

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 700 432 B1

(51) Int. Cl.: F02C 9/28 (2006.01)
F02C 9/48 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00242/07

(22) Anmeldedatum: 14.02.2007

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

(24) Patent erteilt: 31.08.2010

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.08.2010

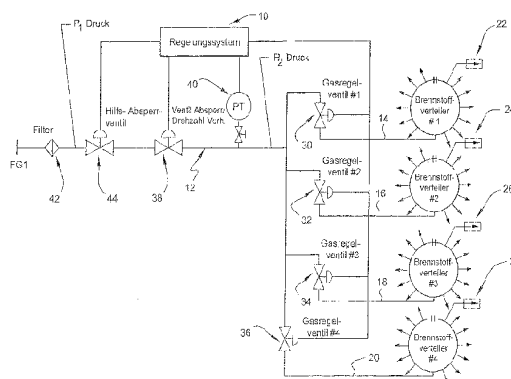
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
12345 Schenectady, New York (US)

(72) Erfinder:
Brian Gallagher, Simpsonville, South Carolina 29681 (US)
Ravi Praveen S. Eluripati,
Simpsonville, South Carolina 29681 (US)
Jonathan Carl Thatcher,
Liberty, South Carolina 29657 (US)
Priscilla Childers, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Bryan Edward Sweet, Valatie, New York 12184 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Verfahren zur Bestimmung einer Brennstoffdruckbezugsgrösse und Gasturbinen-Brennkammeranlage

(57) Es sind ein Verfahren zur Bestimmung einer Brennstoffdruck-Bezugsgrösse und eine Gasturbinen-Brennkammeranlage für die Reduzierung der Erfordernisse für den Gasbrennstoffversorgungsdruck einer Gasturbine, was zu einem grösseren Betriebsfähigkeitsfenster und zu einer Reduzierung von Gasturbinen-Schnellabschaltungen führt, bereitgestellt. Gemäss dem Verfahren wird es ermöglicht, dass die Gasturbine bei Versorgungsdrücken gestartet und betrieben wird, die als eine Funktion von Umgebungsbedingungen und des Gasturbinen-Verdichtendruckverhältnisses festgelegt werden. Dies erhöht das Betriebsfähigkeitsfenster und verringert oder eliminiert die Notwendigkeit von Gasbrennstoffverdichtern.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Ein minimaler Gasbrennstoffversorgungsdruck ist erforderlich, um für den Brennstoff die Antriebskraft bereitzustellen, Verluste auf Grund von Filtern, Ventilen, Rohrleitungen und Brennstoffdüsen zu überwinden und in die Verbrennungskammer einer Gasturbine unter allen potenziellen Betriebsbedingungen einzutreten.

[0002] Das bestehende Gasbrennstoff-Regelungssystem basiert auf dem Erfordernis eines festgelegten Gasbrennstoffversorgungsdrucks (als P2-Druckerfordernis bezeichnet) von Volldrehzahl ohne Last (FNSL) bis Basislast, unabhängig von Umgebungsbedingungen. Das festgelegte Erfordernis basiert auf Bedingungen des ungünstigsten Falls: Basislast am kältesten Tag, d.h. die kälteste Umgebungs-Betriebstemperatur für den gegebenen Standort. Wenn der Gasbrennstoffversorgungsdruck niedriger ist als das Regulationssystemdruckerfordernis, wird der Start der Gasturbine verhindert. Wenn der Gasbrennstoffversorgungsdruck während des Betriebs um ca. 1400 hPa (20 psi) unter das Regulationssystemerfordernis fällt, leitet das Regulationssystem ein Zurücklaufen auf einen vorgegebenen Niedriglast-Betriebsmodus ein, und ein Eingreifen des Bedienungspersonals ist dann erforderlich.

[0003] Wenn zu erwarten ist, dass der Ausgangs-Gasversorgungsdruck niedriger ist als das festgelegte Gasturbinenversorgungserfordernis, werden teure Gasbrennstoffverdichter erforderlich, um die Betriebsfähigkeit der Gasturbine zu gewährleisten. Dies ist jedoch eine sehr kostspielige Lösung, welche die Anlageneigentümer Millionen Dollar Anfangskapital kostet und hohe Hilfsenergielasten verbraucht. In der Tat bringen die Gasverdichter den Gasbrennstoff auf den Druck des Versorgungsdruckerfordernisses des kalten Umgebungstages, selbst wenn der erforderliche tatsächliche Druck viel niedriger sein kann, wodurch Hunderte von Kilowatt verschwendet werden.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0004] Es werden ein Verfahren und ein Regulationssystem gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung bereitgestellt, um es zu ermöglichen, die Gasturbine bei niedrigeren Versorgungsdrücken als denjenigen zu starten und zu betreiben, die von den Bedingungen des ungünstigsten Falles diktiert werden, und somit erweitern sie das Betriebsfähigkeitsfenster, indem sie das Erfordernis teurer Gasbrennstoffverdichter verringern oder potenziell eliminieren.

[0005] Somit kann die Erfindung in einem Verfahren der Festlegung einer Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für die Versorgung von einem Druckregelventil zu einem Gasregelventil einer Vielzahl von Brennstoffdüsen in einer Gasturbinen-Brennkammeranlage verkörpert sein, welches umfasst: Bestimmen eines ersten erforderlichen Brennstoffdrucks oberstromig von den Brennstoffdüsen; Bestimmen eines zulässigen Mindestdruckerfordernisses oberstromig von dem Gasregelventil, basierend auf dem ersten erforderlichen Brennstoffdruck; und Bestimmen der Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für die Regelung des Druckregelventils auf der Grundlage des zulässigen Mindestdruckerfordernisses.

[0006] Die Erfindung kann ebenfalls in einer Gasturbinen-Brennkammeranlage verkörpert sein, die mit einer Vielzahl von Brennstoffdüsen und einem Druckregelungssystem für das Regeln des Brennstoffversorgungsdrucks zu den Brennstoffdüsen versehen ist, umfassend: Brennstoffleitungen, die einen Pfad für das Fliessen von Gasbrennstoff von einem oberstromigen Brennstoffeinlass zu den Brennstoffdüsen bilden, und die eine Hauptbrennstoffleitung und eine Brennstoffverteilungsleitung zu den Brennstoffdüsen umfassen; ein Gasregelventil für das Regeln des Brennstoffflusses in der Brennstoffverteilungsleitung zu den Brennstoffdüsen; und ein Druckregelventil, das in der Hauptbrennstoffleitung oberstromig von dem Gasregelventil angeordnet ist, wobei das Regulationssystem operativ mit dem Druckregelventil und dem Gasregelventil gekoppelt ist, um einen Druck unterstromig von dem Druckregelventil und einen Fluss durch das Gasregelventil zu regeln, wobei das Regulationssystem selektiv eine Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für das Regeln des Druckregelventils auf der Grundlage eines Verdichterentladedrucks einstellt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0007] Diese und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch sorgfältiges Studium der nachfolgenden detaillierteren Beschreibung der gegenwärtig bevorzugten beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung in Verbindung mit den beigelegten Zeichnungen verständlicher und klarer werden. Es zeigt:

- Fig. 1 ein Diagramm, welches schematisch das Basislast-Gasbrennstoffversorgungsdruckerfordernis gegenüber der Umgebungstemperatur veranschaulicht;
- Fig. 2 ein Diagramm, welches schematisch ein P2-Druckerfordernis auf TNR-Basis gemäss einem verwandten Stand der Technik veranschaulicht;
- Fig. 3 eine schematische Veranschaulichung des erweiterten Betriebsfähigkeitsfensters unter Nutzung modularer Druckregelung gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 4 eine Diagramm-Ansicht eines Druckregelungssystems, welches die vorliegende Erfindung verkörpert;

- Fig. 5 ein Diagramm, welches schematisch die Ableitung des zulässigen Mindestdruckerfordernisses gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht; und
- Fig. 6 eine schematische Veranschaulichung der P2-Druck-Bezugsgrössenauswahl gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0008] Wie oben festgestellt wurde, basiert das bestehende Gasbrennstoffregelungssystem auf einem festgelegten Gasbrennstoffversorgungsdruckerfordernis, das aus Bedingungen des ungünstigsten Falls bestimmt wird. Das tatsächliche Gasturbinenversorgungsdruckerfordernis ist jedoch eine Funktion von Umgebungsbedingungen und einem Gasturbinenverdichterdruckverhältnis. Somit erhöht sich, wenn die Umgebungstemperatur vom Standortminimum, welches das festgelegte Erfordernis bestimmte, ansteigt, die Differenz zwischen dem vorgegebenen, festgelegten Erfordernis und dem tatsächlichen Gasturbinenerfordernis (Fig. 1).

[0009] Die Erfindung zielt darauf ab, dieses Paradigma zu verschieben, indem man das Gasbrennstoffversorgungsdruckerfordernis als eine Funktion von Umgebungsbedingungen gleiten lässt, anstatt dem herkömmlichen, festgelegten Erfordernis des ungünstigsten Falls zu folgen, welches die herkömmliche Philosophie der Gasbrennstoffregelung verkörpert. Die Absicht der gleitenden oder modulierten Druckregelung, welche die Erfindung verkörpert, ist, die Gasturbine bei niedrigeren Gasbrennstoffversorgungsdrücken starten und betreiben zu lassen, als dies gemäss der herkömmlichen Regel-Philosophie gestattet war. Somit stellt die Erfindung, wie oben angemerkt, ein Druckregelungsverfahren und -system bereit, um es möglich zu machen, das Gasbrennstoffversorgungsdruckerfordernis, unterhalb dessen der Start der Gasturbine verhindert wird, als eine Funktion von zum Beispiel Umgebungstemperatur, Umgebungsdruck und Gasturbinenlast zu bestimmen.

[0010] Bei einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung stellt das Druckregelungssystem das Brennstoffversorgungsdruckerfordernis ein, zum Teil basierend auf dem Verdichterentladendruck, welcher Umgebungstemperatur, Umgebungsdruck und Gasturbinenlast berücksichtigt. Das Versorgungsdruckerfordernis wird für alle potenziellen Betriebsarten berechnet und als eine Funktion des Verdichterentladendrucks aufgezeichnet (siehe zum Beispiel die schematischen Veranschaulichungen von Fig. 3, 5 und 6, die nachstehend erörtert werden).

[0011] In Fig. 3 zeigt die gestrichelte Linie das aktuelle Versorgungsdruckerfordernis, das eine festgelegte Zahl bei jeder Gasturbinenlast ist. Die durchgehende Linie zeigt ein Druckerfordernis gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung. Der schattierte Bereich zwischen diesen Versorgungsdruckerfordernissen kann mit der bestehenden Regelungs-Philosophie nicht betrieben werden, er wird jedoch mit modulierter Druckregelung gemäss dieser beispielhaften Ausführungsform der Erfindung betreibbar. Es versteht sich, dass das Druckerfordernis der Basislast des kalten Umgebungstages der Punkt in der oberen rechten Ecke des Diagramms ist, an welchem die gestrichelte horizontale Linie auf die durchgehende Linie trifft, welche die modulierte Druckerfordernisregelung repräsentiert. Wenn der Versorgungsdruck beim Betrieb mit Basislast unterhalb dieses Erfordernisses fällt, entlädt das Regelungssystem die Gasturbine entlang der durchgehenden Linie des Druckerfordernisses.

[0012] Eine Version der gleitenden oder modulierten Druckregelung ist bei einer 9H-Rahmen-Gasturbine an einem Standort in Baglan Bay, in Wales, implementiert worden. Jene Version der gleitenden Druckregelung ist jedoch lediglich eine Schutzmassnahme, um zu verhindern, dass die Gasregelventile nicht mehr gedrosselt sind, wenn der Brennstoffversorgungsdruck (P2-Druck) unter einen vorgegebenen Einstellungspunkt fällt, was zu einem unregelmässigen Brennstofffluss führt. Somit ist in Baglan Bay die gleitende Druckregelung kein normaler Betriebsmodus, und sie wird nur bei einem Stöorzustand aktiviert. Darüber hinaus ist der erforderliche Mindestbrennstoffversorgungsdruck eine Funktion der Drehzahl-Last-Bezugsgrösse (TNR genannt) (Fig. 2).

[0013] Die Drehzahl-Last-Bezugsgrösse (TNR) ist ein guter Indikator der Gasturbinenlast, jedoch berücksichtigt sie nicht alle der Gasturbinenparameter, die sich auf Berechnungen des Brennstoffdruckerfordernisses auswirken. Die Erfindung schlägt einen effektiveren Weg für die Regelung des Brennstoffdrucks vor, indem stattdessen der Verdichterentladendruck (CPD) genutzt wird. Die Nachteile der Nutzung von TNR schliessen ein: (1) die P2-Druck-Bezugsgrösse reagiert nicht auf Netzfrequenzänderungen, (2) die auf TNR basierende Regelung geht von einem bestimmten Lastpfad aus und muss somit bezüglich der Umgebungsbedingungen angepasst werden, und (3) TNR macht den Regelungsablauf komplizierter, was den Einsatz von Umgebungstemperatur-Sensoren oder von CTM, die bezüglich der Einlass-Entnahmewärme (IBH) bei Teillasten angepasst sind, erforderlich macht. Die Vorteile der Nutzung von CPD schliessen ein: (1) CPD ist repräsentativer für den Senkendruck, welchen der Brennstoffversorgungsdruck überwinden muss, und ist somit ein besserer Regelungsparameter, und (2) es ist nicht erforderlich, dass der CPD bezüglich der Umgebungstemperatur angepasst wird.

[0014] Unter Bezugnahme auf Fig. 4 wird ein Brennstoffdruck-Regelungssystem, das Teil einer Gasturbine bildet, schematisch so veranschaulicht, dass es eine Vielzahl von Rohrleitungen aufweist, die einen Strömungspfad für Brennstoff von einem oberstromigen Einlass zu den Brennstoffdüsen, einschliesslich einer Hauptbrennstoffleitung 12 und Verteilungsleitungen 14, 16, 18, 20 zu den Düsen, bilden. Beispielhaft werden weiterhin vier Brennstoffverteiler für das Leiten von Brennstoff zu einer entsprechenden Vielzahl von Brennstoffdüsen 22, 24, 26, 28 veranschaulicht, von denen für eine vereinfachte Darstellung nur eine für jeden Brennstoffverteiler gezeigt wird. Das Regelungssystem, das schematisch mit 10

dargestellt ist, stellt ein Brennstofffluss-Regelsignal bereit für das Regeln der entsprechenden Öffnungen von Gasregelventilen 30, 32, 34, 36, die den jeweiligen Verteilungsleitungen für die Regelung des Flusses zu diesen zugeordnet sind. Das Regelungssystem liefert ausserdem ein Druckregelsignal für das Regeln der Drücke in der Leitung 12 durch Regeln des Ventils 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses, und ein Druckwandler 40 ist an die Ausgangsseite des Ventils 38 für Feedback zum Regelungssystem angeschlossen.

[0015] Wie in Fig. 4 bezeichnet, ist der P1-Druck der Druck oberstromig von dem Filter 42 und unterstromig von dem Hilfs-Absperrventil 44 und dem Ventil 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses, während der P2-Druck der Druck unterstromig von dem Ventil 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses ist, wie er den Gasregelventilen 30, 32, 34, 36 zugeführt wird. Somit passt das Ventil 38 den Druck des Brennstoffes an einen vorbestimmten Druck P2 an. Der Brennstoff, (anfänglich) bei Druck P2, strömt dann durch die Leitung 12 zu den entsprechenden Gasregelventilen 30, 32, 34, 36, welche den Fluss des Brennstoffs auf einen vorbestimmten Fluss einstellen, und der Brennstoff wird mit dem vorbestimmten Fluss durch die Verteilungsleitungen den jeweiligen Brennstoffverteilern und weiter jeder Düse für die Verbrennung in der Gasturbinen-Brennkammeranlage zugeführt. Somit wird das Öffnen des Ventils 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses auf der Basis des Druckregelsignals geregelt, das vom Regelungssystem bereitgestellt wird. In gleicher Weise wird das Öffnen des Regelventils auf der Grundlage eines Flussregelsignals geregelt, welches vom Regelungssystem bereitgestellt wird.

[0016] Eine Brennstoffdruck-Bezugsgrösse, P2-Bezugsgrösse, ein P2-Versorgungserfordernis und ähnliche Begriffe, wie sie hierin im Folgenden verwendet werden, sind alles Begriffe mit gleicher Bedeutung. Der Begriff «Bezugsgrösse» ist natürlich ein allgemeiner Industriestandardbegriff für Regelungen, welcher den Einstellwert für einen geschlossenen Regelkreis beschreibt. In diesem Fall ist die P2-Bezugsgrösse der Einstellwert für das Ventil 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses (SRV), der verwendet wird, um den Brennstoffgasdruck auf der Grundlage einer gegebenen Regelkurve zu regeln. Mit anderen Worten gesagt, ist die P2-Bezugsgrösse die Anforderung vom Regler an das SRV. Das bestehende System weist eine festgelegte P2-Brennstoffdruck-Bezugsgrösse auf, während die gleitende oder modulierte Druckregelung der Erfindung eine sich ändernde P2-Bezugsgrösse einführt, welche der Fokus der Offenlegung hierin ist.

[0017] Bezugnehmend auf Fig. 6 ist in einer beispielhaften Ausführungsform die P2-Bezugsgrösse der Mittelwert von drei Regelkurven: das zulässige Mindestdruckerfordernis (gedrosseltes Druckerfordernis), verfügbarer Versorgungsdruck, und Basislasterfordernis. Die Kurve des Mindestdruckerfordernisses ist der Mindestgasbrennstoffzwischenndruck (P2), der erforderlich ist, um die Gasregelventile 30, 32, 34, 36 gedrosselt zu halten, die hierin unter Bezugnahme auf Fig. 5 detailliert angegeben sind. Die Kurve des Versorgungsdrucks ist der gemessene P1-Druck oberstromig von dem Ventil 38 des Absperr/Drehzahl-Verhältnisses (SRV), abzüglich eines festen Druckabfalls über das SRV hinweg. Das Basislast-Druckerfordernis ist ein Minimum des bestehenden Druckschemas, das in Fig. 3 gezeigt wird, und eine Anpassung des gleichen Schemas bezüglich der Umgebung. Letzteres ist im Wesentlichen der Gasbrennstoffdruck, der für Basislastbetrieb erforderlich ist, und er wird sich auf der Basis der Verdichtereinlasstemperatur (CTEVI) erhöhen oder verringern.

[0018] Da die P2-Druck-Bezugsgrösse höchstwahrscheinlich für jeden anderen Zustand als Basislast eines kalten Umgebungstages reduziert werden wird, ist ein P2-Korrekturfaktor auf die Skalierung des Gasregelventils für die Ventilpositionsregelung eines offenen Regelkreises angewandt worden. Die Skalierungs-Anpassung trägt zur Korrektur des Gesamtbrennstoffbedarfs für die neue gleitende oder modulierte P2-Bezugsgrösse bei. Dies verhindert, dass sich der Gesamtbrennstofffluss verringert, was eine Verringerung der Leistungsabgabe der Gasturbine bewirkt. Der Korrekturfaktor ist ein Verhältnis der ursprünglichen P2-Bezugsgrösse und der modulierten P2-Bezugsgrösse:

$$\frac{P2 - \text{Bezugsgrösse}_{\text{ursprünglich}} + P_{\text{Umgebung}}}{P2 - \text{Bezugsgrösse}_{\text{moduliert}} + P_{\text{Umgebung}}}$$

[0019] Der zulässige Start ist modifiziert worden, um einen Gasturbinenstart zuzulassen, wenn der Versorgungsdruck gleich dem Druck ist oder über dem Druck liegt, der für den Betrieb bei einer vorgehaltenen Reserve erforderlich ist. Zusätzlich wird, bei einer beispielhaften Ausführungsform, wenn der Bediener den Hauptregelstartknopf drückt und der Versorgungsdruck niedriger ist als der Druck, der für den Vorgemisch-Modus benötigt wird, ein Einblende-Kästchen auf dem HMI-Schirm erscheinen und zum Beispiel angeben «Gasbrennstoffdruck zu niedrig für Vorgemisch-Betrieb. Soll der Start fortgesetzt werden?» Dieses Merkmal gestattet es dem Bediener, zu entscheiden, ob die Anlage mit dem Wissen gestartet werden soll, dass ein Zustand eines verringerten Versorgungsdrucks existiert.

[0020] Die Schutzmassnahmen sind modifiziert worden, um eine Lasterhöhungssperre bei einer Schwelle oberhalb des minimal erforderlichen P2 einzuschliessen, die es der Anlage gestattet wird, nur bis zum verfügbaren Druckbegrenzungswert zu laden. Wenn es der Gasturbine gestattet würde, die Last bei diesem Wert zu erhöhen, würde gemäss Fig. 6 das Mindestversorgungsdruckerfordernis erhöht werden. Die Anlage wird automatisch die Leistungsabgabe verringern, wenn irgendein Gasregelventil 30, 32, 34, 36 oder das SRV 38 die maximal zulässige Position erreicht. Diese automatische Lastverringern soll die Gasturbine vor dem Betrieb mit ungedrosselten Ventilen schützen, die auf Grund von Fehlern, die in die Ventilverteilungsregelung des offenen Gasregelkreises eingeführt werden, eventuell eine Instabilität der Brennkammer oder Schaden an den Ausrüstungen auf Grund hoher Dynamik verursachen könnten. Wenn der Versorgungsdruck die maximale Abklingrate übersteigt, wird die Turbine automatisch auf die vorgehaltene Reserve eingestellt; an diesem

Punkt ist die Gasturbine nicht in der Lage, bei einer Rate zu entladen, die schnell genug ist, um den Druckabfall zu übersteigen. Anstelle einer Schnellabschaltung der Turbine kann der automatische Übergang zu einem sekundären Brennstoff als Option hinzugefügt werden. Der Übergang findet statt, wenn der Versorgungsdruck niedriger ist als der horizontale Abschnitt von f1 (siehe Fig. 6).

Berechnungen:

[0021] Brennstoffdruck = f (CPD, Brennstofffluss, Brennstofftemperatur, Düsen-A_e) wobei CPD = Verdichterentladedruck und Düsen-A_e = Düsen-Wirkfläche (eine «korrigierte» physische Fläche, die von Drücken, Geschwindigkeiten und Temperaturen – oberstromig und unterstromig – abhängt. Diese korrigierte Fläche nutzt einen Multiplikationsfaktor, genannt «Entladekoeffizient» (Cd)).

[0022] Brennstoffdruck oberstromig von der Brennstoffdüse (P₄) wird angegeben 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 Düsendruck-Verhältnisse, und durch

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

für gedrosselte Düsendruck-Verhältnisse
wobei Brennstofffluss, kg/s (lb(sec))

- M = Brennstofffluss, kg/s (lb(sec))
- p_{cc} = CPD-Brennkammerdruckabfall
- g = Beschleunigung auf Grund von Schwerkraft, m/s² (ft/sec²)
- k = spezifisches Wärmeverhältnis, C_p/C_v
- R = Universelle Gaskonstante, J/(mol*K) (lb.ft/lbm.R)
- T = Brennstofftemperatur, Grad K (Grad Rankine)

[0023] Das Fließen durch eine Öffnung, eine Düse oder ein Ventil ist eine Funktion von oberstromigen und unterstromigen Druckbedingungen. Das Verhältnis dieser Drücke diktiert die Fließmenge. Wenn sich das Verhältnis oberhalb einer festgelegten Zahl, «kritisches Druckverhältnis» genannt, befindet, wird das Ventil (oder die Öffnung oder die Düse) als gedrosselt betrachtet. Bei jedem Wert oberhalb dieses Druckverhältnisses ist der Massenfluss durch das Ventil konstant. Typische Gasbrennstoffdüsen sind so ausgelegt, dass sie unterhalb des kritischen Druckverhältnisses arbeiten. Das Kritische Druckverhältnis (CPR) für Gasbrennstoffdüsen ist eine Funktion ihres k (C_p/C_v Verhältnis), und ein typisches CPR ist 1,78. Somit arbeiten bei normalem Betrieb Brennstoffdüsen immer ungedrosselt, und Gasregelventile arbeiten gedrosselt. Jedoch haben neuere Verbrennungssysteme eine viel grössere Brennstoff-Split-Variation über jeden Kreislauf hinweg, und in einigen Fällen sind gedrosselte Düsendruckverhältnisse mit einem sehr hohen Brennstoff-Split und Düsen von relativ kleinerer Grösse festgestellt worden. Für die Berechnung von P₄ auf unserem Brennstoffsystem wurde ein iteratives Verfahren genutzt, um Fluss und Düsendruckverhältnis (NPR) zu berechnen. Bei diesem Verfahren wählten wir die P₄ Formel auf der Basis des bei der vorherigen Iteration berechneten NPR.

[0024] Die Brennstoffgasversorgungsdrücke für das zulässige Mindestfordernis f1 & f2 können berechnet werden als:
Brennstoffversorgungsdruck (fx)=
P₄ + Rohrleitungsdruckabfall + Gasregelventil DP

[0025] Der «Rohrleitungsdruckabfall» entsteht durch Kurven und Biegungen in der Rohrleitung, die Brennstoff vom Gasregelventil zur Brennstoffdüse befördert. Dieser Druckabfall wird als konstant angenommen, obwohl er mit den Grenzbedingungen leicht variiert. Die Konstante beruht auf technischen Erfahrungen der Vergangenheit.

[0026] Der «Gasregelventildruckabfall» ist ebenfalls ein als konstant angenommener Druckabfall. Diese Zahl ist ein Multiplikationsfaktor, der vom Ventilhersteller kommt.

[0027] Ein Beispiel des Brennstoffversorgungsdruckerfordernisses f_x für das zulässige Mindesterfordernis, wie oben berechnet, wird in Fig. 5 gezeigt. Die Spitzen und Täler repräsentieren Übergänge im Verbrennungssystemmodus. Die Kurven f_1 und f_2 machen das zulässige Mindestdruckerfordernis aus, was genügend Druck möglich macht, über die Spitzen zu gelangen, jedoch die Täler zu ignorieren. Somit beruht das Plateau der f_1/f_2 -Kurve, die in Fig. 3 und 6 veranschaulicht wird, auf der grössten Zwischendruckspitze, wie sie in Fig. 5 gezeigt wird.

[0028] Somit ist, im Gegensatz zur herkömmlichen Regelungsphilosophie und im Gegensatz zur oben erwähnten Druckregelung in Baglan Bay, die Brennstoffdruck-Bezugsgrösse (P_2 -Bezugsgrösse oder P_2 -Versorgungserfordernis) oberstromig von den Gasregelventilen gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung jetzt eine Funktion der Umgebungstemperatur, um das niedrigere Brennstoffdruckerfordernis an wärmeren Tagen auszunutzen.

[0029] Ein Hauptvorteil der Erfindung ist die Möglichkeit, die Gasturbine zu starten und die Gasturbine mit verringerten Gasbrennstoffversorgungsdrücken zu betreiben, die auf tatsächlichen Hardware-Erfordernissen beruhen werden anstatt auf einem festgelegten Erfordernis des ungünstigsten Falls. Die Strategie der modulierten Druckregelung wird die Gasturbinenlast so weit verringern, wie es erforderlich ist, wenn der Versorgungsdruck unter das Versorgungsdruckerfordernis fällt, und wird es der Gasturbine gestatten, wieder aufzuladen, sobald sich der Versorgungsdruck erholt.

[0030] Darüber hinaus wird es das verringerte Versorgungsdruckerfordernis als eine Funktion des Verdichterentladedrucks wahrscheinlich ermöglichen, dass die Gasverdichter der Anlage während der Sommermonate abgeschaltet werden, wenn die Umgebungstemperaturen höher sind. In vielen Fällen kann auf den Einsatz von Gasverdichtern verzichtet werden.

[0031] Die Erfindung ist zwar im Zusammenhang mit der Ausführungsform, die gegenwärtig als die praktischste und bevorzugteste Ausführungsform betrachtet wird, beschrieben worden, jedoch versteht es sich, dass die Erfindung nicht auf die offengelegte Ausführungsform zu beschränken ist, sondern dass es im Gegenteil beabsichtigt ist, dass sie sich auf verschiedene Ausführungsformen und gleichwertige Anordnungen erstreckt, die in den Umfang und das Wesen der beiliegenden Ansprüche eingeschlossen sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für die Versorgung von einem Druckregelventil (38) zu einem Gasregelventil (30, 32, 34, 36) einer Vielzahl von Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28) in einer Gasturbinen-Brennkammeranlage, umfassend:
Bestimmen eines ersten erforderlichen Brennstoffdrucks (P_4) oberstromig von den Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28);
Bestimmen eines zulässigen Mindestdruckerfordernisses oberstromig von dem Gasregelventil (30, 32, 34, 36) auf der Grundlage des ersten erforderlichen Brennstoffdrucks (P_4); und
Bestimmen der Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für das Regeln des Druckregelventils (38) auf der Grundlage des zulässigen Mindestdruckerfordernisses.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das zulässige Mindestdruckerfordernis ein zulässiger Mindestbrennstoffdruck für das Aufrechterhalten des gedrosselten Betriebs des Gasregelventils (30, 32, 34, 36) ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Brennstoffdruck-Bezugsgrösse auf der Grundlage des zulässigen Mindestdruckerfordernisses, eines verfügbaren Versorgungsdrucks und eines Basislast-Brennstoffdruckerfordernisses bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Basislast-Brennstoffdruckerfordernis auf einem Basislastdruckerfordernis eines kalten Umgebungstages beruht.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das zulässige Mindestdruckerfordernis auf der Grundlage des ersten erforderlichen Brennstoffdrucks (P_4), eines Abfalls des Rohrleitungsdrucks zwischen dem Gasregelventil (30, 32, 34, 36) und der Brennstoffdüse (22, 24, 26, 28) und eines Druckabfalls des Gasregelventils (30, 32, 34, 36) bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste erforderliche Brennstoffdruck (P_4) selektiv auf der Grundlage eines Verdichterentladedrucks bestimmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der erste erforderliche Brennstoffdruck (P_4) bestimmt wird als

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

für ungedrosselte Düsendruckverhältnisse, und als

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

für gedrosselte Düsendruckverhältnisse, wobei

M = Brennstofffluss

P_{cc} = CPD – Brennkammer-Druckabfall

A_e = Düsenwirkfläche

g = Beschleunigung auf Grund von Schwerkraft

k = spezifisches Wärmeverhältnis, C_p/C_v

R = Universelle Gaskonstante

T = Brennstofftemperatur.

8. Gasturbinen-Brennkammeranlage, die mit einer Vielzahl von Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28) und einem Regulationssystem (10) für das Regeln des Brennstoffversorgungsdrucks zu den Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28) versehen ist, umfassend:
 Brennstoffleitungen, die einen Pfad für das Fließen von Gasbrennstoff von einem oberstromigen Brennstoffeinlass zu den Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28) bilden, welche eine Hauptbrennstoffleitung (12) und eine Brennstoffverteilungsleitung (14, 16, 18, 20) zu den Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28) umfassen;
 ein Gasregelventil (30, 32, 34, 36) für das Regeln des Brennstoffflusses in der Brennstoffverteilungsleitung (14, 16, 18, 20) zu den Brennstoffdüsen (22, 24, 26, 28); und
 ein Druckregelventil (38), das oberstromig von dem Gasregelventil (30, 32, 34, 36) in der Hauptbrennstoffleitung (12) angeordnet ist,
 wobei das Regulationssystem (10) operativ an das Druckregelventil (38) und an das Gasregelventil (30, 32, 34, 36) gekoppelt ist, um einen Druck (P2) unterstromig von dem Druckregelventil (38) und einen Fluss durch das Gasregelventil (30, 32, 34, 36) zu regeln, wobei das Regulationssystem (10) selektiv eine Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für das Regeln des Druckregelventils (38) auf der Grundlage eines Verdichterentladedrucks einstellt.
9. Gasturbinen-Brennkammeranlage nach Anspruch 8, wobei das Regulationssystem (10) selektiv die Brennstoffdruck-Bezugsgrösse für das Regeln des Druckregelventils (38) auf der Grundlage eines erforderlichen Mindestbrennstoffdrucks festlegt, um den gedrosselten Betrieb des Gasregelventils (30, 32, 34, 36) beizubehalten.
10. Gasturbinen-Brennkammeranlage nach Anspruch 9, wobei das Regulationssystem (10) selektiv die Brennstoffdruck-Bezugsgrösse auf der Grundlage des Mindestdruckerfordernisses festlegt, wobei das Mindestdruckerfordernis auf der Grundlage eines ersten erforderlichen Brennstoffdrucks (P4) oberstromig von der Brennstoffdüse (22, 24, 26, 28) bestimmt wird, und wobei das Regulationssystem (10) den ersten erforderlichen Brennstoffdruck (P4) berechnet als

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

für ungedrosselte Düsendruckverhältnisse, und als

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

für gedrosselte Düsendruckverhältnisse, wobei

M = Brennstofffluss,

P_{cc} = CPD – Brennkammerdruckabfall,

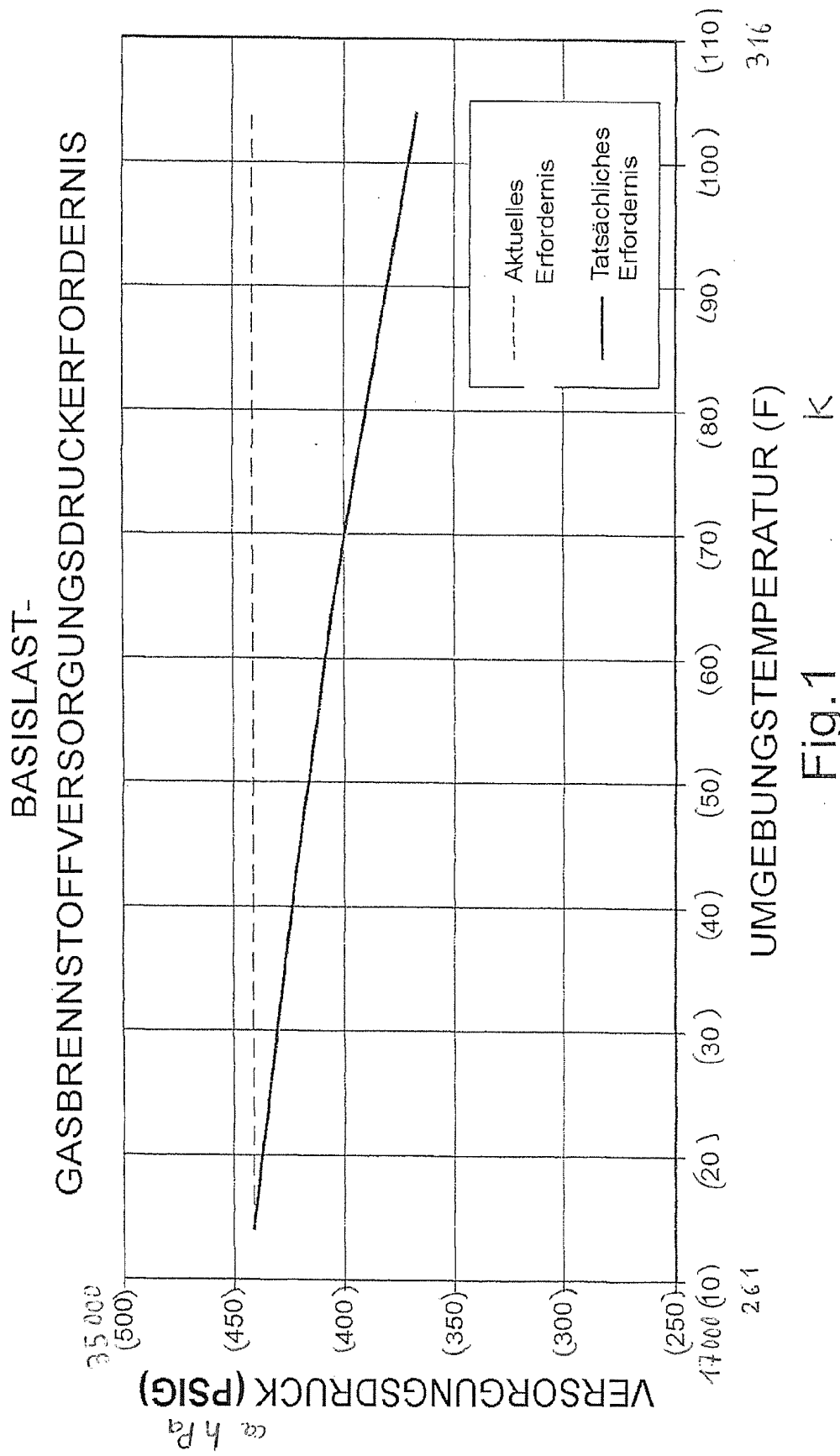
A = Düsenwirkfläche,

g = Beschleunigung auf Grund von Schwerkraft,

k = spezifisches Wärmeverhältnis, C_p/C_v

R = Universelle Gaskonstante,

T = Brennstofftemperatur.



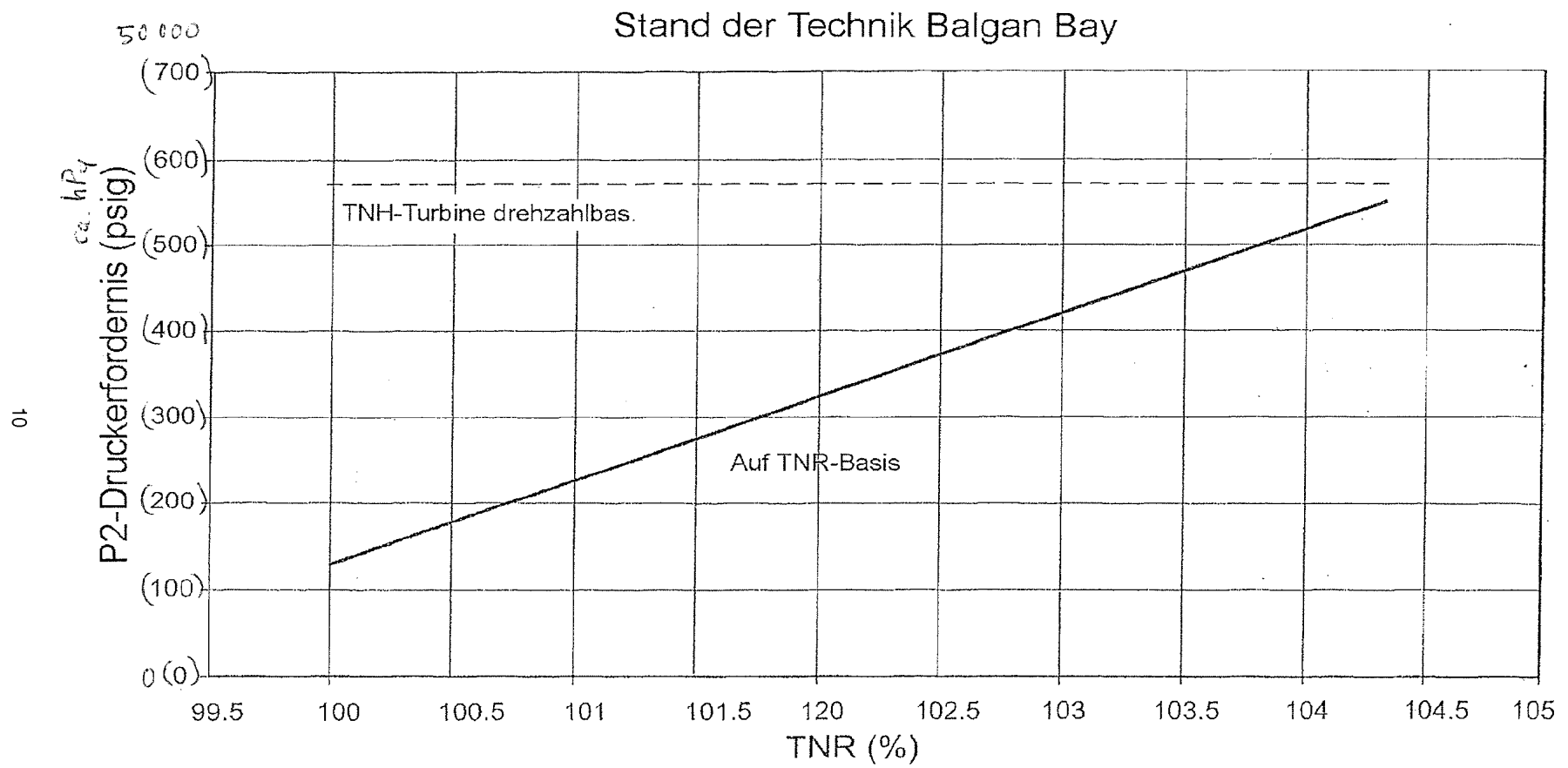


Fig.2

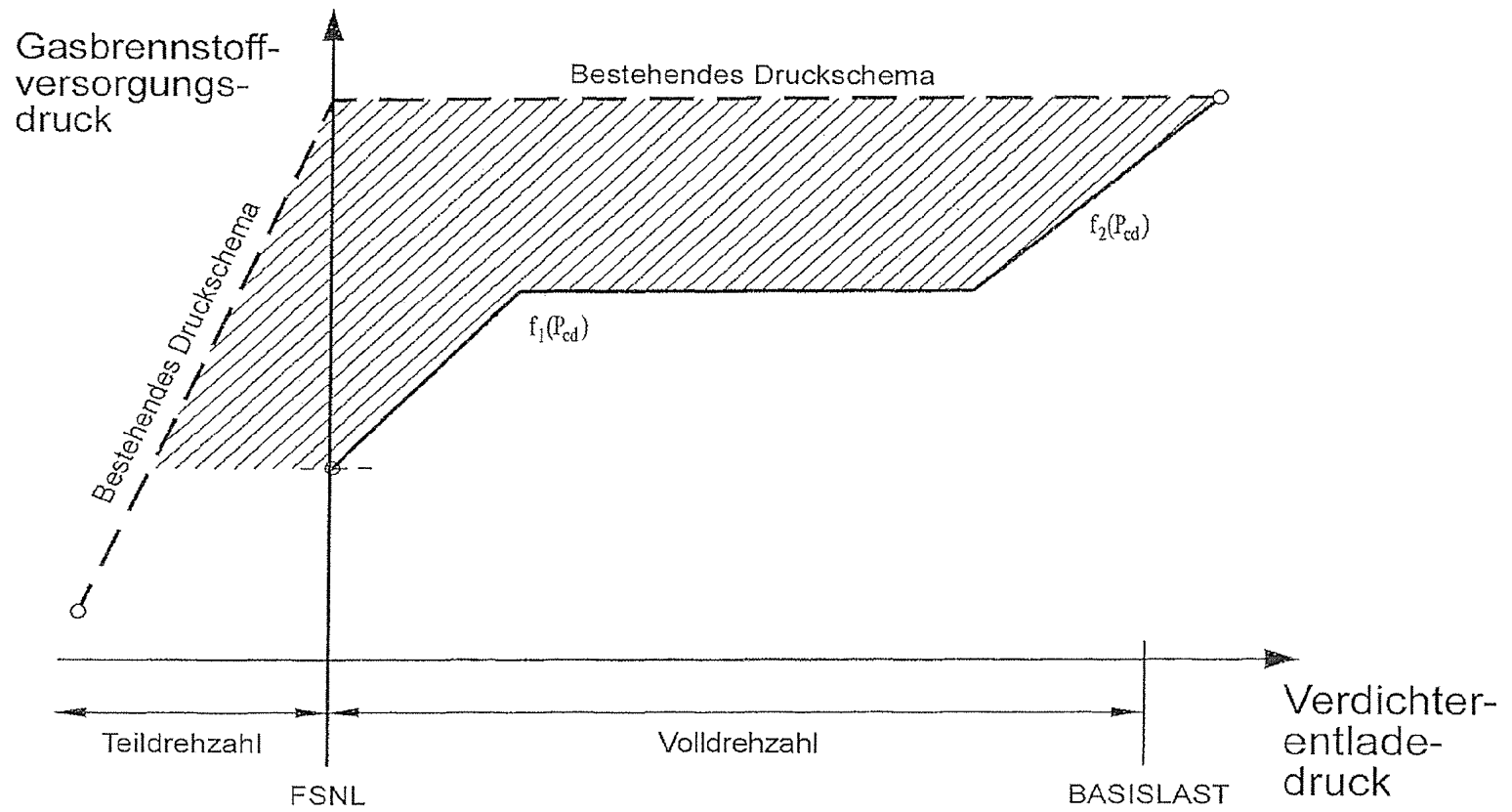


Fig.3

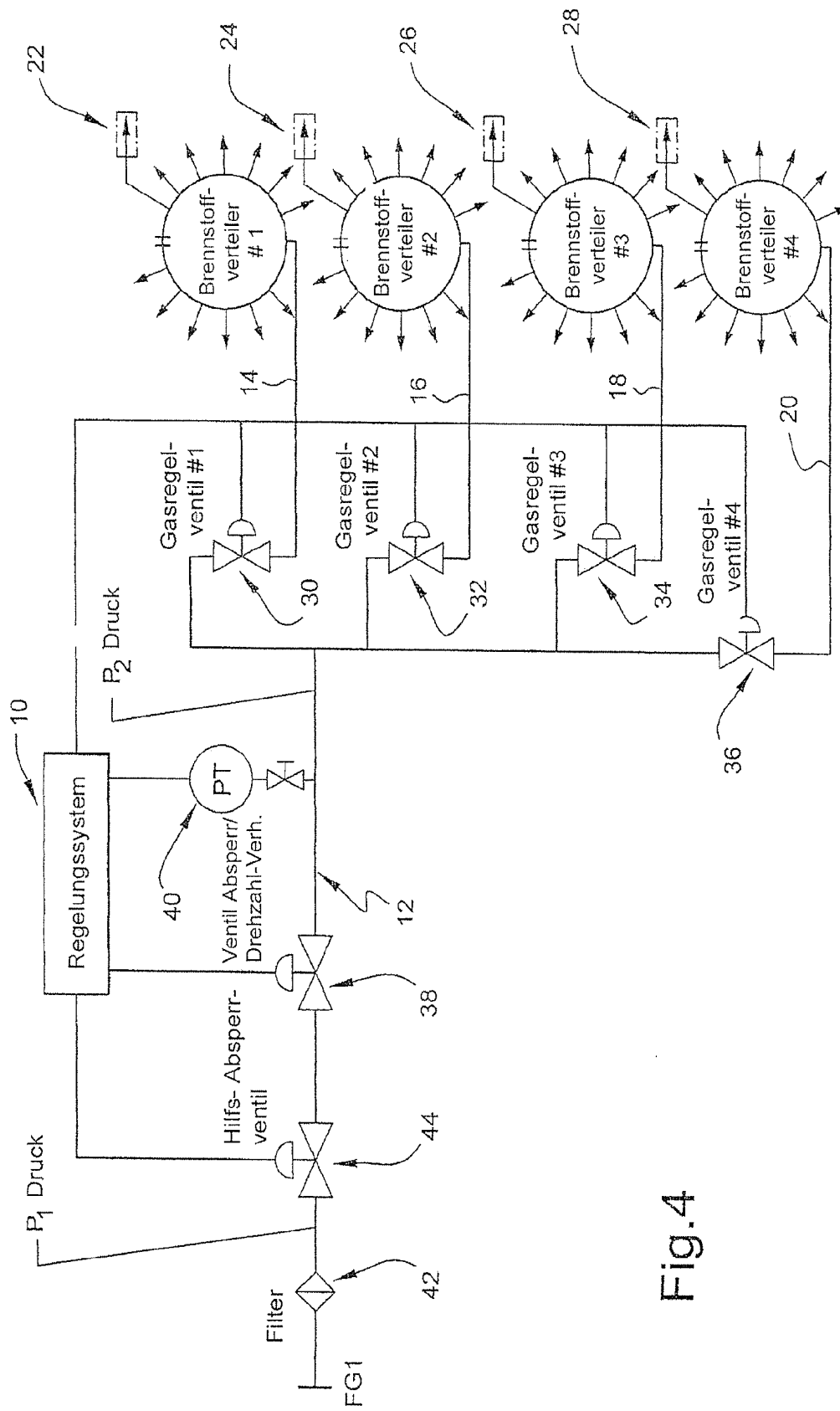


Fig.4

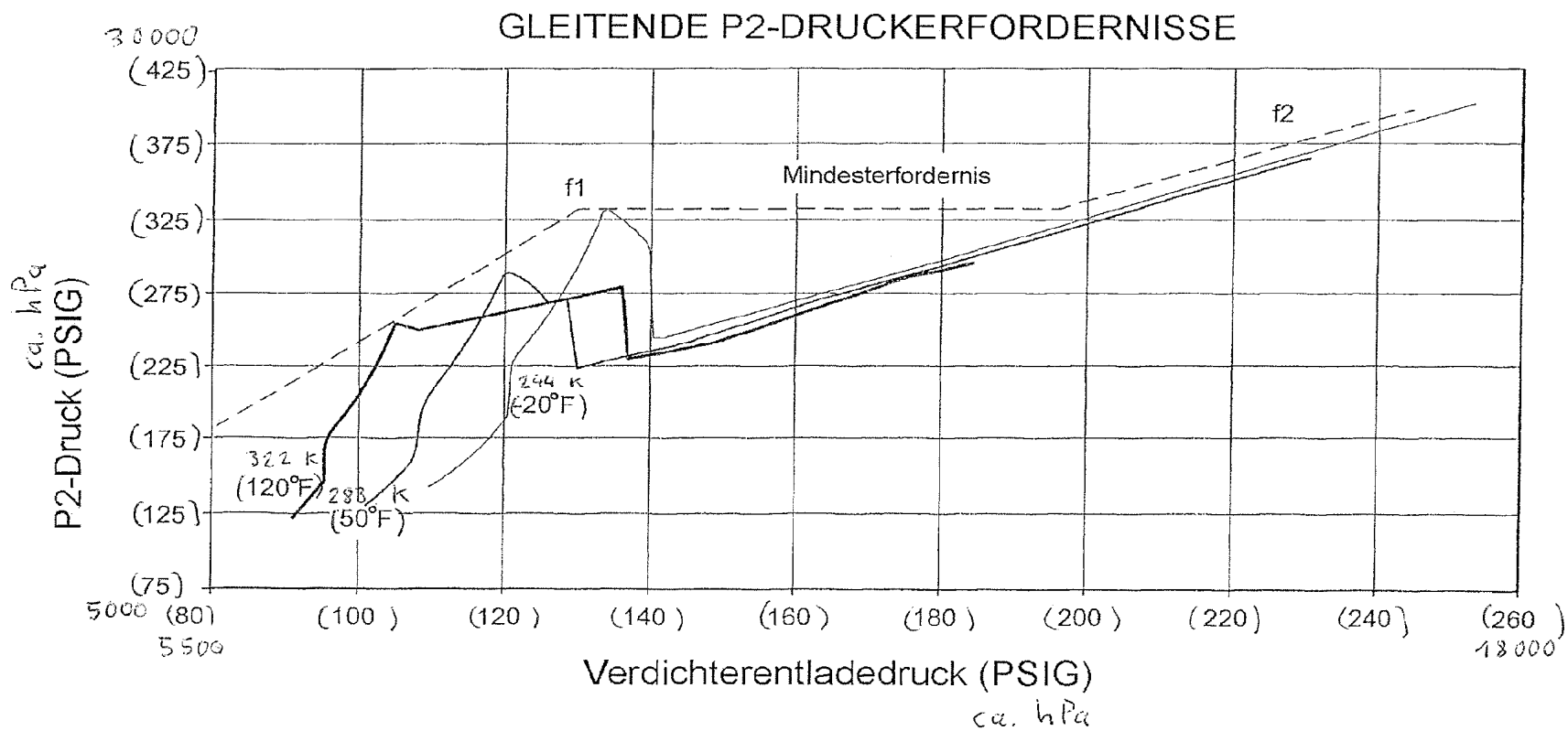


Fig.5

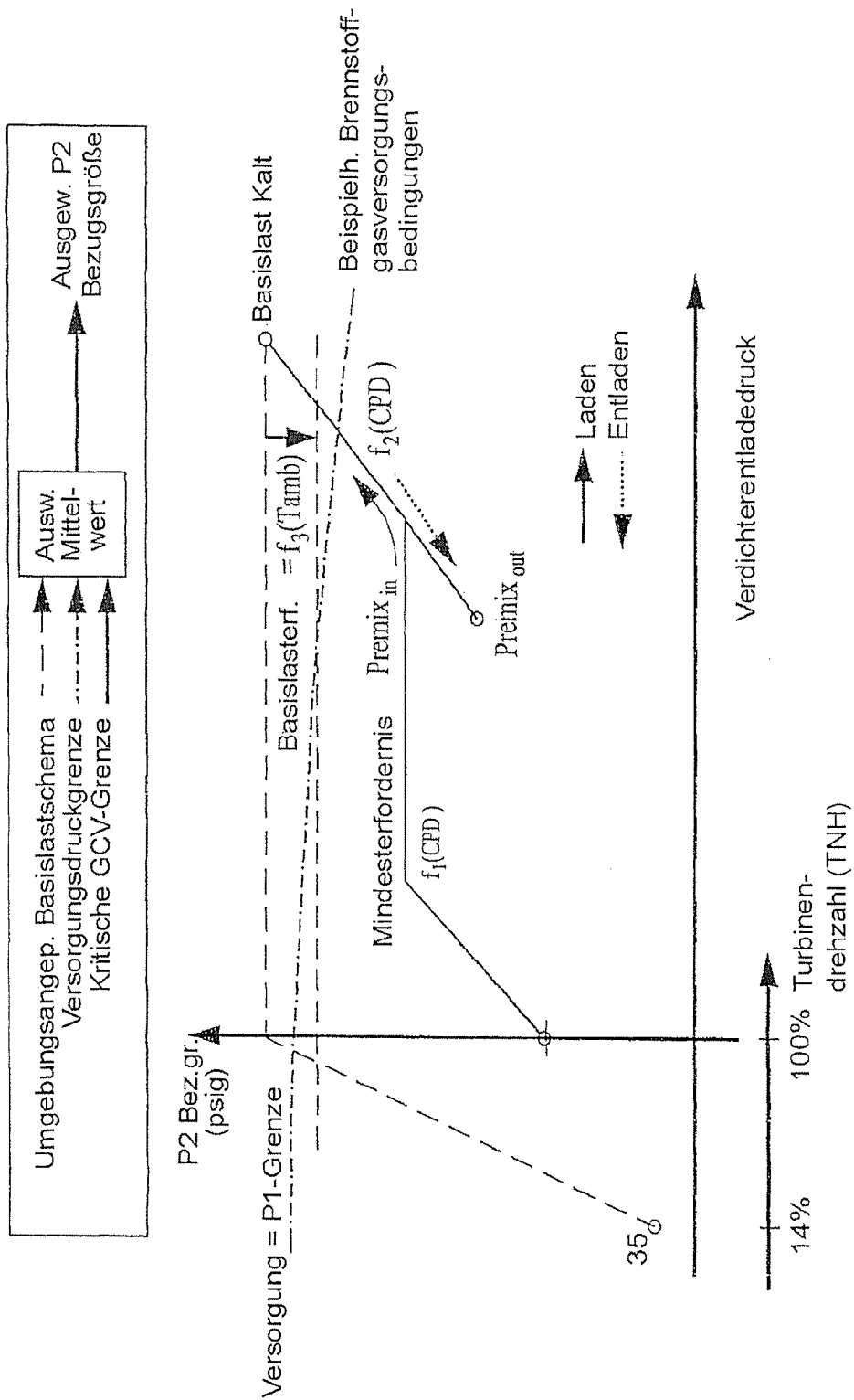


Fig. 6