



(11)

**EP 1 847 715 A1**

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**24.10.2007 Patentblatt 2007/43**

(51) Int Cl.:  
**F04D 27/02** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 06008134.6

(22) Anmeldetag: 19.04.2006

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

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

(72) Erfinder:

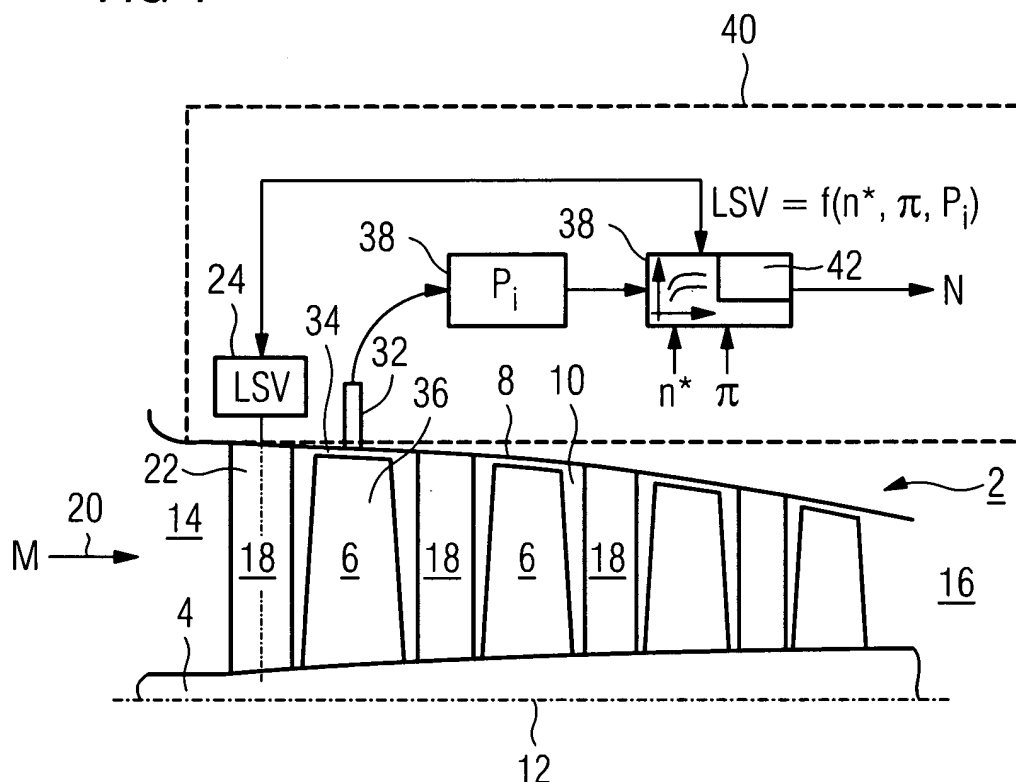
- Engler, Thorsten, Dr.  
45481 Mülheim an der Ruhr (DE)
- Mertens, Bernward, Dr.  
51379 Leverkusen (DE)
- Mählmann, Stefan, Dr.  
45470 Mülheim an der Ruhr (DE)
- Sieber, Uwe, Dr.  
45476 Mülheim an der Ruhr (DE)

(54) **Verfahren zum Betreiben eines Turboverdichters sowie Turboverdichter**

(57) Ein Verfahren zum Betreiben eines Turboverdichters (2), bei dem ein Betriebspunkt (30) vorgegeben wird, der unterhalb der in einem Betriebsdiagramm (26) durch eine Pumpgrenzkurve (28) repräsentierten Pumpgrenze liegt, soll bei hoher betrieblicher Sicherheit und unter Vermeidung von Pumpvorgängen eine besonders große Flexibilität hinsichtlich der Wahl des Betriebspunktes

tes (30) sowie je nach den betrieblich vorgegebenen Randbedingungen einen besonders hohen betrieblichen Wirkungsgrad und/oder eine besonders hohe Leistungsausbeute gewährleisten. Dazu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Pumpengrenzkurve (28) während des Betriebs des Turboverdichters (2) anhand von während des Betriebs ermittelten Messwerten aktualisiert wird.

FIG 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Turboverdichters, bei dem ein Betriebspunkt vorgegeben wird, der unterhalb der in einem dem Turboverdichter zugeordneten Betriebsdiagramm durch eine Pumpgrenzkurve repräsentierten Pumpgrenze liegt. Sie betrifft weiterhin einen Turboverdichter.

**[0002]** Das Betriebsverhalten eines Turboverdichters lässt sich anhand seines Betriebsdiagrammes charakterisieren. Üblicherweise wird ein derartiges Betriebsdiagramm in einem kartesischen Koordinatensystem dargestellt, wobei entlang der Abszisse (x-Achse) z. B. die Drehzahl des Verdichters oder eine daraus abgeleitete Kenngröße und entlang der Ordinate (y-Achse) z. B. der Anstellwinkel der Vorleitschaufeln oder das Druckverhältnis, definiert als der Quotient von Enddruck zu Saugdruck, abgetragen ist. In einer alternativen, im Wesentlichen aber äquivalenten Darstellungsweise kann die x-Koordinate auch den Volumenstrom durch den Verdichter oder eine ähnliche Kenngröße bezeichnen. In das Betriebsdiagramm wird üblicherweise eine Schar von relevanten Kennlinien des Turboverdichters eingetragen, die in ihrer Gesamtheit ein Kennfeld bilden, z. B. Linien konstanten Wirkungsgrades oder konstanten Drehmomentes oder dergleichen. Die verdichterspezifischen Kennlinien lassen sich beispielsweise experimentell im Rahmen von Prüfstandsversuchen oder auch anhand theoretischer Überlegungen oder numerischer Simulationen ermitteln.

**[0003]** Der aktuelle Betriebszustand oder Betriebspunkt des Verdichters wird im Betriebsdiagramm durch einen Punkt repräsentiert. Beim Betrieb des Turboverdichters sollten ungünstige Betriebspunkte vermieden werden. Eine Betriebsgrenze des Turboverdichters, deren Überschreitung in jedem Fall zu vermeiden ist, ist die so genannte Pumpgrenze. Unter "Pumpen" (engl. surge) versteht man das Phänomen, das auftritt, wenn beispielsweise bei einem bestimmten Druckverhältnis ein dazu korrespondierender Mindestvolumenstrom unterschritten wird. Dabei bricht die Strömung zur Druckseite des Verdichters hin zusammen; es kommt zu einer Rückströmung durch den Kompressor, in deren Folge sich der Eintrittsdruck wieder erhöht und der Austrittsdruck abnimmt, bis erneut die Pumpgrenze erreicht wird. Ein derartiger Pumpvorgang, gekennzeichnet durch zyklisches Fördern und Rückströmen des komprimierten Mediums, wird in der Regel begleitet von starken, niederfrequenten Vibrationen (mit einer typischen Frequenz von 0,5 bis 2 Hz), von Druckstößen und von einem schnellen Temperaturanstieg im Verdichter. Mögliche Folgen sind Lager-, Anstreif-, Lauf- bzw. Schaufelschäden mit den damit verbundenen Betriebsausfällen.

**[0004]** Zwar lässt sich durch das sofortige Einleiten von aktiven Pumpunterdrückungsmaßnahmen beim Auftreten des ersten Pumpstoßes, etwa durch das Öffnen von Aus- oder Umblaseventilen, das unmittelbare Gefährdungspotenzial durch derartige Pumpvorgänge erheblich begrenzen, jedoch ist in diesem Fall eine vorübergehende Abweichung von den Nennbetriebswerten und somit eine vorübergehende, zum Teil erhebliche Leistungsreduktion unvermeidlich, wodurch insbesondere auch die störungsfreie Verfügbarkeit eines an den Turboverdichter oder die zugehörige Gasturbine angekoppelten Generators eingeschränkt ist. Damit kann beispielsweise die Stabilität der Stromversorgung bei Einspeisung des im Generator erzeugten elektrischen Stromes in ein Verbundnetz beeinträchtigt sein. Es besteht daher das Bestreben, ein Überschreiten der Pumpgrenze bei einem Turboverdichter durch "intelligente" Regelung des Betriebsverhaltens von vornherein zu vermeiden.

**[0005]** Im Betriebsdiagramm wird die Pumpgrenze für verschiedene Betriebsbedingungen durch eine Pumpgrenzkurve repräsentiert, die das Kennlinienfeld in einem stabilen und einen instabilen Bereich trennt. Die exakte Lage und der exakte Verlauf der Pumpgrenzkurve für die verschiedenen Vorleitschaufelstellungen lassen sich theoretisch nur mit begrenzter Genauigkeit ermitteln; eine experimentelle Ermittlung ist vergleichsweise aufwändig und liegt in vielen Fällen nicht vor. Allenfalls wird in der Regel aus einer Serie gleichartiger Turboverdichter ein Testexemplar ausgesondert und in einem Messstand vermessen. Vergleichsweise kleine Toleranzen bei der Fertigung der Serie können aber bereits zu merklichen Verschiebungen der Pumpgrenzkurve führen. Darüber hinaus ändert sich die Lage der Pumpgrenze im Betrieb in Abhängigkeit vom Alter des Turboverdichters und von der Sauberkeit der Verdichterbeschaufelung sowie von weiteren, zum Teil nur schwer erfassbaren oder quantifizierbaren Einflussfaktoren. Derzeit wird daher die Lage der Pumpgrenzkurve im Betriebsdiagramm nur dann angepasst, wenn dies infolge neuer Betriebserfahrung oder durch verbesserte Rechenverfahren sinnvoll erscheint. Deshalb muss der Betriebspunkt des Turboverdichters grundsätzlich unter Berücksichtigung eines mit hoher Sicherheit ausreichenden, dadurch aber auch mit hoher Wahrscheinlichkeit unnötig groß gewählten Abstandes zur tatsächlichen Pumpgrenzlage eingestellt werden. Dadurch wird der Betriebsbereich des Turboverdichters bzw. der Gasturbine unnötig eingeschränkt, wobei gerade in den Kennfeldbereichen mit prinzipiell hoher Leistungsausbeute durch die Wahl eines entsprechend großen Sicherheitsabstandes hohe Einbußen auftreten.

**[0006]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Turboverdichters anzugeben, das bei hoher betrieblicher Sicherheit und unter Vermeidung von Pumpvorgängen eine besonders große Flexibilität hinsichtlich der Wahl des Betriebspunktes sowie je nach den betrieblich vorgegebenen Randbedingungen einen besonders hohen betrieblichen Wirkungsgrad und/oder eine besonders hohe Leistungsausbeute gewährleistet.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Pumpgrenzkurve während des Betriebs des Turboverdichters anhand von während des Betriebs am Turboverdichter ermittelten Messwerten aktualisiert wird.

**[0008]** Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass ein besonders großer Betriebsbereich eines Turboverdichters

und damit eine unter allen denkbaren betrieblichen Randbedingungen besonders günstige Betriebsweise dann realisierbar ist, wenn nur ein vergleichsweise kleiner Sicherheitsabstand zur Pumpgrenze vorgegeben und eingehalten werden muss. Dazu sollte idealerweise die tatsächliche Pumpgrenzkurve im zugrunde liegenden Betriebsdiagramm mit möglichst hoher Genauigkeit bekannt sein. Ferner sollte für einen sicheren und gleichzeitig etwaige Leistungsreserven vollständig ausschöpfenden Betrieb des Turboverdichters berücksichtigt werden, dass diese tatsächliche, à priori allerdings nur näherungsweise bekannte Pumpgrenzkurve keine statische Größe ist, sondern im Laufe des Betriebs unter dem Einfluss vielfältiger Faktoren, wie etwa Lebensdauer, Anzahl der Betriebsstunden, Verschmutzungsgrad, Korrosion, vergrößertes Lagerspiel etc. variieren, sprich sich verschieben oder auch ihre Form ändern kann.

**[0009]** Nach dem nunmehr vorgesehenen Konzept werden derartige Effekte durch eine dynamische, während des Betriebs erfolgende Anpassung der anfänglich nur approximativ ermittelten Pumpgrenzkurve an die wirklichen Gegebenheiten berücksichtigt, wobei diese Anpassung anhand von während des Betriebs aufgenommenen Messwerten erfolgt, die in die Ermittlung oder Berechnung der aktuellen Pumpgrenzkurve eingehen. Damit kann zum einen in der Art einer iterativen Prozedur die ursprüngliche Approximation der Pumpgrenzkurve verbessert werden, so dass im Prinzip eine Kalibrierung des der anfänglichen Kurve zugrunde liegenden Modells (der Vorhersage) durchgeführt wird, die bereits dann vorteilhaft wäre, wenn die tatsächliche Pumpgrenze stationär wäre.

**[0010]** Darüber hinaus erfolgt auf diese Weise auch automatisch eine Adaption der Pumpgrenzkurve an die alterungsbedingt auftretenden Veränderungen und Degradationseffekte, die sich in einer zeitlich variierenden Pumpgrenzkurve niederschlagen, und die über die als Funktion der Zeit (kontinuierlich oder diskret) aufgenommenen Messwerte unmittelbar und mit vergleichsweise geringem Aufwand messtechnisch erfassbar sind.

**[0011]** Die für die Aktualisierung der Pumpgrenzkurve maßgeblichen Zeitintervalle können vorab anhand von Erfahrungswerten festgelegt werden. Sie können auch unregelmäßig sein und während des Betriebs bedarfsgerecht justiert werden. Vorteilhafterweise erfolgt jedoch eine fortlaufende Erfassung der Messwerte und Aktualisierung der Pumpgrenzkurve in periodischen Zeitschritten, z.B. täglich bei extremen Umgebungstemperaturen oder auch ereignisgesteuert, z.B. bei niedrigen Netzfrequenzen / Drehzahlen. Kürzer gewählte Zeitintervalle bedingen zwar einen erhöhten Verarbeitungsaufwand für die erfassten Daten, sind aber zweckmäßig, um auch den Einfluss instationärer Vorgänge, wie etwa das An- oder Abfahren des Turboverdichters oder Lastwechselvorgänge, angemessen zu berücksichtigen.

**[0012]** Neben einer rein messwertbasierten Aktualisierung der Pumpgrenzkurve kann es vorteilhafterweise zusätzlich vorgesehen sein, auf Erfahrungswerten beruhende Freiheitsgrade, etwa in der Art von frei wählbaren Skalierungsfaktoren oder dergleichen, bei der Ermittlung der aktuellen Pumpgrenzkurve zuzulassen.

**[0013]** Vorteilhafterweise wird während des Betriebs des Turboverdichters der aktuelle Wert eines Zustandsparameters, der zumindest näherungsweise ein Maß für den Abstand des jeweiligen Betriebszustandes zur tatsächlichen Pumpgrenze darstellt, ermittelt, wobei anhand dieses aktuellen Wertes des Zustandsparameters die aktuelle Pumpgrenzkurve festgelegt wird. Dabei wird vorzugsweise aus einer Schar möglicher Pumpgrenzkurven, entlang derer der Wert des Zustandsparameters jeweils konstant ist, diejenige als aktuelle Pumpgrenzkurve ausgewählt, die dem tatsächlichen Pumpgrenzabstand zuzuordnen ist, der sich aus dem aktuellen Wert des Zustandsparameters ergibt.

**[0014]** Mit anderen Worten: In das Betriebsdiagramm des Turboverdichters werden - gegebenenfalls den sonstigen Kennlinien überlagert - Kurven mit jeweils konstantem Wert des zuvor als relevant ausgewählten Zustandsparameters eingetragen. Dabei handelt es sich um generische Kurven, deren Verlauf aus experimentellen (Prüffeld-)Versuchen, gegebenenfalls durch theoretische Überlegungen und Rechnungen unterstützt, bekannt ist. Da der auch als Stall-Parameter bezeichnete Zustandsparameter derart gewählt ist, dass er zumindest in guter Näherung ein universelles, absolutes Maß für den Abstand des jeweiligen Betriebszustandes zur tatsächlichen Pumpgrenze darstellt, können die so erzeugten Kurven auch als Kurven konstanten Pumpgrenzabstandes angesehen werden. Sie stellen die möglichen Pumpgrenzkurven dar, die mit zunehmender Betriebszeit des Turboverdichters von diesem tatsächlich angenommen bzw. realisiert werden können. Anders ausgedrückt: Die aktuelle Pumpgrenzkurve stimmt in guter Näherung mit einer der Kurven aus der zuvor ermittelten Schar überein, nämlich derjenigen, die dem aktuellen, durch Messung ermittelten Wert des Zustandsparameters zugeordnet ist.

**[0015]** Da der gemessene Wert des Zustandsparameters möglicherweise selbst fehlerbehaftet ist, ist es zweckmäßig, eine Mehrzahl von Messwerten simultan oder zumindest zeitnah aufzunehmen und dann z. B. aus diesen Messwerten einen Mittelwert zu bilden. Alternativ kann bei besonders konservativer Auslegung derjenige Messwert aus der aufgenommenen Reihe zur Auswahl der Pumpgrenzkurve herangezogen werden, der die größten "Sicherheitsreserven" bietet. Die aktuelle Pumpgrenzkurve kann dabei beispielsweise auch durch Parallelverschiebung der ursprünglichen Pumpgrenzkurve im Betriebsdiagramm, gegebenenfalls unter Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate oder dergleichen ermittelt und an die aktuellen Messwerte des Stall-Parameters angepasst werden.

**[0016]** Vorteilhafterweise werden in die Ermittlung oder Berechnung des aktuellen Wertes des Zustandsparameters zeitabhängige Druckfluktuationen im Strömungskanal des Turboverdichters einbezogen. Als besonders vorteilhaft erweist es sich dabei, die Druckfluktuation im Spaltbereich zwischen den Laufschaufeln einer Laufschaufelreihe, insbesondere der in Strömungsrichtung des zu verdichtenden Strömungsmediums gesehen ersten Laufschaufelreihe und dem den Strömungskanal begrenzenden Verdichtergehäuse zu messen. Als weitere Eingangsgrößen zur Berechnung

des aktuellen Wertes des Zustandsparameters werden vorteilhafterweise eine für den Anstellwinkel der Leitschaufeln des Turboverdichters charakteristische Kenngröße und/oder eine das Druckverhältnis zwischen saugseitigem und auslassseitigem Druck und/oder eine für die Drehzahl des Turboverdichters charakteristische Kenngröße durch Messung ermittelt. Wie sich herausgestellt hat, ist ein solchermaßen aus vergleichsweise einfach zugänglichen Messgrößen ermittelter Wert des Zustandsparameters für eine besonders zuverlässige Bewertung des Pumpgrenzabstandes und für eine zuverlässige Vorhersage von Pumpzuständen geeignet.

**[0017]** In einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung des Verfahrens werden als eine erste Koordinate des Betriebsdiagrammes eine für den Anstellwinkel der Leitschaufeln charakteristische Kenngröße oder stattdessen das (Gesamt-) Druckverhältnis zwischen auslassseitigem und saugseitigem Druck des Turboverdichters und als zweite Koordinate eine für die Drehzahl des Turboverdichters charakteristische Kenngröße, insbesondere die auf Normbedingungen bezogene reduzierte Drehzahl, gewählt. Eine derartige Darstellung der betrieblichen Zusammenhänge hat sich bereits im Rahmen der bislang verwendeten Regelungs- oder Steuerungsverfahren etabliert und ist daher für das Bedienpersonal des Turboverdichters ausgesprochen übersichtlich und aussagekräftig.

**[0018]** Bei der ersten Inbetriebnahme des Turboverdichters wird vorteilhafterweise eine auf theoretischen Überlegungen, insbesondere auf Modellrechnungen und numerischen Simulationen, und/oder auf Vergleichsmessungen an anderen Maschinen gleicher oder ähnlicher Bauart beruhende, also heuristisch ermittelte, anfängliche Pumpgrenzkurve verwendet, indem beispielsweise der Wert des Zustandsparameters überschlagsmäßig abgeschätzt und anhand dieses Wertes aus der Schar theoretisch möglicher Pumpgrenzkurven die entsprechende ausgewählt wird.

**[0019]** Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird einer drohenden oder tatsächlichen Überschreitung der Pumpgrenze, vorzugsweise in automatisierter Weise, entgegengewirkt, indem der einer den Verdichter antreibenden Antriebseinheit zugeführte Brennstoffmassenstrom reduziert und/oder der Anstellwinkel der Vorleitschaufeln verändert wird. Mit Vorleitschaufeln werden dabei die Leitschaufeln der in Strömungsrichtung des Strömungsmediums gesehen ersten Leitschaufelreihe bezeichnet, die über eine zugehörige Verstellvorrichtung um ihre Längserstreckung verstellbar sind. Durch die rechtzeitige Einleitung derartiger Pumpverhütungsmaßnahmen können wesentlich drastischere, nachträgliche Entlastungsmaßnahmen, wie etwa das Öffnen von Abblaseventilen oder dergleichen vermieden und stattdessen der reguläre Betrieb des Turboverdichters oder der Gasturbine ohne übermäßige Leistungseinbußen aufrecht erhalten werden.

**[0020]** Ein auf das oben erläuterte Betriebsverfahren besonders gut abgestimmter Turboverdichter weist bevorzugt eine Überwachungs- und Regelungsvorrichtung auf, wobei die Überwachungs- und Regelungsvorrichtung eine Anzahl von Messsensoren umfasst, die datenseitig mit einer für die Ermittlung des aktuellen Betriebszustandes sowie für die Ermittlung und/oder Kalibrierung einer aktuellen Pumpgrenzkurve konfigurierten Auswerteeinheit verbunden sind. Das heißt, der Betriebszustand des Turboverdichters wird fortlaufend daraufhin überwacht, ob er sich im Betriebsdiagramm der dynamisch aktualisierten Pumpgrenzkurve annähert, so dass bei Unterschreiten eines vorgegebenen, vorzugsweise frei wählbaren Mindestabstandes ein entsprechendes Warnsignal ausgegeben wird. Weiterhin umfasst die Überwachungs- und Regelungsvorrichtung vorteilhafterweise eine dateneingangsseitig auf die in der Auswerteeinheit ermittelte aktuelle Pumpgrenzkurve zugreifende Regelungseinheit, die mit einer Anzahl von auf relevante Stellgrößen des Turboverdichters einwirkenden Aktuatoren verbunden ist. Die Regelungseinheit ist dabei derart konfiguriert, dass durch entsprechende zeitabhängige Ansteuerung der Aktuatoren der Betriebspunkt des Turboverdichters stets unterhalb der durch die aktuelle Pumpgrenzkurve repräsentierten Pumpgrenze bleibt. Gegebenenfalls kann das Bedienpersonal über eine Bedienkonsole oder dergleichen auch die vollautomatische Regelung außer Kraft setzen oder "überschreibende" manuelle Steuerbefehle absetzen, und zwar vorteilhafterweise nur solche, die den Abstand des Betriebspunktes zur aktuellen Pumpgrenzkurve vergrößern.

**[0021]** Vorteilhafterweise umfasst der Turboverdichter mindestens einen zur Erfassung von zeitlichen Druckfluktuationen im Strömungskanal ausgelegten Drucksensor, der vorzugsweise im Bereich des der ersten Laufschaufelreihe zugeordneten Radialspalts angeordnet ist. Die hier interessierenden, bei konstanter Drehzahl des Turboverdichters periodischen Druckfluktuationen entstehen dadurch, dass die Laufschaufeln sich infolge der Rotation der Verdichterwelle mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit am jeweiligen Messpunkt des Verdichtergehäuses vorbei bewegen. Dementsprechend sollte der jeweilige Drucksensor eine vergleichsweise hohe Abtastrate von typischerweise mindestens 50 kHz haben.

**[0022]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist der Turboverdichter weiterhin eine Vorrichtung zur Regulierung des Brennstoffmassenstroms, welcher einer den Turboverdichter antreibenden Antriebseinheit zugeführt wird, und/oder eine Verstellvorrichtung für die Vorleitschaufeln des Turboverdichters auf. Der Turboverdichter ist vorteilhafterweise ein Gasturbinenverdichter, so dass es sich bei der Antriebseinheit um die Turbineneinheit der Gasturbine und bei dem regelbaren Brennstoffmassenstrom um den den Brennern der zugehörigen Brennkammer zugeführten Brennstoffmassenstrom handelt.

**[0023]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die während des Betriebs des Turboverdichters erfolgende dynamische Anpassung bzw. Aktualisierung der Pumpgrenzkurve anhand von durch Messung ermittelten, charakteristischen Zustandsparametern ein besonders zuverlässiger und sicherer Betrieb des

Turboverdichters ermöglicht ist, wobei gleichzeitig der jeweils stabile Betriebsbereich möglichst vollständig ausgeschöpft werden kann, ohne wie bislang etwaige Leistungsreserven durch unnötig groß gewählte Sicherheitsabstände ungenutzt zu "verschenken". Dabei lassen sich zum einen die Vorhersagen aus vereinfachten, aber gut handhabbaren Modellen an die Realität anpassen bzw. kalibrieren, zum anderen wird eine alterungsbedingte oder verschmutzungsbedingte Verlagerung der Pumpgrenzkurve automatisch mit erfasst und lässt sich bei der Steuerung oder Regelung des Turboverdichters angemessen berücksichtigen.

**[0024]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 schematisch einen Turboverdichter im Längsschnitt mit einer zugehörigen Überwachungs- und Regelungsvorrichtung,

FIG 2 ein Betriebsdiagramm des Turboverdichters gemäß FIG 1 mit einer generischen Pumpgrenzkurve, und

FIG 3 ein weiteres Betriebsdiagramm des Turboverdichters gemäß FIG 1, in das verschiedene Pumpgrenzkurven eingetragen sind, welche jeweils zu verschiedenen Betriebszeitpunkten des Turboverdichters anhand von Messungen eines Zustandsparameters ermittelt wurden.

**[0025]** Der in FIG 1 dargestellte Turboverdichter 2 dient zur Verdichtung eines Strömungsmediums M, hier Luft. Dazu umfasst der als Axialverdichter ausgestaltete Turboverdichter 2 eine Anzahl von jeweils zu Laufschaufelreihen zusammengefasste, jeweils kränzförmig an einer rotierbaren Verdichterwelle 4 angeordnete Laufschaufeln 6. Durch die rotierenden Laufschaufeln 6 wird in Umkehrung des Prinzips einer Turbine kinetische Energie auf das Strömungsmedium M übertragen, wodurch dieses innerhalb des nach innen durch die Verdichterwelle 4 und nach außen durch das Verdichtergehäuse 8 begrenzten Strömungskanals 10 in Richtung der Verdichterachse 12 vom Einlass 14 zum Auslass 16 befördert und dabei infolge des zur Auslassseite hin stetig abnehmenden Querschnitts des Strömungskanals 10 komprimiert wird. Das heißt, bei gleichem Massenstrom ist der Volumenstrom am Auslass 16 geringer als am Einlass 14. Im Allgemeinen muss der Massenstrom allerdings nicht über den gesamten Verdichter konstant sein; vielmehr können an einzelnen Verdichterstufen Teilmengen der verdichteten Luft entnommen werden. Die Einlassseite wird auch als Saugseite bezeichnet. Zwischen den Laufschaufeln 6 benachbarter Laufschaufelreihen sind jeweils am Verdichtergehäuse 8 befestigte, jeweils zu Leitschaufelreihen zusammengefasste Leitschaufeln 18 vorgesehen, so dass sich Lauf- und Leitschaufelreihen in Strömungsrichtung 20 des Strömungsmediums abwechseln. Die in den Strömungskanal 10 hineinragenden Leitschaufeln 18 dienen dabei zur Strömungsführung des Strömungsmediums M. Eine aus einer Laufschaufelreihe und einer ihr unmittelbar nachfolgenden Leitschaufelreihe gebildete Einheit wird auch als Verdichterstufe bezeichnet.

**[0026]** Der Turboverdichter 2 ist als Gasturbinenverdichter Bestandteil einer Gasturbine und wird über eine hier nicht dargestellte Turbineneinheit angetrieben, wobei die Verdichterwelle 4 starr mit der Turbinenwelle verbunden ist. Die im Turboverdichter 2 komprimierte Luft wird gemeinsam mit einem fossilen Brennstoff den in einer Brennkammer der Gasturbine angeordneten Brennern zugeführt, wobei durch Verbrennung des so erzeugten Brennstoff-Luft-Gemisches ein heißes und unter hohem Druck stehendes Arbeitsmedium entsteht. Das Arbeitsmedium treibt bei seiner Expansion im Strömungskanal der Turbineneinheit über einen Impulsübertrag auf die rotierend an der Turbinenwelle angeordneten Turbinenlaufschaufeln die Turbinenwelle und damit auch die mit ihr verbundene Verdichterwelle 4 an. An der gemeinsamen Welle ist üblicherweise ein hier ebenfalls nicht dargestellter Generator zur Erzeugung von elektrischem Strom angekoppelt.

**[0027]** Die Leitschaufeln 18 der in Strömungsrichtung 20 gesehen ersten Leitschaufelreihe, die so genannten Vorleitschaufeln 22, sind in ihrem Anstellwinkel jeweils gegenüber einer von der Verdichterachse 12 und einem dazu senkrechten Radialstrahl aufgespannten Bezugsebene verstellbar. Zur Verstellung der Vorleitschaufeln 22 ist eine in FIG 1 lediglich schematisch angedeutete Verstellvorrichtung 24 vorgesehen. Mit zunehmendem Anstellwinkel verkleinert sich der freie Querschnitt an dieser Stelle des Strömungskanals 10. Bei gleichbleibender Drehzahl  $n^*$  der Verdichterwelle 4 nimmt die Menge der pro Zeiteinheit angesaugten Luft und damit der Massenstrom durch den Turboverdichter 2 mit zunehmendem Anstellwinkel der Vorleitschaufeln 22, im Folgenden mit LSV bezeichnet, ab. Der als Index an der Drehzahl  $n^*$  angebrachte Stern soll andeuten, dass es sich dabei um die so genannte reduzierte Drehzahl, handelt, die gemäß

$$n^* = \frac{n}{n_0} \cdot \sqrt{\frac{RT}{R_0 T_0}}$$

auf die Drehzahl  $n$ , die Lufttemperatur  $T$  und die Gaskonstante  $R$  bei Nennbedingungen, charakterisiert durch den Index

0, bezogen ist.

**[0028]** Neben einer Verstellung der Vorleitschaufeln 22 kann darüber hinaus auch eine Verstellung der Schaufeln von weiter stromabwärts liegenden Leitschaufelreihen, z.B. der Reihen 1 bis 3, vorgesehen sein.

**[0029]** Für einen begrenzten  $n^*$ -Bereich gilt: Wird bei einer bestimmten Drehzahl  $n^*$  ein dazu korrespondierender maximaler Anstellwinkelwinkel  $LSV_{\max}$  der Vorleitschaufeln 22 überschritten, treten infolge des zu geringen Volumensstroms durch den Turboverdichter 2 die eingangs geschilderten Pumpphänomene auf. Zur Vermeidung von Verdichterschäden, aber auch zur Gewährleistung einer stabilen Stromversorgung durch den an die Gasturbine angekoppelten Generator sollte die Pumpgrenze beim Betrieb des Turboverdichters 2 möglichst nicht überschritten werden. Im Allgemeinen ist die durch den Wert von  $LSV_{\max}$  charakterisierte Pumpgrenze eine Funktion der (reduzierten) Drehzahl  $n^*$ . In dem in FIG 2 dargestellten schematischen Betriebsdiagramm 26 des Turboverdichters 2, bei dem entlang der x-Achse die Drehzahl  $n^*$  und entlang der y-Achse der maximale Anstellwinkel  $LSV_{\max}$  aufgetragen ist, ist die Pumpgrenze daher durch eine gekrümmte Pumpgrenzkurve 28 repräsentiert. Unterhalb der Pumpgrenzkurve 28 liegen die stabilen Betriebspunkte des Turboverdichters 2, oberhalb die instabilen, bei denen Pumpphänomene auftreten. Anstelle von  $LSV_{\max}$  könnte auf der y-Achse auch das Druckverhältnis  $\pi$  des Turboverdichters 2, definiert als Quotient aus austrittsseitigem zu eintrittsseitigem Druck des Strömungsmediums M, aufgetragen sein.

**[0030]** Die exakte, tatsächliche Lage der Pumpgrenzkurve 28 im Betriebsdiagramm 26 ist in der Regel anhand von experimentellen Versuchen oder anhand von Modellrechnungen nur unzulänglich bekannt. Daher wird zur Steuerung des Betriebsverhaltens des Turboverdichters 2 eine approximative, in FIG 2 gestrichelt gezeichnete Pumpgrenzkurve 28' verwendet, die mit hoher Sicherheit unterhalb der tatsächlichen Pumpgrenzkurve 28 liegt. Das heißt, der Betriebspunkt 30 des Turboverdichters 2 wird stets unterhalb der approximativen Pumpgrenzkurve 28' liegend gewählt. Dadurch wird der zulässige Betriebsbereich des Turboverdichters 2 jedoch meist unnötig eingeschränkt. Hinzu kommt, dass sich die tatsächliche Lage der Pumpgrenzkurve 28 im Betriebsdiagramm aufgrund mannigfaltiger, in der bisherigen Diskussion von FIG 2 noch nicht berücksichtigter Einflüsse im Laufe des Betriebs des Turboverdichters 2 nach oben oder nach unten verschieben kann. Verschiebt sie sich nach oben, so vergrößert sich die Menge der nicht nutzbaren, stabilen Betriebszustände noch zusätzlich; verschiebt sie sich nach unten, so besteht die Gefahr, dass der Verdichter bei ungünstiger Wahl des Betriebspunktes 30 "pumpt".

**[0031]** Um derartigen Schwierigkeiten aus dem Weg zu gehen, wird während des Betriebs des Turboverdichters 2 der jeweils aktuelle Wert eines Zustandsparameters (bezeichnet mit  $P_{\text{stall}}$  oder  $P_i$ ) ermittelt, der zumindest näherungsweise ein Maß für den Abstand des jeweiligen Betriebszustandes zur tatsächlichen Pumpgrenze darstellt. Zu diesem Zweck ist, wie in FIG 1 gezeigt, ein zeitlich hoch auflösender Drucksensor 32 an der zum Strömungskanal 10 gewandten Außenseite des Verdichtergehäuses 8 derart angeordnet, dass er den zeitlichen Verlauf des Drucks im Radialspalt 34 zwischen dem ersten Laufrad bzw. den Laufschaufelspitzen 36 der ersten Laufschaufelreihe und dem Verdichtergehäuse 8 misst. Dabei wird eine Reihe zeitlich aufeinander folgender Druckwerte  $p_i$  während des "Vorbeiflugs" der Laufschaufeln 6 mit konstanter Abtastrate gemessen. Im Ausführungsbeispiel sind 4096 Messwerte vorgesehen; das heißt, es gilt  $i = 1 \dots 4096$ . Anschließend wird zur Vorhersage und Früherkennung eines Pumpstoßes in der Auswerteeinheit 38, die Bestandteil der in FIG 1 mit einer gestrichelten Linie umrahmten Überwachungs- und Regelungsvorrichtung 40 ist, gemäß folgender Formel ein Parameter  $P_{\text{Pumpstoß}}$  gebildet:

$$P_{\text{Pumpstoß}} = k\sigma(p) - [\text{Max}(p_i) - \bar{p}]$$

mit  $k$  = Einstellfaktor

$$\sigma(p) = \sqrt{\frac{1}{4096} \sum_{i=1}^{4096} (p_i - \bar{p})^2}$$

= Standardabweichung über alle Pegel  $p_i$   
( $i = 1 \dots 4096$ )

$$\bar{p} = \text{algebraischer Mittelwert der Pegel } p_i$$

( $i = 1 \dots 4096$ )

$Max(p_i)$  = Maximum der Pegel  $p_i$ .

5 **[0032]** Aus diesem Parameter wiederum wird gemäß:

$$P_{stall} = 10^{KP_{Pumpstoß}}$$

10

ein auf die Warnschwelle oder auf den Grenzwert  $P_{stall} = 1$  normierter so genannter Stall-Parameter oder Zustandsparameter  $P_{stall}$  gebildet.  $K$  und  $K$  sind Einstellfaktoren. In langwierigen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der so definierte Stall-Parameter  $P_{stall}$  zumindest im Prinzip ein absolutes Maß für den momentanen Pumpgrenzabstand darstellt, wobei in der Praxis meist noch Verallgemeinerungen dieses auf der Ermittlung eines Schall/Druck-Spektrums beruhenden Konzeptes mit entsprechend komplizierteren Formeln und Berechnungsmethoden eingesetzt werden. An dieser Stelle, d. h. für ein grundsätzliches Verständnis der Verdichterregelung, kommt es jedoch nicht auf derartige Einzelheiten an. Im Folgenden wird anstelle der Bezeichnung  $P_{stall}$  auch die Bezeichnung  $P_i$  verwendet, wobei der Index  $i$  andeutet, dass auch Verallgemeinerungen auf mehr als einen derartiger Parameter gebräuchlich sind.

15

20

**[0033]** Jedenfalls stellen die Linien  $P_i = \text{const.}$  im Prinzip Linien konstanten Pumpgrenzabstandes dar, die sich anhand von Versuchen und gegebenenfalls durch Modellrechnungen unterstützt in dem Betriebsdiagramm 26 des Turboverdichters 2 detektieren und eintragen lassen. Dies ist in FIG 3 schematisch dargestellt. Jede der generischen Kurven  $LSV_{max} = f(n^*)$  der Kurvenschar mit  $P_i = \text{const.}$  stellt dann zumindest in sehr guter Näherung eine der möglichen Pumpgrenzkurven dar, die der Turboverdichter 2 im Laufe seines Betriebslebens, abhängig z. B. vom Verschmutzungsgrad der Verdichterbeschaufelung, tatsächlich annehmen kann. Der aktuell gültige Wert des Zustandsparameters  $P_i$ , der sich

25

- wie oben geschildert - anhand der kontinuierlich erfassten Messgrößen  $p_i$ , LSV,  $n^*$ ,  $\pi$  und gegebenenfalls noch weiterer Größen berechnen lässt, legt dann die aktuelle, der Steuerung des Turboverdichters 2 zugrunde zu legende Pumpgrenzkurve 28 fest.

30

**[0034]** In der Praxis wird beispielsweise nach der Fertigung der Gasturbine bzw. des Turboverdichters 2 für drei verschiedene, jeweils durch ein Paar von Werten (LSV,  $n^*$ ) charakterisierte Betriebspunkte 30 der jeweils leicht fehlerbehaftete Wert des Zustandsparameters  $P_i = P_i(\text{LSV}, n^*)$  ermittelt. Dem entsprechen im Betriebsdiagramm 26 von FIG 3 die drei Punkte P1, P2, P3, durch die die Regressionskurve A als anfängliche Pumpgrenzkurve 28 gelegt wird. Zu einem späteren Zeitpunkt, in dem sich die tatsächliche Pumpgrenzkurve 28 aufgrund von Alterungsprozessen etc. verlagert hat, werden auf analoge Weise die Punkte P4 bis P7 ermittelt. Diese liegen in dem Betriebsdiagramm 26 beispielsweise allesamt oberhalb der Kurve A, d. h. bei höheren  $LSV_{max}$ -Werten, was eine Verschiebung der ursprünglichen Pumpgrenzkurve A nach oben nahe legt. Nun besteht z. B. die Möglichkeit, konservativ zu sein und die Kurve A parallel zu verschieben, bis sie den untersten der Punkte P4 bis P7 schneidet. Im Beispiel ist dies der Punkt P4; es ergibt sich die Kurve B. Eine andere Möglichkeit ist, die Kurve A derart parallel zu verschieben, dass die vier Punkte P4 bis P7 die Bedingung erfüllen, dass die Summe der Fehlerquadrate bzw. Abweichungsquadrate möglichst gering ist. In diesem Fall ergibt sich als neue, aktuelle Pumpgrenzkurve 28 die Kurve C. Bei der Wahl der geeigneten Vorgehensweise können

35

40

**[0035]** Das gesamte Verfahren wird - wie oben bereits geschildert - entweder vollautomatisch oder interaktiv im Dialog mit einer Bedienperson in der in FIG 1 mit 40 gekennzeichneten Überwachungs- und Regelungsvorrichtung durchgeführt, die neben der Auswerteeinheit 38 zur Ermittlung des aktuellen Wertes des Zustandsparameters  $P_i$  und der zugehörigen Pumpgrenzkurve 28 auch noch eine Regelungseinheit 42 umfasst. Die Regelungseinheit 42 wirkt über ihr zugeordnete Aktuatoren auf die Verstellvorrichtung 24 für die Vorleitschaufeln 22, d. h. auf deren Anstellwinkel LSV, und auf eine den Brennstoffmassenstrom  $N$  für die Gasturbine regulierende Brennstoffregulierungsvorrichtung ein. Die Regelung erfolgt derart, dass der Betriebspunkt 30 des Turboverdichters 2 stets unterhalb der durch die aktuelle Pumpgrenzkurve 28 repräsentierten Pumpgrenze bleibt. Dazu wird der mit etwaigen Lageänderungen sowohl des Betriebspunktes 30 als auch der Pumpgrenzkurve 28 verbundene Trend, d. h. insbesondere die Änderungsgeschwindigkeit beider Größen, ermittelt und ausgewertet. Bei Unterschreitung eines vorgegebenen Mindestpumpgrenzabstandes werden dann entgegenwirkende Steuerbefehle zur Steuerung von LSV und  $N$  gegeben, deren Stärke von der Stärke des Trends und damit von der "Kollisionsgefahr" zwischen dem Betriebspunkt 30 und der Pumpgrenzkurve 28 abhängig ist.

45

50

**[0036]** Damit kann bei hoher betrieblicher Sicherheit ein besonders großer Betriebsbereich des Turboverdichters 2 voll ausgeschöpft werden.

55

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Turboverdichters (2), bei dem ein Betriebspunkt (30) vorgegeben wird, der unterhalb der in einem dem Turboverdichter (2) zugeordneten Betriebsdiagramm (26) durch eine Pumpgrenzkurve (28) repräsentierten Pumpgrenze liegt,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 die Pumpgrenzkurve (28) während des Betriebs anhand von während des Betriebs ermittelten Messwerten aktualisiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem während des Betriebs des Turboverdichters (2) der aktuelle Wert eines Zustandsparameters ( $P_i$ ), der zumindest näherungsweise ein Maß für den Abstand des jeweiligen Betriebszustandes zur tatsächlichen Pumpgrenze darstellt, ermittelt wird, wobei anhand dieses aktuellen Wertes des Zustandsparameters ( $P_i$ ) die aktuelle Pumpgrenzkurve (28) festgelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem aus einer Schar möglicher Pumpgrenzkurven (28), entlang derer der Wert des Zustandsparameters ( $P_i$ ) jeweils konstant ist, diejenige als aktuelle Pumpgrenzkurve (28) ausgewählt wird, die dem Pumpgrenzabstand zuzuordnen ist, der sich aus dem aktuellen Wert des Zustandsparameters ( $P_i$ ) ergibt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem in die Ermittlung oder Berechnung des aktuellen Wertes des Zustandsparameters ( $P_i$ ) zeitabhängige Druckfluktuationen im Strömungskanal (10) des Turboverdichters (2) einbezogen werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Druckfluktuationen im Spaltbereich zwischen den Laufschaufeln (6) einer Laufschaufelreihe, insbesondere der in Strömungsrichtung des zu verdichtenden Strömungsmediums (M) gesehen ersten Laufschaufelreihe, und dem den Strömungskanal (10) begrenzenden Verdichtergehäuse (8) gemessen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, bei dem als weitere Eingangsgrößen zur Berechnung des aktuellen Wertes des Zustandsparameters ( $P_i$ ) eine für den Anstellwinkel (LSV) der Leitschaufeln des Turboverdichters charakteristische Kenngröße und/oder das Druckverhältnis ( $n$ ) zwischen auslasseitigem und saugseitigem Druck und/oder eine für die Drehzahl des Turboverdichters (2) charakteristische Kenngröße ermittelt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, insbesondere zur Anwendung bei einem Turboverdichter (2) mit verstellbaren Vorleitschaufeln (22), bei dem als eine erste Koordinate des Betriebsdiagramms (26) eine für den Anstellwinkel (LSV) der Vorleitschaufeln (22) charakteristische Kenngröße oder stattdessen das Druckverhältnis ( $n$ ) zwischen auslasseitigem und saugseitigem Druck und als zweite Koordinate eine für die Drehzahl des Turboverdichters charakteristische Kenngröße, insbesondere die auf Normbedingungen bezogene reduzierte Drehzahl ( $n^*$ ), gewählt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei bei der ersten Inbetriebnahme des Turboverdichters (2) eine auf theoretischen Vorüberlegungen und/oder auf Vergleichsmessungen beruhende anfängliche Pumpgrenzkurve (28) zugrunde gelegt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem einer drohenden oder tatsächlichen Überschreitung der Pumpgrenze, vorzugsweise in automatisierter Weise, entgegengewirkt wird, indem der einer den Verdichter antreibenden Antriebseinheit zugeführte Brennstoffmassenstrom (N) reduziert und/oder der Anstellwinkel (LSV) der Vorleitschaufeln (22) verändert wird.
10. Turboverdichter (2) mit einer zugehörigen Überwachungs- und Regelungsvorrichtung (40) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Überwachungs- und Regelungsvorrichtung (40) eine Anzahl von Messsensoren umfasst, die datenseitig mit einer für die Ermittlung des aktuellen Betriebszustandes sowie für die Ermittlung und/oder Kalibrierung einer aktuellen Pumpgrenzkurve (28) konfigurierten Auswerteeinheit (38) verbunden sind.
11. Turboverdichter (2) nach Anspruch 10, dessen Überwachungs- und Regelungsvorrichtung (40) eine dateneingangsseitig auf die in der Auswerteeinheit (38) ermittelte aktuelle Pumpgrenzkurve (28) zugreifende Regelungseinheit (42) umfasst, wobei die Regelungseinheit (42) mit einer Anzahl von auf Stellgrößen des Turboverdichters (2) einwirkenden Aktuatoren verbunden ist, und wobei die Regelungseinheit (42) derart konfiguriert ist, dass der Betriebs-

punkt (30) des Turboverdichters stets unterhalb der durch die aktuelle Pumpgrenzkurve (28) repräsentierten Pumpgrenze bleibt.

5      **12.** Turboverdichter (2) nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Messsensoren mindestens einen zur Erfassung von zeitlichen Druckfluktuationen im Strömungskanal (10) des Turboverdichters (2) ausgelegten Drucksensor (32) umfassen, der vorzugsweise im Bereich des der ersten Laufschaufelreihe zugeordneten Radialspalts (34) angeordnet ist.

10      **13.** Turboverdichter (2) nach Anspruch 11 oder 12, wobei die Aktuatoren eine Vorrichtung zur Regulierung des Brennstoffmassenstroms (N), welcher einer den Turboverdichter (2) antreibenden Antriebseinheit zugeführt wird, und/oder eine Verstellvorrichtung (24) für die Vorleitschaufeln (22) des Turboverdichters (2) umfassen.

**14.** Gasturbine mit einer Turbineneinheit und mit einem Turboverdichter (2) nach einem der Ansprüche 10 bis 13.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

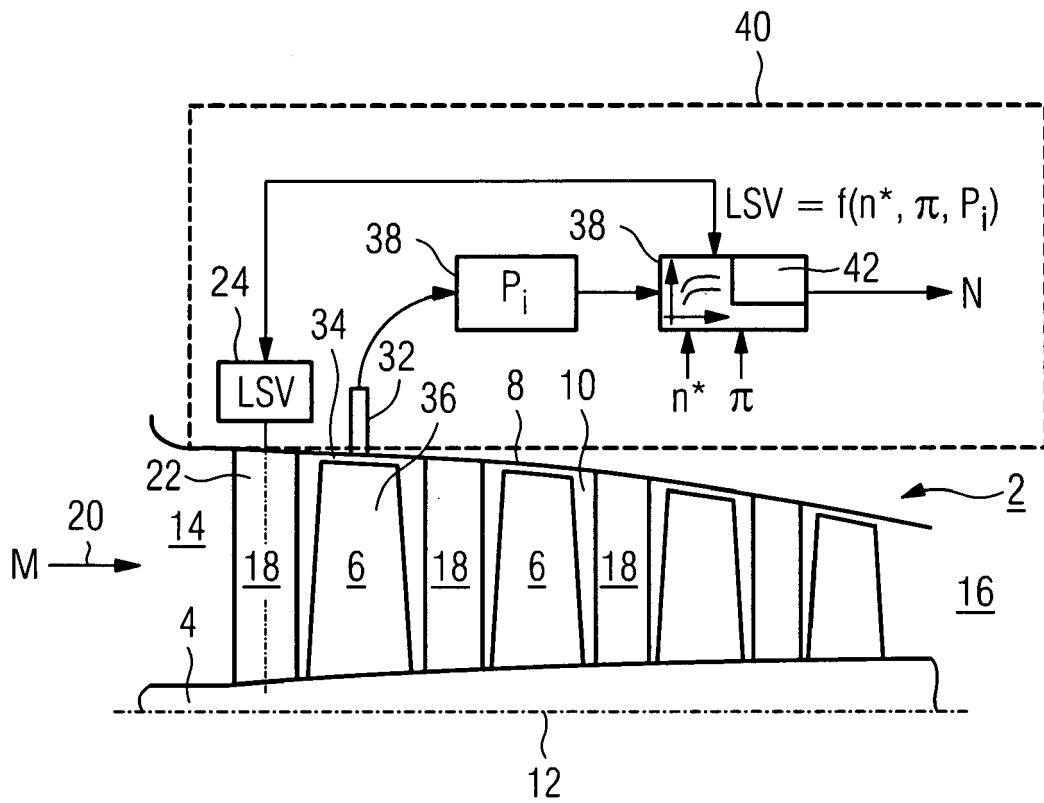


FIG 2

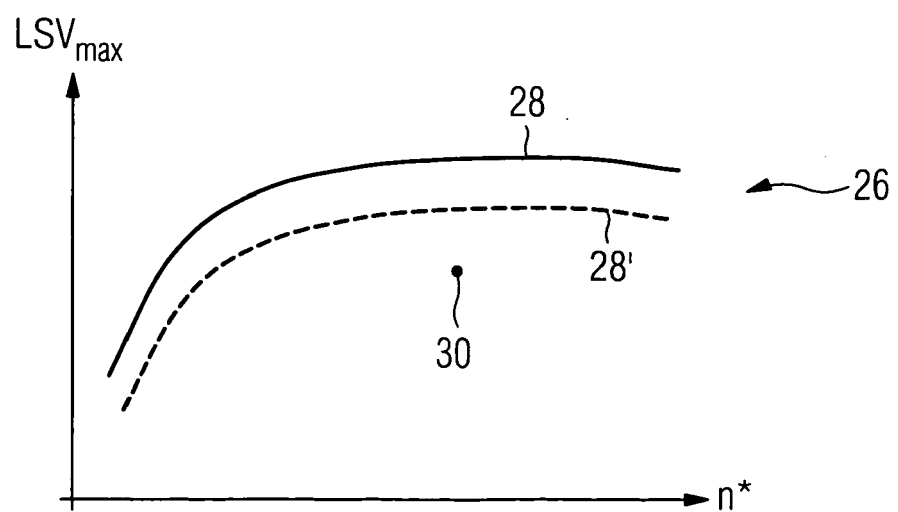
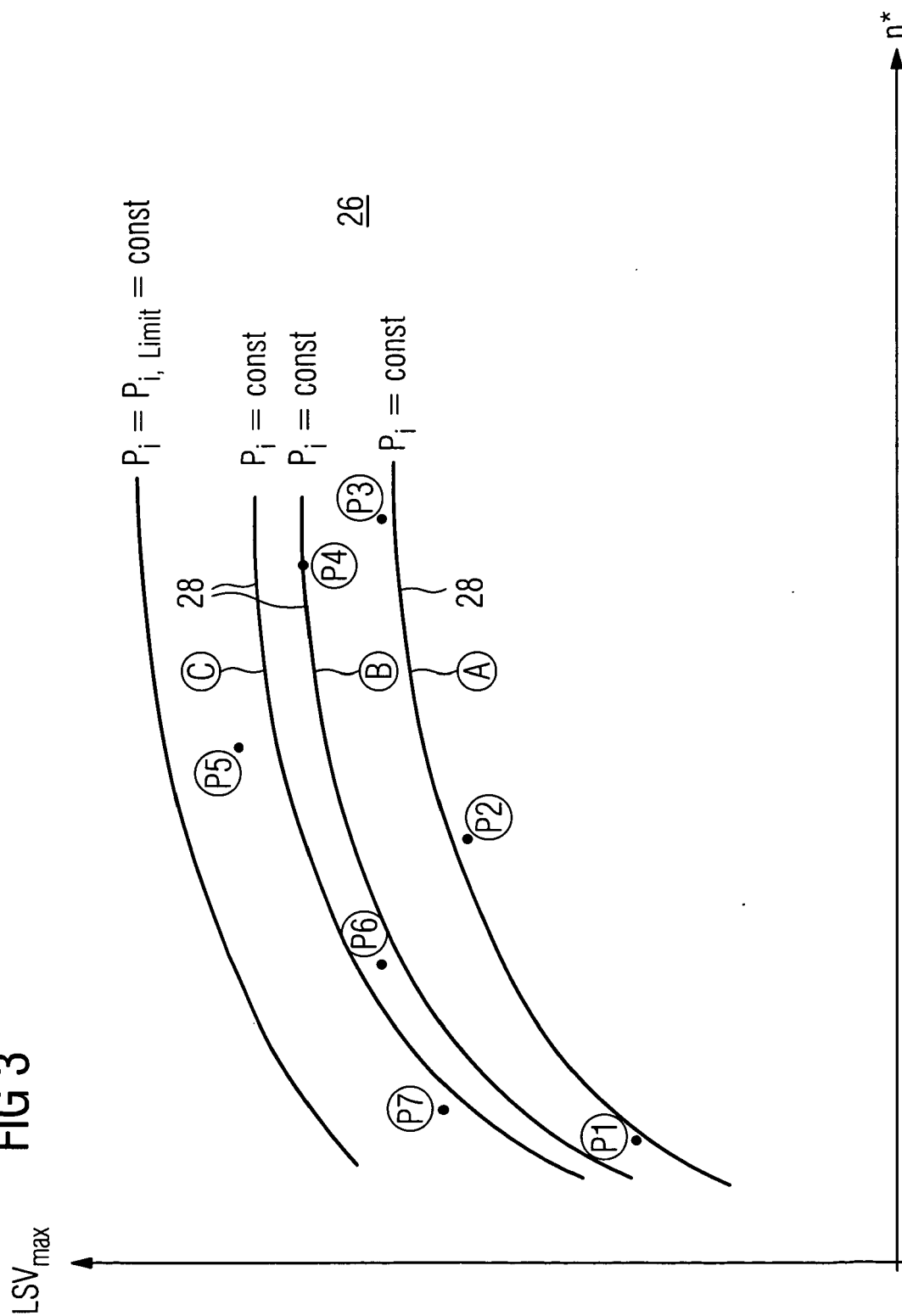


FIG 3





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 06 00 8134

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                 | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)  |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | GB 2 316 772 A (AMERICAN STANDARD INC [US]) 4. März 1998 (1998-03-04)<br><br>* Seite 14, Absatz 1 - Seite 17, Absatz 15; Abbildungen 1,2 *<br>----- | 1,2,4,6,7,9-11,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | INV.<br>F04D27/02                   |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EP 1 256 726 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13. November 2002 (2002-11-13)<br>* das ganze Dokument *                                                        | 1-14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | GB 2 102 595 A (GEN ELECTRIC [US]) 2. Februar 1983 (1983-02-02)<br>* das ganze Dokument *<br>-----                                                  | 1-14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | F04D                                |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                     | Abschlußdatum der Recherche<br><b>25. Oktober 2006</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Prüfer<br><b>Teerling, Johannes</b> |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                     | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>.....<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                     |

2  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 06 00 8134

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

25-10-2006

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patendokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| GB 2316772 A                                      | 04-03-1998                    | GB 2316714 A                      | 04-03-1998                    |
| EP 1256726 A1                                     | 13-11-2002                    | DE 60203560 D1                    | 12-05-2005                    |
|                                                   |                               | DE 60203560 T2                    | 09-02-2006                    |
|                                                   |                               | JP 2002371989 A                   | 26-12-2002                    |
|                                                   |                               | US 2002161550 A1                  | 31-10-2002                    |
| GB 2102595 A                                      | 02-02-1983                    | DE 3224113 A1                     | 10-02-1983                    |
|                                                   |                               | FR 2510188 A1                     | 28-01-1983                    |
|                                                   |                               | IT 1207448 B                      | 17-05-1989                    |
|                                                   |                               | JP 58038329 A                     | 05-03-1983                    |
|                                                   |                               | US 4449358 A                      | 22-05-1984                    |

EPO FORM P0461

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