



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.06.2007 Patentblatt 2007/25

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

(21) Anmeldenummer: **06024318.5**

(22) Anmeldetag: **23.11.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder: **Gümmer, Volker**
15831 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(74) Vertreter: **Weber, Joachim**
Hoefer & Partner
Patentanwälte,
Gabriel-Max-Strasse 29
81545 München (DE)

(30) Priorität: **19.12.2005 DE 102005060699**

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

(54) **Schaufelprofil für verstellbare Statorschaufeln**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen Strömungs-
arbeitsmaschinenverstell-Stator mit einer Profilskelettlinie,
wobei der Stator in radialer Richtung in mindestens drei
Zonen (Z0, Z1, Z2) unterteilt ist und wobei die jeweils
radial innere und die radial äußere Profilskelettlinie jeder
Zone (Z0, Z1, Z2) so ausgebildet ist, dass diese folgen-
den Gleichungen genügen:

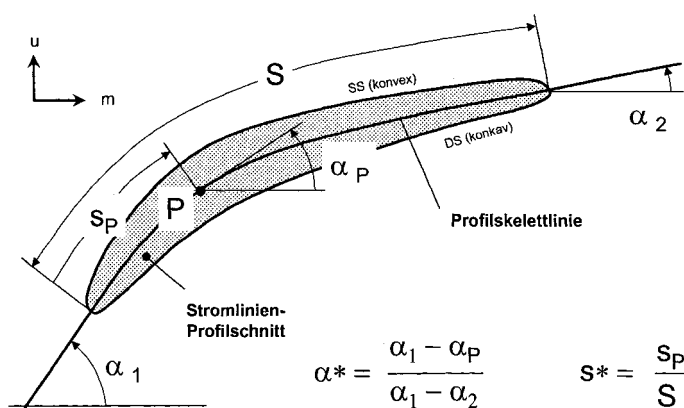
$$\alpha^* = \frac{\alpha_1 - \alpha_P}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$S^* = \frac{S_P}{S}$$

wobei

- P ein beliebiger Punkt der Profilskelettlinie,
- α_1 der Neigungswinkel an der Stator-Vorderkante,
- α_2 der Neigungswinkel an der Stator-Hinterkante,
- α^* der dimensionslose, bezogene Winkel der Gesamt-
wölbung,
- S^* die dimensionslose, bezogene Lauflänge,
- α_P der Winkel der Tangente an einem beliebigen Punkt
P der Profilskelettlinie zur mittleren Meridianstromlinie,
- S_P die Lauflänge der Profilskelettlinie an einem beliebi-
gen Punkt P, und
- S die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie sind.

Fig.6a: Definition der Skelettlinie eines Stromlinienprofilschnitts



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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf verstellbare Statorschaufeln von Strömungsarbeitsmaschinen wie etwa Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren in axialer, halbaxialer oder auch radialer Bauart. Das Arbeitsmedium (Fluid) kann gasförmig oder flüssig sein.

[0002] Im Einzelnen betrifft die Erfindung mindestens eine verstellbare Statorschaufel, gegebenenfalls auch ein verstellbares Vorleitrad, einer Strömungsarbeitsmaschine. Die betreffende Beschaukelung ist innerhalb eines Gehäuses, welches die Durchströmung mindestens eines Rotors und eines Stators mit einem Fluid nach außen begrenzt. Während ein Rotor mehrere an einer rotierenden Welle befestigte Rotorschaufeln umfasst und Energie an das Arbeitsmedium abgibt, besteht ein Stator aus mehreren meist im Gehäuse befestigten Statorschaufeln.

[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 im Bereich der am Ringkanalrand baulich notwendigen Radialspalte zwischen Beschaukelung und Gehäuse beziehungsweise Nabe begrenzt.

[0004] Besonders an drehbaren Verstellstatoren sind die Radialspalte, die durch erforderliche Freischnitte vor und hinter der Drehspindel entstehen, stark ausgeprägt und verursachen beträchtliche Strömungsverluste. Um diese Verluste in Grenzen zu halten, werden üblicherweise möglichst große Drehteller an den inneren und äußeren Enden der Verstellstatoren vorgesehen, um die Erstreckung der Freischnitte in Strömungsrichtung klein zu halten. Vorzugsweise werden die Drehteller so angeordnet, dass sie sich in der kritisch einzustufenden Profilverdichtungszone der Schaufelrandschnitte befinden.

[0005] Nun gibt es aber aufgrund von Versagensrichtlinien und konstruktiven Restriktionen oftmals Konfigurationen von Verstellstatoren, die nur eine kleine Größe und eine nicht weit genug vorn liegende Position der Drehteller aufweisen. Dann bleibt zwangsläufig ein beträchtlicher Radialspalt, sowohl vor als auch hinter dem Drehteller. Der Stand der Technik hält für dieses fundamentale Problem keine aerodynamisch günstigen Lösungen bereit. Der allgemeine Gedanke der Randbeeinflussung von radialen Laufspalten durch Änderung des Skelettliniientyps entlang der Schaufelhöhe ist im Stand der Technik enthalten, doch sind die bekannten Lösungen, insbesondere für die Strömungsverhältnisse an einem Schaufelende mit Drehteller und zwei Teilradialspalten nicht geeignet und folglich ineffektiv.

[0006] Die Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung zwei Schaufelkonfigurationen nach dem Stand der Technik in der durch die Radialrichtung r und die Axialrichtung x gegebenen Meridianebene. Die Darstellung beschränkt sich auf einen in Nabe wie Gehäuse gelagerten Verstellstator, eine Lagerung allein in Gehäuse oder Nabe mit vollem Radialspalt am jeweils anderen Schaufelende kommt in Einzelfällen aber ebenfalls vor.

[0007] Auf der linken Bildseite ist ein üblicher Verstellstator ohne Variation des Skelettliniientyps dargestellt. In diesem einfachsten Standardfall besteht die Schaufel aus nur einem Block (ZO) in dem der Typ der Skelettlinie nach einheitlichen Regeln vorgegeben ist. In diese Kategorie fallen die sogenannten CDA (controlled diffusion aerofoils) gemäß US4431376. Aerodynamisch betrachtet wird durch die CDA eine moderate Profilverdichtungsanstrengung angestrebt.

[0008] Auf der rechten Seite ist eine übliche Schaufel mit einem bis zur Vorderkante reichenden Drehteller dargestellt. Anstelle einer vollständig einheitlichen Profilierung kann die Schaufel nach dem Stand der Technik auch über der gesamten Höhe einer kontinuierlichen Änderung des Profiltyps unterworfen sein. Dann wird die ganze Schaufel nicht durch einen Block (ZO) einheitlicher Profilierung, sondern durch eine einzige große Transitionszone repräsentiert. Dazu gehören Konzepte aus bekannten Veröffentlichungen, die eine Transition von einem CDA-Skelettliniientyp zu einem mehr auf Profilhinterlast zielenden Skelettliniientyp in den Schaufelaußenbereichen in Betracht ziehen (R. F. Behlke, Journal of Turbomachinery, Vol. 8, July 1986).

[0009] Daneben gibt es Lösungsvorschläge, bei denen die Randzonenströmung durch eine besondere Gestalt der Schaufelfädelachse eine Biegung, eine Pfeilung oder eine V-Stellung, positiv beeinflusst wird (siehe EP0661413A1, EP1106835A2, EP1106836A2). Keine der bestehenden Lösungen bezieht sich auf Verstellstatoren.

[0010] Die vorliegende Erfindung betrifft Statoren, die an mindestens einem Schaufelende drehbar gelagert sind und über eine Spindel um eine feste Drehachse verstellt werden können. Wie in allen hier gezeigten Darstellungen erfolgt die Zuströmung der betreffenden Schaufelreihe, wie durch den dicken Pfeil angedeutet, von links nach rechts.

[0011] 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, dass unterschiedliche Skelettliniientypen entlang der Schaufelhöhe verwendet werden, fehlt eine blockweise Ausprägung der Eigenschaften der Profilskelettlinien, mit deren Hilfe ein stärkerer Einfluss auf die Profildruckverteilung in Wandnähe genommen werden könnte, um das maximal mögliche Maß an Spalt- und Randströmungsberuhigung zu erzielen. Insbesondere bei Verstellstatoren fehlen Schaufelkonzepte mit Skelettlinienvariation längs Schaufelhöhe, die eine, im Schaufelmittenbereich günstige, Profilverdichtungsanstrengung auf angemessene Weise mit einer für die Randbereiche günstigen Art der Lastverteilung kombinieren.

[0012] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verstellbare Statorschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen, welche unter Vermeidung des Standes der Technik eine sehr wirkungsvolle Beeinflussung der Randströmung durch gezielte und problemgerechte, blockweise Definition der Profilskelettlinien entlang der Schaufel-

höhe erreicht.

[0013] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0014] Erfindungsgemäß ist für den Einsatz in einer Strömungsarbeitsmaschine eine verstellbare Statorschaufel geschaffen, die in unterschiedlichen, durch Meridianstromlinien begrenzten Zonen (Blöcken) der Schaufelhöhe festgelegte Typen von Profilskelettlinien aufweist, unter der Maßgabe, dass

i.) die Verteilung der Skelettliniientypen längs Schaufelhöhe eine ausgeprägte aerodynamische Profilvorderlast im Schaufelmittenbereich auf vorteilhafte Weise mit einer speziellen Profillastverteilung in den Randbereichen kombiniert,

ii.) in den definierten Randzonen Z1 und Z2 durchgängig ein speziell eingegrenzter Skelettliniientyp gemäß der weiter unten gegebenen Definition vorgesehen ist,

iii.) die Wahl des Skelettliniientyps in den sich zur Schaufelmitte hin an Z1 und Z2 anschließenden Transitionszonen T1 und T2 frei ist,

iv.) in der definierten mittleren Schaufelzone Z0 durchgängig ein speziell eingegrenzter Skelettliniientyp gemäß der weiter unten gegebenen Definition vorgesehen ist.

[0015] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

Fig.1: eine schematische Darstellung von Verstellstatoren nach dem Stand der Technik,

Fig.2: die Definition von Meridianstromlinien und Stromlinienprofilschnitten,

Fig.3a: einen erfindungsgemäßen Verstellstator (Lagerung in Gehäuse und Nabe) "SGN",

Fig.3b: einen erfindungsgemäßen Verstellstator (Lagerung im Gehäuse) "SG",

Fig.3c: einen erfindungsgemäßen Verstellstator (Lagerung in der Nabe) "SN",

Fig.3d: die erfindungsgemäße Zuordnung der Schaufelzonen Z1, Z0, Z2 und der definierten Skelettliniientypen PM und PR,

Fig.4: die Definition des Höhenseitenverhältnisses HSV und der individuellen Zonenweiten (Blockweiten) WZ1, WT1, WZ0, WT2, WZ2,

Fig.5: die Definition der Drehachsenposition an den Schaufelenden,

Fig.6a: die Definition der Skelettlinie eines Stromlinienprofilschnitts,

Fig.6b: die Definition des Profilskelettliniientyps "PM" für die Schaufelmittelzone,

Fig.6c: die Definition des Profilskelettliniientyps "PR" für die Schaufelrandzone bei einer Drehachsenposition von $D=0,3$,

Fig.6d: die Definition des Profilskelettliniientyps "PR" für die Schaufelrandzone bei einer Drehachsenposition von $D=0,5$.

[0016] Die Fig.2 gibt eine genaue 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 Schaufel ergibt einen Stromlinienprofilschnitt.

[0017] Die Fig.3a zeigt die erfindungsgemäß verstellbare Statorschaufel mit Lagerung in Gehäuse und Nabe "SGN"

in der durch die Axialkoordinate x und die Radialkoordinate r bestimmten Meridianebene. Darin sind die Schaufelrandzonen Z1 und Z2, die Transitionszonen T1 und T2 sowie die Schaufelmittelzone Z0 besonders gekennzeichnet und jeweils durch Meridianstromlinien gemäß der Definition in Fig.2 begrenzt. Jeder einzelnen der fünf Schaufelzonen ist eine Teilweite WZ1, WT1, WZ0, WT2, WZ2 zugewiesen, die in Richtung der Kanalweite W gemessen wird.

[0018] Dieser Darstellung entsprechend zeigen die Fig.3b und 3c die erfindungsgemäße Statorschaufel mit Lagerung im Gehäuse "SG" und die erfindungsgemäße Statorschaufel mit Lagerung in der Nabe "SN".

[0019] Die Fig.3d zeigt tabellarisch die erfindungsgemäße Zuordnung der drei Schaufelzonen Z1, Z0, Z2 und der im folgenden (Fig.6b-d) spezifizierten Skelettliniientypen PM und PR. So ist beispielsweise für die Schaufelkonfiguration "SGN" der Typ PR in Zone Z1, der Typ PM in Zone Z0 und der Typ PR in Zone Z2 vorgesehen. Frei gestaltbar ist die Zone Z1 im Fall der Schaufelkonfiguration "SG" sowie die Zone Z2 im Fall der Schaufelkonfiguration "SN" aufgrund des dort am jeweiligen Schaufelende fehlenden Drehtellers.

PM - Profilskelettliniientyp für die Schaufelmittelzone,

PR - Profilskelettliniientyp für die Schaufelrandzone.

[0020] Die Fig. 4 zeigt die Definition des Höhenseitenverhältnisses, das für die Bestimmung der jeweiligen Zonenweiten maßgebend ist. In der unteren rechten Bildhälfte ist eine Schaufelkonfiguration mit einer Anzahl von Meridianstromlinien skizziert. Die mittlere Stromlinie gibt zunächst bei Halbierung der Strecke zwischen Vorder- und Hinterkante die Position für die Bestimmung der Gesamtschaufelhöhe H vor (Punkt G). Die Höhe H wird entlang einer im Punkt G senkrecht auf der mittleren Stromlinie stehenden Geraden bestimmt. Weiterhin sind fünf Stromlinien bei 10%, 30%, 50%, 70% und 90% der Kanalweite W vorgegeben (SL10, SL30, SL50, SL70, SL90), entlang denen die jeweilige Sehnenlänge L zu bestimmen ist. Die Definition von L ist für eine beliebige Meridianstromfläche (u-m-Ebene) in der linken oberen Bildhälfte dargestellt. Die sich bei xy% der Kanalweite ergebende Sehnenlänge wird hier und in den Formeln der Fig.4 mit LSLxy bezeichnet. Das Höhenseitenverhältnis ist schließlich wie folgt zu bestimmen:

$$HSV = 5 \cdot H / (L_{SL10} + L_{SL30} + L_{SL50} + L_{SL70} + L_{SL90}) .$$

[0021] Die Zonenweiten werden in Abhängigkeit des Höhenseitenverhältnisses in relativer Form (bezogen auf die Gesamtkanalweite W nach folgender Berechnungsvorschrift bestimmt:

$$WZ1/W = WZ2/W = (0,06 \cdot HSV^{0,65}) / HSV$$

$$WT1/W = WT2/W = (0,30 \cdot HSV^{0,80}) / HSV$$

$$WZ0/W = 1 - WZ1/W - WT1/W - WZ2/W - WT2/W$$

[0022] Die Fig.5 zeigt die Definition der Drehachsenposition, die mitbestimmend ist für den erfindungsgemäß vorzusehenden Profilskelettliniientyp PR. Das Bild zeigt schematisch den Stromlinienschnitt durch die verstellbare Statorschaufel bei 5% beziehungsweise 95% Kanalweite. Gezeigt ist der Durchstoßpunkt der Drehachse in der Ebene des Stromlinienschnitts, Punkt D. Dieser Punkt muss nicht zwingend, wie hier dargestellt, innerhalb des Profils liegen. Die gesamte Profilschneidlänge beträgt L. Festgelegt durch das senkrechte Lot des Punktes D auf die Profilschneidlinie, erhält man den in gleicher Richtung gemessenen Abstand d der Drehachse von der Vorderkante. Die relative Lage der Drehachse in Richtung der Profilschneidlinie wird mit $d^* = d/L$ bezeichnet.

[0023] Der jeweilige Skelettliniientyp wird in relativer Darstellung mit Hilfe des bezogenen Neigungswinkels α^* und der bezogenen Lauflänge s^* festgelegt, siehe Fig.6a. Das Bild zeigt einen Stromlinienprofilschnitt der Schaufel auf einer Meridianstromfläche (u-m-Ebene).

[0024] 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:

$$\alpha^* = (\alpha_1 - \alpha_P) / (\alpha_1 - \alpha_2) \quad \text{und} \quad s^* = s_P / S.$$

[0025] Die Fig.6b zeigt in der bekannten relativen Darstellung die Definition des Skelettliniientyps "PM". Erfindungsgemäße Skelettlinienverläufe befinden sich oberhalb einer Grenzlinie. Skelettlinienverläufe im Ausschlussgebiet unterhalb und auf der Grenzlinie sind nicht erfindungsgemäß. Die Grenzlinie für den Skelettliniientyp "PM" ist durch die folgende Definition gegeben:

$$\begin{aligned} \alpha^* = & - 3,8512520965 (s^*)^6 + 14,6764714420 (s^*)^5 \\ & - 21,6808727924 (s^*)^4 + 16,3850592743 (s^*)^3 - 6,9703863077 (s^*)^2 \\ & + 2,4431236235 (s^*) - 0,0060854622 \end{aligned}$$

[0026] Beispielhaft ist eine erfindungsgemäß für den Block in Schaufelmitte vorsehbare Skelettlinienverteilung eingezeichnet. Die Fig.6c und 6d zeigen in der bekannten relativen Darstellung die Definition des Skelettliniientyps "PR" für die Drehachsenpositionen $d^*=0,3$ und $d^*=0,5$. Erfindungsgemäße Skelettlinienverläufe befinden sich unter der durchgehenden oberen Grenzlinie und verlaufen über der in einem bestimmten Intervall gegebenen unteren Grenzlinie. Skelettlinienverläufe im Ausschlussgebiet oberhalb und auf der oberen Grenzlinie sind nicht erfindungsgemäß. Skelettlinienverläufe unterhalb oder auf der unteren Grenzlinie sind ebenfalls nicht erfindungsgemäß.

[0027] In Abhängigkeit der relativen Drehachsenpositionen d^* sind die Grenzlinien für den Skelettliniientyp "PR" durch folgende Definitionen gegeben:

[0028] Obere Grenzlinie für $d^*=0,3$:

$$\begin{aligned} \alpha^* = & - 15,1441661664 (s^*)^6 + 52,8168915277 (s^*)^5 \\ & - 67,2135203453 (s^*)^4 + 35,9670881201 (s^*)^3 - 6,8146566070 (s^*)^2 \\ & + 1,3350483823 (s^*) + 0,0535731815 \end{aligned}$$

[0029] Obere Grenzlinie für $d^*=0,5$:

$$\begin{aligned} \alpha^* = & 3,6478453237 (s^*)^6 - 5,6044881912 (s^*)^5 - 5,3211690262 (s^*)^4 \\ & + 11,7583720270 (s^*)^3 - 4,3361971934 (s^*)^2 + 0,8062070974 (s^*) \\ & + 0,0502599068 \end{aligned}$$

[0030] Für Drehachsenpositionen d^* ungleich 0,3 und 0,5 ist bei der Bestimmung der Werte von α^* linear zwischen denen für $d^*=0,3$ und $d^*=0,5$ zu interpolieren:

$$\alpha^* (d^*) = \alpha^* (d^*=0,5) + [\alpha^* (d^*=0,3) - \alpha^* (d^*=0,5)] * [0,5 - d^*] / 0,2$$

[0031] Untere Grenze .

$$\alpha^* = 2,0 (s^*) - 2d^*$$

[0032] Gültig im Intervall von s^* : ($d^*+0,1$; $d^*+0,3$) Beispielhaft ist in Fig.6c und 6d je eine erfindungsgemäß für den Schaufelrandblock vorsehbare Skelettlinienverteilung eingezeichnet.

[0033] 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 1% 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% .

Patentansprüche

1. Strömungsarbeitsmaschinenverstell-Stator mit einer Profilskelettlinie, welche sich längs einer Meridianstromlinie erstreckt, wobei der Stator in radialer Richtung in mindestens drei Zonen (Z0, Z1, Z2) unterteilt ist und wobei innerhalb einer jeden der drei Zonen vom jeweils radial inneren bis zum radial äußeren Rand die Profilskelettlinien jeder Zone (Z0, Z1, Z2) so ausgebildet ist, dass diese folgenden Gleichungen genügen:

$$\alpha^* = \frac{\alpha_1 - \alpha_P}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$S^* = \frac{S_P}{S}$$

wobei

- P ein beliebiger Punkt der Profilskelettlinie,
- α_1 der Neigungswinkel an der Stator-Vorderkante,
- α_2 der Neigungswinkel an der Stator-Hinterkante,
- α^* der dimensionslose, bezogene Winkel der Gesamtwölbung,
- S^* die dimensionslose, bezogene Lauflänge,
- α_P der Winkel der Tangente an einem beliebigen Punkt P der Profilskelettlinie zur mittleren Meridianstromlinie,
- S_P die Lauflänge der Profilskelettlinie an einem beliebigen Punkt P, und
- S die Gesamtlauflänge der Profilskelettlinie sind.

2. Stator nach Anspruch 1 mit einer Profilskelettlinie (PM) für eine Zone des Stators im Schaufelmittenbereich, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\begin{aligned} \alpha^* = & - 3,8512520965 (s^*)^6 + 14,6764714420 (s^*)^5 \\ & - 21,6808727924 (s^*)^4 + 16,3850592743 (s^*)^3 \\ & - 6,9703863077 (s^*)^2 + 2,4431236235 (s^*) \\ & - 0,0060854622 \end{aligned}$$

3. Stator nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Profilskelettlinie (PR) an dessen festem Ende für eine relative Drehachsenposition $d^*=0,3$, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\begin{aligned}\alpha^* = & - 15,1441661664 (s^*)^6 + 52,8168915277 (s^*)^5 \\ & - 67,2135203453 (s^*)^4 + 35,9670881201 (s^*)^3 \\ & - 6,8146566070 (s^*)^2 + 1,3350483823 (s^*) \\ & + 0,0535731815\end{aligned}$$

4. Stator nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Profilskelettlinie (PR) an dessen festem Ende für eine relative Drehachsenposition $d^*=0,5$, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\begin{aligned}\alpha^* = & 3,6478453237 (s^*)^6 - 5,6044881912 (s^*)^5 \\ & - 5,3211690262 (s^*)^4 + 11,7583720270 (s^*)^3 \\ & - 4,3361971934 (s^*)^2 + 0,8062070974 (s^*) \\ & + 0,0502599068\end{aligned}$$

5. Stator nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Profilskelettlinie (PR) für eine relative Drehachsenposition d^* ungleich 0,3 und 0,5, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\begin{aligned}\alpha^* (d^*) = & \alpha^* (d^*=0,5) + [\alpha^* (d^*=0,3) - \alpha^* (d^*=0,5)] * [0,5 \\ & - d^*] / 0,2\end{aligned}$$

6. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein Höhenseitenverhältnis (HSV) sich nach folgender Gleichung bestimmt:

$$HSV = 5 \cdot H / (L_{SL10} + L_{SL30} + L_{SL50} + L_{SL70} + L_{SL90}) .$$

wobei

- H die Höhe entlang einer in einem Punkt G senkrecht auf einer mittleren Stromlinie stehenden Geraden,
- L die Länge der Profilsehne, und
- die einzelnen Längen L der Profilsehnen für fünf Stromlinien bei 10 %, 30 %, 50 %, 70 % und 90 % einer Weite W des Strömungskanals sind.

7. Stator nach Anspruch 6, wobei Zonenweiten in Abhängigkeit des Höhenseitenverhältnisses (HSV) in relativer Form, bezogen auf eine Gesamtkanalweite (W) nach folgender Berechnungsvorschrift bestimmt werden:

$$WZ1/W = WZ2/W = (0,06 \cdot HSV^{0,65}) / HSV$$

$$WT1/W = WT2/W = (0,30 \cdot HSV^{0,80}) / HSV$$

$$WZ0/W=1-WZ1/W-WT1/W-WZT2/W-WZ2/W,$$

5 wobei

- W die Kanalweite,
- WZ1 die Kanalweite in einer Zone 1,
- WZ2 die Kanalweite in einer Zone 2,
- 10 - WZ0 die Kanalweite in einer mittleren Zone,
- WT1 die Kanalweite in einem Übergangsbereich zwischen der Zone Z1 und der Zone Z0, und
- WT2 die Kanalweite in einem Übergangsbereich zwischen der Zone Z0 und Z2 sind.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

**Fig.1: schematische Darstellung von Verstellstoren
nach dem Stand der Technik**

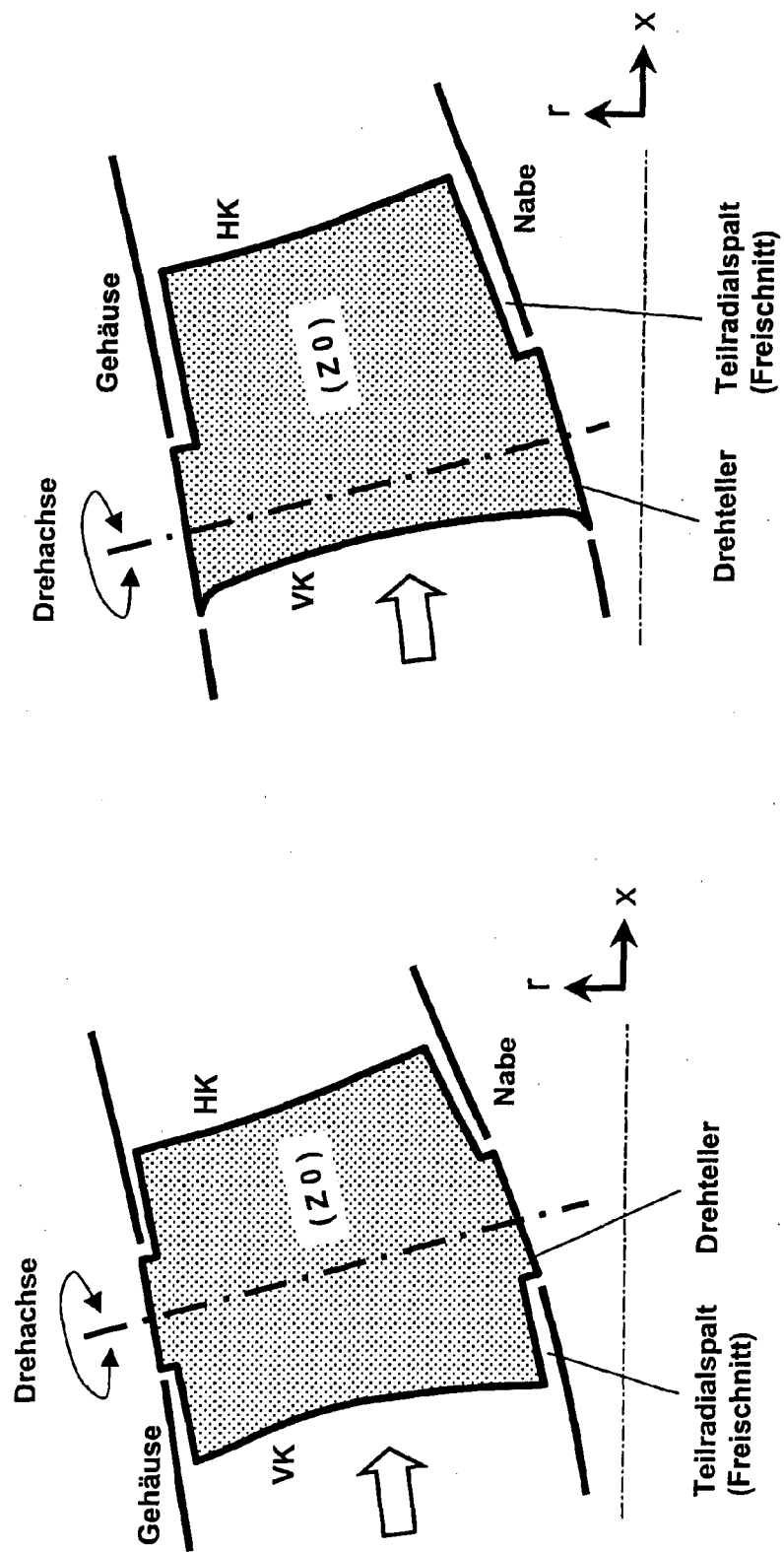


Fig.2: Definition von Meridianstromlinien und Stromlinienprofilschnitten

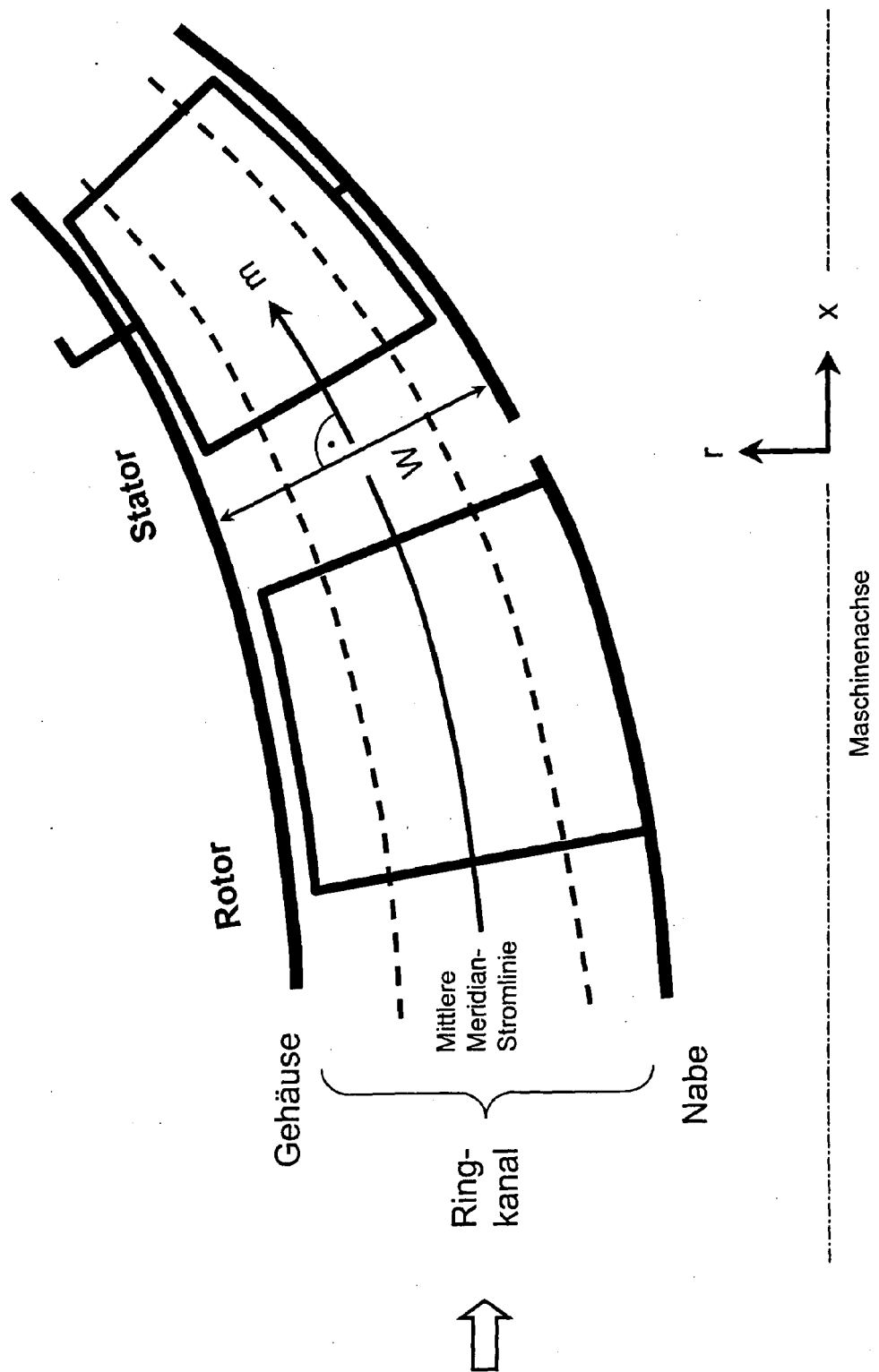


Fig.3a: Erfindungsgemäßer Verstellstator (Lagerung in Gehäuse und Nabe)

„SGN“

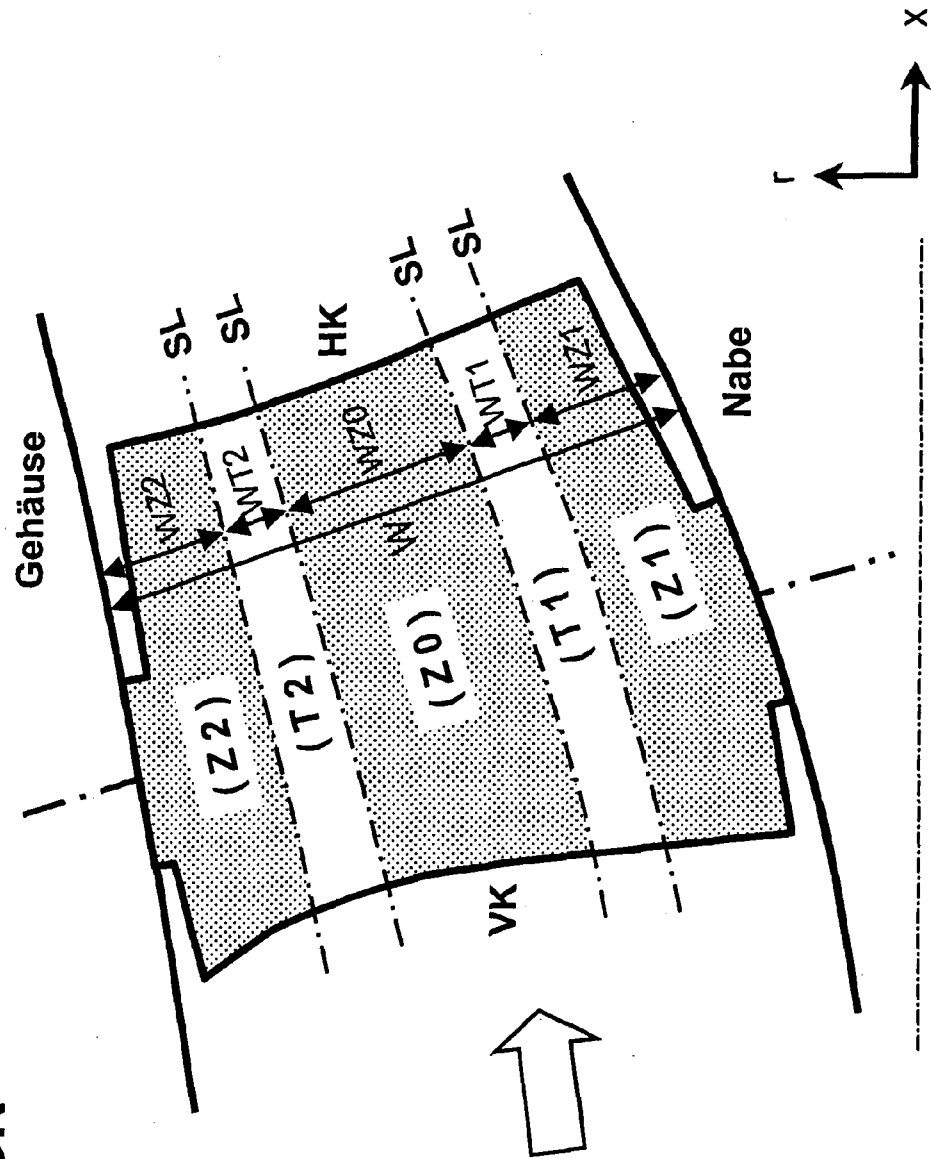


Fig.3b: Erfindungsgemäßer Verstellstator (Lagerung im Gehäuse)

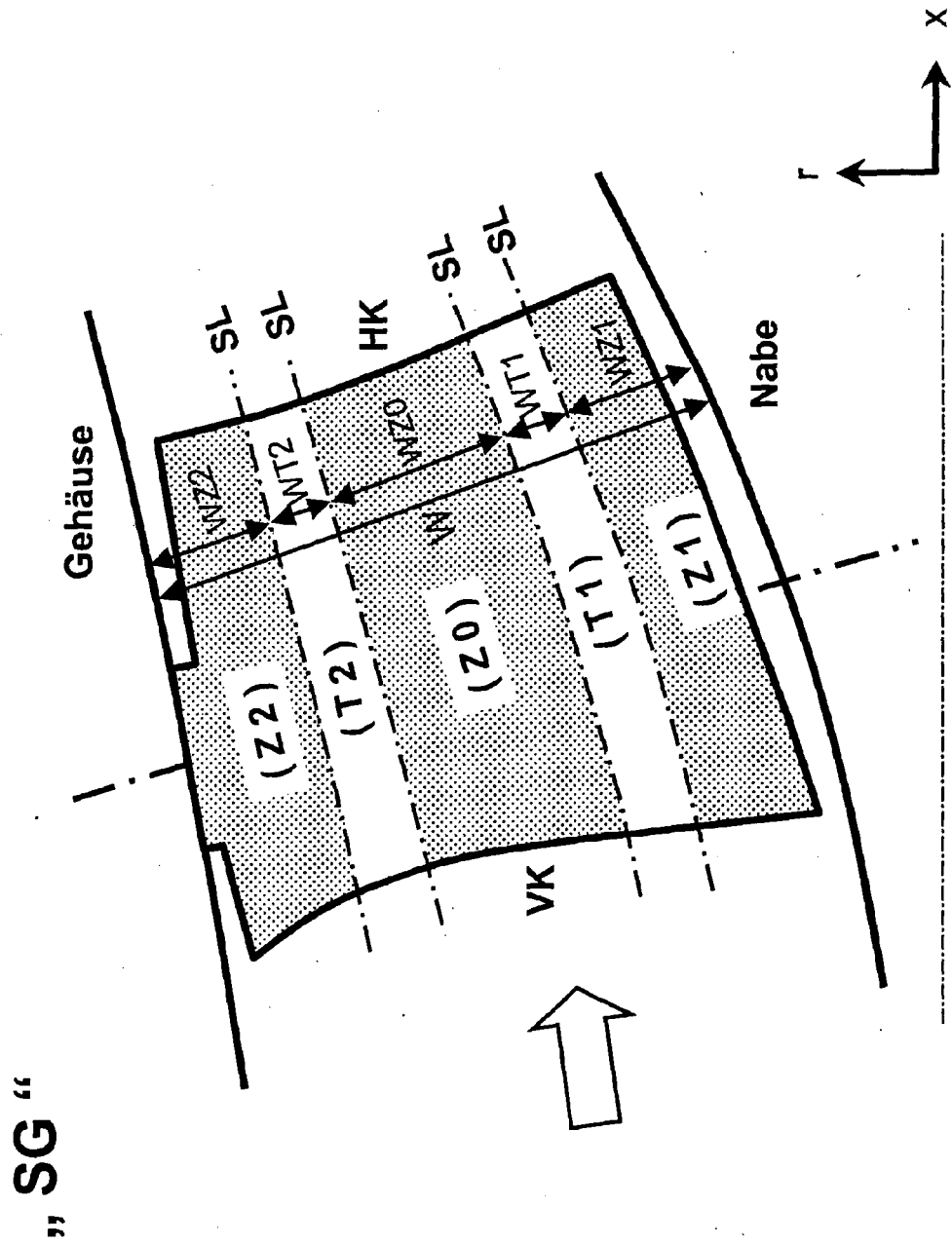


Fig.3c: Erfindungsgemäßer Verstellstator (Lagerung in der Nabe)

” SN “

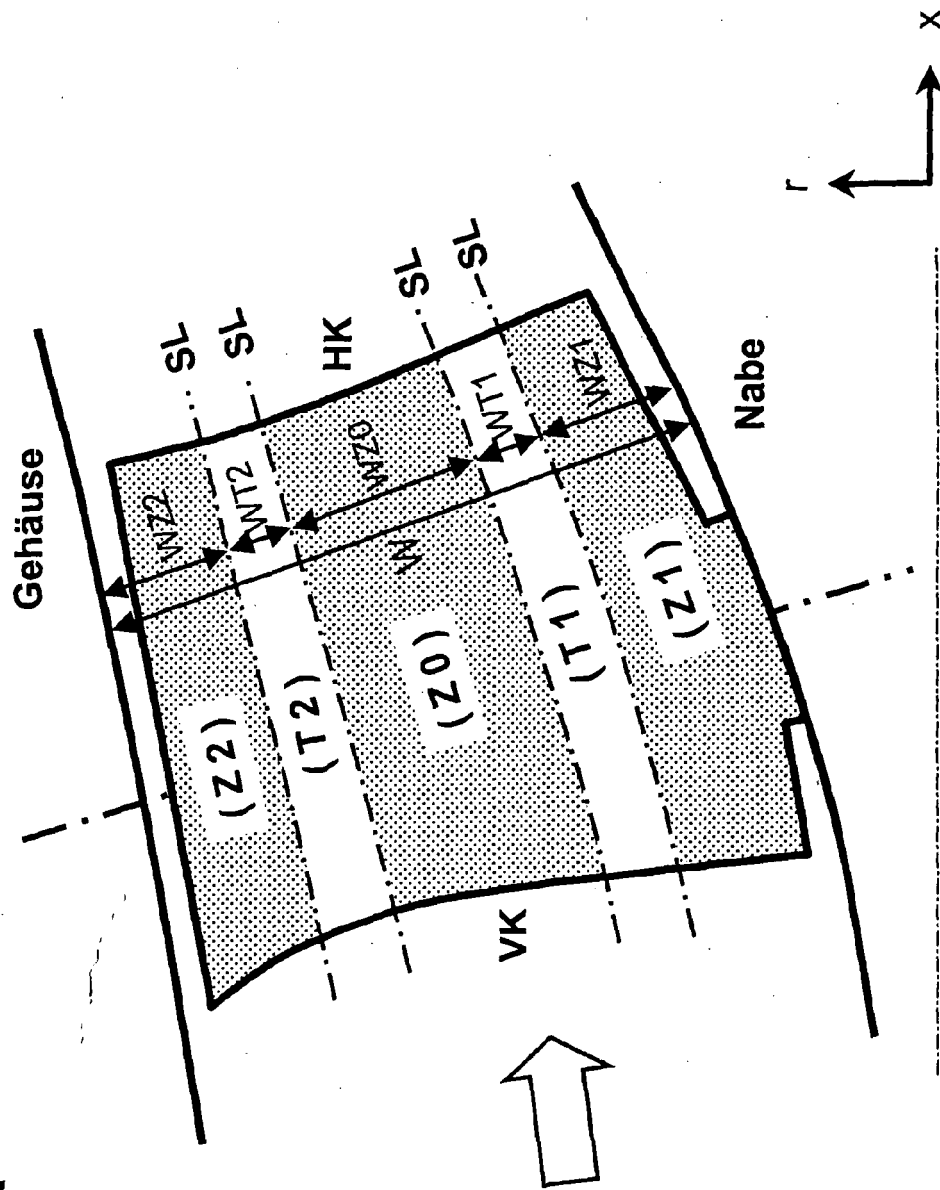


Fig.3d: Erfindungsgemäße Zuordnung der Schaufelzonen (Z1), (Z0), (Z2) und der definierten Skelettliniientypen PM und PR

Zone	Skelettliniientypen an Schaufel:		
	SGN	SG	SN
(Z2)	PR	PR	frei
(Z0)	PM	PM	PM
(Z1)	PR	frei	PR

Fig.4: Definition des Höhenseitenverhältnisses HSV und der Zonenweiten WZ1, WT1,WZ0, WT2, WZ2

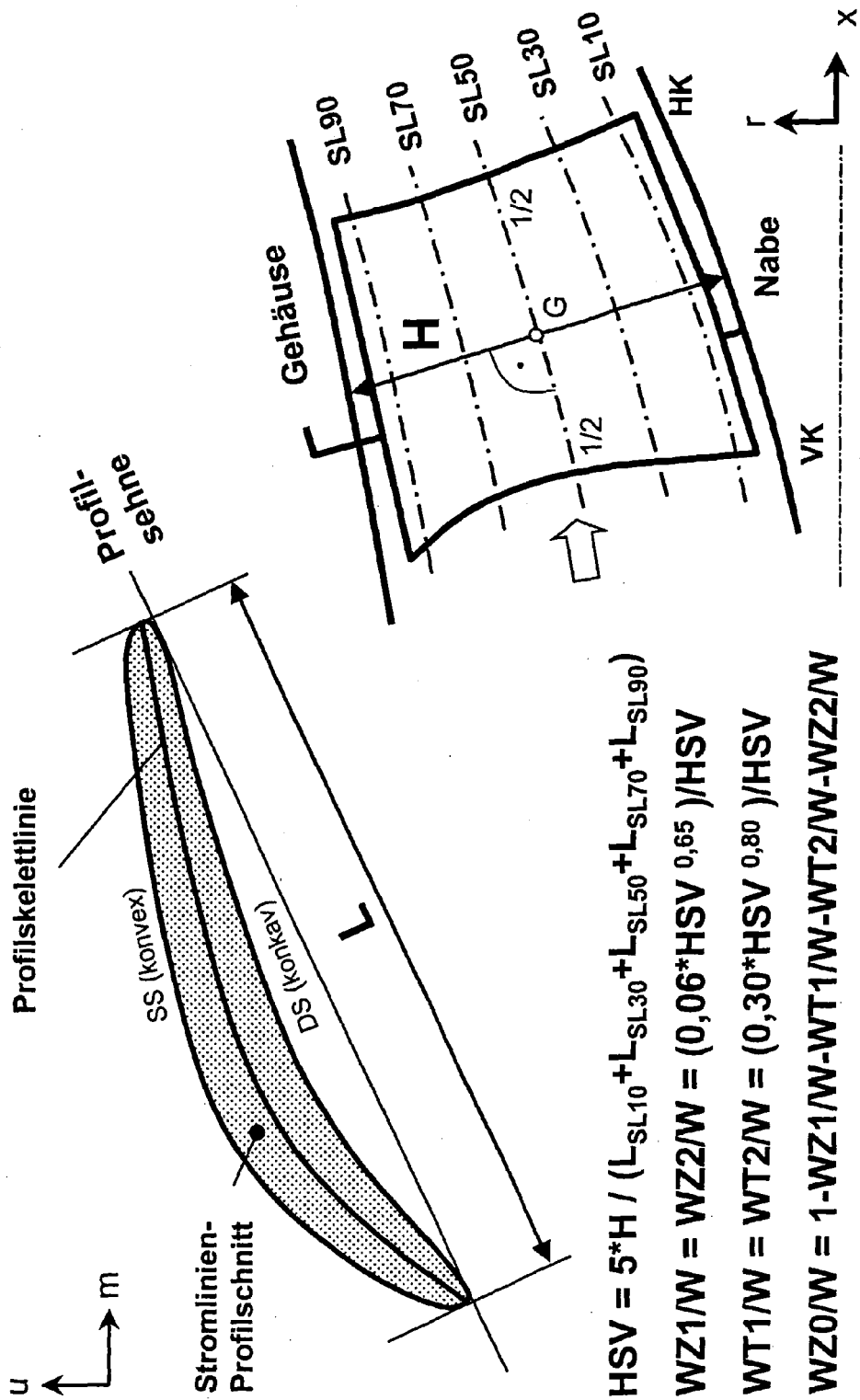
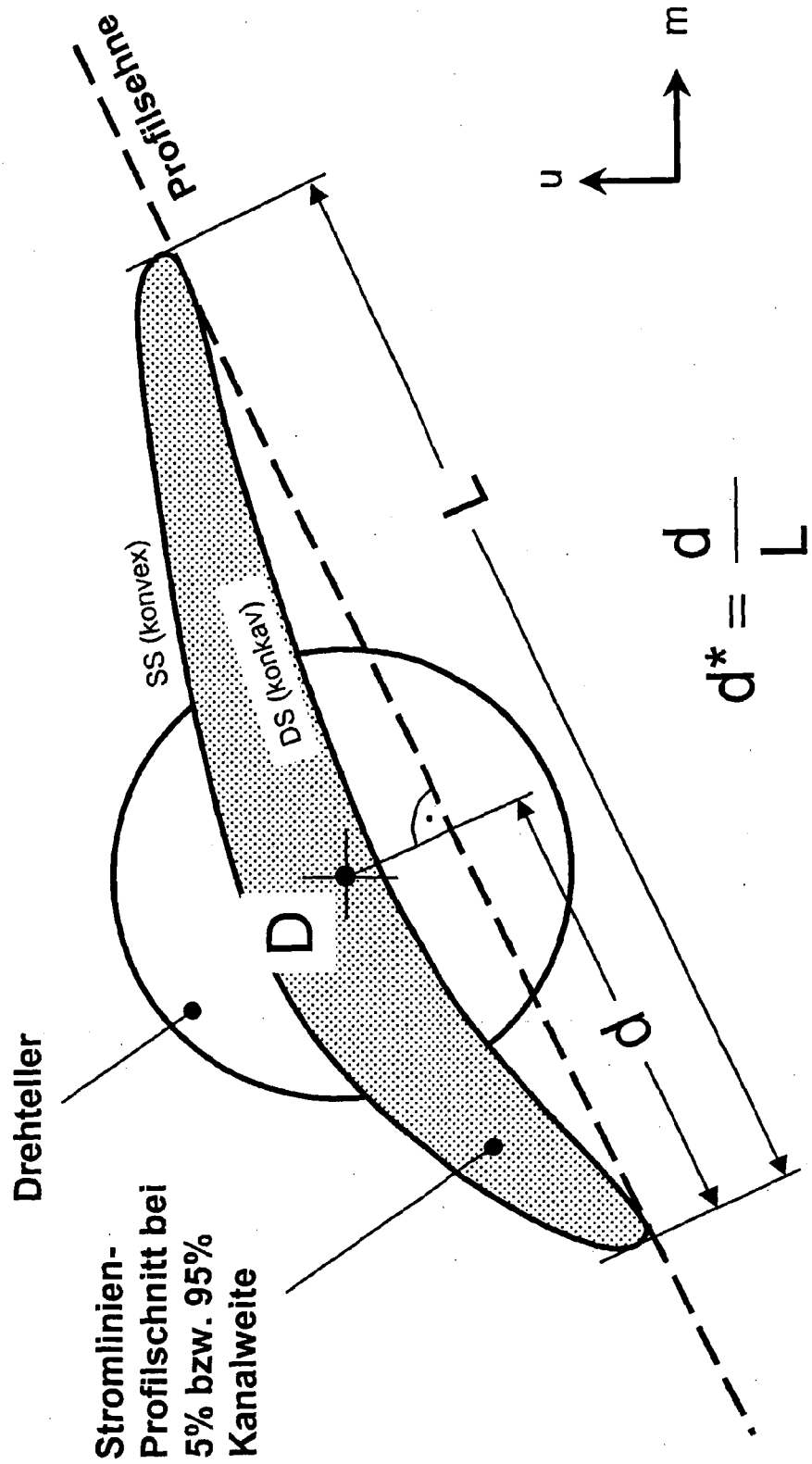
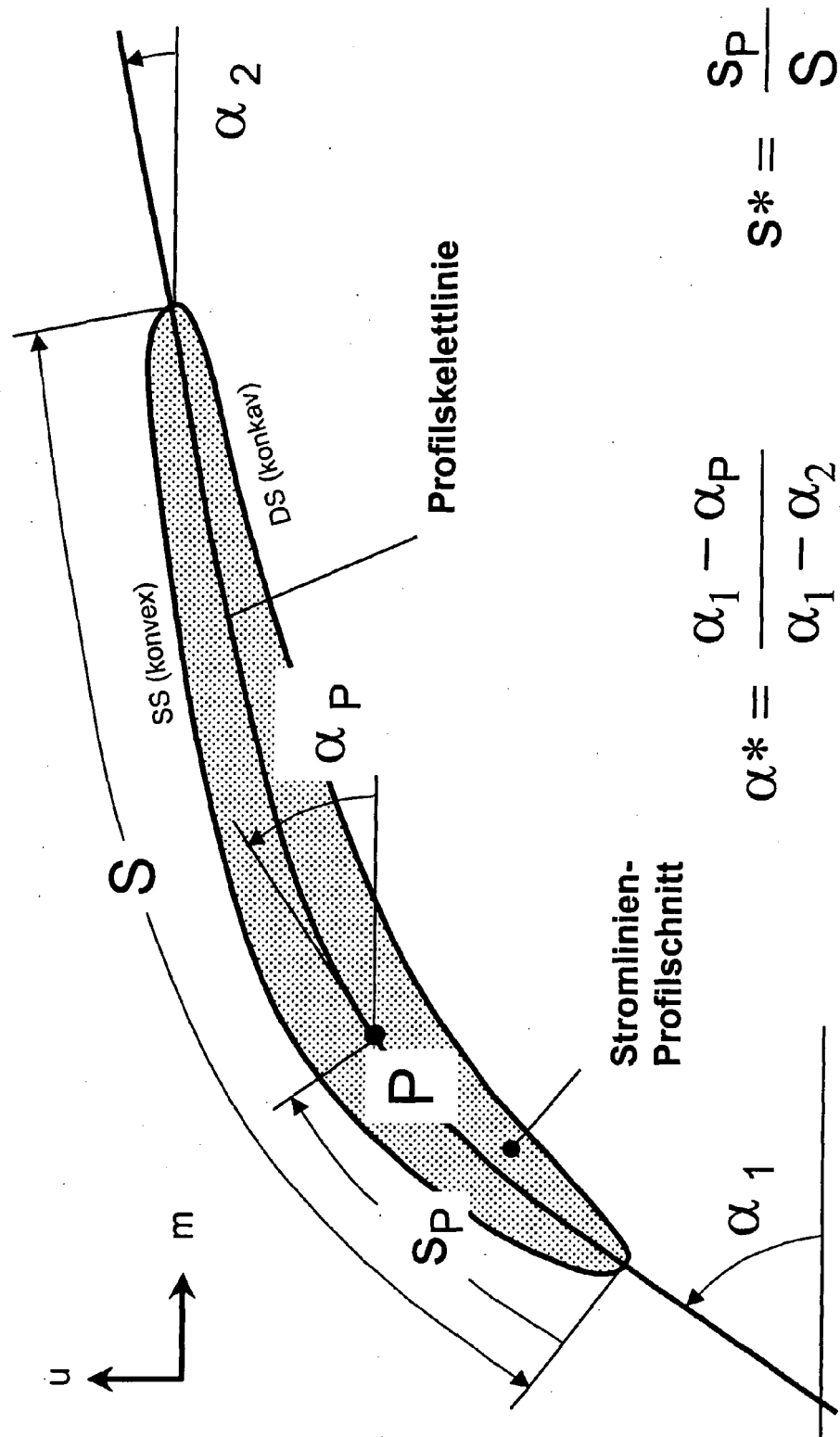


Fig.5: Definition der Drehachsenposition an den Schaufelenden



$$\frac{d}{d^*} = 1$$

Fig.6a: Definition der Skelettlinie eines Stromlinienprofilschnitts



**Fig.6b: Definition des Profilskelettlinientyps „PM“
für die Schaufelmittelzone**

$$y = -3,8512520965x^6 + 14,6764714420x^5 - 21,6808727924x^4 + 16,3850592743x^3 - 6,9703863077x^2 + 2,4431236235x - 0,0060854622$$

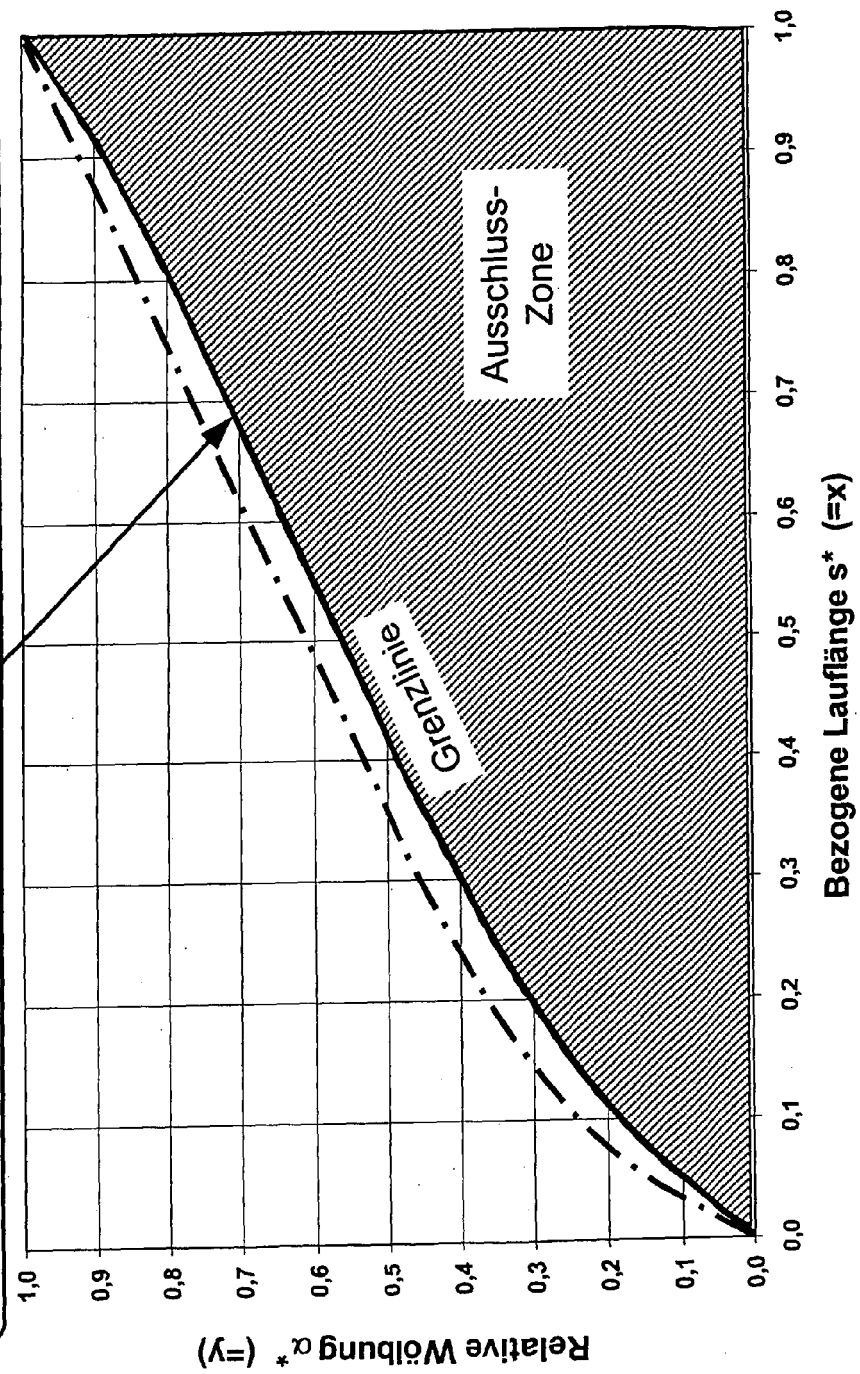


Fig.6c: Definition des Profilskelettlintyps „PR“ für die Schaufelrandzone bei einer Drehachsenposition von $d^* = 0,30$

$$y = -15,1441661664x^6 + 52,8168915277x^5 - 67,2135203453x^4 + 35,9670881201x^3 - 6,8146566070x^2 + 1,3350483823x + 0,0535731815$$

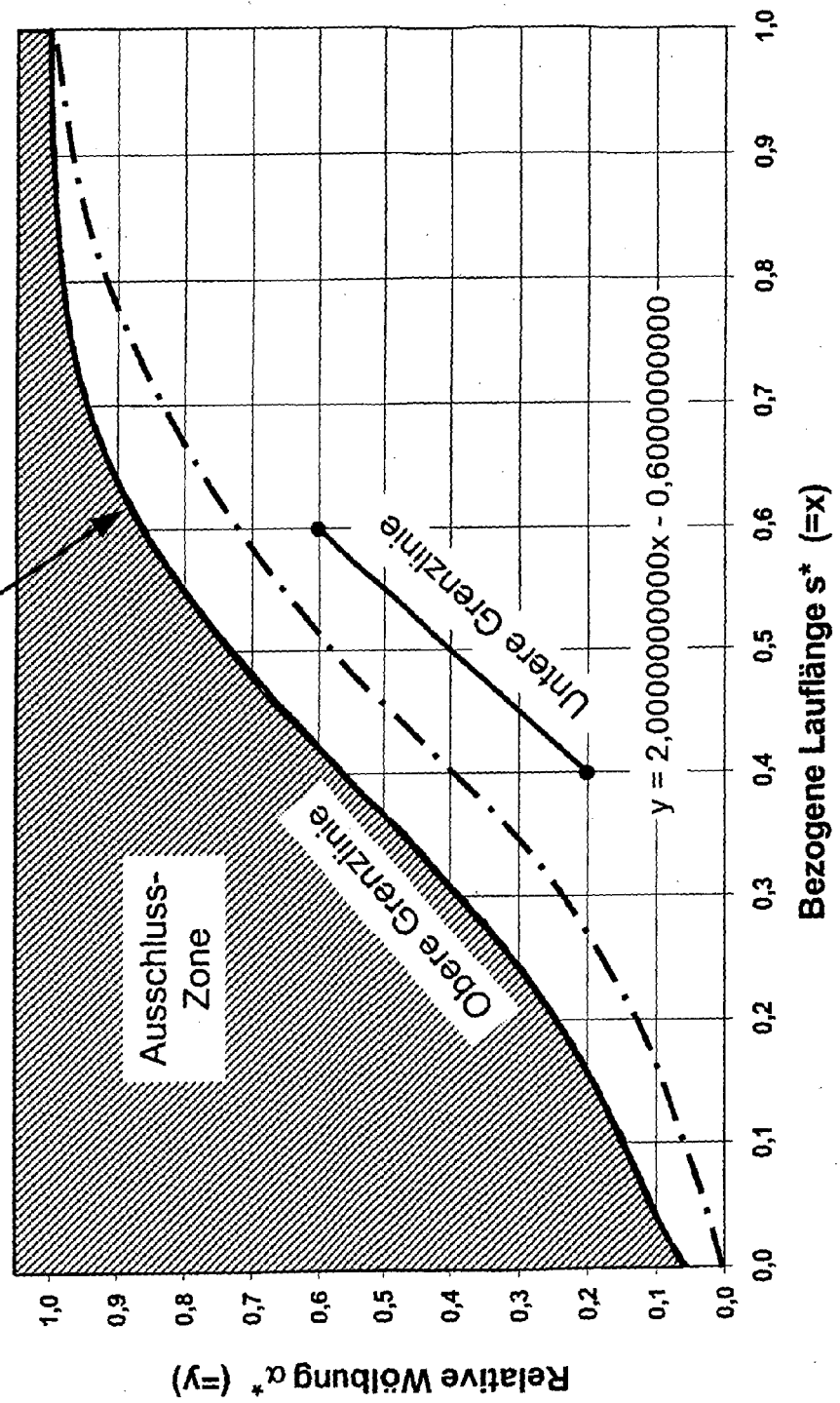
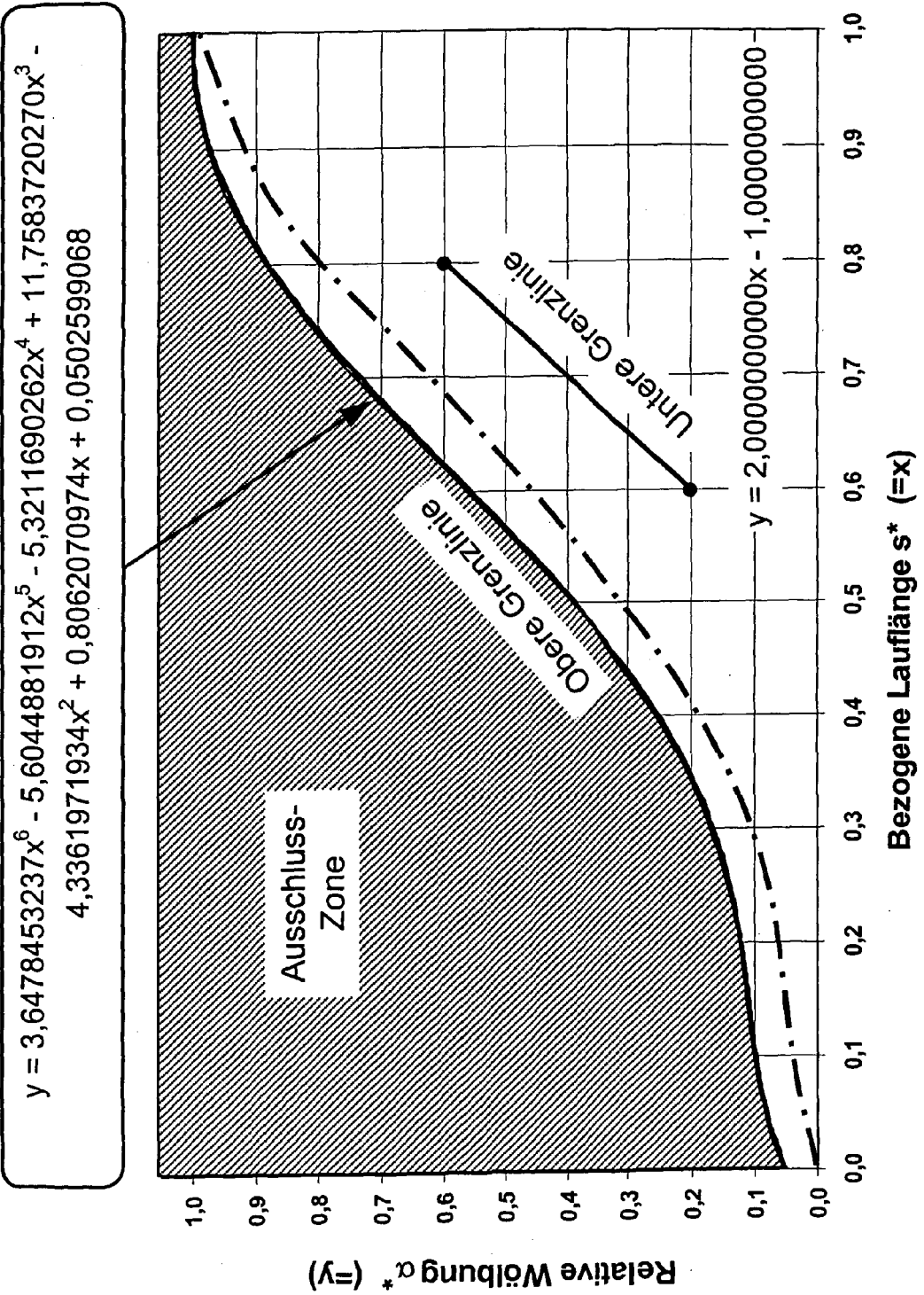


Fig.6d: Definition des Profilskelettlinientyps „PR“ für die Schaufelrandzone bei einer Drehachsenposition von $d^* = 0,50$



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 [0007]
- EP 0661413 A1 [0009]
- EP 1106835 A2 [0009]
- EP 1106836 A2 [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **R. F. BEHLKE.** Journal of Turbomachinery. Juli 1986, vol. 8 [0008]