

(19)



(11)

EP 2 275 643 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.12.2018 Patentblatt 2018/52

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

(21) Anmeldenummer: **10005471.7**

(22) Anmeldetag: **26.05.2010**

(54) Triebwerkschaufel mit überhöhter Vorderkantenbelastung

Engine blade with excess front edge loading

Aube de moteur dotée d'une charge de rebords avant surélevée

(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

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.01.2011 Patentblatt 2011/03

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

(72) Erfinder: **Gümmer, Volker Dr.**
85411 Hohenkammer (DE)

(74) Vertreter: **Hoefer & Partner Patentanwälte mbB**
Pilgersheimer Straße 20
81543 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 927 724 DE-A1-102005 042 115
US-A- 4 431 376 US-A- 5 525 038
US-B1- 6 428 281

EP 2 275 643 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschine umfassend eine Triebwerksschaufel 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 eine Strömungsarbeitsmaschine mit einer Schaufel gemäß dem einleitenden Teil des Anspruchs 1. Die betreffende Beschaukelung ist innerhalb eines Hauptströmungspfades 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 umfasst die Strömungsarbeitsmaschine einen Rotor mit fester Anbindung an einer rotierenden Nabe und einem freien Schaufelende mit Spalt am Gehäuse. In analoger Weise umfasst die Strömungsarbeitsmaschine alternativ 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 Strömungsarbeitsmaschinen wie etwa Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren in axialer, halbaxialer oder auch radialer Bauart. Das Arbeitsmedium (Fluid) kann gasförmig oder flüssig sein. Aus dem Stand der Technik ist folgendes bekannt:

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 Ent-

wurfsregeln, basierend auf Überlegungen zur Natur zweidimensionaler Strömungen um Profile dies empfehlen.

[0006] 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.

[0007] Als nachteilig erweist sich beim Stand der Technik, dass die entsprechenden Schaufelformen oft bewusst mit geringer Komplexität bezüglich der Skelettlinienform 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.

[0008] Ferner ist aus der DE 10 2005 042 115 A1 eine Strömungsarbeitsmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsarbeitsmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, welche unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik eine sehr wirkungsvolle Beeinflussung der Randströmung durch eine überhöhte Skelettlinienwölbung im Bereich der Vorderkante der nahe des Laufspaltes befindlichen Schaufelprofilschnitte erreicht.

[0010] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0011] Erfindungsgemäß ist somit eine Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine, welche mindestens innerhalb der an den Spalt angrenzenden 5% der Hauptströmungspfadweite eine Skelettlinienwölbungsverteilung vorgesehen, die bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ einen überhöhten Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist.

[0012] Wie sich insbesondere aus der Fig. 4c (siehe nachfolgende Beschreibung) ergibt, ist am vorderen Bereich der Schaufel ein sehr hoher Anstieg der Strömungsumlenkung vorgesehen.

[0013] Die Erfindung lässt sich auch wie folgt darstellen:

Strömungsarbeitsmaschine umfassend eine Schaufel, 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

[0014] 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 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 $0,35 \leq s^* \leq 0,65$ vorge-

sehen 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.

[0015] 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.

[0016] 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 Strömungspfades 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.

[0017] 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).

[0018] 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:

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

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] 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 Punkte auf der Skelettlinienwölbungsverteilung heißen B und C, siehe Fig. 4c.

[0023] Erfindungsgemäß wird somit bewusst von den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungsprinzipien abgewichen. Erfindungsgemäß werden durch eine überhöhte Belastung der Profilvorderkantenregion in der Nähe des Laufspaltes die am Laufspalt auftretenden Leckageströmungen 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 $s^* = 0,1$.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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. 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 $0,35 \leq s^* \leq 0,65$.

[0027] 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.

[0028] 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 $s^* = 0,9$ vorgegebene Wert α^*_C und damit die Lage des Punktes C eingeschränkt. So ergeben sich erfindungsgemäß besonders günstige Lösungen, wenn gilt: $\alpha^*_C < \alpha^*_B + 0,75 (1 - \alpha^*_B)$.

[0029] Die erfindungsgemäße Skelettlinienwölbungsverteilung ist in wenigstens einem Schaufelstromlinienschnitt im Bereich zwischen dem Spalt und einem Schaufelschnitt bei 5% der Hauptströmungspfadweite ($0,05 W$) vorzusehen.

[0030] Diese Skelettlinienwölbungsverteilung kann direkt am Spalt, muss aber gemäß der Erfindung mindestens innerhalb der an den Spalt angrenzende 5% der Hauptströmungspfadweite W vorgesehen sein.

[0031] Sehr günstig ist eine Anwendung der erfindungsgemäßen Skelettlinienwölbungsverteilung wenigstens direkt am Spalt. Bei der erfindungsgemäßen Strömungsarbeitsmaschine wie zum Beispiel Bläser, Verdichter,

[0032] 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 Strömungs-

arbeitsmaschinen 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

[0033]

- | | |
|----|--------------------------------|
| 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. Strömungsarbeitsmaschine umfassend eine Schaufel, 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 Skelettlinienwölbungsverteilung in dieser Darstellung im Vorderkantenpunkt V der Schaufel ($s^*=0, \alpha^*=0$) beginnt und im Hinterkantenpunkt H der Schaufel ($s^*=1, \alpha^*=1$) endet, und wobei die Gesamtwölbung der Skelettlinie durch die Winkeländerung der Skelettlinie von dem Vorderkantenpunkt (V) bis zu dem Hinterkantenpunkt (H) der Schaufel definiert ist, **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 Skelett-

linienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,35$ aufweist.

2. 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. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer bezogenen Lauflänge von $s^*=0,1$ ein überhöhter Wert der relativen Skelettlinienwölbung von mindestens $\alpha^*=0,50$ vorgesehen ist.
4. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **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.
5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **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.
6. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **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.
7. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinienwölbungsverteilung nur einen einzigen Krümmungsvorzeichenwechsel hat und einen S-förmigen Verlauf zeigt.
8. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Punkt T des ersten Krümmungsvorzeichenwechsels im Bereich $0,35 \leq s^* \leq 0,65$ vorgesehen ist.
9. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **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.

10. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **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.
11. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **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.

Claims

1. Fluid-flow machine including a blade arranged in a main flow path (6) confined by a hub (2) and a casing (1), with a gap (10) being provided between one end of the blade and a main flow path boundary formed by a hub (2) or a casing (1), and with a free blade end thus being provided, with a skeleton line camber distribution having an excessive value of the relative skeleton line camber of at least $\alpha^* = 0.35$ for a related running length of $s^* = 0.1$ being provided in at least one blade profile flow line section in the area between the gap (10) and a blade section at a distance of 30 percent of the main flow path width W from the gap (10), with s^* being the local running length relative to the total running length of the profile skeleton line and α^* being formed as the angular change of the skeleton line relative to the total camber of the skeleton line achieved from the leading edge to a related running length s^* , with the skeleton line camber distribution in this representation commencing in the leading edge point V of the blade ($s^* = 0, \alpha^* = 0$) and terminating in the trailing edge point H of the blade ($s^* = 1, \alpha^* = 1$), and with the total camber of the skeleton line being defined by the angular change of the skeleton line from the leading edge point (V) to the trailing edge point (H) of the blade, **characterized in that** a skeleton line camber distribution is provided at least within 5 % of the main flow path width adjoining the gap, said distribution, for a related running length of $s^* = 0.1$, having an excessive value of the relative skeleton line camber of at least $\alpha^* = 0.35$.
2. Fluid-flow machine in accordance with Claim 1, **characterized in that** a skeleton line camber distribution is provided at least directly at the gap (10), which for a related running length of $s^* = 0.1$ has an excessive value of the relative skeleton line camber of at least $\alpha^* = 0.35$.
3. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 or 2, **characterized in that** for a related running length of $s^* = 0.1$ an excessive value of the relative skeleton line camber of at least $\alpha^* = 0.50$ is provided.
4. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 3, **characterized in that** the skeleton line camber distribution starts with high gradient in the leading edge point V and, in the further course, approaches with descending gradient the related running length $s^* = 0.1$.
5. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the skeleton line camber distribution continues from the related running length $s^* = 0.1$ in the direction of the trailing edge point H up to the trailing edge point H without bent and with descending or constant gradient, with the point of maximum curvature of the skeleton line camber distribution being provided in the range of $0 \leq s^* \leq 0.2$.
6. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 4, **characterized in that** the skeleton line camber distribution continues from the related running length $s^* = 0.1$ in the direction of the trailing edge point H without bent with initially further descending gradient and, from a point T in which the camber changes its sign, has again rising gradients for at least a part of the range of $0.1 \leq s^* \leq 1$.
7. Fluid-flow machine in accordance with Claim 6, **characterized in that** the skeleton line camber distribution has only a single camber sign change and shows an S-shaped course.
8. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 6 and 7, **characterized in that** the point T of the first camber sign change is provided in the range of $0.35 \leq s^* \leq 0.65$.
9. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 8, **characterized in that** the skeleton line camber distribution extends, at least in a part of the range of $0.1 \leq s^* \leq 1$, at constant values of the relative skeleton line camber α^* .
10. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 9, **characterized in that** the skeleton line camber distribution, for a related running length of $s^* = 0.9$, has a value of the relative skeleton line camber of $\alpha^* < \alpha^*(s^* = 0.1) + 0.75 (1 - \alpha^*(s^* = 0.1))$.
11. Fluid-flow machine in accordance with one of the Claims 1 to 10, **characterized in that** the skeleton

line camber distribution extends cambered, cambered in sections or rectilinear in sections, thus having any number of bending points between the leading edge point V and the trailing edge point H.

Revendications

1. Machine à écoulement comprenant une aube, disposée dans une voie d'écoulement principale (6) bordée par un moyeu (2) et un carter (1), sachant qu'une fente (10) est constituée entre une extrémité de l'aube et une bordure de la voie d'écoulement principale formée par un moyeu (2) ou un carter (1) et qu'est constituée ainsi une extrémité d'aube libre, sachant que dans au moins une coupe de la ligne d'écoulement du profil d'aube dans la zone située entre la fente (10) et une coupe de l'aube à la distance de 30 % de la largeur de la voie d'écoulement principale W par rapport à la fente (10) est prévue une répartition de la courbure de la ligne moyenne qui présente, pour une longueur de course rapportée de $s^* = 0,1$, une valeur excédentaire de la courbure relative de la ligne moyenne d'au moins $\alpha^* = 0,35$, s^* représentant la longueur de course locale rapportée à la longueur de course totale de la ligne moyenne du profil et α^* étant conçue sous forme de changement d'angle de la ligne moyenne atteint par rapport à la courbure totale de la ligne moyenne, du bord d'attaque jusqu'à une longueur de course s^* rapportée, sachant que la répartition de la courbure de la ligne moyenne commence, dans cette représentation, au point du bord d'attaque V de l'aube ($s^* = 0$, $\alpha^* = 0$) et se termine au point du bord de fuite H de l'aube ($s^* = 1$, $\alpha^* = 1$) et sachant que la courbure totale de la ligne moyenne est définie par le changement d'angle de la ligne moyenne, du point du bord d'attaque (V) jusqu'au point du bord de fuite (H) de l'aube, **caractérisée en ce qu'**une répartition de la courbure de la ligne moyenne est prévue au moins dans les 5 % de la largeur de la voie d'écoulement principale jouxtant la fente, ladite répartition présente, pour une longueur de course rapportée de $s^* = 0,1$ une valeur surélevée de la courbure relative de la ligne moyenne d'au moins $\alpha^* = 0,35$.
 2. Machine à écoulement selon la revendication n° 1, **caractérisée en ce qu'**est prévue au moins directement sur la fente (10) une répartition de la courbure de la ligne moyenne qui présente, pour une longueur de course rapportée de $s^* = 0,1$, une valeur surélevée de la courbure relative de la ligne moyenne d'au moins $\alpha^* = 0,35$.
 3. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 ou n° 2, **caractérisée en ce qu'**est prévue, pour une longueur de course rapportée de $s^* = 0,1$, une valeur surélevée de la courbure relative de la ligne
- moyenne d'au moins $\alpha^* = 0,50$.
4. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 3, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne commence avec un gradient élevé au point du bord d'attaque V et se rapproche par la suite de la longueur de course rapportée $s^* = 0,1$ avec un gradient décroissant.
 5. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne se poursuit, de la longueur de course rapportée $s^* = 0,1$ vers le point du bord de fuite H, sans coude et avec un gradient décroissant ou constant jusqu'au point du bord de fuite H, sachant que le point de courbure maximum de la répartition de la courbure de la ligne moyenne est prévue dans la plage telle que $0 < s^* < 0,2$.
 6. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 4, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne se poursuit, de la longueur de course rapportée $s^* = 0,1$ vers le point du bord de fuite H, sans coude tout d'abord avec un gradient de plus en plus faible et, à partir d'un point T au niveau duquel la courbure change de signe, présente à nouveau des gradients croissants pour au moins une partie de la plage telle que $0,1 < s^* < 1$.
 7. Machine à écoulement selon la revendication n° 6, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne n'a qu'un seul changement de signe de courbure et présente un tracé en forme de S.
 8. Machine à écoulement selon une des revendications n° 6 et n° 7, **caractérisée en ce que** le point T du premier changement de signe de courbure est prévu dans une plage telle que $0,35 < s^* < 0,65$.
 9. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 8, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne s'étend dans au moins une partie de la plage telle que $0,1 < s^* < 1$ pour des valeurs constantes de la courbure relative de la ligne moyenne α^* .
 10. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 9, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne présente, pour une longueur de course rapportée de $s^* = 0,9$, une valeur de la courbure relative de la ligne moyenne de $\alpha^* < \alpha^*(s^* = 0,1) + 0,75(1 - \alpha^*(s^* = 0,1))$.
 11. Machine à écoulement selon une des revendications n° 1 à n° 10, **caractérisée en ce que** la répartition de la courbure de la ligne moyenne s'étend courbée,

courbée par sections ou droite par sections et présente, ainsi, un nombre quelconque de coudes entre le point du bord d'attaque V et le point du bord de fuite H.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Stand der Technik

Fig.1:

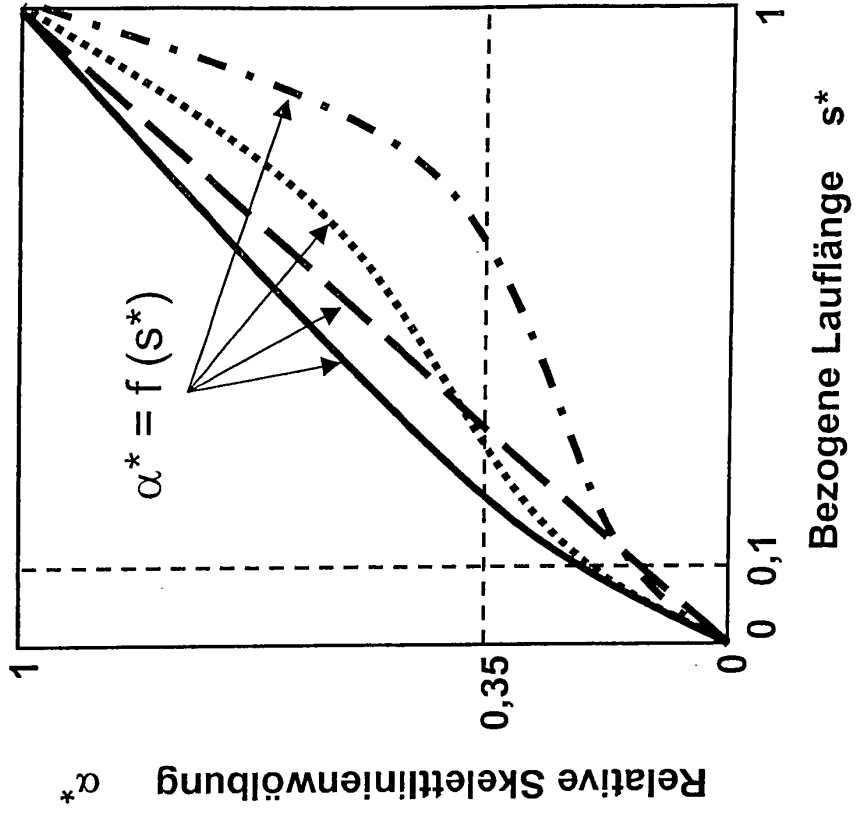
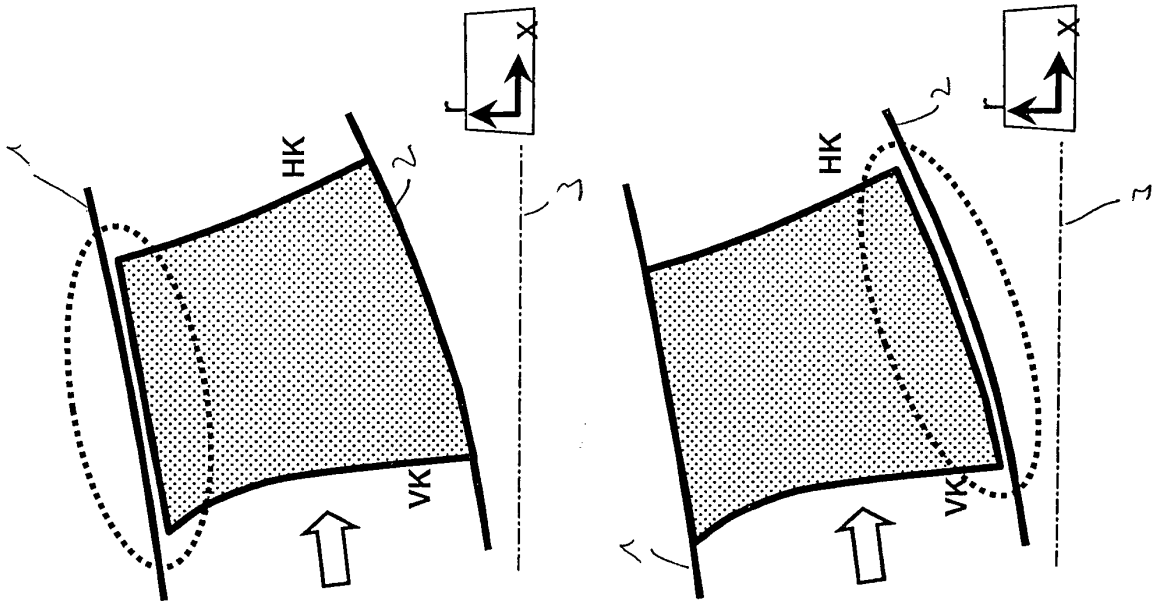


Fig.2.:

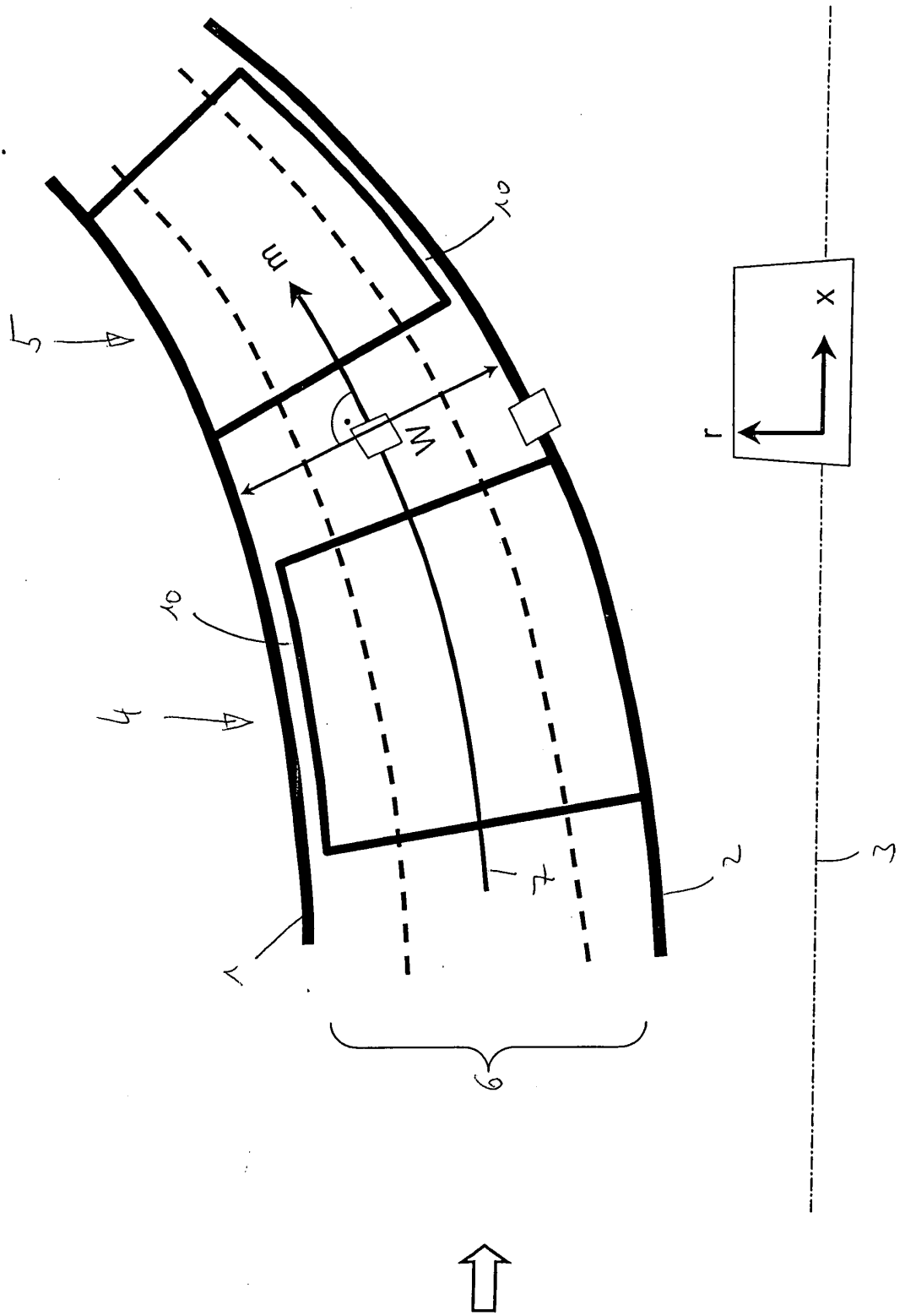


Fig.3:

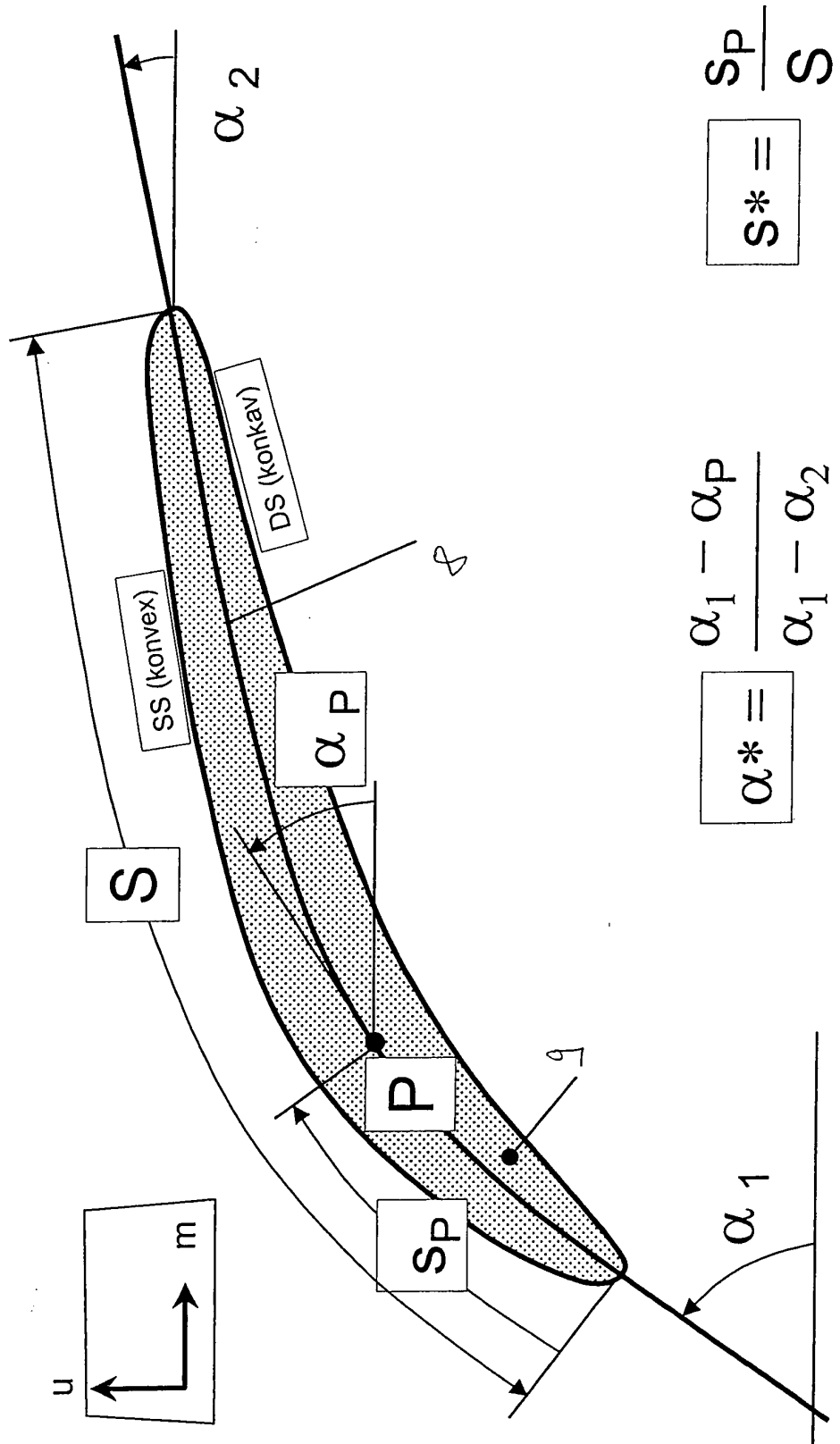


Fig.4a:

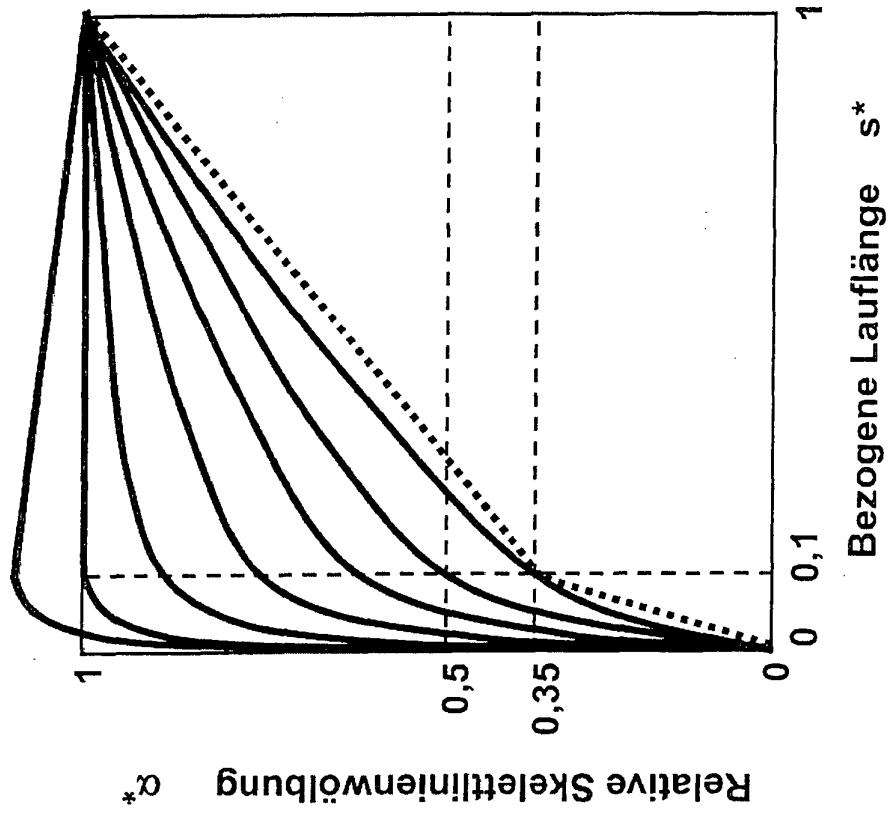
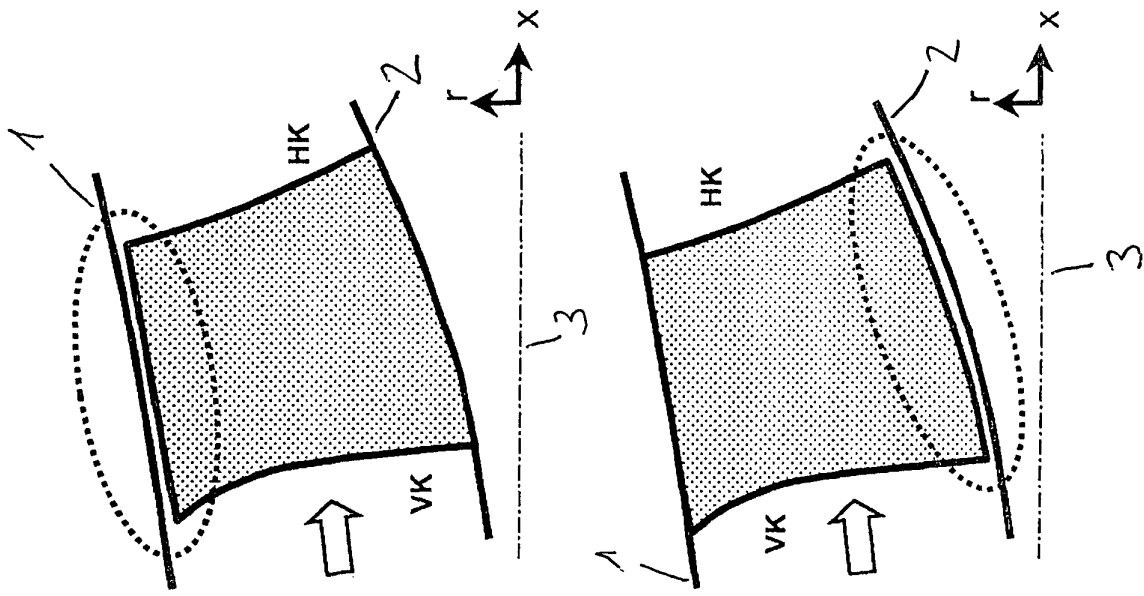


Fig.4b:

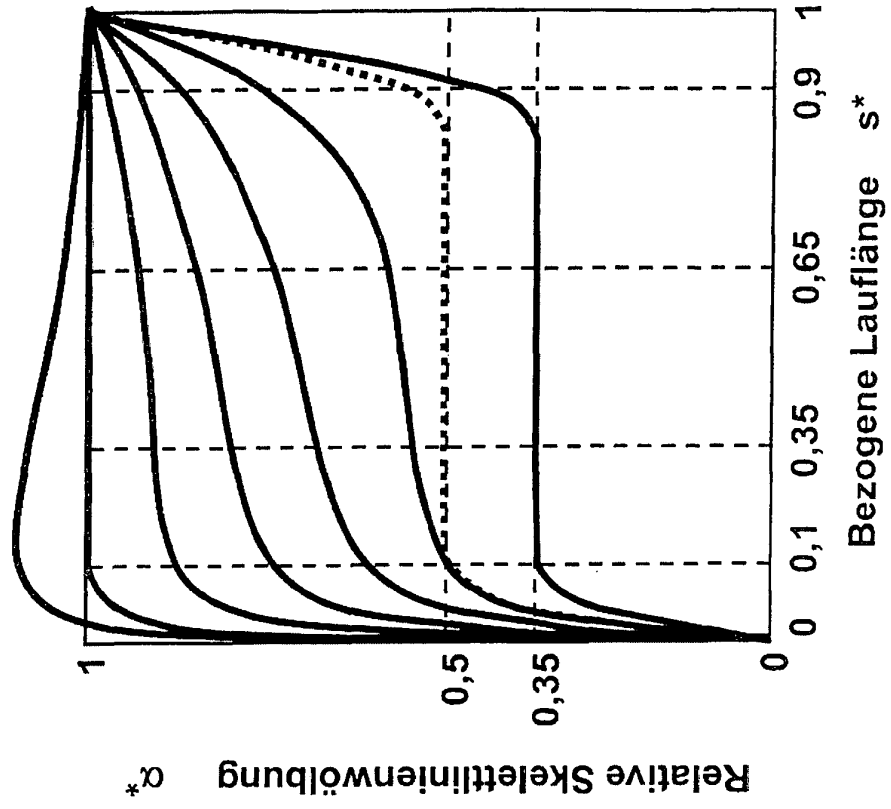
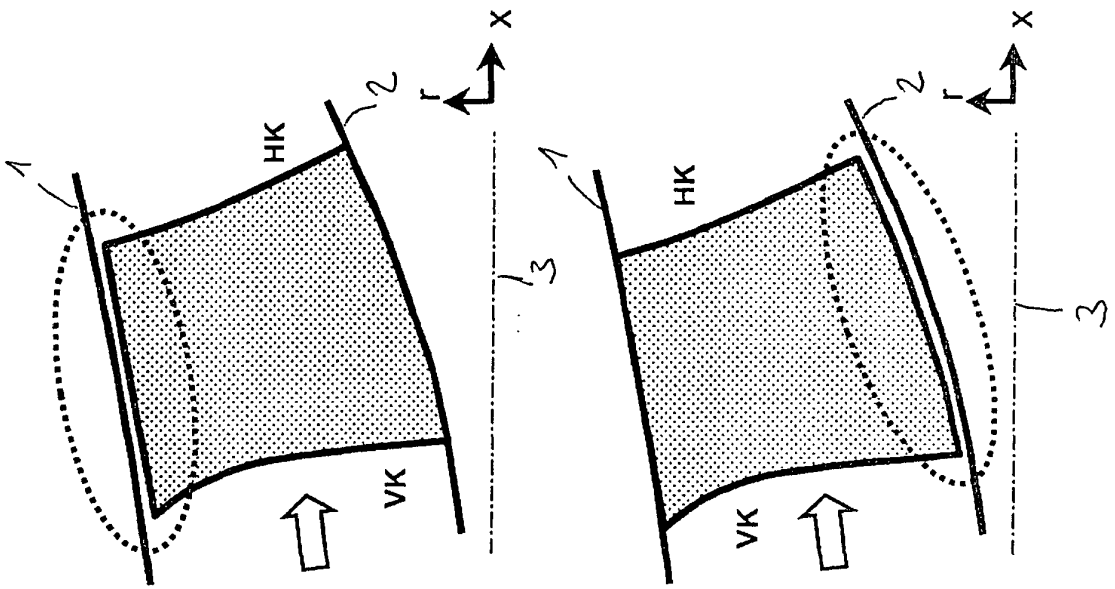
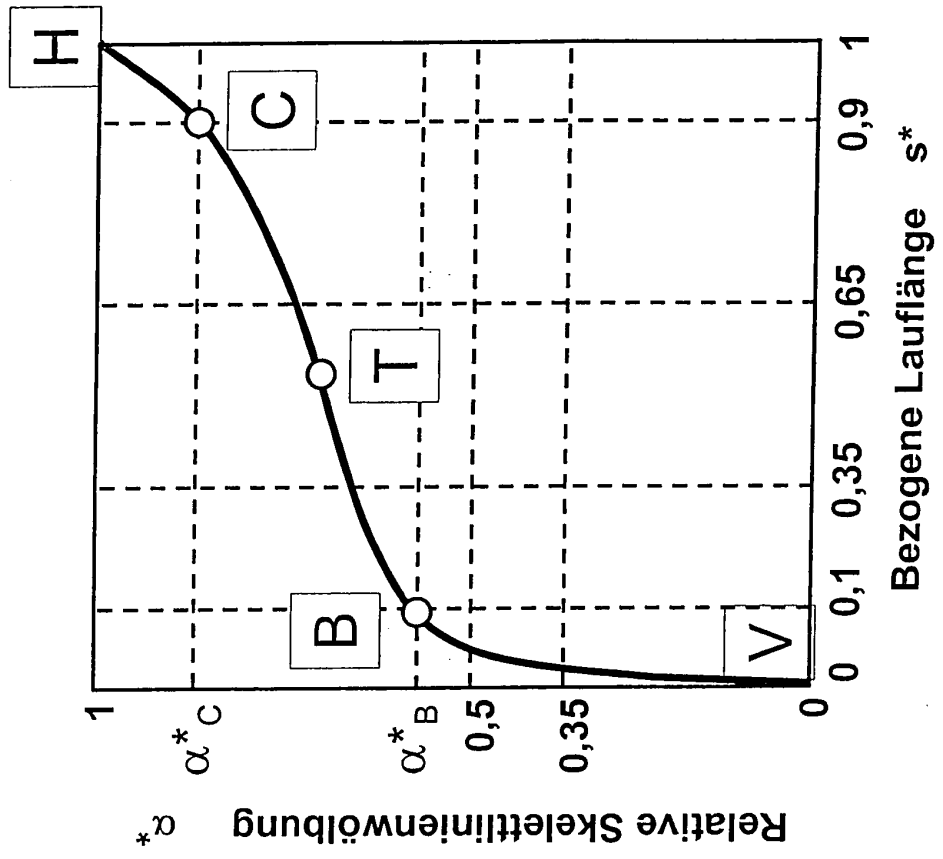
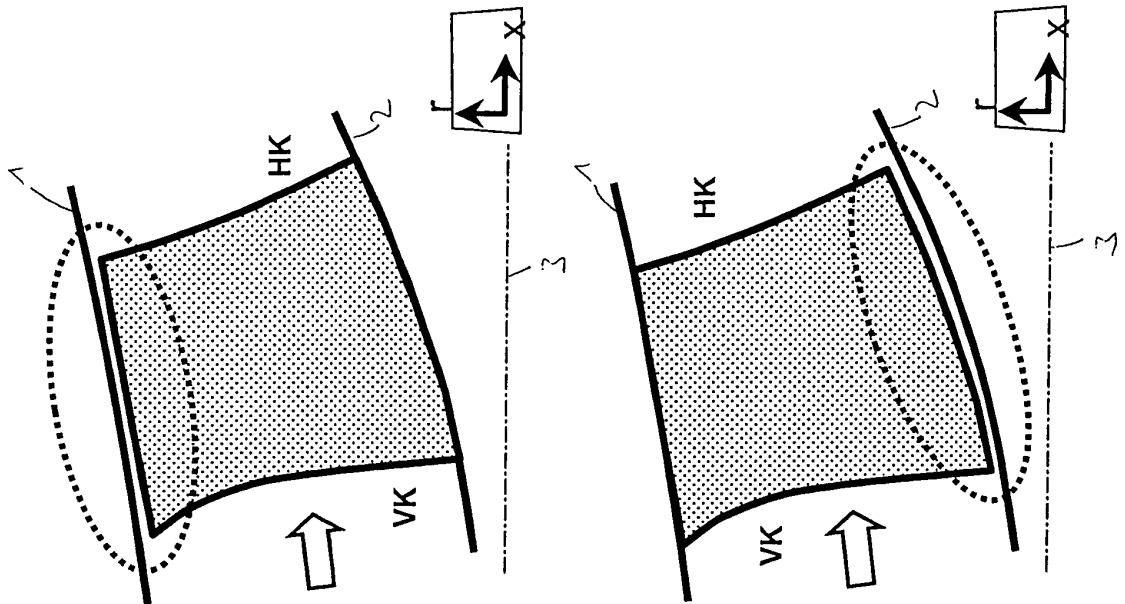


Fig.4c:



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 [0006]
- DE 102005042115 A1 [0008]