



(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**

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

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

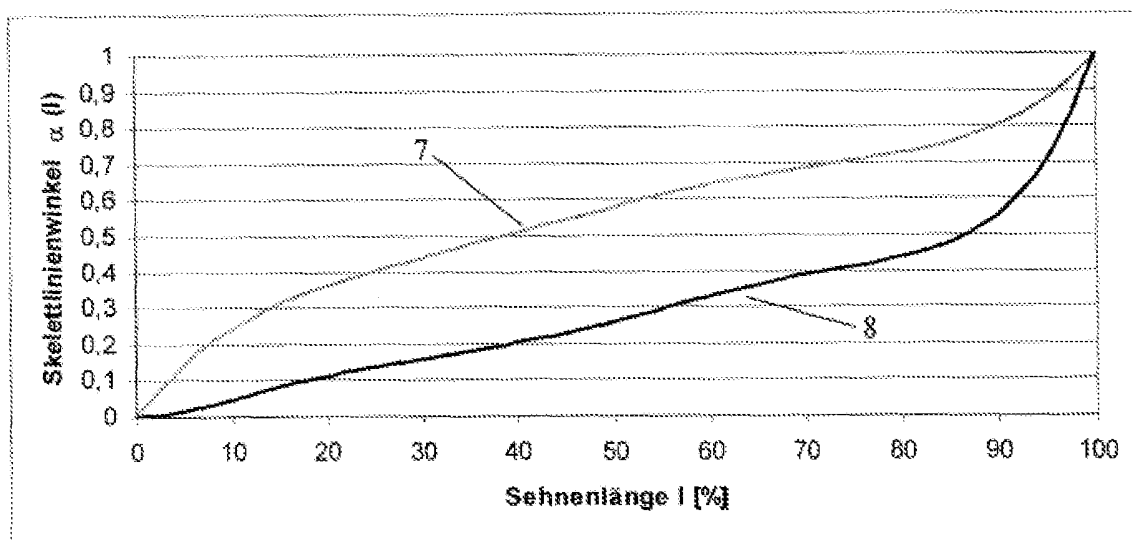
(30) Priorität: **23.11.2006 DE 102006055869**

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**  
**15827 Blankenfelde-Mahlow (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 Spaltnähe 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 Skelettlinienwinkel definierten Skelettlinie 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 Skelettlinie und eine bestimmte Materialstärke beiderseits der Skelettlinie gekennzeichnet sind. Der Verlauf der in dem jeweiligen Profilschnitt eine Mittellinie darstellenden Skelettlinie 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 Turbomaschine so auszubilden, dass die durch die nahe dem Spalt auftretenden Strömungsstörungen, die zu Leistungsverlusten 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 Skelettlinienwinkel in Bezug auf die Sehnenlänge des Schaufelprofils definierten Skelettlinienverlauf 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 Spaltverluste, 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 Skelettlinienwinkel für den erfindungsgemäß optimalen Skelettlinienverlauf, und zwar für Schaufelprofilschnitte, die in den oben erwähnten 30%-Bereich fallen, liegen in einem bestimmten Skelettlinienwinkelverteilungsbereich, der in einem von der Sehnenlänge (x-Achse, in Prozent) und dem dimensionslosen Skelettlinienwinkel (y-Achse) gebildeten Koordinatensystem angeordnet ist, wobei die obere und die untere Grenzkurve der Skelettlinienwinkelverteilung durch die im Anspruch 1 angegebenen Gleichungen bestimmt sind.

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

**[0008]** Sofern die Skelettlinien bzw. die entsprechenden Skelettlinienwinkel 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 Skelettlinien ist nicht auf bestimmte Vorderkantenverläufe 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 Skelettlinie in einem durch die dimensionslose Sehnenlänge (x-Achse) und den dimensionslosen Skelettlinienwinkel (y-Achse) definierten Koordinatensystem;

Fig. 3 den von einer oberen und einer unteren Grenzkurve begrenzten Bereich der Skelettlinienwinkelverteilung 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 Laufschaufel des Kompressors eines Gasturbinentriebwerks. Erkennbar ist eine Mehrzahl über die Schaufelhöhe "h" verteilter Schnittebenen 3. Gemäß der zur jeweiligen Schnittebene 3 gehörenden Skelettlinie 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 Skelettlinie 4 in Fig. 2 ist in Form des dimensionslosen Skelettlinienwinkels  $\alpha(1)$  entlang der als Prozentangabe ebenfalls dimensionslosen Sehnenlänge "1" definiert und ergibt sich aus

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

worin

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

sind.

**[0012]** In einem von der Schaufelspitze 6 ausgehenden Bereich, der etwa 30% der Schaufelblatthöhe "h" umfasst (Fig. 1) und in dem die Schnittebenen 3 enger angeordnet sind, sind die Skelettlinien 4 des jeweiligen Schaufelprofilschnitts 5 so gestaltet, dass deren dimensionslos angegebene Skelettlinienwinkel  $\alpha(1) = 0,0$  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 Skelettlinien des Schaufelblattes 1 in dem oberen spaltnahen Bereich von bis zu 30% der Schaufelhöhe "h" in diesem eingegrenzten Skelettlinienwinkelverteilungsbereich 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 vergleichmässigt ist und mithin die Spaltwirbel stabilisiert und die Spaltverluste minimiert werden.

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

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

und für die untere Grenzkurve 8 aus

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

**[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 (Zickzacklinienschräffur) sowie von einer erfindungsgemäßen Schaufel (Schrägstrichschräffur). 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	Skelettlinie
	5	Schaufelprofilschnitt
10	6	Schaufelspitze
	7	Obere Grenzkurve
	8	Untere Grenzkurve
	h	Schaufelhöhe
	d	Materialdicke
15	$\alpha(l)$	Skelettlinienwinkel
	$\alpha_i$	lokaler Skelettlinienwinkel
	l	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 Skelettlinienwinkel ( $\alpha$ ) definierten Skelettlinie (4) über der Sehnenlänge (1) und den Vorderkantenverlauf sowie die Schaufelhöhe (h) und die an einem Luftspalt endende Schaufelspitze (6) bestimmt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Skelettlinie (4) in den Schaufelprofilschnitten (5), die sich in einem von der Schaufelspitze (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 vergleichmässigte Druckbelastung entlang der Schaufelfläche erzeugt wird, wobei der dimensionslose Skelettlinienwinkel ( $\alpha$ ) an der jeweiligen Stelle ( $l_x$ ) der Sehnenlänge (1) für die obere Grenzkurve (7)

35

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

40

ist und für die untere Grenzkurve (8)

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

ist.

55

2. Schaufelblattdesign nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dimensionslose Skelettlinienwinkel ( $\alpha$ ) 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 Skelettlinie (4) am Anfang und Ende der Sehne sind.

## EP 1 927 724 A2

3. Schaufeldesign nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verlauf der Skelettlinien (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

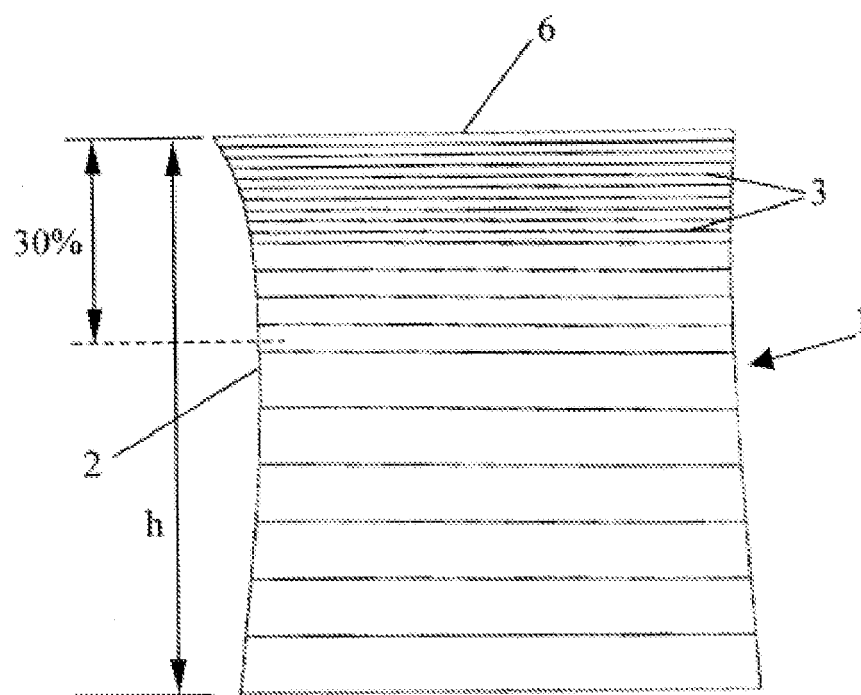


Fig. 1

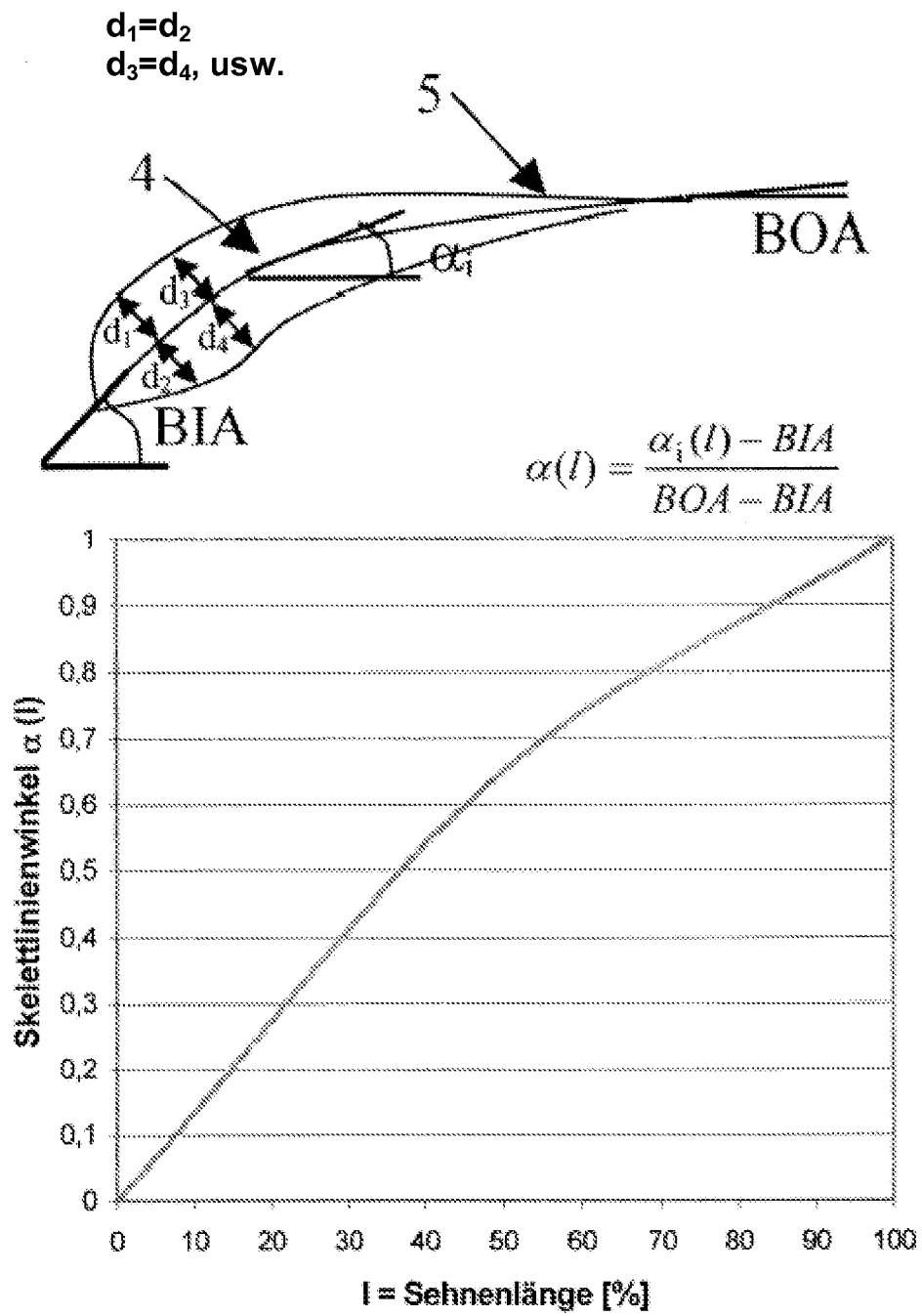


Fig. 2

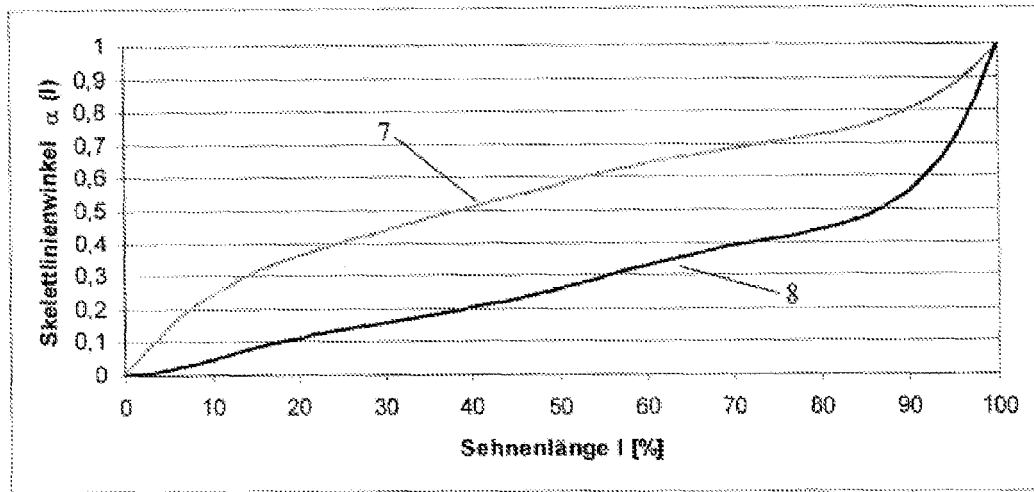


Fig. 3

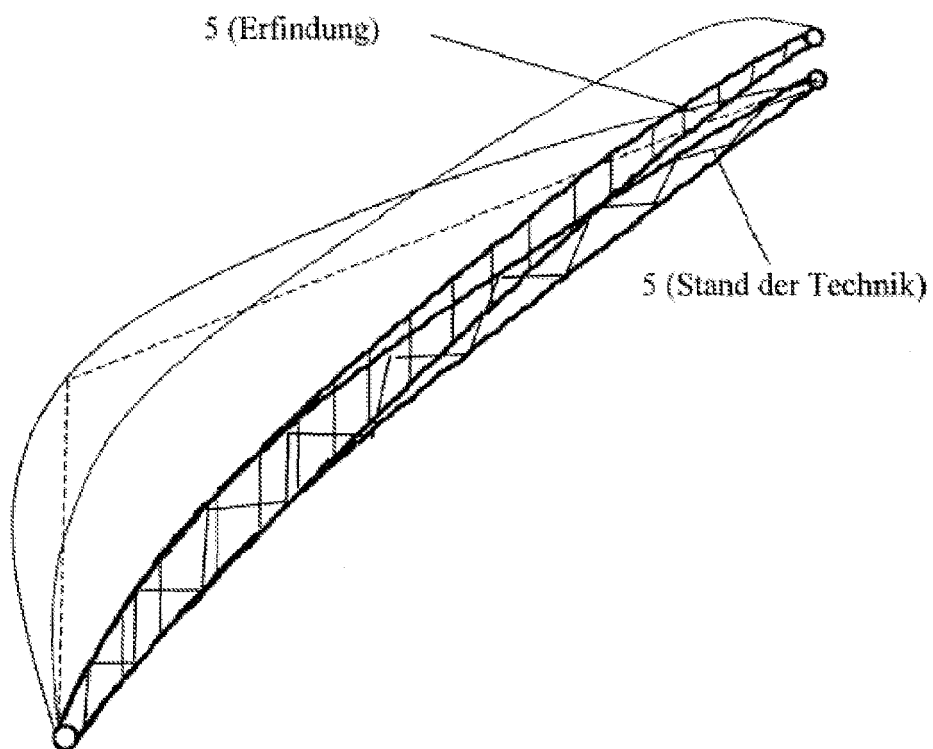


Fig. 4