0,9)$. Die entsprechenden Punkt auf der Skelettlinienwölbungsverteilung heißen B und C, siehe Fig. 4c.

[0024] Erfindungsgemäß wird somit bewusst von den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungsprinzipien abgewichen. Erfindungsgemäß werden durch eine überhöhte Belastung der Profilverdickungsregion in der Nähe des Laufspaltes die am Laufspalt auftretenden Lekkageströmungen günstig beeinflusst. Erreicht wird dies erfindungsgemäß durch Werte der relativen Skelettlinienwölbung α^* von größer gleich 0,35 oder sogar größer gleich 0,5 oder in besonderen Fällen größer gleich 0,65 oder in Extremfällen größer gleich 1,0 bereits bei einer relativen Lauflänge von $s^* = 0,1$.

[0025] Erfindungsgemäße Skelettlinienwölbungsverteilungen können gekrümmt, abschnittsweise gekrümmt

oder abschnittsweise geradlinig verlaufen und dabei zwischen ihrem Startpunkt V ($s^* = 0, \alpha^* = 0$) an der Vorderkante und ihrem Endpunkt H ($s^* = 1, \alpha^* = 1$) an der Hinterkante eine beliebige Anzahl von Knickstellen aufweisen, solange sie das erfindungsgemäße Grundkriterium $\alpha^*_B = \alpha^*(s^* = 0,1) \geq 0,35$ oder $\alpha^*_B \geq 0,5$ oder $\alpha^*_B \geq 0,65$ oder $\alpha^*_B \geq 1,0$ erfüllen.

[0026] Erfindungsgemäß günstig ist, wie die Fig. 4a zeigt, eine Wölbungsverteilung $\alpha^* = f(s^*)$, die mit hohem Gradienten im Startpunkt A beginnend im weiteren Verlauf sich dem Punkt B mit abnehmendem Gradienten nähert. Ebenfalls erfindungsgemäß günstig ist eine knickfreie Fortsetzung der Wölbungsverteilung vom Punkt B aus mit weiterhin abnehmendem oder konstantem Gradienten bis zum Hinterkantenpunkt H, wobei die stärkste Krümmung der Wölbungsverteilung im Bereich $0 \leq s^* \leq 0,2$ vorgesehen ist, entsprechend der in Fig. 4a dargestellten Schar von erfindungsgemäßen Wölbungsverteilungen, die insbesondere für geringe und moderate aerodynamische Profilbelastungen geeignet sind.

[0027] Die Fig. 4b zeigt eine ebenfalls erfindungsgemäße Schar von Skelettlinienwölbungsverteilungen, die auch für aerodynamisch hoch belastete Profile geeignet ist. In diesem Fall ist es erfindungsgemäß günstig, die Skelettlinienwölbungsverteilung ausgehend von großen Gradienten im Bereich $0 \leq s^* \leq 0,1$ auch im weiteren Verlauf zunächst mit weiter geringer werdenden Gradienten zu versehen und ab einem Punkt T im Bereich $0,1 \leq s^* \leq 1$ den Gradienten wieder ansteigen zu lassen. Entsprechend wechselt die Krümmung im Punkt T ihr Vorzeichen.

[0028] Für den Spezialfall, dass vom Punkt T an der Gradient kontinuierlich steigt, ergibt sich eine erfindungsgemäß S-förmige Skelettlinienwölbungsverteilung, entsprechend der in Fig. 4b dargestellten Schar. Erfindungsgemäß besonders günstig ist eine Position des Punktes T im Bereich $0,35 \leq s^* \leq 0,65$.

[0029] Ebenfalls erfindungsgemäß günstig kann es sein, wenn die Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens in einem Teil des Bereiches $0,1 \leq s^* \leq 1$ bei konstanten Werten von α^* verläuft, siehe die unterste Skelettlinienwölbungsverteilung in Fig. 4b.

[0030] Die Fig. 4c zeigt eine weitere erfindungsgemäße Skelettlinienwölbungsverteilung, die den im Bereich $0,1 \leq s^* \leq 1$ erreichten Zuwachs der Wölbung in bestimmter Weise aufteilt. Dazu wird der bei $s^* = 0,9$ vorgesehene Wert α^*_C und damit die Lage des Punktes C eingeschränkt. So ergeben sich erfindungsgemäß besonders günstige Lösungen, wenn gilt: $\alpha^*_C < \alpha^*_B + 0,75 (1 - \alpha^*_B)$.

[0031] Die erfindungsgemäße Skelettlinienwölbungsverteilung ist in wenigstens einem Schaufelstromlinienchnitt im Bereich zwischen dem Spalt und einem Schaufelschnitt bei 30% der Hauptströmungspfadweite ($0,3 W$) vorzusehen.

[0032] Besonders günstig ist eine Vorsehung der erfindungsgemäßen Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens direkt am Spalt und über mindestens weitere

an den Spalt angrenzende 5% der Hauptströmungspfadweite W.

[0033] Sehr günstig ist eine Anwendung der erfindungsgemäßen Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens direkt am Spalt. Bei der erfindungsgemäßen Schaufel für Strömungsarbeitsmaschinen wie Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren wird eine Randströmungsbeeinflussung erzielt, die bei gleicher Stabilität den Wirkungsgrad einer jeden Stufe um etwa 0,3% erhöhen kann. Zudem ist eine Reduzierung der Schaufelzahlen von bis zu 20% möglich. Das erfindungsgemäße Konzept ist bei unterschiedlichen Arten von Strömungsarbeitsmaschinen anwendbar und führt je nach Ausnutzungsgrad des Konzeptes zu Reduktionen der Kosten und des Gewichts für die Strömungsarbeitsmaschine von 2% bis 10%. Hinzu kommt eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades der Strömungsarbeitsmaschine, je nach Anwendungsfall, von bis zu 1,5%.

Bezugszeichenliste

[0034]

- | | |
|----|--------------------------------|
| 1 | Gehäuse |
| 2 | Nabe |
| 3 | Maschinenachse (Drehachse) |
| 4 | Rotor (Rotorschaukelreihe) |
| 5 | Stator (Statorschaukelreihe) |
| 6 | Ringkanal (Hauptströmungspfad) |
| 7 | Mittlere Meridianstromlinie |
| 8 | Profilskelettlinie |
| 9 | Stromlinienquerschnitt |
| 10 | Spalt |

Patentansprüche

1. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine angeordnet in einem von einer Nabe (2) und einem Gehäuse (1) berandeten Hauptströmungspfad (6), wobei zwischen einem Ende der Schaufel und einer durch eine Nabe (2) oder ein Gehäuse (1) gebildeten Hauptströmungspfadberandung ein Spalt (10) ausgebildet ist und somit ein freies Schaufelende ausgebildet ist, wobei in mindestens einem Schaufelprofilstromlinienschnitt im Bereich zwischen dem Spalt (10) und einem Schaufelschnitt im Abstand von 30% der Hauptströmungspfadweite W vom Spalt (10) eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist, wobei s^* die auf die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie bezogene lokale Lauflänge darstellt und α^* als die von der Vorderkante bis zu einer bezogenen Lauflänge s^* erreichte Winkeländerung der Skelettlinie bezogen auf die Gesamtwölbung der Skelettlinie gebildet wird, wobei die Skelettlinienwölbungs-

verteilung in dieser Darstellung im Vorderkantenpunkt V ($s^*=0, \alpha^*=0$) beginnt und im Hinterkantenpunkt H ($s^*=1, \alpha^*=1$) endet.

2. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens direkt am Spalt (10) eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist.
3. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens innerhalb der an den Spalt angrenzenden 5% der Hauptströmungspfadweite eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen ist, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist.
4. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ ein überhöhter Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,50$ vorgesehen ist.
5. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung die mit hohem Gradienten im Vorderkantenpunkt V beginnt und im weiteren Verlauf sich der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ mit abnehmendem Gradienten nähert.
6. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung sich von der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ aus in Richtung des Hinterkantenpunktes H gehend knickfrei und mit abnehmendem oder konstanten Gradienten bis zum Hinterkantenpunkt H fortsetzt, wobei die Stelle stärkster Krümmung der Skelettlinienwölbungsverteilung im Bereich $0 \leq s^* \leq 0,2$ vorgesehen ist.
7. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung sich von der bezogenen Lauflänge $s^*=0,1$ aus in Richtung des Hinterkantenpunktes H verlaufend knickfrei zunächst mit weiter geringer werdenden Gradienten fortsetzt und ab einem Punkt T, in dem die Krümmung ihr Vorzeichen wechselt, für wenigstens einen Teil des Bereiches $0,1 \leq s^* \leq 1$ wieder ansteigende Gradienten aufweist.
8. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach An-

spruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung nur einen einzigen Krümmungsvorzeichenwechsel hat und einen S-förmigen Verlauf zeigt.

5

9. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Punkt T des ersten Krümmungsvorzeichenwechsels im Bereich $0,35 \leq s^* \leq 0,65$ vorgesehen ist.

10

10. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens in einem Teil des Bereiches $0,1 \leq s^* \leq 1$ bei konstanten Werten der relativen Skelettlinienwölbung α^* verläuft.

15

11. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,9$ einen Wert der relativen Skelettlinienwölbung von $\alpha^* < \alpha^*(s^*=0,1) + 0,75 (1 - \alpha^*(s^*=0,1))$ aufweist.

20

25

12. Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung gekrümmt, abschnittsweise gekrümmt oder abschnittsweise geradlinig verläuft und auf diese Weise zwischen dem Vorderkantenpunkt V und dem Hinterkantenpunkt H eine beliebige Anzahl von Knickstellen aufweist.

30

35

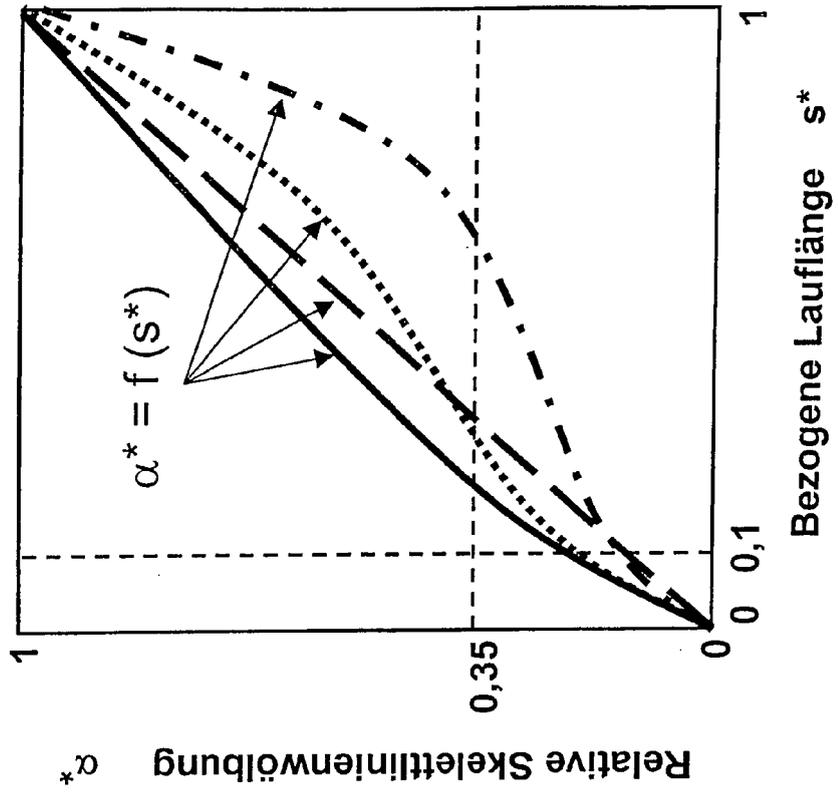
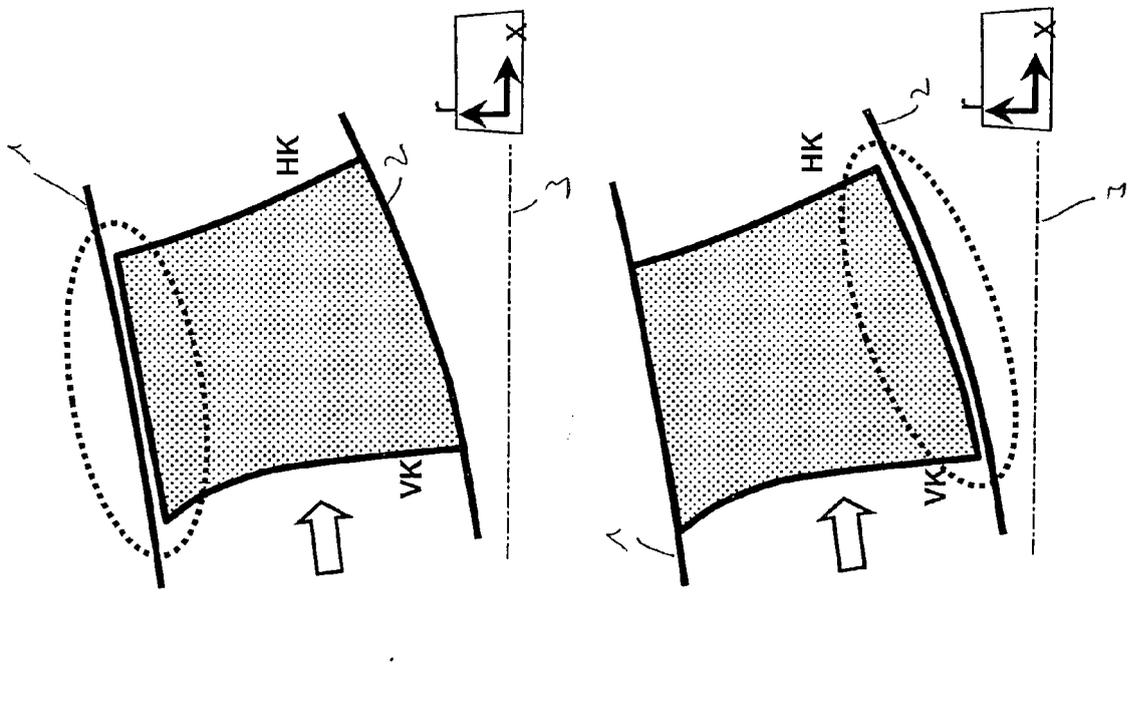
40

45

50

55

Stand der Technik



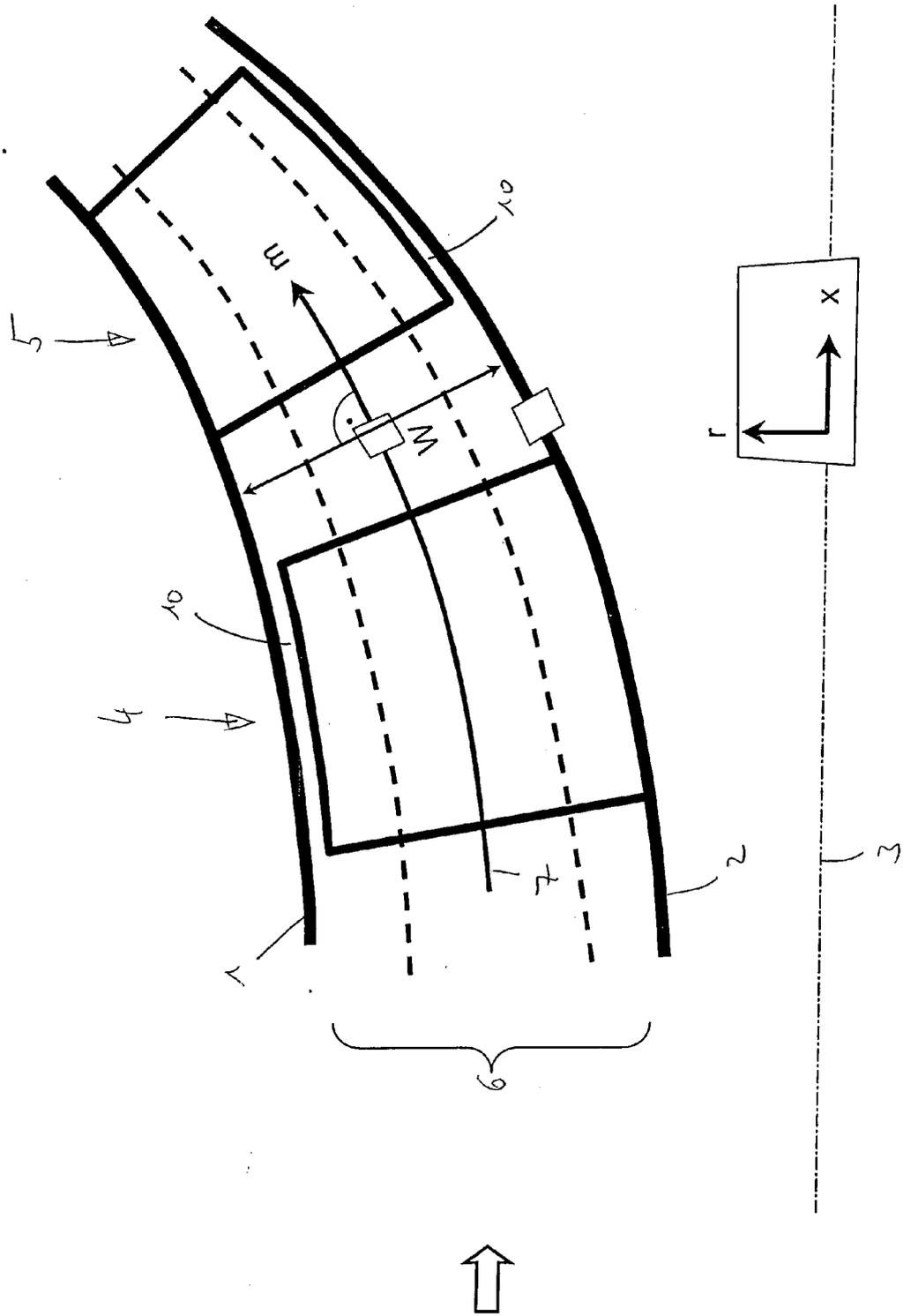


Fig.2:

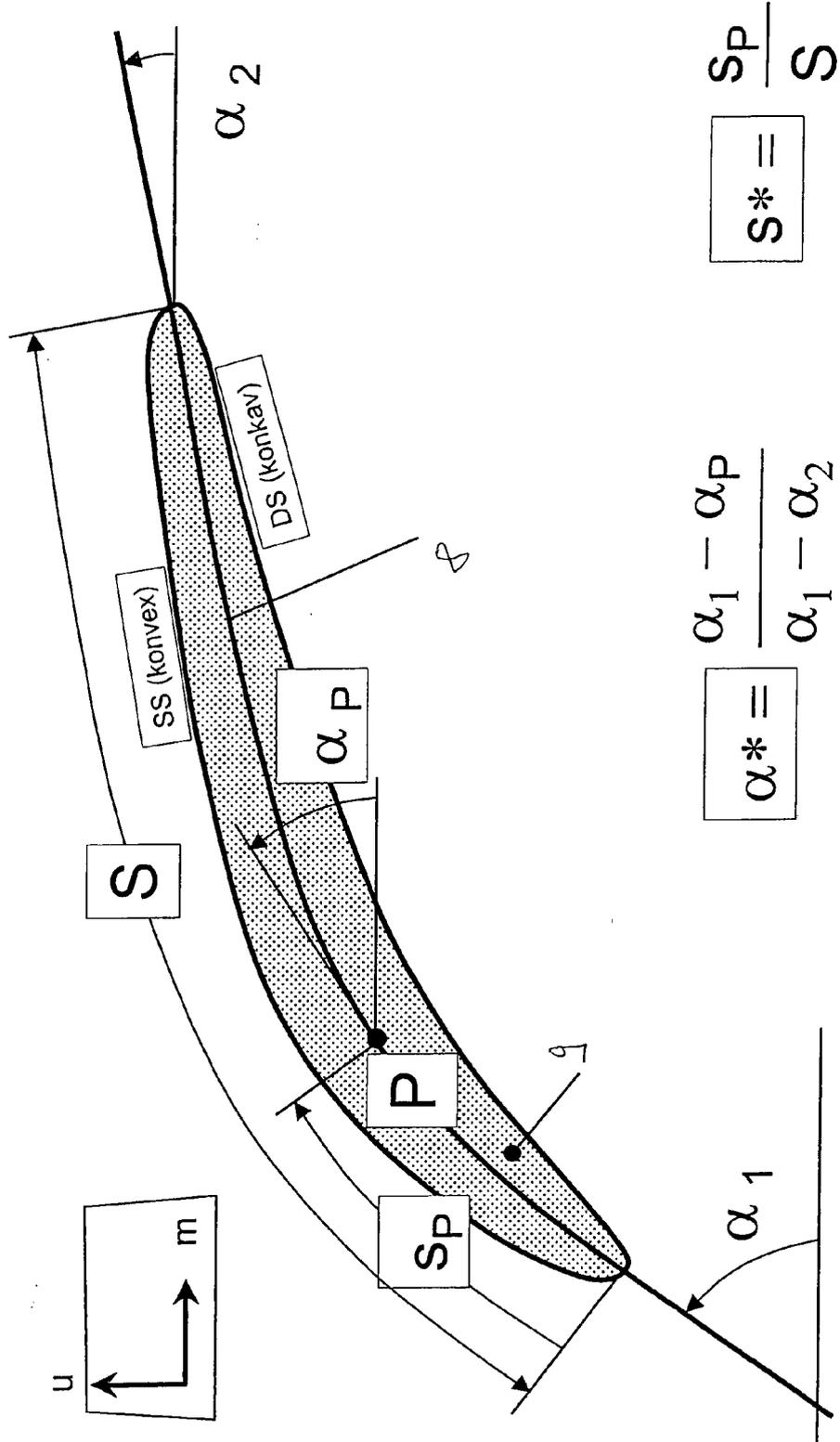
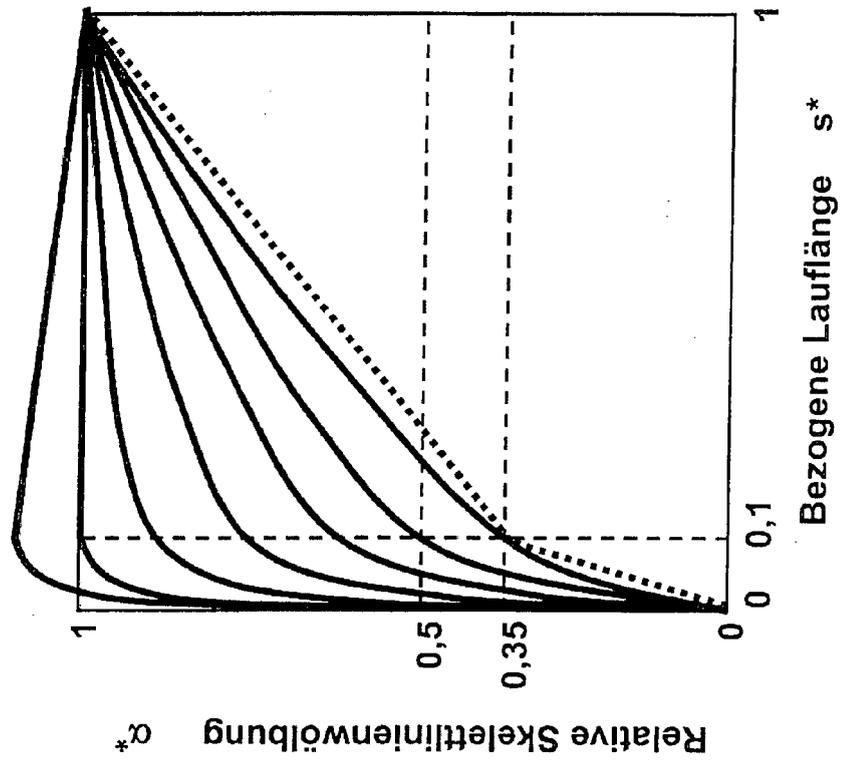
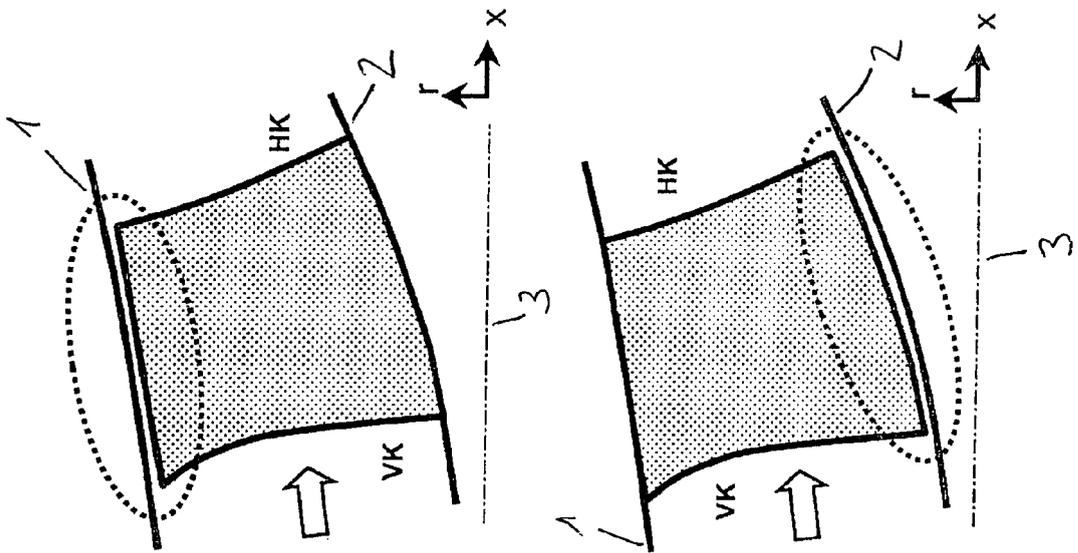


Fig.3:

Fig.4a:



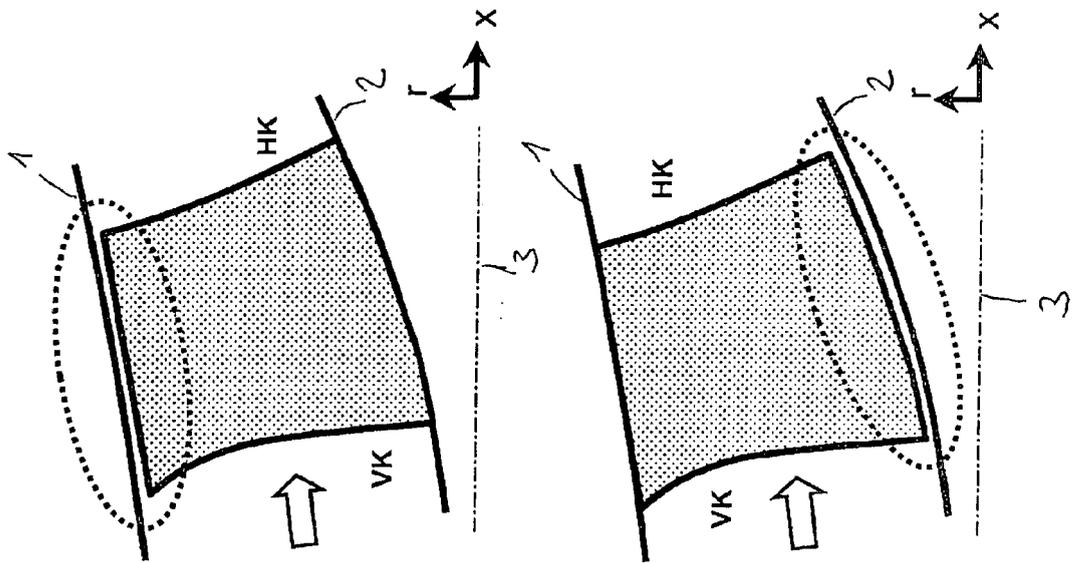
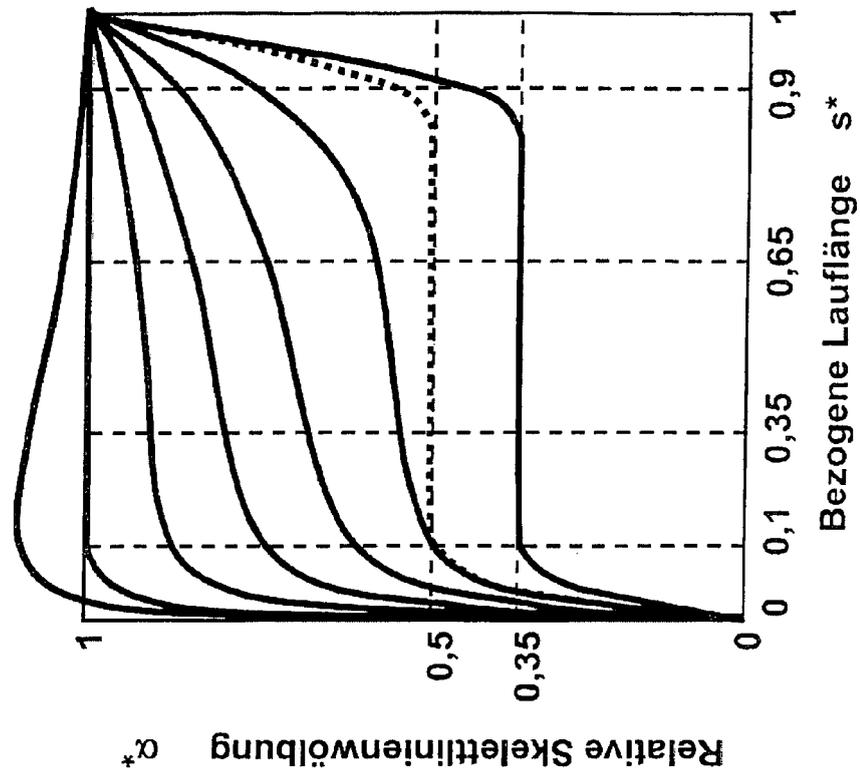


Fig.4b:

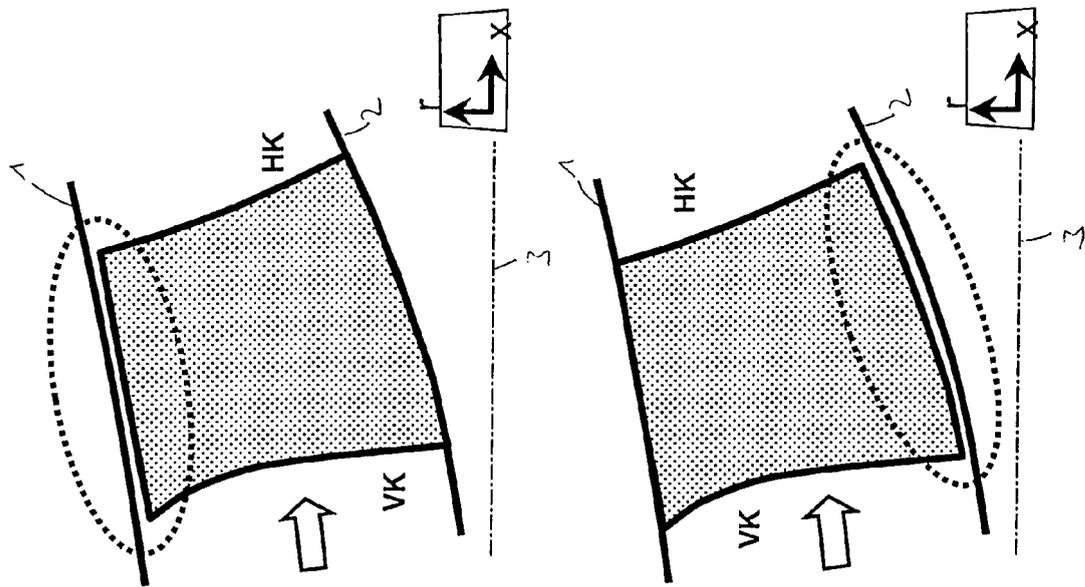
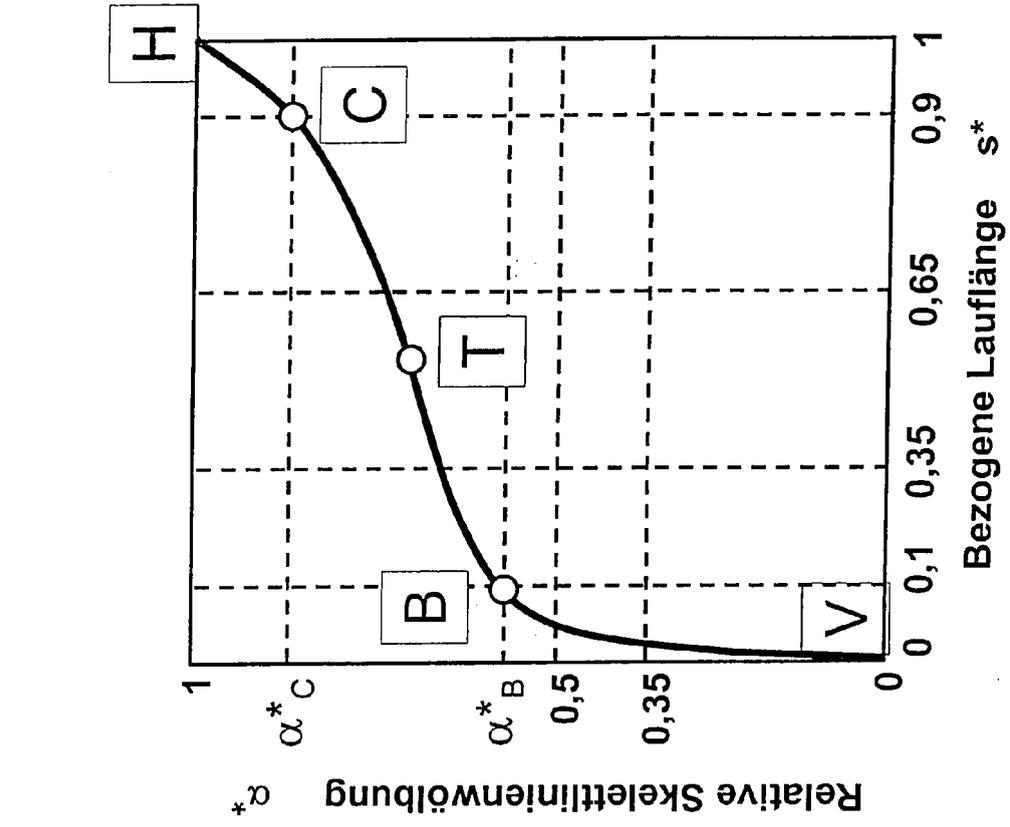


Fig.4c:

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 4431376 A [0008]