



(10) **DE 10 2014 103 084 A1** 2014.09.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 103 084.2**

(22) Anmeldetag: **07.03.2014**

(43) Offenlegungstag: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **F02C 9/28 (2006.01)**
F02C 9/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
13/801,259 13.03.2013 US

(71) Anmelder:
**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,
N.Y., US**

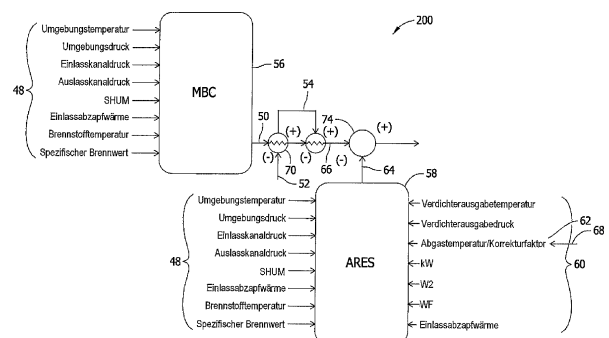
(74) Vertreter:
**Rüger, Barthelt & Abel Patentanwälte, 73728
Esslingen, DE**

(72) Erfinder:
**Davis, Lewis Berkley, Schenectady, N.Y., US;
Morgan, Rex A., Greenville, S.C., US; Jordan,
Harold Lamar, Greenville, S.C., US; Baker, Scott
Richard, Greenville, S.C., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Systeme und Verfahren zur Gasturbinenabstimmung und -Steuerung**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Abstimmung einer Gasturbine beinhaltet den Schritt des Aufnehmens einer ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird. Weiter beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinenriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen. Zusätzlich beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinenriebwerks bei einer dritten Betriebsbedingung, um eine dritte Anzahl von Betriebsparametern bei der dritten Betriebsbedingung zu messen, wobei sich die erste, zweite und dritte Betriebsbedingung unterscheiden. Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren den Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern. Das Verfahren beinhaltet zudem den Schritt des Einstellens des Betriebs des Gasturbinenriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors.



Beschreibung**HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Gasturbinentriebwerke und speziell Systeme und Verfahren zur Verwendung bei der Abstimmung von Gasturbinen.

[0002] Zumindest einige bekannte Gasturbinentriebwerke enthalten Steuereinrichtungen zur Überwachung und Regelung/ Steuerung ihres Betriebs. Bekannte Steuereinrichtungen steuern das Verbrennungssystem des Gasturbinentriebwerks und sonstige betriebliche Aspekte des Gasturbinentriebwerks unter Verwendung von Betriebsparametern des Triebwerks. Zumindest einige bekannte Steuereinrichtungen nehmen Betriebsparameter auf, die die aktuelle Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks kennzeichnen, definieren mittels physikalisch begründeter Modelle oder Übertragungsfunktionen Betriebsgrenzen, und wenden die Betriebsparameter auf die Betriebsgrenzenmodelle an. Darüber hinaus wenden zumindest einige bekannte Steuereinrichtungen die Betriebsparameter auch auf Zeitplanungsalgorithmen an, ermitteln Fehlerterme und steuern Beschränkungen durch Einstellen eines oder mehrerer Wirkparameter des Gasturbinentriebwerks. Allerdings können zumindest einige Betriebsparameter nicht gemessene Parameter sein, z.B. Parameter, die sich nur schwer mittels Sensoren messen lassen. Einige derartiger Parameter beinhalten die Zündtemperatur (d.h. die Turbinenleitschaufelauslasstemperatur der Stufe 1), die Brennkammerauslasstemperatur und/oder die Leitapparateinlasstemperatur der Turbinenstufe 1.

[0003] Zumindest einige bekannte Gasturbinensteuerungssysteme regeln/steuern oder überwachen nicht gemessene Betriebsparameter mittelbar mittels gemessener Parameter, z.B. Druck und Temperatur des Verdichtereinlasses, Druck und Temperatur des Verdichterauslasses, Druck und Temperatur der Turbinenabgase, Zustrom und Temperatur des Brennstoffs, Umgebungsbedingungen und/oder die Generatorleistung. Allerdings sind die Werte indirekter Parameter mit Unsicherheiten behaftet, und die zugehörigen Gasturbinen müssen möglicherweise abgestimmt werden, um Verbrennungsdynamik und Emissionen zu reduzieren. Aufgrund der Unsicherheit nicht gemessener Parameter werden für Gasturbinentriebwerke, die derartige bekannte Steuer-/Regelsysteme verwenden, Konstruktionsgrenzen genutzt. Um vor Betriebsgrenzen des ungünstigsten Falls zu schützen und diese in Einklang zu bringen, kann die Verwendung derartige Konstruktionsgrenzen die Leistung des Gasturbinentriebwerks bei vielen Betriebsbedingungen reduzieren. Darüber hinaus sind viele solche bekannte Steuer-/Regelsysteme nicht in der Lage, die Zündtemperatur oder Ab-

gastemperatur des Gasturbinentriebwerks genau zu berechnen, was in Einrichtungen mit mehr als einem Gasturbinentriebwerk zu einem leistungsschwächeren Triebwerk und zu einer Abweichung von Triebwerk zu Triebwerk führen kann.

[0004] Die Verringerung einer Abweichung der Zündtemperatur von Triebwerk zu Triebwerk hat sich im Falle industrieller Gasturbinen als problematisch erwiesen. Beispielsweise ist die Zündtemperatur eine Funktion vieler unterschiedlicher Variablen, zu denen Abweichungen bei den Komponenten des Gasturbinentriebwerks und deren Anordnung gehören. Diese Abweichungen sind auf Toleranzen zurückzuführen, die für die Herstellung, den Einbau und den Zusammenbau der Gasturbinenteile erforderlich sind. Darüber hinaus sind die Steuerungselemente und Sensoren, die zur Messung der Betriebsparameter der Gasturbine genutzt werden, hinsichtlich ihrer Messwerte gewissen Unsicherheiten/Ungenauigkeiten unterworfen. Die Unsicherheiten des Messwerterfassungssystems, das zur Erfassung der Werte der gemessenen Betriebsparameter genutzt wird, und die Triebwerkskomponentenabweichungen führen unvermeidlich zu einer Abweichung der nicht gemessenen Betriebsparameter des Gasturbinentriebwerks, z.B. der Zündtemperatur. Das Zusammenwirken dieser spezifischen Ungenauigkeiten erschwert es, die konstruktionsmäßig angestrebte Zündtemperatur einer Gasturbine bei einem bekannten Satz von Umgebungsbedingungen zu erzielen, und führt zu einer Abweichung der Zündtemperatur von Triebwerk zu Triebwerk.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0005] In einem Aspekt ist ein Verfahren zur Abstimmung eines im Betrieb befindlichen Gasturbinentriebwerks geschaffen. Zu dem Verfahren gehören die Schritte: Aufnehmen einer ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird. Weiter beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinentriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen. Zusätzlich beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinentriebwerks bei einer dritten Betriebsbedingung, um eine dritte Anzahl von Betriebsparametern bei der dritten Betriebsbedingung zu messen, wobei sich die erste, zweite und dritte Betriebsbedingung unterscheiden. Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren den Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern. Das Verfahren beinhaltet außerdem den Schritt des Einstellens des Betriebs des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors.

[0006] Das Verfahren kann dafür sorgen, dass der Schritt des Aufnehmens der ersten Anzahl von Betriebsparametern ein Aufnehmen der ersten Anzahl von Betriebsparametern von wenigstens einem Überwachungssensor beinhaltet, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist.

[0007] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass der Schritt des Aufnehmens einer ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird, ein Aufnehmen einer ersten Anzahl von Betriebsparametern beinhaltet, während die Gasturbine bei einer nominalen Zündtemperatur, einer nominalen Abgastemperatur, einer nominalen Leistungsabgabe oder einem nominalen Emissionspegel betrieben wird.

[0008] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass der Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors ein Anwenden der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern auf wenigstens ein Betriebsgrenzenmodell und/oder auf einen Zeitplanungsalgorithmus beinhaltet, der durch eine Steuereinrichtung ausgeführt wird.

[0009] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann zudem den Schritt beinhalten, auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern eine berechnete Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks zu ermitteln.

[0010] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass der Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors beinhaltet, eine nominale Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung zu vergleichen, um einen Differenzwert zu berechnen.

[0011] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass der Schritt des Vergleichens der nominalen Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung ein Vergleichen der nominalen Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung mittels einer Steuereinrichtung beinhaltet, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist.

[0012] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass der Schritt des Einstellens des Betriebs des Gasturbinentriebwerks beinhaltet, eine Steuereinrichtung, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist, unter Verwendung des Korrekturfaktors zu modifizieren.

[0013] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann zudem die Schritte beinhalten: Erzeugen mehrerer Korrekturfaktoren; und Auswählen wenigstens eines der mehreren Korrekturfaktoren für den Einsatz zur Steuerung des Gasturbinentriebwerks.

[0014] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass die Schritte (a) bis (e) während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks periodisch wiederholt werden.

[0015] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass wenigstens der Schritt (a), (b) und/oder (c) wiederholt werden.

[0016] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass die Schritte (a) bis (e) automatisch durch eine Steuereinrichtung ausgeführt werden, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist.

[0017] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass das Einstellen des Betriebs des Gasturbinentriebwerks den Schritt des Einstellens einer nominalen Betriebsbedingung auf der Grundlage des Korrekturfaktors beinhaltet.

[0018] In einem weiteren Aspekt ist ein System zum Einstellen der Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung einer Gasturbine geschaffen. Das System enthält wenigstens einen Überwachungssensor, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist. Der wenigstens eine Überwachungssensor ist dazu eingerichtet, wenigstens einen Betriebsparameter, der dem Gasturbinentriebwerk zugeordnet ist, an eine Steuereinrichtung zu übermitteln. Das System enthält zudem wenigstens einen Präzisionssensor, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist. Der wenigstens eine Präzisionssensor ist dazu eingerichtet, wenigstens einen Präzisionsbetriebsparameter, der dem Gasturbinentriebwerk zugeordnet ist, an eine Kalibrierungscomputervorrichtung zu übermitteln. Darüber hinaus enthält das System eine Steuereinrichtung, die dazu eingerichtet ist, den Betrieb des Gasturbinentriebwerks zu regeln/steuern und wenigstens einen Betriebsparameter von wenigstens einem Überwachungssensor aufzunehmen. Außerdem enthält das System eine Kalibrierungscomputervorrichtung. Die Kalibrierungscomputervorrichtung ist dazu eingerichtet, den durch den Präzisionssensor übermittelten Präzisionsbetriebsparameter aufzunehmen.

[0019] Die Kalibrierungscomputervorrichtung des Systems kann eine Datenkommunikationsschnittstelle aufweisen, die dazu eingerichtet ist, ein Signal an die Steuereinrichtung zu übermitteln.

[0020] Die Steuereinrichtung jedes der oben erwähnten Systeme kann ferner dazu eingerichtet sein, den Betrieb des Gasturbinentriebwerks bei einer ersten Betriebsbedingung zu steuern, die eine nominale Zündtemperatur oder eine nominale Abgastemperatur beinhaltet, wobei die erste Betriebsbedingung auf dem wenigstens einen Betriebsparameter begründet ist.

[0021] Darüber hinaus ist in einem weiteren Aspekt ein alternatives Verfahren zum Abstimmen eines im Betrieb befindlichen Gasturbinentriebwerks geschaffen. Zu dem Verfahren gehören die Schritte: Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer ersten Betriebsbedingung, um eine erste Anzahl von Betriebsparametern bei der ersten Betriebsbedingung zu messen. Weiter beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinentriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen, wobei die erste und die zweite Betriebsbedingung sich unterscheiden. Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren den Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors auf der Grundlage der ersten Anzahl von Betriebsparametern und/oder der zweiten Anzahl von Betriebsparametern mittels einer Kalibrierungscomputervorrichtung. Das Verfahren beinhaltet außerdem, dass der Schritt des Einstellens des Betriebs des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors beinhaltet, eine mit dem Gasturbinentriebwerk verbundene Steuereinrichtung mittels des Korrekturfaktors zu modifizieren.

[0022] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass das Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer ersten Betriebsbedingung ein Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer nominalen Zündtemperatur, einer nominalen Abgastemperatur, einer nominalen Leistungsabgabe oder einem nominalen Emissionspegel beinhaltet.

[0023] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann zudem den Schritt beinhalten, eine berechnete Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage mindestens der ersten Anzahl von Betriebsparametern und der zweiten Anzahl von Betriebsparametern zu ermitteln.

[0024] Jedes der oben erwähnten Verfahren kann beinhalten, dass das Erzeugen eines Korrekturfaktors beinhaltet, eine nominale Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung zu vergleichen, um einen Differenzwert zu berechnen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0025] Fig. 1 veranschaulicht in einem Schema ein exemplarisches Gasturbinentriebwerk, das ein exemplarisches Regelungs/Steuerungssystem verwendet;

[0026] Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer exemplarischen Regelungsarchitektur, die in Zusammenhang mit dem Regelungs/Steuerungssystem von Fig. 1 verwendet werden kann, um den Betrieb der in Fig. 1 gezeigten Gasturbine zu regeln/steuern;

[0027] Fig. 3 veranschaulicht in einem Graphen eine wahrscheinlichkeitstheoretische Simulation der

Betriebsbedingungen einer statistisch signifikanten Anzahl des Gasturbinentriebwerks von Fig. 1 anhand des Modells des Gasturbinentriebwerks, das durch das Regelungs/Steuerungssystem von Fig. 1 genutzt wird;

[0028] Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm eines exemplarischen Verfahrens, das durchgeführt werden kann, um die Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung der in Fig. 1 gezeigten Gasturbine einzustellen;

[0029] Fig. 5 veranschaulicht anhand eines Graphen der wahrscheinlichkeitstheoretischen Simulation von Fig. 3, wie eine Abweichung der Zündtemperatur durch den Betrieb des in Fig. 1 gezeigten Gasturbinentriebwerks gegenüber einer nominalen Leistungsabgabe verringert wird;

[0030] Fig. 6 zeigt nominale Leistungsabgabelinien, die zwischen den in Fig. 5 gezeigten Begrenzungslinien angeordnet sind, und die in vier Quadranten unterteilt sind;

[0031] Fig. 7 veranschaulicht schematisch ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel des in Fig. 1 gezeigten Gasturbinentriebwerks mit einer Kalibrierungscomputervorrichtung;

[0032] Fig. 8 zeigt in einem Blockschaltbild die Kalibrierungscomputervorrichtung von Fig. 7, die genutzt werden kann, um die Überwachung einer beliebigen Komponente der Ausrüstung, des Systems und des Verfahrens durchzuführen, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, die Überwachung der Betriebsparameter des Gasturbinentriebwerks von Fig. 1; und

[0033] Fig. 9 zeigt ein Flussdiagramm eines alternativen Verfahrens, das durchgeführt werden kann, um die Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung des in Fig. 1 gezeigten Gasturbinentriebwerks einzustellen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0034] Fig. 1 veranschaulicht in einem Schema ein exemplarisches Gasturbinentriebwerk **10**, das ein exemplarisches Regelungs/Steuerungssystem **18** verwendet. In dem Ausführungsbeispiel enthält das Gasturbinentriebwerk **10** einen Verdichter **12**, eine Brennkammeranordnung **14**, eine Turbine **16**, die mit dem Verdichter **12** antriebsmäßig verbunden ist, und ein Computersteuerungssystem bzw. die Steuereinrichtung **18**. Ein Einlasskanal **20** zu dem Verdichter **12** führt dem Verdichter **12** Umgebungsluft und, in manchen Fällen, eingespritztes Wasser zu. Der Kanal **20** kann Kanäle, Filter, Siebe oder Schall absorbierende Vorrichtungen beinhalten, die zu einem Druckab-

fall der Umgebungsluft beitragen, die durch den Einlasskanal **20** hindurch und in die Einlassleitschaufeln (IGV) **21** des Verdichters **12** strömt. Von dem Gasturbinentriebwerk **10** stammende Verbrennungsgase werden durch den Auslasskanal **22** gelenkt. Der Auslasskanal **22** kann schallabsorbierende Materialien und Emissionsüberwachungsvorrichtungen enthalten, die einen Gegendruck in das Gasturbinentriebwerk **10** einführen. Ein Betrag von Einlassdruckverlusten und des Gegendrucks kann im Laufe der Zeit aufgrund der Hinzufügung von Komponenten zu dem Einlasskanal **20** und zu dem Auslasskanal **22**, und/oder aufgrund von Staub oder Schmutz variieren, der den Einlasskanal **20** bzw. den Auslasskanal **22** verstopft. In dem Ausführungsbeispiel treibt das Gasturbinentriebwerk **10** einen Generator **24** an, der elektrische Leistung erzeugt.

[0035] In dem Ausführungsbeispiel erfassen mehrere Überwachungssensoren **26** während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks **10** vielfältige Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10**, des Generators **24** und/oder der unmittelbaren Umgebung. In vielen Fällen können mehrere redundante Überwachungssensoren **26** dieselbe Betriebsbedingung erfassen. Beispielsweise können Gruppen von redundanten Temperaturregulierungssensoren **26** die Umgebungstemperatur, die Verdichterausgabetemperatur, die Turbinenabgastemperatur und/oder sonstige Betriebstemperaturen des (nicht gezeigten) Gasstroms überwachen, der das Gasturbinentriebwerk **10** durchströmt. Desgleichen können Gruppen sonstiger redundanter Druckregulierungssensoren **26** den Umgebungsdruck, statische und dynamische Druckpegel an dem Verdichter **12** und an dem Auslass der Turbine **16** und/oder sonstige Parameter in dem Gasturbinentriebwerk **10** überwachen. Die Überwachungssensoren **26** können, ohne darauf beschränken zu wollen, Strömungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, Flammendetektorsensoren, Ventilstellungssensoren, Leitschaufelwinkelsensoren und/oder beliebige sonstige Vorrichtungen beinhalten, die genutzt werden können, um unterschiedliche Betriebsparameter während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks **10** zu erfassen.

[0036] In dem hier verwendeten Sinne bezeichnet der Begriff "Parameter" Eigenschaften, die genutzt werden können, um die Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** zu definieren, z.B. Temperaturen, Druckwerte und/oder Gasströme an definierten Orten in dem Gasturbinentriebwerk **10**. Einige Parameter werden gemessen, d.h. sie werden erfasst und sind unmittelbar bekannt, während andere Parameter durch ein Modell berechnet und somit geschätzt werden und mittelbar bekannt sind. Einige Parameter können zu Beginn durch einen Anwender in die Steuereinrichtung **18** eingegeben werden. Die gemessenen, geschätzten oder durch den Benutzer eingegebenen Parameter repräsentieren eine vor-

gegebene Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks **10**.

[0037] Ein Brennstoffsteuerungssystem **28** regelt eine Brennstoffzustrommenge von einem (nicht gezeigten) Brennstoffvorrat zu der Brennkammeranordnung **14**, eine Menge, die auf (nicht gezeigte) primäre und sekundäre Brennstoffdüsen aufgeteilt ist, und eine Menge, die mit sekundärer Luft gemischt wird, die in die Brennkammeranordnung **14** strömt. Das Brennstoffsteuerungssystem **28** kann außerdem eine Brennstoffart für die Verwendung in der Brennkammer **14** auswählen. Das Brennstoffsteuerungssystem **28** kann eine gesonderte Einheit oder eine Komponente der Steuereinrichtung **18** sein.

[0038] Die Steuereinrichtung **18** kann ein Computersystem sein, das wenigstens einen (nicht gezeigten) Prozessor und wenigstens eine (nicht gezeigte) Speichereinrichtung aufweist, die Arbeitsschritte ausführt, um den Betrieb des Gasturbinentriebwerks **10** wenigsten teilweise auf der Grundlage von Eingabesignalen des Überwachungssensors **26** und von Befehlen von Bedienpersonen zu steuern/regeln. Die Steuereinrichtung kann beispielsweise ein Modell des Gasturbinentriebwerks **10** beinhalten. Schritte, die durch die Steuereinrichtung **18** ausgeführt werden, können beispielsweise folgendes beinhalten: Erfassen oder Nachbilden von Betriebsparametern, Nachbilden von Betriebsgrenzen, Anwenden von Betriebsgrenzenmodellen, oder Anwenden von Zeitplanungsalgorithmen, die den Betrieb des Gasturbinentriebwerks **10**, z.B. durch Regeln eines Brennstoffzustroms zu der Brennkammeranordnung **14**, steuern. Die Steuereinrichtung **18** vergleicht Betriebsparameter des Gasturbinentriebwerks **10** mit Betriebsgrenzenmodellen oder Zeitplanungsalgorithmen, die durch das Gasturbinentriebwerk **10** genutzt werden, um Steuerungsausgabesignale zu erzeugen, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine Zündtemperatur. Steuerbefehle, die durch die Steuereinrichtung **18** erzeugt werden, können ein Brennstoffstellglied **27** an dem Gasturbinentriebwerk **10** verlassen, den Brennstoffzustrom, die Brennstoffaufteilungen und/oder eine Brennstoffart, die zwischen dem Brennstoffvorrat und den Brennkammeranordnungen **14** kanalisiert ist, selektiv zu regeln. Andere Steuerbefehle können erzeugt werden, um Stellglieder **29** zu veranlassen, eine relative Stellung von Einlassleitschaufeln **21** einzustellen, eine Einlassabzapfwärme anzupassen, oder sonstige Regulierungsvorgabewerte an dem Gasturbinentriebwerk **10** zu aktivieren.

[0039] Betriebsparameter zeigen allgemein die Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** an, z.B. Temperaturen, Druckwerte und Gasströme an definierten Orten in dem Gasturbinentriebwerk **10** und bei vorgegebenen Betriebsbedingungen. Einige Betriebsparameter werden gemessen, d.h. er-

fasst, und sind unmittelbar bekannt, während andere Betriebsparameter durch ein Modell geschätzt werden, und auf indirektem Weg bekannt sind. Betriebsparameter, die geschätzt oder nachgebildet sind, können auch als geschätzte Betriebsparameter bezeichnet sein und beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine Zündtemperatur und/oder eine Abgastemperatur beinhalten. Betriebsgrenzenmodelle können durch eine oder mehrere physikalische Bereichsgrenzen des Gasturbinentriebwerks **10** definiert sein und können somit optimale Bedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** bei jeder Begrenzung repräsentieren. Darüber hinaus können Betriebsgrenzenmodelle von beliebigen sonstigen Begrenzungen oder Betriebsbedingungen unabhängig sein. Zeitplanungsalgorithmen können genutzt werden, um Vorgabewerte für die Turbinensteuerungsstellglieder **27**, **29** zu bestimmen, um zu veranlassen, dass das Gasturbinentriebwerk **10** innerhalb vorgegebener Grenzwerte arbeitet. Gewöhnlich schützen Zeitplanungsalgorithmen vor Extremszenarien und enthalten integrierte Annahmen, die auf gewissen Betriebsbedingungen begründet sind. Betriebsgrenzensteuerung ist ein Verfahren, durch das eine Steuereinrichtung, z.B. die Steuereinrichtung **18**, in der Lage ist, Turbinensteuerungsstellglieder **27**, **29** einzustellen, um zu veranlassen, dass das Gasturbinentriebwerk **10** bei einer bevorzugten Bedingung arbeitet.

[0040] Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht einer exemplarischen Regelungsarchitektur **200**, die in Zusammenhang mit der (in Fig. 1 gezeigten) Steuereinrichtung **18** verwendet werden kann, um den Betrieb des (in Fig. 1 gezeigten) Gasturbinentriebwerks **10** zu steuern. Im Besonderen ist die Regelungsarchitektur **200** in dem Ausführungsbeispiel in der Steuereinrichtung **18** durchgeführt und enthält ein modellgestütztes Steuerungs-(MBC)-Modul **56**. Das MBC-Modul **56** ist ein robustes, hohe Genauigkeit aufweisendes, physikalisch begründetes Modell des Gasturbinentriebwerks **10**. Das MBC-Modul **56** nimmt gemessene Bedingungen als Eingabebetriebsparameter **48** auf. Solche Parameter **48** können, ohne darauf beschränken zu wollen, Druck und Temperatur der Umgebung, Ströme und Temperatur des Brennstoffs, Einlassabzapfwärme und/oder Generatorleistungsverluste beinhalten. Das MBC-Modul **56** wendet die Eingabebetriebsparameter **48** auf das Gasturbinenmodell an, um eine nominale Zündtemperatur **50** (oder eine nominale Betriebsbedingung **428**) zu ermitteln. Das MBC-Modul **56** kann auf einer beliebigen Plattform durchgeführt werden, die den Betrieb der Regelungsarchitektur **200** und des Gasturbinentriebwerks **10**, wie es hier beschrieben ist, gestattet.

[0041] Außerdem enthält die Regelungsarchitektur **200** in dem Ausführungsbeispiel ein adaptives Echtzeit-Triebwerkssimulations-(ARES)-Modul **58**, das gewisse Betriebsparameter des Gasturbinen-

triebwerks **10** schätzt. Beispielsweise berechnet das ARES-Modul **58** in einem Ausführungsbeispiel Betriebsparameter, die nicht unmittelbar erfasst sind, beispielsweise jene, die durch die Überwachungssensoren **26** für die Verwendung in Steueralgorithmen erzeugt sind. Das ARES-Modul **58** schätzt außerdem Betriebsparameter, die gemessen sind, so dass die geschätzten und gemessenen Bedingungen verglichen werden können. Der Vergleich wird genutzt, um das ARES-Modul **58** automatisch abzustimmen, ohne den Betrieb des Gasturbinentriebwerks **10** zu unterbrechen.

[0042] Das ARES-Modul **58** nimmt Eingabebetriebsparameter **48** auf, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, Druck und Temperatur der Umgebung, Verdichtereinlassleitschaufelstellung, Brennstoffzustrom, Einlassabzapfwärmestrom, Generatorleistungsverluste, Einlass- und Auslasskanaldruckverluste und/oder Verdichtereinlasstemperatur. Das ARES-Modul **58** erzeugt anschließend geschätzte Betriebsparameter **60**, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine Abgastemperatur **62**, einen Verdichterausgabedruck und/oder eine Verdichterausgabetemperatur. In dem Ausführungsbeispiel verwendet das ARES-Modul **58** geschätzte Betriebsparameter **60** in Kombination mit eingegebenen Betriebsparametern **48** als Eingaben für das Gasturbinenmodell, um Ausgabesignale, beispielsweise eine berechnete Zündtemperatur **64**, zu erzeugen.

[0043] In dem Ausführungsbeispiel nimmt die Steuereinrichtung **18** eine berechnete Zündtemperatur **52** als ein Eingabesignal auf. Die Steuereinrichtung **18** verwendet einen Komparator **70**, um die berechnete Zündtemperatur **52** mit der nominalen Zündtemperatur **50** zu vergleichen, um einen Korrekturfaktor **54** zu erzeugen. Der Korrekturfaktor **54** wird verwendet, um die nominale Zündtemperatur **50** in dem MBC-Modul **56** einzustellen, um eine korrigierte Zündtemperatur **66** zu erzeugen. Die Steuereinrichtung **18** verwendet einen Komparator **74**, um die Steuerungsausgabesignale von dem ARES-Modul **58** und die Steuerungsausgabesignale von dem MBC-Modul **56** zu vergleichen, um einen Differenzwert zu erzeugen. Dieser Differenzwert wird anschließend in eine (nicht gezeigte) Kalman-Filter-Korrekturmatrix eingegeben, um normalisierte Korrekturfaktoren zu erzeugen, die an die Steuereinrichtung **18** für die Verwendung in einer kontinuierlichen Abstimmung des Steuerungsmodells des ARES-Moduls **58** ausgegeben werden, so dass eine verbesserte Steuerung des Gasturbinentriebwerks **10** ermöglicht wird. In einem abgewandelten Ausführungsbeispiel nimmt die Steuereinrichtung **18** den Abgastemperaturkorrekturfaktor **68** als eine Eingabe auf. Der Abgastemperaturkorrekturfaktor **68** kann genutzt werden, um die Abgastemperatur **62** in dem ARES-Modul **58** einzustellen.

[0044] Fig. 3 veranschaulicht in einem Graphen eine wahrscheinlichkeitstheoretische Simulation der Betriebsbedingungen einer statistisch signifikanten Anzahl des Gasturbinentriebwerks **10** von Fig. 1 anhand des Modells des Gasturbinentriebwerks, das durch die Steuereinrichtung **18** genutzt wird. Der Graph trägt die Leistungsabgabe gegenüber der Zündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** ab. Die Linie **300** ist das lineare Regressionsmodell für die Vielzahl von Datenwerten **308**. Linien **302** repräsentieren das Prognoseintervall einer Wahrscheinlichkeit von 99 %, das den Datenwerten **308** entspricht. Weiter repräsentiert eine Linie **304** die nominale oder konstruktionsmäßig angestrebte Zündtemperatur **50** für das Gasturbinentriebwerk **10** und eine Linie **306** repräsentiert eine nominale oder konstruktionsmäßig angestrebte Leistungsabgabe für das Gasturbinentriebwerk **10**. In dem Ausführungsbeispiel weist die in Fig. 2 gezeigte wahrscheinlichkeitstheoretische Simulation eine angenäherte Varianz der Zündtemperatur von **80** Einheiten auf. Diese Varianz kann auf die Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und die Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Überwachungssensoren **26** zurückgeführt werden.

[0045] Im Vorliegenden ist ein Verfahren zur Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** beschrieben, das eine Reduzierung der Abweichung der tatsächlichen Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks **10** ermöglicht, z.B. der Zündtemperatur und/oder Abgastemperatur, was eine Reduzierung der Abweichung der Leistungsabgabe, der Emissionen und der Lebensdauer des Gasturbinentriebwerks **10** ermöglicht. Das Verfahren kann als ein gesonderetes Verfahren zur Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** während des Einbaus und in unterschiedlichen Zeiträumen durchgeführt werden, oder kann in der Steuereinrichtung **18** eingerichtet sein, um periodisch in einem vorbestimmtem Intervall und/oder fortlaufend während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks **10** abzulaufen. Dieses Verfahren misst die Gasturbinenzündtemperatur nicht unmittelbar, da die Zündtemperatur, wie zuvor erörtert, ein geschätzter Parameter ist. Dieses Verfahren liefert jedoch unmittelbar gemessene Parameter, die sehr plausible Indikatoren für die Zündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** sind.

[0046] Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm eines exemplarischen Verfahrens **400**, das durchgeführt werden kann, um die Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung des (in Fig. 1 gezeigten) Gasturbinentriebwerks **10** einzustellen. Um den Abstimmungsvorgang in dem Ausführungsbeispiel durchzuführen, regelt/steuert die Steuereinrichtung **18** das Gasturbinentriebwerk **10** und veranlasst es, eine erste Betriebsbedingung **420** anzunehmen, z.B. die nominale oder konstruktionsmäßig angestrebte Zündtemperatur **50** oder die nominale

oder konstruktionsmäßig angestrebte Abgastemperatur **62** für den aktuellen Satz von Umgebungsbedingungen, die durch die Steuereinrichtung **18** gemessen sind. Aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und der Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Überwachungssensoren **26**, ist die erste Betriebsbedingung **420**, z.B. die Betriebszündtemperatur, des Gasturbinentriebwerks **10** unbekannt; jedoch repräsentieren die in Fig. 2 gezeigten wahrscheinlichkeitstheoretischen Simulationsdaten die Abweichung der Zündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 %. Wie oben beschrieben, ist die Zündtemperatur keine unmittelbar messbare Größe; jedoch sind die Leistungsabgabe und Emissionen der Turbine unmittelbar messbare Größen mit angemessener Genauigkeit und werden mit der Zündtemperatur korreliert. Nachdem veranlasst ist, dass das Gasturbinentriebwerk **10** die erste Betriebsbedingung **420** oder die nominale Zündtemperatur **50** annimmt, nimmt die Steuereinrichtung **18** unter Verwendung der Überwachungssensoren **26** Eingabebetriebsparameter **48** auf **402**, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, die Leistungsabgabe und Emissionen der Turbine. In einer Abwandlung kann der Schritt der Veranlassung der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinentriebwerk **10** zu befehlen, die erste Betriebsbedingung anzunehmen **420** und Eingabebetriebsparameter **48** zu empfangen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl eingegebener Betriebsparameter **48** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu verringern, die den eingegebenen Betriebsparametern **48** aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und der Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Überwachungssensoren **26** anhaftet.

[0047] In dem Ausführungsbeispiel werden die unmittelbar messbaren Eingabebetriebsparameter **48**, z.B. die Leistungsabgabe und Emissionen der Turbine, die durch die Steuereinrichtung **18** aufgenommen sind, mit der Zündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** korreliert. Allerdings führt der einzelne Datenpunkt zu einer erheblichen Unsicherheit mit Blick darauf, ob das Gasturbinentriebwerk **10** tatsächlich bei dem gewünschten Temperaturpegel arbeitet. Um in dem Ausführungsbeispiel, wie es in Fig. 4 gezeigt ist, eine genaue Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** zu ermöglichen, veranlasst **404** die Steuereinrichtung **18** weiter, dass das Gasturbinentriebwerk **10** eine zweite Betriebsbedingung **422** annimmt, z.B. die nominale oder konstruktionsmäßig angestrebte Leistungsabgabe **306**. Die Steuereinrichtung **18** nimmt unter Verwendung der Überwachungssensoren **26** Eingabebetriebsparameter **48** auf, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, Turbinemissionen, und geschätzte Betriebsparameter **60**, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine geschätzte Zündtemperatur. In einer Abwand-

lung kann, wie im Vorausgehenden mit Bezug auf den ersten Schritt erörtert, der zweite Schritt des Veranlassens der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinenriebwerk **10** zu befehlen, die zweite Betriebsbedingung **422** anzunehmen und Eingabebetriebsparameter **48** und geschätzte Betriebsparameter **60** aufzunehmen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl von Eingabebetriebsparametern **48** und von geschätzten Betriebsparametern **60** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu reduzieren, die den Eingabebetriebsparametern **48** und den geschätzten Betriebsparametern **60** zugeordnet ist. **Fig. 5** zeigt veranschaulicht anhand eines Graphen der wahrscheinlichkeitstheoretischen Simulation von **Fig. 3**, wie eine Abweichung der Zündtemperatur verringert wird, indem das Gasturbinenriebwerk **10** betrieben wird, um die zweite Betriebsbedingung **422**, oder die nominale Leistungsabgabe **306** anzunehmen. In dem Ausführungsbeispiel repräsentieren Datenpunkte **502** und **504** ein spezielles Gasturbinenriebwerk **10**. Beispielsweise weist ein durch den Datenpunkt **502** repräsentiertes Gasturbinenriebwerk **10** eine Leistungsabgabe auf, die die nominale Leistungsabgabe **306** überschreitet. Ein durch Datenpunkt **504** repräsentiertes Gasturbinenriebwerk **10** weist eine die nominale Leistungsabgabe **306** unterschreitende Leistungsabgabe auf. Wenn die Steuereinrichtung **18** das Gasturbinenriebwerk **10** (das jedem der Datenpunkte **308** entsprechen kann) veranlasst, eine nominale Leistungsabgabe **306** anzunehmen, ändert sich die Betriebsbedingung, z.B. die Zündtemperatur des Gasturbinenriebwerks **10**, wie durch die Pfeile für die Datenpunkte **502** und **504** veranschaulicht. D.h. die Zündtemperatur des Gasturbinenriebwerks **10** wird sich auf einer parallel zu der Linie **300** verlaufenden Linie ändern. Wenn sämtliche Datenpunkte **308**, wie beschrieben, auf die nominale Leistungsabgabe **306** eingestellt sind, werden sich sämtliche Datenpunkte **308** auf der Linie der nominalen Leistungsabgabe **306** zwischen den Linien **506** und **508** befinden. Wie in **Fig. 5** gezeigt, ist die Abweichung der Zündtemperatur für sämtliche Datenpunkte **308** um etwa zwei verringert, so dass die Abweichung der Emissionen und der Turbinenlebensdauer reduziert ist.

[0048] Während die durch die Steuereinrichtung **18** aufgenommenen Eingabebetriebsparameter **48** und **60**, die einem Gasturbinenriebwerk **10** entsprechen, das bei der ersten Betriebsbedingung **420**, d.h. bei der nominalen Zündtemperatur **50**, und bei der zweiten Betriebsbedingung **422**, d.h. bei der nominalen Leistungsabgabe **306**, betrieben wird, verwendet werden können, um die Verringerung der tatsächlichen Abweichung der Zündtemperatur zu ermöglichen, können die Werte nicht genutzt werden, um ein spezielles Gasturbinenriebwerk **10** längs der Linie der nominalen Leistungsabgabe **306** zwischen den Linien **506** und **508** anzuordnen. Um die Abweichung der Zündtemperatur weiter zu reduzieren, ist es erforder-

lich, ein spezielles Gasturbinenriebwerk **10** längs der Linie der nominalen Leistungsabgabe **306** zwischen den Linien **506** und **508** anzuordnen. Um die Anordnung eines speziellen Gasturbinenriebwerks **10** längs der Linie der nominalen Leistungsabgabe **306** zu ermöglichen, ist eine dritte Variable erforderlich, die mit der Zündtemperatur korreliert wird.

[0049] In dem Ausführungsbeispiel können Emissionspegel in dem Abgas des Gasturbinenriebwerks **10** mit statistischer Sicherheit gemessen werden. Diese Emissionspegel werden mit der Zündtemperatur des Gasturbinenriebwerks **10** korreliert. In einer Abwandlung kann jeder Eingabebetriebsparameter **48** des Gasturbinenriebwerks **10**, der mit der Zündtemperatur korreliert ist, verwendet werden, um zusätzlich zur Reduzierung der Abweichung der Zündtemperatur des Gasturbinenriebwerks **10** beizutragen. Mit Bezug auf **Fig. 4** befiehlt **406** die Steuereinrichtung **18** in dem Ausführungsbeispiel dem Gasturbinenriebwerk **10**, sich zu einer dritten Betriebsbedingung **424** zu bewegen, z.B. zu einem nominalen oder konstruktionsmäßig angestrebten Emissionspegel bei einer speziellen Brennstoffaufteilung. Die Steuereinrichtung **18** nimmt anschließend Eingabebetriebsparameter **48** und **60** auf, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine geschätzte Zündtemperatur und Turbinenleistungsabgabe. In einer Abwandlung kann der Schritt des Veranlassens der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinenriebwerk **10** zu befehlen, eine dritte Betriebsbedingung **424** anzunehmen und Eingabebetriebsparameter **48** und **60** aufzunehmen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl von Eingabebetriebsparametern **48** und **60** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu reduzieren, die den Eingabebetriebsparametern **48** und **60** aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinenriebwerks **10** und der Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Überwachungssensoren **26** zugeordnet ist.

[0050] In dem Ausführungsbeispiel führt die Steuereinrichtung **18** die aufgenommenen Eingabebetriebsparameter **48** und **60** von der ersten **420**, zweiten **422** und dritten **424** Betriebsbedingung zusammen, um eine berechnete Zündtemperatur **52** (oder eine berechnete Betriebsbedingung **426**) des Gasturbinenriebwerks **10** zu ermitteln. Die Steuereinrichtung **18** verwendet einen Komparator **70**, um einen Differenzwert zwischen der nominalen Zündtemperatur **50** und der berechneten Zündtemperatur **52** des Gasturbinenriebwerks **10** zu ermitteln, um einen Zündtemperaturkorrekturfaktor **54** zu erzeugen **408**. Der Zündtemperaturkorrekturfaktor **54** kennzeichnet einen Fehler, der der Steuereinrichtung **18** und den Überwachungssensoren **26** zugeordnet ist. Die Steuereinrichtung **18** wird mittels des Zündtemperaturkorrekturfaktors **54** modifiziert **410**, um eine korrigierte Zündtemperatur **66** zu erzeugen. In einem abgewandelten Ausführungsbeispiel vergleicht die Kali-

brierungscomputervorrichtung **30** die nominale Abgastemperatur **62** mit der korrigierten Abgastemperatur **66**, um einen Differenzwert oder den Abgastemperaturkorrekturfaktor **68** zu berechnen.

[0051] Fig. 6 zeigt die nominale Leistungsabgabelinie **306**, die zwischen den Linien **506** und **508** von Fig. 5 angeordnet ist, in vier Quadranten unterteilt. Eine Betriebszündtemperatur eines Gasturbinentriebwerks **10**, das in Quadrant A angeordnet ist, wird messbar geringere Emissionspegel aufweisen, als eine Gasturbinentriebwerk **10**, das in einem der übrigen drei Quadranten, d.h. den Quadranten B, C und D, angeordnet ist. Dementsprechend kann die Betriebszündtemperatur eines Gasturbinentriebwerks **10**, das in Quadrant A angeordnet ist, höher eingestellt werden, so dass sich das Gasturbinentriebwerk entweder in den Quadranten B oder in den Quadranten C bewegt. Der Emissionspegel von einem Gasturbinentriebwerk **10**, das in dem Quadranten D angeordnet ist, wird messbar höher sein als jener in den Quadranten A, B und C und die Betriebszündtemperatur kann daher niedriger eingestellt werden, so dass sich das Gasturbinentriebwerk **10** in den Quadranten C oder in den Quadranten B bewegt. Wie in Fig. 6 gezeigt, ist die Abweichung der Zündtemperatur für sämtliche Datenpunkte **308** zusätzlich um etwa zwei reduziert. Somit lässt sich die Abweichung der Zündtemperatur mittels des beschriebenen Verfahrens zur Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** insgesamt um einen Faktor von etwa **4** reduzieren. Bei Verwendung der Daten der Betriebsparameter **48**, die anhand der soeben beschrieben mehreren Betriebsbedingungen gemessen sind, wird die Unsicherheit der Einschätzung des Ist-Arbeitspunkts des Gasturbinentriebwerks **10** deutlich reduziert, und dieser Punkt kann verwendet werden, um die Basisbetriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks **10** zu verankern. Mit nochmaligem Bezug auf Fig. 4 wird die Steuereinrichtung **18** somit modifiziert **410**, um die befohlene oder die nominale Zündtemperatur **50** basierend auf dem Zündtemperaturkorrekturfaktor **54** einzustellen.

[0052] In dem Ausführungsbeispiel basiert die bevorzugte Ausführung des Verfahrens **400** darauf, dass das Verfahrens **400** nach dem Start von Anfang bis Ende über die mehreren Betriebsbedingungen und die nachfolgende Bestimmung und Anwendung des Korrekturfaktors **54** auf die Steuereinrichtung **18** hinweg ohne Eingreifen des Benutzers fortgeschritten. Allerdings schließt die Ausführung des exemplarischen Verfahrens **400** ein Eingreifen des Anwenders nicht aus. Wie zuvor erörtert, können einige Eingabebetriebsparameter **48** und **60** durch einen Anwender in die Steuereinrichtung **18** eingegeben werden. Diese Eingabebetriebsparameter **48** und **60** können durch einen Anwender an einem beliebigen Punkt während der Ausführung des Verfahrens **400** eingegeben werden und den Austausch der Eingabebetriebsparameter **48** und **60** beinhalten, die durch die Steuereinrichtung **18** bei einer der Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** aufgenommen sind. Darüber hinaus hindert die automatische Ausführung des Verfahrens **400** einen Benutzer nicht daran, einzugreifen, um zusätzliche Befehle an die Steuereinrichtung **18** zu erteilen, z.B. die Steuereinrichtung **18** aufzufordern, einen bereits vollendeten Schritt des Verfahrens **400** zu wiederholen. Während des Eingriffs des Benutzers verwahrt die Steuereinrichtung **18** die Eingabebetriebsparameter **48** und **60**, die bei den viel-

bebetriebsparameter **48** und **60** beinhalten, die durch die Steuereinrichtung **18** bei einer der Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** aufgenommen sind. Darüber hinaus hindert die Ausführung des Verfahrens **400** einen Benutzer nicht daran, einzugreifen, um der Steuereinrichtung **18** zusätzliche Befehle zu erteilen, beispielsweise die Steuereinrichtung **18** aufzufordern, einen bereits vollendeten Schritt des Verfahrens **400** zu wiederholen. Während des Eingriffs des Benutzers verwahrt die Steuereinrichtung **18** die Eingabebetriebsparameter **48** und **60**, die bei den vielfältigen Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** von den Überwachungssensoren **26** her aufgenommen sind. Die Steuereinrichtung **18** setzt die Ausführung des Verfahrens **400** fort, nachdem die eingreifende Aufforderung des Benutzers ausführt ist.

[0053] Wie im Vorausgehenden beschrieben, kann das exemplarische Verfahren **400** zum Einstellen der Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** als ein gesondertes Verfahren zur Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** während des Einbaus und in unterschiedlichen Zeitintervallen, die durch einen Anwender bestimmt sind, durchgeführt werden, oder das Verfahren **400** kann als ein automatisches Verfahren in der Steuereinrichtung **18** durchgeführt werden, um während vorbestimmter Zeitspannen und/oder fortlaufend während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks **10** abzulaufen. Ein Vorteil einer Automatisierung und eines fortlaufenden Ablaufens des Verfahrens **400** während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks **10** basiert darauf, dass der Korrekturfaktor **54** ständig angepasst werden kann, um eine genaue Abstimmung des Gasturbinentriebwerks **10** zu ermöglichen, während die Bauteile und die Überwachungssensoren **26** im Lauf der Zeit verschleifen. Allerdings schließt die automatische Ausführung des exemplarischen Verfahrens **400**, wie im Vorausgehenden beschrieben, einen Benutzereingriff nicht aus. Wie im Falle der gesonderten Ausführung des Verfahrens **400** können einige Eingabebetriebsparameter **48** und **60** durch einen Anwender in die Steuereinrichtung **18** eingegeben werden. Diese Eingabebetriebsparameter **48** und **60** können durch einen Anwender an einem beliebigen Punkt während der automatischen Ausführung des Verfahrens **400** eingegeben werden und einen Austausch der Eingabebetriebsparameter **48** und **60** beinhalten, die durch die Steuereinrichtung **18** bei einer der Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** aufgenommen sind. Darüber hinaus hindert die automatische Ausführung des Verfahrens **400** einen Benutzer nicht daran, einzugreifen, um zusätzliche Befehle an die Steuereinrichtung **18** zu erteilen, z.B. die Steuereinrichtung **18** aufzufordern, einen bereits vollendeten Schritt des Verfahrens **400** zu wiederholen. Während des Eingriffs des Benutzers verwahrt die Steuereinrichtung **18** die Eingabebetriebsparameter **48** und **60**, die bei den viel-

fältigen Betriebsbedingungen des Gasturbinentriebwerks **10** von den Überwachungssensoren **26** her aufgenommen sind. Die Steuereinrichtung **18** setzt die automatische Ausführung des Verfahrens **400** fort, nachdem die eingreifende Aufforderung des Benutzers ausführt ist.

[0054] Fig. 7 veranschaulicht schematisch ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel des Gasturbinentriebwerks **10** von Fig. 1 mit einer Kalibrierungscomputervorrichtung **30**. In dem Ausführungsbeispiel kann die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** den Betrieb des Gasturbinentriebwerks **10** während eines anfänglichen Einbaus, und während das Gasturbinentriebwerk **10** unter Verwendung von Präzisionssensoren **32** abgestimmt wird, die vielfältige beobachtbare Bedingungen des Gasturbinentriebwerks **10**, des Generators **24** und der unmittelbaren Umgebung als Präzisionsbetriebsparameter **33** erfassen, überwachen. Die Sensoren **32** können, ohne darauf beschränken zu wollen, Strömungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, Flammendetektorsensoren, Ventilstellungssensoren, Leitschaufelwinkelsensoren oder beliebige sonstige Vorrichtungen beinhalten, die genutzt werden können, um unterschiedliche Betriebsparameter zu erfassen, die für die Einstellung des Betriebes des Gasturbinentriebwerks **10** von Bedeutung sind. Die Sensoren **32** sind allgemein wesentlich genauer als die Überwachungssensoren **26**, die in Verbindung mit der Steuereinrichtung **18** verwendet werden.

[0055] Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** kann ein Computersystem sein, das wenigstens einen Prozessor aufweist, der Arbeitsschritte ausführt, um das Gasturbinentriebwerk **10** wenigstens teilweise auf der Grundlage der von den Präzisionssensoren **32** stammenden Eingabesignale zu betreiben. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** kann beispielsweise ein Modell des Gasturbinentriebwerks **10** beinhalten. Die durch die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** erfassten Betriebsparameter können, ohne darauf beschränken zu wollen, Druck und Temperatur des Verdichtereinlasses, Druck und Temperatur des Verdichterauslasses, Druck und Temperatur der Turbinenabgase, Zustrom und Temperatur des Brennstoffs, Umgebungsbedingungen und/oder die Generatorleistung beinhalten. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** kann Betriebsparameter des Gasturbinentriebwerks **10** auf Betriebsgrenzenmodelle oder auf wenigstens einen Zeitplanungsalgorithmus anwenden, um die Erzeugung von Steuerungsausgabesignale, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, der Zündtemperatur, durchzuführen.

[0056] Fig. 8 veranschaulicht in einem Blockschaltbild die (in Fig. 7 gezeigte) Kalibrierungscomputervorrichtung **30**, die genutzt werden kann, um die Überwachung einer beliebigen Komponente der Aus-

rüstung, des Systems und des Verfahrens durchzuführen, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, Betriebsparameter des Gasturbinentriebwerks **10** zu überwachen. In dem Ausführungsbeispiel enthält die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** eine Speichereinrichtung **34** und einen Prozessor **36**, der mit der Speichereinrichtung **34** verbunden ist. Der Prozessor **36** kann eine oder mehrere Prozessoreinheiten enthalten, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine Mehrkernkonfiguration. In einigen Ausführungsbeispielen sind in der Speichervorrichtung **34** ausführbare Anweisungen gespeichert. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** ist konfigurierbar, um einen oder mehrere hier beschriebene Arbeitsschritte durch Programmieren des Prozessors **36** durchzuführen. Beispielsweise kann der Prozessor **36** programmiert werden, indem ein Arbeitsschritt als eine oder mehrere ausführbare Anweisungen kodiert wird, und die ausführbaren Anweisungen in der Speichereinrichtung **34** bereitgestellt werden. In dem Ausführungsbeispiel beinhaltet die Speichereinrichtung **34** eine oder mehrere Vorrichtungen, die ein Speichern und Auslesen von Daten, beispielsweise ausführbare Anweisungen oder sonstige Daten, ermöglichen. Die Speichereinrichtung **34** kann eine oder mehrere von einem Computer auslesbare Medien beinhalten, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen dynamischen RAM, einen statischen RAM, eine Halbleiter-Scheibe, eine Festplatte, einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen löschbaren programmierbaren ROM, einen elektrisch löschbaren programmierbaren ROM, oder einen nicht-flüchtigen RAM-Speicher. Die oben erwähnten Arten von Speichern sind lediglich exemplarisch und sind daher mit Blick auf die Arten von Speichern, die zur Speicherung eines Rechnerprogramms geeignet sind, nicht beschränkend.

[0057] In dem hier verwendeten Sinne sind der Begriff "Computer" und verwandte Begriffe, beispielsweise "Computervorrichtung", nicht auf integrierte Schaltkreise beschränkt, die in der Fachwelt als Computer bezeichnet werden, sondern beziehen sich vielmehr im weiten Sinn auf Mikrocontroller, Mikrocomputer, programmierbare Logiksteuerungen (Speicherprogrammierbare Steuerungen), anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise und sonstige programmierbare Schaltungen, und diese Begriffe werden hier untereinander austauschbar verwendet.

[0058] Die Speichereinrichtung **34** kann dazu eingerichtet sein, Betriebsparameter zu speichern, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, Echtzeit und historische Betriebsparameterwerte, oder beliebige sonstige Daten. In Abhängigkeit von dem Alter der Daten löscht oder "bereinigt" der Prozessor **36** in einigen Ausführungsbeispielen Daten auf der Speichereinrichtung **34**. Beispielsweise kann

der Prozessor **36** zuvor aufgezeichnete und gespeicherte Daten mit Daten überschreiben, die einem nachfolgenden Zeitpunkt oder Ereignis zugeordnet sind. Darüber hinaus oder alternativ kann der Prozessor **36** Daten löschen, die ein vorgegebenes Zeitintervall überschreiten. Darüber hinaus enthält die Speichereinrichtung **34**, ohne darauf beschränken zu wollen, ausreichend Daten, Algorithmen und Steuerbefehle, um die Überwachung und Steuerung der Komponenten, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, der Präzisionssensoren **32**, in einer Gasturbine zu ermöglichen.

[0059] In dem hier verwendeten Sinne bezeichnet der Begriff "Echtzeit" mindestens den Zeitraum des Auftretens der zugehörigen Ereignisse, den Zeitraum der Messung und Sammlung vorbestimmter Daten, den Zeitraum der Verarbeitung der Daten und/oder den Zeitraum der Antwort eines Systems auf die Ereignisse und auf die Umgebung. In den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen treten diese Betätigungen und Ereignisse im Wesentlichen verzögerungsfrei auf.

[0060] In einigen Ausführungsbeispielen enthält die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** eine Präsentationsschnittstelle **38**, die mit dem Prozessor **36** verbunden ist. Die Präsentationsschnittstelle **38** zeigt einem Benutzer **40** Daten an, beispielsweise eine Benutzerschnittstelle. In einem Ausführungsbeispiel enthält die Präsentationsschnittstelle **38** einen (nicht gezeigten) Displayadapter, der mit einer (nicht gezeigten) Displayeinrichtung verbunden ist, beispielsweise mit einer Kathodenstrahlröhre (CRT), einem Flüssigkristalldisplay (LCD), einem organischen LED-(OLED)-Display oder einem auf "elektronischer Tinte" basierenden Bildschirm. In einigen Ausführungsbeispielen enthält die Präsentationsschnittstelle **38** eine oder mehrere Anzeigevorrichtungen. Darüber hinaus oder alternativ enthält die Präsentationsschnittstelle **38** ein (nicht gezeigtes) Audioausgabegerät, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, einen Audioadapter, einen Lautsprecher oder einen (nicht gezeigten) Drucker.

[0061] In einigen Ausführungsbeispielen enthält die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** eine Benutzereingabeschnittstelle **42**. In dem Ausführungsbeispiel ist die Benutzereingabeschnittstelle **42** mit dem Prozessor **36** verbunden und nimmt Eingaben von dem Benutzer **40** auf. Die Benutzereingabeschnittstelle **42** kann beispielsweise ohne Beschränkung beinhalten: eine Tastatur, ein Zeigegerät, eine Maus, einen Stift, ein auf Berührung ansprechendes Paneel, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, ein Touchpad oder einen Touchscreen (berührungsempfindlichen Bildschirm) und/oder eine Audioeingabeschnittstelle, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, ein Mikrofon. Eine einzelne Komponente, beispielsweise ein Touchscreen, kann sowohl

der Präsentationsschnittstelle **38** als auch der Benutzereingabeschnittstelle **42** als Anzeigevorrichtung dienen.

[0062] In dem Ausführungsbeispiel ist eine Datenkommunikationsschnittstelle **44** mit dem Prozessor **36** verbunden und dazu eingerichtet, in Datenaustausch mit einer oder mehreren anderen Vorrichtungen verbunden zu werden, z.B. mit den Präzisionssensoren **32**, und während eines Betriebs als Eingabekanal Eingabe- und Ausgabevorgänge in Zusammenhang mit solchen Vorrichtungen durchzuführen. Beispielsweise kann die Datenkommunikationsschnittstelle **44**, ohne darauf beschränken zu wollen, einen verdrahteten Netzwerkadapter, einen drahtlosen Netzwerkadapter, einen mobilen Telekommunikationsadapter, einen seriellen Datenaustauschadapter oder einen parallelen Datenaustauschadapter beinhalten. Die Datenkommunikationsschnittstelle **44** kann von einer oder mehreren entfernt angeordneten Vorrichtungen ein Datensignal empfangen oder ihnen ein Datensignal senden. In einem abgewandelten Ausführungsbeispiel kann die Datenkommunikationsschnittstelle **44** der Kalibrierungscomputervorrichtung **30** beispielsweise ein Datensignal an die Steuereinrichtung **18** senden bzw. von dieser empfangen.

[0063] Die Präsentationsschnittstelle **38** und die Datenkommunikationsschnittstelle **44** sind beide in der Lage, Daten bereitzustellen, die sich in Zusammenhang mit den hier beschriebenen Verfahren nutzen lassen, beispielsweise dem Anwender **40** oder dem Prozessor **36** Daten bereitzustellen. Dementsprechend können die Präsentationsschnittstelle **38** und die Datenkommunikationsschnittstelle **44** als Ausgabevorrichtungen bezeichnet sein. Desgleichen sind die Benutzereingabeschnittstelle **42** und die Datenkommunikationsschnittstelle **44** in der Lage, Daten aufzunehmen, die sich in Zusammenhang mit den hier beschriebenen Verfahren nutzen lassen, und können als Eingabegeräte bezeichnet sein.

[0064] Fig. 9 zeigt ein Flussdiagramm eines alternativen Verfahrens **900**, das durchgeführt werden kann, um die Brennkammertemperatursteuerung während der Abstimmung des (in Fig. 1 gezeigten) Gasturbinentriebwerks **10** einzustellen. Um den Abstimmungsvorgang durchzuführen, regelt/steuert die Steuereinrichtung **18** das Gasturbinentriebwerk **10** und befiehlt diesem **902**, sich zu der ersten Betriebsbedingung **420** zu bewegen, z.B. die nominale oder konstruktionsmäßig angestrebte Zündtemperatur **50** für den gegenwärtigen Satz von Umgebungsbedingungen anzunehmen, die durch die Steuereinrichtung **18** gemessen sind. Aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und der Messungenauigkeit der Präzisionssensoren **32** ist die tatsächliche Betriebsbedingung, z.B. die Betriebszündtemperatur, des Gasturbinentriebwerks **10** un-

bekannt; jedoch die in **Fig. 2** gezeigten wahrscheinlichkeitstheoretischen Simulationsdaten bilden mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % die Abweichung der Zündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** ab. Wie oben beschrieben, ist die Zündtemperatur keine unmittelbar messbare Größe; jedoch sind die Leistungsabgabe und die Emissionen der Turbine unmittelbar messbare Größen mit einer angemessenen Genauigkeit. Nachdem die Steuereinrichtung **18** dem Gasturbinentriebwerk **10** befohlen hat, sich zu einer nominalen Zündtemperatur **50** zu bewegen, nimmt die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** mittels der Präzisionssensoren **32** Eingabebetriebsparameter **48** auf, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine Leistungsabgabe und Emissionen der Turbine. In einer Abwandlung kann der Schritt des Veranlassens der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinentriebwerk **10** zu befehlen, die erste Betriebsbedingung **420** anzunehmen und Eingabebetriebsparameter **48** aufzunehmen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl von Eingabebetriebsparametern **48** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu reduzieren, die den Eingabebetriebsparametern **48** aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und aufgrund der Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Präzisionssensoren **32** zugeordnet ist.

[0065] Wie in **Fig. 9** gezeigt, befiehlt **904** die Steuereinrichtung **18** anschließend dem Gasturbinentriebwerk **10**, sich zu einer zweiten Betriebsbedingung **422**, z.B. zu einer nominalen oder konstruktionsmäßig angestrebten Leistungsabgabe **306**, zu bewegen. Nachdem die Steuereinrichtung **18** dem Gasturbinentriebwerk **10** befohlen hat, eine nominale Leistungsabgabe **306** anzunehmen, nimmt die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** mittels der Präzisionssensoren **32** Eingabebetriebsparameter **48**, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, Turbinenemissionen, und geschätzte Betriebsparameter **60** auf, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine geschätzte Zündtemperatur. In einer Abwandlung kann, wie im Vorausgehenden mit Bezug auf den ersten Schritt erörtert, der zweite Schritt des Veranlassens der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinentriebwerk **10** zu befehlen, die zweite Betriebsbedingung **422** anzunehmen, und Eingabebetriebsparameter **48** und geschätzte Betriebsparameter **60** aufzunehmen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl von Eingabebetriebsparametern **48** und von geschätzten Betriebsparametern **60** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu reduzieren, die den Eingabebetriebsparametern **48** und den geschätzten Betriebsparametern **60** zugeordnet ist.

[0066] Weiter kann die Steuereinrichtung **18** dem Gasturbinentriebwerk **10** befehlen, eine dritte Betriebsbedingung **424**, z.B. einen nominalen Emissi-

onspiegel, anzunehmen. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** kann anschließend Eingabebetriebsparameter **48** und **60** aufnehmen, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, eine geschätzte Zündtemperatur und Turbinenleistungsabgabe. In einer Abwandlung kann der Schritt des Veranlassens der Steuereinrichtung **18**, dem Gasturbinentriebwerk **10** zu befehlen, eine dritte Betriebsbedingung **424** anzunehmen und Eingabebetriebsparameter **48** und **60** aufzunehmen, mehrmals wiederholt werden. Die aufgenommene Anzahl von Eingabebetriebsparametern **48** und **60** kann anschließend statistisch analysiert werden, um die Unsicherheit zu reduzieren, die den Eingabebetriebsparametern **48** und **60** aufgrund der Bauteiltoleranzen des Gasturbinentriebwerks **10** und der Messungenauigkeit der Steuereinrichtung **18** und der Präzisionssensoren **32** zugeordnet ist. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** führt anschließend die aufgenommenen Eingabebetriebsparameter **48** und **60** von der befohlenen ersten **420** und/oder zweiten **422** Betriebsbedingung zusammen, um eine Betriebszündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10** zu ermitteln. In einer Abwandlung kann die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** Eingabebetriebsparameter **48** und **60**, die bei der dritten Betriebsbedingung **424** aufgenommen sind, mit den Parametern zusammenführen, die bei der ersten **420** und zweiten **422** Betriebsbedingung aufgenommen sind. Die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** bestimmt einen Differenzwert zwischen der nominalen Zündtemperatur **50** und der ermittelten Betriebszündtemperatur des Gasturbinentriebwerks **10**, um den Zündtemperaturkorrekturfaktor **54** für die Verwendung in der Modifizierung der Steuereinrichtung **18** zu erzeugen **906**, um die nominale Zündtemperatur **50** einzustellen **908**. Weiter führt die Kalibrierungscomputervorrichtung **30** mittels der Präzisionssensoren **32**, die gewöhnlich erheblich genauer sind als die in Verbindung mit der Steuereinrichtung **18** verwendeten Überwachungssensoren **26**, eine Verringerung der Abweichung der Zündtemperatur in dem Gasturbinentriebwerk **10** durch.

[0067] Die Systeme und Verfahren, wie sie hier beschrieben sind, ermöglichen eine Verringerung einer auf Sensorfehler der Steuereinrichtung und auf Herstellungstoleranzen von Bauteilen zurückzuführenden Abweichung der Zündtemperatur oder der Abgastemperatur einer Gasturbine. Speziell ist ein physikalisch begründetes Modell hoher Genauigkeit einer Gasturbine und zugeordneter Präzisionsausrüstung sowie Schritte in einen Prozessor programmiert, um eine Gasturbinensteuereinrichtung zu schaffen, die sich automatisch mit Blick auf eine fehlerhafte Zündtemperatur und/oder Abgastemperatur einstellt/angepasst. Daher ermöglichen die hier beschriebenen Systeme und Verfahren im Gegensatz zu bekannten Steuereinrichtungen, die sich hinsichtlich dieser Fehler nicht anpassen, eine Verringerung des Fehlers der Zündtemperatur und der Abgastemperatur einer

Gasturbine und ermöglichen in Anlagen, die mehrere Gasturbinenriebwerke aufweisen, eine Reduzierung der Abweichung von Triebwerk zu Triebwerk.

[0068] Ein exemplarischer technischer Effekt der hier beschriebenen Verfahren und Systeme beinhaltet mindestens die Schritte: (a) Aufnehmen der Betriebsparameter einer Gasturbine, um genaue Zündtemperaturen zu ermitteln; (b) Ermitteln eines Korrekturfaktors für die Gasturbinenzündtemperatur; und (c) Einstellen des Betriebs einer Gasturbine durch Modifikation der Steuereinrichtung des Gasturbinenriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors.

[0069] Die hier beschriebenen Verfahren und Systeme sind nicht auf die im Vorliegenden unterbreiteten speziellen Ausführungsbeispiele beschränkt. Beispielsweise können Komponenten jedes Systems und/oder Schritte jedes Verfahrens unabhängig und getrennt von hier beschriebenen anderen Komponenten und/oder Schritten genutzt und/oder durchgeführt werden. Darüber hinaus können jedes Bauteil und/oder jeder Schritt auch in Verbindung mit sonstigen Vorrichtungen und Verfahren genutzt und/oder durchgeführt werden.

[0070] Einige Ausführungsbeispiele verwenden eine oder mehrerer elektronische oder Computervorrichtungen. Solche Vorrichtungen enthalten gewöhnlich einen Prozessor oder eine Steuereinrichtung, beispielsweise eine universelle Zentraleinheit (CPU), einen Grafikprozessor (GPU), einen Mikrocontroller, einen Prozessor mit reduziertem Befehlssatz (RISC), einen anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC), eine programmierbare Logikschaltung (Speicherprogrammierbare Steuerung) und/oder einen beliebigen sonstigen Schaltkreis oder Prozessor, die in der Lage sind, die hier beschriebenen Funktionen auszuführen. Die hier beschriebenen Verfahren können als ausführbare Anweisungen codiert sein, die in einem von einem Computer auslesbaren Medium verwirklicht sind, beispielsweise, ohne darauf beschränken zu wollen, in einem Speichergerät und/oder in einer Speichereinrichtung. Wenn solche Befehle durch einen Prozessor ausgeführt werden, veranlassen sie den Prozessor, wenigstens einen Abschnitt der hier beschriebenen Verfahren durchzuführen. Die oben erwähnten Beispiele sind lediglich exemplarisch und sollen daher keinesfalls die Definition und/oder Bedeutung des Begriffs Prozessor beschränken.

[0071] Während die Erfindung anhand vielfältiger spezieller Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, wird der Fachmann erkennen, dass es möglich ist, die Erfindung mit Abwandlungen zu verwirklichen, ohne von dem Schutzbereich der Ansprüche abzuweichen.

[0072] Ein Verfahren zur Abstimmung einer Gasturbine beinhaltet den Schritt des Aufnehmens ei-

ner ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird. Weiter beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinenriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen. Zusätzlich beinhaltet das Verfahren den Schritt des Betriebes des Gasturbinenriebwerks bei einer dritten Betriebsbedingung, um eine dritte Anzahl von Betriebsparametern bei der dritten Betriebsbedingung zu messen, wobei sich die erste, zweite und dritte Betriebsbedingung unterscheiden. Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren den Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern. Das Verfahren beinhaltet zudem den Schritt des Einstellens des Betriebs des Gasturbinenriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors.

Bezugszeichenliste

10	Gasturbinenriebwerk
12	Verdichter
14	Brennkammeranordnung
16	Turbine
18	Steuereinrichtung
20	Einlasskanal
21	Einlassleitschaufel (IGV)
22	Auslasskanal
24	Generator
26	Überwachungssensoren
27	Stellglieder
28	Brennstoffsteuerungssystem
29	Stellglieder
30	Kalibrierungscomputervorrichtung
32	Präzisionssensoren
33	Präzisionsbetriebsparameter
34	Speichereinrichtung
36	Prozessor
38	Präsentationsschnittstelle
40	Benutzer
42	Benutzereingabeschnittstelle
44	Datenkommunikationsschnittstelle
48	Eingabebetriebsparameter
50	Nominale Zündtemperatur
52	Berechnete Zündtemperatur
54	Korrekturfaktor
56	MBC-Modul
58	ARES-Modul
60	Geschätzte Betriebsparameter
62	Abgastemperatur
64	Berechnete Zündtemperatur
66	Korrigierte Zündtemperatur
68	Abgastemperaturkorrekturfaktor
70	Komparator
74	Komparator
200	Exemplarische Regelungsarchitektur
300	Linie
302	Linien

304	Nominale Zündtemperaturlinie
306	Nominale Leistungsabgabelinie
308	Datenwerte
400	Verfahren
402	Aufnehmen einer ersten Anzahl
404	Betreiben der Gasturbine
406	Betreiben der Gasturbine
408	Erzeugen eines Korrekturfaktors
410	Einstellen des Betriebs
420	Erste Betriebsbedingung
422	Zweite Betriebsbedingung
424	Dritte Betriebsbedingung
426	Berechnete Betriebsbedingung
428	Nominale Betriebsbedingung
502	Datenwert
504	Datenwert
506	Linie
508	Linien
900	Verfahren
902	Betreiben des Gasturbinentriebwerks
904	Betreiben des Gasturbinentriebwerks
906	Erzeugen eines Korrekturfaktors
908	Einstellen des Betriebs

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abstimmung eines Gasturbinentriebwerks, wobei zu dem Verfahren die Schritte gehören:

- (a) Aufnehmen einer ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird;
- (b) Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen;
- (c) Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer dritten Betriebsbedingung, um eine dritte Anzahl von Betriebsparametern bei der dritten Betriebsbedingung zu messen, wobei sich die erste, zweite und dritte Betriebsbedingung unterscheiden;
- (d) Erzeugen eines Korrekturfaktors auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern von Betriebsparametern; und
- (e) Einstellen des Betriebs des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Aufnehmens der ersten Anzahl von Betriebsparametern den Schritt des Aufnehmens der ersten Anzahl von Betriebsparametern von wenigstens einem Überwachungssensor beinhaltet, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist; und/oder wobei das Aufnehmen einer ersten Anzahl von Betriebsparametern, während die Gasturbine bei einer ersten Betriebsbedingung betrieben wird, den Schritt des Aufnehmens einer ersten Anzahl von Betriebsparametern beinhaltet, während die Gasturbine bei einer nominalen Zündtemperatur, einer nominalen Abgastemperatur, einer nominalen Leistungsabga-

be oder einem nominalen Emissionspegel betrieben wird; und/oder

wobei der Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors den Schritt des Anwendens der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern auf wenigstens entweder ein Betriebsgrenzenmodell und/oder einen Zeitplanungsalgorithmus beinhaltet, der durch eine Steuereinrichtung ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem Schritt des Ermitteln einer berechneten Betriebsbedingung des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage der ersten, zweiten und dritten Anzahl von Betriebsparametern.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Erzeugens eines Korrekturfaktors beinhaltet, eine nominale Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung zu vergleichen, um einen Differenzwert zu berechnen; und/oder wobei das Vergleichen der nominalen Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung ein Vergleichen der nominalen Betriebsbedingung mit der berechneten Betriebsbedingung mittels einer Steuereinrichtung beinhaltet, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Anpassen des Betriebs des Gasturbinentriebwerks den Schritt beinhaltet, eine Steuereinrichtung, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist, unter Verwendung des Korrekturfaktors zu modifizieren.

6. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit den Schritten:
Erzeugen mehrerer Korrekturfaktoren; und
Auswählen wenigstens eines der mehreren Korrekturfaktoren für den Einsatz zur Steuerung des Gasturbinentriebwerks.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schritte (a) bis (e) während des Betriebs des Gasturbinentriebwerks periodisch wiederholt werden; und/oder wobei wenigstens einer der Schritte (a), (b) und/oder (c) wiederholt werden; und/oder wobei die Schritte (a) bis (e) automatisch durch eine Steuereinrichtung ausgeführt werden, die mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Einstellen des Betriebs des Gasturbinentriebwerks den Schritt des Einstellens einer nominalen Betriebsbedingung auf der Grundlage des Korrekturfaktors beinhaltet.

9. System zum Einstellen der Brennkammer-temperatursteuerung während der Abstimmung einer Gasturbine, wobei zu dem System gehören:
wenigstens ein Überwachungssensor, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist, wobei der we-

nigstens eine Überwachungssensor dazu eingerichtet ist, einer Steuereinrichtung wenigstens einen Betriebsparameter zu übermitteln, der dem Gasturbinentriebwerk zugeordnet ist;
 wenigstens ein Präzisionssensor, der mit dem Gasturbinentriebwerk verbunden ist, wobei der wenigstens eine Präzisionssensor dazu eingerichtet ist, einer Kalibrierungscomputervorrichtung wenigstens einen Präzisionsbetriebsparameter zu übermitteln, der dem Gasturbinentriebwerk zugeordnet ist;
 eine Steuereinrichtung, die dazu eingerichtet ist: den Betrieb des Gasturbinentriebwerks zu steuern; und
 den wenigstens einen Betriebsparameter von dem wenigstens einen Überwachungssensor aufzunehmen; und
 eine Kalibrierungscomputervorrichtung, die dazu eingerichtet ist, den wenigstens einen Präzisionsbetriebsparameter von dem wenigstens einen Präzisionssensor aufzunehmen.

10. Verfahren zur Abstimmung eines Gasturbinentriebwerks, wobei zu dem Verfahren die Schritte gehören:

Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer ersten Betriebsbedingung, um eine erste Anzahl von Betriebsparametern bei der ersten Betriebsbedingung zu messen;

Betreiben des Gasturbinentriebwerks bei einer zweiten Betriebsbedingung, um eine zweite Anzahl von Betriebsparametern bei der zweiten Betriebsbedingung zu messen, wobei die erste und die zweite Betriebsbedingung sich unterscheiden;

Erzeugen eines Korrekturfaktors auf der Grundlage mindestens der ersten Anzahl von Betriebsparametern und der zweiten Anzahl von Betriebsparametern mittels einer Kalibrierungscomputervorrichtung; und
 Einstellen des Betriebs des Gasturbinentriebwerks auf der Grundlage des Korrekturfaktors, wobei der Schritt beinhaltet, eine mit dem Gasturbinentriebwerk verbundene Steuereinrichtung mittels des Korrekturfaktors zu modifizieren.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

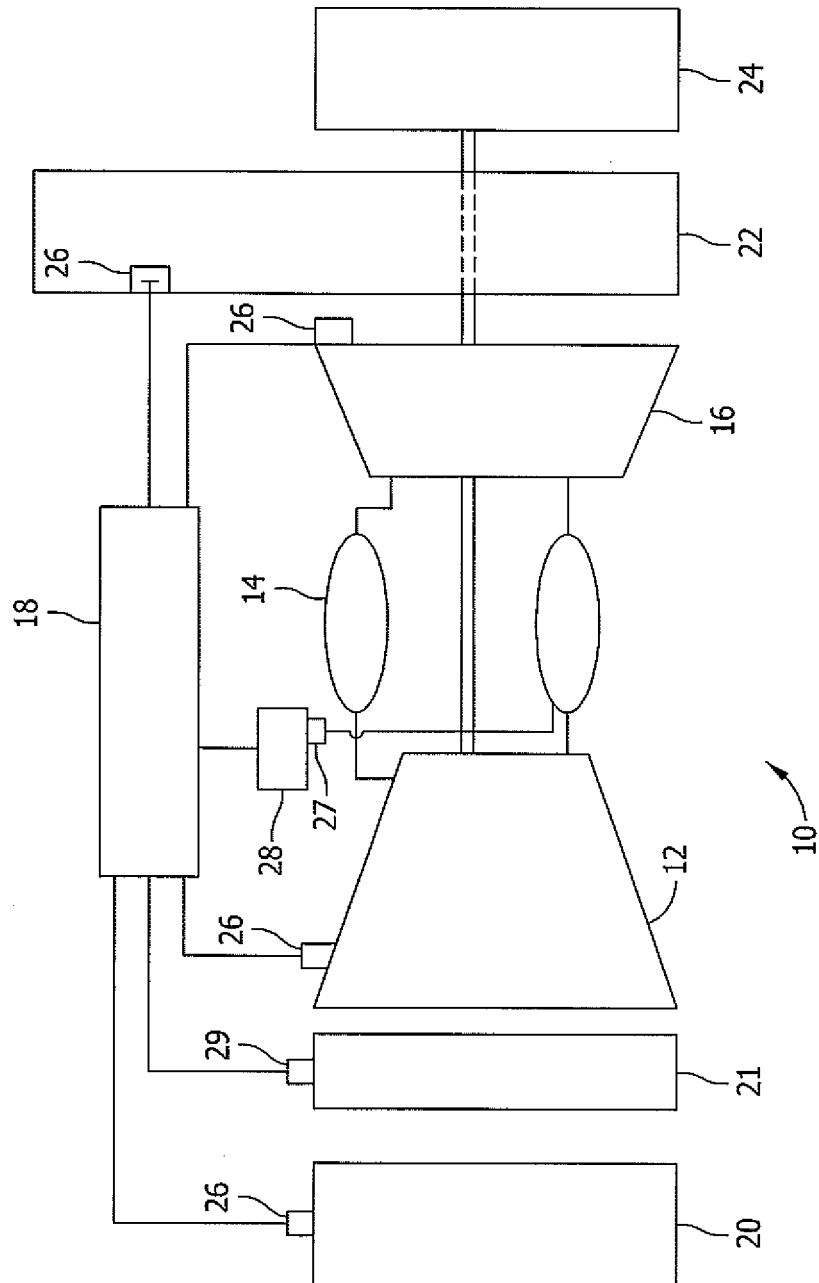


FIG. 1

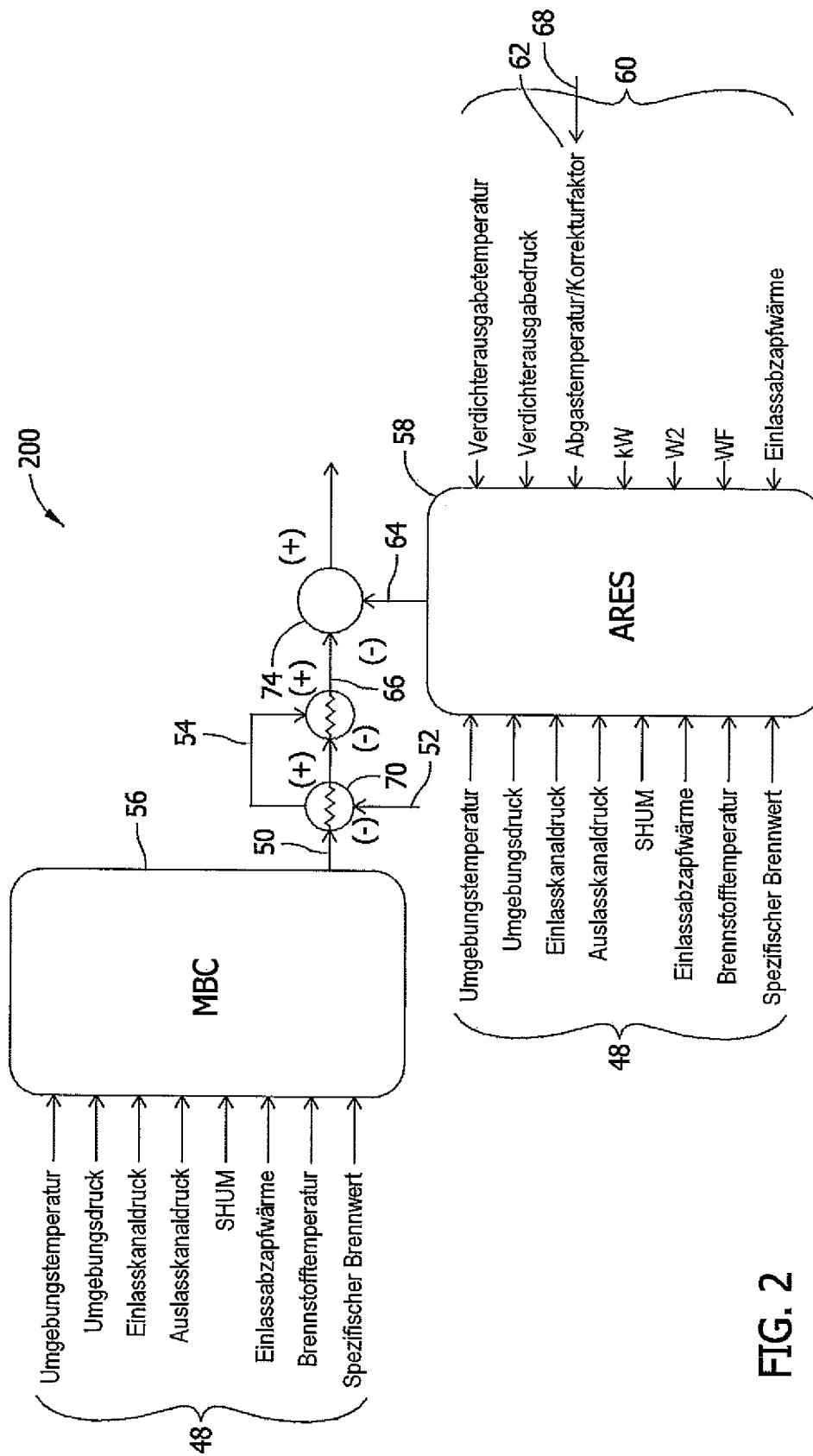


FIG. 2

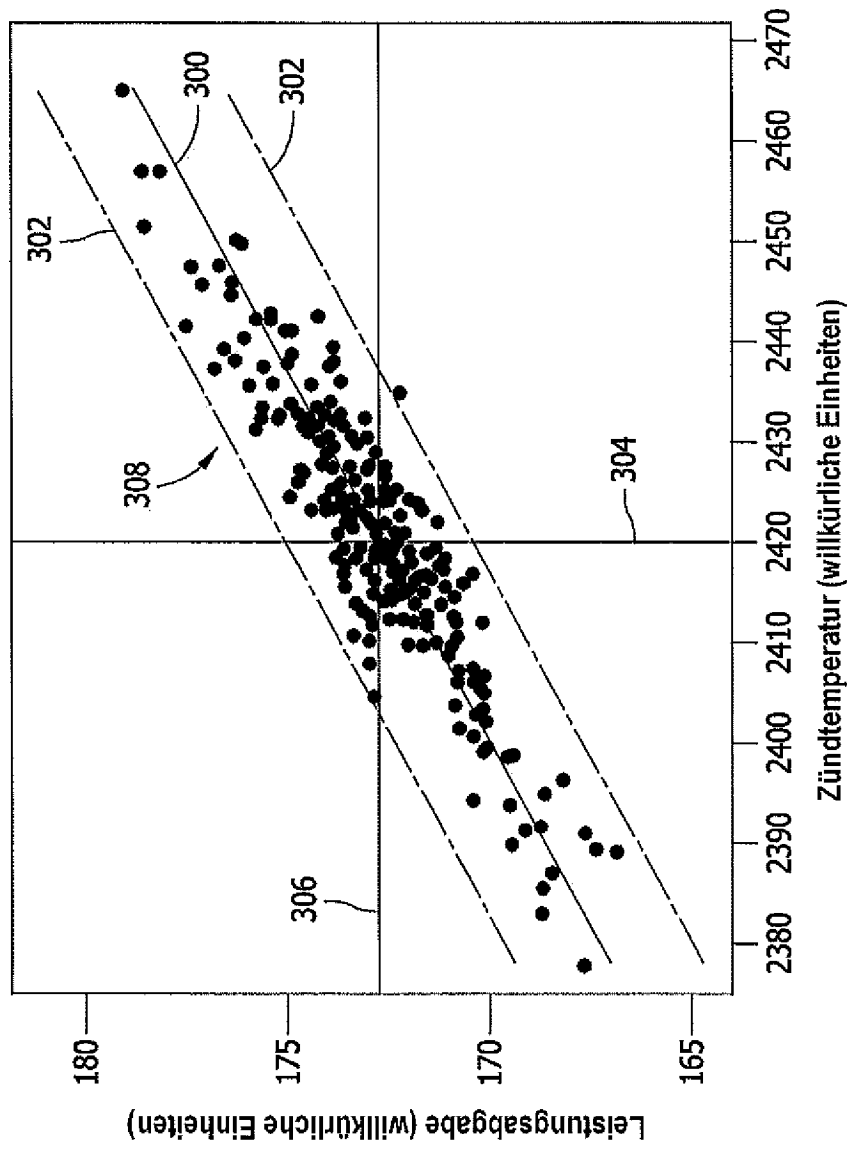


FIG. 3

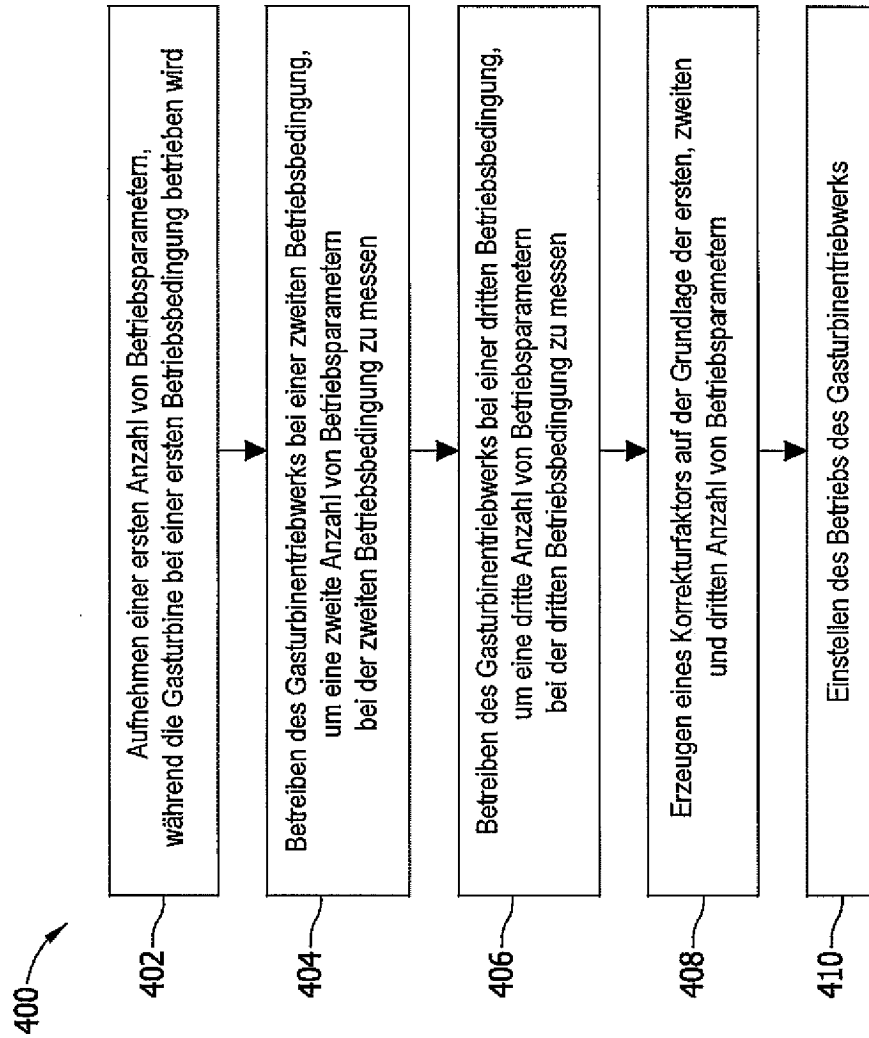


FIG. 4

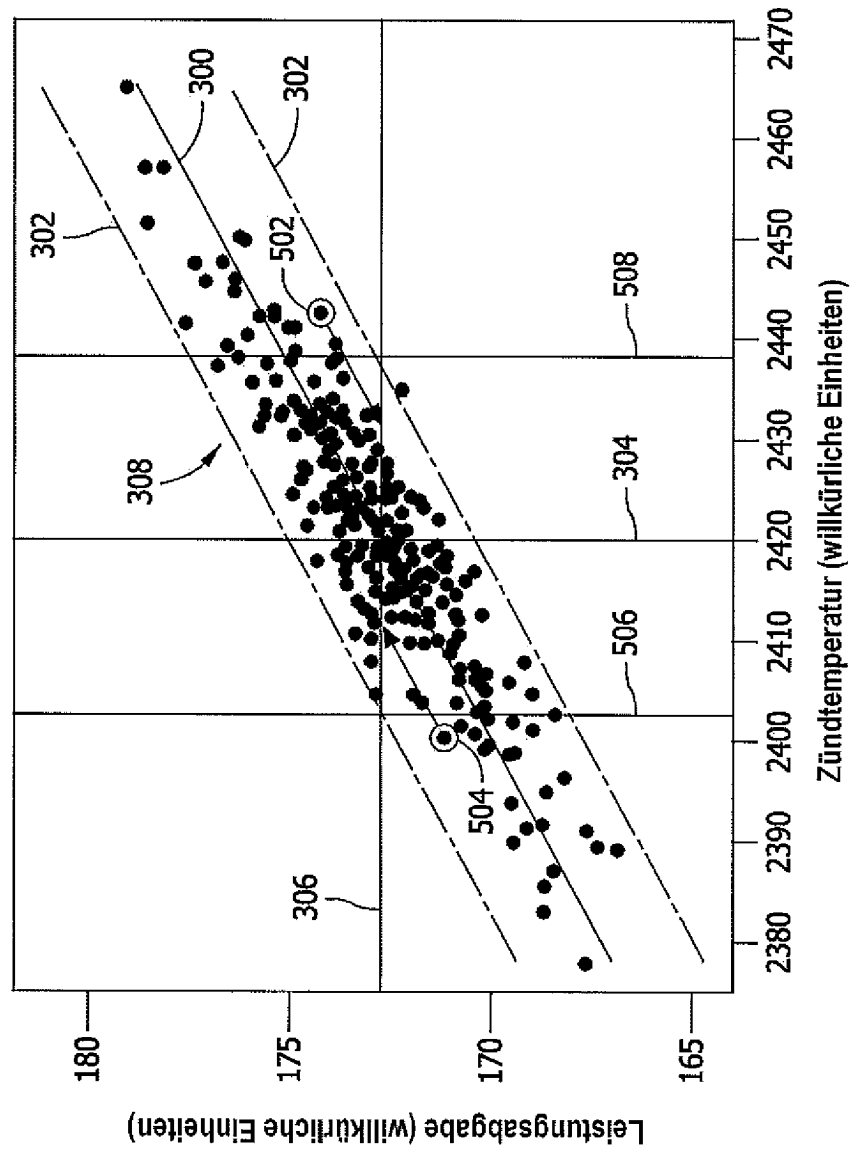


FIG. 5

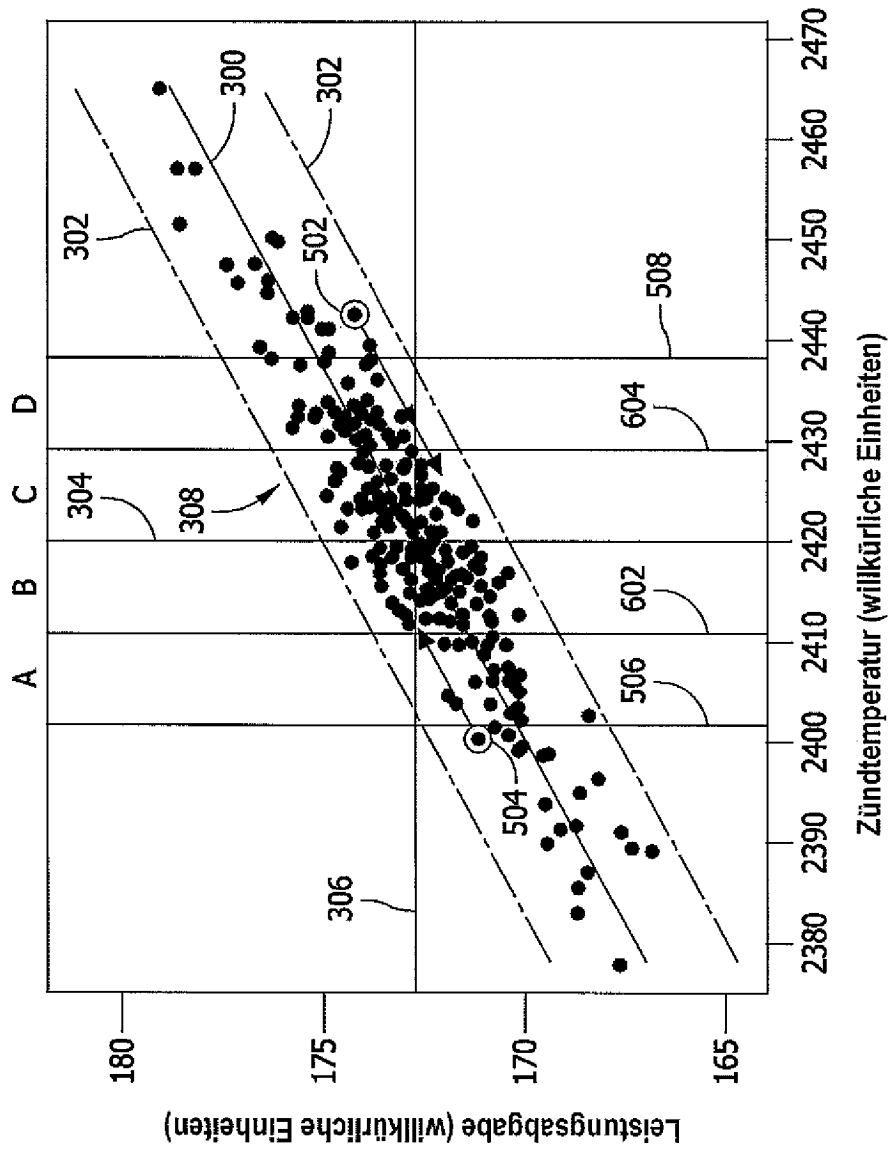


FIG. 6

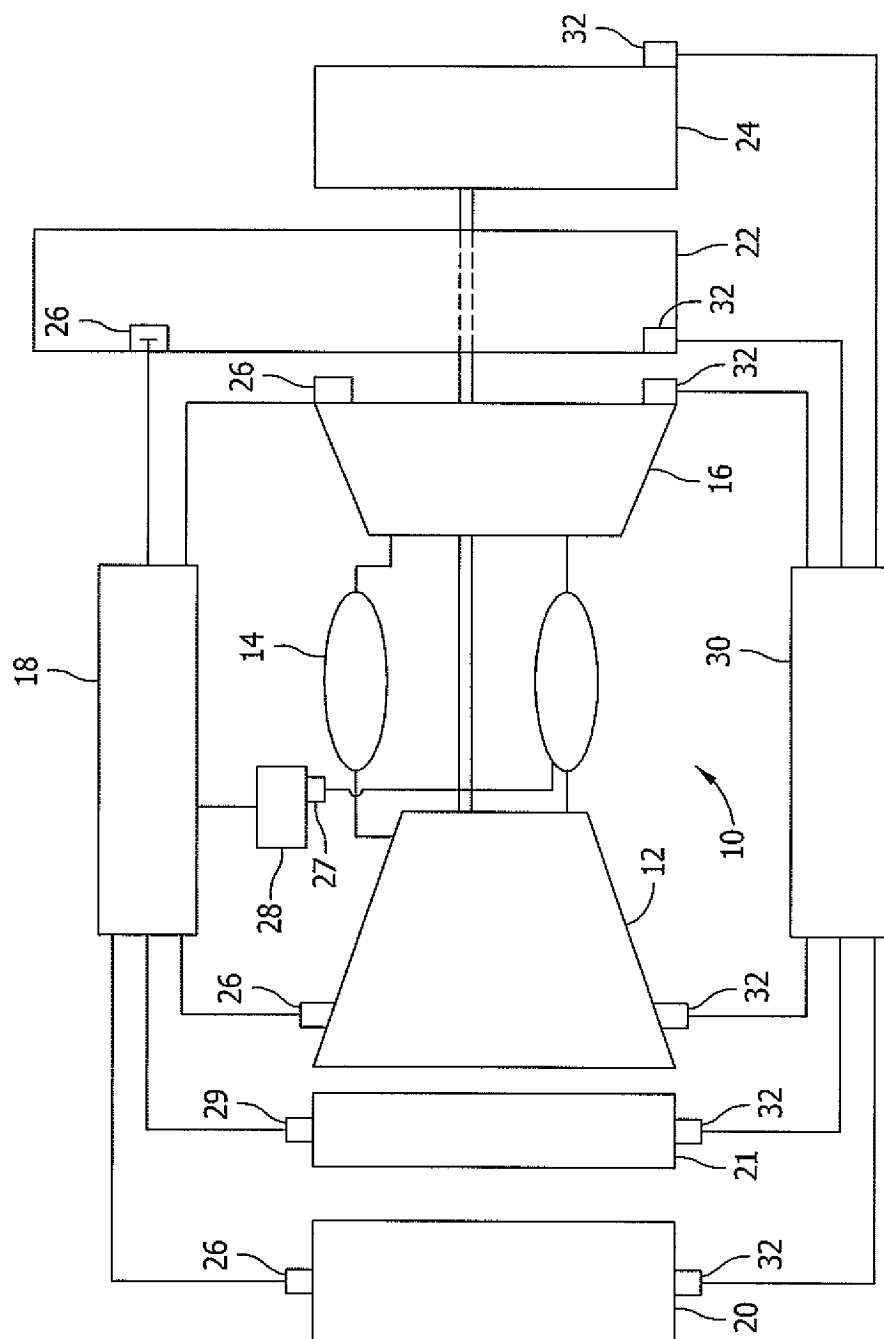


FIG. 7

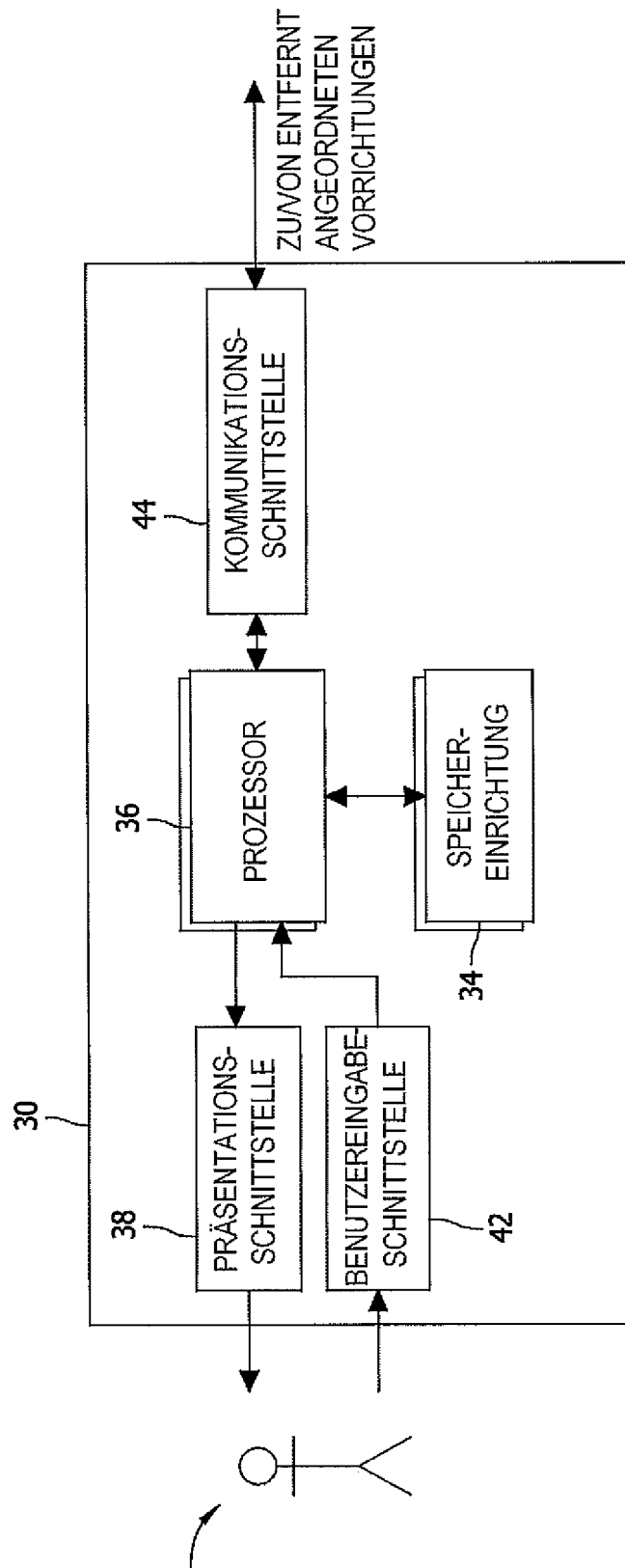


FIG. 8

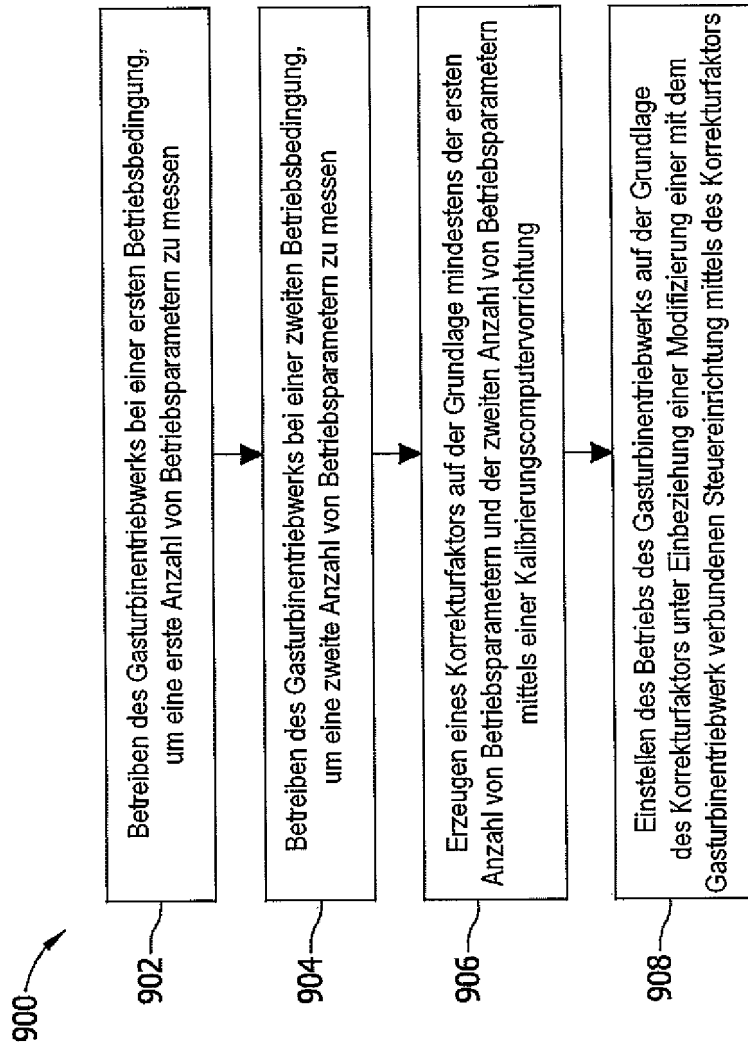


FIG. 9