(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 410 130 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.01.2012 Patentblatt 2012/04

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 *(2006.01)* ***F01D 9/02*** *(2006.01)*
F04D 29/30 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **11004584.6**

(22) Anmeldetag: **06.06.2011**

(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 RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **19.07.2010 DE 102010027588**

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

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

(74) Vertreter: **Weber, Joachim**
Hoefer & Partner
Patentanwälte
Pilgersheimer Strasse 20
81543 München (DE)

(54) **Fan-Nachleitradschaufeln eines Turbofantriebwerks**

(57) Fan-Nachleitradschaufelprofile sind in einer neuen, optimalen Ausführung der Skelettlinienwinkelverteilung in einem zwischen einer oberen und einer unteren Begrenzung liegenden Bereich sowie einer der jeweiligen Skelettlinienwinkelverteilung überlagerten spezifischen Dickenverteilung ausgebildet und zeichnen sich gegenüber den bekannten Nachleitradschaufeln durch verringerte Druckverluste und einen erhöhten Arbeitsbereich aus, so dass der Treibstoffverbrauch des Triebwerks gesenkt sowie dessen Betriebsstabilität erhöht werden kann.

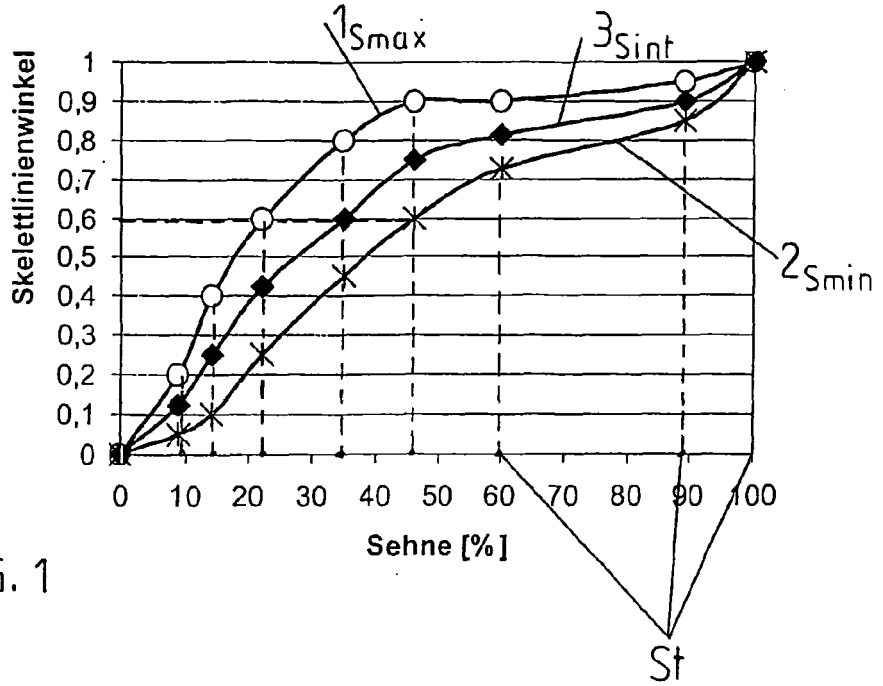

FIG. 1

EP 2 410 130 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Fan-Nachleitradschaufeln für ein Turbofantriebwerk, die sich in einer Schaufelhöhe zwischen einer inneren und einer äußeren Seitenwand im Nebenstromkanal erstrecken und deren Profilierung durch eine Vielzahl von radial übereinander gestapelten - durch eine Skelettlinienwinkelverteilung mit zugehöriger, überlagerter Dickenverteilung über einer Sehnenlänge bestimmten - aerodynamischen Profilen gebildet ist.

[0002] Bei einem Turbofantriebwerk sind stromab des Fans im Nebenstromkanal am Umfang gleichmäßig verteile Nachleitradschaufeln angeordnet, die den Drall aus dem Luftstrom im Nebenstromkanal entfernen sollen. Die Form der Nachleitradschaufeln wird durch eine Vielzahl von aerodynamisch günstigen, einen Horizontalschnitt der Nachleitradschaufel darstellenden, radial übereinander gestapelten Profilen gebildet. Alle in Umfangsrichtung im Nebenstromkanal angeordneten Nachleitradschaufeln haben die gleiche maximale Profildicke und die gleiche axiale Länge, das heißt, eine übereinstimmende, sich zwischen der Schaufelvorderkante und der Schaufelhinterkante erstreckende Sehnenlänge.

[0003] Das Profil der Nachleitradschaufeln ist durch dessen Skelettlinie und eine der Skelettlinie überlagerte Dickenverteilung bestimmt. Die Dickenverteilung ist als Verlauf der dimensionslosen Dicke über der dimensionslosen Sehnenlänge (0 bis 100%) definiert, wobei die Dicke mit der maximalen Profildicke dimensionslos gemacht wird.

[0004] Die Skelettlinie wird als Verlauf der dimensionslosen Skelettlinienwinkelverteilung entlang der Sehnenlänge beschrieben. Der jeweilige Skelettlinienwinkel α über der Sehnenlänge ergibt sich aus

$$\alpha(l) = (\alpha i(l) - BIA)/(BOA - BIA)[\%],$$

wobei αi der lokale Winkel der Skelettlinie, BIA der Eintrittswinkel und BOA der Austrittswinkel, jeweils relativ zur Triebwerksachse gemessen, sind.

[0005] Das Profil der Nachleitradschaufeln ergibt sich schließlich aus der Addition der jeweils halben Dicke auf jeder Seite der Skelettlinie.

[0006] Die bisher bekannten - aus der Kombination von Skelettlinienverteilungen und Dickenverteilungen bestimmten Profile sind insofern nicht optimal gestaltet, als bei deren Anströmung im Nebenstromkanal nicht der niedrigste Profildruckverlust und nicht der größtmögliche Arbeitsbereich gewährleistet ist und dadurch die Betriebsstabilität des Triebwerks verringert und dessen Treibstoffverbrauch erhöht werden.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, das Profil von Fan-Nachleitradschaufeln so zu gestalten, dass die Druckverluste minimiert werden und letztlich der Treibstoffverbrauch verringert wird.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 ausgebildeten, innerhalb einer oberen und einer unteren Begrenzung variablen Schaufelprofil gelöst.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Der Grundgedanke der Erfindung besteht in einer neuen, optimalen Ausführung der Skelettlinienwinkelverteilung in einem zwischen einer oberen und einer unteren Begrenzung liegenden Bereich sowie einer der jeweiligen Skelettlinienwinkelverteilung überlagerten spezifischen Dickenverteilung zur Ausbildung von Fan-Nachleitradschaufelprofilen, die sich gegenüber den bekannten Nachleitradschaufeln durch verringerte Druckverluste und einen erhöhten Arbeitsbereich auszeichnen und den Treibstoffverbrauch des Triebwerks senken sowie dessen Betriebsstabilität erhöhen.

[0011] Die neue Schaufelprofilierung umfasst ein eine obere und ein eine untere Begrenzung bildendes - oberes und unteres - Profil, die durch vorgegebenen Stützstellen entlang der Sehne bei 0; 9; 14; 22; 35; 46; 60; 89 und 100% entsprechend zugeordnete dimensionslose Werte eines - oberen - Skelettlinienwinkels von 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9; 0,9; 0,95 und 1 sowie einer - oberen - Dicke von 0; 0,85; 0,95; 1; 0,95; 0,875; 0,7; 0,2 und 0 als obere Begrenzung der Skelettlinienwinkel- und Dickenverteilung; und eines - unteren - Skelettlinienwinkels von 0; 0,05; 0,1; 0,25; 0,45; 0,6; 0,725; 0,85 und 1 sowie einer - unteren - Dicke von 0; 0,4; 0,55; 0,75; 0,95; 1; 0,9; 0,35 und 0 als untere Begrenzung der Skelettlinienwinkel- und Dickenverteilung bestimmt sind. Die neue Schaufelprofilierung umfasst weiterhin eine Mehrzahl zwischen der oberen und der unteren Begrenzung liegender, durch Interpolation an den vorgegebenen Stützstellen ermittelter Zwischenprofile.

[0012] Bei der Ermittlung der Profile der oberen und unteren Begrenzung wird die Dickenverteilung so in Bezug zur jeweiligen Skelettlinienwinkelverteilung gesetzt, dass die jeweilige Stützstelle mit dem zugehörigen Maximalwert der Dickenverteilung jeweils der Stützstelle (St) entspricht, an der die Skelettlinienwinkelverteilung der oberen und der unteren Begrenzung jeweils den Wert 0,6 aufweist.

[0013] In weiterer Ausbildung der Erfindung sind die zwischen den Profilen der oberen und der unteren Begrenzung liegenden Zwischenprofile das Ergebnis einer interpolierten Skelettlinienwinkelverteilung und einer interpolierten Dikkenverteilung und deren Überlagerung. Die Interpolation erfolgt an den festgelegten Stützstellen zwischen dem jeweiligen

Wert der oberen und unteren Begrenzung. Die Stützstelle entlang der Sehne ist mit dem zugehörigen Wert 0,6 der Skelettlinienwinkelverteilung durch lineare Interpolation zwischen den 0,6-Werten der Skelettlinienwinkelverteilung der oberen und unteren Begrenzung bestimmt.

[0014] In Ausgestaltung der Erfindung sind die Profile der oberen Begrenzung in der Mitte der Schaufelhöhe bzw. des Nebenstromkanals und die Profile der unteren Begrenzung an der oberen und der unteren Seitenwand des Nebenstromkanals vorgesehen, während in den dazwischen liegenden Bereichen zwischen den Profilen der oberen und unteren Begrenzung interpolierte Zwischenprofile vorgesehen sind.

[0015] Prinzipiell können die Profile der oberen und/oder unteren Begrenzung und/oder die interpolierten Zwischenprofile jedoch an beliebiger Schaufelhöhe vorgesehen sein.

[0016] Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnung, in der

Fig. 1 den Verlauf des Skelettlinienwinkels über einer Profilsehne (Skelettlinienwinkelverteilung) in einer oberen und einer unteren Begrenzungskurve sowie einer beispielhaft zwischen diesen interpolierten Skelettlinienwinkelverteilung für jeweils eine Profilform;

Fig. 2 den Verlauf der Dicke über einer Profilsehne (Dickenverteilung) als obere und untere Begrenzung sowie einen zwischen der oberen und unteren Begrenzung interpolierten Dickenverlauf; und

Fig. 3 drei sich aus der Kombination der jeweiligen Skelettlinienwinkelverteilung mit der jeweils zugehörigen Dickenverteilung gemäß Fig. 1 und 2 ergebende Nachleitradschaufelprofile,

zeigt, näher erläutert.

[0017] Fig. 1 zeigt in der mit 1_{Smax} bezeichneten Kurve die obere Begrenzung der Skelettlinienwinkelverteilung und in der mit 2_{Smin} bezeichneten Kurve die untere Begrenzung der Skelettlinienwinkelverteilung für die optimale Gestaltung von Nachleitradschaufelprofilen, die im Nebenstromkanal eines Turbofantriebwerks angeordnet werden. In Fig. 2 sind die obere bzw. die untere Begrenzung der Dickenverteilung durch 1_{Dmax} bzw. durch 2_{Dmin} gekennzeichnet. Der Skelettlinienwinkel und die Dicke des Profils, die - wie oben erläutert - jeweils dimensionslos gemacht sind, sind jeweils über der ebenfalls dimensionslosen Profilsehne aufgetragen. Die Stützstellen St entlang der Profilsehne für die Größenangabe des Skelettlinienwinkels bzw. der Dicke befinden sich für alle Skelettlinienwinkel- und Dickenverteilungen bei 0, 9, 14, 22, 35, 46, 60, 89 und 100%. Die den jeweiligen Stützstellen St zugeordneten Skelettlinienwinkel αl_o, αl_u und Profildicken d_o, d_u für die obere und untere Begrenzung der Skelettlinienverteilung bzw. der Dickenverteilung 1_{Smax}, 1_{Dmax}; 2_{Smin}, 2_{Dmin} und die entsprechenden Profile sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

St	1_{Smax} obere αl_o	1_{Dmax} Begrenzung d_o	2_{Smin} untere αl_u	2_{Dmin} Begrenzung d_u
0	0	0	0	0
9	0,2	0,85	0,05	0, 4
14	0,4	0,95	0,1	0,55
22	0,6	1	0,25	0,75
35	0,8	0,95	0,45	0,95
46	0,9	0,875	0, 6	1
60	0,9	0,7	0,725	0,9
89	0,95	0,2	0,85	0,35
100	1	0	1	0

[0018] Wie Fig. 2 und die tabellarische Aufstellung der den Stützstellen St zugeordneten Skelettlinienwinkel und Profildicken zeigen, erreicht die Dickenverteilung in deren oberer und unterer Begrenzungskurve ihren Maximalwert an den Stützstellen 22% und 46% der Profilsehne, das heißt an den gleichen Stützstellen, an denen der Skelettlinienwinkel der oberen und unteren Begrenzungskurve übereinstimmend den Wert 0,6 hat. Damit ist eine eindeutige Beziehung zwischen der Dickenverteilung und der Skelettlinienwinkelverteilung hergestellt. Zwischen den Stützstellen St ist der Verlauf der Skelettlinien- und Dickenverteilung stetig.

[0019] Aus der Überlagerung der oberen Begrenzungskurven der Skelettlinien- und Dickenverteilung 1_{Smax} und 1_{Dmax} und der unteren Begrenzungskurven der Skelettlinien- und Dickenverteilung 2_{Smin} und 2_{Dmin} ergeben sich die in Fig. 3 gezeigten - oberen und unteren - Profile 1_{max} (obere Begrenzung) und 2_{min} (untere Begrenzung) von Fan-Nachleitradschaufeln. Die in gegenseitiger Abhängigkeit von optimaler Skelettlinienverteilung und optimaler Dickenverteilung definierten Profile haben einen niedrigeren Druckverlust und einen höheren Arbeitsbereich als herkömmliche Profile.

[0020] Zwischen den beiden oberen und unteren Profilen 1_{max} (obere Begrenzung) und 2_{min} (untere Begrenzung)

ergeben sich durch lineare Interpolation zwischen den oberen und unteren Begrenzungskurven der Skelettlinien- und Dickenverteilung 1_{Smax} und 1_{Smin} sowie 1_{Dmax} und 1_{Dmin} weitere Kurven einer interpolierten Skelettlinien- und Dickenverteilung, hier beispielsweise 3_{Sint} und 3_{Dint} (siehe Fig. 1 und 2), deren Überlagerung zu weiteren, zwischen den Profilen 1_{max} und 2_{min} liegenden Zwischenprofilen, hier dem Zwischenprofil 3_{int}, führt.

[0021] Die Interpolation erfolgt an jeder der oben erwähnten Stützstellen der Sehne nach der Gleichung

```
interpol. Wert=unterer Wert+(oberer Wert-unterer Wert)·x,
```

wobei x ein zwischen 0 und 1 liegender Faktor ist. Mit der folgenden Gleichung

```
Position Sehnenlänge[%] = 22 + (0,6-Wert Skelettlinien-
winkel bei 22%) / [Wert Skelettlinienwinkel bei 46% -
Wert Skelettlinienwinkel bei 22%) / 24]
```

wird die Position entlang der Profilsehne, an der der Wert der Skelettlinienwinkelverteilung 0,6 ist, durch Interpolation zwischen den Werten bei 22% und 46% der Sehnenlänge berechnet. In dieser Position ist der Wert der Dickenverteilung gerade 1.

[0022] Die so definierten oberen und unteren Profile sowie Zwischenprofile können an jedem beliebigen Schaufelschnitt entlang der Schaufelhöhe ausgebildet sein. Vorzugsweise wird jedoch das obere Profil 1_{max} in Schaufelmitte und das untere Profil 2_{min} an der inneren und äußeren Seitenwand des Nebenstromkanals liegen, während zwischen der inneren bzw. der äußeren Seitenwand und der Schaufelmitte ein interpoliertes Zwischenprofil 3_{int} liegt.

Bezugszeichenliste

[0023]

1_{Smax}	Skelettlinienwinkelverteilung - obere Begrenzung
2_{Smin}	Skelettlinienwinkelverteilung - untere Begrenzung
3_{Sint}	interpolierte Skelettlinienwinkelverteilung
1_{Dmax}	Dickenverteilung - obere Begrenzung
2_{Dmin}	Dickenverteilung - untere Begrenzung
3_{Dint}	interpolierte Dickenverteilung
St	Stützstellen entlang der Profilsehne
1_{max}	Profil Nachleitradschaufel - obere Begrenzung
2_{min}	Profil Nachleitradschaufel - untere Begrenzung
3_{int}	Zwischenprofil - interpoliert zw. 1max und 2min
αl_o	Skelettlinienwinkel - obere Begrenzung
αl_u	Skelettlinienwinkel - untere Begrenzung
d_o	Dicke - obere Begrenzung
d_u	Dicke - untere Begrenzung

Patentansprüche

1. Fan-Nachleitradschaufeln für ein Turbofantriebwerk, die sich in einer Schaufelhöhe zwischen einer inneren und einer äußeren Seitenwand im Nebenstromkanal erstrecken und deren Profilierung durch eine Vielzahl von radial übereinander gestapelten - durch eine Skelettlinienwinkelverteilung mit zugehöriger, überlagerter Dickenverteilung über einer Sehnenlänge bestimmten - aerodynamischen Profilen gebildet ist, **gekennzeichnet durch** ein eine obere und ein eine untere Begrenzung bildendes oberes und unteres Profil (1_{max}, 2_{min}), die **durch** vorgegebenen Stützstellen (St) der Sehnenlänge von 0; 9; 14; 22; 35; 46; 60; 89 und 100% entsprechend zugeordnete dimensionslose Werte eines Skelettlinienwinkels (αl_o) von 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9; 0,9; 0,95 und 1 sowie einer Dicke (d_o) von 0; 0,85; 0,95; 1; 0,95; 0,875; 0,7; 0,2 und 0 als obere Begrenzung der Skelettlinienwinkel- und Dickenverteilung (1_{Smax}, 1_{Dmax}) ; und eines Skelettlinienwinkel (αl_u) von 0; 0,05; 0,1; 0,25; 0,45; 0,6; 0,725; 0,85 und 1 sowie einer Dicke (d_u) von 0; 0,4; 0,55; 0,75; 0,95; 1; 0,9; 0,35 und 0 als untere Begrenzung der Skelettlinienwinkel- und Dickenverteilung (2_{Smin}, 2_{Dmin}) bestimmt sind, sowie **durch** eine Mehrzahl zwischen der oberen und der unteren Begrenzung liegender Zwischenprofile (3_{int}).

2. Fan-Nachleitradschaufeln nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dickenverteilung (1_{Dmax}, 2_{Dmin}) so in Bezug zur jeweiligen Skelettlinienwinkelverteilung (1_{Smax}, 2_{Smin}) gesetzt ist, dass die jeweilige Stützstelle (St) mit dem zugehörigen Maximalwert der Dickenverteilung (1_{Dmax}, 2_{Dmin}) jeweils der Stützstelle (St) entspricht, an der die Skelettlinienwinkelverteilung (1_{Smax}, 2_{Smin}) den Wert 0,6 aufweist.

3. Fan-Nachleitradschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwischen den Profilen der oberen und der unteren Begrenzung (1_{max}, 2_{min}) liegenden Zwischenprofile (3_{int}) das Ergebnis einer interpolierten Skelettlinienwinkelverteilung (3_{Sint}) und einer interpolierten Dickenverteilung (3_{Dint}) und deren Überlagerung sind, wobei die Interpolation an den festgelegten Stützstellen (St) zwischen dem jeweiligen Wert der oberen und unteren Begrenzung erfolgt, und wobei die Stützstelle (St) mit dem zugehörigen Wert 0,6 der Skelettlinienwinkelverteilung durch lineare Interpolation zwischen den 0,6-Werten der Skelettlinienwinkelverteilung der oberen und unteren Begrenzung (1_{Smax}, 2_{Smin}) bestimmt ist.

4. Fan-Nachleitradschaufeln nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile der oberen Begrenzung (1_{max}) in der Mitte der Schaufelhöhe bzw. des Nebenstromkanals und die Profile der unteren Begrenzung (2_{min}) an der oberen und der unteren Seitenwand des Nebenstromkanals vorgesehen sind, während bei 25 und 75% der Schaufelhöhe das zwischen den Profilen (1_{max} und 2_{min}) interpolierte Zwischenprofil (3_{int}) vorgesehen ist.

5. Fan-Nachleitradschaufeln nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profile der oberen und/oder unteren Begrenzung (1_{max}, 2_{min}) und/oder die interpolierten Zwischenprofile (3_{int}) an beliebiger Schaufelhöhe vorgesehen sind.

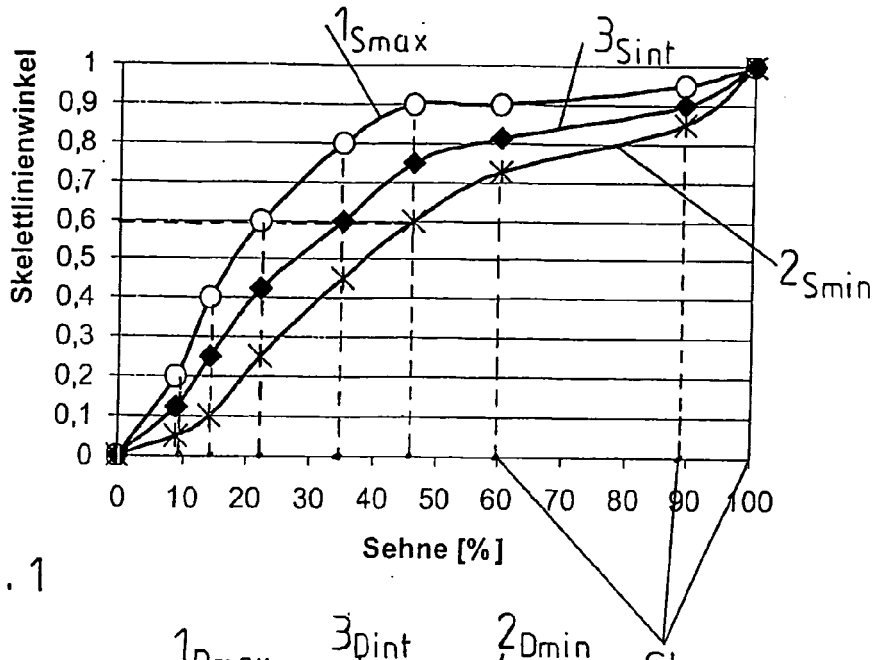

FIG. 1

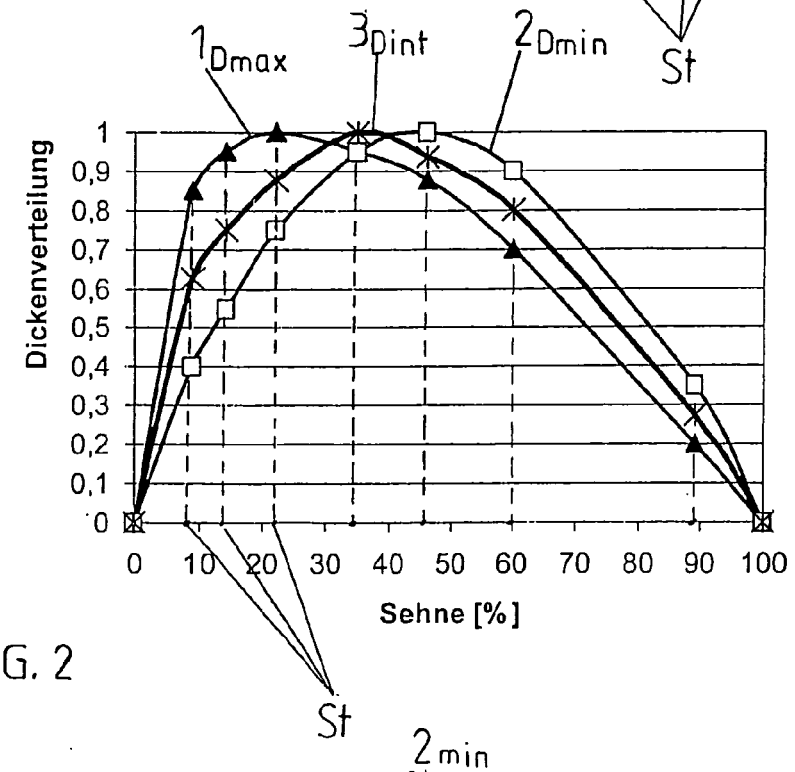

FIG. 2

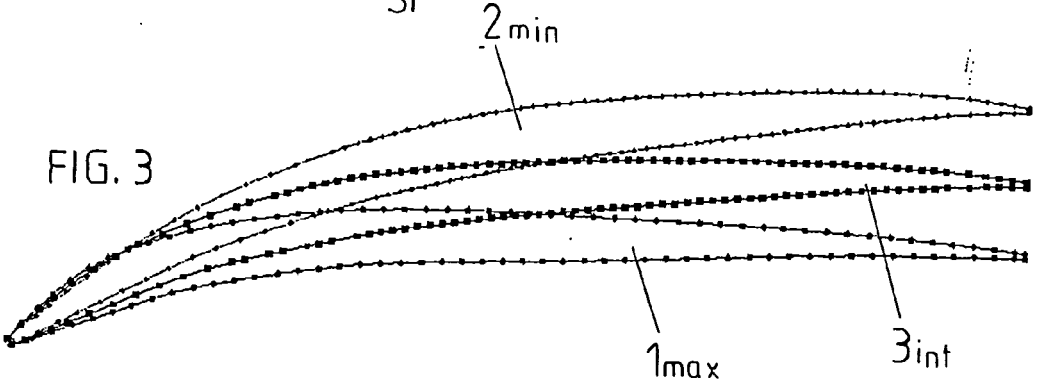

FIG. 3