

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 144 540 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
22.03.2017 Patentblatt 2017/12

(51) Int Cl.:
F04D 29/32 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15185447.8**

(22) Anmeldetag: **16.09.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

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

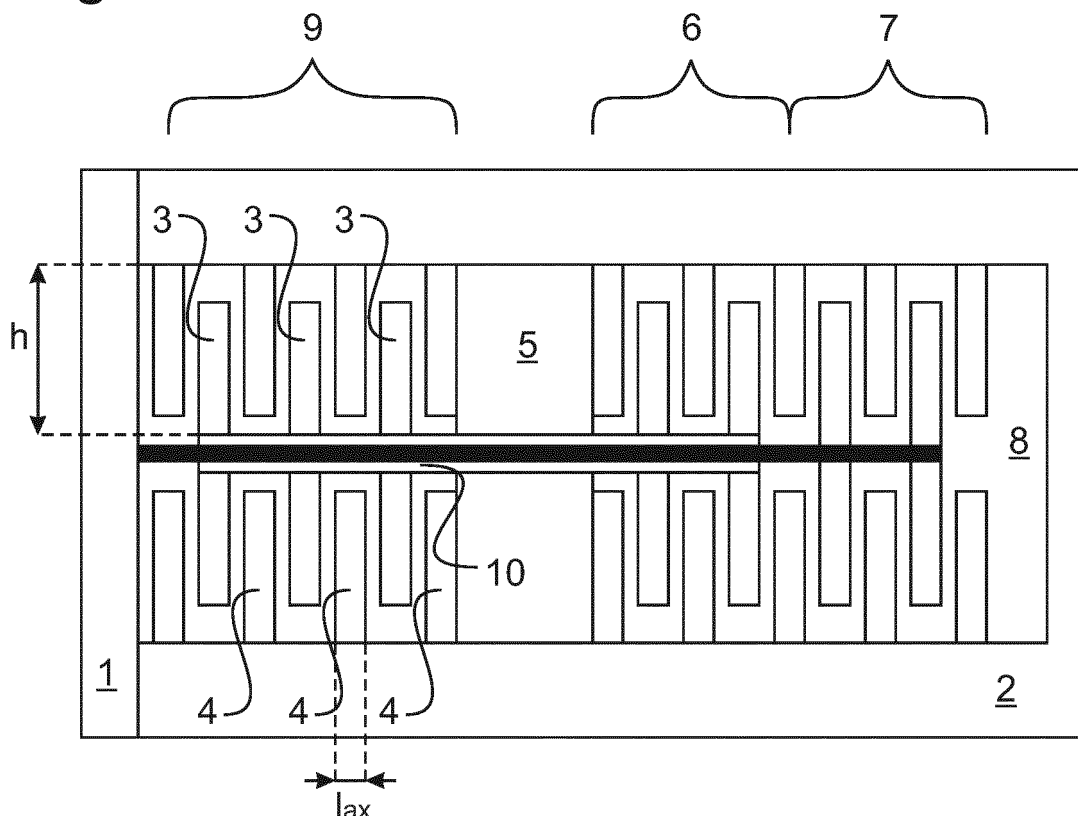
(72) Erfinder:
• **Humhauser, Werner**
85368 Moosburg (DE)
• **Matzgeller, Roland**
85256 Vierkirchen (DE)

(54) GASTURBINEN-VERDICHTERSTUFE

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verdichterstufe für eine Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, mit einem Laufgitter (3) und einem, insbesondere stromabwärtig benachbarten, Leitgitter (4), wobei die Drosselziffer σ und das durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe (h) und mittlerer Sehnenlänge (l_{ax}) definierte Seitenverhältnis AR_{ax} der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

genügt.

Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verdichterstufe für eine Gasturbine, eine Gasturbine mit wenigstens einer solchen Verdichterstufe, ein Flugtriebwerk mit einer solchen Gasturbine sowie ein Verfahren zur Auslegung einer solchen Verdichterstufe und ein Verfahren zur Auslegung eines Verdichters einer solchen Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks.

[0002] Bisher werden Verdichterstufen von Gasturbinen so ausgelegt, dass ihre Drosselziffer σ stets kleiner als 5,16 minus dem 1,33fachen des durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe h und mittlerer Sehnenlänge l_{ax} definierte Seitenverhältnis AR_{ax} ist ($\sigma \leq -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$).

[0003] Insbesondere der Wunsch nach einer Reduzierung des Treibstoffverbrauchs führt jedoch zunehmend zu geometrisch kleinen Verdichtern mit hohem Wirkungsgrad und hoher aerodynamischer und mechanischer Belastung bei kleiner Baulänge.

[0004] Eine Aufgabe einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist es, eine Gasturbine zu verbessern.

[0005] Diese Aufgabe wird durch eine Verdichterstufe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Ansprüche 3, 5 und 8 stellen eine Gasturbine mit einer hier beschriebenen Verdichterstufe, ein Flugtriebwerk mit einer hier beschriebenen Gasturbine bzw. ein Verfahren zur Auslegung eines Verdichters einer hier beschriebenen Gasturbine, insbesondere Flugtriebwerk-Gasturbine, unter Schutz. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0006] Nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung werden eine oder mehrere Verdichterstufen eines Verdichters oder je eine oder mehrere Verdichterstufen mehrerer Verdichter einer Gasturbine, insbesondere einer Flugtriebwerk-Gasturbine, die (jeweils) ein Laufgitter und ein Leitgitter aufweisen, aerodynamisch so ausgelegt, dass die Drosselziffer σ und das durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe h und mittlerer Sehnenlänge l_{ax} definierte Seitenverhältnis AR_{ax} (jeweils) der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

genügt.

[0007] Entsprechend genügen nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine oder mehrere Verdichterstufen für einen Verdichter oder eine oder mehrere Verdichterstufen für mehrere Verdichter einer Gasturbine, insbesondere einer Flugtriebwerk-Gasturbine, insbesondere eine oder mehrere Verdichterstufen eines Verdichters oder eine oder mehrere Verdichterstufen mehrerer Verdichter einer Gasturbine, insbesondere einer Flugtriebwerk-Gasturbine, die jeweils ein Laufgitter und ein Leitgitter aufweisen, (jeweils) der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

mit der Drosselziffer σ und dem durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe h und mittlerer Sehnenlänge l_{ax} definierte Seitenverhältnis AR_{ax} .

[0008] Es hat sich überraschend herausgestellt, dass durch solche bzw. solcherart ausgelegte Verdichterstufen im Gegensatz zu bisher bekannten Verdichterstufen bzw. Auslegungen bei gleicher aerodynamischer Belastung und Stufenzahl eine Verdichterbaulänge und Gewicht reduziert bzw. bei gleicher Baulänge die Effizienz des Verdichters erhöht und damit jeweils der spezifische Treibstoffverbrauch reduziert werden kann.

[0009] Ein Laufgitter weist in einer Ausführung eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Laufschaufeln auf, die an einem Rotor angeordnet sind, der, insbesondere durch eine Turbine der Gasturbine, um eine Haupt- bzw. Maschinenachse drehbar (gelagert) ist. Die Laufschaufeln können lösbar oder stoffschlüssig an dem Rotor befestigt oder integral mit diesem ausgebildet sein. Sie können in einer Ausführung deckbandlos sein oder ein geschlossenes Außendeckband aufweisen.

[0010] Ein Leitgitter weist in einer Ausführung eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Leitschaufeln auf, die fest oder verstellbar an einem Gehäuse angeordnet sind, das den Rotor umgreift. Sie können in einer Ausführung deckbandlos sein oder ein geschlossenes Innendeckband aufweisen.

[0011] In einer Ausführung ist das Leitgitter ein stromabwärtig benachbartes Leitgitter bzw. dem Laufgitter stromabwärts benachbart angeordnet. Es kann insbesondere ein sogenanntes Nachleitrad zur Umsetzung von durch das rotierende Laufgitter aufgeprägter kinetischer in Druckenergie von der Gasturbine durchströmender Luft sein.

[0012] In einer Ausführung besteht die Verdichterstufe im Sinne der vorliegenden Erfindung aus dem Lauf- und dem Leitgitter.

[0013] Die Drosselziffer σ ist in fachüblicher Weise definiert als Quotient aus der Druckziffer $\psi_{(eff)}$ dividiert durch das Quadrat der Lieferzahl φ :

$$\sigma = \psi_{(eff)} / \varphi^2.$$

[0014] Die Druckziffer $\varphi_{(eff)}$ ist in fachüblicher Weise definiert als Quotient aus dem Doppelten der (spezifischen) Arbeit $H_{(eff)}$ der Stufe oder des Laufgitters dividiert durch das Quadrat der Umfangsgeschwindigkeit am Stufen- oder Laufgittereintritt u_1 :

$$\psi_{(eff)} = 2 \cdot H_{(eff)} / u_1^2.$$

[0015] Die Lieferzahl φ ist in fachüblicher Weise definiert als Quotient aus der axialen Absolutgeschwindigkeit

keit c_{ax} , insbesondere am Stufen- oder Laufgittereintritt ($c_{ax, 1}$), dividiert durch die Umfangsgeschwindigkeit am Stufen- oder Laufgittereintritt u_1 :

$$\varphi = c_{ax(, 1)} / u_1.$$

[0016] Die Drosselziffer σ ist somit gleichermaßen definiert als Quotient aus dem Doppelten der (spezifischen) Arbeit $H_{(eff)}$ der Stufe oder des Laufgitters dividiert durch das Quadrat der axialen Absolutgeschwindigkeit c_{ax} , insbesondere am Stufen- oder Laufgittereintritt ($c_{ax, 1}$):

$$\sigma = 2 \cdot H_{(eff)} / c_{ax(, 1)}^2.$$

[0017] Die mittlere Kanalhöhe h ist in fachüblicher Weise definiert als geometrisches Mittel der Hälfte der Differenz(en) des bzw. der Außen- und Innendurchmesser D_a, D_i des Strömungskanals der Verdichterstufe oder des Laufgitters:

$$h = (D_a - D_i)/2.$$

[0018] Die mittlere Sehnenlänge l_{ax} ist in fachüblicher Weise definiert als geometrisches Mittel des Abstandes zwischen Ein- und Austrittskante des Laufgitters oder der Verdichterstufe.

[0019] Entsprechend ergibt sich das Seitenverhältnis AR_{ax} zu:

$$AR_{ax} = h / l_{ax}.$$

[0020] Nach einer Ausführung ist das Seitenverhältnis AR_{ax} größer als 0,5. Zusätzlich oder alternativ ist nach einer Ausführung das Seitenverhältnis AR_{ax} kleiner als 2,5. Hierdurch kann eine besonders vorteilhafte Verdichterstufe zur Verfügung gestellt werden.

[0021] Nach einer Ausführung beträgt ein Gesamtdruckverhältnis Π eines oder mehrerer der Verdichter wenigstens 40, insbesondere wenigstens 45. Hierdurch kann ein besonders vorteilhafter Verdichter zur Verfügung gestellt werden.

[0022] Das Gesamtdruckverhältnis Π ist in fachüblicher Weise definiert als Quotient des Drucks p_2 am Austritt des Verdichters zu dem Druck p_1 am Eintritt des Verdichters:

$$\Pi = p_2 / p_1.$$

[0023] Nach einer Ausführung beträgt ein Nebenstromverhältnis BPR (By-Pass-Ratio) des Flugtriebwerks wenigstens 10, insbesondere wenigstens 12. Hier-

durch kann ein besonders vorteilhaftes Flugtriebwerk zur Verfügung gestellt werden.

[0024] Das Nebenstromverhältnis BPR ist in fachüblicher Weise definiert als Quotient des Luftmassenstroms m_{mantel} , der nach einem Fan außen an der Gasturbine des Flugtriebwerks vorbeigeführt wird (Nebenstrom oder Mantelstrom), dividiert durch den Luftmassenstrom m_{kern} , der innen die Brennkammer der Gasturbine passiert und die Wellenleistung bereitstellt (Kernstrom):

$$BPR = m_{mantel} / m_{kern}.$$

[0025] Insbesondere zu den vorstehenden, in fachüblicher Weise definierten und daher dem Fachmann bekannten Größen wird ergänzend auch Bezug genommen auf H. Grieb: "Verdichter für Turbo-Flugtriebwerke", Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-34373-8.

[0026] Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert:

Fig. 1 ein Flugtriebwerk mit einer Gasturbine mit einem Verdichter mit mehreren Verdichterstufen nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 2 eine Grenzkurve zur Auslegung der Verdichterstufen nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0027] Fig. 1 zeigt in teilweise schematisierter Weise ein Flugtriebwerk mit einem Fan 1 und einer Gasturbine, die lediglich zur kompakteren Darstellung und exemplarisch nur einen Verdichter 9, eine stromabwärtige Brennkammer 5, eine Hochdruckturbine 6, die mit dem Verdichter 9 über einen Rotor 10 gekoppelt ist, und eine Niederdruckturbine 7 aufweist, die mit dem Fan 1 gekoppelt ist. Die Gasturbine wird von einem Kernstrom 8 durch- und einem Neben- oder Mantelstrom 2 umströmt.

[0028] Der Verdichter 9 weist mehrere Verdichterstufen auf, die jeweils ein rotorfestes Laufgitter 3 und ein stromabwärtig benachbartes Leitgitter 4 aufweisen.

[0029] Eine oder mehrere dieser Verdichterstufen 3, 4 sind bzw. werden derart ausgelegt, dass die Drosselziffer σ und das durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe h und mittlerer Sehnenlänge l_{ax} definierte Seitenverhältnis AR_{ax} der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

genügt, das Seitenverhältnis AR_{ax} größer als 0,5 und kleiner als 2,5 ist.

[0030] Das Gesamtdruckverhältnis Π des Verdichters 9 beträgt wenigstens 45, das Nebenstromverhältnis BPR

des Flugtriebwerks wenigstens 12.

[0031] Fig. 2 zeigt eine Grenzkurve zur Auslegung der Verdichterstufen nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung. Diese werden bzw. sind derart ausgelegt, dass die Drosselziffer σ über der in Fig. 2 fett eingezeichneten Grenzkurve $\sigma = -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$ liegt.

[0032] Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarische Ausführungen erläutert wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist.

[0033] So kann das Flugtriebwerk bzw. die Gasturbine insbesondere einen Niederdruck- und einen stromabwärtigen Hochdruckverdichter, in einer Weiterbildung auch einen dazwischen angeordneten Mitteldruckverdichter, aufweisen, wobei wenigstens einer dieser Verdichter in der vorstehend exemplarisch mit Bezug auf den Verdichter 9 erläuterten Weise ausgelegt sein bzw. werden kann. Gleichmaßen können Nieder- und Hochdruckverdichter auch als ein Verdichter im Sinne der vorliegenden Erfindung verstanden werden.

[0034] Der Fan 1 kann insbesondere über ein Getriebe mit der Hochdruckturbine 6 gekoppelt sein.

[0035] Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendungen und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einer exemplarischen Ausführung gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere in Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Bezugszeichenliste

[0036]

- | | |
|----|--------------------|
| 1 | Fan |
| 2 | Mantelstrom |
| 3 | Laufgitter |
| 4 | (Nach)Leitgitter |
| 5 | Brennkammer |
| 6 | Hochdruckturbine |
| 7 | Niederdruckturbine |
| 8 | Kernstrom |
| 9 | Verdichter |
| 10 | Rotor |

AR_{ax}	Seitenverhältnis
h	mittlere Kanalhöhe
l_{ax}	mittlere Sehnenlänge
σ	Drosselziffer

Patentansprüche

1. Verdichterstufe für eine Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, mit einem Laufgitter (3) und einem, insbesondere stromabwärtig benachbarten, Leitgitter (4), wobei die Drosselziffer σ und das durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe (h) und mittlerer Sehnenlänge (l_{ax}) definierte Seitenverhältnis AR_{ax} der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

genügt.

2. Verdichterstufe nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Seitenverhältnis AR_{ax} größer als 0,5 und/oder kleiner als 2,5 ist.

3. Gasturbine mit wenigstens einem Verdichter (9) mit wenigstens einer Verdichterstufe nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

4. Gasturbine nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Gesamtdruckverhältnis Π wenigstens eines der Verdichter wenigstens 40, insbesondere wenigstens 45 beträgt.

5. Flugtriebwerk mit einer Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

6. Flugtriebwerk nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Nebenstromverhältnis BPR des Flugtriebwerks wenigstens 10, insbesondere wenigstens 12 beträgt.

7. Verfahren zur Auslegung wenigstens einer Verdichterstufe wenigstens eines Verdichters einer Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, mit einem Laufgitter (3) und einem, insbesondere stromabwärtig benachbarten, Leitgitter (4), wobei die Verdichterstufe aerodynamisch so ausgelegt wird, dass die Drosselziffer σ und das durch den Quotienten aus mittlerer Kanalhöhe (h) und mittlerer Sehnenlänge (l_{ax}) definierte Seitenverhältnis AR_{ax} der Bedingung

$$\sigma > -1,33 \cdot AR_{ax} + 5,16$$

genügt.

8. Verfahren zur Auslegung wenigstens eines Verdichters einer Gasturbine, insbesondere eines Flugtriebwerks, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine Verdichterstufe des Verdichters nach dem vor-

hergehenden Anspruch ausgelegt wird.

9. Verfahren zur Auslegung wenigstens eines Verdichters nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Gesamtdruckverhältnis Π des Verdichters wenigstens 40, insbesondere wenigstens 45 beträgt. 5
10. Verfahren zur Auslegung eines Verdichters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Nebenstromverhältnis BPR des Flugtriebwerks wenigstens 10, insbesondere wenigstens 12 beträgt. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

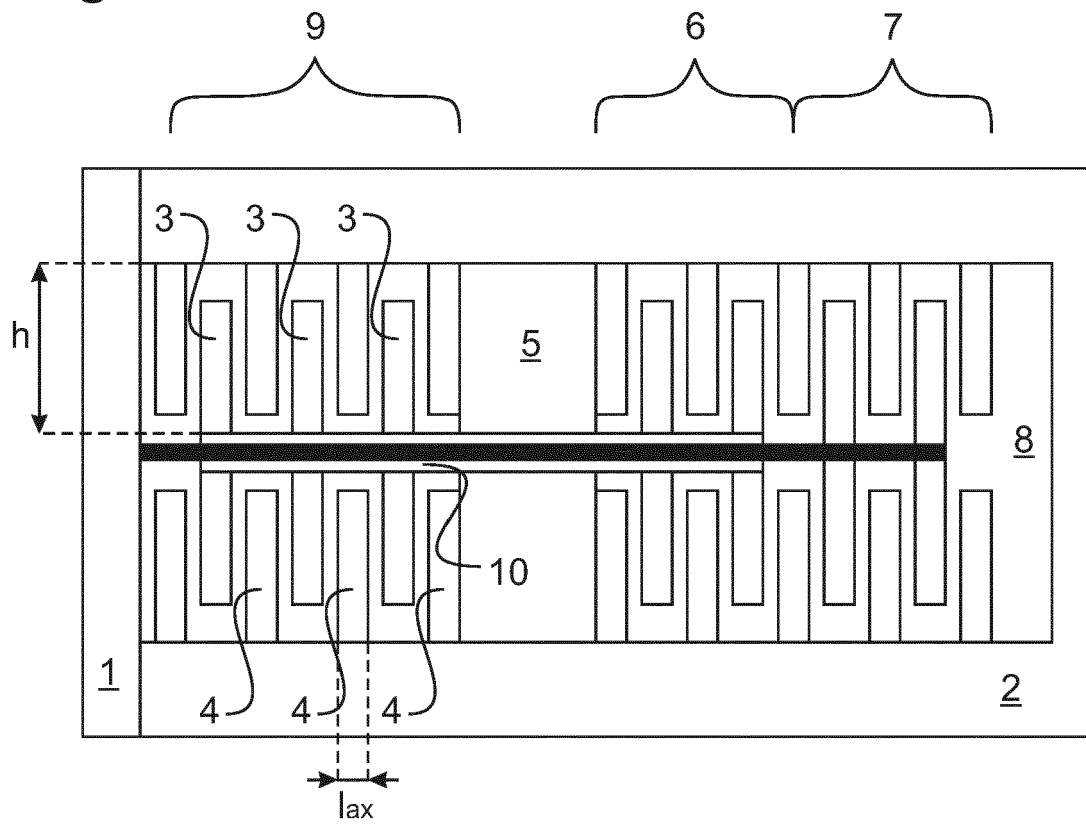
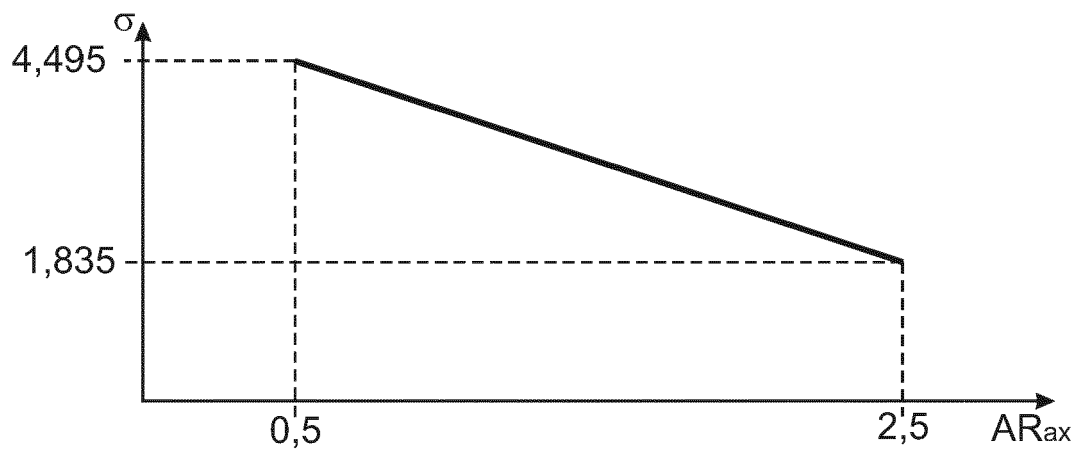


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 18 5447

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	H. GRIEB: "Projektierung von Turboflugtriebwerken", 22. November 2012 (2012-11-22), Birkhäuser, XP002755942, ISBN: 3034896271 * Seiten 182-213 * -----	1-10	INV. F04D29/32
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 31. März 2016	Prüfer de la Loma, André
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 : mündliche 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	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **H. GRIEB.** Verdichter für Turbo-Flugtriebwerke.
Springer-Verlag [0025]