

(19)



(11)

**EP 2 011 963 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**07.01.2009 Patentblatt 2009/02**

(51) Int Cl.:  
**F01D 3/04 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **08159584.5**

(22) Anmeldetag: **03.07.2008**

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

(72) Erfinder:  
• **Rofka, Stefan**  
**5415, Nussbaumen (CH)**  
• **Waelchli, Rene**  
**5013, Niedergösgen (CH)**  
• **Olmes, Sven**  
**5234, Villigen (CH)**  
• **Zierer, Thomas**  
**5408, Ennetbaden (CH)**

(30) Priorität: **04.07.2007 CH 10792007**

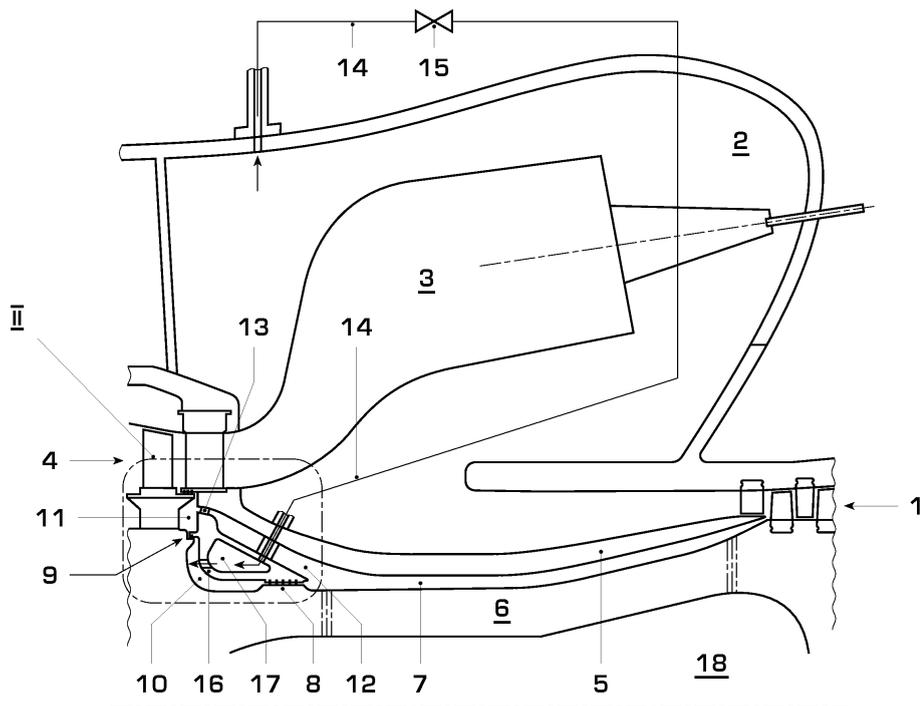
(71) Anmelder: **Alstom Technology Ltd**  
**5400 Baden (CH)**

### (54) Gasturbine mit Axialschubausgleich

(57) Eine Gasturbine wird in bezug auf aerodynamische Kräfte und Druckkräfte, die eine Axialkraft auf den Rotor ausüben, so ausgelegt, dass sie bei Leerlauf und tiefer Teillast einen negativen Schub und bei hoher Last einen positiven Schub aufweist. Um im gesamten Lastbereich der Gasturbine einen resultierenden positiven Schub auf das Axiallager zu gewährleisten, wird geregelt ein Zusatzschub aufgebracht. Der Zusatzschub kann beispielsweise abhängig von der Gasturbinenlast gere-

gelt sein. Die resultierende Schubkraft bei Volllast ist in Konsequenz kleiner als bei einer herkömmlich ausgelegten Gasturbine ohne Schubausgleich.

Damit der Zusatzschub über eine Druckkraft aufgebracht werden kann, wird eine Dichtung auf der Stirnfläche einer ersten Turbinenscheibe, die diese in einen äusseren und inneren Ringraum teilt, sowie mindestens eine Druckleitung und mindestens ein Regelventil vorgeschlagen.



**FIG. 1**

**EP 2 011 963 A1**

## Beschreibung

Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine mit Axialschubausgleich sowie eine Gasturbine mit Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

Stand der Technik

**[0002]** Der Axial Schub einer Gasturbine ist die resultierende Kraft aus aerodynamischen Kräften und Druckkräften, die in Kompressor und Turbine eine Axialkraft auf den Rotor ausüben, sowie aller in axialer Richtung auf den Rotor wirkenden Druckkräfte. Der resultierende Schub wird von einem Axiallager aufgenommen. Typischerweise werden Gasturbinen so ausgelegt, dass sie bei Leerlauf einen Minimalschub aufweisen. Der Axialschub steigt proportional zur Last. Um den Axialschub auszugleichen, kann gegen den mit der Last zunehmenden Axialschub eine Gegenkraft zum Schubausgleich aufgebracht werden. Dadurch kann der maximale, von dem Axiallager aufzunehmende Schub reduziert werden. Entsprechend kann die Baugrösse und die Verlustleistung des Axiallagers reduziert werden.

**[0003]** Der Schub von Turbinen und Kompressoren sowie die in axialer Richtung auf den Rotor wirkenden Druckkräfte werden von Betriebsparametern, insbesondere der Stellung von Verdichterleitschaufeln und Kompressoraustrittsdruck sowie durch das Design bestimmt. Dabei ist er von den gewählten Geometrien, insbesondere durch die Geometrien der Schaufelkanäle und den Reaktionsgraden der Turbinenstufen bestimmt. Die Betriebsparameter sind von dem gewünschten Prozess und Betriebskonzept der Gasturbine abhängig. Die Lastabhängigkeit des Schubes kann bei einmal gewähltem Design nicht mehr verändert werden.

**[0004]** Das Problem des Schubausgleiches bei Gasturbinen ist lange bekannt und eine grosse Zahl von Lösungsansätzen wurde in der Literatur vorgeschlagen. Insbesondere sind verschiedene Möglichkeiten den Axialschub über Druckausgleichszylinder zu kompensieren und damit die Last auf die Axiallager zu reduzieren bekannt. Zur Regelung des Schubausgleiches mittels einer Gegenkraft in einer Gasturbine sind ebenfalls verschiedene Verfahren entwickelt worden.

**[0005]** In der US5760289 wird zum Schubausgleich vorgeschlagen, stromab der Turbine einen Druckausgleichskolben vorzusehen und diesen mit Druckluft zu beaufschlagen. Um den Druck im Ausgleichskolben und damit die Ausgleichskraft abhängig von dem Betriebszustand zu regeln wird ein komplexer Algorithmus benötigt. Ausserdem wird in eine periodische Kalibrierung des Algorithmus, um Alterung oder mögliche Modifikationen an der Gasturbine zu kompensieren, vorgeschlagen.

**[0006]** Eine andere Ausführung eines Druckausgleichskolbens ist in der US4653267 dargestellt. Hier ist

der Druckausgleichskolben in der Mittelpartie, das heisst dem zwischen Kompressor und Turbine gelegenen Teil, einer Zweiwellenanlage ausgeführt. Die Axialkraft des Kolbens wird im Normalbetrieb durch eine mit Leckageluft druckbeaufschlagte zweite Kammer reduziert. Luft kann aus dieser zweiten Kammer über ein Ventil abgelassen werden und damit das Druckniveau in dieser Kammer reduziert werden. Durch Änderung des Druckniveaus in der zweiten Kammer wird die resultierende Axialkraft des Druckausgleichskolbens geregelt. Vorteil dieser Anordnung ist, dass die aus der zweiten Kammer zur Regelung abgelassene Luft zur Turbinenkühlung weiter verwendet werden kann.

**[0007]** Für beide Vorschläge werden zur Erzeugung des Druckausgleichskolbens zusätzliche Strukturteile benötigt. Als Strukturbauteile werden hier beispielsweise Gehäusekomponenten, Wellenabdeckung, Turbinenscheiben oder Turbinenringe verstanden. Ausserdem geht komprimierte Luft, ohne Leistungsabgabe, über Dichtungen aus dem Druckausgleichskolben verloren oder kann erst auf deutlich tieferem Druckniveau verwendet werden. Zur Unterbringung des Druckausgleichskolbens wird ausserdem teurer Bauraum in Anspruch genommen und insbesondere bei Ausführungen gemäss der US5760289 wird eine Verlängerung der Achse notwendig.

**[0008]** Ein anderer Ansatz zur Reduktion der Axialkräfte wird in der EP0447886 dargelegt. In dem dort dargestellten Gasturbinendesign, bei welchem der zwischen der Turbine und dem Verdichter liegende Wellenteil eine Trommel ist, die von einer Trommelabdeckung umgeben ist und bei welcher der zwischen Trommel und Trommelabdeckung gebildete Ringkanal die Führung der aus dem Verdichter entnommenen Kühlluft zur Stirnseite des Turbinenrotors übernimmt, wird ein erheblicher Anteil der Axialkräfte durch den Druck auf der ersten Turbinenscheibe aufgebracht. In der EP0447886 wird die Axialkraft dadurch reduziert, dass der statische Druck vor der Stirnseite des Turbinenrotors reduziert wird. Dies wird erreicht, indem rotorseitige Kühlluft innerhalb des Ringkanals durch ein Drallgitter umgelenkt wird und auf höchst mögliche Tangentialgeschwindigkeit, in Drehrichtung des Rotors, beschleunigt wird. Neben den Vorteilen dieser Ausführung, die in der EP0447886 selber dargestellt sind, ist im Vergleich zu der Verwendung von Druckausgleichskolben zu bemerken, dass keine zusätzlichen Strukturteile oder axiale Baulänge zur Erstellung eines Druckausgleichskolbens benötigt werden. Ausserdem geht keine komprimierte Luft über Druckausgleichskolben verloren. Es gibt aber bei dieser Ausführung keine Möglichkeit zur Regelung des Axialschubes. Dies hat zur Folge, dass bei Vollast ein erheblicher Restschub über die Axiallager aufzunehmen ist oder bei tiefer Last eine Schubumkehr in Kauf zu nehmen ist. Je nach Design und Anordnung der Axiallager kann es bei einer Schubumkehr zu erhöhten Vibrationen kommen und im ungünstigsten Fall bei noch tieferer Last zu einer Überlastung des Gegenlagers kommen. Ausserdem sind bei

diesem Design bei Modifikationen an der Gasturbine, die einen Einfluss auf den Schub haben, wie zum Beispiel einem Upgrade durch einen neuen Kompressor oder eine neue Turbine, keine Möglichkeiten gegeben, diesen veränderten Schub zu kompensieren.

#### Darstellung der Erfindung

**[0009]** Der vorliegenden Erfindung ist die Aufgabe gestellt, einen regelbaren Schubausgleich bei Gasturbinen ohne Verwendung zusätzlicher Strukturbauteile zu schaffen, der bei hoher Last und insbesondere im Auslegungspunkt keinen zusätzlichen Kühlluftverbrauch zur Beaufschlagung von Druckausgleichskolben oder ähnlichem zur Folge hat. Ausserdem soll der regelbare Schubausgleich in Gasturbinen nachrüstbar sein, die einen entsprechend EP0447886 ausgeführten Mittelteil haben.

**[0010]** Zur Lösung der oben gegebenen Aufgabe wird eine Gasturbine erfindungsgemäss in bezug auf aerodynamische Kräfte und Druckkräfte, die eine Axialkraft auf den Rotor ausüben, so ausgelegt, dass sie bei Leerlauf und tiefer Teillast einen negativen Schub hat. Ein negativer Schub ist ein Schub, der von der Turbine in Richtung Kompressor weist. Weiter wird sie so ausgelegt, dass sie bei hoher Gasturbinenlast und insbesondere bei Vollast einen positiven Schub aufweist. Um im gesamten Lastbereich der Gasturbine eine resultierende positive Kraft auf das mindestens eine Axiallager zu gewährleisten, wird bei Leerlauf und Teillast geregelt ein Zusatzschub in Hauptschubrichtung, das heisst ein positiver Schub in Richtung von Kompressor zur Turbine, aufgebracht.

**[0011]** Die resultierende maximale Schubkraft, die von dem mindestens einen Axiallager aufzunehmen ist, ist in Konsequenz kleiner als bei einer herkömmlich ausgelegten Gasturbine ohne Schubausgleich. Ausserdem wird durch den Zusatzschub eine Schubumkehr bei Belasten oder Entlasten der Gasturbine verhindert. Der Lastbereich in dem ein Zusatzschub aufgebracht wird, liegt beispielsweise im Bereich von Leerlauf bis etwa 60% Vollast. Bei einer Gasturbine, die für Vollastbetrieb optimiert wird, kann der Teillastbereich, in dem ein Zusatzschub aufgebracht wird, beispielsweise bis etwa 90% Vollast reichen. Bei einer Nachrüstung kann der Teillastbereich, in dem Zusatzschub aufgebracht wird, beispielsweise nur bis etwa 10% Vollast reichen.

**[0012]** Der Zusatzschub wird durch ein Verfahren zur Regelung des Druckes an der Stirnseite oder an einer Teilfläche der Stirnseite des Turbinenrotors erzeugt.

**[0013]** Zu diesem Zweck wird ein im wesentlichen ringförmiger Raum zwischen Trommelabdeckung und erster Turbinenscheibe, der durch eine Rotordichtung eine Turbinenschaufelfussdichtung abgeschlossen ist, durch eine Dichtung in einen äusseren und einen inneren Ringraum geteilt. Beispielsweise wird von dem äusseren Ringraum der Turbinenrotor mit Hochdruckkühlluft versorgt, die in diesen Ringraum mit einer möglichst hohen

Tangentialgeschwindigkeit eingespeist wird. Dabei liegt der statische Druck in dem äusseren Ringraum infolge der starken Beschleunigung auf die möglichst hohe Tangentialgeschwindigkeit deutlich unter Kompressorenddruck. Zur Beschleunigung der Kühlluft auf eine möglichst hohe Tangentialgeschwindigkeit wird beispielsweise eine Dralldüse verwendet. Es können aber auch beispielsweise gerichtete Bohrungen, zur Beschleunigung in Tangentialrichtung verwendet werden.

**[0014]** Bei geschlossenem Regelventil, wenn keine zusätzliche Druckluft in den inneren Ringraum zugeführt wird, ist das Verhältnis des Druckabfalls über Rotordichtung und Turbinenscheibendichtung umgekehrt proportional zu dem Verhältnis der äquivalenten Flächen beider Dichtungen. Typischerweise weist die Rotordichtung eine deutlich kleinere äquivalente Fläche als die Turbinenscheibendichtung auf. Der Druckabfall über die Rotordichtung ist entsprechend viel grösser als der über die Turbinenscheibendichtung. Der Druck in dem inneren Ringraum ist daher bei geschlossenem Regelventil im wesentlichen durch den Druck im äusseren Ringraum bestimmt.

**[0015]** Um einen Zusatzschub in Hauptschubrichtung zu erzeugen, wird der innere Ringraum über mindestens eine Leitung vom Kompressorplenum oder einer anderen geeigneten Entnahmestelle mit Druckluft beaufschlagt. Zur Regelung der Druckbeaufschlagung ist mindestens ein Regelventil vorgesehen. Durch die Druckbeaufschlagung wird eine Zusatzkraft in Hauptschubrichtung aufgebracht, so dass im gesamten Betriebsbereich der Gasturbine ein positiver resultierender Schub auf das mindestens eine Axiallager sichergestellt ist und eine Schubumkehr vermieden wird.

**[0016]** Je tiefer der statische Druck im Ringraum bei geschlossenem Regelventil ist, desto grösser wird bei Verwendung von Kompressorendluft der Regelbereich der Zusatzschubkraft. Die oben erwähnte Absenkung des statischen Drucks durch Einspeisung der Kühlluft über eine Dralldüse führt also zu einer Vergrösserung des Regelbereichs.

**[0017]** Zur Druckbeaufschlagung kann beispielsweise auch extern zugeführte Druckluft oder Dampf verwendet werden oder ein extern zugeführtes Medium in Kombination mit Kompressorluft verwendet werden.

**[0018]** Neben der Nutzung bestehender Strukturteile besteht der Vorteil dieses Verfahrens darin, dass im hohen Lastbereich keine zusätzliche Druckbeaufschlagung erforderlich ist und damit keine komprimierte Luft unter Leistungs- und Wirkungsgradeinbusse verbraucht wird. Selbst wenn die Druckbeaufschlagung bei Teillast aktiv ist, wird die über die Dichtung zwischen innerem und äusseren Ringraum entweichende Luft nutzbringend der Rotorkühlluft beigemischt.

**[0019]** Zur Regelung der Druckbeaufschlagung sind verschiedene Verfahren denkbar. Beispielsweise kann das mindestens ein Regelventil bei tiefer Last geöffnet sein und beim Überschreiten eines diskreten Grenzwerts geschlossen werden. Umgekehrt wird das mindestens

eine Regelventil beim Unterschreiten des diskreten Grenzwertes wieder geöffnet. Um bei Lasten nahe des Grenzwertes ständiges Schalten des mindestens einen Regelventils zu vermeiden, kann eine Hysterese vorgesehen werden.

**[0020]** Eine andere Regelungsmöglichkeit ist beispielsweise ein Schliessen des Regelventils proportional zur Last.

**[0021]** In einer weiteren Regelung wird nicht die Stellung des Regelventils in Abhängigkeit der Last vorgegeben, sondern das Druckverhältnis zwischen innerem Ringraum und Kompressorenddruck vorgegeben und dies Verhältnis über das Regelventil geregelt. Dabei ist der Zielwert nicht notwendig konstant, sondern ist beispielsweise eine Funktion der Last. Die Funktion kann beispielsweise so bestimmt werden, dass über einen möglichst weiten Betriebsbereich ein konstanter Axialschub erreicht wird.

**[0022]** Die Stellung des Regelventils oder der Zielwert der Druckverhältnisse im inneren Ringraum kann beispielsweise auch in Abhängigkeit von dem Verdichtereintrittsleitschaufelwinkel oder der relativen Last vorgesehen werden. Regelungen abhängig von Kombinationen von Parametern oder weiteren relevanten Parametern sind ebenfalls möglich.

**[0023]** Neben der Anwendung des Verfahrens für die Auslegung und Entwicklung von Neuanlagen, ist ein Spezialfall die Anwendung in Verbindung mit dem Upgrade einer Gasturbine. Bei dem Upgrade einer Gasturbine kann es durch Änderung an einer der Hauptkomponenten Turbine oder Kompressor zu einer Reduktion des Axialschubes kommen. Dies wird zum Beispiel der Fall sein, wenn durch einen Upgrade- Kompressor bei praktisch unverändertem Ansaugmassenstrom und damit praktisch unverändertem Kompressorausstrittsdruck und Turbinenschub der Kompressorschub zunimmt. Durch die Zunahme des Kompressorschubes kann es nach dem Upgrade zu einer Schubumkehr kommen. Um diese zu vermeiden, kann das erfindungsgemässe Verfahren angewandt werden und ein geregelter Zusatzschub aufgebracht werden.

**[0024]** Neben dem Verfahren ist eine Gasturbine mit reduziertem maximalen Axialschub, gekennzeichnet durch wenigstens eine mit Druck beaufschlagbare Teilfläche des Turbinenrotors, Gegenstand der Erfindung.

**[0025]** Eine Ausführung ist eine Gasturbine mit einer Dichtung, die den im wesentlichen ringförmigen Raum zwischen Trommelabdeckung und erster Turbinenscheibe in einen äusseren und einen inneren Ringraum teilt. Sie verfügt über mindestens eine Leitung vom Kompressorplenum zur Trommelabdeckung, mindestens ein Regelventil in dieser Leitung und mindestens eine Einleitung in den inneren Ringraum. Es gibt verschiedene, dem Fachmann bekannte Möglichkeiten eine Dichtung zwischen der Stirnfläche des Turbinenrotors und Trommelabdeckung auszuführen. Eine Labyrinthdichtung ist ein Beispiel für eine geeignete Dichtung.

**[0026]** Bei einer Gasturbine mit mehr als einer Turbine

sind Ringräume zur Druckbeaufschlagung an der Stirnfläche mindestens einer Turbine oder in Kombination bei mehreren oder allen Turbinen geteilt und mit mindestens einer regelbaren Druckluftversorgung ausgeführt.

**[0027]** Für die Einleitung der Druckluft in den inneren Ringraum sind ebenfalls verschiedene Möglichkeiten bekannt. Dies kann beispielsweise eine Bohrung durch die Trommelabdeckung sein. In einer weiteren beispielhaften Ausführung ist die Einleitung in den inneren Ringraum der Trommelabdeckung ein im wesentlichen ringförmiges Plenum, das durch eine Vielzahl von Öffnung mit dem inneren Ringraum verbunden ist.

**[0028]** In einer weiteren Ausführung ist ausserdem mindestens ein Druckmessgerät in dem inneren Ringraum und im Kompressorplenum vorgesehen.

**[0029]** In einer weiteren Ausführung ist die mindestens eine Zuleitung für Druckbeaufschlagung des inneren Plenums nicht mit dem Kompressorplenum, sondern einer anderen geeigneten Entnahmestelle für Kompressorluft über mindestens ein Regelventil verbunden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0030]** Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Fig. 1 bis 4 schematisch dargestellt.

**[0031]** Es zeigen:

Fig. 1 Schnitt durch die Mittelpartie einer Gasturbine mit innerem und äusserem Ringraum sowie einer Zuführung für Druckbeaufschlagung des inneren Ringraumes.

Fig. 2 Detailschnitt des Schnittes der Mittelpartie für eine Ausführung der Turbinenscheibendichtung als Labyrinthdichtung.

Fig. 3 Schubverlauf über Last bei Regelung über einen Grenzwert mit Hysterese.

Fig. 4 Idealisierter Schubverlauf über Last bei Regelung auf das lastabhängige Druckverhältnis zwischen Druck im inneren Ringraum und Kompressorenddruck.

45 Ausführung der Erfindung

**[0032]** Eine Gasturbine mit einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens weist im wesentlichen mindestens einen Verdichter, mindestens eine Brennkammer und mindestens eine Turbine auf, die über mindestens eine Welle den Verdichter und einen Generator antreibt.

**[0033]** Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch die Mittelpartie einer Gasturbine, das heisst den Bereich zwischen Kompressor und Turbine sowie die Endstufe des Kompressors und die erste Stufe der Turbine.

**[0034]** Der Verdichter 1 verdichtet die Luft. Der grösste Teil der Luft wird über das Kompressorplenum 2 in eine

Brennkammer 3 eingeleitet und mit Brennstoff vermischt, der dort verbrennt. Von dort fließen die heißen Brenngase unter Arbeitsabgabe durch eine Turbine 4 ab. Turbine 4 und Verdichter 1 sind auf einer gemeinsamen Welle 18 angeordnet, wobei der zwischen Verdichter 1 und Turbine 4 gelegene Teil der Welle als Trommel 6 ausgeführt ist.

[0035] Der Hochdruckteil der Rotorkühlluft wird nach der letzten Kompressorschaukel drallbehaftet durch einen Ringkanal 7 zwischen Rotor- Trommel 6 und Trommelabdeckung 5 abgeleitet und über die Rotorkühlluftzuführung 12 und ein Drallgitter 13 in einen Ringraum zwischen Trommelabdeckung und einer ersten Turbinenscheibe eingeleitet. Dieser Ringraum wird durch eine Dichtung 9 in einen inneren Ringraum 10 und einen äusseren Ringraum 11 geteilt.

[0036] Der äussere Ringraum wird beispielsweise durch die Hinterseite einer Trommelabdeckung 5, einer dem Rotor 18 zugewandten inneren Plattform einer ersten Turbinenleitschaukel, einer ersten Turbinenscheibe sowie der Dichtung 9 begrenzt.

[0037] Der innere Ringraum wird beispielsweise durch die Hinterseite einer Trommelabdeckung 5, einer Dichtung 9, einer ersten Turbinenscheibe einer Rotordichtung 8 sowie den Wänden eines stromab einer Rotordichtung 8 liegenden Teils eines Ringkanals 7 begrenzt.

[0038] Die Dichtung 9 kann beispielsweise als Labyrinthdichtung 21 ausgeführt werden. Zur Aufnahme der Labyrinthdichtung 21 können beispielsweise, wie in Fig. 2 dargestellt, gegeneinander versetzte, als Balkone bezeichnete Vorsprünge auf einer Trommelabdeckung 19 und einer ersten Turbinenscheibe 20 vorgesehen werden.

[0039] Die Rotorkühlluftzuführung 12 kann beispielsweise über ein Drallgitter 13 mit einem äusseren Ringraum 11 verbunden sein, dass die Rotorkühlluft tangential beschleunigt und damit den statischen Druck in einem äusseren Ringraum 11 absenkt. Von dem einen äusseren Ringraum 11 tritt die Rotorkühlluft in eine erste Turbinenscheibe ein.

[0040] Erfindungsgemäss wird ein Ringraum vor einer ersten Turbinenscheibe, d.h. der im wesentlichen ringförmige Raum zwischen Trommelabdeckung 5 und erster Turbinenscheibe, der durch eine Rotordichtung 8 eine Turbinenschaufelfussdichtung 24 abgeschlossen ist, durch eine Dichtung 9 in einen inneren 10 und äusseren Ringraum 11 geteilt. Diese Teilung erlaubt es, den inneren Ringraum 10 über eine Druckleitung 14 und ein Regelventil 15 mit Druckluft aus dem Kompressorplenum 2 zu beaufschlagen. Die Einleitung 16 der Druckluft in den inneren Ringraum 10 kann dabei über Bohrungen durch die Trommelabdeckung erfolgen oder, wie in Fig. 1 dargestellt, über ein Plenum 17. In diesem Fall wird die Druckluft über die mindestens eine Druckleitung 14 in das Plenum 17 eingespiesen. Von dort gelangt sie über die Einleitung 16, die beispielsweise als eine Vielzahl von Bohrungen ausgeführt ist, in den inneren Ringraum 10.

[0041] Der innere Ringraum 10 wird bei Teillast zur Erhöhung der Schubkraft durch öffnen des Regelventils 15 über die Druckleitung 14 und die Einleitung 16 mit Druck beaufschlagt. Über die Turbinenscheibendichtung 9 gelangt diese Luft zusammen mit der Leckageluft der Rotordichtung 8 in den äusseren Ringraum 11. Für die Regelung der Druckbeaufschlagung sind mehrere Möglichkeiten gegeben.

[0042] In Fig. 3 ist der resultierende Axialschub für Regelung in Abhängigkeit von der Gasturbinenlast bei Regelung mit einem Grenzwert und Hysterese dargestellt. Dabei ist das Regelventil 15 bei tiefer Last der Gasturbine zunächst geöffnet. Nach Überschreitung eines Grenzwertes  $\alpha$  wird das Regelventil geschlossen und bleibt im oberen Lastbereich geschlossen (durchgezogene Linie). Bei Reduktion der Last wird das Regelventil 15 beim Unterschreiten der Last  $\beta$  wieder geöffnet (gestrichelte Linie). Strichpunktiert ist ausserdem der Schubverlauf mit Schubumkehr dargestellt, der sich ohne Zusatzschub im tieferen Lastbereich ergeben würde.

[0043] Fig. 4 zeigt den idealisierten Schubverlauf (durchgezogene Linie) über Gasturbinenlast bei Regelung auf das lastabhängige Druckverhältnis zwischen Druck im inneren Ringraum und Kompressorenddruck.

Auch hier ist das Regelventil 15 bei tiefer Last der Gasturbine zunächst geöffnet. Ab Erreichen eines Zielschubes, beispielsweise bei der Last  $\gamma$ , wird der Schub über Änderung des Druckes im inneren Ringraum konstant gehalten. Erst wenn das Regelventil 15 völlig geschlossen ist, was beispielsweise bei der Last  $\delta$  der Fall ist, steigt der Schub weiter, um bei Volllast seinen Maximalwert zu erreichen. Die Abhängigkeit des Druckverhältnisses von Last kann über Modellrechnungen oder aus Versuchen bestimmt werden und im Gasturbinenkontroller einprogrammiert werden. Strichpunktiert ist ausserdem der Schubverlauf mit Schubumkehr dargestellt, der sich ohne Zusatzschub ergeben würde.

[0044] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die hier gezeigten und beschriebenen Ausführungen beschränkt. Beispielsweise können die Dichtungen (8 und/oder 9) als Bürstendichtung ausgeführt sein. Alle erläuterten Vorteile sind nicht nur in den jeweils angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

#### Bezugszeichenliste

#### [0045]

- 1 Verdichter (nur die zwei letzten Stufen dargestellt)
- 2 Kompressorplenum
- 3 Brennkammer
- 4 Turbine (nur die erste Stufe dargestellt)
- 5 Trommelabdeckung
- 6 Rotor- Trommel
- 7 Ringkanal
- 8 Rotordichtung

- 9 Turbinenscheibendichtung
- 10 Innerer Ringraum
- 11 Äusserer Ringraum
- 12 Rotorkühlluftzuführung
- 13 Drallgitter
- 14 Druckleitung
- 15 Regelventil
- 16 Einleitung
- 17 Plenum
- 18 Welle
- 19 Vorsprung der Wellenabdeckung
- 20 Vorsprung der ersten Turbinenscheibe
- 21 Labyrinthdichtung
- 22 Schaufelfuss
- 23 Laufschaufel
- 24 Turbinenschaufelfussdichtung

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine mit Schubausgleich, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gasturbine in bezug auf aerodynamische Kräfte und Druckkräfte, die eine Axialkraft auf den Rotor ausüben so ausgelegt wird, dass diese Kräfte bei Leerlauf und tiefer Teillast in einen negativen Schub und bei hoher Last und Vollast in einen positiven Schub resultieren, dass geregelt ein positiver Zusatzschub aufgebracht wird, mit dem die resultierende axiale Lagerkraft im gesamten Lastbereich positiv gehalten wird und dass im hohen Lastbereich keine komprimierte Luft zur Druckbeaufschlagung verbraucht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zusatzschub durch Regelung des Druckes an der Stirnseite oder an einer Teilfläche der Stirnseite des Turbinenrotors erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein im wesentlichen ringförmiger Raum zwischen Trommelabdeckung und erster Turbinenscheibe durch eine Dichtung in einen äusseren Ringraum (11) und einen inneren Ringraum (10) geteilt wird und einer dieser beiden Räume zur Schubregelung mit Druck beaufschlagt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der statische Druck in dem Ringraum, aus dem der Turbinenrotor mit Hochdruckkühlluft versorgt wird, durch aufprägen eines Dralles auf die Strömung in dem Ringraum abgesenkt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der äussere Ringraum (11) zur Kühlluftversorgung des Turbinenrotors und der innere Ringraum (10) zur Schubregelung verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Schubregelung
  - Druckluft aus einem Kompressorplenum (2) verwendet wird und/ oder
  - Druckluft aus einer Kompressoventnahme vor dem Verdichtende verwendet wird und/ oder
  - Druckluft aus einer externen Quelle verwendet wird und/ oder
  - Dampf aus einer extern Quelle verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schubkraft über mindestens ein Regelventil (15) zur Druckbeaufschlagung geregelt wird, und dass dies bei tiefer Last geöffnet ist und beim Überschreiten eines diskreten Grenzwerts geschlossen wird und das Regelventil (15) beim Unterschreiten des diskreten Grenzwertes wieder geöffnet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Grenzwert zum Öffnen des mindestens einen Regelventils (15) höher ist als der Grenzwert zum Schliessen.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Regelventil (15) zur Einstellung des Zusatzschubes proportional zur Last geschlossen wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Regelung des Zusatzschubes das Druckverhältnis zwischen innerem Ringraum (10) und Kompressorenddruck (2) vorgegeben wird, und dass dies Verhältnis über das mindestens eine Regelventil (15) geregelt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Druckverhältnis zwischen innerem Ringraum und Kompressorenddruck
  - eine Funktion der Last ist oder
  - eine Funktion eines anderen relevanten Betriebsparameters oder einer Kombination von Betriebsparametern der Gasturbine ist.
12. Eine Gasturbine zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie unter Nutzung bestehender Strukturteile über wenigstens eine mit Druck beaufschlagbare Fläche oder Teilfläche eines Turbinenrotors verfügt.
13. Eine Gasturbine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein im wesentlichen ringförmiger Raum zwischen einer Trommelabdeckung und einer ersten Turbinenscheibe in einen äusseren Ringraum (11) und einen inneren Ringraum (10) durch eine Turbinenscheibendichtung (9) geteilt ist

und einer dieser beiden Ringräume die mit Druckbeaufschlagbare Teilfläche eines Turbinenrotors ist.

14. Eine Gasturbine nach einem der Ansprüche 12 und 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie zur Druckbeaufschlagung über mindestens eine Leitung (14) mit Regelventil (15) vom Kompressorplenum (2) oder einer Kompressorentnahmestelle und einer Einleitung (16) in den druckbeaufschlagbaren Ringraum verfügt. 5  
10
15. Eine Gasturbine nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie über mindestens ein Druckmessgerät zur Messung des Druckes im druckbeaufschlagbaren Ringraum und/oder zur Messung des Kompressorenddruckes verfügt. 15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

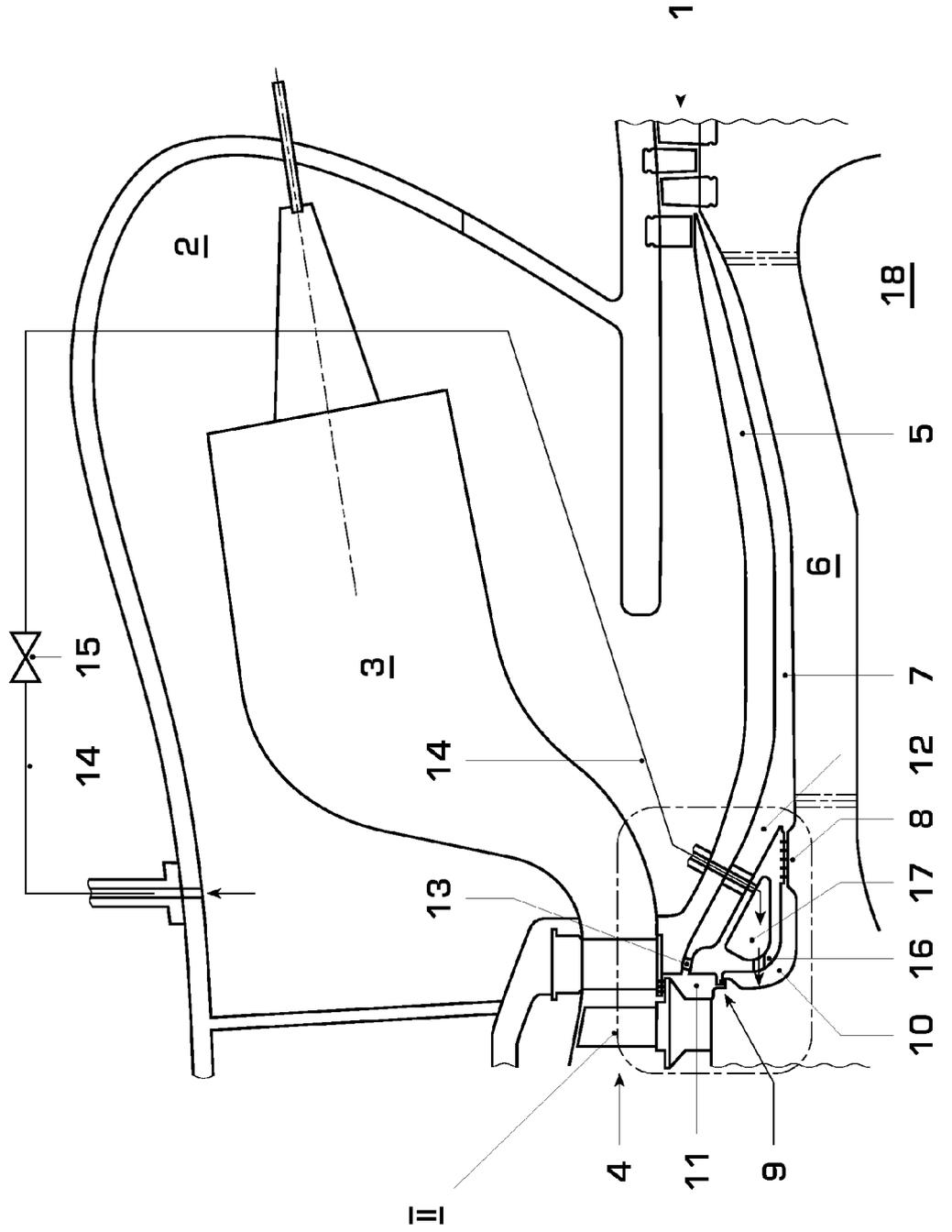


FIG. 1

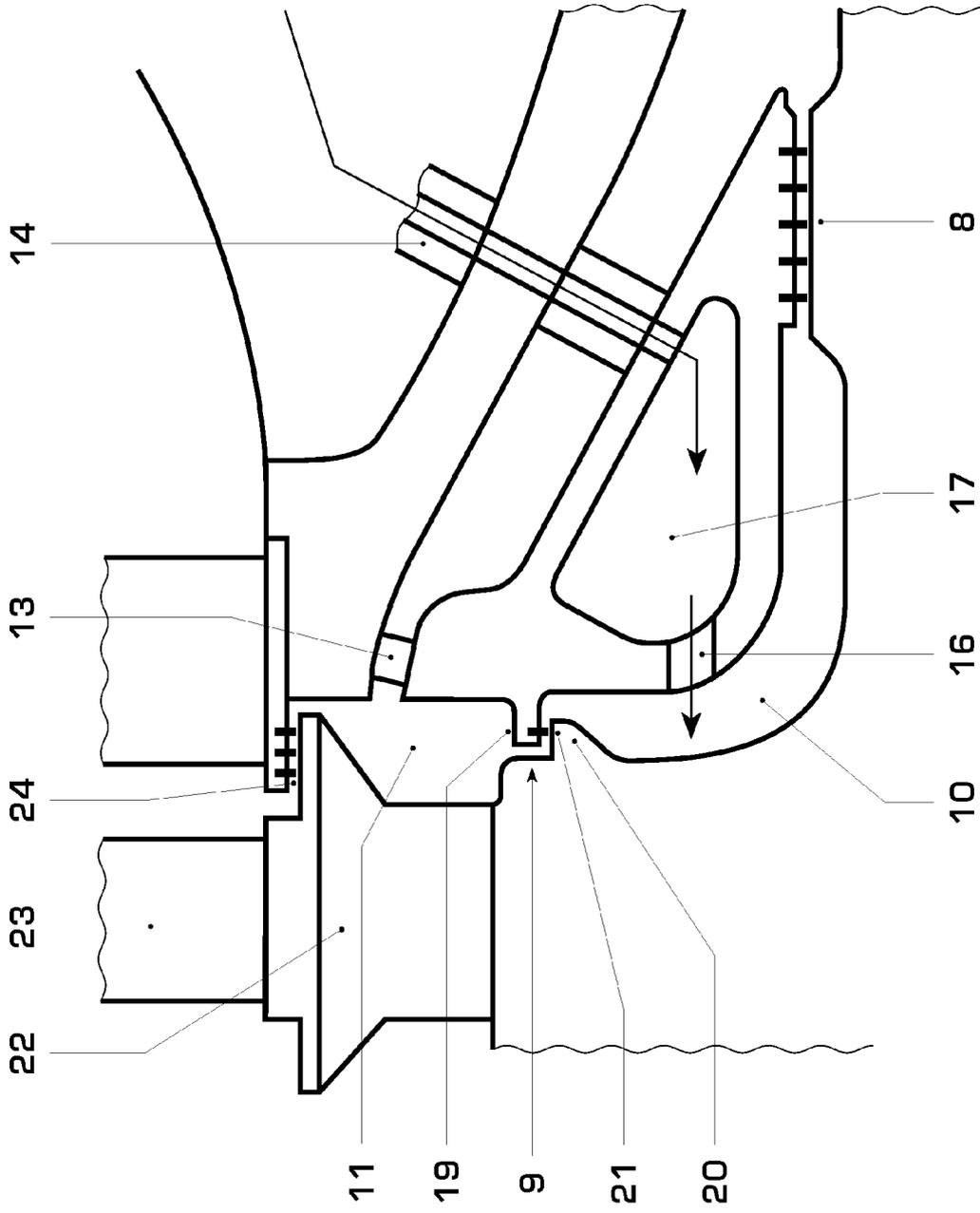


FIG. 2

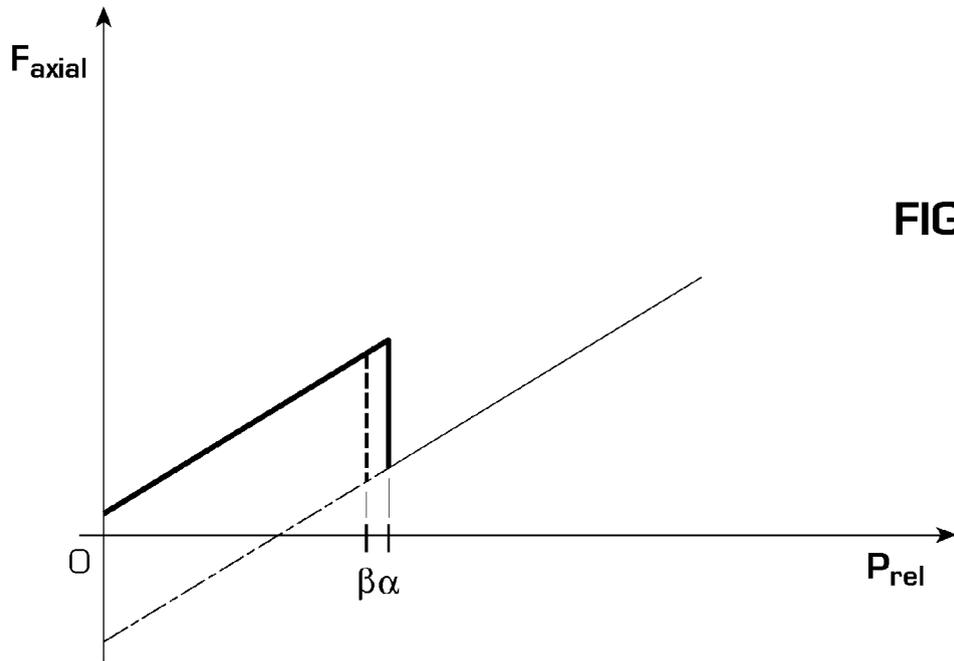


FIG. 3

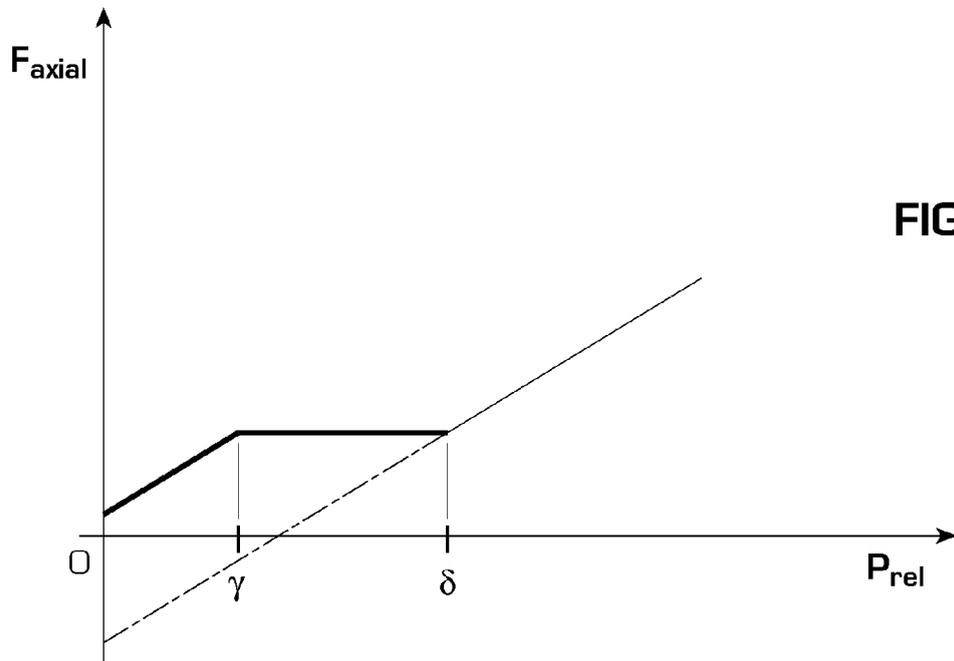


FIG. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 08 15 9584

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 4 730 977 A (HAASER FREDERIC G [US]) 15. März 1988 (1988-03-15)  * Spalte 4, Zeilen 1-22; Abbildung 5 * * Spalte 5, Zeile 35 - Spalte 6, Zeile 4 * -----	1,2, 6-12,14, 15	INV. F01D3/04
X	US 5 735 666 A (JOHNSTON RICHARD P [US]) 7. April 1998 (1998-04-07) * Spalte 4, Zeile 10 - Spalte 5, Zeile 3 * Y * Anspruch 1; Abbildung 3 *	1,12	
Y	-----	2,3,5-7, 9,13-15	
Y	EP 1 541 803 A (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND [DE]) 15. Juni 2005 (2005-06-15) * Absätze [0010], [0013] - [0016]; Abbildung 1 *	2,3,5,6, 13	
X	EP 0 702 129 A (ABB MANAGEMENT AG [CH] ALSTOM [FR]) 20. März 1996 (1996-03-20) * Spalte 1, Zeilen 52-58 * * Spalte 3, Zeilen 48-53 * * Spalte 4, Zeile 1 - Spalte 5, Zeile 13 *	12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	US 6 422 809 B1 (FILIPPOV VLADIMIR [RU] ET AL) 23. Juli 2002 (2002-07-23) * Spalte 3, Zeile 41 - Spalte 4, Zeile 15 *	12	F01D
Y	GB 2 200 410 A (GEN ELECTRIC GEN ELECTRIC [US]) 3. August 1988 (1988-08-03) * Seite 9, Absatz 3 - Seite 15, Absatz 1; Abbildungen 2,3 *	7,9,14, 15	
X	US 5 760 289 A (SKOTTEGARD PETER N [US]) 2. Juni 1998 (1998-06-02)  * Spalte 3, Zeile 16 - Spalte 4, Zeile 45 *  ----- -/--	1,2,6,7, 9,12,14, 15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
3	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 16. Oktober 2008	Prüfer Steinhauser, Udo
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 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 08 15 9584

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 989 410 A (FERRARI BARTOLOMEO JOSEPH) 2. November 1976 (1976-11-02) * Spalte 2, Zeile 17 - Spalte 3, Zeile 12; Abbildung 1 *	1-4,6, 12,13	
X	US 2 647 684 A (ALBERT LOMBARD ADRIAN) 4. August 1953 (1953-08-04) * Spalte 3, Zeile 31 - Spalte 5, Zeile 32 *	1-3,6, 11-13	
A	EP 0 447 886 A (ASEA BROWN BOVERI [CH]) 25. September 1991 (1991-09-25) * Spalte 2, Zeilen 26-39 * * Spalte 3, Zeilen 2-4 * * Spalte 3, Zeile 55 - Spalte 4, Zeile 50 *	1-15	
A	CH 246 779 A (BBC BROWN BOVERI & CIE [CH]) 31. Januar 1947 (1947-01-31) * das ganze Dokument *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 16. Oktober 2008	Prüfer Steinhauser, Udo
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	

3  
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 08 15 9584

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.

16-10-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4730977	A	15-03-1988	DE 3742246 A1	28-07-1988
			FR 2609109 A1	01-07-1988
			GB 2199376 A	06-07-1988
			IT 1223426 B	19-09-1990
			JP 63183227 A	28-07-1988
-----				
US 5735666	A	07-04-1998	KEINE	
-----				
EP 1541803	A	15-06-2005	DE 10358625 A1	07-07-2005
			US 2005129507 A1	16-06-2005
-----				
EP 0702129	A	20-03-1996	CN 1129278 A	21-08-1996
			DE 4433289 A1	21-03-1996
			JP 8105330 A	23-04-1996
			US 5575617 A	19-11-1996
-----				
US 6422809	B1	23-07-2002	AU 4663599 A	13-12-1999
			CA 2333269 A1	02-12-1999
			DE 69913688 D1	29-01-2004
			DE 69913688 T2	09-12-2004
			EP 1082522 A1	14-03-2001
			JP 2002516943 T	11-06-2002
			RU 2221150 C2	10-01-2004
			SE 514159 C2	15-01-2001
			SE 9801824 A	26-11-1999
			WO 9961755 A1	02-12-1999
-----				
GB 2200410	A	03-08-1988	BR 8800319 A	13-09-1988
			CA 1284585 C	04-06-1991
			CH 682096 A5	15-07-1993
			CN 1034607 A	09-08-1989
			DE 3801914 A1	11-08-1988
			FR 2610039 A1	29-07-1988
			IT 1215770 B	22-02-1990
			JP 1928488 C	12-05-1995
			JP 6058043 B	03-08-1994
			JP 63212701 A	05-09-1988
			NL 8800086 A	16-08-1988
			SE 465682 B	14-10-1991
			SE 8800251 A	29-07-1988
			US 4864810 A	12-09-1989
			-----	
US 5760289	A	02-06-1998	KEINE	
-----				
US 3989410	A	02-11-1976	BE 835964 A1	16-03-1976
			DE 2552695 A1	12-08-1976

EPO FORM P0461

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

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

EP 08 15 9584

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.

16-10-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3989410      A		FR      2292868 A1	25-06-1976
		GB      1525746 A	20-09-1978
		IT      1049802 B	10-02-1981
		JP      1221702 C	26-07-1984
		JP      51077708 A	06-07-1976
		JP      58054249 B	03-12-1983
-----			
US 2647684      A	04-08-1953	KEINE	
-----			
EP 0447886      A	25-09-1991	DE      59102139 D1	18-08-1994
		JP      3105277 B2	30-10-2000
		JP      4224234 A	13-08-1992
		US      5189874 A	02-03-1993
-----			
CH 246779      A	31-01-1947	KEINE	
-----			

EPC FORM P0461

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

**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 Patentdokumente**

- US 5760289 A [0005] [0007]
- US 4653267 A [0006]
- EP 0447886 A [0008] [0008] [0008] [0009]