

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Mai 2008 (15.05.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/055471 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
C23C 28/00 (2006.01) **F01D 25/00** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2007/001933
- (22) Internationales Anmeldedatum:
27. Oktober 2007 (27.10.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2006 051 813.6
3. November 2006 (03.11.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE];
Dachaeur Strasse 665, 80995 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **UIHLEIN, Thomas**
[DE/DE]; Richard-Graef-Weg 15, 85221 Dachau (DE).

EICHMANN, Wolfgang [DE/DE]; Peter-Rosegger-Strasse 2, 82178 Puchheim (DE). **HEUTLING, Falko** [DE/DE]; Pelargonienweg 17, 81377 München (DE). **UECKER, Markus** [DE/DE]; Karl-Theodor-Strasse 97, 80796 München (DE).

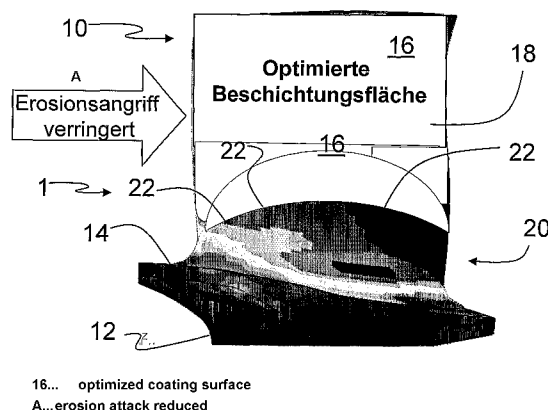
(74) Gemeinsamer Vertreter: **MTU AERO ENGINES GMBH**; Intellectual Property Management, Postfach 50 06 40, 80976 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: VANE FOR A COMPRESSOR OR A TURBINE OF AN AIRCRAFT ENGINE, AIRCRAFT ENGINE COMPRISING SUCH A VANE, AND METHOD FOR COATING A VANE OF AN AIRCRAFT ENGINE

(54) Bezeichnung: SCHAUFEL FÜR EINEN VERDICHTER ODER EINE TURBINE EINES FLUGTRIEBWERKS, FLUGTRIEBWERK MIT EINER SOLCHEN SCHAUFEL SOWIE VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN EINER SCHAUFEL EINES FLUGTRIEBWERKS



16... optimized coating surface
A... erosion attack reduced

(57) Abstract: The invention relates to an aircraft engine comprising a compressor and at least one turbine. The compressor and the turbine are each provided with vanes (1), each of which has a blade (10) that forms a suction side and a pressure side. At least one first (10) of said blades (10) is coated with a protective layer (16) in order to reduce erosion or wear. The protective layer (16) is applied to at least one side of the blade (10) in such a way that at least two areas (18, 20) are formed that adjoin each other at a boundary line (22). A first area (18) is provided with the protective layer (16) in such a way that the protective layer (16) has a substantially constant first thickness in said first area (18). A second area (20) is free from the protective layer (16) or is provided therewith in such a way that said protective layer (16) has a substantially constant second thickness in said second area (20), the second thickness differing from the first thickness. Said boundary line (22) has at least two points, of which the connecting line differs from the course of the boundary line between said two points.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/055471 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Flugtriebwerk mit einem Verdichter und zumindest einer Turbine, wobei dieser Verdichter und diese Turbine jeweils Schaufeln (1) aufweisen, die jeweils mit einem Schaufelblatt (10) versehen sind, das eine Saugseite und eine Druckseite ausbildet, wobei zumindest ein erstes (10) dieser Schaufelblätter (10) für die Minderung von Erosion oder Verschleiß mit einer Schutzschicht (16) beschichtet ist, die auf zumindest einer Seite des Schaufelblatts (10) derart aufgebracht ist, dass zumindest zwei, an einer Grenzlinie (22) aneinander stoßende Bereiche (18, 20) ausgebildet werden, von denen ein erster Bereich (18) mit der Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass die Schutzschicht (16) in diesem ersten Bereich (18) eine im Wesentlichen konstante erste Dicke aufweist, und von denen ein zweiter Bereich (20) frei von der Schutzschicht (16) ist oder mit der Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass diese Schutzschicht (16) in diesem zweiten Bereich (20) eine im Wesentlichen konstante, von der ersten Dicke abweichende zweite Dicke aufweist, wobei zumindest zwei Punkte dieser Grenzlinie (22) existieren, deren Verbindungsstrecke von dem Grenzlinienverlauf zwischen diesen beiden Punkten abweicht.

**Schaufel für einen Verdichter oder eine Turbine eines Flugtriebwerks,
Flugtriebwerk mit einer solchen Schaufel sowie
Verfahren zum Beschichten einer Schaufel eines Flugtriebwerks**

Die Erfindung betrifft ein Flugtriebwerk mit einem Verdichter und zumindest einer Turbine, eine Schaufel für einen Verdichter oder eine Turbine eines Flugtriebwerks sowie ein Verfahren zum Beschichten einer Schaufel eines Flugtriebwerks.

Aus der DE 10 2004 001 392 A1 ist bereits eine Schaufel einer Gasturbine mit einem Schaufelblatt und einem Schaufelfuß bekannt, bei dem die gesamte Schaufel mit einer Verschleißschutzbeschichtung versehen ist. Diese Verschleißschutzbeschichtung ist dort als Mehrlagenschichtsystem mit vier unterschiedlichen Schichten ausgebildet.

Schichten gleich welcher Art üben häufig einen negativen Einfluss auf die Schwingfestigkeit und/oder die Lebensdauer von Bauteilen aus. Dieses gilt insbesondere für Hartstoffschichten gegen Verschleiß bzw. Korrosion, wobei die Gefahr besteht, dass Anrisse in den keramischen Schichten rasch in den Grundwerkstoff laufen und zu vorzeitigem Versagen des Bauteils führen.

Die DE 10 2004 001 392 A1 erläutert ferner, dass es auch möglich ist, die Schaufel nur abschnittsweise, und zwar im Bereich des Schaufelblatts oder in Teilen davon oder im Bereich des Schaufelfußes mit einer Verschleißschutzbeschichtung zu versehen.

Derartige Gestaltungen sind der Anmelderin insofern bekannt, als häufig nur das obere Drittel bzw. das radial außen gelegene Drittel eines Laufschaufelblatts beschichtet wird, wie die von der Anmelderin erstellte Fig. 1a zeigt, in der eine Schaufel 101 mit einem Schaufelblatt 110, einem Schaufelfuß 112, einer Plattform 114 und einer Erosionsschutzbeschichtung 116 schematisch gezeigt ist. Dieses führt allerdings zu der Gefahr, dass ein Partikelstrom im Übergangsbereich den Grundwerkstoff auswäscht, die Schicht unterhöhlt und zu Kerbbildung führt, wobei ein vorzeitiges Versagen bei Schwingungsbelastung auftreten kann. Um dieses zu vermeiden, kann auf die Beschichtung ganz verzichtet werden und eine erhöhte Erosion bzw. erhöhter Verschleiß akzeptiert werden.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, Verdichter- oder Turbinenschaufeln von Flugtriebwerken mit hoher Korrosions- bzw. Erosionsbeständigkeit und guter Schwingfestigkeit zu schaffen.

Es wird ein Flugtriebwerk gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Eine erfindungsgemäße Schaufel ist Gegenstand des Anspruchs 2. Ein erfindungsgemäßes Verfahren ist Gegenstand des Anspruchs 9. Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß wird also insbesondere ein Flugtriebwerk mit zumindest einem Verdichter und zumindest einer Turbine vorgeschlagen. Der Verdichter sowie die Turbine weisen jeweils Schaufeln, nämlich Verdichterschaufeln bzw. Turbinenschaufeln, auf. Die Schaufeln bilden jeweils ein Schaufelblatt aus, das - wie es üblicherweise bei Verdichterschaufelblättern bzw. Turbinenschaufelblättern der Fall ist - eine Saugseite und eine Druckseite aufweist. Zumindest ein erstes dieser Schaufelblätter ist für die Minderung von Erosion oder Verschleiß mit einer Schutzschicht beschichtet, die auf zumindest einer Seite dieses ersten Schaufelblatts, also auf der Druckseite und / oder auf der Saugseite, derart aufgebracht ist, dass zumindest zwei, an einer Grenzlinie aneinander stoßende Bereiche ausgebildet werden, von denen ein erster Bereich mit der Schutzschicht derart versehen ist, dass die Schutzschicht in diesem ersten Bereich eine im Wesentlichen konstante erste Dicke aufweist, und von denen ein zweiter - insbesondere auf der gleichen Seite wie der erste Bereich gelegener - Bereich frei von der Schutzschicht ist oder mit der Schutzschicht derart versehen ist, dass diese Schutzschicht in diesem zweiten Bereich eine im Wesentlichen konstante, von der ersten Dicke abweichende zweite Dicke aufweist.

Es ist nun vorgesehen, dass die Grenzlinie, die den ersten Bereich vom zweiten Bereich trennt, so gestaltet ist, dass zumindest zwei Punkte dieser Grenzlinie existieren, deren Verbindungsstrecke von dem Grenzlinienverlauf zwischen diesen beiden Punkten abweicht bzw. nicht-deckungsgleich mit dem Grenzlinienverlauf zwischen diesen beiden Punkten ist. Dieses kann beispielsweise so sein, dass die entsprechende Strecke so ist, dass sie die Grenzlinie nicht schneidet. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass die Strecke die Grenzlinie schneidet.

Das erste Schaufelblatt kann dabei ein Schaufelblatt einer Turbinenschaufel sein oder ein Schaufelblatt einer Verdichterschaufel sein. Es kann auch vorgesehen sein, dass zumindest ein Turbinenschaufelblatt und zumindest ein Verdichterschaufelblatt ein erstes Schaufelblatt ist bzw. in erfindungsgemäßer Weise ausgestaltet ist. Es kann vorgesehen sein, dass die erste Schaufel in erfindungsgemäßer Weise auf ihrer Saugseite und / oder auf ihrer Druckseite ausgebildet ist. In vorteilhafter Ausgestaltung sind die Schaufelblätter mehrerer, vorzugsweise aller, Turbinen- und / oder Verdichterschaufeln als erste Schaufelblätter bzw. in erfindungsgemäßer Weise ausgestaltet.

Der betreffende erste und / oder zweite Bereich kann dabei ein Bereich sein, der sich bis zum äußeren Rand des Schaufelblatts erstreckt, oder ein Bereich, der in sich im Wesentlichen abgeschlossen ist.

Gemäß Anspruch 2 wird eine erfindungsgemäße Schaufel beansprucht.

Die Schaufel kann dabei insbesondere eine Verdichterschaufel oder eine Turbinenschaufel eines Triebwerks sein.

Die Schaufel kann so ausgebildet sein, dass sie eine Plattform ausbildet, von welcher das Schaufelblatt abragt. Die Schaufel weist insbesondere einen Schaufelfuß auf. Prinzipiell kann sich die Erfindung beispielsweise auch auf Blisks oder dergleichen beziehen.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Schaufeln bzw. die in erfindungsgemäßer Weise ausgebildeten Schaufeln einstückig gestaltet sind, und dabei insbesondere einen Schaufelfuß und ein Schaufelblatt aufweisen. Die Schaufel ist in vorteilhafter Weise – abgesehen von der Beschichtung – aus gleichem Material hergestellt.

Die Schaufel kann insbesondere integral ausgebildet sein, also insbesondere so, dass ein Schaufelblatt und ein Schaufelfuß (und ggf. Plattform) aus einem Teil ausgebildet bzw. hergestellt sind.

In vorteilhafter Ausgestaltung weist die Schaufel zumindest auf ihrer einen Seite, nämlich Saugseite und / oder Druckseite, genau zwei Bereiche der genannten Art, und somit genau

eine Grenzlinie auf. Es kann auch vorgesehen sein, dass mehrere Bereiche der genannten Art und dementsprechend mehrere Grenzlinien auf der Saugseite und / oder Druckseite vorgesehen sind.

In vorteilhafter Ausgestaltung weist die Grenzlinie gekrümmte Abschnitte auf. Es kann vorgesehen sein, dass die Grenzlinie parabelförmig geformt ist. Die Schaufel kann beispielsweise einen Schaufelfuß aufweisen, wobei die Grenzlinie derart parabelförmig gestaltet ist, dass sie in Richtung dieses Schaufelfußes offen ist.

In besonders zu bevorzugender Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Lage der Grenzlinie in Abhängigkeit (im Betrieb in einem Flugtriebwerk, insbesondere voraussichtlich, gegebenen) maximalen Schwingungsspannungen (im Schaufelblatt) und / oder in Abhängigkeit der (im Betrieb in einem Flugtriebwerk, insbesondere voraussichtlich, gegebenen) Erosionsbelastungen des Schaufelblattes gewählt wird, die an der Vorder- und Hinterkante des Schaufelblatts bzw. aus dem sich flächig breit erstreckenden Bereich auf der Saugseite bzw. Druckseite gegeben bzw. zu erwarten sind. Dieses kann insbesondere so sein, dass die angesprochenen Bereiche so gewählt werden, dass die Stellen, an denen die angesprochenen Spannungsmaxima gegeben sind, in einem Bereich bzw. jeweils in einem Bereich sind, in dem keine Schutzschicht vorgesehen ist, oder eine Schutzschicht mit geringerer Dicke als an anderen Stellen der gleichen Seite des Schaufelblattes. Dabei können insbesondere Dauerspannungen, dynamische Spannungen und Restspannungen berücksichtigt werden.

Die angesprochenen voraussichtlichen Spannungen und / oder Erosionsbelastungen können beispielsweise mittels Simulation und / oder aufgrund von Erfahrungswerten oder auf andere geeignete Weise ermittelt werden.

Es kann vorgesehen sein, dass auf der Saugseite zwei Bereiche vorgesehen sind, die sich durch die Dicke ihrer Schutzschicht unterscheiden, oder dadurch, dass in dem einen dieser Bereiche eine Schutzschicht gegeben ist, und in dem anderen dieser beiden Bereiche keine Schutzschicht gegeben ist, wobei für die diese beiden Bereiche voneinander trennende Grenzlinie gilt:

$$y = 1,1 \times h_1 + \frac{1,1 \times (L^2 \times (h_3 - h_1) - L_3^2 \times (h_2 - h_1))}{L \times (L \times L_3 - L_3^2)} \times x + \frac{1,1 \times \left(h_2 - h_1 - \frac{1,1 \times (L^2 \times (h_3 - h_1) - L_3^2 \times (h_2 - h_1))}{L \times (L \times L_3 - L_3^2)} \right)}{L^2} \times x$$

(zur vereinfachten Bezugnahme wird dieser Zusammenhang als Formel 1 bezeichnet)

wobei gilt:

h_1 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Vorderkante

h_2 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung (= Schwingspannung der ersten Biegeschwingung) an der Hinterkante

h_3 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite

L : Gesamtgitterlänge bzw. axiale Lage der Hinterkante in Kanalmitte bezogen auf die Vorderkante in Kanalmitte

L_3 : Axiale Lage des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite bezogen auf die Vorderkante.

Es kann – alternativ oder ergänzend - auch vorgesehen sein, dass auf der Druckseite zwei Bereiche vorgesehen sind, die sich durch die Dicke ihrer Schutzschicht unterscheiden, oder dadurch, dass in dem einen dieser Bereiche eine Schutzschicht gegeben ist, und in dem anderen dieser beiden Bereiche keine Schutzschicht gegeben ist, wobei für die diese beiden Bereiche voneinander trennende Grenzlinie gilt:

$$y = 1,1 \times h_2 + \frac{0,88 \times (1,5 \times h_1 - h_2)}{L} \times x + \frac{0,22 \times (h_1 + h_2)}{L^2} \times x^2$$

(zur vereinfachten Bezugnahme wird dieser Zusammenhang als Formel 2 bezeichnet)

Im Hinblick auf die Bedeutung der Parameter h_1 , h_2 und L wird auf obige Erläuterung verwiesen.

Mit den Formeln 1 und 2 sind beispielhafte Verläufe für eine jeweilige Grenzlinie in x-y-Richtung angegeben. Die Formelwerte bzw. die Formeln 1 und 2 stellen aber nur bevorzugte Beispiele dar. Statt des Faktors 1,1 können z. B. auch Werte zwischen 1,0 und 1,5 verwendet werden. Die Formel bzw. die Formeln 1 und 2 für die Parabel bzw. Parabeln kann bzw. können auch bei Bedarf um die Koordinate z erweitert werden.

Die Formeln 1 und 2 beziehen sich insbesondere auf ein x-y-Koordinatensystem, bei dem der Ursprung so gelegen, dass – bei einer Gestaltung mit Plattform – an der Plattform-Vorderkante (auf der Eintrittsvorderkante) $x=0$ ist und auf der dem Schaufelblatt zugewandten Seite der Plattform im Bereich der Vorderkante der Plattform bzw. der Eintrittskante $y=0$ ist.

Die 1F-Schwingspannung ist insbesondere die Schwingspannung der ersten Biegeschwingung. Die Kanalmitte ist insbesondere im Wesentlichen die Mitte zwischen der dem Schaufelblatt zugewandten Oberfläche der Plattform und dem radial außen hiervon gelegenen Gehäuse in radialer Richtung; die Kanalmitte mehrerer in einem Flugtriebwerk an demselben Rotor bzw. derselben Rotorscheibe gehaltener Schaufeln definiert für die Anordnung dieser im Wesentlichen eine Hohlzylinderform.

Die Grenzlinie kann auch mit zulässigen Reparaturbereichen für Blenden oder Patchen zusammenhängen. Dieses kann zusätzlich bedeuten, dass im Rahmen von Instandsetzungsarbeiten keine Entschichtung notwendig ist, wenn die erosionsgefährdeten Bereiche mit den zulässigen Reparaturbereichen zusammenfallen und diese mit den verbrauchten Schichten sowieso mechanisch entfernt werden. D. h. die Wiederbeschichtung ist dann ohne vorherige Entschichtung möglich.

Die Schicht ist vorzugsweise eine Multilayerschicht.

Gemäß einem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass Spannungen, insbesondere Spannungsmaxima, ermittelt werden, denen die Schaufel in einem vorbestimmten Betrieb in

einem vorbestimmten Flugtriebwerk ausgesetzt ist bzw. dem Betrieb ausgesetzt sein wird, was in Bezug auf die Druckseite und/oder die Saugseite erfolgen kann. Das Ermitteln der Spannungen bzw. Spannungsmaxima kann beispielsweise anhand von Erfahrungswerten oder anhand von Berechnungen bzw. empirisch oder auf sonstige Weise erfolgen.

Vorher, anschließend oder parallel wird eine Erosionsbelastung ermittelt, der die Schaufel voraussichtlich im Betrieb ausgesetzt sein wird. Dieses kann beispielsweise anhand von Erfahrungswerten erfolgen.

Ferner ist vorgesehen, dass Bereiche des Schaufelblatts der Schaufel bestimmt werden, die nicht oder gegenüber anderen Bereichen des Schaufelblatts mit einer reduzierten Schichtdicke beschichtet werden sollen, wobei diese Bestimmungen in Abhängigkeit der ermittelten Spannungen oder der ermittelten Erosionsbelastung erfolgt.

Anschließend wird die Schaufel bzw. das Schaufelblatt beschichtet, und zwar unter Berücksichtigung der Bestimmung der Bereiche des Schaufelblatts der Schaufel, die nicht oder mit reduzierter Schichtdicke beschichtet werden sollen.

Anzumerken ist, dass das erfindungsgemäße Verfahren in Bezug auf die Druckseite eines Schaufelblatts und/oder in Bezug auf die Saugseite eines Schaufelblatts ausgeführt werden kann.

Gemäß einer besonders bevorzugten Gestaltung ist insbesondere vorgesehen, dass z. B. Multilayerschichten mit geringem Einfluss auf die Schwingfestigkeit verwendet werden und/oder die Schichten nur im Übergangsbereich von der Plattform zum Schaufelblatt, wo nur geringer Erosionsangriff vorliegt und / oder in Bereichen wo Spannungsmaxima der Schwingung vorliegen, weggelassen wird. Es kann in vorteilhafter Ausgestaltung die folgende Vorgehensweise durchgeführt werden. Zunächst können die Spannungsmaxima bestimmt werden. Anschließend kann eine Überlagerung mit einem Erosions-Bild auf einem Simulationsprogramm zur Partikelerosion, wie beispielsweise CFX5 von der Firma ANSYS, erfolgen. Anschließend können Bereiche bestimmt werden, die nicht oder weniger beschichtet werden sollen. Es kann ferner vorgesehen sein, dass anschließend diese Bereiche abgeschattet werden, was beispielsweise durch dem Fachmann bekannte Vorrichtungen oder Vorgehensweisen erfolgen kann.

Anzumerken ist, dass statt Partikelsimulationsprogrammen auch empirisch ermittelte (Simulations)Bilder von bereits bekannten Bauteilen verwendet werden können.

In vorteilhafter Gestaltung ist vorgesehen, dass auf den Schritt Entschichtung vor Wiederbeschichtung verzichtet wird, wenn zulässige Reparaturbereiche mit optimierten Beschichtungsbereichen und dem Bereich des Erosionsangriffs zusammenfallen.

Im Folgenden sollen nun Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert werden. Es zeigt:

Fig. 1a eine bekannte Gestaltung;

Fig. 1b eine beispielhafte erfindungsgemäße Gestaltung in schematischer Ansicht;

Fig. 2 eine Schaufel in schematischer Ansicht mit schematisch und beispielhaft hinzugefügten Zonen unterschiedlich starker Erosionsbelastung; und

Fig. 3 eine beispielhaftes erfindungsgemäßes Schaufelblatt von seiner Saugseite.

Fig. 1b zeigt eine gegenüber der Fig. 1a modifizierte Gestaltung einer Schaufel 1 eines Flugtriebwerks, wobei die bereits einleitend angesprochene Gestaltung gemäß Fig. 1a eine konventionelle Beschichtungsfläche aufweist und die Gestaltung gemäß Fig. 1b eine beispielhafte erfindungsgemäße Gestaltung ist.

Wie Fig. 1b zeigt, weist die dortige Schaufel 1 ein Schaufelblatt 10, einen in dieser Fig. teilweise dargestellten Schaufelfuß 12, sowie eine Plattform 14 auf. Die Plattform 14 trennt das Schaufelblatt 10 von dem Schaufelfuß 12. Das Schaufelblatt 10 weist auf seiner Druckseite und/oder auf seiner Saugseite eine Beschichtung 16 auf.

Das Schaufelblatt 10 weist auf seiner Saugseite und/oder Druckseite eine Beschichtung 16 auf.

Auf der angesprochenen Saugseite und/oder Druckseite dieses Schaufelblatts 10 wird zumindest ein erster Bereich 18 sowie ein zweiter Bereich 20 ausgebildet, wobei dieser erste Bereich und dieser zweite Bereich an einer Grenzlinie 22 aneinander stoßen. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1b ist vorgesehen, dass in dem ersten Bereich 18 die bereits angesprochene Beschichtung bzw. Schutzschicht 16 vorgesehen ist, und der zweite Bereich 20 frei von einer solchen Schutzschicht ist. Alternativ kann allerdings beispielsweise auch vorgesehen sein, dass der erste Bereich 18 und der zweite Bereich 20 jeweils eine Schutzschicht aufweisen, wobei sich diese beiden Schutzschichten bzw. Bereiche 18, 20 durch die Dicke ihrer Schutzschicht unterscheiden. Dieses kann insbesondere so sein, dass in dem ersten Bereich 18 die Schutzschicht bzw. Beschichtung dicker ist als in dem zweiten Bereich 20.

Im Gegensatz zu der Gestaltung gemäß Fig. 1a, bei der die dortige Grenzlinie 122 zwischen dem dortigen ersten 118 und zweiten Bereich 120 vollständig auf einer Geraden liegt, existieren bei der Grenzlinie 22 gemäß Fig. 1b zumindest zwei Punkte dieser Grenzlinie 22, deren Verbindungsstrecke von dem Grenzlinienverlauf zwischen den beiden Punkten abweicht.

In anderen Worten ist die Grenzlinie 22 gemäß Fig. 1b nicht vollständig auf einer Geraden gelegen.

Die Grenzlinie 22 gemäß Fig. 1b ist hier gekrümmt, und zwar insbesondere parabelförmig, gestaltet. Wie Fig. 1b deutlich zeigt, ist die Krümmung dort konkav bzw. die Parabelform in Richtung des Schaufelfußes 12 bzw. der Plattform 14 offen.

Die Parabelform kann hier einen Verlauf entsprechend der Formel 1 oder entsprechend der Formel 2 haben.

Im Vergleich zur Gestaltung gemäß Fig. 1a ist der Erosionsangriff bei der Gestaltung gemäß Fig. 1b verringert, und zwar insbesondere aufgrund der Ausbildung der dortigen Schutzschicht bzw. Beschichtungsfläche.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Schaufel, sowie eine beispielhafte Erosionsbelastung über der Schaufellänge bzw. Schaufelhöhe. Diese Erosionsbelastung kann beispielsweise aus einem Partikelsimulationsprogramm oder empirischer Erfahrung oder dergleichen ermittelt werden.

Die beispielhafte, in Fig. 2 gezeigte Erosionsbelastung ist so, dass das Schaufelblatt 10 in einem Bereich 80, der in der Nähe des Schaufelfußes 12 gelegen ist, einer geringen bis keiner Erosionsbelastung ausgesetzt ist, und mit zunehmender Entfernung vom Schaufelfuß 12 – ggf. gestuft – einer zunehmenden Erosionsbelastung ausgesetzt ist, die sich grob schematisch in einen Bereich 82 mit mittlerer Erosionsbelastung und einen Bereich 84 mit hoher bis sehr hoher Erosionsbelastung unterteilen lässt.

Fig. 3 zeigt schematisch ein beispielhaftes erfindungsgemäßes Schaufelblatt 10, und zwar in Ansicht auf dessen Saugseite.

Auf dem Schaufelblatt 10 ist in Fig. 3 schematisch ein Spannungsprofil dargestellt, das voraussichtlich im Betrieb der Schaufel bzw. des Schaufelblatts 10 in einem Verdichter oder einer Turbine eines Flugtriebwerks auftreten kann. Das Spannungsprofil kann beispielsweise empirisch bzw. aus Erfahrungswerten ermittelt sein oder berechnet sein oder auf andere geeignete Weise ermittelt werden.

Das Bezugszeichen 24 zeigt dabei auf die maximale 1F-Schwingspannung an der Vorderkante. Das Bezugszeichen 26 zeigt dabei auf die maximale 1F-Schwingspannung an der Hinterkante und das Bezugszeichen 28 zeigt dabei auf die maximale 1F-Schwingspannung an der Saugseite.

Wie gut der Ansicht auf die Saugseite des Schaufelblatts 10 in Fig. 3 zu entnehmen ist, ist eine Beschichtung 16 im radial außen gelegenen Bereich bzw. im ersten Bereich 18 vorgesehen. Der zweite Bereich 20 ist unbeschichtet oder gering beschichtet bzw. mit einer dünneren Beschichtung versehen als der erste Bereich 18. Der erste Bereich 18 wird vom zweiten Bereich 20 durch eine Grenzlinie 22 getrennt bzw. stoßen die Bereiche 18 und 20 an dieser Grenzlinie 22 aneinander, wobei die Grenzlinie 22 mit den in der Legende in Fig. 3 angegebenen Parametern einen Verlauf hat, der entsprechend der oben angegebenen Formel 1 ausgebildet ist.

Auf der in Fig. 3 nicht gezeigten Druckseite kann ebenfalls eine derartige Grenzlinie, die einen beschichteten von einem unbeschichteten oder wenig beschichteten Bereich trennt, vorgesehen sein, wobei diese Grenzlinie dabei vorzugsweise entsprechend der Formel 2, die oben

angegeben ist, verläuft. Auch auf der Druckseite ist dann vorzugsweise der beschichtete bzw. stärker beschichtete Bereich radial außen.

Der Nullpunkt des Graphen bzw. des entsprechenden Koordinatensystems kann an dem Punkt liegen, der in Fig. 3 mit IDLE angezeigt ist bzw. an der Stelle, die oben genannt wurde.

Insbesondere Schaufeln können durch Biege- und Torsionsmoden bei Beanspruchungen wie Pumpen oder Flattern mit höchsten Intensitäten belastet sein. Die Maxima dieser Moden (kritische Spannungsspitzen) sind häufig in der unteren Blatthälfte lokalisiert. In diesen Bereichen sollte keine Schichtgrenze verlaufen bzw. ist es zweckmäßig, wenn in diesen Bereichen keine Schichtgrenze verläuft, oder zumindest die Schichtdicke reduziert sein bzw. ist es zweckmäßig wenn die Schichtdicke zumindest reduziert ist.

Dabei liegen an der Saugseite häufig höhere Spannungen an als an der Druckseite; d. h. falls im Saug-Bereich ebenfalls merklicher Verschleiß auftritt, muss gegebenenfalls noch zwischen Saug- und Druckseite bei der lokalen Beschichtung unterschieden werden, was aber auch anders sein kann.

Wie oben dargestellt, kann gewissermaßen eine Grenzlinie (insbesondere Parabel bzw. als Parabel ausgestaltet) beschrieben werden, die Bereiche unterscheidet, die ohne und die mit Einschränkung beschichtet werden können, wie es beispielsweise in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung der Fall ist.

In Bezug auf Fig. 3 gilt die folgende Legende:

Legende:

Nullpunkt für die Graphen ist IDLE (Inner Diameter Leading Edge siehe Fig. 3)

h1: Gemessene Höhe über Nabenschnitt (siehe Bild) des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Vorderkante

- h2: Gem. Höhe über Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Hinterkante
- h3: Gem. Höhe über Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite
- L: Gesamtgitterlänge bzw. axiale Lage der Hinterkante in Kanalmitte bezogen auf die Vorderkante in Kanalmitte
- L3: Axiale Lage des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite bezogen auf die Vorderkante

Ansprüche

1. Flugtriebwerk mit einem Verdichter und zumindest einer Turbine, wobei dieser Verdichter und diese Turbine jeweils Schaufeln (1) aufweisen, die jeweils mit einem Schaufelblatt (10) versehen sind, das eine Saugseite und eine Druckseite ausbildet, wobei zumindest ein erstes (10) dieser Schaufelblätter (10) für die Minderung von Erosion oder Verschleiß mit einer Schutzschicht (16) beschichtet ist, die auf zumindest einer Seite des Schaufelblatts (10) derart aufgebracht ist, dass zumindest zwei, an einer Grenzlinie (22) aneinander stoßende Bereiche (18, 20) ausgebildet werden, von denen ein erster Bereich (18) mit der Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass die Schutzschicht (16) in diesem ersten Bereich (18) eine im Wesentlichen konstante erste Dicke aufweist, und von denen ein zweiter Bereich (20) frei von der Schutzschicht (16) ist oder mit der Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass diese Schutzschicht (16) in diesem zweiten Bereich (20) eine im Wesentlichen konstante, von der ersten Dicke abweichende zweite Dicke aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

zumindest zwei Punkte dieser Grenzlinie (22) existieren, deren Verbindungsstrecke von dem Grenzlinienverlauf zwischen diesen beiden Punkten abweicht.

2. Schaufel für einen Verdichter oder eine Turbine eines Flugtriebwerks, wobei die Schaufel ein eine Saugseite und eine Druckseite ausbildendes Schaufelblatt (10) aufweist, das für die Minderung von Erosion oder Verschleiß mit einer Schutzschicht (16) beschichtet ist, die auf zumindest einer Seite des Schaufelblatts (10) derart aufgebracht ist, dass zumindest zwei, an einer Grenzlinie (22) aneinander stoßende Bereiche (18, 20) ausgebildet werden, von denen ein erster Bereich (18) mit einer Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass die Schutzschicht (16) in diesem ersten Bereich (18) eine im Wesentlichen konstante erste Dicke aufweist, und von denen ein zweiter Bereich (20) frei von einer Schutzschicht (16) ist oder mit der Schutzschicht (16) derart versehen ist, dass die Schutzschicht (16) in diesem zweiten Bereich (20) eine im Wesentlichen konstante, von der ersten Dicke abweichende zweite Dicke aufweist, insbesondere für ein Flugtriebwerk gemäß Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

zumindest zwei Punkte dieser Grenzlinie (22) existieren, deren Verbindungsstrecke von dem Grenzlinienverlauf zwischen diesen beiden Punkten abweicht.

3. Schaufel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzlinie (22) parabelförmig gestaltet ist.
4. Schaufel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzlinie (22) einen Schaufelfuß (12) aufweist, und die Grenzlinie (22) derart parabelförmig gestaltet ist, dass die Parabelform in Richtung des Schaufelfußes (12) offen ist.
5. Schaufel nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzlinie (22) in Abhängigkeit der im Betrieb der Schaufel in einem Flugtriebwerk auftretenden maximalen 1F-Schwingspannung (Schwingspannung der ersten Biegeschwingung) an der Hinterkante und in Abhängigkeit der im Betrieb der Schaufel in einem Flugtriebwerk auftretenden maximalen 1F-Schwingspannung an der Vorderkante und – je nach dem, ob die Grenzlinie (22) Oberflächenbereiche der Saugseite oder der Druckseite der Schaufel voneinander trennt - in Abhängigkeit der im Betrieb der Schaufel in einem Flugtriebwerk auftretenden maximalen 1F-Schwingspannung auf dieser betreffenden Seite, d.h. Saugseite bzw. Druckseite, derart verläuft, dass diese drei bzw. jeweils drei maximalen 1F-Spannungen auf der gleichen Seite der Grenzlinie (22) gelegen sind.
6. Schaufel gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Saugseite zumindest eine oder genau eine Grenzlinie (22) gegeben ist, wobei für diese zumindest eine oder genau eine Grenzlinie (22) gilt:

$$y = 1,1 \times h_1 + \frac{1,1 \times (L^2 \times (h_3 - h_1) - L_3^2 \times (h_2 - h_1))}{L \times (L \times L_3 - L_3^2)} \times x + \frac{1,1 \times \left(h_2 - h_1 - \frac{1,1 \times (L^2 \times (h_3 - h_1) - L_3^2 \times (h_2 - h_1))}{L \times (L \times L_3 - L_3^2)} \right)}{L^2} \times x^2$$

wobei gilt:

- h_1 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Vorderkante
- h_2 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Hinterkante
- h_3 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite
- L : Gesamtgitterlänge bzw. axiale Lage der Hinterkante in Kanalmitte bezogen auf die Vorderkante in Kanalmitte
- L_3 : Axiale Lage des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung auf der Saugseite bezogen auf die Vorderkante.

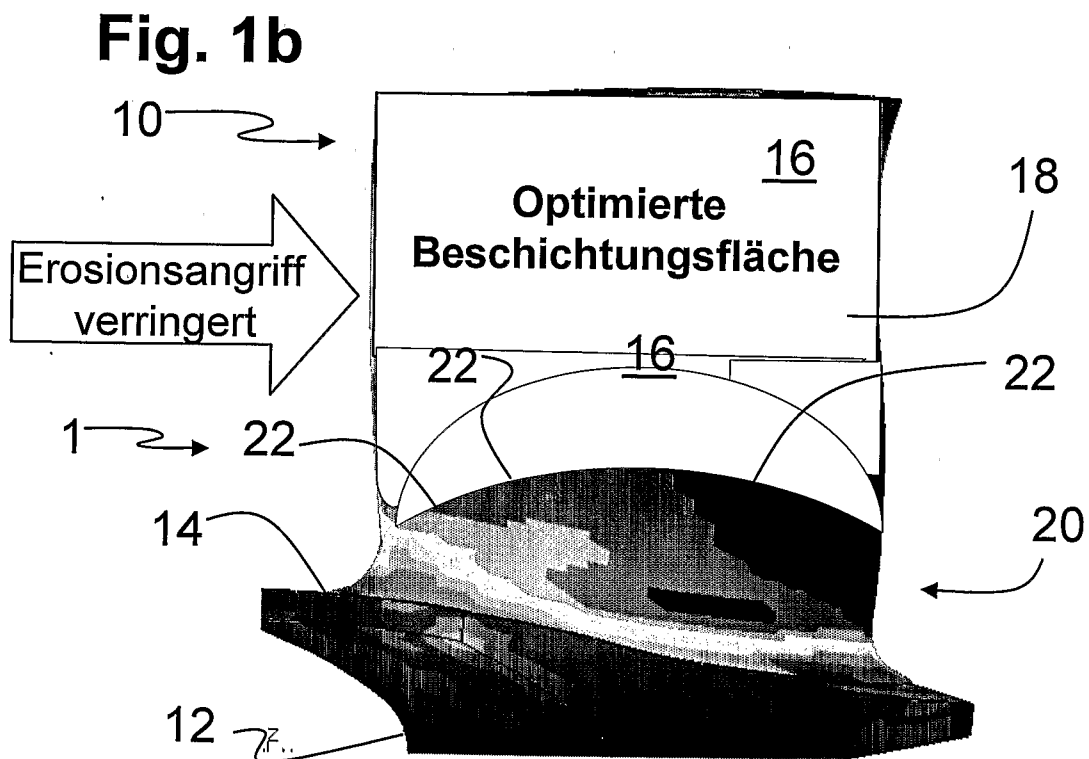
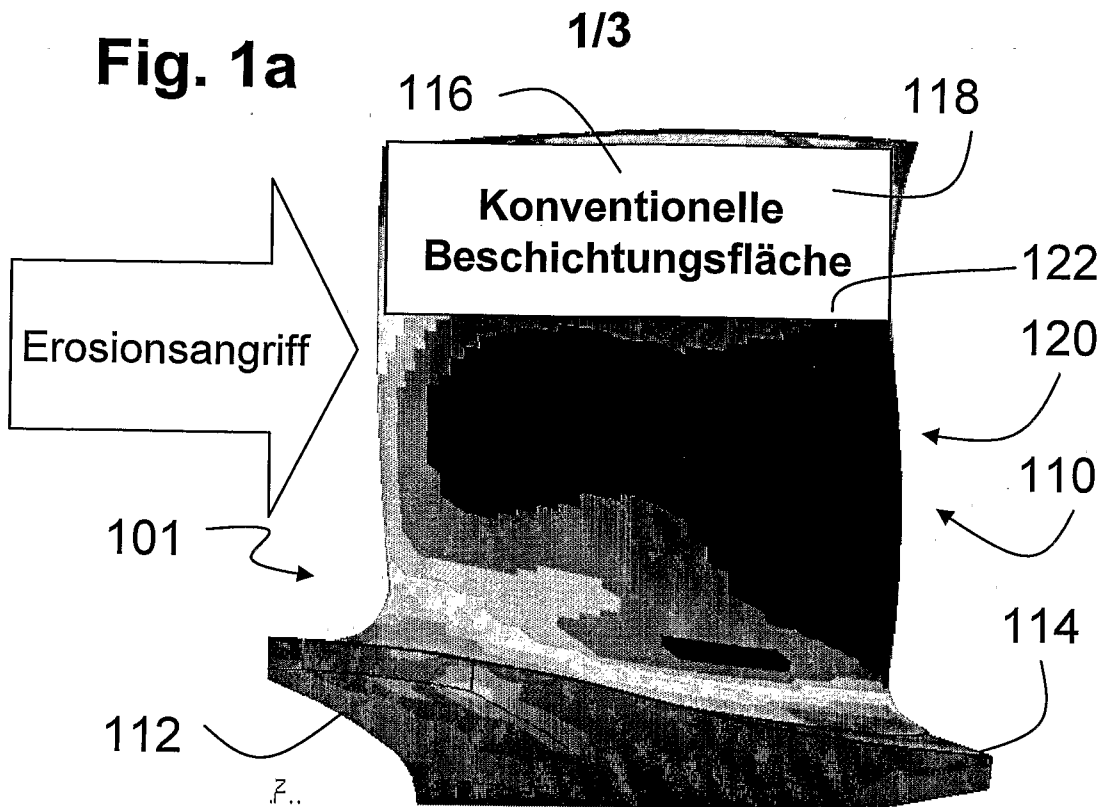
7. Schaufel gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Druckseite zumindest eine oder genau eine Grenzlinie (22) gegeben ist, wobei für diese zumindest eine oder genau eine Grenzlinie (22) gilt:

$$y = 1,1 \times h_2 + \frac{0,88 \times (1,5 \times h_1 - h_2)}{L} \times x + \frac{0,22 \times (h_1 + h_2)}{L^2} \times x^2$$

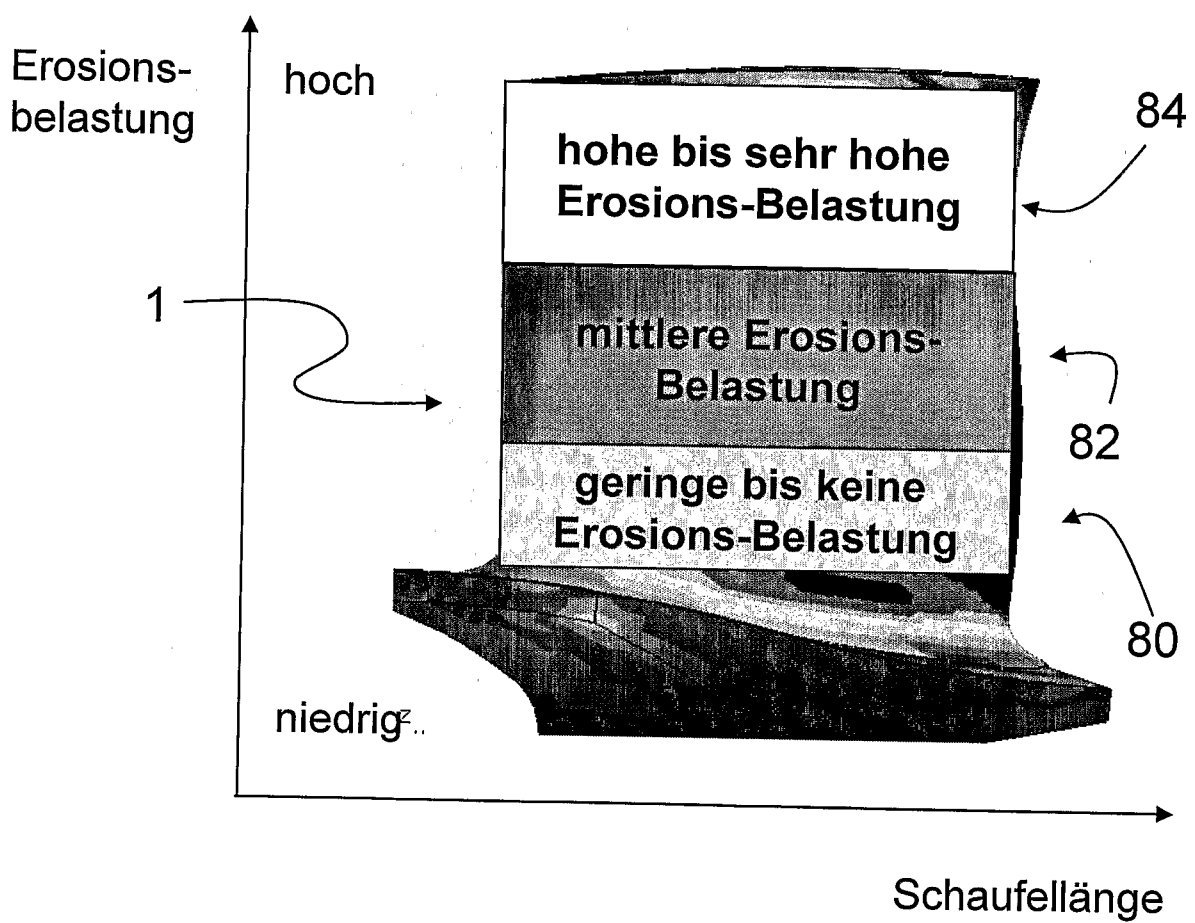
wobei gilt:

- h_1 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Vorderkante
- h_2 : gemessene Höhe über dem Nabenschnitt des Ortes der maximalen 1F-Schwingspannung an der Hinterkante
- L : Gesamtgitterlänge bzw. axiale Lage der Hinterkante in Kanalmitte bezogen auf die Vorderkante in Kanalmitte
8. Flugtriebwerk gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Schaufeln gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7 ausgebildet ist.

9. Verfahren zum Beschichten einer Schaufel eines Flugtriebwerks, insbesondere Turbinen- oder Verdichterschaufel, mit den Schritten:
- Ermitteln von Spannungen, insbesondere Spannungsmaxima, denen die Schaufel in einem vorbestimmten Betrieb in einem vorbestimmten Flugtriebwerk ausgesetzt ist bzw. voraussichtlich im Betrieb ausgesetzt sein wird;
 - Ermitteln der Erosionsbelastung, der die Schaufel voraussichtlich im Betrieb ausgesetzt sein wird;
 - Bestimmen von Bereichen des Schaufelblatts (10) der Schaufel, die nicht oder gegenüber anderen Bereichen des Schaufelblattes (10) mit einer reduzierten Schichtdicke beschichtet werden sollen, wobei diese Bestimmung in Abhängigkeit der ermittelten Spannungen und der ermittelten Erosionsbelastung erfolgt; und
 - Beschichten der Schaufel, und insbesondere des Schaufelblatts (10) unter Berücksichtigung der Bestimmung der Bereiche des Schaufelblatts (10) der Schaufel, die nicht oder mit reduzierter Schichtdicke beschichtet werden sollen.



2/3

Fig. 2

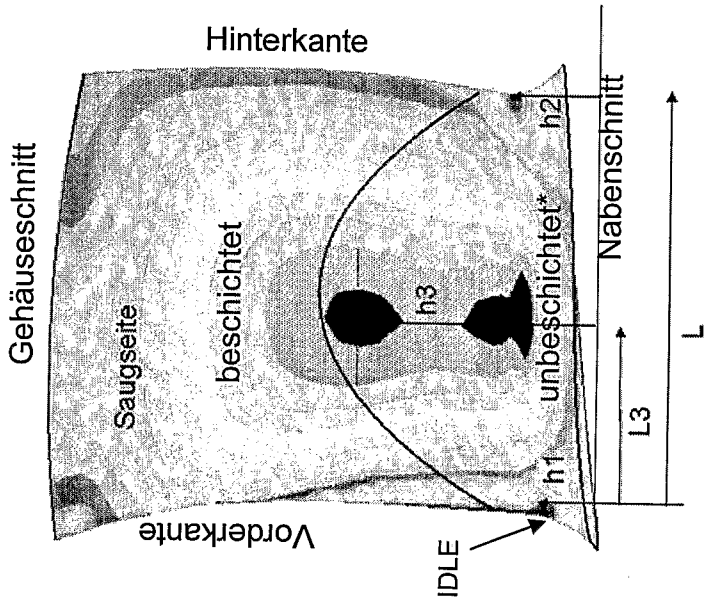


Fig. 3

*unbeschichtet oder gering beschichtet