



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.03.2007 Patentblatt 2007/10

(51) Int Cl.:
F04D 29/32 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06016439.9**

(22) Anmeldetag: **07.08.2006**

(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

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

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

(74) Vertreter: **Weber, Joachim**
HOEFER & PARTNER
Gabriel-Max-Strasse 29
81545 München (DE)

(30) Priorität: **05.09.2005 DE 102005042115**

(54) **Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschinenschaufel mit einer Profilskelettlinie, welche sich längs einer Meridianstromlinie erstreckt, wobei die Schaufel 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 folgenden Gleichungen genügen:

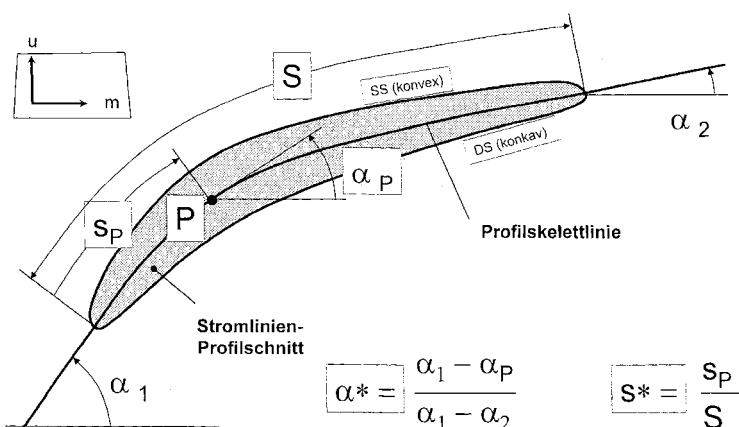
$$\alpha^* = \frac{\alpha_1 - \alpha_P}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

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

wobei

- P ein beliebiger Punkt der Profilskelettlinie,
- α_1 der Neigungswinkel an der Schaufel-Vorderkante,
- α_2 der Neigungswinkel an der Schaufel-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.

Fig.6a: Definition der Skelettlinie eines Stromlinienprofilschnitts



Beschreibung

[0001] 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.

[0002] Im Einzelnen betrifft die Erfindung mindestens eine Schaufel einer Strömungsarbeitsmaschine. Die betreffende Beschaukelung ist innerhalb eines Gehäuses, welches die Durchströmung eines Rotors und, falls vorhanden, eines Stators mit einem Fluid nach außen begrenzt. Während ein Rotor mehrere an einer rotierenden Welle befestigte Rotor-schaukeln umfasst und Energie an das Arbeitsmedium abgibt, besteht ein Stator aus mehreren feststehenden, meist im Gehäuse befestigten Statorschaukeln.

[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 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 Skelettliniotyps 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 und somit nur bedingt effektiv.

[0004] 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.

[0005] Auf der linken Seite ist eine übliche Schaufel ohne Variation des Skelettliniotyps dargestellt. In diesem einfachsten Standardfall besteht die Schaufel aus nur einem Block (Z0) in dem der Typ der Skelettlinie einheitlich nach festen Regeln vorgegeben ist. In diese Kategorie fallen die sogenannten CDA (controlled diffusion aerofoils) gemäß US4431376. Aerodynamisch betrachtet wird durch die CDA eine moderate Profilvorderlast angestrebt.

[0006] Auf der rechten Seite ist eine übliche Schaufel mit nicht weiter spezifizierter, aber durchgehender Variation des Skelettliniotyps entlang der Schaufelhöhe dargestellt. Hier wird die ganze Schaufel durch eine entsprechend große Transitionszone (T0) repräsentiert. Dazu gehören Konzepte aus bekannten Veröffentlichungen, die eine schnelle Transition von einem CDA-Skelettliniotyp zu einem mehr auf Profilhinterlast zielenden Skelettliniotyp in den Schaufelaußenbereichen in Betracht ziehen (R. F. Behlke, Journal of Turbomachinery, Vol. 8, July 1986).

[0007] 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).

[0008] Zum einen betrifft die Erfindung einen Rotor mit fester Anbindung an der Nabe und einem freien Schaufelende mit Radialspalt am Gehäuse. In analoger Weise betrifft die Erfindung einen Stator, der gehäuseseitig eine feste Verbindung zum Rand aufweist und nabenseitig ein freies Schaufelende mit Radialspalt besitzt. Schließlich betrifft die Erfindung einen Rotor oder Stator, der nabenseitig wie auch gehäuseseitig eine feste Verbindung zum Rand aufweist (Deckbandkonfiguration).

[0009] Wie in allen hier gezeigten Darstellungen erfolgt die Zuströmung der betreffenden Schaufelreihe, wie durch den dicken Pfeil angedeutet, von links nach rechts.

[0010] 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 Skelettlini-entypen 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. Außerdem fehlen Schaufelkonzepte mit Skelettlinienverteilungen längs Schaufelhöhe, die eine im Schaufelmittenbereich günstige, extreme Profilvorderlast auf angemessene Weise mit einer für die Randbereiche günstigen, moderaten Profilhinterlast kombinieren. Daher sind die mit dem Stand der Technik verbundenen Steigerungen bezüglich des Wirkungsgrades und der Stabilität der Strömungsarbeitsmaschine zwar vorhanden, aber vergleichsweise klein. Entsprechend klein ist demzufolge eine mögliche Reduzierung der Bauteilanzahl.

[0011] 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 wirkungsvolle Beeinflussung der Randströmung durch gezielte und problemgerechte, blockweise Definition der Profilskelettlinien entlang der Schaufelhöhe erreicht.

[0012] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0013] Erfindungsgemäß ist für den Einsatz in einer Strömungsarbeitsmaschine eine Rotor- oder Statorschaukel 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 extreme aerodynamische Profilvorderlast im Schaufelmittenbereich auf vorteilhafte Weise mit einer aerodynamischen Profilhinterlast 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.

[0014] 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.3a: die erfindungsgemäße Rotorschaukel mit Radialspalt am Gehäuse,

Fig. 3b: die erfindungsgemäße Statorschaukel mit Radialspalt an der Nabe,

Fig.3c: die erfindungsgemäße Schaukel ohne Radialspalt, Rotor oder Stator,

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

Fig.5: die erfindungsgemäße Zuordnung der Schaukelzonen (Z1), (Z0), (Z2) und der definierten Skelettliniientypen PF, PM, PR

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

Fig.6b: die Definition des Profilskelettliniientyps "PF" für die Schaukelzone am festen Ende,

Fig.6c: die Definition des Profilskelettliniientyps "PM" für die Schaukelmittelzone,

Fig.6d: die Definition des Profilskelettliniientyps "PR" für die Schaukelzone am Radialspalt.

[0015] 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 Schaukel ergibt einen Stromlinienprofilschnitt.

[0016] Die Fig. 3a zeigt die erfindungsgemäße Rotorschaukel mit Radialspalt am Gehäuse "RmR" in der durch die Axialkoordinate x und die Radialkoordinate r bestimmten Meridianebene. Darin sind die Schaukelrandzonen Z1 und Z2, die Transitionszonen T1 und T2 sowie die Schaukelmittelzone Z0 besonders gekennzeichnet und jeweils durch Meridianstromlinien gemäß der Definition in Fig.2 begrenzt. Jeder einzelnen der fünf Schaukelzonen ist eine Teilweite (WZ1, WT1, WZ0, WT2, WZ2) zugewiesen, die in Richtung der Kanalweite W gemessen wird.

[0017] Dieser Darstellung entsprechend zeigen die Fig.3b und Fig. 3c die erfindungsgemäße Statorschaukel mit Radialspalt an der Nabe "SmR" sowie die erfindungsgemäße Schaukel (Rotor oder Stator) ohne Radialspalt "RSoR".

[0018] Die Fig.4 zeigt die Definition des Höhenseitenverhältnisses, das für die Bestimmung der jeweiligen Zonenweiten maßgebend ist. In der unteren rechten Bildhälfte ist eine Schaukelkonfiguration 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 Gesamtschaukelhöhe 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:

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

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 Profilsehn für fünf Stromlinien bei 10 %, 30 %, 50 %, 70 % und 90 % einer Weite W des Strömungskanal sind.

[0019] Die Zonenweiten werden in Abhängigkeit des Höhenseitenverhältnisses in relativer Form (bezogen auf die Gesamtkanalweite W) nach folgender Berechnungsvorschrift bestimmt:

$$WZ1/W = WZ2/W = (0,10 \cdot HSV^{0,58}) / HSV$$

$$WT1/W = WT2/W = (0,25 \cdot HSV^{0,85}) / HSV$$

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

[0020] Die Fig.5 zeigt tabellarisch die erfindungsgemäße Zuordnung der drei Schaufelzonen (Z1), (Z0), (Z2) und der im folgenden (Fig.6b-d) spezifizierten Skelettliniertypen PF, PM, PR. So ist beispielsweise für die Schaufelkonfiguration RmR der Typ PF in Zone (Z1), der Typ PM in Zone (Z0) und der Typ PR in Zone (Z2) vorgesehen.

- PF - Profilskelettliniertyp für die Schaufelzone am festen Ende,
- PM - Profilskelettliniertyp für die Schaufelmittelzone,
- PR - Profilskelettliniertyp für die Schaufelzone am Radialspalt.

[0021] Der jeweilige Skelettliniertyp 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).

[0022] 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:

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

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

[0023] Die Fig.6b zeigt die Definition des Skelettliniertyps "PF" in der oben abgeleiteten relativen Darstellungsweise. Erfindungsgemäße Skelettlinienverläufe befinden sich unterhalb einer Grenzlinie. Skelettlinienverläufe im Ausschlussgebiet oberhalb und auf der Grenzlinie sind nicht erfindungsgemäß. Die Grenzlinie für den Skelettliniertyp "PF" ist durch die folgende Definition gegeben:

$$\alpha^* = -3,3550017483 S^{*6} + 12,8091744282 S^{*5} - 19,1276527122 S^{*4} + 14,1735887616 S^{*3} - 5,4814126258 S^{*2} + 1,9327011304 S^* + 0,0513455055$$

[0024] Beispielhaft ist eine erfindungsgemäß für den Schaufelblock an einem festen Ende vorsehbare Skelettlinienverteilung eingezeichnet.

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

$$\alpha^* = -12,3534715888 S^{*6} + 43,3609801205 S^{*5} - 59,8902846910 S^{*4} + 41,7663332787 S^{*3} - 15,5211559470 S^{*2} + 3,6376953490 S^* - 0,0064632100$$

[0026] Beispielhaft ist eine erfindungsgemäß für den Block in Schaufelmitte vorsehbare Skelettlinienverteilung eingezeichnet.

[0027] Die Fig. 6d zeigt in der relativen Darstellung die Definition des Skelettlinientyps "PR". Erfindungsgemäße Skelettlinienverläufe befinden sich unterhalb einer Grenzlinie. Skelettlinienverläufe im Ausschlussgebiet oberhalb und auf der Grenzlinie sind nicht erfindungsgemäß. Die Grenzlinie für den Skelettlinientyp "PR" ist durch die folgende Definition gegeben:

$$\alpha^* = -10,5762327507 S^{*6} + 40,2486019609 S^{*5} - 59,8510217536 S^{*4} + 45,2961721770 S^{*3} - 18,6486044740 S^{*2} + 4,4885201025 S^* + 0,0480220659$$

[0028] Beispielhaft ist eine erfindungsgemäß für den Schaufelblock am Radialspalt vorsehbare Skelettlinienverteilung eingezeichnet.

[0029] 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. Strömungsarbeitsmaschinenschaufel mit einer Profilskelettlinie, welche sich längs einer Meridianstromlinie erstreckt, wobei die Schaufel 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 Schaufel-Vorderkante,
- α_2 der Neigungswinkel an der Schaufel-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. Schaufel nach Anspruch 1 mit einer Profilskelettlinie (PF) für eine Zone der Schaufel an deren festem Ende, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\alpha^* = -3,3550017483 S^{*6} + 12,8091744282 S^{*5} - 19,1276527122 S^{*4} + 14,1735887616 S^{*3} - 5,4814126258 S^{*2} + 1,9327011304 S^* + 0,0513455055$$

3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2, mit einer Profilskelettlinie (PM) für eine Schaufelmittelzone, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\alpha^* = -12,3534715888 S^{*6} + 43,3609801205 S^{*5} - 59,8902846910 S^{*4} + 41,7663332787 S^{*3} - 15,5211559470 S^{*2} + 3,6376953490 S^* - 0,0064632100$$

4. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit einer Profilskelettlinie (PR) für eine Zone der Schaufel am Radialspalt, welche gemäß folgender Gleichung ausgebildet ist:

$$\alpha^* = -10,5762327507 S^{*6} + 40,2486019609 S^{*5} - 59,8510217536 S^{*4} + 45,2961721770 S^{*3} - 18,6486044740 S^{*2} + 4,4885201025 S^* + 0,0480220659$$

5. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, 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 Profilschne, und
- die einzelnen Längen L der Profilschnen für fünf Stromlinien bei 10 %, 30 %, 50 %, 70 % und 90 % einer

EP 1 760 321 A2

Weite W des Strömungskanals sind.

6. Schaufel nach Anspruch 5, wobei Zonenweiten in Abhängigkeit des Höhenseitenverhältnisses (HSV) in relativer Form, bezogen auf eine Gesamtkanalweite (W) nach folgender Berechnungsvorschrift bestimmt werden:

$$WZ1/W=WZ2/W=(0,10 \cdot HSV^{0,58})/HSV$$

$$WT1/W=WT2/W=(0,25 \cdot HSV^{0,85})/HSV$$

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

wobei

- W die Kanalweite,
- WZ1 die Kanalweite in einer Zone 1,
- WZ2 die Kanalweite in einer Zone 2,
- 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.

Fig.1: schematische Darstellung zum Stand der Technik

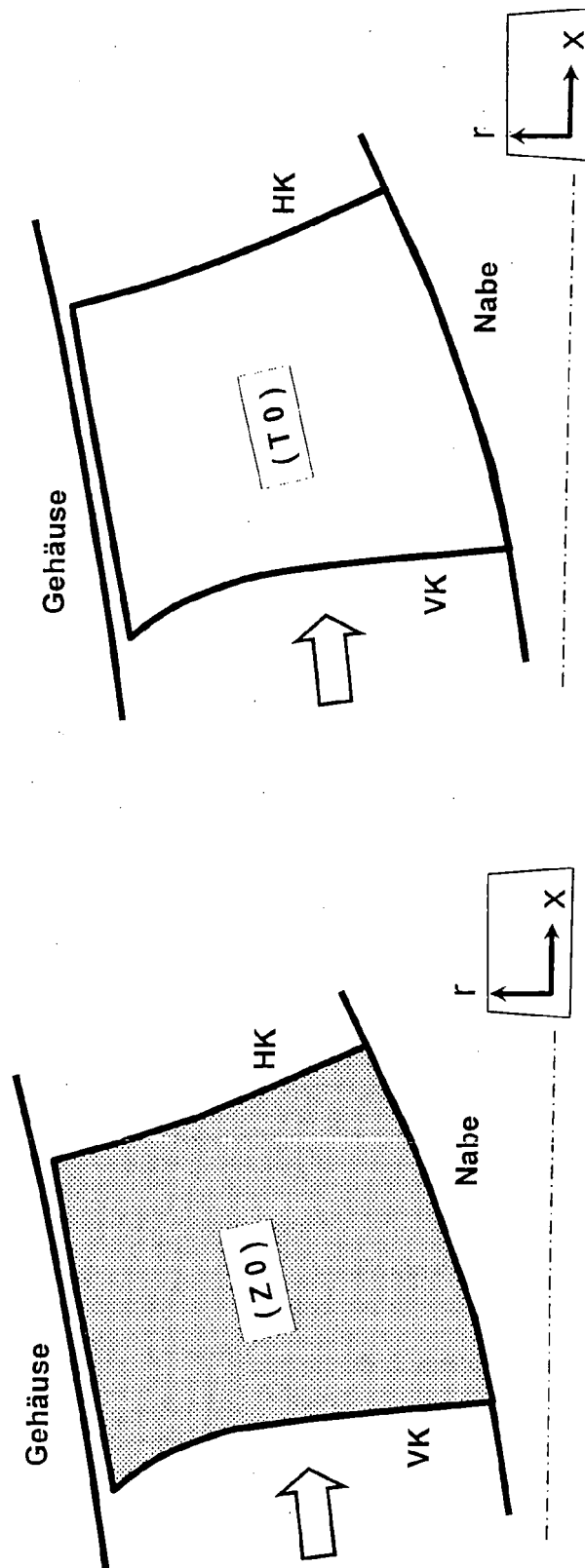


Fig.2: Definition von Meridianstromlinien und Stromlinienprofilschnitten

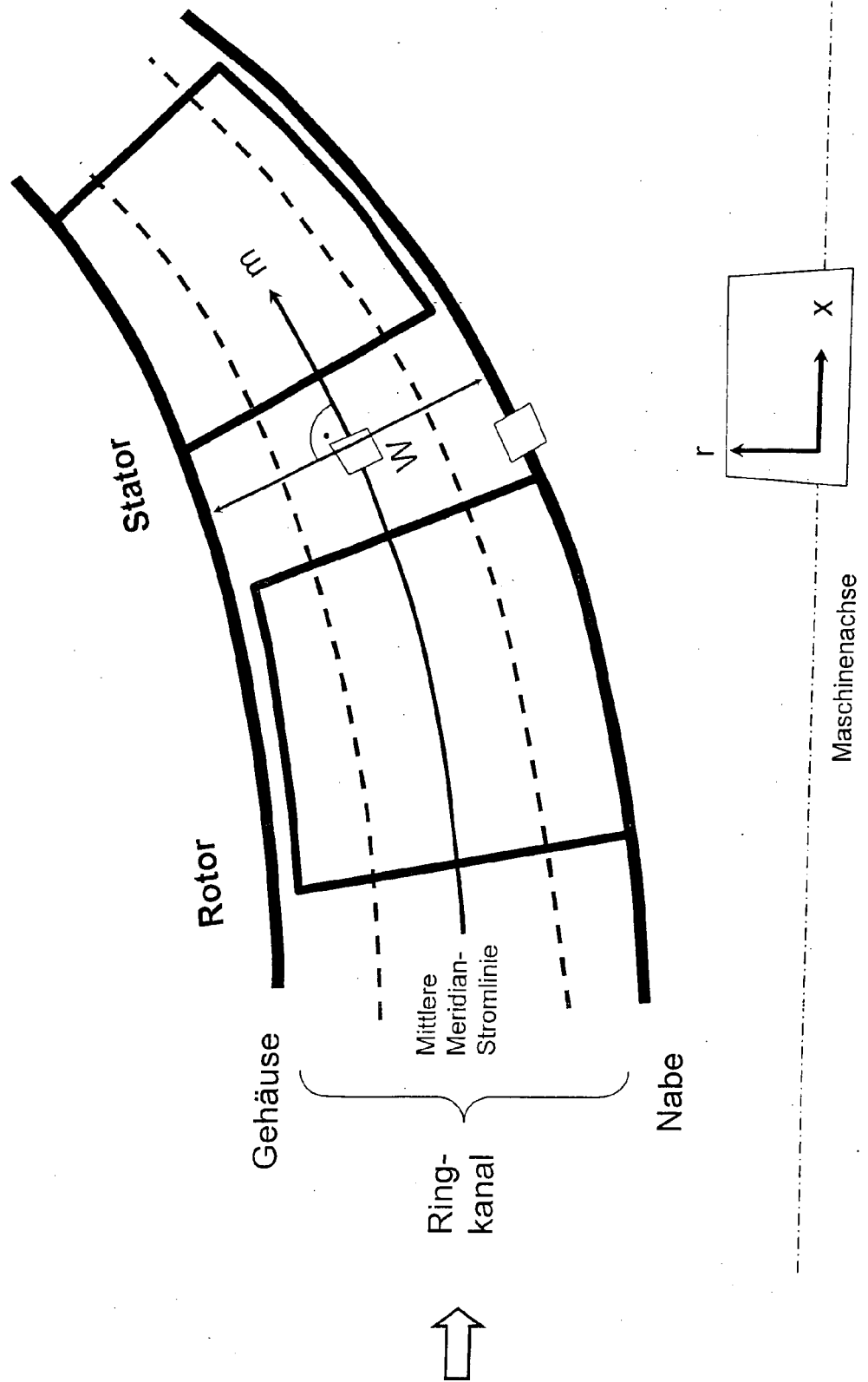


Fig. 3a: Erfindungsgemäße Rotorscheufel mit Radialspalt am Gehäuse

”RmR“

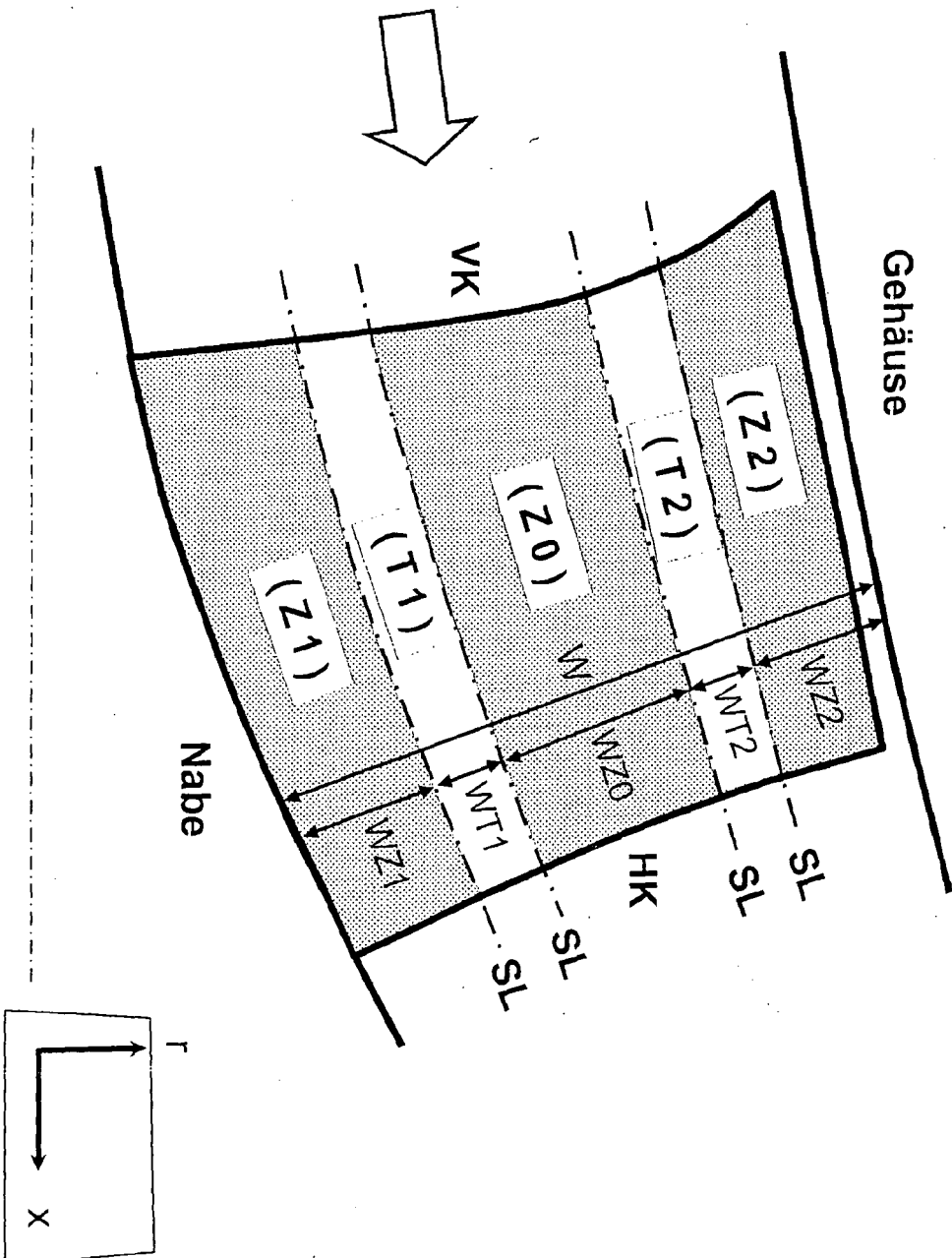


Fig.3b: Erfindungsgemäße Statorschaufel mit Radialspalt an der Nabe

„SmR“

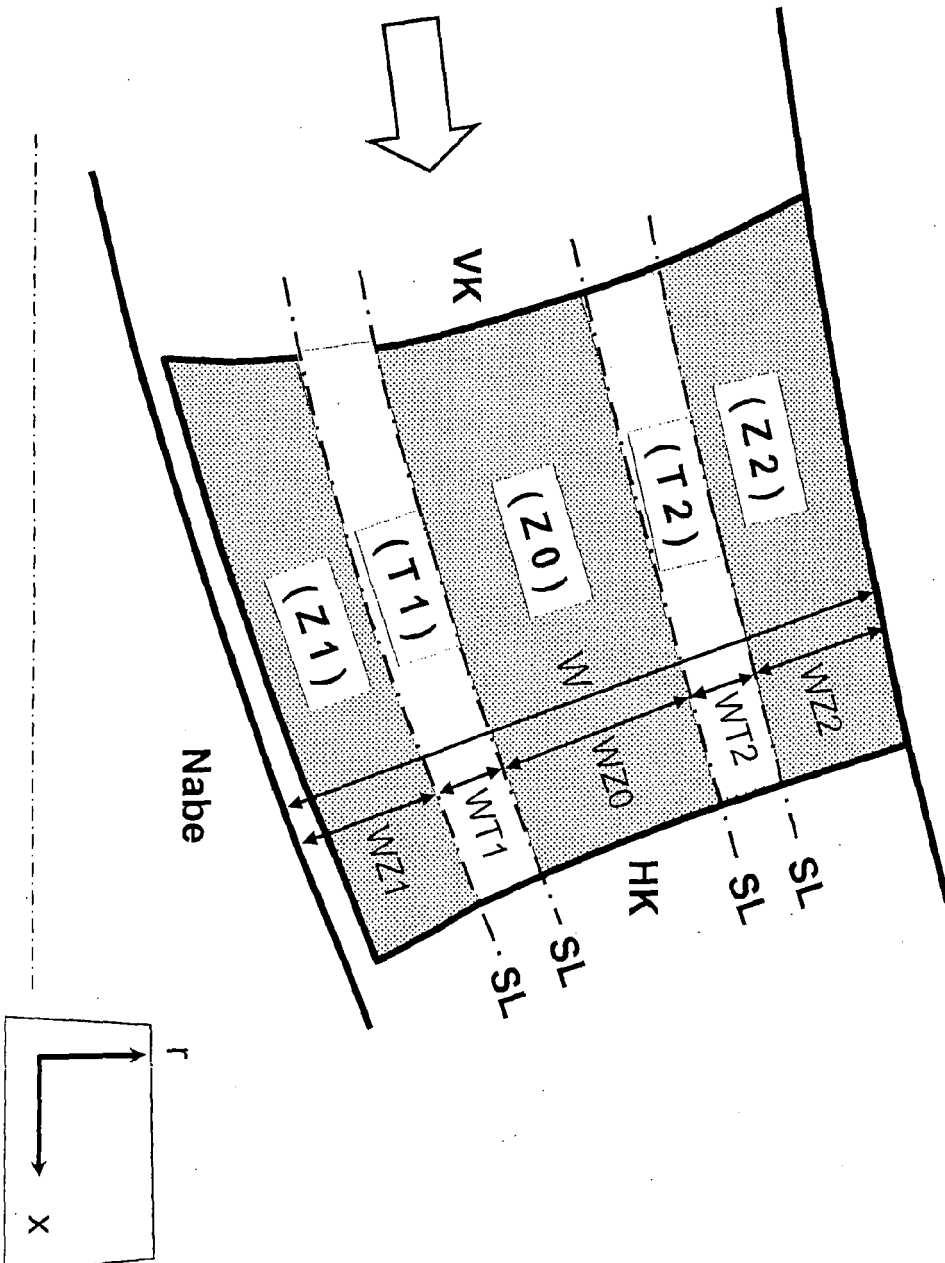


Fig.3c: Erfindungsgemäße Schaufel ohne Radialspalt, Rotor oder Stator

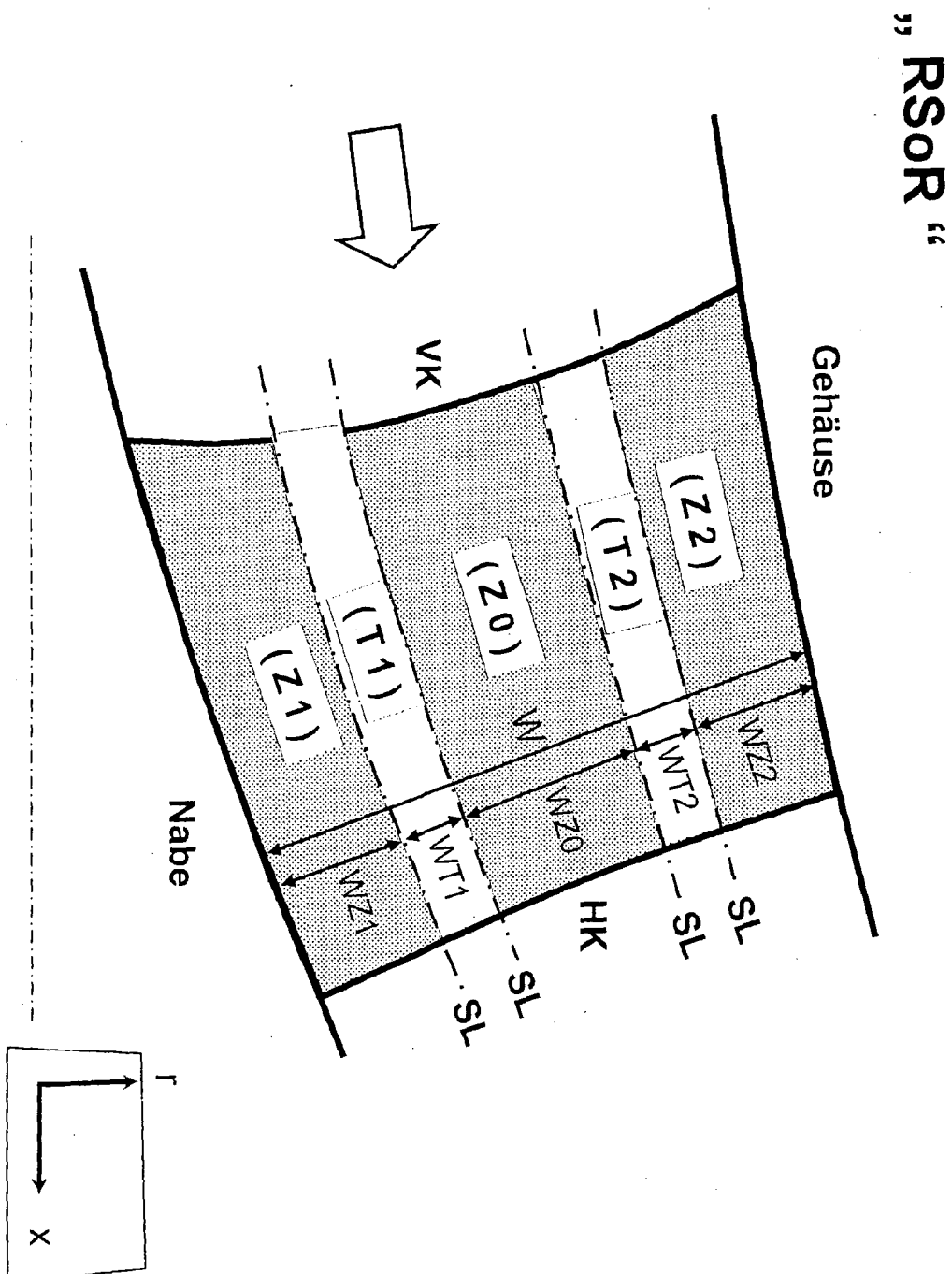


Fig.4: Definition des Höhengseitenverhältnisses HSV und der Zonenweiten WZ1, WT1, WZ0, WT2, WZ2

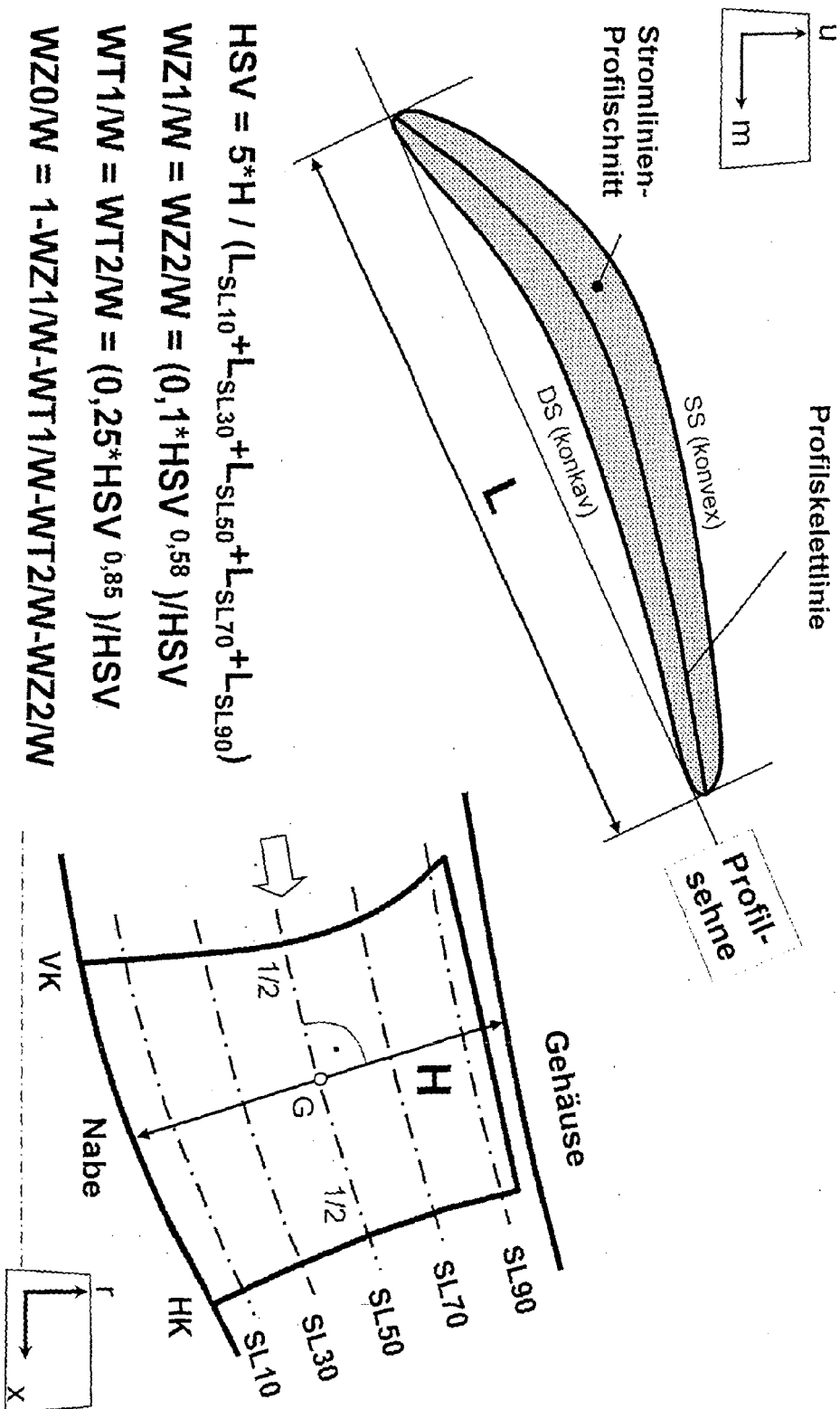
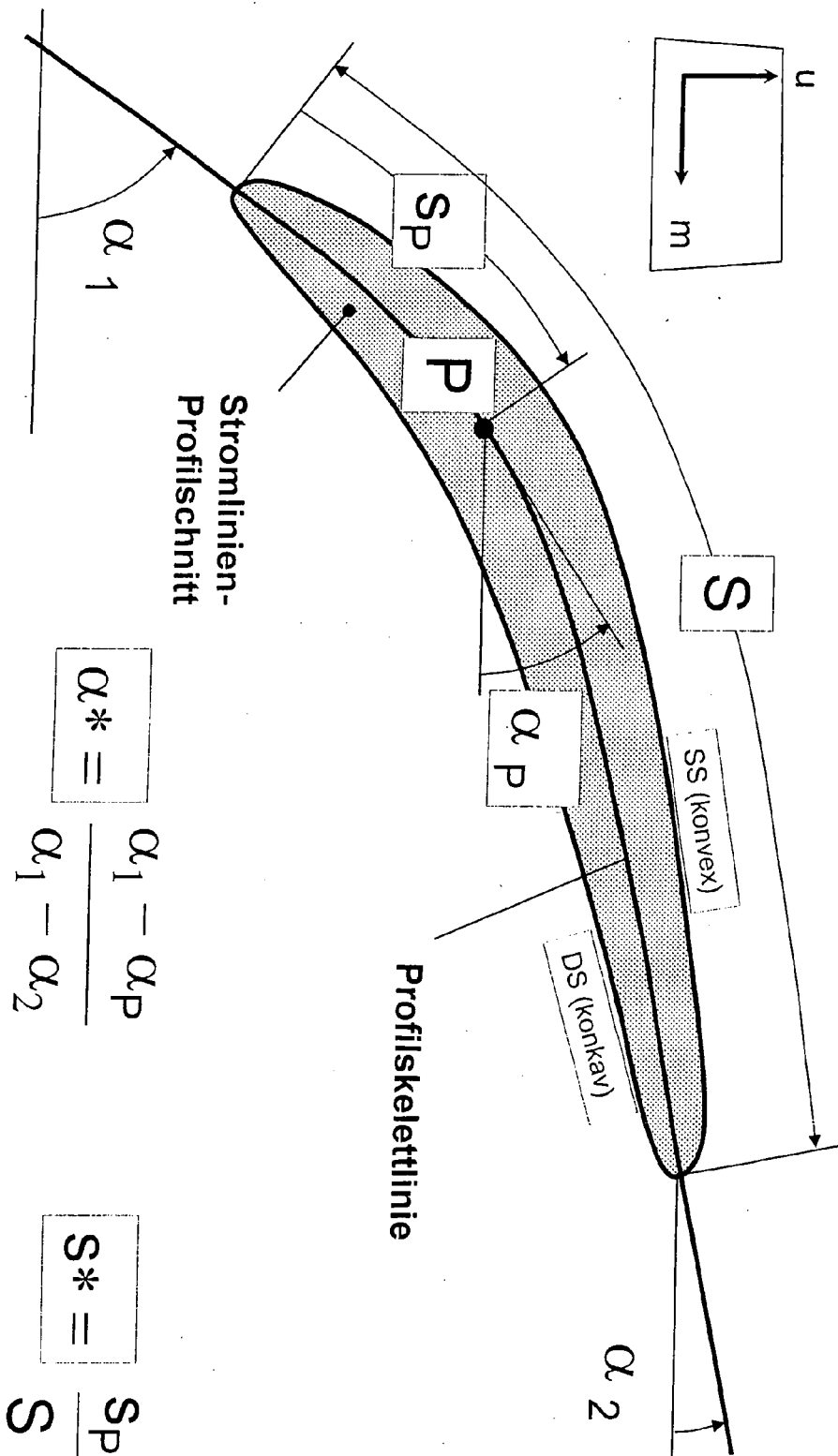


Fig.5: Erfindungsgemäße Zuordnung der Schaufelzonen (Z1), (Z0), (Z2) und der definierten Skelettlinientypen PF, PM, PR

Zone	Skelettlinientypen an Schaufel:		
	RmR	SmR	RSoR
(Z2)	PR	PF	PF
(Z0)	PM	PM	PM
(Z1)	PF	PR	PF

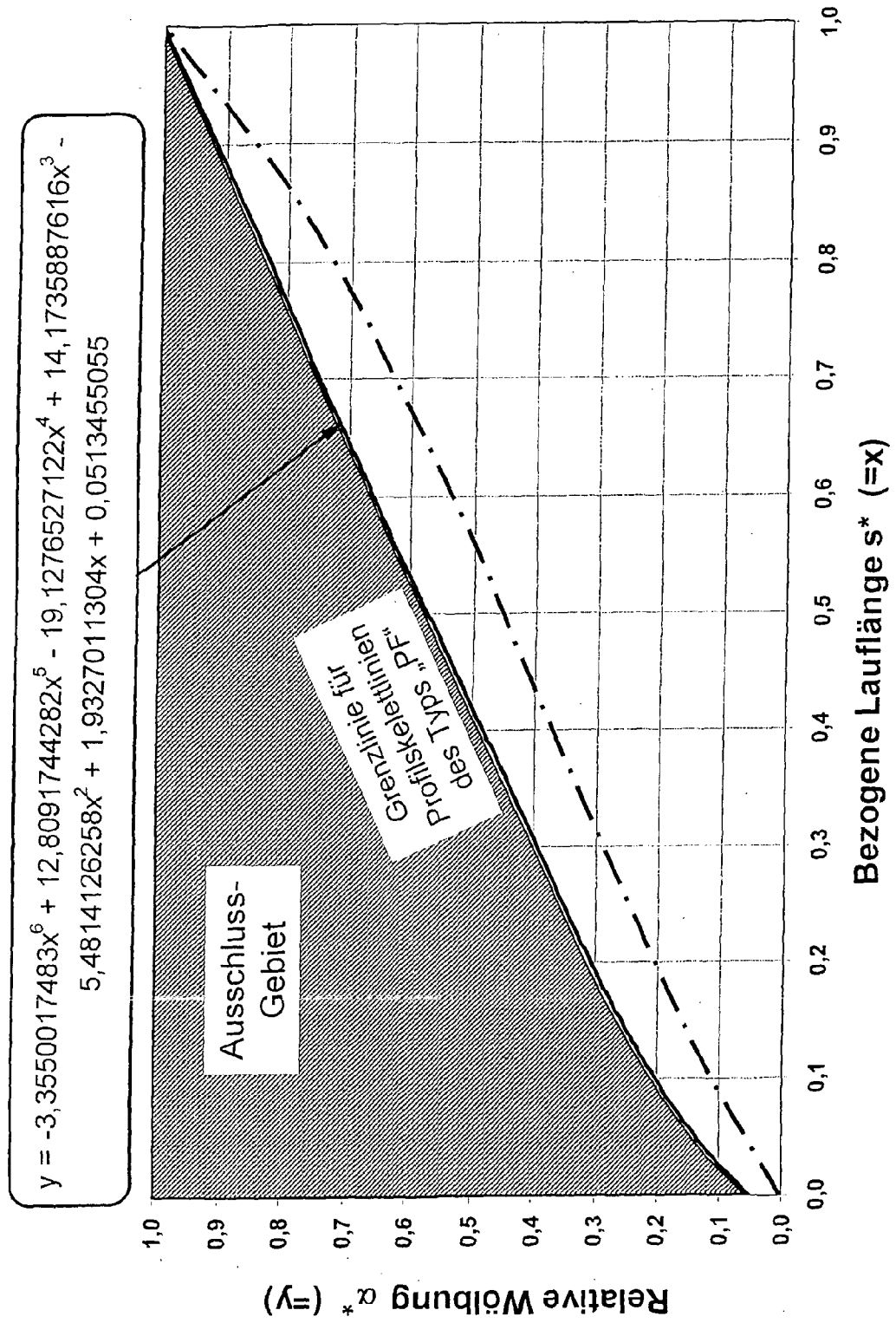
Fig.6a: Definition der Skeletlinie eines Stromlinienprofilschnitts



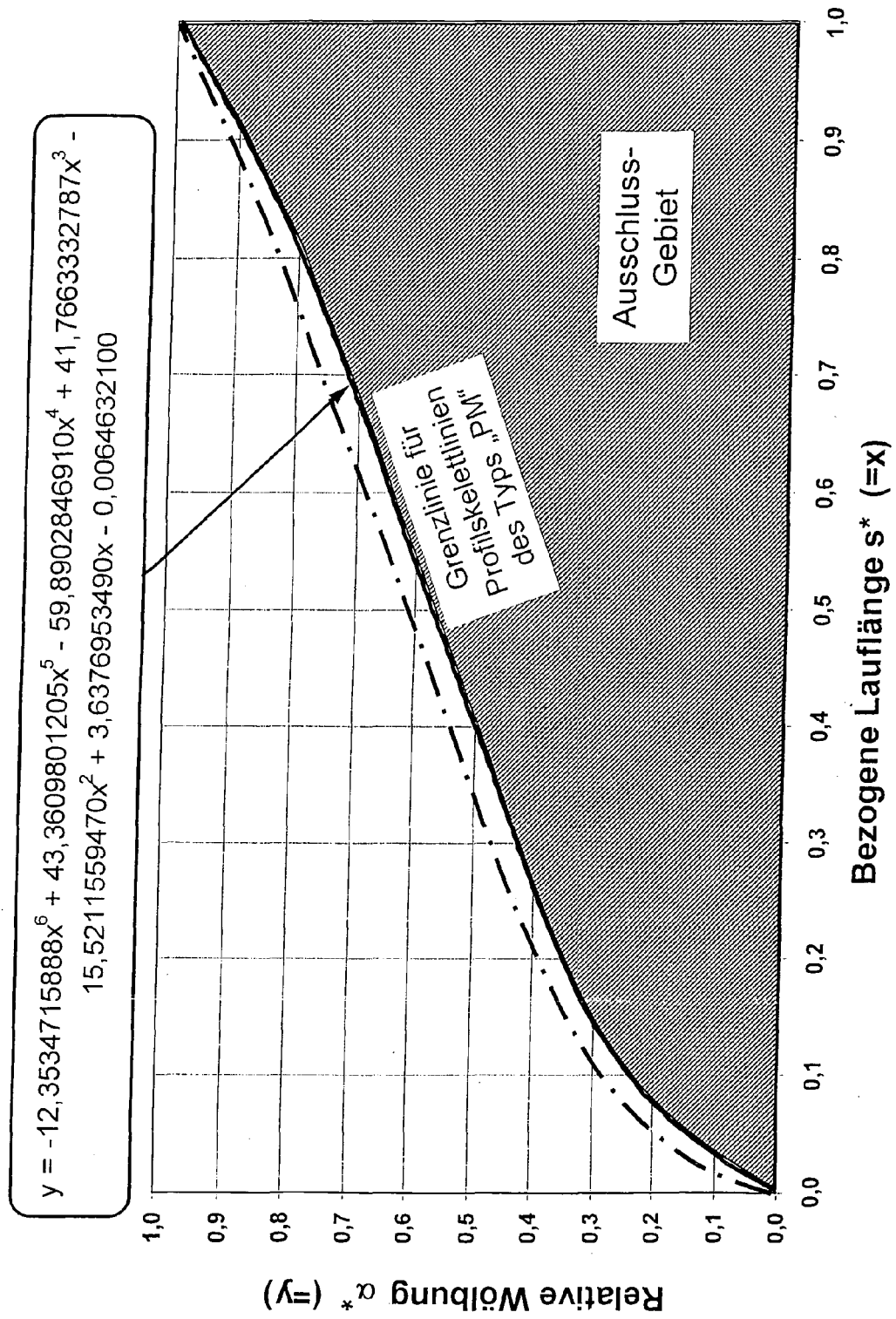
$$\alpha^* = \frac{\alpha_1 - \alpha_P}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

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

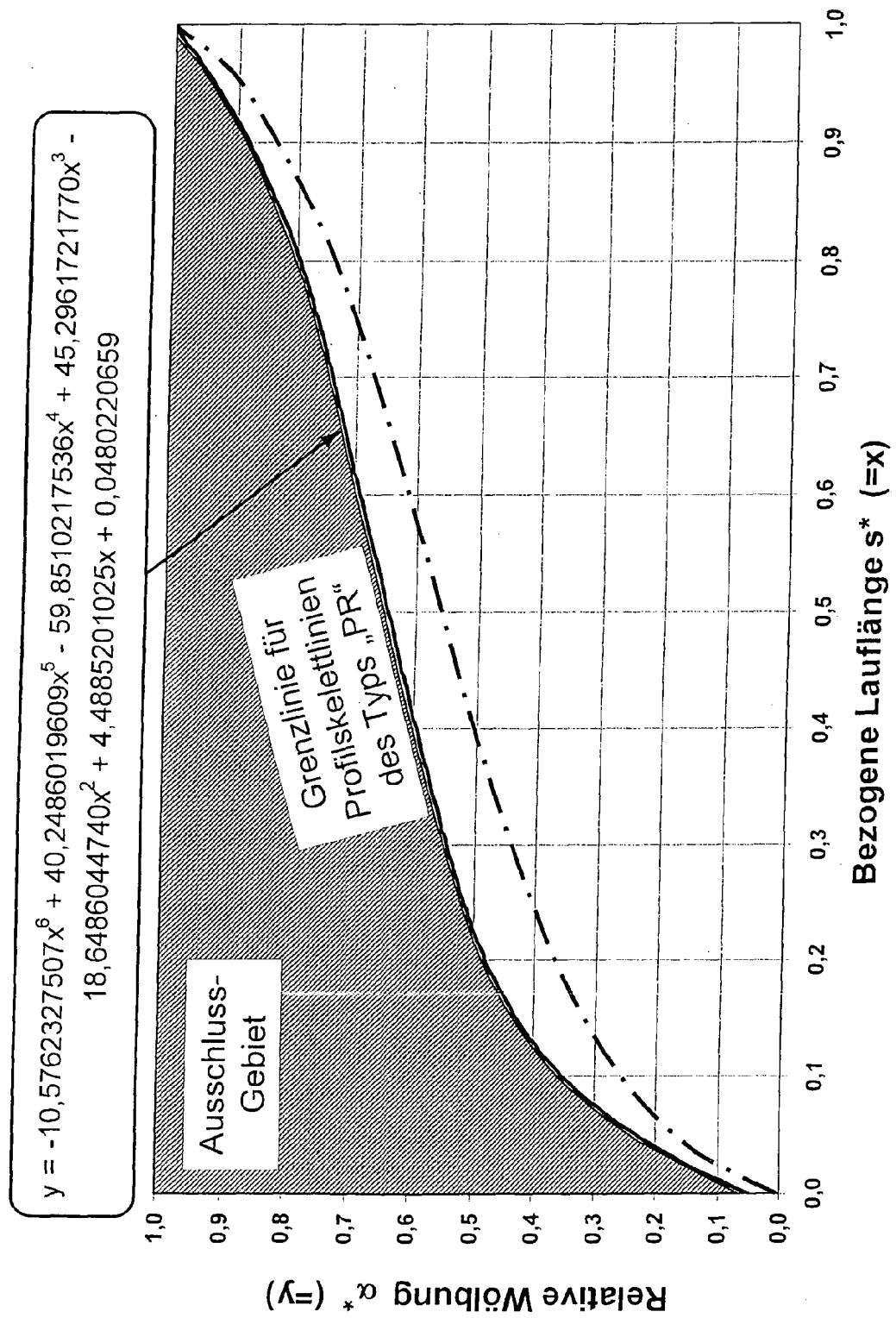
**Fig.6b: Definition des Profilskelettlinientyps „PF“
für die Schaufelzone am festen Ende**



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



**Fig.6d: Definition des Profilskelettlinientyps „PR“
für die Schaufelzone am Radialspalt**



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 [0005]
- EP 0661413 A1 [0007]
- EP 1106835 A2 [0007]
- EP 1106836 A2 [0007]