



(10) **DE 10 2007 007 888 B4** 2023.08.03

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2007 007 888.0**
(22) Anmeldetag: **14.02.2007**
(43) Offenlegungstag: **16.08.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.08.2023**

(51) Int Cl.: **F02C 9/24 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
11/353,953 15.02.2006 US

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:
Rüger Abel Patentanwälte PartGmbB, 73728 Esslingen, DE

(72) Erfinder:
**Gallagher, Brian, Simpsonville, S.C., US;
Thatcher, Jonathan Carl, Liberty, S.C., US; Sweet,
Bryan Edward, Valatie, N.Y., US; Eluripati, Ravi
Praveen S., Simpsonville, S.C., US; Childers,
Priscilla, Greenville, S.C., US**

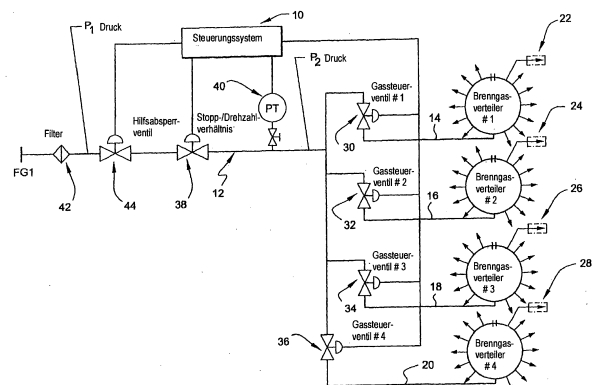
(56) Ermittelter Stand der Technik:

JP	2005- 146 963	A
JP	H08- 35 435	A
JP	H10- 159 585	A
JP	2002- 364 385	A
JP	S62- 78 406	A

(54) Bezeichnung: **Drucksteuerungsverfahren und -system zum Verringern des Brenngaszufuhrdruckbedarfs einer Gasturbine**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung eines Brenngasbezugsdrucks zur Zufuhr von einem Drucksteuerventil zu einem Gassteuerventil von mehreren Brenngasdüsen in einer Gasturbinenbrennkammer, wobei das Verfahren enthält:

Bestimmen eines ersten erforderlichen Brenngasdrucks stromaufwärts von den Brenngasdüsen;
Bestimmen eines minimal zulässigen Druckbedarfs stromaufwärts von dem Gassteuerventil in Abhängigkeit von dem ersten erforderlichen Brenngasdruck, einem Rohrleitungsdruckabfall zwischen dem Gassteuerventil und einer Brenngasdüse aus den mehreren Brenngasdüsen und einem Gassteuerventildruckabfall; und
Bestimmen des Brenngasbezugsdrucks zum Steuern des Drucksteuerventils in Abhängigkeit von dem minimal zulässigen Druckbedarf, einem verfügbaren Zufuhrdruck und einem Grundlastbrenngasdruckbedarf.



Beschreibung

Kurze Beschreibung der Erfindung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Es ist ein Mindestdruck der Brenngaszufuhr erforderlich, um die Antriebskraft zu liefern, damit das Brenngas die Verluste durch Filter, Ventile, Rohrreibung und Brenngasdüsen überwindet und unter allen möglichen Betriebsbedingungen in die Brennkammer einer Gasturbine eintritt.

[0002] Das vorhandene Brenngassteuerungssystem stützt sich ohne Rücksicht auf die Umgebungsbedingungen auf einen feststehenden Brenngaszufuhrdruckbedarf (der als Druckbedarf P2 bezeichnet wird) vom Zustand bei voller Drehzahl ohne Last (FSNL) bis zur Grundlast. Der feste Bedarf beruht auf den Bedingungen des ungünstigsten möglichen Falles oder Worst-Case: der Grundlast an dem kältesten Tag, d.h. der kältesten Auslegungstemperatur der Umgebung für den jeweiligen Standort. Wenn der Druck der Brenngaszufuhr kleiner als der Druckbedarf des Steuerungssystems ist, wird die Gasturbine am Starten gehindert. Wenn der Brenngaszufuhrdruck während des Betriebs um 1,38 bar (20 psi) unter den Steuerungssystembedarf fällt, leitet das Steuerungssystem einen Rückfall in einen vorbestimmten Betriebsmodus mit niedriger Leistung ein, und es ist dann eine Handlung eines Bedieners erforderlich.

[0003] Wenn erwartet wird, dass der Gaszufuhrdruck der Quelle niedriger als der festgelegte Zufuhrbedarfswert der Gasturbine ist, werden teure Brenngasverdichter benötigt, um die Betreibbarkeit der Gasturbine sicherzustellen. Dies ist jedoch eine sehr teure Lösung, die die Kraftwerkeigentümer Millionen Dollar an Anfangsinvestitionen kostet und hohe Leistungen für Hilfsenergie verbraucht. Tatsächlich verdichten die Gasverdichter das Brenngas auf den Zufuhrdruckbedarf eines Tages mit kalter Umgebung, selbst wenn der tatsächlich benötigte Druck viel niedriger liegen kann, wodurch Hunderte von Kilowatt verschwendet werden.

[0004] JP 2005-146 963 A beschreibt ein System und Verfahren zur Bestimmung eines Brenngasbezugsdrucks zur Zufuhr von einem Drucksteuerventil zu einem Gassteuerventil von mehreren Brenngasdüsen in einer Gasturbinenbrennkammer, wobei das Verfahren ein Bestimmen eines ersten erforderlichen Brenngasdrucks stromaufwärts von den Brenngasdüsen und Bestimmen eines minimal zulässigen Druckbedarfs stromaufwärts von dem Gassteuerventil in Abhängigkeit von dem ersten erforderlichen Brenngasdruck enthält.

[0005] Es werden ein Verfahren und ein Steuerungssystem gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung geschaffen, um das Starten und Betreiben der Gasturbine bei niedrigeren Zufuhrdrücken als denjenigen zu ermöglichen, die durch die Worst-Case-Bedingungen vorgegeben sind, und auf diese Weise wird das Betreibbarkeitsfenster vergrößert, wodurch der Bedarf an teuren Brenngasverdichtern verringert oder möglicherweise beseitigt wird.

[0006] Demnach kann die Erfindung in einem Verfahren zum Bestimmen eines Brenngasbezugsdrucks für die Zufuhr von einem Drucksteuerventil zu einem Gassteuerventil mehrerer Brenngasdüsen in einer Gasturbinenbrennkammer verkörpert sein, wobei das Verfahren enthält: Bestimmen eines ersten erforderlichen Brenngasdrucks stromaufwärts von den Brenngasdüsen, Bestimmen eines minimal zulässigen Druckbedarfs stromaufwärts von dem Gassteuerventil in Abhängigkeit von dem ersten erforderlichen Brenngasdruck, einem Rohrleitungsdruckabfall zwischen dem Gassteuerventil und einer Brenngasdüse aus den mehreren Brenngasdüsen und einem Gassteuerventildruckabfall und Bestimmen des Brenngasbezugsdrucks zur Steuerung des Drucksteuerventils in Abhängigkeit von dem minimal zulässigen Druckbedarf, einem verfügbaren Zufuhrdruck und einem Grundlastbrenngasdruckbedarf.

[0007] Die Erfindung kann auch in einer Gasturbinenbrennkammer verkörpert sein, die mit mehreren Brenngasdüsen und einem Drucksteuerungssystem zum Steuern des Drucks der Brenngaszufuhr zu den Brenngasdüsen ausgerüstet ist, wobei die Gasturbinenbrennkammer aufweist: Brenngasrohre, die einen Pfad bilden, um Brenngas von einem stromaufwärtigen Brenngaseinlass zu den Brenngasdüsen zu leiten, wobei die Rohre einen Hauptbrenngaskanal und ein Brenngasverteilungsrohr zu den Brenngasdüsen enthalten; ein Gassteuerventil zum Steuern der Brenngasströmung in dem Brenngasverteilungsrohr zu den Brenngasdüsen; und ein Drucksteuerventil, das in dem Hauptbrenngasrohr stromaufwärts von dem Brenngasströmungssteuerventil angeordnet ist, wobei das Steuerungssystem betrieblich mit dem Drucksteuerventil und dem Gassteuerventil gekoppelt ist, um den Druck stromabwärts von dem Drucksteuerventil und die Strömung durch das Gassteuerventil zu steuern, wobei das Steuerungssystem einen Brenngasbezugsdruck zur Steuerung des Drucksteuerventils in Abhängigkeit von einem minimal erforderlichen Brenngasdruck, einem verfügbaren Zufuhrdruck und einem Grundlastbrenngasdruckbedarf einstellt, wobei der minimal erforderliche Brenngasdruck auf einem Rohrleitungsdruckabfall zwischen dem Gassteuerventil und einer Brenngas-

düse aus den mehreren Brenngasdüsen und einem Gassteuerventildruckabfall basiert.

Figurenliste

[0008] Diese und weitere Zielsetzungen und Vorteile dieser Erfindung werden durch sorgfältiges Studieren der folgenden genaueren Beschreibung der gegenwärtig bevorzugten beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen vollständiger erkannt und verstanden:

Fig. 1 zeigt einen Graphen, der den Brenngas-zufuhrdruckbedarf bei Grundlast in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur darstellt,

Fig. 2 zeigt einen Graphen, der den TNR-abhängigen P2-Druckbedarf gemäß dem zugehörigen Stand der Technik darstellt,

Fig. 3 stellt schematisch das vergrößerte Betreibbarkeitsfenster unter Anwendung der modulierten Drucksteuerung gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung dar,

Fig. 4 zeigt eine schematische Ansicht eines Drucksteuerungssystems, das die vorliegende Erfindung verkörpert,

Fig. 5 zeigt einen Graphen, der eine Herleitung des minimal zulässigen Druckbedarfs gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung darstellt, und

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung der Auswahl des Bezugsdrucks P2 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0009] Wie oben erwähnt stützt sich das vorhandene Brenngassteuerungssystem auf einen festgelegten Brenngaszufuhrdruckbedarf, der anhand von Worst-Case-Bedingungen bestimmt worden ist. Der tatsächliche Zufuhrdruckbedarf der Gasturbine ist jedoch eine Funktion der Umgebungsbedingungen und des Verdichterdruckverhältnisses der Gasturbine. Demnach steigt die Differenz zwischen dem im Voraus eingestellten, festgelegten Bedarf und dem tatsächlichen Bedarf der Gasturbine an (**Fig. 1**), wenn die Umgebungstemperatur über den Minimalwert des Standortes ansteigt, der den feststehenden Bedarf bestimmt hat.

[0010] Die Erfindung versucht, dieses Paradigma zu ändern, indem sie zulässt, dass der Brenngaszufuhrdruckbedarf als eine Funktion der Umgebungsbedingungen gleitet, statt dem konventionellen feststehenden Worst-Case-Bedarf zu folgen, der die konventionelle Philosophie der Brenngassteuerung verkörpert. Der Zweck der gleitenden oder modulierten Drucksteuerung, die die Erfindung verkörpert,

besteht darin, ein Starten und Betreiben der Gasturbine bei niedrigeren Brenngaszufuhrdrücken zu ermöglichen, als es nach der konventionellen Steuerungsphilosophie zulässig war. Wie oben erwähnt schafft die Erfindung demnach ein Drucksteuerungsverfahren und -system, die es ermöglichen, dass der Brenngaszufuhrdruckbedarf, unterhalb dessen die Gasturbine am Starten gehindert wird, als eine Funktion z.B. der Umgebungstemperatur, des Umgebungsdrucks und der Gasturbinenleistung bestimmt wird.

[0011] In einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung legt das Drucksteuerungssystem den Brenngaszufuhrdruckbedarf fest, der teilweise von dem Verdichteraustrittsdruck, der die Umgebungstemperatur berücksichtigt, dem Umgebungsdruck und der Gasturbinenleistung abhängt. Der Zufuhrdruckbedarf wird für alle möglichen Betriebsmodi berechnet und als eine Funktion des Verdichteraustrittsdrucks aufgezeichnet (siehe z.B. die schematischen Darstellungen der **Fig. 3**, **Fig. 5** und **Fig. 6**, die unten erläutert werden).

[0012] In **Fig. 3** zeigt die gestrichelte Linie den gegenwärtigen Versorgungsdruckbedarf, der für beliebige Gasturbinenleistungen ein fester Zahlenwert ist. Die durchgezogene Linie zeigt einen Druckbedarf gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung. Der schraffierte Bereich zwischen diesen Zufuhrdruckbedarfswerten ist mit der vorhandenen Steuerungsphilosophie nicht betreibbar, wird jedoch mit einer modulierten Drucksteuerung gemäß dieser beispielhaften Ausführungsform der Erfindung betreibbar. Wie man erkennt, entspricht der Druckbedarf bei Grundlast an einem Tag mit kalter Umgebung dem Punkt in der rechten oberen Ecke des Graphen, wo die horizontale gestrichelte Linie die durchgezogene Linie trifft, die die modulierte Druckbedarfssteuerung wiedergibt. Wenn der Zufuhrdruck beim Betrieb mit Grundlast unter diesen Bedarf abfällt, entlastet das Steuerungssystem die Gasturbine entlang der durchgezogenen Druckbedarfslinie.

[0013] Eine Version einer gleitenden oder modulierten Drucksteuerung ist an einer 9H-Frame-Gasturbine an einem Standort in Baglan Bay in Wales zum Einsatz gebracht worden. Diese Version der gleitenden Drucksteuerung ist jedoch nur eine Schutzmaßnahme, um die Gassteuerventile daran zu hindern, ungedrosselt zu arbeiten, wenn der Brenngaszufuhrdruck (P2-Druck) unter einen vorbestimmten Sollwert fällt, was eine unkontrollierte Brenngasströmung zur Folge hat. Demnach ist die gleitende Drucksteuerung in Baglan Bay kein normaler Betriebsmodus, sondern wird nur in einem Störszustand aktiviert. Darüber hinaus ist der minimale erforderliche Brenngaszufuhrdruck eine Funktion der (als

TNR bezeichneten) Drehzahl-Leistung-Einstellung bzw. Speed Load Reference (**Fig. 2**).

[0014] Die Drehzahl-Leistung-Einstellung (TNR) ist ein guter Indikator für die Gasturbineleistung, berücksichtigt aber nicht alle Gasturbinenparameter, die die Berechnungen des Brenngasdruckbedarfs beeinflussen. Die Erfindung schlägt einen wirksamen Weg zur Steuerung des Brenngasdruckes stattdessen unter Verwendung des Verdichteraustrittsdrucks (CPD) vor. Die Nachteile der Verwendung der TNR enthalten: (1) Der Bezugsdruck P2 reagiert nicht auf Änderungen der Netzfrequenz, (2) eine TNR-gestützte Steuerung setzt einen bestimmten Belastungspfad voraus und muss folglich für die Umgebungsbedingungen voreingestellt werden, und (3) die TNR macht den Steuerungsablauf komplizierter und erfordert die Verwendung von Umgebungstemperatursensoren oder CTIM, die für die Einlassabzapfhitze bzw. Inlet Bleed Heat (IBH) bei Teilleistungen voreingestellt sind. Die Vorteile der Verwendung des CPD enthalten: (1) Der CPD ist kennzeichnender für den Senkendruck, den der Brenngaszufuhrdruck überwinden muss, und ist daher ein besserer Steuerungsparameter, und (2) der CPD braucht nicht auf die Umgebungstemperatur eingestellt zu werden.

[0015] Unter Bezug auf **Fig. 4**: Es ist ein in einer Gasturbine enthaltenes Brenngasdrucksteuersystem schematisch dargestellt, das mehrere Rohre aufweist, die einen Strömungspfad für Brenngas von einem stromaufwärtigen Einlass zu den Brenngasdüsen bilden und ein Hauptbrenngasrohr 12 und Verteilungsrohre 14, 16, 18, 20 zu den Düsen enthalten. Im Wege eines Beispiels sind weiterhin vier Verteiler dargestellt, um Brenngas jeweils zu mehreren Brenngasdüsen 22, 24, 26, 28 zu leiten, von denen aus Gründen der Einfachheit der Darstellung für jeden Brenngasverteiler nur eine einzige dargestellt ist. Das schematisch dargestellte, mit 10 bezeichnete Steuerungssystem liefert ein Brenngasströmungssteuersignal zum Steuern der jeweiligen Öffnungen der Gasströmungssteuerventile 30, 32, 34, 36, die den jeweiligen Verteilungsrohren zum Steuern der Strömung zu diesen zugeordnet sind. Das Steuerungssystem liefert weiterhin ein Drucksteuersignal, um die Drücke in dem Rohr 12 zu steuern, in dem das Stopp/Drehzahlverhältnisventil bzw. Stop/Speed Ratio-Ventil 38 gesteuert wird, und ein Druckwandler 40 ist für eine Rückmeldung an das Steuerungssystem mit der Ausgangsseite des Ventils 38 verbunden.

[0016] Wie in **Fig. 4** bezeichnet, ist der Druck P1 der Druck stromabwärts von dem Filter 42 und stromaufwärts von dem Hilfsabsperrentil 44 und dem Stopp-/Drehzahlverhältnisventil 38, wohingegen der Druck P2 der Druck stromabwärts von dem Stopp/Drehzahlverhältnisventil 38 ist, wie er den Gassteuerventilen 30, 32, 34, 36 zugeführt wird. Dementsprechend stellt das Ventil 38 den Druck des Brenngases auf einen vorbestimmten Druck P2 ein. Das Brenngas strömt (zu Beginn) bei dem Druck P2 danach durch das Rohr 12 zu dem jeweiligen Gasströmungssteuerventil 30, 32, 34, 36, das die Strömung des Brenngases auf einen vorbestimmten Strömungsfluss einstellt, und das Brenngas wird mit dem vorbestimmten Fluss durch die Verteilungsrohre zu dem jeweiligen Brenngasverteiler und zur Verbrennung in der Gasturbinenbrennkammer jeder einzelnen Düse zugeführt. Folglich wird die Öffnung des Stopp/Drehzahlverhältnisventils 38 auf der Grundlage des Drucksteuersignals geregelt, das von dem Steuerungssystem geliefert wird. In gleicher Weise wird das Öffnen des Steuerventils auf der Grundlage eines Strömungssteuersignals geregelt, das von dem Steuerungssystem geliefert wird.

[0017] Brenngasbezugsdruck, P2-Druck, Zufuhrbedarf P2 und derartige Bezeichnungen, die hierin verwendet werden, bedeuten alle das Gleiche. Der Ausdruck „Bezugswert“ ist ein allgemeiner Industriestandardausdruck in der Regelung, der den Sollwert für einen geschlossenen Regelkreis bezeichnet. In diesem Falle ist der Bezugswert P2 der Sollwert für das Stopp/Drehzahlverhältnisventil 38 (SRV), das zum Steuern des Brenngasdrucks in Abhängigkeit von einer gegebenen Steuerungskurve verwendet wird. Mit anderen Worten ist der Bezugswert P2 die Anforderung von der Steuerung an das SRV. Das bestehende System weist einen feststehenden Brenngasbezugsdruck P2 auf, während die gleitende oder modulierte Druckregelung der Erfindung einen sich ändernden Bezugswert P2 einführt, der der Gegenstand der Offenbarung hierin ist.

[0018] Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** ist der Bezugswert P2 in einer beispielhaften Ausführungsform der Medianwert von drei Steuerungskurven: Der minimal zulässige Druckbedarf (gedrosselter Druckbedarf), verfügbarer Zufuhrdruck und Grundlastbedarf. Die Kurve des minimalen Druckbedarfs ist der minimale Brenngaszwischenstufendruck (P2), der benötigt wird, um die Gassteuerventile 30, 32, 34, 36 gedrosselt zu halten, wie es im Einzelnen unter Bezug auf **Fig. 5** beschrieben ist. Die Zufuhrdruckkurve ist der gemessene Druck P1 stromaufwärts von dem Stopp/Drehzahlverhältnisventil 38 (SRV) abzüglich eines ersten Druckabfalls über dem SRV. Der Grundlastdruckbedarf ist das Minimum des vorhandenen, in **Fig. 3** gezeigten Druckplans und einer Umgebungsvoreinstellung desselben Plans. Die letztere ist im Wesentlichen der für den Grundlastbetrieb benötigte Brenngasdruck und steigt oder sinkt in Abhängigkeit von der Verdichtereinlasstemperatur (CTIM).

[0019] Weil der Bezugsdruck P2 höchstwahrscheinlich für jeden beliebigen anderen Zustand als den

Tag mit der kalten Umgebung bei Grundlast verringert wird, ist für eine Ventilstellungssteuerung mit Open-Loop-Steuerung ein P2-Korrekturfaktor auf die Skalierungsverstärkung des Gassteuerventils angewandt worden. Die Voreinstellung der Skalierungsverstärkung hilft beim Korrigieren des gesamten Brenngasbedarfs für den neuen gleitenden oder modulierten Bezugswert P2. Dies verhindert, dass der Gesamtbrenngasfluss abnimmt, was eine Verringerung der Leistungsabgabe der Gasturbine zur Folge hat. Der Korrekturfaktor ist ein Verhältnis zwischen dem Originalbezugswert $P_{2ref,original}$ und dem modulierten Bezugswert $P_{2ref,modulated}$:

$$\frac{P_{2ref, original} + P_{Umgebung}}{P_{2ref, modulated} + P_{Umgebung}}$$

[0020] Die Starterlaubnis ist verändert worden, um einen Gasturbinenstart zuzulassen, wenn der Zufuhrdruck bei dem oder oberhalb des Druckes liegt, der für einen Betrieb als rotierende Reserve benötigt wird. Wenn der Bediener den Hauptsteuerungsstartknopf drückt, wenn der Zufuhrdruck kleiner als der für einen Vormischmodus benötigte Druck ist, erscheint in einer beispielhaften Ausführungsform ferner ein Pop-up-Feld auf dem HMI-Schirm, das z.B. meldet: „Brenngasdruck zu niedrig für Vormischbetrieb. Start Fortsetzen?“. Diese Funktion ermöglicht es dem Bediener, zu entscheiden, ob die Einheit in dem Wissen gestartet werden soll, dass ein Zustand mit einem verringerten Zufuhrdruck vorliegt.

[0021] Die Schutzmaßnahmen sind abgewandelt worden, um eine Sperrung eines Lastanstiegs bei einem Schwellenwert oberhalb des minimalen benötigten P2 einzubeziehen, was es der Einheit ermöglicht, die Leistung nur bis zu dem verfügbaren druckbegrenzenden Punkt hochzufahren. Wenn es der Gasturbine an diesem Punkt erlaubt würde, die Leistung zu erhöhen, würde der Mindestbedarf an Zufuhrdruck gemäß **Fig. 6** erhöht. Die Einheit verringert automatisch die Leistungsabgabe, wenn irgendein Gassteuerventil 30, 32, 34, 36 oder das SRV 38 die maximal zulässige Stellung erreicht. Diese automatische Leistungsreduktion dient dem Schutz der Gasturbine vor einem Betrieb mit ungedrosselten Ventilen, der infolge des bei der Open-Loop-Verteilungssteuerung der Gassteuerventile erzeugten Fehlers möglicherweise eine Brennkammerinstabilität oder Schaden an der Anlage infolge starker Dynamik hervorrufen könnte. Wenn der Zufuhrdruck eine maximale Sinkgeschwindigkeit überschreitet, wird die Turbine automatisch in den Zustand der rotierenden Reserve versetzt; an diesem Punkt ist die Gasturbine nicht in der Lage, ihre Leistung mit einer Geschwindigkeit zu verringern, die schnell genug ist, um die Druckabnahme zu überschreiten. Anstelle einer Turbinenauslösung kann als Option ein automatischer Übergang auf einen Sekundärbrennstoff hinzugefügt werden. Der Übergang findet statt,

wenn der Zufuhrdruck kleiner als der horizontale Abschnitt von f1 (unter Bezug auf **Fig. 6**) ist.

Berechnungen:

[0022] Brenngasdruck = f (CPF, Brenngasfluss, Brenngastemperatur, Düsenfläche A_e), wobei CPD = Verdichteraustrittsdruck und Düsenfläche A_e = effektive Düsenfläche (eine „korrigierte“ physikalische Fläche, die von den Drücken, Geschwindigkeiten und Temperaturen stromaufwärts und stromabwärts abhängt. Diese korrigierte Fläche verwendet einen als „Austrittskoeffizient“ (Cd) bezeichneten Multiplikationsfaktor).

[0023] Der Brenngasdruck stromaufwärts von der Brenngasdüse (P4) ist gegeben durch:

$$P_4 P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_e P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

für ungedrosselte Düsendruckverhältnisse und

$$P_4 \frac{M}{A_e \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)}}}$$

für gedrosselte Düsendruckverhältnisse, wobei:

M	Brenngasfluss, (lb/sec),
P_{cc}	CPD - Brennkammerdruckabfall,
g	Schwerebeschleunigung, ft/sec ² ,
k	Verhältnis der spezifischen Wärmen, C_p/C_v ,
R	Universelle Gaskonstante, lbf.ft/lbm.R
T	Brenngastemperatur, Grad Rankine.

[0024] Die Strömung durch eine Öffnung, eine Düse oder ein Ventil ist eine Funktion der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Druckbedingungen. Das Verhältnis dieser Drücke bestimmt die Menge des Flusses. Wenn das Verhältnis über einer feststehenden, als das „kritische Druckverhältnis“ bezeichneten Zahl liegt, wird das Ventil (oder die Öffnung oder Düse) als gedrosselt angesehen. Bei einem beliebigen Punkt oberhalb dieses Druckverhältnisses ist der Massenstrom durch das Ventil festgelegt. Typische Brenngasdüsen sind dazu ausgelegt, unterhalb des kritischen Druckverhältnisses betrieben zu werden. Das kritische Druckverhältnis (CPR) für Brenngasdüsen ist eine Funktion von ihrem k (C_p/C_v -Verhältnis), und ein typisches CPR beträgt 1,78. So werden Brenngasdüsen für normalen Betrieb immer

ungedrosselt betrieben, und Gassteuerventile arbeiten gedrosselt. Die neuesten Verbrennungssysteme weisen jedoch eine viel größere Variation des Fuel Split über jeden Kreislauf auf, und es sind für einige Fälle mit einem sehr hohen Fuel Split und einer Düse mit relativ kleinerer Größe gedrosselte Düsendruckverhältnisse beobachtet worden. Um an unserem Brenngassystem P4 zu berechnen, wurde ein iteratives Verfahren zum Berechnen des Flusses und des Düsendruckverhältnisses (NPR) verwendet. Bei diesem Verfahren wählen wir die P4-Formel in Abhängigkeit von dem in der früheren Iteration berechneten NPR.

[0025] Die minimal zulässigen Brenngaszufuhrbedarfsdrücke f_1 & f_2 können berechnet werden zu:

$$\text{Brennagaszufuhrdruck}(fx) =$$

$$P_4 + \text{Rohrleitungsdruckabfall} + \text{Gassteuerventildruckabfall}$$

[0026] Der „Rohrleitungsdruckabfall“ entsteht infolge von Kurven und Krümmungen in den Rohren, die Brenngas von dem Gassteuerventil zu der Brenngasdüse führen. Dieser Druckabfall wird als konstant angenommen, obwohl er sich leicht mit den Randbedingungen ändert. Die Konstante basiert auf früherer technischer Erfahrung.

[0027] Der „Gassteuerventildruckabfall“ wird auch als ein konstanter Druckabfall angenommen. Diese Zahl ist ein Multiplikationsfaktor, der von dem Ventilhersteller stammt.

[0028] Ein Beispiel für den minimal zulässigen Brenngaszufuhrdruckbedarf fx , wie oben berechnet, ist in **Fig. 5** gezeigt. Die Spitzen und Täler geben Übergänge des Verbrennungssystemmodus wieder. Die Kurven f_1 und f_2 ergeben den minimal zulässigen Druckbedarf, der genug Druck liefert, um die Spitzen zu übertreffen, aber die Täler ignoriert. Folglich hängt der in den **Fig. 3**, **Fig. 6** dargestellte Bereich der f_1/f_2 -Kurve von der größten dazwischen liegenden Druckspitze ab, wie es in **Fig. 5** gezeigt ist.

[0029] Im Gegensatz zu der konventionellen Steuerungsphilosophie und im Gegensatz zu der oben erwähnten Drucksteuerung in Baglan Bay ist der Brenngasbezugsdruck (Bezugswert P2 oder Zufuhrbedarf P2) stromaufwärts von den Gassteuerventilen folglich gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung nun eine Funktion der Umgebungstemperatur, um aus dem niedrigeren Brenngasdruckbedarf an wärmeren Tagen Vorteile zu ziehen.

[0030] Ein Hauptvorteil der Erfindung ist die Fähigkeit, die Gasturbine mit verringerten Brenngaszufuhrdrücken zu starten und zu betreiben, die auf tatsächliche Hardwareerfordernisse anstelle auf einen feststehenden Worst-Case-Bedarf gestützt sind. Die modulierte Drucksteuerungsstrategie reduziert die

Gasturbinenleistung so weit, wie es erforderlich ist, wenn der Zufuhrdruck unter den Zufuhrdruckbedarf fällt, und ermöglicht der Gasturbine, ihre Leistung wieder zu erhöhen, sobald sich der Zufuhrdruck wiederherstellt.

[0031] Weiterhin wird es der verringerte Zufuhrdruckbedarf als eine Funktion des Verdichteraustrittsdrucks wahrscheinlich zulassen, dass Gasverdichter des Kraftwerks während der Sommermonate abgeschaltet werden, wenn die Umgebungstemperaturen höher sind. In vielen Fällen kann der Bedarf an Gasverdichtern entfallen.

[0032] Ein System und ein Verfahren zum Verringern des Druckbedarfs der Brenngaszufuhr einer Gasturbine werden geschaffen, die zu einem vergrößerten Betreibbarkeitsbereich und zu einer Verringerung von Auslösungen der Gasturbine führen. Gemäß dem Verfahren wird es der Gasturbine ermöglicht, bei Zufuhrdrücken zu starten und betrieben zu werden, die als eine Funktion von Umgebungsbedingungen und einem Gasturbinenverdichterdrukverhältnis bestimmt werden. Dies vergrößert das Betreibbarkeitssfenster und verringert oder beseitigt den Bedarf an Brenngasverdichtern.

[0033] Während die Erfindung in Verbindung mit dem beschrieben worden ist, was gegenwärtig als die praktischste und bevorzugte Ausführungsform angesehen wird, muss erkannt werden, dass die Erfindung nicht auf das offenbarte Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern dass es im Gegenteil beabsichtigt ist, vielfältige Abwandlungen und äquivalente Anordnungen zu umfassen, die in dem Geist und Bereich der beigefügten Ansprüche enthalten sind.

Bezugszeichenliste

10	Brenngasdrucksteuerungssystem
12	Hauptbrenngasrohr
14	Verteilungsrohr
16	Verteilungsrohr
18	Verteilungsrohr
20	Verteilungsrohr
22	Brenngasdüse
24	Brenngasdüse
26	Brenngasdüse
28	Brenngasdüse
30	Gassteuerventil
32	Gassteuerventil
34	Gassteuerventil

36	Gassteuerventil
38	Stopp/Drehzahlverhältnisventil
40	Druckwandler
42	Filter
44	Hilfsabsperrentil

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Brenngasbezugsdrucks zur Zufuhr von einem Drucksteuerventil zu einem Gassteuerventil von mehreren Brenngasdüsen in einer Gasturbinenbrennkammer, wobei das Verfahren enthält:

Bestimmen eines ersten erforderlichen Brenngasdrucks stromaufwärts von den Brenngasdüsen;
Bestimmen eines minimal zulässigen Druckbedarfs stromaufwärts von dem Gassteuerventil in Abhängigkeit von dem ersten erforderlichen Brenngasdruck, einem Rohrleitungsdruckabfall zwischen dem Gassteuerventil und einer Brenngasdüse aus den mehreren Brenngasdüsen und einem Gassteuerventildruckabfall; und

Bestimmen des Brenngasbezugsdrucks zum Steuern des Drucksteuerventils in Abhängigkeit von dem minimal zulässigen Druckbedarf, einem verfügbaren Zufuhrdruck und einem Grundlastbrenngasdruckbedarf.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der minimal zulässige Druckbedarf ein minimal zulässiger Brenngasdruck ist, um einen gedrosselten Betrieb des Gassteuerventils aufrecht zu erhalten.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Grundlastdruckbedarf auf dem Grundlastdruckbedarf an einem Tag mit kalter Umgebung gestützt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der erste erforderliche Brenngasdruck gestützt auf den Verdichteraustrittsdruck bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der erste erforderliche Brenngasdruck, P_4 , bestimmt wird zu

$$P_4 P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_e P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

für ungedrosselte Düsendruckverhältnisse und

$$P_4 \frac{M}{A_e \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)}}}$$

für gedrosselte Düsendruckverhältnisse, wobei:
M Brenngasfluss, (lb/sec),
 P_{cc} CPD - Brennkammerdruckabfall,
 A_e Effektive Düsenfläche,
g Schwerebeschleunigung, ft/sec²,
k Verhältnis der spezifischen Wärmen, C_p/C_v ,
R Universelle Gaskonstante, lbf.ft/lbm.R,
T Brenngastemperatur, Grad Rankine.

6. Gasturbinenbrennkammer mit mehreren Brenngasdüsen (22, 24, 26, 28) und einem Drucksteuerungssystem (10) zum Steuern des Brenngaszufuhrdrucks zu den Brenngasdüsen, aufweisend: Brenngasrohre, die einen Pfad zum Leiten von Brenngas von einem stromaufwärtigen Brenngaseinlass zu den Brenngasdüsen bilden, wobei die Rohre ein Hauptbrenngasrohr (12) und ein Verteilungsbrenngasrohr (14, 16, 18, 20) zu den Brenngasdüsen (22, 24, 26, 28) enthalten;

ein Gassteuerventil (30, 32, 34, 36) zum Steuern des Brenngasstroms in dem Verteilungsbrenngasrohr (14, 16, 18, 20) zu den Brenngasdüsen (22, 24, 26, 28) und

ein Drucksteuerventil (38), das in dem Hauptbrenngasrohr (12) stromaufwärts von dem Brenngasströmungssteuerventil (30, 32, 34, 36) angeordnet ist, wobei das Steuerungssystem (10) betrieblich mit dem Drucksteuerventil (38) und dem Gassteuerventil (30, 32, 34, 36) gekoppelt ist, um einen Druck (P_2) stromabwärts von dem Drucksteuerventil (38) und eine Strömung durch das Gassteuerventil (30, 32, 34, 36) zu steuern, wobei das Steuerungssystem (10) einen Brenngasbezugsdruck zum Steuern des Drucksteuerventils (38) in Abhängigkeit von einem minimal erforderlichen Brenngasdruck, einem verfügbaren Zufuhrdruck und einem Grundlastbrenngasdruckbedarf einstellt, wobei der minimal erforderliche Brenngasdruck auf einem Rohrleitungsdruckabfall zwischen dem Gassteuerventil (30, 32, 34, 36) und einer Brenngasdüse aus den mehreren Brenngasdüsen (22, 24, 26, 28) und einem Gassteuerventildruckabfall basiert.

7. Gasturbinenbrennkammer nach Anspruch 6, bei der der minimal erforderliche Brenngasdruck zum Aufrechterhalten eines gedrosselten Betriebs des Gassteuerventils (30, 32, 34, 36) bestimmt ist.

8. Gasturbinenbrennkammer nach Anspruch 7, wobei der minimale Druckbedarf in Abhängigkeit von einem ersten erforderlichen Brenngasdruck P_4 stromaufwärts von der Brenngasdüse bestimmt wird und das Steuerungssystem den ersten erforderlichen Brenngasdruck, P_4 , berechnet zu

$$P_4 P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_e P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

für ungedrosselte Düsendruckverhältnisse und

$$P_4 \frac{M}{A_e \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)}}}$$

für gedrosselte Düsendruckverhältnisse, wobei:

M Brenngasströmung, lb/sec,

P_{cc} CPD - Brennkammerdruckabfall,

A_e Effektive Düsenfläche,

g Schwerebeschleunigung, ft/sec²,

k Verhältnis der spezifischen Wärmen, C_p/C_v ,

R Universelle Gaskonstante, lbf.ft/lbm.R,

T Brenngastemperatur, Grad Rankine.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Brenngaszufuhrdruckbedarf bei Grundlast

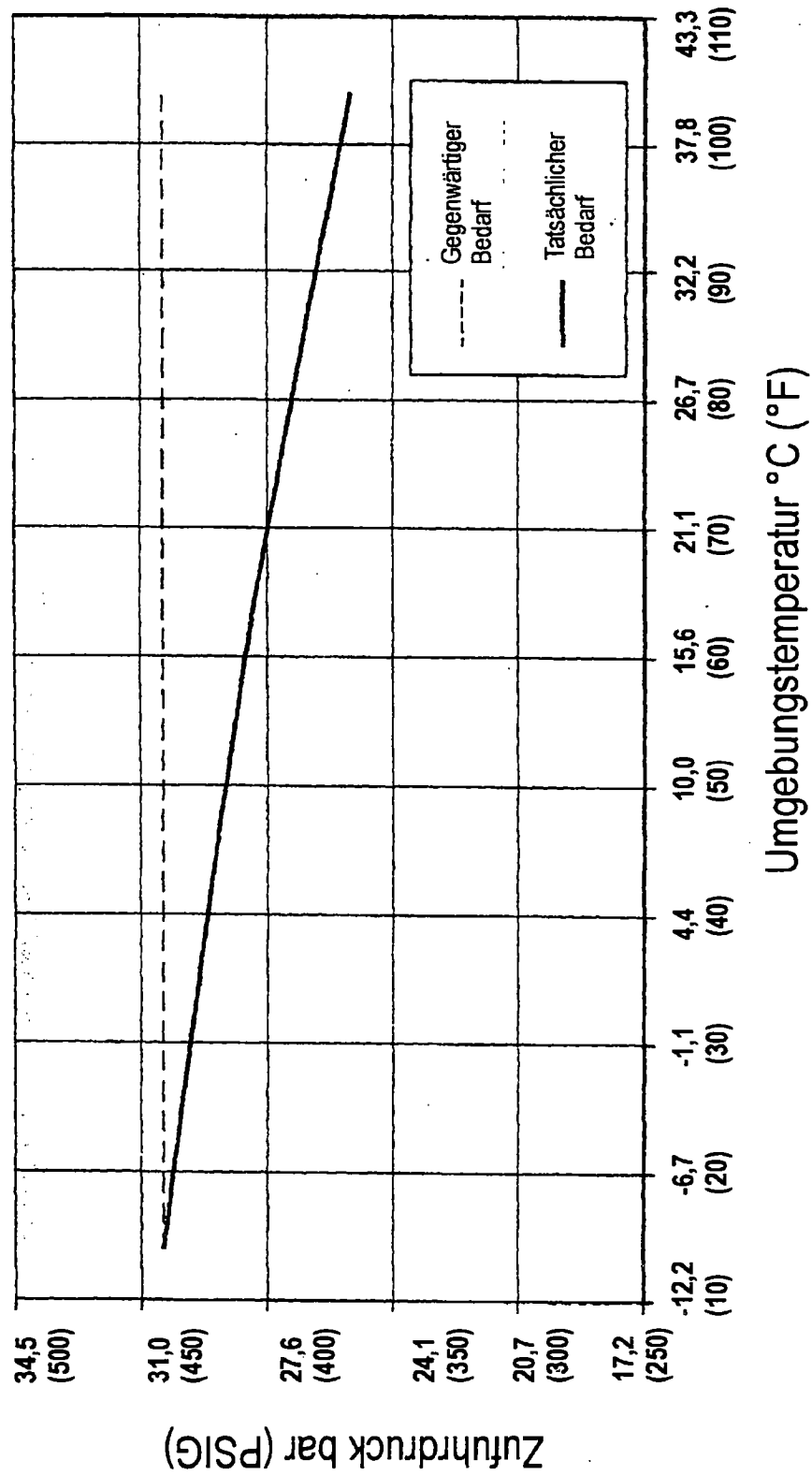


Fig. 1

Stand der Technik
(Baglan Bay)

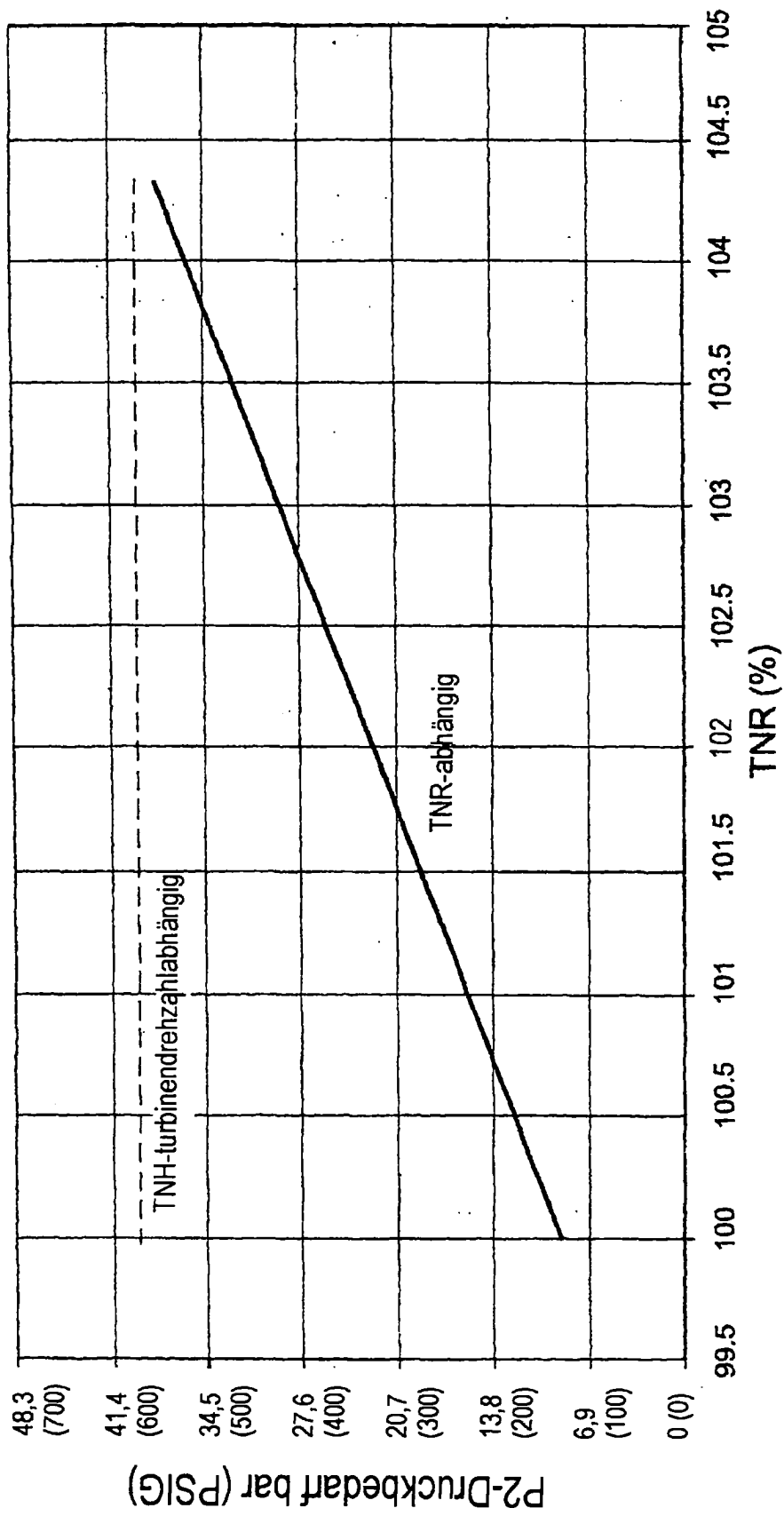


Fig.2

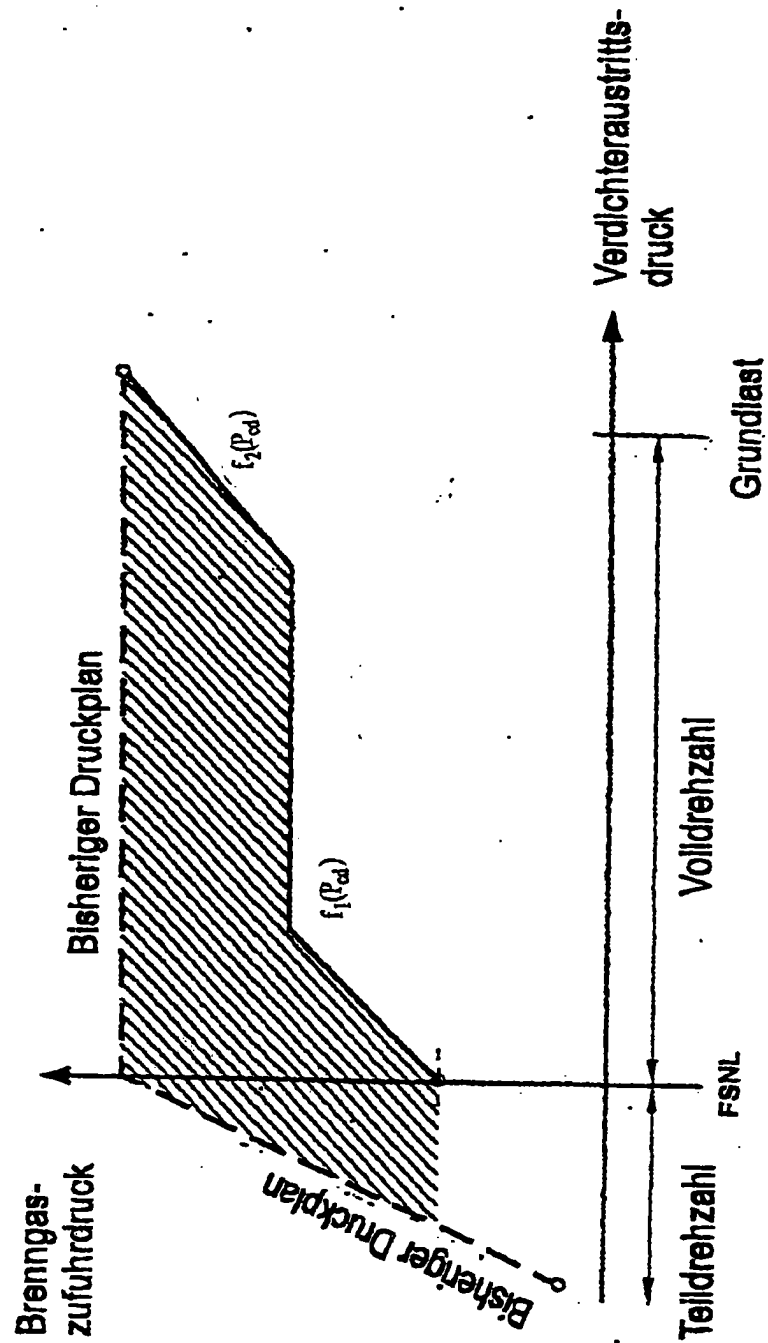


Fig. 3

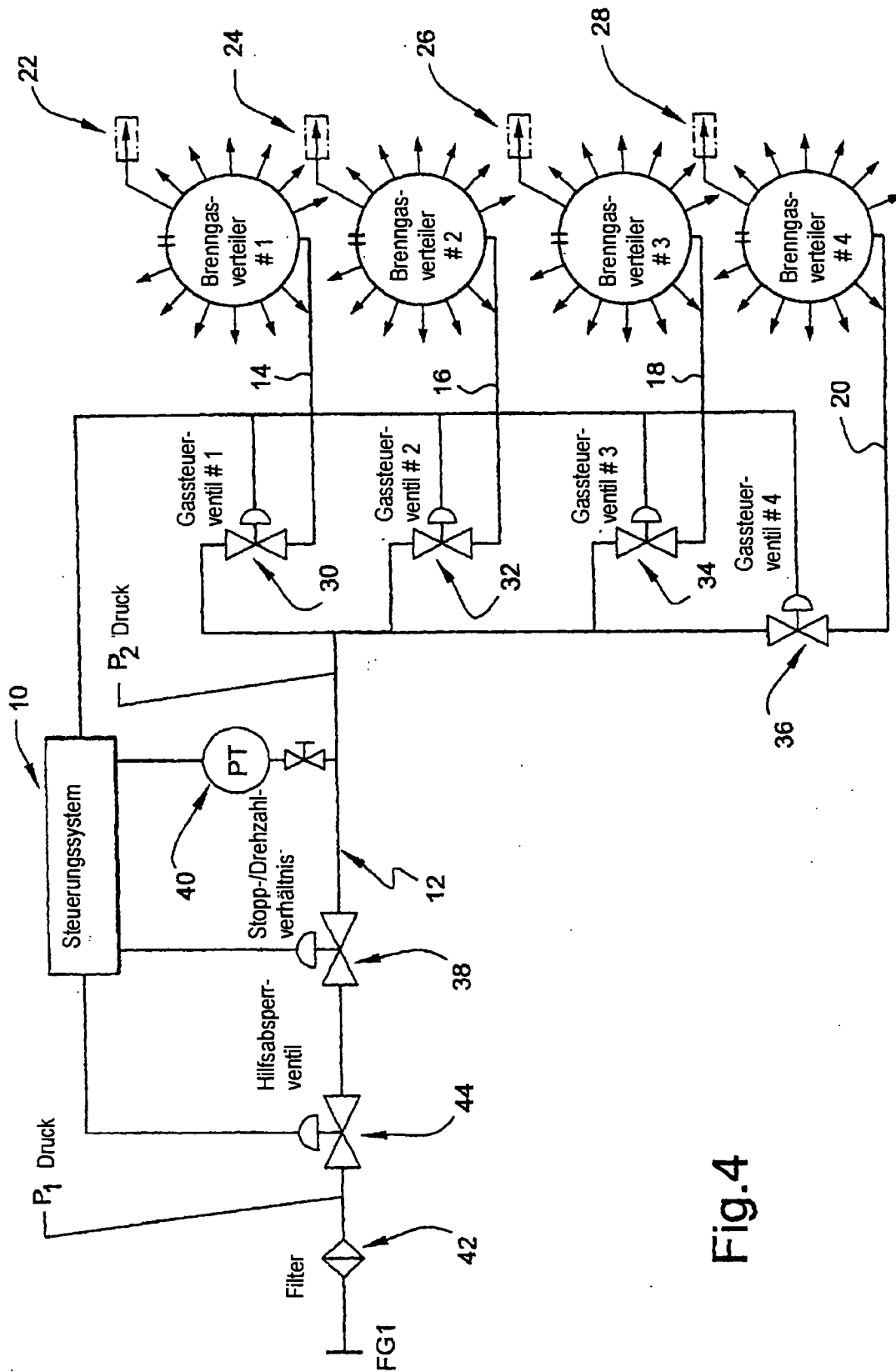


Fig.4

Gleitender Druckbedarf P2

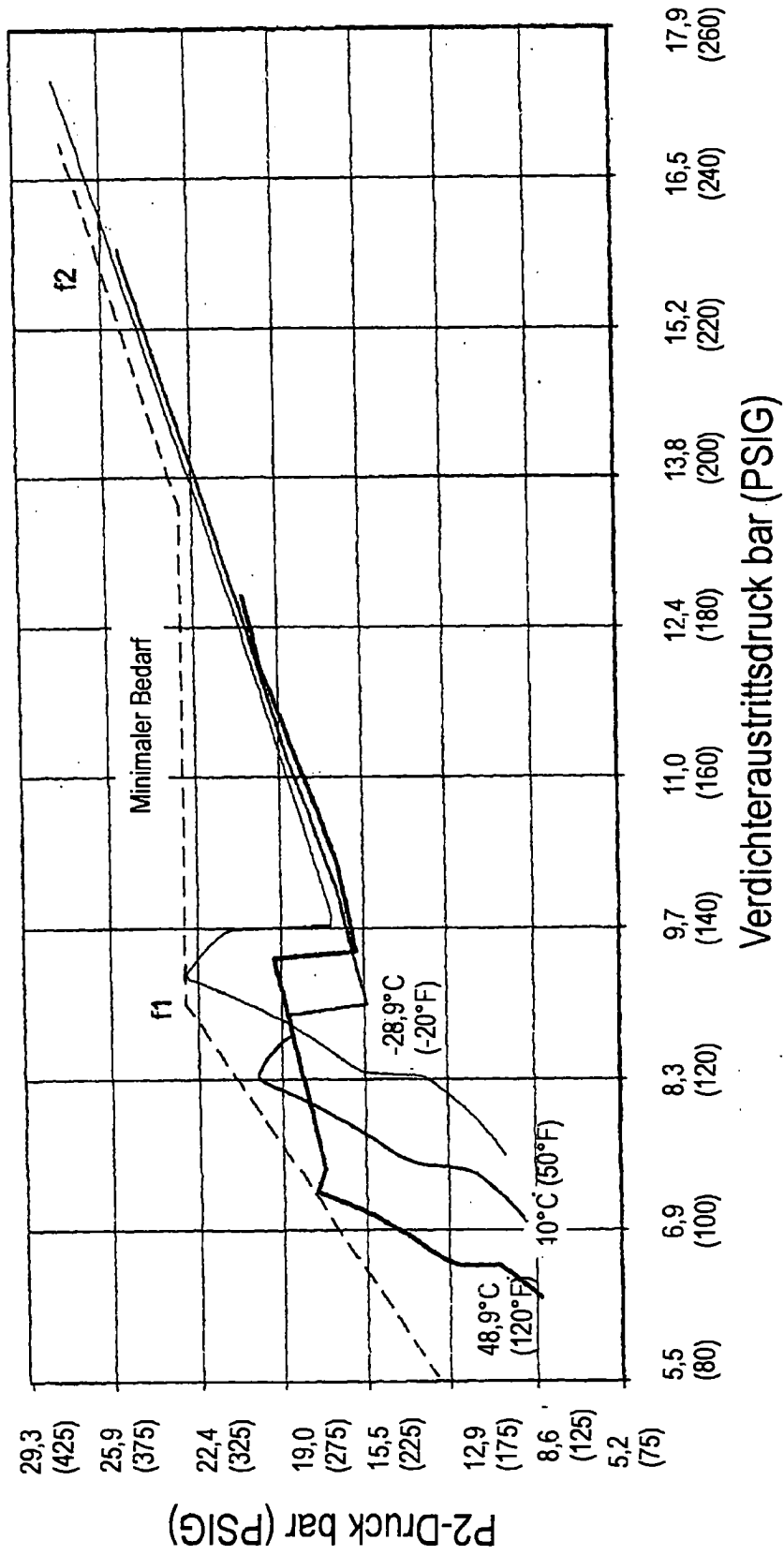


Fig.5

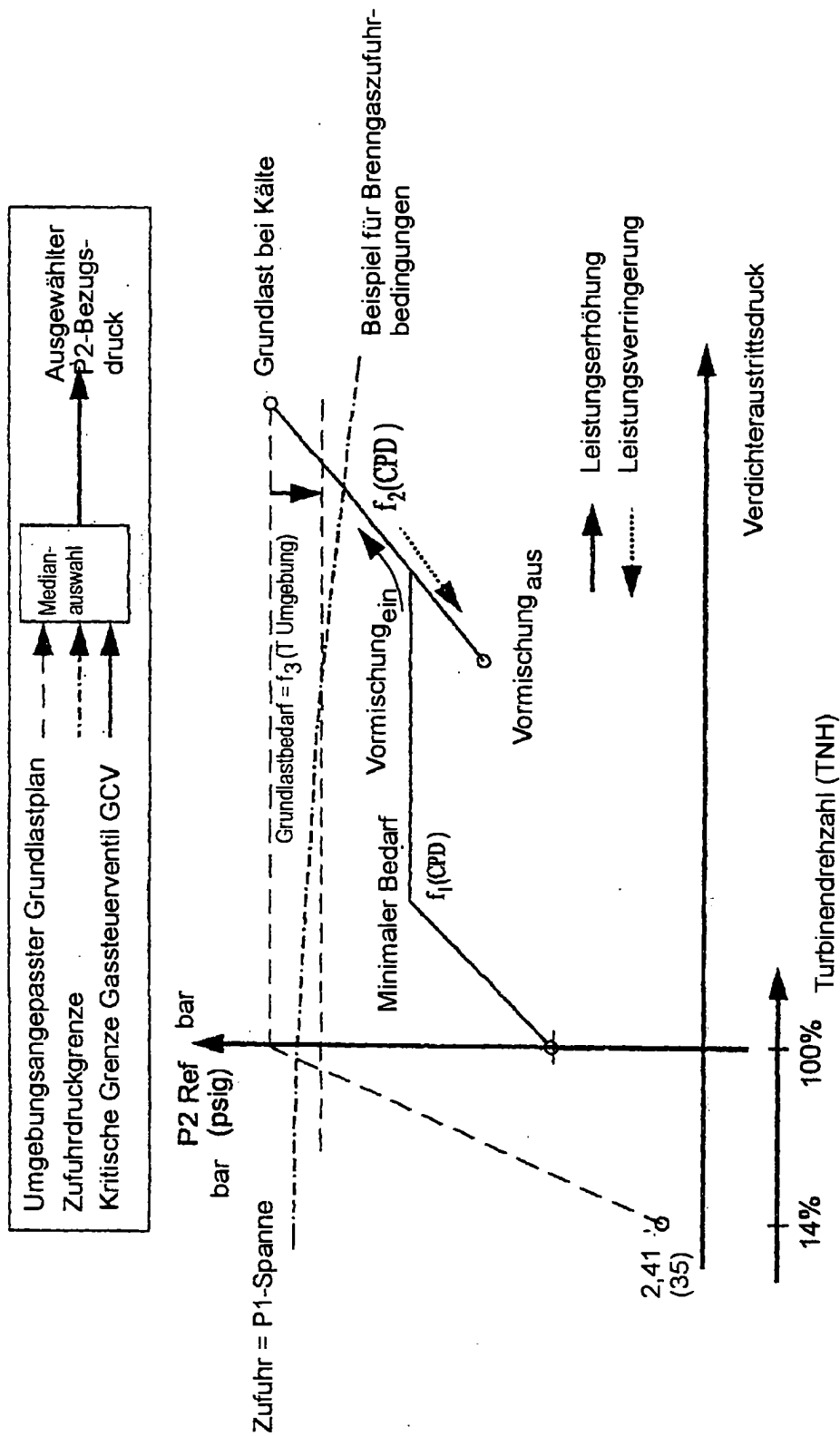


Fig.6