



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 033 861 A1** 2010.01.21

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 033 861.3**

(22) Anmeldetag: **19.07.2008**

(43) Offenlegungstag: **21.01.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01D 5/14** (2006.01)

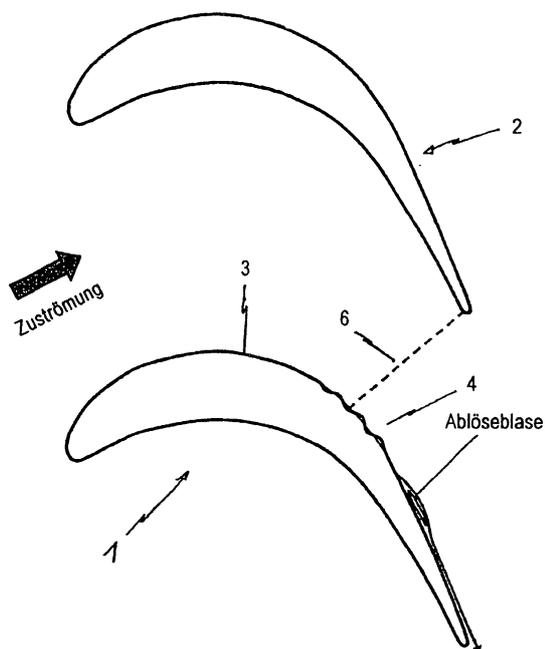
(71) Anmelder:  
**MTU Aero Engines GmbH, 80995 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Fiala, Andreas, Dr., 80339 München, DE; Gier,  
Jochen, Dr., 85757 Karlsfeld, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Schaufel einer Strömungsmaschine mit Vortex-Generator**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufelkonstruktion einer Strömungsmaschine, vorzugsweise eines Schaufelgitters einer Niederdruckturbinen, an deren saugseitiger Profilloberfläche stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums ein Wirbelerzeuger angeordnet ist. Der Wirbelerzeuger wird durch eine mindestens eine Schwingung ausführende Oberflächenwelle gebildet, deren Wellenrücken in Form eines Wellentals und/oder eines Wellenbergs in Schaufelhöhenrichtung verläuft.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaufelkonstruktion mit Vortex-Generator bzw. Wirbelerzeuger in Form einer zumindest partiellen Oberflächeneigenschaft gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

**[0002]** Derartige Schaufelkonstruktionen finden sich beispielsweise bei Rotoren und Schaufelgittern (Lauf- und/oder Leitschaufeln) von Niederdruckturbinen eines Flugzeugantriebs.

**[0003]** Die Beeinflussung einer Strömung insbesondere der Oberflächen-nahen Grenzschicht durch Wirbelerzeuger (auch Turbulatoren genannt) ist eine zumindest auf Forschungsebene in erheblichem Umfang untersuchte Thematik. Grundsätzlich entsteht die Grenzschicht aus der Wandreibung der strömenden Teilchen und bildet die strömungstechnische Brücke zwischen dem Profil und der idealen, nicht von der Wandreibung beeinträchtigten Strömung in einigem Abstand von der umströmten Profilwand. Die Dicke der Grenzschicht ist dabei von der Reynolds-Zahl abhängig. Mit zunehmender Weglänge der Strömung entlang der Profilwand nimmt diese Dicke der Grenzschicht fortlaufend zu. Schließlich beginnen die Strömungsteilchen, das laminare Strömungsverhalten (laminare Grenzschicht) aufzugeben und mehr oder weniger starke Querbewegungen (turbulente Grenzschicht) auszuführen. Der Übergang von der laminaren Grenzschicht in die turbulente Grenzschicht (auch Umschlagbereich genannt) hängt dabei von einer Reihe von Einflussgrößen, u. a. der Oberflächenrauigkeit der umströmten Profilwand, Druckgradienten, Geschwindigkeits- sowie Druckstörungen der Außenströmung wie auch von der lokalen Reynolds-Zahl ab.

**[0004]** Bei ähnlichem Geschwindigkeitsverlauf längs der Außenströmung erzeugt eine turbulente Grenzschicht mehr Reibungswiderstand als eine laminare Grenzschicht, im Gegenzug jedoch eine geringere Ablöseigung besitzt. Der Reibungswiderstand und die durch die Ablösung veränderte Druckverteilung um das Profil bewirken den Profilverlust. Ein solches Ablösen der Grenzschicht insbesondere an einer Profillober- bzw. Saugseite tritt im Wesentlichen dann auf, wenn Teilchen auf Profilwand-nahen Strombahnen in der Grenzschicht infolge zu geringer Strömungsenergie nicht mehr weiter verzögert werden können. Sie weichen in der Folge quer aus und es bildet sich dann eine sogenannte Ablöseblase, wie sie in der [Fig. 1](#) schematisch dargestellt ist. Mit sinkender Reynoldszahl wächst die Ablösung in ihrer Länge immer mehr an, bis sie in das Gebiet stromab der Profilhinterkante reicht, sodass die durch das Profil geforderte Umlenkung nicht mehr erreicht werden kann. Kein Strömungsteilchen erreicht in seitlichem Mittel stromab der Ablösung nahe der Profil-

wand jemals wieder die Profilloberfläche – die Strömung kann dem Profil nicht mehr folgen und reißt sozusagen ab.

**[0005]** Um nun das Abreißverhalten der Strömung längs eines Profils und den Profilverlust positiv zu beeinflussen indem die Größe der Ablöseblase kontrolliert wird, werden im Stand der Technik verschiedene Lösungsansätze zur Anordnung fester Turbulatoren verfolgt, die sämtlich zur Aufgabe haben, die lamina-re Grenzschicht in eine turbulente Grenzschicht weiter stromauf am Profil umschlagen zu lassen. Zwei Beispiele für derartige Turbulatoren sind in der anliegenden [Fig. 2](#) dargestellt. Demzufolge besteht die Möglichkeit, Turbulatoren durch scharfkantige Vorsprünge auf der Profilloberseite oder durch scharfkantige Einkerbungen (Rücksprünge) in der umströmten Wand zu erzeugen.

**[0006]** Bei Leit- und Rotorschaufeln einer Strömungsmaschine insbesondere einer Niederdruckturbinen erweisen sich derart ausgebildete scharfkantige Turbulatoren jedoch insofern als nachteilig, als dass sie nur in größeren Flughöhen, etwa der Reiseflughöhe eines Flugzeugs, bei den dort geringen Strömungs-Reynoldszahlen und bei hohen Schaufelbelastungen in vorteilhafter Weise durch ein rechtzeitiges Turbulentwerden der Strömung die Ablöseblase verkleinern und dadurch den Profilverlust und den Wirkungsgrad verbessern, in Bodennähe jedoch die Verluste erhöhen. Außerdem ist bei scharfkantigen Turbulatoren die Fertigung, Beschichtung und Standzeit äußerst kritisch. Daher ist derzeit keine praktische Anwendung von Turbulatoren in einem Triebwerk bekannt.

**[0007]** Als ein hinsichtlich der vorliegenden Erfindung relevanter Stand der Technik sei in dieser Hinsicht die EP 132 638 B1 der Erfinderin selbst genannt. Aus dieser Druckschrift ist ein axial durchströmtes Schaufelgitter einer Turbine bekannt, dessen Schaufelprofile so ausgebildet sind, dass die Strömung entlang des größten Teils der saugseitigen Profilloberfläche bis zu einem Geschwindigkeitsmaximum im Bereich der Kanalengfläche beschleunigt wird und stromab davon bis zur Profilhinterkante verzögert wird. Jede Schaufel ist mit einer Störkante versehen, die stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums auf der Saugseite der Schaufel im Bereich der verzögerten Strömung angeordnet ist und sich im wesentlichen über die ganze Schaufelhöhe (Strecke von Schaufelwurzel bis Schaufelspitze) erstreckt.

**[0008]** Um die eingangs genannten negativen Effekte eines scharfkantigen Turbulators auf die Hauptströmung (Anstieg des Reibungsverlusts) insbesondere bei hohen Reynoldszahlen zu verringern, sieht die EP 132 638 B1 unter anderem vor, dass die Störkante in einer Tangentialebene zur Profilloberfläche sägezahnartig profiliert ist. Hierdurch soll eine Verrin-

gerung der notwendigen Kantenhöhe erreicht werden, um so die Reibungsverluste insbesondere bei höheren Reynoldszahlen zu reduzieren. Trotz dieser positiven Effekte bleibt das Problem einer schwierigen Fertigung und geringeren Standzeit ungelöst.

**[0009]** Angesichts dieses Stands der Technik ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Schaufel einer Strömungsmaschine mit einem gattungsgemäßen Wirbelerzeuger (Turbulator) zu schaffen, die einfach herstellbar ist und eine längere Standzeit erreicht.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch eine Schaufel einer Strömungsmaschine mit einem längs der Schaufel sich erstreckenden, wellenförmigen (kantenlosen) Wirbelerzeuger gemäß dem Patentanspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche.

**[0011]** Die Erfindung besteht demzufolge aus einer Schaufelkonstruktion einer Strömungsmaschine, vorzugsweise einer Schaufelgitteranordnung einer Niederdruckturbine, an deren saugseitiger Profiloberfläche stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums, ggf. auch im Bereich des Geschwindigkeitsmaximums beginnend, ein Wirbelerzeuger vorzugsweise in Form einer partiellen geometrischen Oberflächeneigenschaft angeordnet ist. Der Wirbelerzeuger wird weiter vorzugsweise durch eine mindestens eine Schwingung ausführende Oberflächenwelle gebildet, deren Wellenrücken in Form eines Wellentals und eines Wellenbergs näherungsweise in Schaufelhöhenrichtung verläuft.

**[0012]** Konkreter ausgedrückt wird zur Erzielung des rechtzeitigen Turbulentwerdens der Strömung (Grenzschicht) auf scharfkantige Einbauten und Modifikationen auf der Schaufelsaugseite verzichtet. Stattdessen werden eine oder mehrere kantenlose Wellen auf der Oberfläche der Saugseite angeordnet bzw. ausgebildet. Hierdurch wird der Vorteil erzielt, dass sich die Herstellbarkeit, Beschichtbarkeit und Standzeit der Schaufel gegenüber dem bekannten Stand der Technik verbessert. Die Wirkung des wellenförmigen Wirbelerzeugers auf das Strömungsverhalten im Oberflächen-nahen Bereich ist vergleichbar zu den bekannten scharfkantigen Turbulatoren. Bei hohen Reynolds-Zahlen insbesondere in Bodennähe ist jedoch ein geringerer Wirkungsgradverlust durch Reibung zu beobachten. Darüber hinaus lässt sich eine akustische Triebwerkslärmreduktion von 1–2 dB realisieren, d. h. eine 10–20%ige Druckamplitudenreduktion.

**[0013]** Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Turbulators ist die direkte Herstellbarkeit innerhalb des Herstellungsprozesses einer Schaufel einer Turbomaschine. Bei gegossenen Gasturbinenschaufeln kann diese Oberflächeneigenschaft/-struktur

direkt im Gussmodell ohne merklichen Mehraufwand integriert werden. Es ist aber auch eine nachträgliche Einbringung der erfindungsgemäßen Wellenstruktur möglich. Dies betrifft nicht nur die Neufertigung sondern auch Instandsetzungsfälle. Dadurch ist auch eine Nachrüstung möglich. Zur nachträglichen Einbringung der Wellenstruktur sind formende, wie auch spanabhebende Bearbeitungsverfahren, beispielsweise Drücken, Schleifen und/oder Fräsen aber auch elektrochemisches Abtragen einsetzbar.

**[0014]** Gegenüber dem Stand der Technik wie beispielsweise gemäß der US 6,416,289 bzw. der EP 1 081 332 A1, in der ein Streifen mit erhöhter Rauigkeit beschrieben ist, hat die glatte Wellenform gemäß der Erfindung mehrere Vorteile.

**[0015]** Da es sich bei dem Rauigkeitsstreifen gemäß dem Stand der Technik um einen Bereich mit unregelmäßiger, erhöhter Rauigkeit handelt, der im normalen Fertigungsprozess (beispielsweise bei gegossener Gasturbinenschaufel) nicht entsteht, muss diese Rauigkeit nachträglich aufgebracht werden. Demgegenüber können die glatten Wellenturbulatoren (unter dem Begriff „glatt“ ist eine Oberflächengüte zu verstehen, die den übrigen Bereichen der Turbinenschaufel entspricht) direkt innerhalb des normalen Fertigungsprozesses eingebracht werden. Eine zusätzliche Rauigkeitserhöhung gegenüber den übrigen Schaufelbereichen ist für die Wellenturbulatoren nicht erforderlich.

**[0016]** Auch die Funktionsweise der Wellenturbulatoren gemäß der Erfindung ist grundsätzlich verschieden von lokal erhöhter Rauigkeit. Wenn bei erhöhter Rauigkeit mindestens die Spitzen aus der wandnahen Schicht des konstanten Schubspannungs-Gradienten herausragen, werden Störungen im Bereich der maximalen Schubspannung (Quer- und Längswirbel) in der Grenzschicht erzeugt, die direkt zu dreidimensionalen Strömungsstrukturen mit vorzeitiger Transition (also weiter stromauf als ohne Rauigkeit) führen. Im Gegensatz hierzu regen die erfindungsgemäßen Wellenturbulatoren Instabilitäten der Grenzschichtströmung an, die zu „Görtler“-Längswirbeln im konkaven Teil der Wellenlänge führen, ohne diese mit zusätzlichen Wirbeln zu vermischen. Dadurch wird auch der nachteilige Einfluss der Wellenturbulatoren bei höheren Reynolds-Zahlen, wie sie z. B. bei Triebwerken in Bodennähe auftreten, geringer als bei verwirbelnden Turbulatoren konventioneller Bauart.

**[0017]** Es hat sich ferner gezeigt, dass in einer vorzugsweise langwelligen Ausführungsform eine gezielte Anfandung der Grenzschichtinstabilität erzielt wird. Hierfür wird die Wellenlänge in einem Verhältnis von  $\lambda/s_{\text{ges}} = 0,05$  bis  $0,25$  zur Saugseite eingestellt. Die Amplitude ist hierzu in einem Verhältnis von  $a/s_{\text{ges}} = 0,0002$  bis  $0,0040$  zur Saugseitenlänge eingestellt.

Die Anzahl der sinusartigen Wellen liegt vorzugsweise zwischen 1 und 4 und sind in einem Bereich von  $\pm 0,25 s/s_{ges}$  um die Position der Engstrecke auf der Saugseite der Schaufel. Die optimalen Werte innerhalb des vorstehenden genannten Bereichs hängen dabei jedoch von den Strömungsbedingungen wie Reynolds-Zahl, Mach-Zahl, Belastung etc. ab. Der Ausdruck „ $s_{ges}$ “ bedeutet hier die saugseitige Bogenlänge, gemessen vom axial vordersten Vorderkantenpunkt bis zum hintersten Hinterkantenpunkt.

**[0018]** Weiter vorzugsweise ist es möglich, dass in einer kurzwelligen Ausführungsform ebenfalls eine gezielte Anfachung von Instabilitäten durch Frequenzen mit moderaten Anfachungsraten erzielbar ist. Hierfür wird die Wellenlänge in einem Verhältnis von  $\lambda/s_{ges} = 0,005$  bis  $0,05$  zur Saugseite eingestellt. Die Anzahl der sinusartigen Wellen liegt dann bevorzugt zwischen 2 und 15. Die übrigen Einstellungen entsprechend der vorstehenden Beschreibung.

**[0019]** Weiter ist es vorteilhaft, an einer Turbinenschaufel ( $Ma_{Austritt} = 0,65$  und  $Re_{Austritt} = 200.000$ ) mit voraussichtlich hoher Stufenbelastung (Umlenkung  $> 100^\circ$ ) und hoher Schaufelbelastung (High Lift. Zweifel-Zahl  $> 1,0$ ) 3 sinusartige Wellen der Wellenlänge  $\lambda/s_{ges} = 0,08$  mit konstanter Amplitude  $a/s_{ges} = 0,001$  vorzusehen, deren letzte Wellenlänge an der Stelle der laminaren Ablösung endet. Die Wellenlängen erstrecken sich dabei 20%–80% über die Spannweitereckung.

**[0020]** Alternativ hierzu kann die Wellenlänge entsprechend einer kurzwelligen Ausführungsform auch  $\lambda/s_{ges} = 0,03$  betragen bei einer Turbinenschaufel mit  $Re_{Austritt} = 400.000$ .

**[0021]** Schließlich kann im Fall einer Verdichterschaufel ( $Ma_{Eintritt} = 0,5$  und  $Re_{Eintritt} = 0\ 300.000$ ) mit laminar/turbulenter Ablöseblase auf der Saugseite diese mit drei sinusartigen Wellen der Wellenlänge  $\lambda/x_{ges} = 0,05$  mit derselben Amplitude  $a/x_{ges} = 0,0002$  ausgebildet sein, wobei deren letzte Wellenlänge an der Stelle der laminaren Ablösung endet. Der Ausdruck „ $x_{ges}$ “ bedeutet hier die axiale Gitterbreite im Mittelschnitt. Die Wellenlängen erstrecken sich ebenfalls 20%–80% über die Spannweitereckung.

**[0022]** Die Erfindung wird nachstehend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen näher erläutert.

**[0023]** **Fig. 1** zeigt ein benachbartes Schaufelpaar eines Schaufelgitters gemäß dem Stand der Technik ohne Wirbelerzeuger,

**[0024]** **Fig. 2** zeigt zwei Beispiele für einen scharfkantigen Turbulator gemäß dem Stand der Technik,

**[0025]** **Fig. 3** zeigt zwei benachbarte Schaufeln eines Schaufelgitters gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung im Querschnitt,

**[0026]** **Fig. 4** zeigt eine Schaufel des Schaufelgitters in Meridianansicht, und

**[0027]** **Fig. 5** zeigt eine kurze und eine lange Oberflächenwelle.

**[0028]** In der **Fig. 3** sind zwei benachbarte Schaufeln **1, 2** einer Strömungsmaschine gezeigt, an deren saugseitiger Profilloberfläche **3** stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums ein Wirbelerzeuger **4** angeordnet ist. Der Wirbelerzeuger **4** wird im bevorzugten Ausführungsbeispiel durch eine Anzahl von kantenlosen Oberflächenwellen gebildet, deren Wellenrücken **5** in Form von Wellentälern und Wellenbergen vorwiegend in Schaufelhöhenrichtung  $h$  verlaufen, wie dies auch in der **Fig. 4** dargestellt ist. Die Wellen **4** sind ferner entlang der Schaufelsaugseite **3** so angeordnet, dass die Strömung über diese Wellen **4** abwechselnd angehoben und abgesenkt wird, d. h. die Wellen **4** verlaufen vorwiegend in Strömungsrichtung (siehe **Fig. 4**) und erstrecken sich in Schaufelhöhenrichtung  $h$  zumindest im Kernströmungsbereich gemäß der **Fig. 4** zwischen 20% und 80% rel. der Schaufelhöhe.

**[0029]** Wie aus der **Fig. 3** weiter zu entnehmen ist, haben die Wellen **4** eine Sinusform, deren max. Amplituden in Strömungsrichtung konstant sind. Es ist jedoch auch möglich, die max. Amplitude und/oder die Wellenlänge sowohl in Schaufelhöhen- wie auch in Breitenrichtung zu variieren, bevorzugt längs der Saugseite mit zunehmender Wellenlänge und zunehmender Amplitude. Anstelle einer Sinuswelle kann auch eine asymmetrische Wellenform vorgesehen sein. Die Wellen **4** sind dabei in einem definierten Bereich auf der Saugseite **3** angeordnet. Dieser Bereich befindet sich in etwa an einer Kanalengstelle **6** der zwei benachbarten Schaufeln **1, 2**, also in jenem Bereich, in welchem die Strömung bis zu einem Geschwindigkeitsmaximum beschleunigt wurde und dann eine Verzögerung eintritt. Die Wellenrücken **5** (Berge/Täler) verlaufen dabei in Schaufelhöhenrichtung  $h$  eben und können sich über die gesamte Schaufelhöhe  $h$  oder auch nur über eine Teilhöhe erstrecken, in deren Bereich Sekundärwirbelstrukturen fehlen, wie diese in **Fig. 4** eingezeichnet sind. Dabei können sie in Schaufelhöhenrichtung  $h$  zu den Sekundärbereichen hin gekrümmte Verläufe aufweisen.

**[0030]** Entlang der axialen Erstreckung der Schaufel (Schaufelbreitenrichtung) überdecken die Wellen **4** einen Teilbereich der Schaufelsaugseite **3**, typischerweise einen Bereich, in dem die Grenzschicht bis zur Ablösestelle der Ablöseblase durch den Turbulator in Form der erfindungsgemäßen Wellenausbildung destabilisiert werden kann, um einen recht-

zeitigen laminar-turbulenten Umschlag zu bewirken. Dieser Bereich liegt je nach Schaufelprofilgestaltung zwischen 40% und 90% der axialen Schaufelbreite.

**[0031]** Bezüglich der Dimensionierung der Wellen **4**, d. h. deren max. Amplitude und Frequenz hat sich herausgestellt, dass die Wellenamplitude max. 25%, vorteilhafter Weise ca. 5% der Wellenlänge nicht übersteigen sollte, um eine lokale Ablösung der Grenzschicht zu vermeiden. Die Amplituden und Wellenlängen lassen sich dabei analytisch über Instabilitätsbetrachtungen der Grenzschicht optimieren. Die wellenförmigen Wirbelerzeuger sind sowohl für Statorschaufeln als auch für Rotorschaufeln insbesondere einer Niederdruckturbine anwendbar.

**[0032]** [Fig. 5](#) zeigt hierzu eine – in Relation zur Amplitude  $a$  – kürzere Welle mit einem Verhältnis  $a/\lambda$  von etwa 8% und eine längere Welle mit einem Verhältnis  $a/\lambda$  von etwa 5%.

**[0033]** Erreicht wird der erfindungsgemäße Turbulator dadurch, indem die Profilloberfläche selbst entlang deren Schaufelaußenseite **3** abschnittsweise zu einer Wellenform modifiziert wird, beispielsweise durch gezieltes Abgießen bei der Schaufelfertigung oder durch spanabhebende Nacharbeit nach dem Schaufelguss (z. B. ECM, PECM, Schleifen, Fräsen, etc.), wobei das Hauptcharakteristikum der Wellenform die fehlenden scharfen Kanten bildet.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 132638 B1 [[0007](#), [0008](#)]
- US 6416289 [[0014](#)]
- EP 1081332 A1 [[0014](#)]

**Patentansprüche**

von mehreren Wellen (4) deren Amplituden variieren, vorzugsweise in Strömungsrichtung zunehmen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

1. Schaufel einer Strömungsmaschine mit einem die Strömung umlenkenden, eine Druck- und Saugseite aufweisenden Profil, insbesondere Turbinenschaufel einer Gasturbine, deren saugseitige Profilloberfläche (3) mindestens einen Teil der Profilloberfläche (3) erfassende, geometrische Oberflächeneigenschaft (4) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Oberflächeneigenschaft (4) in Form mindestens einer Oberflächenwelle ausgeführt ist, die dem Profil örtlich in der Weise überlagert ist, dass ihr Wellenberg auf dem Profil eine Erhebung, ihr Wellental in dem Profil eine Vertiefung bildet, wobei die Oberflächenwelle an ihrem stromaufwärtigen und an ihrem stromabwärtigen Ende knickfrei und stufenlos in das Profil übergeht und der Wellenberg und das Wellental in Schaufelhöhenrichtung in einem Winkel von 45° bis 135° zur Meridianprojektion der Strömung außerhalb der Schaufelprofil-Grenzschichten verlaufen.

2. Schaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von derartigen Wellen (4) vorgesehen ist, wobei in Strömungsrichtung gesehen abwechselnd Wellentäler und Wellenberge oder Wellenberge und Wellentäler aufeinanderfolgen.

3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Welle (4) eine Sinusform hat oder asymmetrisch ausgebildet ist.

4. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die zumindest eine Welle (4) wenigstens im Kernströmungsbereich der Schaufel zwischen 20–80% der Schaufelhöhe (h) erstreckt, wobei die zumindest eine Welle (4) einer geraden und/oder gekrümmten Linie folgt, mit konstanter und/oder variierender Amplitude und/oder Wellenlänge.

5. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Welle (4) in Relation zu einer benachbarten Schaufel im Bereich der Kanalengfläche angeordnet ist.

6. Schaufel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellen (4) auf der Saugseitenoberfläche (3) in einem Bereich von 40–90% der axialen Schaufelbreite angeordnet sind.

7. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Welle (4) eine max. Amplitude hat, die 5% bis zu 25% der Wellenlänge beträgt.

8. Schaufel nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich im Fall

Anhängende Zeichnungen

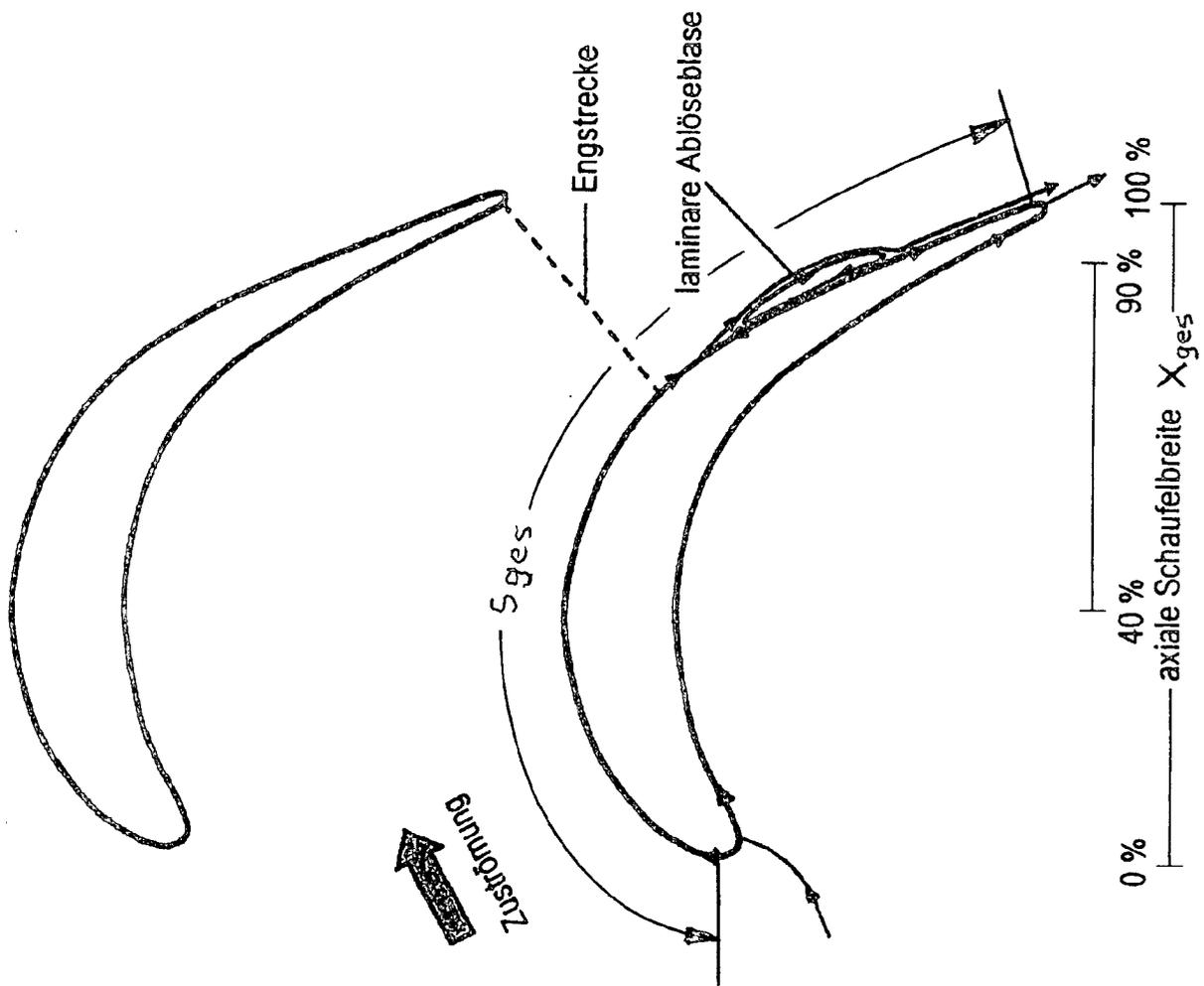


Fig 1

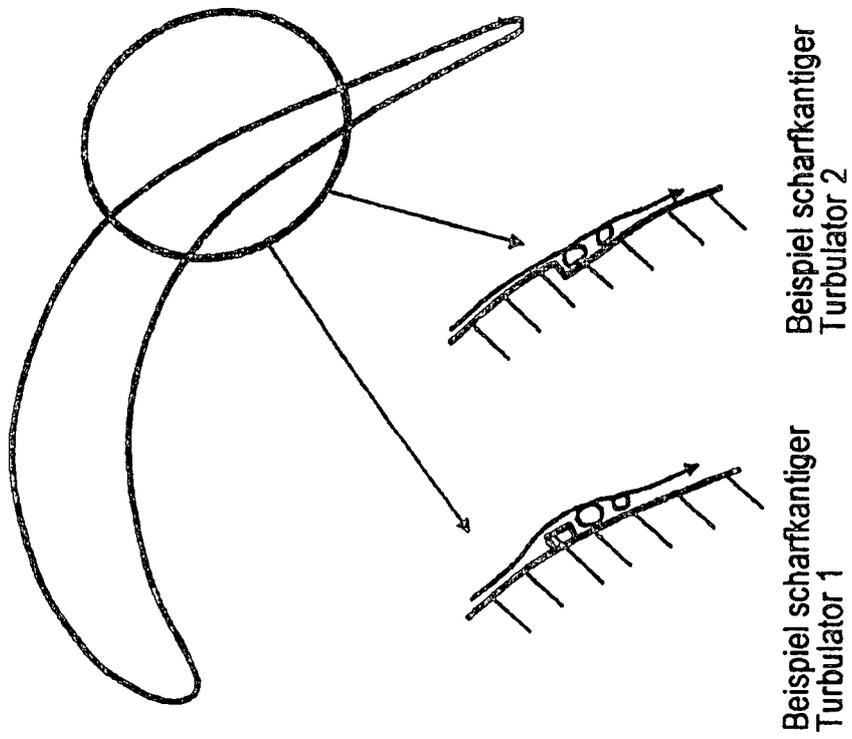


Fig. 2

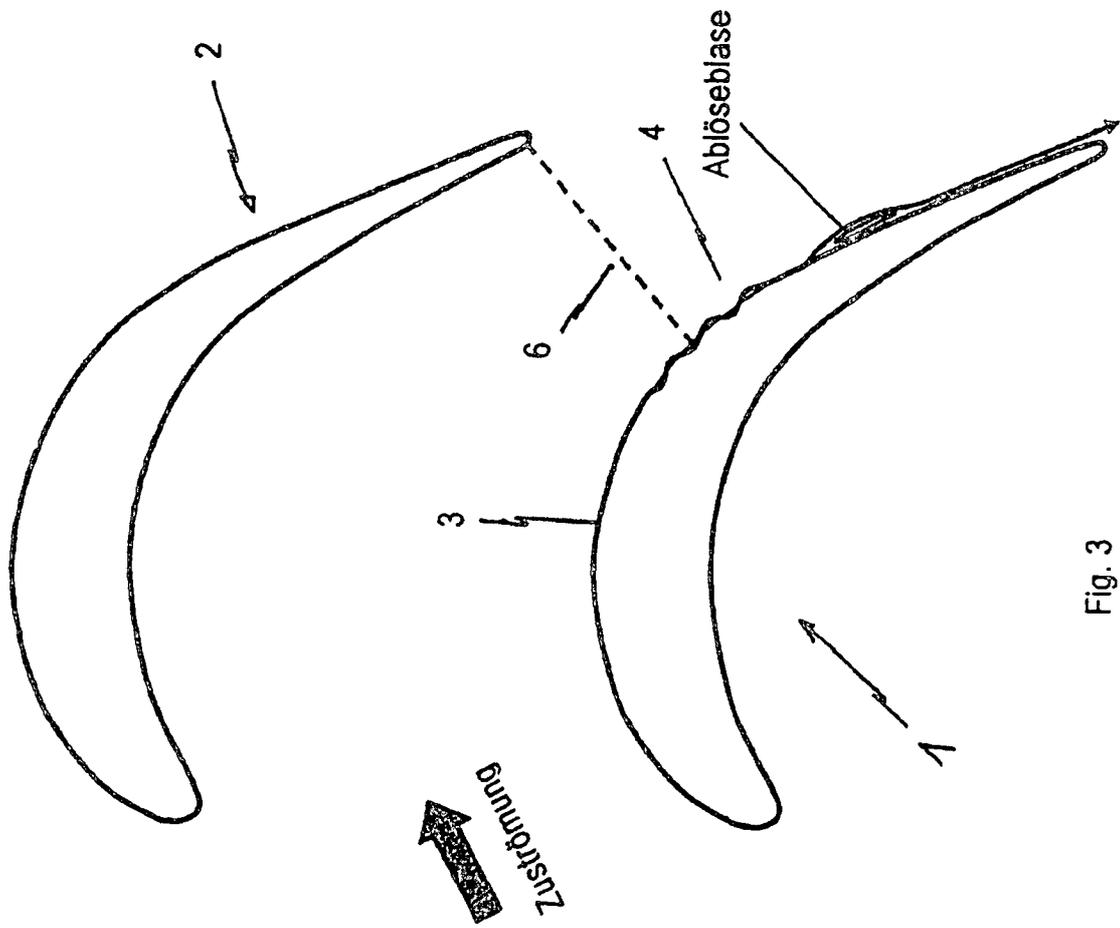


Fig. 3

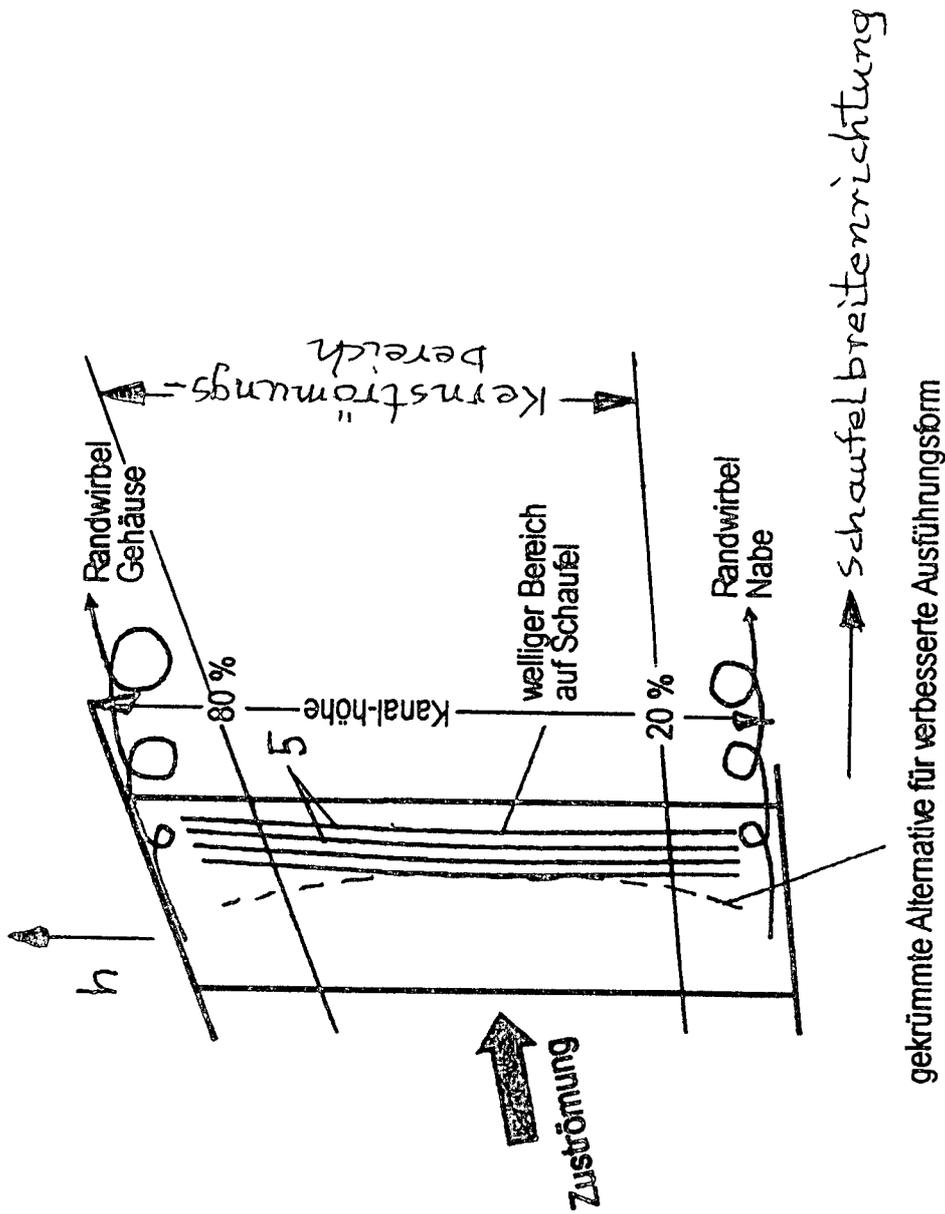


Fig. 4

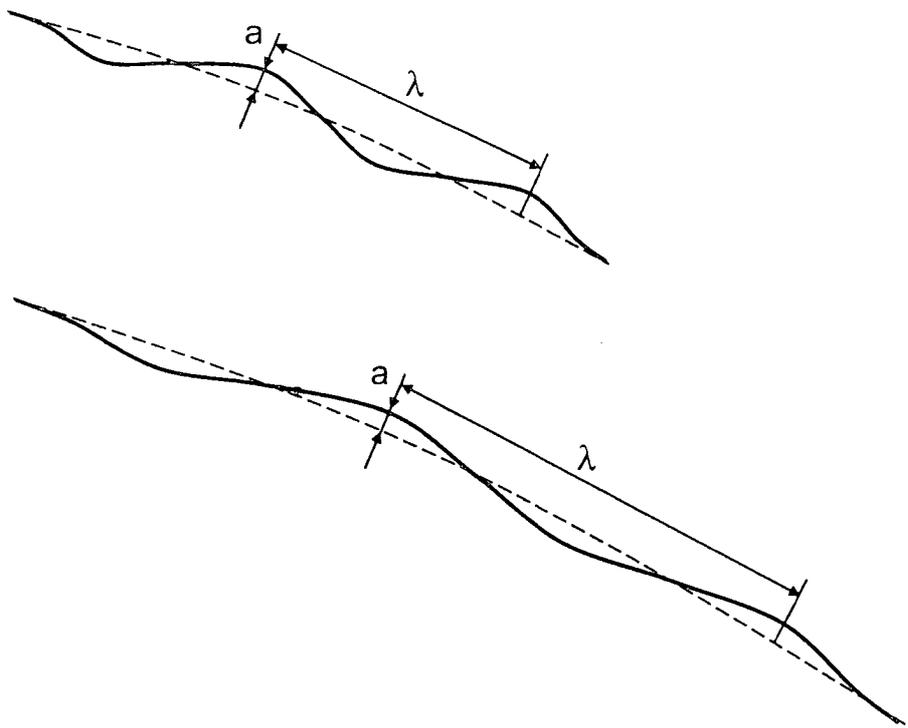


Fig. 5