

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 476 499 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **91115357.5**

(51) Int. Cl.⁵: **F01D 5/04, F04D 29/28**

(22) Anmeldetag: **11.09.91**

(30) Priorität: **15.09.90 DE 4029331**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.03.92 Patentblatt 92/13

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL SE

(71) Anmelder: **MTU MOTOREN- UND
TURBINEN-UNION MÜNCHEN GMBH**
Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40
W-8000 München 50(DE)

(72) Erfinder: **Fiala, Andreas, Dr.**
Mozartstrasse 3
W-8000 München 2(DE)

(54) **Radialrad für eine Turbomaschine.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Radialrad (1a) für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln (2a, 2b) wobei die Meridianschnittkontur (5) der Nabenaußenfläche eine Kettenlinie ist. Dieses Radialrad hat den Vorteil geringer Reibungsverluste.

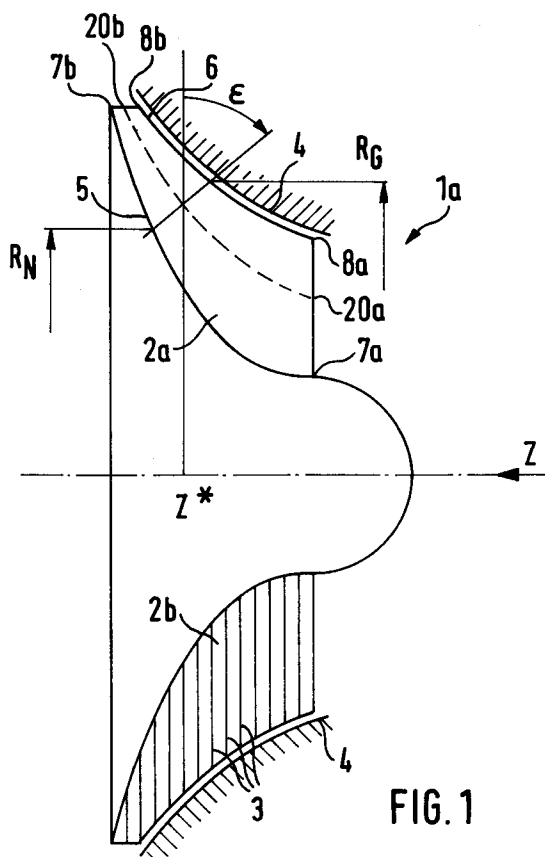


FIG. 1

EP 0 476 499 A1

Die Erfindung betrifft ein Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln.

Der wesentliche Nachteil eines Radialverdichters besteht darin, daß dieser nur einen isentropen Stufenarbeitswirkungsgrad von etwa 80-84% erzielt. Dies ist neben dem Anwachsen und Ablösen der Grenzschicht im Gehäusebereich darauf zurückzuführen, daß die Reibungsverluste zwischen Fluid und Radialrad und dem daran anschließenden Diffusor signifikant größer sind als beim Axialverdichter.

Unter Radialrad wird in diesem Zusammenhang auch ein Laufrad verstanden, bei dem die Strömungsrichtung am Austritt nicht rein radial ist, sondern noch eine Axialkomponente aufweist.

Ein Nachteil herkömmlicher Radialräder besteht darin, daß die vom Fluid angeströmten Oberflächen des Rades relativ groß sind, wodurch die reibungsbedingten Strömungsverluste steigen.

Bei Radialrädern ist außerdem bekannt, die Vorderkante bei einem Teil der Schaufeln ein Stück nach hinten zu versetzen, um die durch die Schaufeln hervorgerufene teilweise Versperrung des Strömungskanales zu vermindern, und so den geforderten Massendurchsatz zu gewährleisten. Eine Verminderung der reibungsbedingten Strömungsverluste kann hierdurch nicht erreicht werden.

Hiervon ausgehend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Radialrad derart auszubilden, daß die reibungsbedingten Strömungsverluste gegenüber herkömmlichen Radialrädern vermindert sind.

Diese Aufgabe wird für ein gattungsgemäßes Radialrad gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung dadurch gelöst, daß die Meridianschnittkontur der Nabenaußenfläche eine Kettenlinie ist. Insbesondere ist die Kettenlinie in Form einer axialen Erstreckung (z) als Funktion des Radius (r) durch $z = f(r)$ darstellbar, wobei die Kontur näherungsweise durch die nachfolgende Lösung der Differentialgleichung für Minimalflächen bestimmt ist,

$$z = d + c \operatorname{arch} (r/c)$$

wobei c und d Konstanten sind, die sich aus den Randbedingungen am Ein- und Austritt des Radialrades ergeben und wobei $\operatorname{arch} (r/c)$ der Arcushyperbolikus von r/c ist. Die Differentialgleichung für Minimalflächen ist aus Dr. Bernhard Baule, die Mathematik des Naturforschers und Ingenieurs, Teil 2, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main, § 11, S. 46, 1979 bekannt. Die Konstanten c und d werden mit Hilfe von jeweils zwei Parametern aus den 4 möglichen Parametern, Strömungswinkel, Neigungswinkel, Axialabstand oder Radius für die Randbedingungen am Ein- und Austritt des Radialrades bestimmt.

Die wesentlichen Vorteile dieser Ausbildung der Erfindung bestehen darin, daß ein Radialrad mit derartigen Konturen der Nabenaußenfläche gegenüber herkömmlichen Radialrädern eine verringerte Oberfläche in diesem Teilbereich des Strömungskanales aufweist, und so die Reibungsverluste an der Nabenaußenfläche minimiert sind. Der überraschenderweise sich ergebende erfindungsgemäße Kurvenverlauf einer Kettenlinie entspricht der Kurve, die eine zwischen zwei Punkten unterschiedlicher Höhe aufgehängte Kette einnimmt.

Vorzugsweise sind beide Oberflächen, also die Nabenaußenfläche und die Hüllfläche der gehäuseseitigen Außenkontur der Schaufeln mit einer Kettenlinie als Meridianschnittkontur versehen, um die kleinstmögliche Oberfläche (Minimalfläche) sowohl zum Gehäuse als auch zur Nabe hin zu erhalten. Bei Bedarf kann jedoch auch nur eine der beiden Flächen die Nabenaußenfläche oder die Hüllfläche erfindungsgemäß geformt sein, während die andere Fläche herkömmlich ausgebildet ist.

Es steht im Belieben des Fachmannes, innerhalb des Rahmens der Erfindung eine geringfügige Abweichung von der idealen Kettenlinie vorzusehen, wenn dadurch andere strömungstechnische Eigenschaften verbessert werden können, und die dabei sich ergebende Oberflächenvergrößerung gering bleibt.

Selbstverständlich kann auch der Eintritts- oder Austrittsbereich der Nabenaußenfläche oder der Hüllfläche der Außenkontur der Schaufeln eines Radialrades in seiner Kontur von der idealen Kettenlinie abweichen, um bestimmte Ein- oder Austrittsanforderungen zu erfüllen.

Ferner gelten die oben als auch die weiter unten beschriebenen Ausgestaltungen sowohl für Radialräder ohne Deckband, als auch für solche mit Deckband, wobei im letzteren Fall an Stelle der Hüllfläche der Außenkontur der Schaufeln die Innenfläche des Deckbandes zu setzen ist.

Gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe dadurch gelöst, daß die Schaufelflächen oder Abschnitte davon als Schraubflächen (Minimalflächen) ausgebildet sind, die eine Funktion des Umfangswinkels (ϕ) durch $z = f(\phi)$ und des Radius (r) sind, wobei die Schaufeloberflächen näherungsweise durch die Vektorfunktion

$$(\vec{r})$$

bestimmt sind, mit dem Umfangswinkel (ϕ) und dem Radius (r) als skalare Variable und mit

$$\begin{aligned} x(r, \phi) &= r \cos \phi \\ y(r, \phi) &= r \sin \phi \\ z(\phi) &= 1 + k \phi \end{aligned}$$

sowie mit x, y, z als Raumkoordinaten und mit 1 und k als Konstanten, die durch die Randbedingungen für beispielsweise den Axialabstand z und den Umfangswinkel ϕ am Ein- und Austritt des Radialrades bestimmt sind. Derartige Schraubflächen sind Lösungen der Differentialgleichung für Minimalflächen.

Die erfindungsgemäße Vektorfunktion

$$(\vec{r})$$

in einem kartesischen Koordinatensystem beschreibt die von den Schaufeln gebildeten Flächen, um unter Beibehaltung vorgegebener bekannter Konturen für die nabenseitige Außenfläche, bzw. die Hüllfläche der gehäuseseitigen Außenkontur der Schaufeln und Schaufelzahlen eine Minimierung der vom Strömungsmedium angeströmten Oberflächen zu erzielen. Diese Ausbildung der Schaufeloberflächen als Schraubflächen ermöglicht eine Verminderung der Strömungsverluste und somit eine Erhöhung des Wirkungsgrades für ein erfindungsgemäßes Radialrad.

In Weiterbildung dieser erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabe können die Schaufelflächen wiederum in Teilbereichen, insbesondere im Schaufelein- oder -austrittsbereich von dieser Kontur mit minimaler Oberfläche abweichen, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Vorzugsweise haben die Schaufeln vom Eintritt bis mindestens zur Hälfte der Stromfadenlänge des Radialrades eine näherungsweise Schraubenfläche als Oberfläche. Eine derartige Ausbildung der Schaufeloberflächen eines Radialrades nutzt vorteilhaft den Erfindungsgedanken zur Verbesserung des Wirkungsgrades.

Eine weitere bevorzugte Ausbildung der Erfindung sieht vor, daß die Oberflächen der Schaufeln austrittsseitig näherungsweise Schraubflächen aufweisen, wobei sich diese über mindestens die Hälfte der Stromfadenlänge des Radialrades erstrecken. Mit dieser Ausbildung kann bereits vorteilhaft der Wirkungsgrad gegenüber herkömmlicher Schaufelausgestaltung eines Radialrades verbessert werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung der Erfindung sieht vor, daß die Raumkurven der Schnittlinie von Schaufelfläche und Nabenaußenfläche und/oder der Schnittlinie von Schaufelfläche und gehäuseseitiger Außenkontur der Schaufeln eine Ketten-Schraub-Linie ist. Die Kettenschraublinie ist eine Vektorfunktion

$$(\vec{r})$$

mit dem Umfangswinkel (ϕ) als skalare Variable und mit

$$\begin{aligned} x(\phi) &= c \cdot \text{ch}[(k \cdot \phi + 1 - d)/c] \cdot \cos \phi \\ y(\phi) &= c \cdot \text{ch}[(k \cdot \phi + 1 - d)/c] \cdot \sin \phi \\ z(\phi) &= 1 + k \cdot \phi \end{aligned}$$

wobei c , d , 1, und k Konstanten sind, die aus den Randbedingungen an Ein- und Austritt des Radialrades bestimmt werden.

Diese Ausbildung vereinigt die Vorteile der beiden oben beschriebenen Ausführungsformen derart, daß sowohl eine Minimierung der nabenseitigen und gehäuseseitigen Oberflächen erzielbar ist, als auch daß gleichzeitig die Schaufelflächen minimierte Oberflächen aufweisen. Bei dieser Ausführung ist insgesamt eine größere Verringerung der Reibungsverluste erzielbar als bei der Minimalflächenausbildung von nabenseitiger Außenfläche oder der Hüllfläche der gehäuseseitigen Außenkonturen der Schaufeln oder der Schaufel-

oberfläche.

Als Ketten-Schraub-Linie wird in diesem Zusammenhang eine räumliche Kurve verstanden, die mit dem Winkel als unabhängigem Parameter nur vom Winkel (ϕ) selbst abhängt. Sie ergibt sich aus einer Schraubenlinie in der Vorderansicht und einer Kettenlinie im Meridianschnitt.

- 5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist bei einem gattungsgemäßen Radialrad für eine Turbomaschine die Anzahl der Schaufeln in axialer Richtung veränderlich, wobei die Schaufeln in Strömungsrichtung hintereinander angeordnet sind und in jedem Meridiannormalschnitt entlang des Strömungskanal unter dem Neigungswinkel (ϵ) zur Radialrichtung mit einem Nabenradius (R_N) und einem Gehäuseradius (R_G) die Anzahl (n) der Schaufeln in Strömungsrichtung näherungsweise durch folgende
10 Gleichung für n bestimmt ist:

$$n = \frac{2\pi(R_G + R_N) \cos \epsilon}{2(R_G - R_N)}$$

15

- Die erfindungsgemäße Ausbildung hat den Vorteil, daß für einen vorgegebenen Strömungskanalquerschnitt (A) der von zwei Schaufeln, einer naben- und einer gehäuseseitigen Hüllfläche der Schaufeln
20 begrenzt ist, ein minimaler Umfang (U) erzielt wird. Durch eine schrittweise Erhöhung der Schaufelzahl in Strömungsrichtung bei Verdichterrädern bzw. eine schrittweise Verminderung der Schaufelzahl in Strömungsrichtung bei Turbinenrädern nach der obigen Gleichung werden die angeströmten Oberflächen im Strömungskanal vermindert, wodurch die reibungsbedingten Strömungsverluste abnehmen.

- Vorzugsweise verdoppelt sich die Anzahl der Schaufeln in bestimmten axialen Punkten schrittweise.
25 Insbesondere sind zwei axiale Punkte vorgesehen an denen sich die Schaufelzahl jeweils verdoppelt. Das heißt an einer ersten axialen Position liegen die Vorderkanten einer gleichen Anzahl von kürzeren Schaufeln, die beabstandet zwischen die am Einlaß beginnenden Schaufeln angeordnet sind. An einer zweiten axialen Position ist dies nochmals der Fall, so daß im Bereich des Radialradaustrittes eines Verdichterrades bzw. des Radialradeintrittes eines Turbinenrades die vierfache Anzahl von Schaufeln wie am Eintritt eines
30 Verdichterrades bzw. am Austritt eines Turbinenrades vorhanden ist. Wird die Schaufelzahl an drei axialen Punkten verdoppelt, so ist die Schaufelzahl am Austritt achtfach so hoch wie am Eintritt.

- Die Festlegung derjenigen axialen Punkte, an denen sich die Vorderkanten der nach hinten versetzten Schaufeln befinden, wird der Fachmann in Abstimmung mit den sonstigen geforderten Strömungseigenschaften festlegen. Insbesondere kann der axiale Punkt an derjenigen Position vorgesehen werden, an der
35 die optimale Schaufelzahl gemäß der obigen Formel den doppelten Wert der bis dahin tatsächlich vorhandenen Schaufeln erreicht hat. Zweckmäßigerweise wird man jedoch den axialen Punkt weiter nach vorn versetzen, um eine möglichst geringe Wirkungsgradeinbuße zu erzielen.

- Vorteilhaft ist es, wenn mindestens zwei aufeinander folgende axiale Abschnitte mit am Umfang verteilten, sich nur über die axiale Länge eines Abschnittes erstreckenden Schaufeln vorgesehen sind,
40 wobei sich an die Hinterkanten der vorherigen Schaufelgruppe die Vorderkanten der nächsten Schaufelgruppe in Umfangsrichtung versetzt anschließen. Die Schaufelgruppen können sich auch leicht axial überlappen. Insbesondere sind drei oder vier hintereinander liegende Abschnitte vorgesehen. Diese Ausbildung hat den wesentlichen Vorteil, daß anstelle einer Verdoppelung der Schaufelzahl beliebige Schaufelzahlerhöhungen möglich sind. Beispielsweise kann die Schaufelzahl in vier Abschnitten schrittweise von 9
45 auf 13 auf 23 und schließlich auf 56 erhöht werden. Die Schaufeln sind dabei normalerweise nur so lang ausgebildet, wie sich der betreffende axiale Abschnitt erstreckt, d.h. es sind keine, oder nur sehr wenige sich über die gesamte Radialradlänge erstreckende Schaufeln vorgesehen. Die Abschnitte sind vorzugsweise gleich lang. Bei Bedarf kann jedoch auch eine unterschiedliche Erstreckung der Abschnitte vorgesehen werden. Diese Weiterbildung des Erfindungsgedankens ermöglicht eine bestmögliche Anpassung der sich
50 notwendigerweise in diskreten Schritten verändernden Schaufelzahl an die hinsichtlich der Oberflächenminimierung optimale Schaufelzahl n nach der obigen Gleichung für n .

- Vorzugsweise sind die Schaufeln so gefertigt, daß diese minimale Oberflächen aufweisen, d.h. daß die Schaufelflächen, oder zumindest wesentliche Teile davon als Schraubflächen ausgebildet sind. Ferner ist es besonders günstig, wenn gleichzeitig die nabenseitige Außenfläche und/oder die gehäuseseitige Rotationsfläche derart geformt ist, daß diese in einem Meridianschnitt eine kettenlinienartige Kontur haben. Ein
55 derartiges Radialrad ist vom Standpunkt des Reibungswiderstandes optimiert, d.h. es weist die geringstmögliche Oberfläche auf.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung erfahren die freiliegenden Schaufelkanten

entlang eines Teils oder entlang der gesamten Erstreckung eine Umfangskrümmung, die gleich oder stärker ausgeprägt ist als die Meridiankrümmung. Diese Ausbildung vermindert die Gefahr von Grenzschichtablösungen im Bereich der Schaufel spitzen, die ebenfalls Wirkungsgradverminderungen zur Folge haben.

Vorzugsweise sind die Schaufeln rückwärtsgekrümmt. Rückwärtskrümmung bedeutet einerseits, daß der Drehsinn des Laufrades entgegengesetzt zu dem Drehsinn eines das Laufrad durchströmenden Teilchens ist, und andererseits, daß am Laufradaustritt die Umfangskomponente des mittleren Relativgeschwindigkeitsvektors entgegengesetzte Richtung zur Umfangsgeschwindigkeit hat. Die Rückwärtskrümmung hat den Vorteil, daß zusätzlich die aerodynamische Belastung herabgesetzt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnung weiter erläutert. Dabei zeigt:

- Fig. 1 einen Meridianschnitt eines rückwärtsgekrümmten Radialrades,
- Fig. 2 einen Meridianschnitt eines anderen rückwärtsgekrümmten Radialrades,
- Fig. 3 eine axiale Ansicht des Radialrades gemäß Fig. 2,
- Fig. 4 eine 3-d-Ansicht des Radialrades gemäß Fig. 2 und 3,
- Fig. 5 einen Meridianschnitt eines weiteren rückwärtsgekrümmten Radialrades,
- Fig. 6 das Radialrad gemäß Fig. 5 in einer 3-d-Ansicht
- Fig. 7 ein Diagramm des Oberflächenwirkungsgrades über der axialen Erstreckung.

In Fig. 1 ist ein rückwärtsgekrümmtes Radialrad 1a im Meridianschnitt (Zirkularprojektion) dargestellt. Dabei sind zwei in die Schnittebene gedrehte Schaufeln 2a und 2b zu erkennen, wobei in der in der Zeichnung unten dargestellten Schaufel 2b gleichmäßig beabstandete radiale Erzeugende der Schaufel 3 eingezeichnet sind. Radial außerhalb der Schaufeln 2a und 2b ist ein Strömungskanalaußengehäuse 4 vorgesehen, wobei es genauso möglich ist, ein an den freien Schaufelkanten befestigtes Deckband vorzusehen.

Die Schaufel 2a weist im dargestellten Meridianschnitt eine Nabenschnittkontur 5 der Nabenoberfläche, und eine Gehäuseschnittkontur 6 der Gehäuseoberfläche auf. Diese beiden Meridianschnittkonturen haben einen Kurvenverlauf der als Kettenlinie bezeichnet werden kann. Das heißt, die Kontur entspricht der Linie, die eine zwischen den Punkten 7a und 7b bzw. 8a und 8b aufgehängte Kette einnehmen würde.

Der Winkel α läßt sich folgendermaßen bestimmen:

Eine Kettenlinie vom mittleren Eintrittsradius (Punkt 20a, Flächenmittel) bis zum mittleren Austrittsaxialabstand (Punkt 20b) besitzt im Punkt Z^* die Steigung mit dem Steigungswinkel α , der dem Winkel des Meridiannormalschnittes mit der Radialrichtung entspricht.

In Fig. 2 ist ein Meridianschnitt durch ein anderes rückwärtsgekrümmtes Radialrad 1b gezeigt, das hinsichtlich der Meridianschnittkonturen dem ersten Radialrad 1a entspricht. Beim Radialrad 1b sind drei verschieden lange Schaufeln vorgesehen, deren Vorderkanten 9a, 9b und 9c in der Meridianschnittebene zu sehen sind. Eine erste Gruppe von Schaufeln erstreckt sich über die gesamte Stromfadenlänge des Radialrades 1b, d.h. daß die Vorderkanten 9a am Eintritt 10 des Radialrades 1b beginnen. Die mit der Vorderkante 9b beginnenden Schaufeln sind um eine Strecke Z_1 gegenüber dem Eintritt des Radialrades 1b zurückversetzt, wobei doppelt so viele derartige Schaufeln vorgesehen sind. Diese zweite Gruppe von Schaufeln endet genau wie die erste Schaufelgruppe am Austritt 11 des Radialrades 1b, so daß diese insgesamt kürzer sind als die Schaufeln der ersten Gruppe.

Schließlich sind an der axialen Position Z_2 beginnende Vorderkanten 9c einer dritten Gruppe von noch kürzeren Schaufeln vorgesehen, von denen wiederum doppelt so viele Schaufeln wie die der zweiten Gruppe und somit viermal so viele Schaufeln wie die der ersten Gruppe vorhanden sind.

In Fig. 3 und 4 ist das Radialrad 1b gemäß Fig. 2 in einer Vorderansicht bzw. in einer 3-d-Ansicht dargestellt, wobei sich den (11) Schaufeln 2a der ersten Gruppe, d.h. die sich über die gesamte Bogenlänge des Radialrades 1b erstreckenden, längsten Schaufeln 2a, die doppelt so vielen (also 22) Schaufeln 2b der zweiten Gruppe und die viermal so vielen (also 44) Schaufeln 2c der dritten Gruppe anschließen. Bei dieser Ausbildung ist eine verminderte Reibungs Oberfläche für einen gegebenen Strömungsquerschnitt erzielbar. Die Schaufeln 2a, 2b und 2c sind dabei insbesondere schraubenlinienartig gekrümmt ausgeführt.

In Fig. 3 ist ein kartesisches Koordinatensystem x-y-z mit den beiden unabhängigen Parametern r und ϕ eingezeichnet, die den Punkt 21 der Schaufelfläche beschreiben.

Die Rückwärtskrümmung der Schaufeln ist daran zu erkennen, daß die positive Richtung 17 im Punkt 8b der Gehäuseschnittkontur 6 entgegengesetztes Vorzeichen zu der positiven Drehrichtung 18 des Laufrades hat. Außerdem ist der Drehsinn des Laufrades entgegengesetzt zu dem Drehsinn, den ein Teilchen längs der Gehäuseschnittkontur 6 zu durchlaufen hat.

Ein erfindungsgemäßes Radialrad 1b gemäß der Figuren 2-4 weist folgende Werte für die Konstanten c, d, k, und 1 auf:

nabenseitig: $c = 40,945 \text{ mm}$

d = 2,789 mm
 gehäuseseitig: c = 96,372 mm
 d = -28,073 mm

Die Raumkurve der Schaufelfläche weist folgende Konstanten auf:

k = 96,990 mm/Rad
 l = 0 mm.

Das Radialrad 1b hat ferner folgende Maße, bezogen auf die in Fig. 1 dargestellten Meridianschnitt-Punkte:

Nabenradius im Punkt 7a:	41,04 mm
Gehäuseradius im Punkt 8a:	100,49 mm
Nabenradius im Punkt 7b:	153,90 mm
Koordinatensystemursprung:	$Z_0 = 0$ mm
Erstreckung in z-Richtung zwischen den Punkten 7a und 7b:	84,64 mm
Erstreckung in z-Richtung zwischen den Punkten 8a und 8b:	72,59 mm

In Fig. 5 ist ein Meridianschnitt eines weiteren rückwärtsgekrümmten Radialrades 1c dargestellt, das sich von den bisherigen Ausführungen dadurch unterscheidet, daß es aus vier axial hintereinander liegenden Abschnitten 12a, 12b, 12c und 12d besteht, wobei sich die Schaufeln 13a, 13b, 13c und 13d der jeweiligen Abschnitte über die betreffende axiale Länge der Abschnitte 12a-d erstrecken und axial leicht überlappend angeordnet sind. Die Vorder- und Hinterkanten der Schaufeln 13a-d verlaufen vorzugsweise radial, damit keine fliehkraftbedingten Biegemomente im Schaufelfuß wirken. Genau wie bei den weiter oben beschriebenen Schaufelausbildungen sind die Erzeugenden der Schaufeln 2a und 2b und 13a-d radiale Geraden, ebenfalls um Biegemomente zu vermeiden. Die axialen Abschnitte 12a-d sind in der gezeigten Ausführung gleich lang, können bei Bedarf, d.h. in Anpassung an andere geforderte Strömungsbedingungen jedoch auch verschieden lang ausgebildet werden. Das Radialrad 1c gemäß Fig. 5 ist in einer 3-d-Ansicht in Fig. 6 dargestellt. Im ersten Abschnitt 12a sind neun Schaufeln 13a, im zweiten Abschnitt 12b sind dreizehn Schaufeln 13b, im dritten Abschnitt 12c sind dreiundzwanzig Schaufeln 13c und im hintersten Abschnitt 12d sind sechsundfünfzig Schaufeln 13d vorgesehen.

In Fig. 7 ist ein Diagramm zu sehen, bei dem der Verlauf des Oberflächenwirkungsgrades verschiedener Radialräder über der axialen Länge Z aufgetragen ist, wobei mit Z_0 der Schaufeleintritt und Z_1 das axiale Ende der Schaufel bezeichnet. Der Oberflächenwirkungsgrad vergleicht den hydraulischen Durchmesser d_{hydr} eines Strömungskanalquerschnittes (A) (Meridiannormalschnitt) mit dem Kreisdurchmesser d_{theo} für dieselbe Querschnittsfläche, da der Kreis die Funktion mit dem geringsten Umfang für (U) eine gegebene Querschnittsfläche ist. Die beiden Durchmesser lassen sich bestimmen aus :

$$d_{\text{hydr}} = \frac{4A}{U} = \frac{4\pi(R_G^2 - R_N^2)}{n \cdot \cos \epsilon \left\{ \frac{2\pi}{n} (R_G + R_N) + \frac{2}{\cos \epsilon} (R_G - R_N) \right\}}$$

$$d_{\text{theo}} = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{R_G^2 - R_N^2}{n \cos \epsilon}}$$

Der theoretisch maximal erzielbare Oberflächenwirkungsgrad für den Rechteckquerschnitt und den Kreisringabschnitt beträgt 86,6% des Kreisquerschnittes und entspricht der durch die quadratische Querschnittskontur bedingte Umfangszunahme gegenüber dem Kreisumfang. Lediglich theoretisch erzielbar ist dieser Wert, da er für kontinuierlich wachsende Schaufelzahlen gelten würde, tatsächlich jedoch die Schaufelzahl lediglich in diskreten Schritten erhöht werden kann.

Die gestrichelte Linie 14 ist einem Radialrad 1a (Fig. 1) mit zweiundzwanzig am Umfang verteilten Schaufeln zugeordnet. Es ist erkennbar, daß sich der Oberflächenwirkungsgrad nur an einer einzigen Stelle dem theoretischen Wert annähert, nämlich dort, wo der durch die Naben- und die Gehäusekontur und die Schaufeln begrenzte Strömungskanal quadratischen Querschnitt hat. Der Oberflächenwirkungsgrad fällt zum Laufradeintritt nach links und zum Laufradaustritt nach rechts deutlich ab.

Die Linie 15 ist dem erfindungsgemäßen Radialrad 1b gemäß der Figuren 2 und 3 zugeordnet. Es sind zwei Positionen erkennbar, die den axialen Punkten Z_1 und Z_2 gemäß Fig. 2 entsprechen, an denen die Schaufelzahl sich jeweils verdoppelt, womit eine Veränderung der Querschnittskontur einhergeht. Gegenüber dem Radialrad 1a mit nur einer Schaufelanzahl wird der theoretische Wert des Oberflächenwirkungsgrades nun dreimal erreicht. Dieses Radialrad 1b weist insgesamt einen wesentlich verbesserten Oberflächenwirkungsgrad gegenüber dem Radialrad 1a auf.

Eine weitere Verbesserung läßt sich durch das mit Linie 16 eingetragene Radialrad 1c gemäß Fig. 5 und 6 erzielen. Hierbei sind drei Positionen vorhanden, an denen sich die Schaufelzahl erhöht, wodurch nun der theoretische Wert des Oberflächenwirkungsgrades viermal erreicht wird.

5 Patentansprüche

1. Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln, dadurch gekennzeichnet, daß die Meridianschnittkontur der Nabenaußenfläche eine Kettenlinie ist.

2. Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln, dadurch gekennzeichnet, daß die gehäuseseitige Außenkontur der Schaufeln auf einer Hüllfläche liegt, deren Meridianschnittkontur eine Kettenlinie ist.

3. Radialrad für eine Turbomaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gehäuseseitige Außenkontur der Schaufeln auf einer Hüllfläche liegt, deren Meridianschnittkontur eine Kettenlinie ist.

4. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kettenlinie in Richtung der axialen Koordinate (z) eine Funktion des Radius (r) ist, wobei die Kontur näherungsweise durch die nachfolgende Lösung der Differentialgleichung für Minimalflächen bestimmt ist:

$$z = d + c \operatorname{arch} (r/c)$$

wobei d und c Konstanten sind, die sich aus den Randbedingungen am Ein- und Austritt des Radialrades ergeben und wobei $\operatorname{arch} r/c$ der Arcushyperbolicus von r/c ist.

5. Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufeloberflächen oder Abschnitte davon als Schraubflächen ausgebildet sind, wobei die Schaufeloberflächen näherungsweise durch die Vektorfunktion

$$\vec{r}$$

bestimmt sind, mit dem Umfangswinkel (ϕ) und dem Radius (r) als skalare Variable und mit

$$\begin{aligned} x(r, \phi) &= r \cdot \cos \phi \\ r = y(r, \phi) &= r \cdot \sin \phi \\ z(\phi) &= 1 + k\phi \end{aligned}$$

sowie mit x,y,z als Raumkoordinaten und mit 1 und k als Konstanten, die durch die Randbedingungen am Ein- und Austritt des Radialrades bestimmt sind.

6. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufeln vom Eintritt bis mindestens zur Hälfte der Stromfadenlänge des Radialrades eine näherungsweise Schraubenfläche als Oberfläche aufweisen.

7. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächen der Schaufeln austrittsseitig näherungsweise Schraubflächen sind, wobei sich diese über mindestens die Hälfte der Stromfadenlänge des Radialrades erstrecken.

8. Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumkurve der Schnittlinie von Schaufelflächen und nabenseitiger Außenfläche und/oder der Schnittlinie von Schaufelflächen und gehäuseseitiger Außenkontur der Schaufeln Ketten-Schraub-Linien sind.

9. Radialrad nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Ketten-Schraub-Linie eine Vektorfunktion

$$\vec{r}(\varphi)$$

mit dem Winkel (φ) als skalare Variable ist und mit

$$\begin{aligned} x(\varphi) &= c \cdot \cosh[k \cdot \varphi + 1 - d/c] \cos \varphi \\ y(\varphi) &= c \cdot \cosh[k \cdot \varphi + 1 - d/c] \sin \varphi \\ z(\varphi) &= 1 + k \varphi \end{aligned}$$

wobei c, d, 1 und k Konstanten sind, die aus den Randbedingungen am Ein- und Austritt des Radialrades bestimmt werden.

10. Radialrad für eine Turbomaschine mit einer Nabe und an dem nabenseitigen Außenumfang verteilten Schaufeln, dadurch gekennzeichnet, daß Schaufeln in Strömungsrichtung hintereinander angeordnet sind und in jedem Meridiannormalschnitt entlang des Strömungskanals unter dem Neigungswinkel (ϵ) zur Radialrichtung mit einem Nabenradius (R_N) und einem Gehäuseradius (R_G) die Anzahl (n) der Schaufeln in Strömungsrichtung durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$n = \frac{2 \pi (R_G + R_N) \cos \epsilon}{2 (R_G - R_N)}$$

11. Radialrad nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meridianschnittkontur der Nabenaußenfläche und/oder der Hüllfläche der gehäuseseitigen Außenkontur der Schaufeln eine Kettenlinie ist.

12. Radialrad nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufelflächen oder Abschnitte davon als Schraubflächen ausgebildet sind.

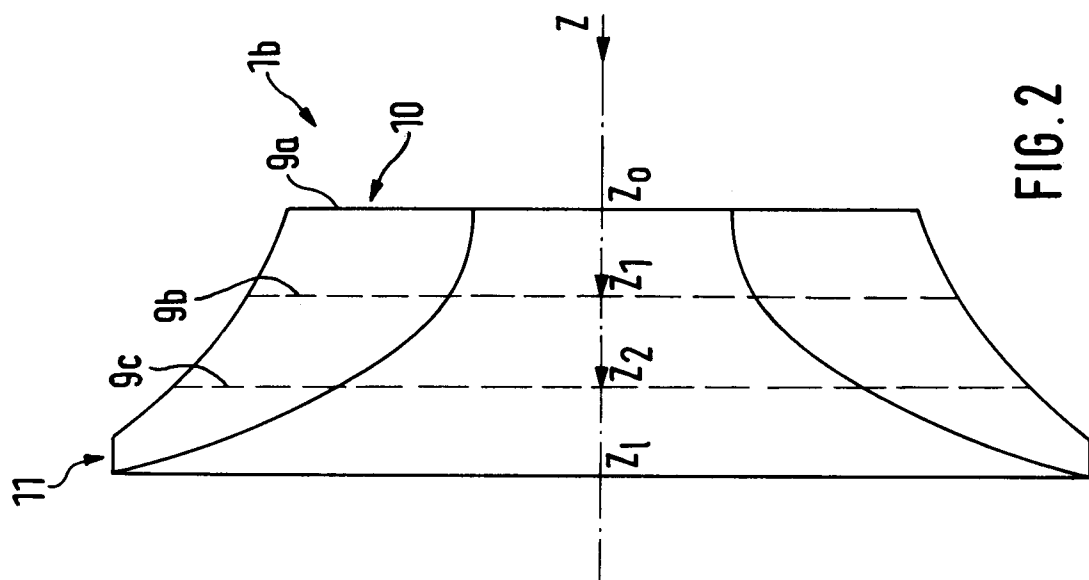
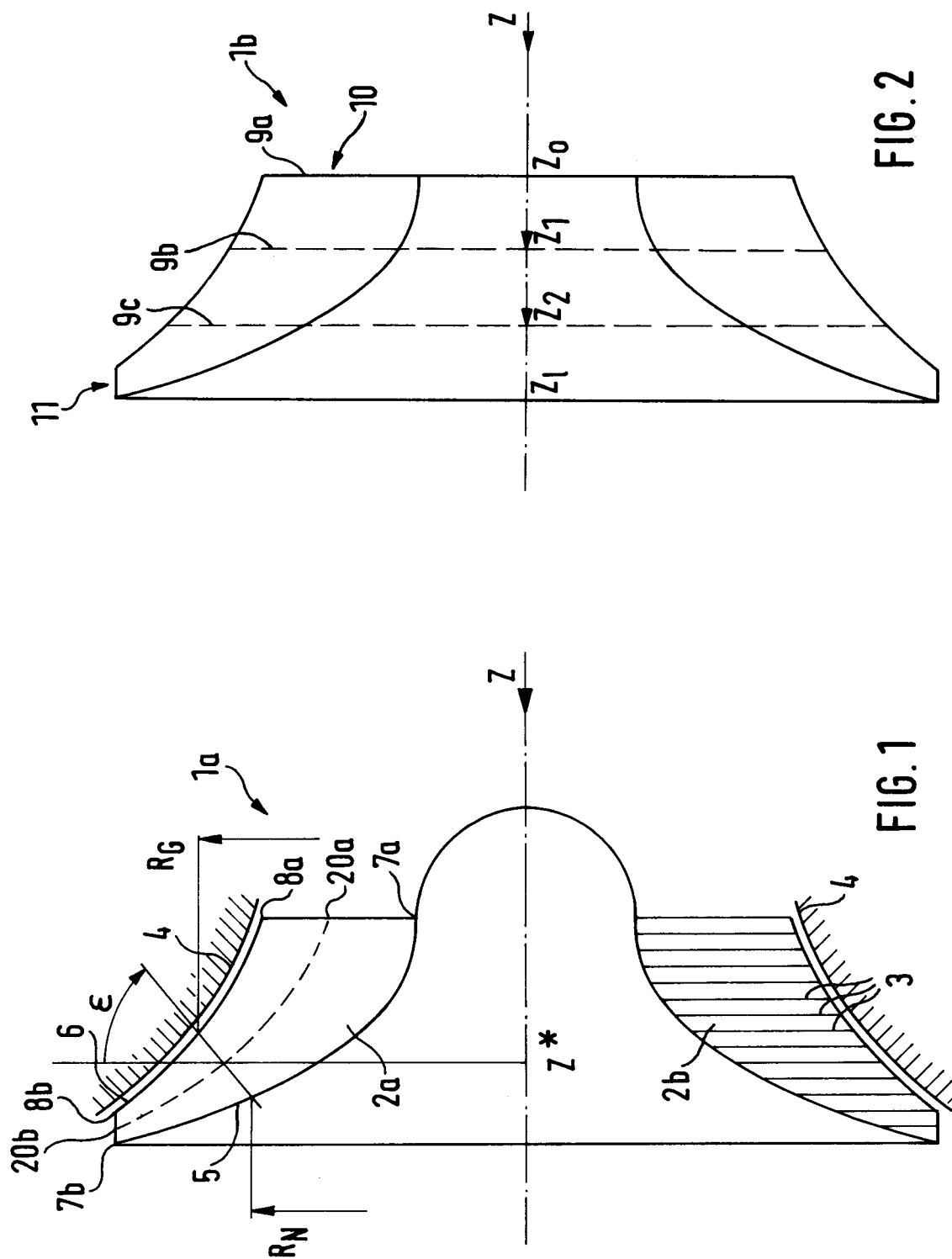
13. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Schaufeln des Radialrades am Austritt doppelt, vierfach oder achtfach so hoch ist wie am Eintritt.

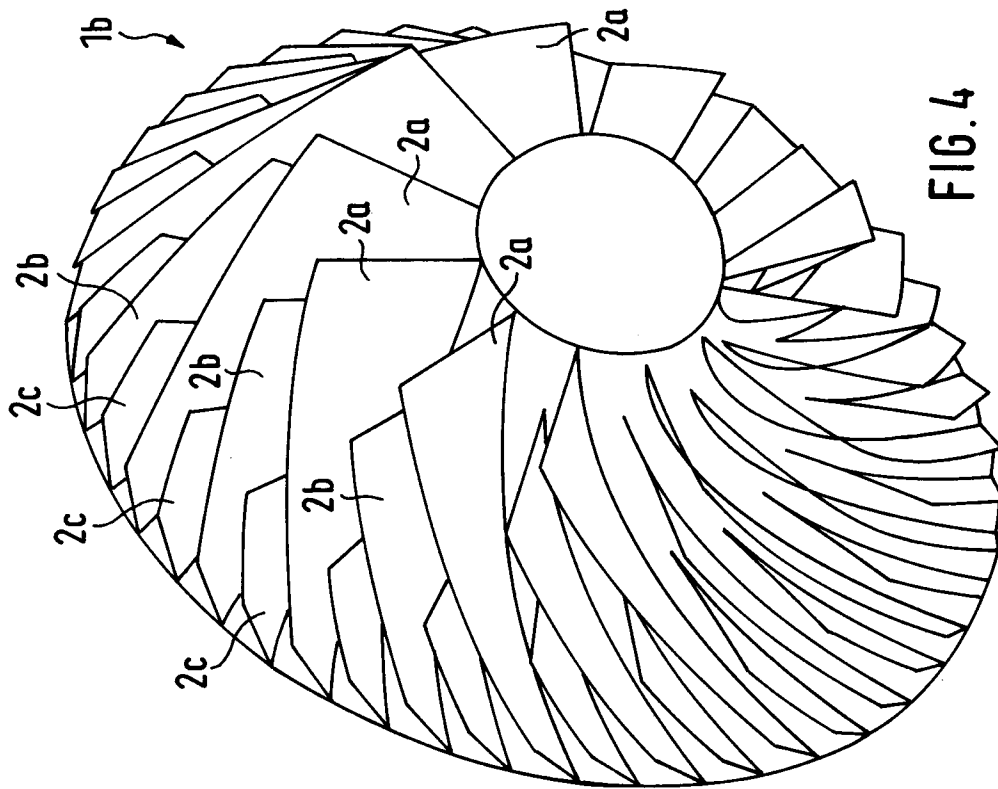
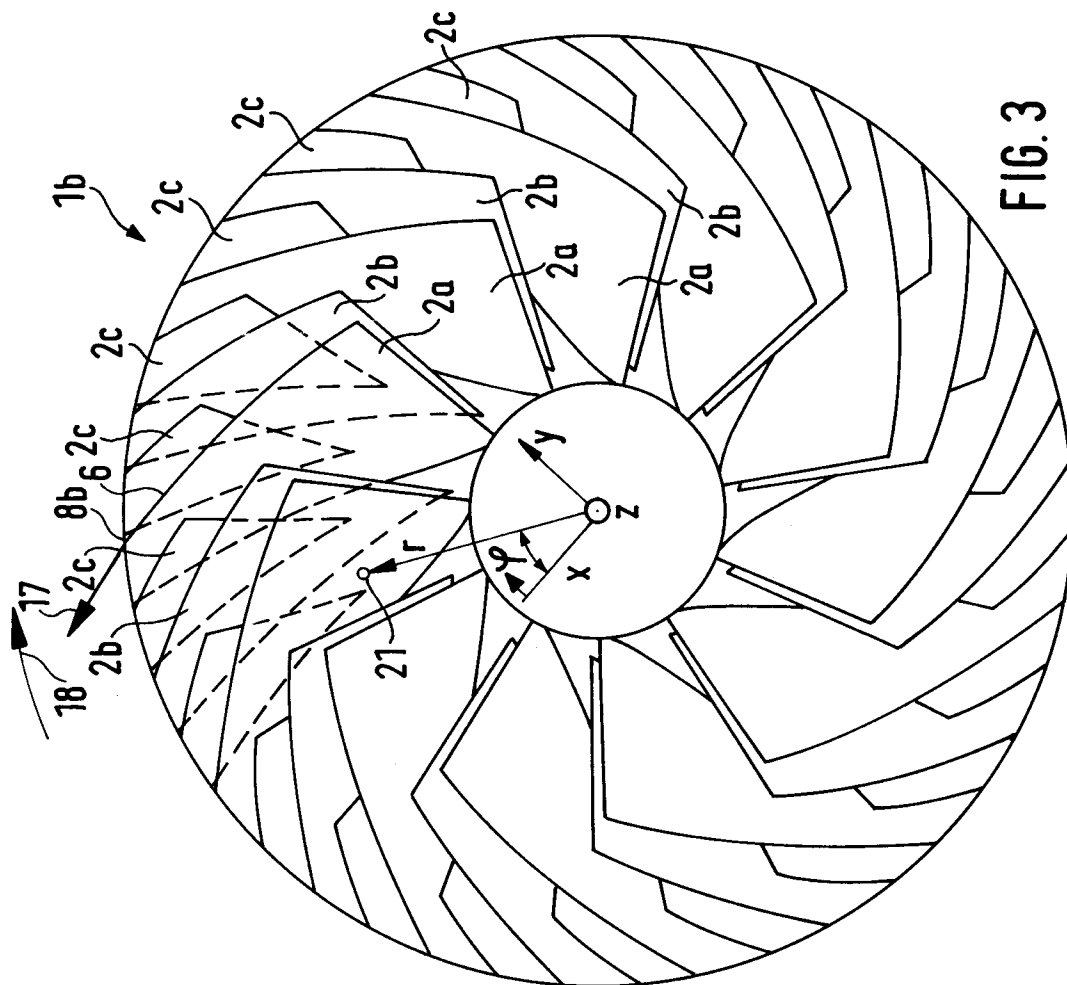
14. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei aufeinander folgende axiale Abschnitte mit am Umfang verteilten, sich nur über die axiale Länge eines Abschnittes erstreckenden Schaufeln vorgesehen sind, wobei sich die Hinterkanten der vorherigen Schaufelgruppe an die Vorderkanten der nächsten Schaufelgruppe in Umfangsrichtung versetzt überlappend anschließen.

15. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugenden der Schaufeln radial verlaufen.

16. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die freiliegenden Schaufelkanten entlang eines Teils der gesamten Erstreckung eine Umfangskrümmung erfahren, die stärker ausgeprägt ist als die Meridiankrümmung.

17. Radialrad nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Radialrad rückwärts gekrümmte Schaufeln besitzt.





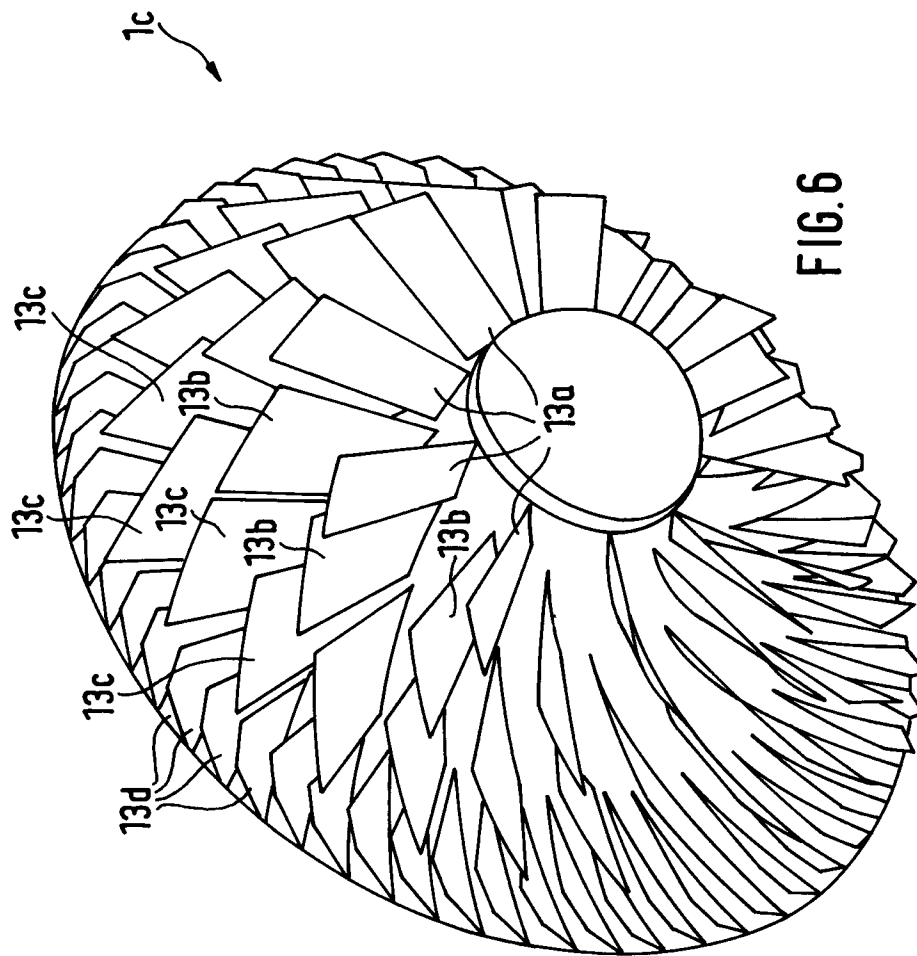
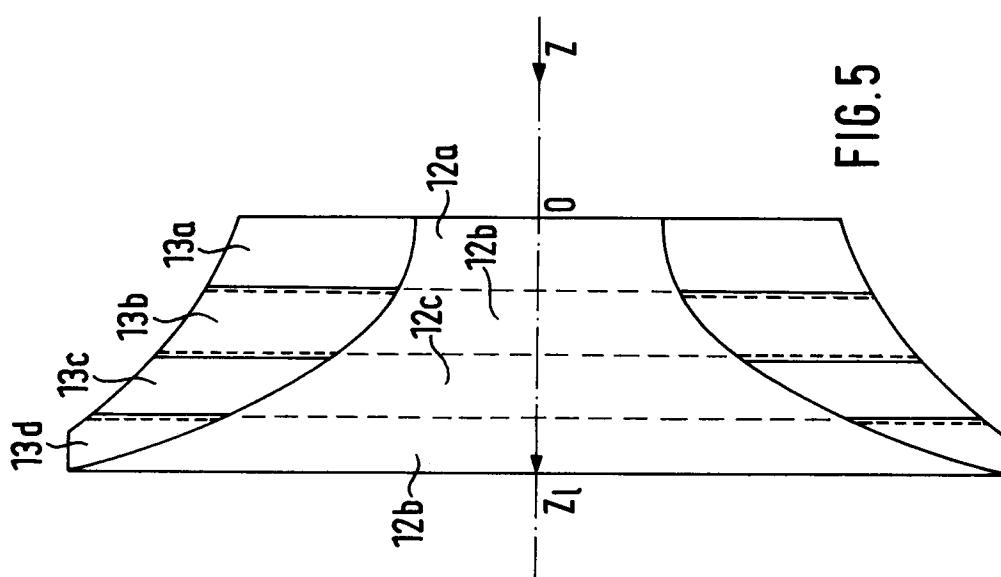
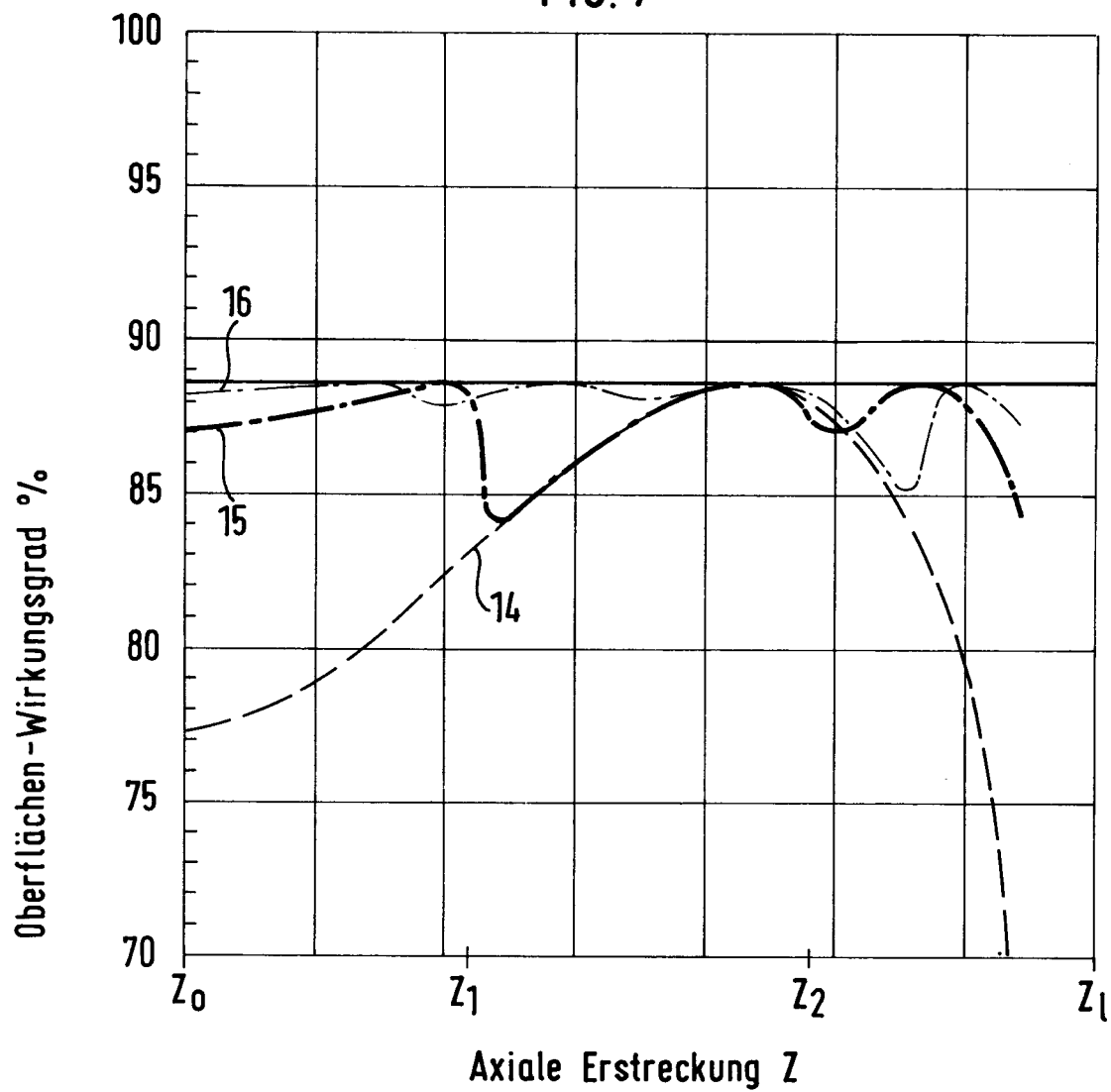


FIG. 7



— — —	Radialrad	1a	mit	22	Schaufeln
- - -	Radialrad	1b	mit	11, 22, 44	Schaufeln
- · - · -	Radialrad	1c	mit	9, 13, 23, 56	Schaufeln



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 11 5357

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section PQ, Week C13, 7. Mai 1980 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class Q51, AN C8631C/13 & SU-673 749 (POLYAKOV AA) 18. Juli 1979	1,15	F 01 D 5/04 F 04 D 29/28
A	— — —	4,10	
A	US-A-3 028 140 (LAGE) * Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 14 * * Spalte 1, Zeile 29 - Zeile 39 * * Spalte 1, Zeile 62 - Spalte 2, Zeile 40; Abbildungen **	1-4,15	
A	GB-A-2 127 905 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * Zusammenfassung * * Seite 1, Zeile 6 - Zeile 9 * * Seite 2, Zeile 76 - Zeile 118 * * Seite 3, Zeile 126 - Zeile 130 * * Seite 6, Zeile 104 - Zeile 116; Abbildungen 1,3,4,7,10 **	5,10, 12-14	
A	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section PQ, 22. Mai 1991 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class Q51, AN 91-100031/14 & SU-A-1 562 474 (LISICHKIN) 7. Mai 1990 * Zusammenfassung **	1-4,10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			F 01 D F 04 D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		27 November 91	
		Prüfer	
		ZIDI K.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D: in der Anmeldung angeführtes Dokument	
A: technologischer Hintergrund		L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
O: nichtschriftliche Offenbarung			
P: Zwischenliteratur		&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze			