

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 574 666 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**14.09.2005 Patentblatt 2005/37**

(51) Int Cl.7: **F01D 5/10, F01D 5/16**

(21) Anmeldenummer: **04005463.7**

(22) Anmeldetag: **08.03.2004**

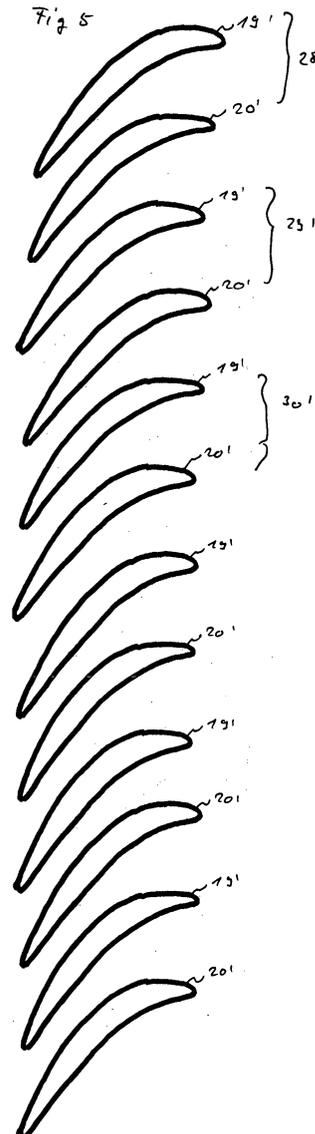
(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK**

(72) Erfinder:  
• **Stürer, Heinrich, Dr.**  
**45721 Haltern (DE)**  
• **Truckenmüller, Frank**  
**45470 Mülheim (DE)**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**80333 München (DE)**

(54) **Turbinenschaufelreihe**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufelreihe (17) für eine Strömungsmaschine mit einer Anzahl von Turbinenschaufeln (19,20,25,26,27), wobei die Turbinenschaufeln (19,20,25,26,27) in wenigstens zwei Gruppen aufgeteilt sind, die sich in einer mechanischen Eigenfrequenz der ihnen zugehörigen Turbinenschaufeln (19,20,25,26,27) unterscheiden.



**EP 1 574 666 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufelreihe mit einer Anzahl von Turbinenschaufeln sowie eine Strömungsmaschine, die eine solche Turbinenschaufelreihe aufweist.

**[0002]** Eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Dampfturbine, weist im wesentlichen bewegliche Teile und stehende Teile auf. Zu den beweglichen Teilen zählt ein um eine Rotationsachse drehbar gelagerter Rotor. Der Rotor ist üblicherweise in einem Innengehäuse untergebracht. Das Innengehäuse ist in manchen Ausführungsformen einer Dampfturbine innerhalb eines Außengehäuses angebracht. Der Rotor weist eine Rotormantelfläche auf, an der symmetrisch zur Rotationsachse in radialer Richtung verlaufende Laufschaufeln angebracht sind.

Eine Laufschaufelreihe besteht aus Laufschaufeln, die in einer gemeinsamen Ebene senkrecht zur Rotationsachse an dem Rotor angebracht sind.

**[0003]** Am Innengehäuse sind mehrere aus Leitschaufeln bestehende Leitschaufelreihen angebracht. Die Leitschaufelreihen unterscheiden sich unter anderem durch die Länge der einzelnen Leitschaufeln.

**[0004]** Das Innengehäuse und der Rotor werden derart ausgebildet, dass zwischen den Leitschaufelreihen die Laufschaufelreihen hineinragen. Eine Leit- bzw. Laufschaufel wird auch als Turbinenschaufel bezeichnet. Ebenso wird eine Leit- bzw. Laufschaufelreihe auch als Turbinenschaufelreihe bezeichnet. Ein Strömungsmedium, insbesondere Wasserdampf, strömt über einen Eingangsbereich in die Dampfturbine und wird durch die einzelnen Lauf- und Leitschaufeln umgelenkt. Die Temperatur des Strömungsmediums sinkt hierbei. Es findet eine Energieumwandlung von zunächst thermischer Energie in kinetische Energie statt. In Folge dieser Energieumwandlung wird der Rotor in eine Rotationsbewegung versetzt. Diese Rotationsbewegung kann zur Erzeugung von elektrischer Energie mittels eines an dem Rotor angeordneten Generators eingesetzt werden.

**[0005]** Üblicherweise werden Dampfturbinen je nach Druck und Temperaturbereich in Hochdruck-, Mittel- und Niederdruckdampfturbinen eingeteilt. In Niederdruckturbinen sind die Volumenströme des Strömungsmediums verhältnismäßig groß. Eine Niederdruckdampfturbine ist durch verhältnismäßig lange Lauf- und Leitschaufeln gekennzeichnet.

**[0006]** In Hochdruck- bzw. Mitteldruckdampfturbinen werden die Leit- und Laufschaufeln in der Regel massiv ausgeführt. Dampfturbinen werden in der Regel für Drehzahlen von 50 bzw. 60 Hz. konstruiert. Bei diesen Drehzahlen von umgerechnet 3000 Umdrehungen/min bzw. 3600 Umdrehungen/min treten enorme Fliehkräfte in den Laufschaufeln auf. Die Laufschaufeln einer Niederdruckdampfturbine werden daher hohl ausgeführt, um das Gewicht der Laufschaufeln auf ein Minimum zu reduzieren. Darüber hinaus ist eine hohl ausgeführte

Laufschaufel kostengünstiger als eine massiv ausgeführte Laufschaufel. Neben den Laufschaufeln werden auch die Leitschaufeln üblicherweise jedenfalls in Niederdruckdampfturbinen hohl ausgeführt.

**[0007]** Die hohl ausgebildeten Leit- und Laufschaufeln werden aus einem Blech gefertigt oder aus zwei tiefgezogenen Blechhälften zusammen verschweißt. Nachteilig im Betrieb einer Dampfturbine sind Schwingungen der Leit- und Laufschaufeln. Die Eigenfrequenzen von hohl ausgebildeten Leit- und Laufschaufeln sind im Vergleich zu massiven Leitschaufeln niedriger.

**[0008]** Nachteil einer hohl ausgebildeten Leit- oder Laufschaufel ist, bedingt durch die relativ niedrigen Eigenfrequenzen, die Neigung zu einem sogenannten Flattern. Unter Flattern wird eine aerodynamische Anregung mit der Eigenfrequenz der Lauf- bzw. Leitschaufeln verstanden. Ein zu starkes Flattern kann zu einem Versagen der Dampfturbine insgesamt führen.

**[0009]** Zur Vermeidung von Schwingungen der Leit- und Laufschaufeln wurden diese bisher möglichst aus steifem Material ausgebildet.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Turbinenschaufelreihe vorzustellen, die geringe unzulässige Schwingungen aufweist.

**[0011]** Die Aufgabe wird durch eine Turbinenschaufelreihe mit einer Anzahl von Turbinenschaufeln gelöst, wobei die Turbinenschaufeln in wenigstens zwei Gruppen aufgeteilt sind, die sich in einer mechanischen Eigenfrequenz der ihnen zugehörigen Turbinenschaufeln unterscheiden.

**[0012]** Die Erfinder haben erkannt, dass neben der Anregung zum Flattern einzelner Leit- bzw. Laufschaufel, eine weitere Flattererscheinung auftritt, wenn benachbarte Leit- bzw. Laufschaufeln ähnliche oder gleiche Eigenfrequenzen aufweisen. Dies führt zu resonanzartigen verstärkten Schwingungen, die ebenfalls zu einem Versagen der ganzen Dampfturbine führen könnten.

**[0013]** Die Turbinenschaufelreihe wird erfindungsgemäß nicht durchgehend mit identischen Turbinenschaufeln ausgebildet. Vielmehr werden bewusst wenigstens zwei Gruppen von Turbinenschaufeln gebildet. Die mechanische Eigenfrequenz einer Turbinenschaufel in einer Gruppe unterscheidet sich von der mechanischen Eigenfrequenz einer Turbinenschaufel einer anderen Gruppe. Eine erzwungene Schwingung einer Turbinenschaufel aus einer Gruppe hat einen geringeren Einfluss auf die Schwingung einer Turbinenschaufel aus einer anderen Gruppe als auf die Schwingung einer Turbinenschaufel aus der gleichen Gruppe. Eine gegenseitige Anregung der Turbinenschaufeln aus verschiedenen Gruppen wird dadurch weitestgehend minimiert.

**[0014]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Turbinenschaufelreihe in einer Anzahl räumlich aneinander anschließender Blöcke aufgeteilt ist, wobei die Turbinenschaufeln jedes Blockes aus verschiedenen Gruppen stammen. Dadurch wird eine gegenseitige Anregung der Turbinenschaufeln noch weiter vermindert, da

der räumliche Abstand zwischen zwei Turbinenschaufeln aus verschiedenen Gruppen besonders gering ist.

**[0015]** Ein weiterer Vorteil entsteht, wenn die Reihenfolge der Turbinenschaufeln innerhalb der Blöcke hinsichtlich ihrer Gruppenzugehörigkeit gleichbleibend ist.

**[0016]** Dadurch wird eine Anordnung der Turbinenschaufeln vorgestellt, die einen hohen Grad an Symmetrie zeigt. Mit Modellrechnungen kann ermittelt werden, welche Schwingungen der Turbinenschaufeln im Betrieb zu erwarten sind. Durch die Anordnung der Turbinenschaufeln in einer bestimmten Reihenfolge wird eine Möglichkeit geschaffen, dicht neben einer Turbinenschaufel aus einer Gruppe immer eine geeignete Turbinenschaufel aus einer anderen Gruppe anzuordnen. Außerdem wird eine gegenseitige Anregung über die Turbinenschaufeln insgesamt vermindert.

**[0017]** In einer vorteilhaften Weiterbildung wird eine Gruppe hinsichtlich ihrer Eigenfrequenz durch eine Auswahl ihrer Materialdicke bestimmt. Dadurch wird eine kostengünstige und vergleichsweise einfache Möglichkeit geschaffen, Turbinenschaufeln mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen zu schaffen.

**[0018]** Zweckmäßigerweise wird die Turbinenschaufelreihe in einer Strömungsmaschine eingesetzt. Insbesondere kann die Turbinenschaufelreihe in Gas- oder Dampfturbinen, in Verdichtern, in Pumpen oder in Gebläsen eingesetzt werden.

**[0019]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Dabei haben mit denselben Bezugszeichen versehene Komponenten die gleiche Funktionsweise.

**[0020]** Dabei zeigen:

- Fig. 1 ein Schnittbild einer Dampfturbine;
- Fig. 2 eine Draufsicht auf eine Turbinenschaufelreihe;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Turbinenschaufel;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Turbinenschaufelreihe;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Turbinenschaufelreihe.

**[0021]** In Figur 1 ist ein Schnittbild durch eine Dampfturbine 1 als Ausführungsform einer Strömungsmaschine dargestellt. Die Dampfturbine 1 weist einen Rotor 2 mit einer Rotoroberfläche auf, der in einer nicht näher dargestellten Weise um eine Rotationsachse 3 drehbar gelagert ist. Die Dampfturbine 1 weist ein Innegehäuse 4 auf, das rotationssymmetrisch zur Rotationsachse 3 angeordnet ist. Der Rotor 2 weist radial verlaufende Laufschaufeln 5 auf, die in einer Umfangsrichtung rotationssymmetrisch zur Rotationsachse 3 auf der Rotor-

oberfläche zu einer Laufschaufelreihe (17) hintereinander angebracht sind. In der in Figur 1 dargestellten Dampfturbine 1 ist durch die Schnittdarstellung lediglich eine Laufschaufel 5 je Laufschaufelreihe (17) zu erkennen. In Richtung der Rotationsachse 3 sind je nach Ausführungsform der Dampfturbine 1 eine bestimmte Anzahl an Turbinenlaufschaufelreihen ausgebildet.

**[0022]** An einer Innenfläche des Innegehäuses 4 sind Leitschaufeln 6 angebracht. Mehrere Leitschaufeln 6 werden rotationssymmetrisch zur Rotationsachse 3 am Innegehäuse 4 angebracht.

**[0023]** Ein Strömungsmedium, insbesondere Dampf, strömt über einen Einströmbereich 8 in die Dampfturbine ein. Das Strömungsmedium strömt entlang der Rotationsachse abwechselnd durch eine Leit- bzw. Laufschaufelreihe. Die thermische Energie des Strömungsmediums wird hierbei in kinetische Energie umgewandelt. Der Rotor 3 wird dadurch in Drehung versetzt.

**[0024]** Das Strömungsmedium strömt anschließend aus einem Ausströmbereich 9 aus der Dampfturbine.

**[0025]** In Figur 2 ist eine Draufsicht auf eine Laufschaufelreihe 17 zu sehen. Die Laufschaufeln 5 sind in einer Rotationsrichtung 11 in äquidistanten Abständen auf dem Rotor 2 angeordnet.

**[0026]** In Figur 3 ist eine Laufschaufel 5 zu sehen. Die Laufschaufel 5 wird aus einer Richtung 12 von einem Strömungsmedium angeströmt. Die Laufschaufel 5 ist hohl ausgeführt und weist eine Druckseite 13 und eine Saugseite 14 auf. Das Strömungsmedium strömt zunächst an eine Anströmkante 15 und strömt anschließend an eine Abströmkante 16. Die Laufschaufel 5 bewegt sich im Betrieb um die Rotationsachse 3.

**[0027]** In Figur 4 ist eine abgewinkelte Turbinenschaufelreihe 17 dargestellt. Die Turbinenschaufelreihe 17 kann aus Leit- oder Laufschaufeln bestehen.

**[0028]** Die Turbinenschaufelreihe 17 weist eine erste Eigenfrequenz aufweisende erste Turbinenschaufel 19 auf. Zur ersten Turbinenschaufel 19 direkt benachbart ist eine zweite Eigenfrequenz aufweisende zweite Turbinenschaufel 20 angeordnet. Die erste und zweite Eigenfrequenz ist unterschiedlich. Die erste Turbinenschaufel 19 wird hierbei hohl ausgeführt und von einem Blech mit einer bestimmten ersten Blechdicke gebildet. Die zweite Turbinenschaufel 20 wird ebenfalls hohl ausgeführt und von einem zweiten Blech mit einer zweiten Blechdicke gebildet. Durch die Wahl der Blechdicke können beliebige Eigenfrequenzen ausgebildet werden. Neben der zweiten Turbinenschaufel 20 ist eine dritte Eigenfrequenz aufweisende dritte Turbinenschaufel 25 angeordnet. Die dritte Turbinenschaufel 25 wird ebenso wie die erste 19 und zweite Turbinenschaufel 20 hohl ausgeführt. Neben der dritten Turbinenschaufel 25 wird eine weitere Eigenfrequenz aufweisende weitere Turbinenschaufel 26 angeordnet. Natürlich können die Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26 auch abwechselnd massiv und hohl oder nur massiv ausgeführt werden.

**[0029]** Mit der Anordnung einer eine zusätzliche Ei-

genfrequenz aufweisenden zusätzlichen Turbinenschaufel 27 wird schließlich ein erster Block 28 gebildet, der aus einer vorbestimmten Anzahl von durch ihre Eigenfrequenz unterscheidbaren Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 ausgebildet ist. In dem in Figur 4 dargestellten Ausführungsbeispiel weist der erste Block 28 fünf Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 auf.

**[0030]** Die Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 sind in diesem Ausführungsbeispiel in fünf Gruppen aufgeteilt, wobei sich die Gruppen in einer mechanischen Eigenfrequenz der ihnen zugehörigen Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 unterscheiden.

**[0031]** In dem in Figur 4 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Reihenfolge innerhalb der Blöcke 28, 29, 30 hinsichtlich ihrer Gruppenzugehörigkeit gleichbleibend.

**[0032]** Denkbar ist auch eine beliebige Reihenfolge der Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 in den Blöcken.

**[0033]** Ein Block kann aber auch weniger Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 aufweisen.

**[0034]** Neben dem ersten Block 28 wird ein zweiter Block 29 angeordnet. Der zweite Block 29 weist die gleiche Anzahl an Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 auf, wie der erste Block 28. Die Reihenfolge und Eigenfrequenzen der Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 des ersten Blockes 28 und des zweiten Blockes 29 sind hierbei identisch. An dem zweiten Block 29 wird ein weiterer Block 30 angeordnet. Der weitere Block 30 weist genauso viele Turbinenschaufeln auf, wie der erste Block 28 und der zweite Block 29 und ist, was die Reihenfolge der Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 und die Eigenfrequenzen anbelangt mit diesen identisch. Eine Turbinenschaufelreihe 17 wird schließlich ausgebildet, die eine vorbestimmte Anzahl Blöcke 28, 29, 30 aufweist. Die Anzahl an Blöcken 28, 29, 30 hängt von der Größe der Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 und von dem Durchmesser des Rotors 2 ab.

**[0035]** Die Blöcke 28, 29, 30 sind derart ausgebildet, dass die Turbinenschaufeln 19, 20, 25, 26, 27 jedes Blockes 28, 29, 30 aus verschiedenen Gruppen stammen.

**[0036]** Das Ausführungsbeispiel einer Turbinenschaufelreihe 17 in Figur 5 weist eine erste Eigenfrequenz aufweisende erste Turbinenschaufel 19' und eine zweite Eigenfrequenz aufweisende zweite Turbinenschaufel 20' auf. Die erste Turbinenschaufel 19' und die zweite Turbinenschaufel 20' bilden gemeinsam einen ersten Block 28'. Ein zweiter Block 29' liegt direkt neben dem ersten Block 28'. Neben dem zweiten Block 29' ist wiederum ein weiterer Block 30' angebracht, der eine erste Turbinenschaufel 19' und eine zweite Turbinenschaufel 20' aufweist. An diesem weiteren Block 30' grenzen weitere Blöcke, die aus einer ersten Turbinenschaufel 19 und einer zweiten Turbinenschaufel 20 bestehen. Die Anzahl an Blöcken 28', 29', 30' hängt von der Größe der Turbinenschaufeln 19', 20' und von dem Durchmesser des Rotors 2 ab.

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufelreihe (17) mit einer Anzahl von Turbinenschaufeln (19, 19', 20, 20', 25, 26, 27) **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufeln (19, 19', 20, 20', 25, 26, 27) in wenigstens zwei Gruppen aufgeteilt sind, die sich in einer mechanischen Eigenfrequenz der ihnen zugehörigen Turbinenschaufeln (19, 19', 20, 20', 25, 26, 27) unterscheiden.
2. Turbinenschaufelreihe (17) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufelreihe (17) in einer Anzahl räumlich aneinander anschließender Blöcke (28, 28', 29, 29', 30, 30') aufgeteilt ist, wobei die Turbinenschaufeln (19, 19', 20, 20', 25, 26, 27) jedes Blockes (28, 28', 29, 29', 30, 30') aus verschiedenen Gruppen stammen.
3. Turbinenschaufelreihe (17) nach 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Reihenfolge der Turbinenschaufeln (19, 19', 20, 20', 25, 26, 27) innerhalb der Blöcke (28, 28', 29, 29', 30, 30') hinsichtlich ihrer Gruppenzugehörigkeit gleichbleibend ist.
4. Turbinenschaufelreihe (17) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Gruppe hinsichtlich ihrer Eigenfrequenzen durch eine Auswahl ihrer Blechdicke bestimmt ist.
5. Strömungsmaschine mit einer Turbinenschaufelreihe (17) nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

Fig 1:

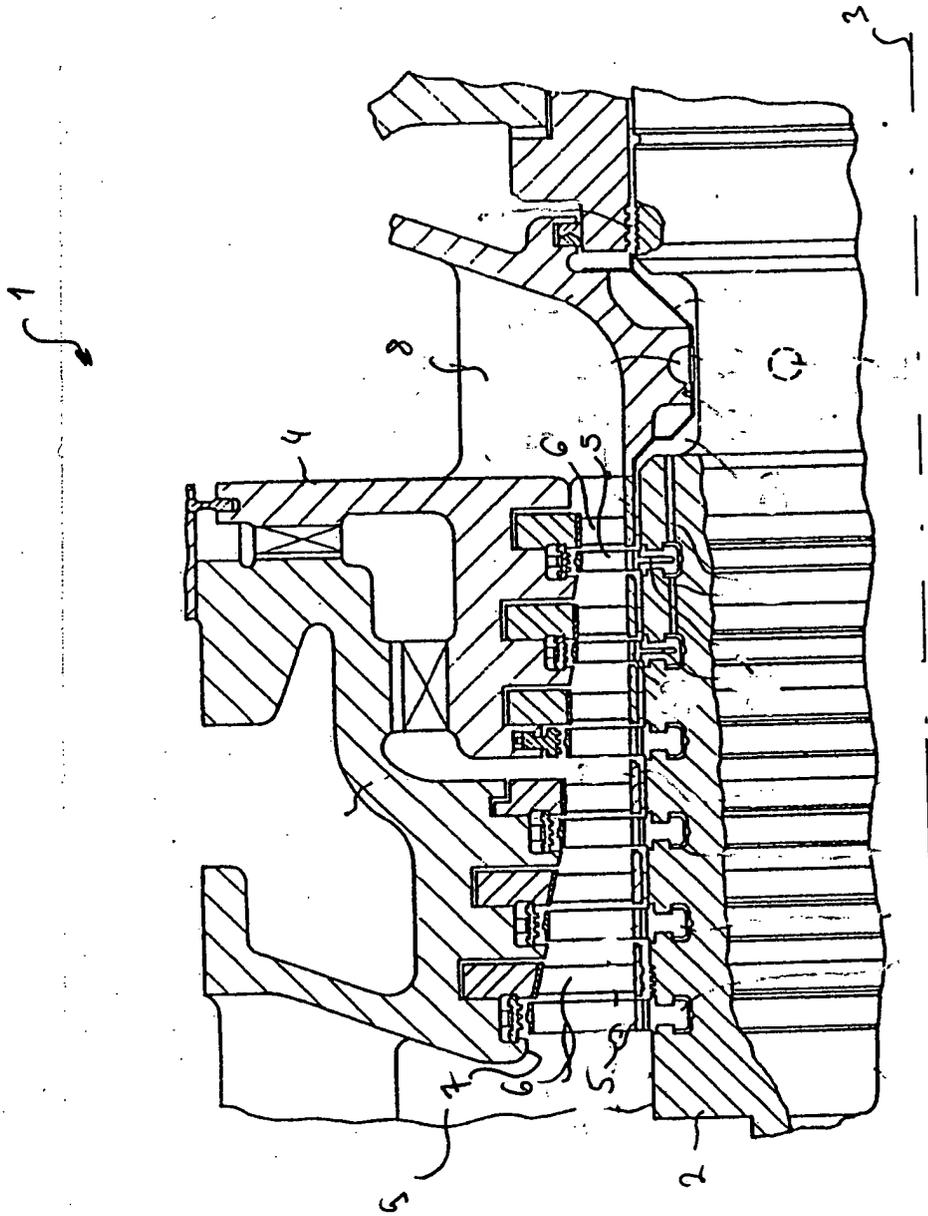


Fig 2:

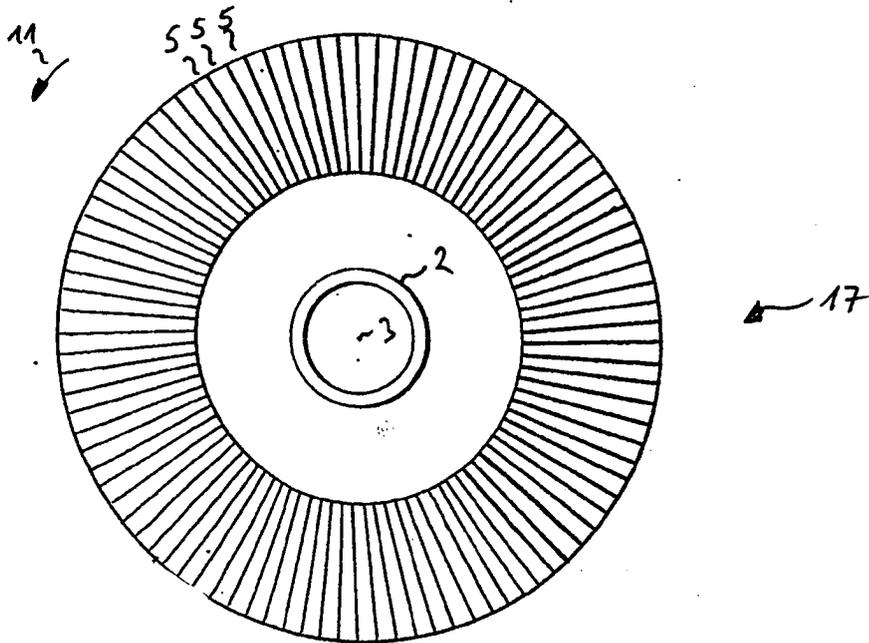
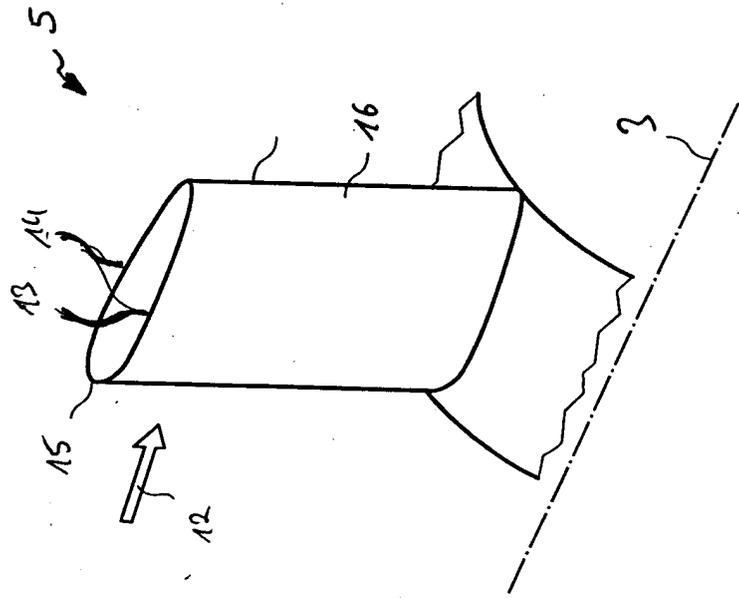
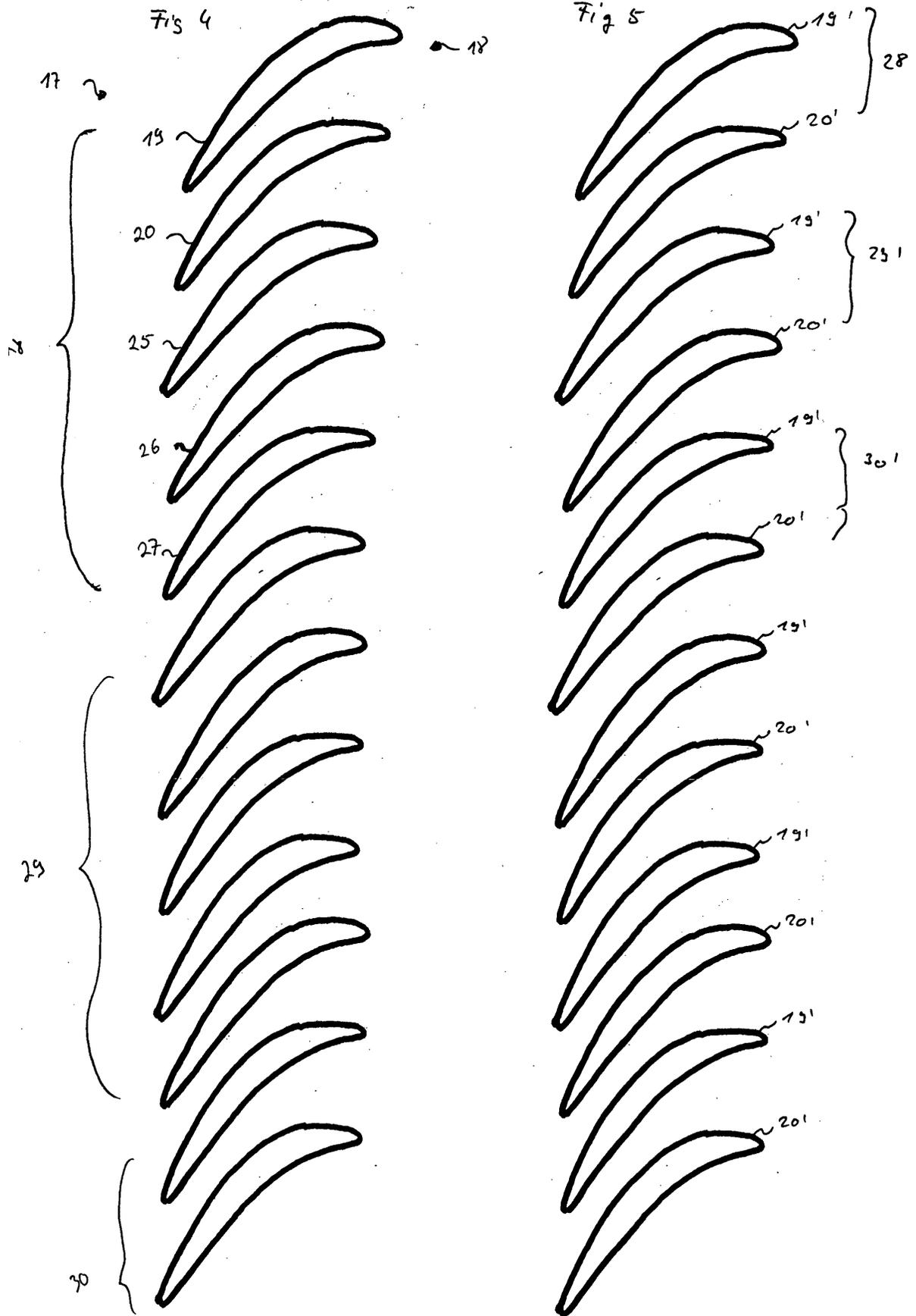


Fig 3:







EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 6 042 338 A (MURTHY DURBHA V ET AL) 28. März 2000 (2000-03-28) * Spalte 5, Zeile 4 - Zeile 24 * * Abbildungen *	1-5	F01D5/10 F01D5/16
X	US 6 379 112 B1 (MONTGOMERY MATTHEW) 30. April 2002 (2002-04-30) * Abbildung 1 *	1-3,5	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 018, Nr. 640 (M-1717), 6. Dezember 1994 (1994-12-06) -& JP 06 248902 A (TOSHIBA CORP), 6. September 1994 (1994-09-06) * Zusammenfassung; Abbildung 8 *	1-3,5	
X	US 2 916 258 A (KLINT ROBERT V) 8. Dezember 1959 (1959-12-08) * Spalte 3, Zeile 54 - Spalte 4, Zeile 4 * * Abbildungen *	1,2,4,5	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 008, Nr. 284 (M-348), 26. Dezember 1984 (1984-12-26) -& JP 59 150903 A (TOSHIBA KK), 29. August 1984 (1984-08-29) * Zusammenfassung *	1-3,5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>17. August 2004</b>	Prüfer <b>Angelucci, S</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

3  
EPO FORM 1503 03/02 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 00 5463

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-08-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6042338	A	28-03-2000	KEINE	
-----				
US 6379112	B1	30-04-2002	EP 1205633 A2	15-05-2002
			JP 2002147203 A	22-05-2002
-----				
JP 06248902	A	06-09-1994	JP 3272088 B2	08-04-2002
-----				
US 2916258	A	08-12-1959	KEINE	
-----				
JP 59150903	A	29-08-1984	JP 1786030 C	31-08-1993
			JP 4075361 B	30-11-1992
-----				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82