



(19)

Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 1 927 724 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
04.06.2008 Patentblatt 2008/23

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

*F01D 9/04 (2006.01)*

(21) Anmeldenummer: 07120051.3

(22) Anmeldetag: 06.11.2007

(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 MT NL PL PT RO SE  
SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK RS**

(30) Priorität: 23.11.2006 DE 102006055869

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

(72) Erfinder: **Clemen, Carsten**  
15749 Mittenwalde (DE)

(74) Vertreter: **Wablat, Wolfgang**  
Patentanwalt  
Dr. Dr. W. Wablat  
Potsdamer Chaussee 48  
14129 Berlin (DE)

(54) **Turbomaschinenschaufel**

(57) Für die Lauf- und Leitschaufeln von Turbomaschinen, insbesondere Gasturbinentriebwerken, wird ein Schaufelblattdesign mit einem definierten Bereich der Skelettlinienwinkelverteilung für die Skelettlinien der in Spalt Nähe liegenden Schaufelprofilschnitte angegeben. Mit der in einem bestimmten Bereich zwischen zwei Grenzkurven (7, 8) liegenden erfindungsgemäßen Ver-

teilung der dimensionslosen Skelettlinienwinkel ( $\alpha$ ) über der Sehnenlänge (1) und dem entsprechenden Skelettlinienverlauf in einem bis zu 30% der Schaufelhöhe erfassenden Teil der Schaufel ist eine vergleichmässigte Druckverteilung gewährleistet, so dass durch den Spalteinfluss bedingte Störungen und Verluste minimiert werden.

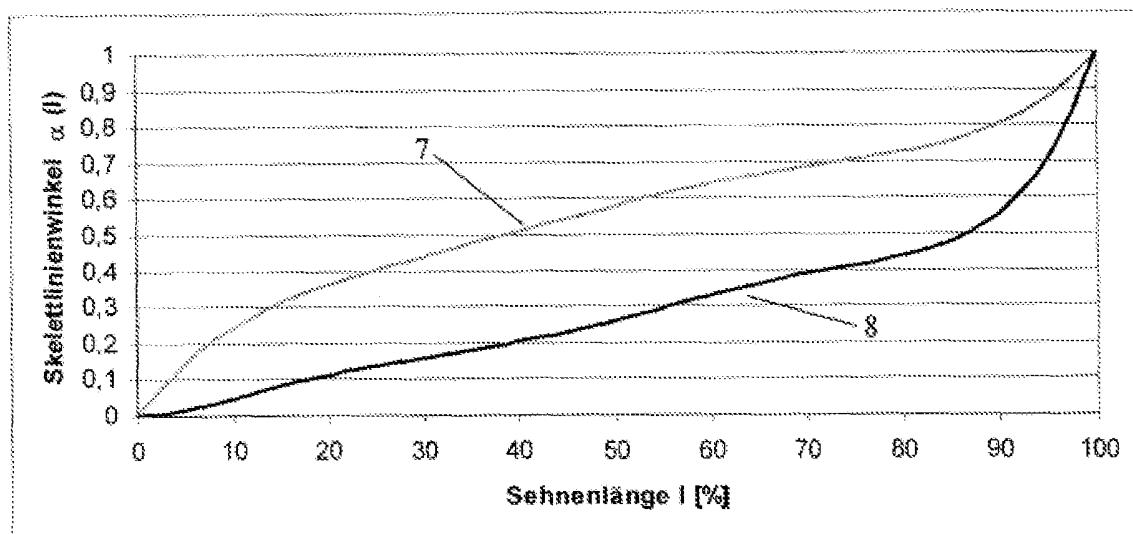


Fig. 3

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Schaufelblattdesign der Lauf- und Leitschaufeln einer Turbomaschine, insbesondere eines Gasturbinentriebwerks, das durch den Verlauf der durch den Skeletlinienwinkel definierten Skeletlinie über der Sehnenlänge und der Schaufelblatthöhe sowie den Vorderkantenverlauf und die an einem Luftspalt endende Schaufelspitze definiert ist.

**[0002]** Das Schaufelblatt von Triebwerksschaufeln ist unter dem Aspekt einer strömungstechnisch optimalen Formgestaltung aus einer Vielzahl über die Schaufelblatthöhe aufgefädelter Einzelprofile zu einer dreidimensionalen Schaufelform zusammengesetzt, wobei die einzelnen Profilschnitte durch eine bestimmte Skeletlinie und eine bestimmte Materialstärke beiderseits der Skeletlinie gekennzeichnet sind. Der Verlauf der in dem jeweiligen Profilschnitt eine Mittellinie darstellenden Skeletlinie ist auf einen minimalen Profildruckverlust und einen maximalen Arbeitsbereich in dem jeweiligen Schaufelbereich ausgelegt. Diesen Anforderungen genügen die derzeit eingesetzten CDA-(Controlled Diffusion Airfoil)-Schaufelprofile und deren Derivative im Bereich der Schaufelspitze, das heißt, in dem spaltnahen Schaufelbereich, jedoch nicht, da der strömungstechnisch nachteilige Einfluss des Spaltes zwischen Schaufelspitze und Maschinengehäuse bzw. -nabe bei den heute verwendeten Schaufelformen nicht hinreichend berücksichtigt ist. Durch Umströmung und Überströmung der Schaufelspitze kommt es in diesem Schaufelbereich zur Ausbildung von Wirbeln, die den stabilen Betrieb der Maschine begrenzen und damit zu Strömungs- und Leistungsverlusten, die durch eine - gewichts- und kostenseitig nachteilige - Erhöhung der Anzahl der Schaufeln ausgeglichen werden müssen.

**[0003]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Schaufelblattprofile von Lauf- und Leitschaufeln einer Turbo- maschine so auszubilden, dass die durch die nahe dem Spalt auftretenden Strömungsstörungen, die zu Leistungsver- lusten führen, minimiert werden.

**[0004]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Schaufelblattdesign gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0005]** Der Kern der Erfindung besteht darin, dass in einem von der Schaufelspitze ausgehenden spaltnahen Bereich von bis zu 30% der Schaufelhöhe die Schaufelprofilschnitte durch einen bestimmten, durch den Skeletlinienwinkel in Bezug auf die Sehnenlänge des Schaufelprofils definierten Skeletlinienverlauf gekennzeichnet sind, bei dem am Spalt bzw. in der Nähe des Spaltes eine gleichmäßige Druckverteilung entlang des Schaufelschnittes und mithin ein stabiler Spaltwirbel erzielt wird. Die gleichmäßige Belastungsverteilung im spaltnahen Schaufelbereich hat geringere Spaltver- luste, das heißt, eine Erhöhung der Leistung und der Stabilitätsgrenze bzw. eine Verringerung der Schaufelzahl und damit des Gewichts bei konstanter Leistung und letztlich der Kosten zur Folge.

**[0006]** Die dimensionslosen Skeletlinienwinkel für den erfindungsgemäß optimalen Skeletlinienverlauf, und zwar für Schaufelprofilschnitte, die in den oben erwähnten 30%-Bereich fallen, liegen in einem bestimmten Skeletlinienwinkel- verteilungsbereich, der in einem von der Sehnenlänge (x-Achse, in Prozent) und dem dimensionslosen Skeletlinienwinkel (y-Achse) gebildeten Koordinatensystem angeordnet ist, wobei die obere und die untere Grenzkurve der Skeletlinien- winkelverteilung durch die im Anspruch 1 angegebenen Gleichungen bestimmt sind.

**[0007]** Der dimensionslose Skeletlinienwinkel ergibt sich aus der in Anspruch 2 wiedergegebenen Beziehung.

**[0008]** Sofern die Skeletlinien bzw. die entsprechenden Skeletlinienwinkel in den spaltnahen Schaufelprofilschnitten innerhalb der durch die Grenzkurven festgelegten Grenzen liegen, werden die durch den Spalt verursachten Störungen und Verluste stark vermindert. Die Ausbildung der erfindungsgemäßen Skeletlinien ist nicht auf bestimmte Vorderkan- tenverläufe der Schaufeln begrenzt.

**[0009]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Seitenansicht einer Laufschaufel mit gepfeilter Vorderkante und durch waagerechte Linien angedeuteten Profilschnittebenen;

Fig. 2 eine Darstellung eines Schaufelprofils mit Skeletlinie in einem durch die dimensionslose Sehnenlänge (x- Achse) und den dimensionslosen Skeletlinienwinkel (y-Achse) definierten Koordinatensystem;

Fig. 3 den von einer oberen und einer unteren Grenzkurve begrenzten Bereich der Skeletlinienwinkelverteilung für einen von der Schaufelspitze ausgehenden begrenzten Schaufelteil; und

Fig. 4 eine Gegenüberstellung eines erfindungsgemäß und eines nach dem Stand der Technik ausgebildeten

Schaufelprofils im spaltnahen Bereich mit der jeweiligen Belastungsverteilung.

**[0010]** Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht eines Schaufelblattes 1 mit gepfeiltem Verlauf der Vorderkante 2 einer Lauf- schaufel des Kompressors eines Gasturbinentriebwerks. Erkennbar ist eine Mehrzahl über die Schaufelhöhe "h" verteilter Schnittebenen 3. Gemäß der zur jeweiligen Schnittebene 3 gehörenden Skeletlinie 4 (Fig. 2) mit in dem jeweiligen Bezugspunkt nach beiden Seiten gleicher Materialstärke "d" ist durch Übereinanderfädeln der entsprechenden Schau-

felprofilschnitte 5 in den Schnittebenen 3 die Form des Schaufelblattes 1 definiert.

**[0011]** Die Skeletlinie 4 in Fig. 2 ist in Form des dimensionslosen Skeletlinienwinkels  $\alpha(1)$  entlang der als Prozentangabe ebenfalls dimensionslosen Sehnenlänge "1" definiert und ergibt sich aus

5

$$\alpha(1) = \alpha_i(1) - BIA/BOA - BIA,$$

worin

10

$\alpha_i(1)$  der jeweilige lokale Winkel bei einem bestimmten Wert  $l_x$  der Sehnenlänge,  
 BIA der Eintrittswinkel und  
 BOA der Austrittswinkel

15

sind.

**[0012]** In einem von der Schaufel spitze 6 ausgehenden Bereich, der etwa 30% der Schaufelblathöhe "h" umfasst (Fig. 1) und in dem die Schnittebenen 3 enger angeordnet sind, sind die Skeletlinien 4 des jeweiligen Schaufelprofilschnitts 5 so gestaltet, dass deren dimensionslos angegebene Skeletlinienwinkel  $\alpha(1) = 0,0$  bis  $1,0$  in allen Punkten über der dimensionslosen Sehnenlänge  $1 = 0$  bis  $100\%$  des jeweiligen Schaufelprofilschnitts 5 in einem vorgegebenen Grenzbereich zwischen einer oberen Grenzkurve 7 (oG) und einer unteren Grenzkurve 8 (uG) liegen. Wenn die Skeletlinien des Schaufelblattes 1 in dem oberen spaltnahen Bereich von bis zu 30% der Schaufelhöhe "h" in diesem eingegrenzten Skeletlinienwinkelverteilungsbereich verlaufen, wird trotz des Spaltes und bei dreidimensionaler Schaufelform sowie unabhängig von Vorderkantenverlauf der Schaufel ein strömungstechnisch optimales Schaufelprofil erreicht, bei dem die Druckbelastung an der Schaufel vergleichsmässigt ist und mithin die Spaltwirbel stabilisiert und die Spaltverluste minimiert werden.

20

**[0013]** Der Skeletlinienwinkel  $\alpha_{oG}$  für eine Vielzahl zwischen 0 und  $100\%$  liegender Werte  $l_x$ , das heißt,  $l_{x1}, l_{x2}$  usw., der Sehnenlänge "1" ergibt sich für die obere Grenzkurve 7 aus

25

30

$$\begin{aligned} \alpha_{oG} = & 1,2893686702647 \times 10^{-9} \times l_x^5 - \\ & 3,17452341597451 \times 10^{-7} \times l_x^4 + \\ & 0,0000293283473623007 \times l_x^3 - \\ & 0,00129356647808443 \times l_x^2 + \\ & 0,0345950133223312 \times l_x \end{aligned}$$

35

und für die untere Grenzkurve 8 aus

40

45

$$\begin{aligned} \alpha_{uG} = & 3,97581923552676 \times 10^{-11} \times l_x^6 - \\ & 1,02257586096638 \times 10^{-8} \times l_x^5 + \\ & 9,81093271630595 \times 10^{-7} \times l_x^4 - \\ & 0,000042865320363461 \times l_x^3 + \\ & 0,00082697833059342 \times l_x^2 - \\ & 0,000113440630116202 \times l_x . \end{aligned}$$

50

**[0014]** In Fig. 4 sind - jeweils mit der entsprechenden schematischen Druckbelastung - zwei Schaufelprofilschnitte 5 im spaltnahen Bereich einander gegenübergestellt, und zwar von einer Schaufel nach dem Stand der Technik (Zickzacklinienschraffur) sowie von einer erfindungsgemäßen Schaufel (Schrägstrichschraffur). Die angedeutete Druckbelastung ist bei der erfindungsgemäßen Schaufel im Wesentlichen gleichmäßig und hat bei der Schaufel nach dem Stand der Technik die Form eines Dreiecks, die zu Strömungsstörungen und -verlusten führt.

## Bezugszeichenliste

[0015]

5	1	Schaufelblatt
	2	Vorderkante
	3	Schnittebenen
	4	Skeletlinie
	5	Schaufelprofilschnitt
10	6	Schaufel spitze
	7	Obere Grenzkurve
	8	Untere Grenzkurve
	h	Schaufelhöhe
	d	Materialdicke
15	$\alpha(l)$	Skeletlinienwinkel
	$\alpha_i$	lokaler Skeletlinienwinkel
		Sehnenlänge
	$l_x$	bestimmter Wert der Sehnenlänge

20

## Patentansprüche

1. Schaufelblattdesign für die Lauf- und Leitschaufeln einer Turbomaschine, insbesondere eines Gasturbinentriebwerks, das durch den Verlauf der durch den Skeletlinienwinkel ( $\alpha$ ) definierten Skeletlinie (4) über der Sehnenlänge (1) und den Vorderkantenverlauf sowie die Schaufelhöhe (h) und die an einem Luftspalt endende Schaufel spitze (6) bestimmt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skeletlinie (4) in den Schaufelprofilschnitten (5), die sich in einem von der Schaufel spitze (6) ausgehenden Bereich von bis zu 30% der Schaufelhöhe (h) befinden, in einem zwischen einer oberen und einer unteren Grenzkurve (7, 8) liegenden Schnittlinienwinkelverteilungsbereich verläuft, in dem eine vergleichmässige Druckbelastung entlang der Schaufelfläche erzeugt wird, wobei der dimensionslose Skeletlinienwinkel ( $\alpha$ ) an der jeweiligen Stelle ( $l_x$ ) der Sehnenlänge (1) für die obere Grenzkurve (7)

$$\alpha_{OG} = 1,2893686702647 \times 10^{-9} \times l_x^5 - 3,17452341597451 \times 10^{-7} \times l_x^4 + 0,0000293283473623007 \times l_x^3 - 0,00129356647808443 \times l_x^2 + 0,0345950133223312 \times l_x$$

40

ist und für die untere Grenzkurve (8)

$$\alpha_{UG} = 3,97581923552676 \times 10^{-11} \times l_x^6 - 1,02257586096638 \times 10^{-8} \times l_x^5 + 9,81093271630595 \times 10^{-7} \times l_x^4 - 0,000042865320363461 \times l_x^3 + 0,00082697833059342 \times l_x^2 - 0,000113440630116202 \times l_x$$

55

ist.

2. Schaufelblattdesign nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dimensionslose Skeletlinienwinkel ( $\alpha$ ) durch die Gleichung  $\alpha_i = BIA/BOA - BIA$  definiert ist, worin ( $\alpha_i$ ) der lokale Winkel an einer Stelle ( $l_x$ ) der Sehnenlänge (1) und BIA und BOA der Eintritt- bzw. der Austrittswinkel der Skeletlinie (4) am Anfang und Ende der Sehne sind.

**EP 1 927 724 A2**

3. Schaufeldesign nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verlauf der Skeletlinien (4) innerhalb des durch die obere und die untere Grenzkurve (7, 8) definierten Bereichs unabhängig vom Verlauf der Vorderkante (2) des Schaufelblatts (1) ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

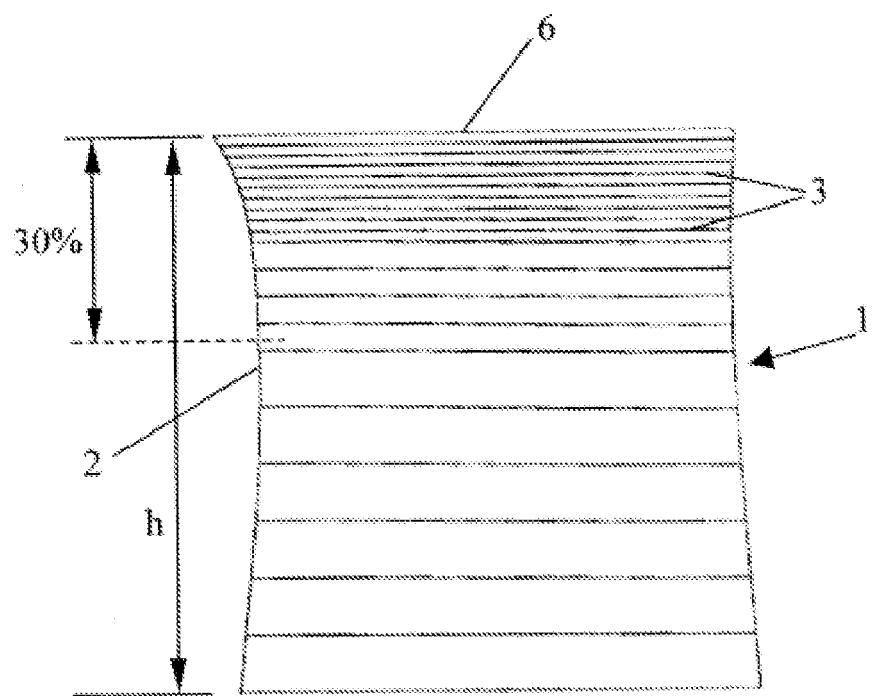


Fig. 1

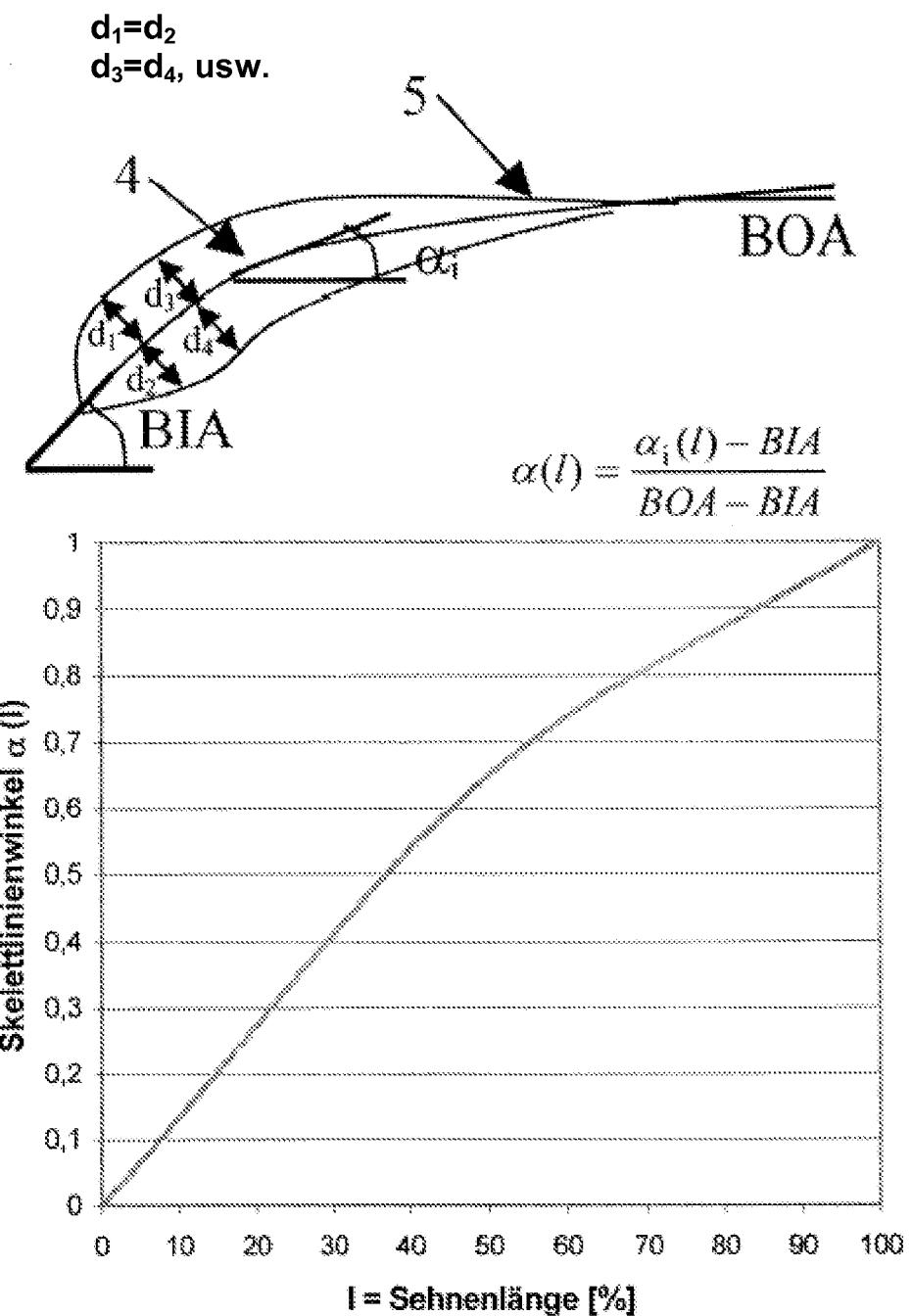


Fig. 2

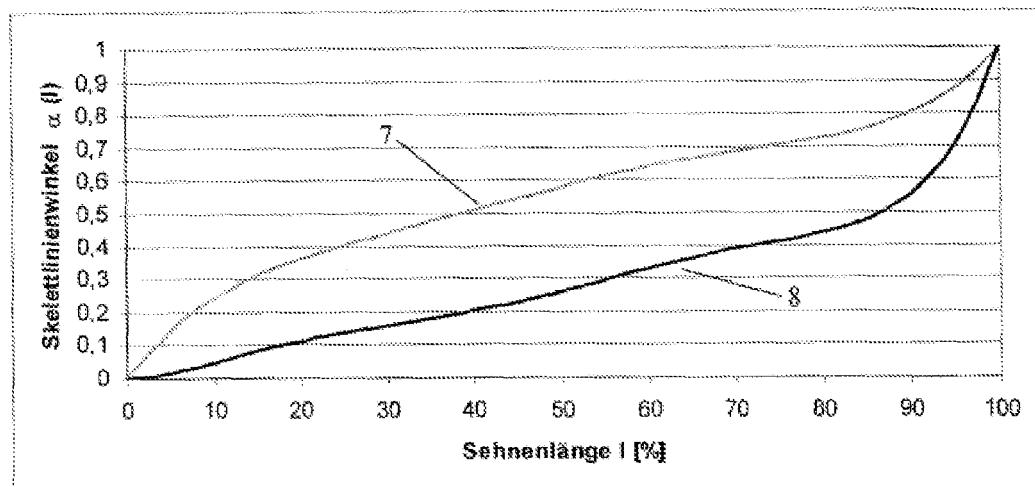


Fig. 3

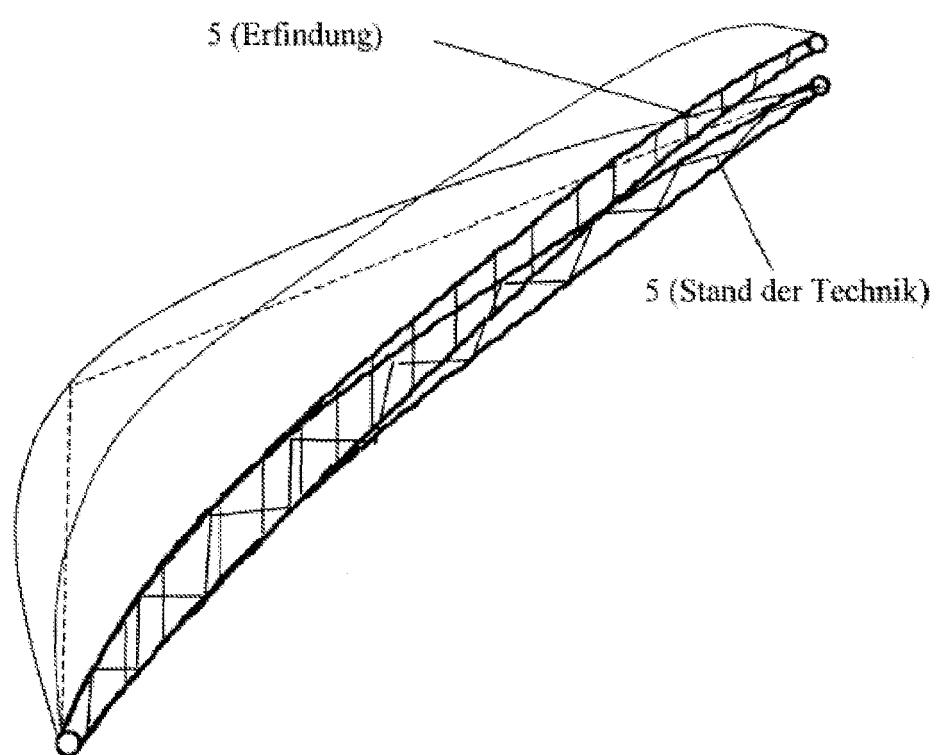


Fig. 4