



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2010 016 708.8

(51) Int Cl.: F02C 9/18 (2006.01)

(22) Anmelddatag: 29.04.2010

(43) Offenlegungstag: 18.11.2010

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28.03.2024

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

(30) Unionspriorität:  
12/437,730 08.05.2009 US

(72) Erfinder:  
Childers, Scott A., Greenville, S.C., US

(73) Patentinhaber:  
General Electric Technology GmbH, Baden, CH

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2006 008 714 A1  
US 2001 / 0 018 824 A1

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

### (54) Bezeichnung: Verfahren im Zusammenhang mit der Steuerung und dem Betrieb einer Gasturbine

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage (100), die einen Verdichter (106), eine Brennkammer (112) und eine Turbine (110) enthält, wobei der Entnahmestrom eine Zufuhr verdichteter Luft, die dem Verdichter (106) entnommen und unter Umgehung der Brennkammer (112) durch eine oder mehrere Entnahmeleitungen (204) der Turbine (110) zugeführt wird, wobei wenigstens eine der Entnahmeleitungen (204) eine variable Entnahmeöffnung (208) aufweist, die eine Anzahl von Einstellungen aufweist, die von einer Steuerungseinheit (210) gesteuert werden, wobei das Verfahren die Schritte enthält:

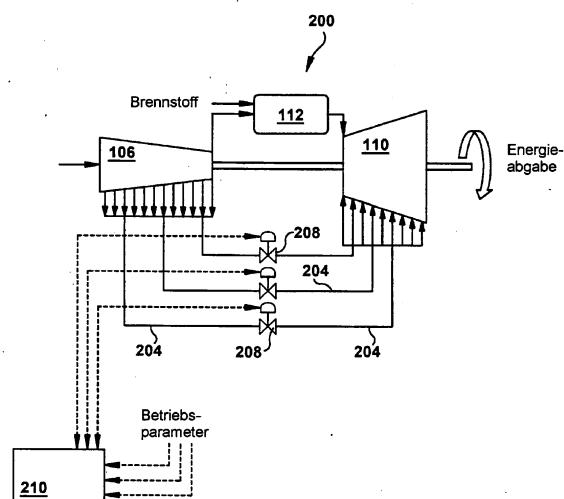
Messen einer Anzahl von Turbinenanlagenbetriebsparametern, wobei die gemessenen Betriebsparameter wenigstens einen mit einer Temperatur in der Turbine (110) zusammenhängenden Parameter, einen mit der Einstellung der variablen Entnahmeöffnung (208) zusammenhängenden Parameter, einen mit dem Wert des Entnahmestroms zusammenhängenden Parameter und einen mit einer Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer (112) zusammenhängenden Parameter umfassen;

Überwachen der gemessenen Betriebsparameter der Turbinenanlage (100) durch die Steuerungseinheit (210);

Einstellen wenigstens einer variablen Entnahmeöffnung (208) auf eine Einstellung, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms ermöglicht;

Berechnen wenigstens eines berechneten Betriebsparameters, der wenigstens eine aktuelle Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und eine maximale Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) enthält, in Abhängigkeit von einer modellgestützten Steuerung und den gemessenen Betriebsparametern;

beeinflussen der Einstellung der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer (112) in der Weise, dass durch Vergleichen der Werte der aktuellen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und der maximalen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) ein erhöhter und/oder näherungsweise maximaler Wert der Leistungsabgabe der Anlage bestimmt wird; und  
Feststellen, ob ein Systembediener die Anlagenabgabeleistung erhöhen und/oder maximieren möchte; wobei das Verfahren für den Fall, dass festgestellt wird, dass der Systembediener die Anlagenabgabeleistung erhöhen ...



**Beschreibung****Hintergrund der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung bezieht sich allgemein auf Verfahren, Systeme und/oder eine Vorrichtung zum Verbessern der Effizienz und/oder des Betriebs von Gasturbinenanlagen, wobei gemeint ist, dass dieser Begriff, wenn er hierin verwendet wird und es nicht im Einzelnen anders festgelegt ist, alle Arten von Gas- oder Verbrennungsturbinen oder rotierenden Triebwerken einschließlich Flugzeugtriebwerken, Energieerzeugungsanlagen und anderen enthält. Im Einzelnen bezieht sich die vorliegende Erfindung auf Verfahren, Systeme und/oder Vorrichtungen, die zur Steuerung von Verdichterentnahmestromen während des Betriebs zur Verbesserung der Anlageneffizienz gehören.

**[0002]** Allgemein enthalten Gasturbinenanlagen einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine. Der Verdichter und die Turbine enthalten allgemein Reihen von Schaufeln, die axial in Stufen angeordnet sind. Jede Stufe enthält eine Reihe von in Umfangsrichtung beabstandeten Stator- bzw. Leitschaufeln, die feststehend sind, sowie eine Reihe von Rotor- bzw. Laufschaufeln, die um eine zentrale Achse oder Welle umlaufen. Im Betrieb rotieren allgemein die Verdichteraufschaufeln um die Welle und verdichten im Zusammenwirken mit den Leitschaufeln einen Luftstrom. Die Zufuhr von verdichteter Luft wird danach in der Brennkammer zum Verbrennen eines zugeführten Brennstoffs verwendet. Danach wird der entstehende Strom heißer Gase aus der Verbrennung, d.h. das Arbeitsfluid, durch den Turbinenabschnitt der Anlage expandiert. Der Strom des Arbeitsfluides durch die Turbine versetzt die Laufschaufeln in eine Drehbewegung. Die Laufschaufeln sind mit einer zentralen Welle verbunden, so dass die Rotation der Laufschaufeln die Welle dreht.

**[0003]** Auf diese Weise wird die in dem Brennstoff enthaltene Energie in die mechanische Energie der rotierenden Welle umgewandelt, die z.B. zum Drehen der Laufschaufeln des Verdichters, damit die für die Verbrennung benötigte Zufuhr von verdichteter Luft bereitgestellt wird, und der Wicklungen eines Generators verwendet wird, damit elektrische Energie erzeugt wird. Wegen der extremen Temperaturen des Heißgaspfades, die zwischen etwa 1316°C (2400°F) und 1427°C (2600°F) erreichen können, und der hohen Rotationsgeschwindigkeiten sind die Turbinenschaufeln während des Betriebs mit extremen mechanischen und thermischen Belastungen hochgradig beansprucht. Wie ein Fachmann erkennt, erfordert dies allgemein, dass Gasturbinenanlagen dazu ausgelegt sind, dem Verdichter während des Betriebs Luft zu entnehmen und diese Luft zum Kühlen von Elementen in dem Heißgaspfad zu

verwenden. Diese Entnahme hat jedoch einen Preis, weil die Verwendung der Verdichterluft in dieser Weise die Effizienz der Turbinenanlage verringert. Daher sollte sie verringert oder minimiert werden, wo immer es möglich ist.

**[0004]** Wie ein Fachmann erkennt, verwendet eine konventionelle Anlagenausführung bei der Entnahme von Kühlluft aus dem Verdichter im Allgemeinen einen Einheitsansatz, was bedeutet, dass die Entnahmemenge festgelegt ist. Eine Folge dieses Ansatzes besteht darin, dass die Maschinen häufig über die benötigte Menge hinaus Kühlluft aus dem Verdichter entnehmen. Wenn der Effizienznachteil im Zusammenhang mit der Nutzung überschüssiger Kühlluft und der Wunsch zur Vermeidung dieses Nachteils in dem möglichen Maße unter den üblichsten Betriebsbedingungen gegeben sind, wird die einheitliche Entnahmekapazität allgemein kleiner bemessen als derjenige Wert, der für bestimmte Anwendungen, wie z.B. für eine Spitzenleistungserzeugung unter heißen Umgebungsbedingungen, erforderlich sein könnte, oder größer als derjenige Wert ist, der für andere Situationen, wie z.B. einen Grundlastbetrieb unter kälteren Umgebungsbedingungen, benötigt wird.

**[0005]** Um sich dieser Aufgabe zuzuwenden, verwenden einige Gasturbinensysteme eine Technik, die eine variable Entnahmemenge aus dem Verdichter zulässt. Beispielsweise offenbart die US 2001 / 0 018 824 A1 ein Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage, bei dem der Druck, unter dem eine dem Verdichter entnommene Kühl- oder SpülLuft bestimmten Komponenten der Turbine zugeführt wird, in Abhängigkeit von dem Verdichterauslassdruck gesteuert wird, um einen Druck an der Komponente zu erzielen, der einen Rückstrom der Kühl- oder SpülLuft verhindert, wobei der Entnahmestrom unter Teillastbedingungen durch Drosselung des Entnahmestromflusses auf ein Minimum reduziert wird.

**[0006]** DE 10 2006 008 714 A1 beschreibt ein Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage, die einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine enthält, wobei der Entnahmestrom eine Zufuhr verdichteter Luft enthält, die dem Verdichter entnommen und unter Umgehung der Brennkammer durch eine Entnahmleitung, die eine variable Entnahmeöffnung aufweist, der Turbine zugeführt wird. Das Verfahren enthält: Messen von Turbinenanlagenbetriebsparametern, einschließlich der Turbinenabgastemperatur, der Einstellung der variablen Entnahmeöffnung, des Turbinen-Bypassstroms und eines Brennstoffgasdifferentialdrucks; Überwachen der gemessenen Betriebsparameter der Turbinenanlage; Einstellen wenigstens einer variablen Entnahmeöffnung auf

einen Einstellwert, der von der aktuellen Turbineinlasstemperatur und der Lastanforderung abhängt; Bestimmen einer gegenwärtigen Turbineinlasstemperatur; Vergleichen der gegenwärtigen Turbineneinlasstemperatur mit einem festgelegten maximalen Turbineneinlasstemperaturgrenzwert; und Steuern der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs.

**[0007]** Selbst wenn eine variable Entnahme möglich ist, scheitern konventionelle Turbinensteuerungsverfahren und -systeme jedoch daran, diese Möglichkeit vollständig zu nutzen, so dass die erreichbaren Anstiege der Abgabeleistung und der Effizienz realisiert werden. Es sind computerimplementierte Verfahren und Systeme verfügbar, die Maschinenbetriebsparameter messen und überwachen und aus diesen Daten das Maschinensystem modellieren, so dass weitere Betriebsparameter berechnet und zur Feinabstimmung des Betriebs verwendet werden können. Wie es unten im Einzelnen erläutert ist, kann diese Art von Technik in einigen Beispielen (wie hierin vorgesehen) abgewandelt und wirksam eingesetzt werden, so dass in Kombination mit einer Technik einer variablen Verdichterentnahme eine erhöhte Anlageneffizienz erreicht werden kann. Als Ergebnis besteht Bedarf an einer verbesserten Vorrichtung, verbesserten Verfahren und/oder Systemen im Zusammenhang mit der Steuerung von variablen Kühlluftentnahmewerten, so dass größere Leistungsabgabewerte, eine erhöhte Effizienz und/oder eine in anderer Weise gesteigerte Leistungsfähigkeit erreichbar sind.

#### Kurze Beschreibung der Erfindung

**[0008]** Ausgehend hiervon ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage zu schaffen, das bei Bedarf eine zusätzliche Erhöhung oder Maximierung der Turbinenabgabeleistung ermöglicht.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Besonders bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0010]** Diese und weitere Merkmale der vorliegenden Anmeldung werden bei Durchsicht der folgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele deutlich, wenn sie in Verbindung mit den Zeichnungen und den beigefügten Ansprüchen betrachtet werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0011]** Diese und weitere Merkmale dieser Erfindung werden durch ein sorgfältiges Studium der folgenden detaillierteren Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung, die in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen betrachtet werden, vollständiger verstanden und wahrgenommen:

**Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften Turbinenanlage, in der bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können;

**Fig. 2** ist eine Schnittansicht des Verdichterabschnitts der Turbinenanlage aus **Fig. 1**;

**Fig. 3** ist eine Schnittansicht des Turbinenabschnitts der Turbinenanlage aus **Fig. 1**;

**Fig. 4** ist eine schematische Darstellung eines Turbinensystems gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Anmeldung;

**Fig. 5** ist ein Flussdiagramm, das den Betrieb einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Anmeldung darstellt; und

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, das den Betrieb einer beispielhaften Ausführungsform darstellt, die als solche nicht beansprucht ist.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0012]** Nun unter Bezug auf die Zeichnungen: **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer Turbinenanlage 100, die eine Gasturbinenanlage ist, die zur Beschreibung einer beispielhaften Umgebung verwendet wird, in der die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann. Es wird von Fachleuten jedoch erkannt, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diese Art der Benutzung beschränkt ist. Wie gesagt kann die vorliegende Erfindung auch in anderen Typen von Gasturbinenanlagen verwendet werden. Allgemein arbeiten Gasturbinenanlagen durch das Entziehen von Energie aus einem unter Druck stehenden Strom eines heißen Gases, das durch die Verbrennung eines Brennstoffes in einem Strom verdichteter Luft erzeugt wird. Wie in **Fig. 1** dargestellt, kann die Turbinenanlage 100 mit einem axialen Verdichter 106, der über eine gemeinsame Welle oder einen gemeinsamen Rotor mit einem stromabwärtigen Turbinenabschnitt oder einer Turbine 110 mechanisch gekoppelt ist, und einer Brennkammer 112 ausgestattet sein, die zwischen dem Verdichter 106 und der Turbine 110 angeordnet ist.

**[0013]** **Fig. 2** stellt eine Ansicht eines beispielhaften mehrstufigen axialen Verdichters 106 dar, der in der Turbinenanlage 100 aus **Fig. 1** verwendet werden kann. Wie gezeigt kann der Verdichter 106 eine Anzahl von Stufen enthalten. Jede Stufe kann eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 120 gefolgt von

einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 122 enthalten. Demnach kann eine erste Stufe eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 120, die um eine zentrale Welle rotieren, gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 122, die im Betrieb stationär bleiben, enthalten. Die Verdichterleitschaufeln 122 sind allgemein in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und um die Drehachse herum feststehend angeordnet. Die Verdichterlaufschaufeln 120 sind in Umfangsrichtung beabstandet und an der Welle angebracht, und wenn sich die Welle im Betrieb dreht, drehen sich die Verdichterlaufschaufeln 120 um diese. Wie ein Fachmann erkennen wird, sind die Verdichterlaufschaufeln 120 so ausgebildet, dass sie kinetische Energie auf die Luft oder das Fluid, die/das durch den Verdichter 106 strömt, übertragen, wenn sie um die Welle gedreht werden. Der Verdichter 106 kann über die in **Fig. 2** dargestellten Stufen hinaus weitere Stufen enthalten. Die weiteren Stufen können eine Anzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Verdichterlaufschaufeln 120 gefolgt von einer Anzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Verdichterleitschaufeln 122 enthalten.

**[0014]** **Fig. 3** stellt eine Teilansicht eines beispielhaften Turbinenabschnitts oder einer Turbine 110 dar, die in der Turbinenanlage 100 aus **Fig. 1** verwendet werden kann. Die Turbine 110 kann auch eine Anzahl von Stufen enthalten. Es sind drei beispielhafte Stufen dargestellt, aber es könnten auch mehr oder weniger Stufen in der Turbine 110 vorhanden sein. Eine erste Stufe enthält eine Anzahl von Turbinenlaufschaufeln oder Turbinenrotorblättern 126, die im Betrieb um die Welle umlaufen, und eine Anzahl von Düsen oder Turbinenleitschaufeln 128, die im Betrieb stationär bleiben. Die Turbinenleitschaufeln 128 sind allgemein in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und bezüglich der Drehachse feststehend angeordnet. Die Turbinenlaufschaufeln 126 können zur Drehung um die (nicht gezeigte) Welle an einem (nicht gezeigten) Turbinenrad angebracht sein. Eine zweite Stufe der Turbine 110 ist ebenfalls dargestellt. Die zweite Stufe enthält in ähnlicher Weise eine Anzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Turbinenleitschaufeln 128 gefolgt von einer Anzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Turbinenlaufschaufeln 126, die ebenfalls zur Drehung an einem Turbinenrad angebracht sind. Eine dritte Stufe ist ebenfalls dargestellt und enthält in ähnlicher Weise eine Anzahl von Turbinenleitschaufeln 128 und -laufschaufeln 126. Es wird erkannt, dass die Turbinenleitschaufeln 128 und die Turbinenlaufschaufeln 126 in dem Heißgaspfad der Turbine 110 liegen. Die Strömungsrichtung der heißen Gase durch den Heißgaspfad ist durch den Pfeil gekennzeichnet. Wie ein Fachmann erkennt, kann die Turbine 110 über die in **Fig. 3** dargestellten Stufen hinaus noch weitere Stufen enthalten. Jede weitere Stufe kann eine Reihe von Turbinenleitschaufeln 128 gefolgt von

einer Reihe von Turbinenlaufschaufeln 126 enthalten.

**[0015]** Im Einsatz kann die Drehung der Verdichterlaufschaufeln 120 in dem axialen Verdichter 106 einen Luftstrom verdichten. In der Brennkammer 112 kann Energie freigesetzt werden, wenn die verdichtete Luft mit einem Brennstoff gemischt und gezündet wird. Die entstehende Strömung heißer Gase aus der Brennkammer 112, die als Arbeitsfluid bezeichnet werden kann, wird danach über die Turbinenlaufschaufeln 126 geleitet, wobei der Arbeitsfluidstrom die Drehung der Turbinenlaufschaufeln 126 um die Welle bewirkt. Dadurch wird die Energie des Arbeitsfluidstroms in mechanische Energie der rotierenden Schaufeln und wegen der Verbindung zwischen den Laufschaufeln und der Welle in mechanische Energie der rotierenden Welle umgewandelt. Die mechanische Energie der Welle kann danach zum Antrieb der Drehbewegung der Verdichterlaufschaufeln 120, damit die notwendige Zufuhr verdichteter Luft bewirkt wird, und z.B. auch zum Antrieb eines Generators zur Erzeugung von Elektrizität verwendet werden.

**[0016]** Bevor weiter fortgefahren wird, beachte man, dass es zur klaren Vermittlung der Erfindung der vorliegenden Anmeldung notwendig sein kann, eine Terminologie zu wählen, die sich auf bestimmte Maschinenkomponenten oder Teile einer Turbinenanlage bezieht und diese beschreibt. Wo immer es möglich ist, wird die übliche Industrieterminologie verwendet und in einer Weise benutzt, die mit ihrer übernommenen Bedeutung übereinstimmt.

**[0017]** Es ist jedoch beabsichtigt, dass jeder derartigen Terminologie eine breite Bedeutung zuerkannt wird und sie nicht eng ausgelegt wird, wodurch die hierin beabsichtigte Bedeutung und der Bereich der beigefügten Ansprüche unangemessen beschränkt würden. Fachleute werden erkennen, dass auf bestimmte Komponenten häufig mit mehreren unterschiedlichen Namen Bezug genommen wird. Außerdem kann das, was hierin als ein einziges Element beschrieben sein mag, in einem anderen Zusammenhang mehrere Komponenten enthalten und als aus mehreren Komponenten bestehend bezeichnet sein, oder was hierin als mehrere Komponenten enthaltend beschrieben ist, kann in einigen Fällen als ein einziges Element gestaltet und bezeichnet sein. Demnach sollte beim Verständnis des Bereichs der hierin beschriebenen Erfindung die Aufmerksamkeit nicht nur auf die gelieferte Terminologie und Beschreibung gerichtet werden, sondern auch auf die Struktur, Konfiguration, Funktion und/oder den Gebrauch der hierin beschriebenen Komponenten.

**[0018]** Außerdem können hierin verschiedene beschreibende Ausdrücke verwendet werden, die für Turbinenanlagenanwendungen üblich sind. Die

Definitionen für diese Begriffe sind die folgenden: Der Ausdruck „Laufschaufel“ ist ohne weitere Erläuterung eine Bezugnahme auf die rotierenden Schaufeln entweder des Verdichters 106 oder der Turbine 110 und umfasst sowohl die Verdichterlaufschaufeln 120 als auch die Turbinenlaufschaufeln 126. Der Ausdruck „Leitschaufel“ ist ohne weitere Erläuterung eine Bezugnahme auf die stationären Schaufeln entweder des Verdichters 106 oder der Turbine 110 und umfasst sowohl die Verdichterleitschaufeln 122 als auch die Turbinenleitschaufeln 128. Der Ausdruck „Schaufel“ wird hierin unter Bezug auf beide Arten von Schaufeln verwendet. Demnach umfasst der Ausdruck „Schaufel“ ohne weitere Spezifizierung alle Arten von Schaufeln der Turbinenanlage, die Verdichterlaufschaufeln 120, Verdichterleitschaufeln 122, Turbinenlaufschaufeln 126 und Turbinenleitschaufeln 128 umfassen. Weiterhin sind „stromabwärts“ und „stromaufwärts“ Ausdrücke, die, wenn sie hierin verwendet werden, eine Richtung bezogen auf die Strömung des Arbeitsfluides durch die Turbine 110 bezeichnen. Demnach bezeichnet der Ausdruck „stromabwärts“ die Richtung der Strömung, während der Ausdruck „stromaufwärts“ die der Strömung durch die Turbine 110 hindurch entgegengesetzte Richtung bezeichnet. Im Zusammenhang mit diesen Begriffen beziehen sich die Ausdrücke „hinten“ und/oder „Hinterkante“ auf die stromabwärtige Richtung, das stromabwärtige Ende und/oder die Richtung des stromabwärtigen Endes der beschriebenen Komponente. Die Begriffe „vorne“ oder „Vorderkante“ bezeichnen die stromaufwärtige Richtung, das stromaufwärtige Ende und/oder die Richtung des stromaufwärtigen Endes der beschriebenen Komponente. Der Ausdruck „radial“ bezieht sich auf eine Bewegung oder Position senkrecht zu einer Achse. Es ist häufig erforderlich, Elemente zu beschreiben, die sich an unterschiedlichen radialen Positionen bezogen auf eine Achse befinden. In diesem Falle kann, wenn sich eine erste Komponente näher als eine zweite Komponente an der Achse befindet, hierin gesagt sein, dass sich die erste Komponente „innen“ oder „radial innerhalb“ von der zweiten Komponente befindet. Wenn sich die erste Komponente andererseits von der Achse weiter als die zweite Komponente entfernt befindet, kann hierin gesagt sein, dass sich die erste Komponente „außen“ oder „radial außerhalb“ der zweiten Komponente befindet. Der Begriff „axial“ bezieht sich auf eine Bewegung oder eine Position parallel zu einer Achse. Der Ausdruck „in Umfangsrichtung“ bezieht sich auf eine Bewegung oder Position um eine Achse herum.

**[0019]** Wieder mit Bezug auf die Figuren: **Fig. 4** stellt eine beispielhafte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, ein Turbinensystem 200 dar. Wie genauer beschrieben ist, sind eine Vorrichtung, Verfahren und/oder Systeme vorgesehen, die zum Zwecke der Verbesserung des Betriebs einer Verbren-

nungs- oder Gasturbinenanlage eine variable Verdichterentnahme und eine modellgestützte Steuerung verwenden. Wenn hierin der Begriff „variable Verdichterentnahme“ verwendet wird, ist dieser als die Fähigkeit bzw. Möglichkeit definiert, die Menge eines Luftstroms zu steuern, der dem Verdichterabschnitt einer Gasturbine entnommen wird. Die „variable Verdichterentnahme“ beinhaltet zumindest die Möglichkeit, wenigstens zwei verschiedene Werte der Luftstromentnahme vorzusehen. Wenn hierin der Begriff „modellgestützte Steuerung“ verwendet wird, ist dies ein Verfahren zur Steuerung einer Turbinenanlage auf der Grundlage eines Modells des Anlagenbetriebs. Demnach kann eine Turbinenanlage nicht nur anhand gemessener Betriebsparameter, sondern auch anhand von solchen Betriebsparametern gesteuert werden, die aus einem gegebenen Turbinenanlagenmodell und den gemessenen Betriebsparametern berechnet werden. Wie unten genauer erläutert ist, bietet die vorliegende Erfindung unter anderem durch die Integration der variablen Verdichterentnahme und der modellgestützten Steuerung eine gesteigerte betriebliche Effizienz. Es wird erkannt, dass bestimmte beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vorhandene Verdichterentnahmerohrleitungen oder -zuführleitungen und ein konventionelles Ventil oder eine konventionelle Öffnung, das/die in der vorhandenen Rohrleitung eingebaut ist, zur variablen Entnahme verwenden. Die Steuerung der variablen Entnahmeeöffnung, wie sie unten genauer beschrieben ist, kann auf Anlagenbetriebsparameter gestützt sein, die von einer Steuerungseinheit gemäß einem konventionellen modellgestützten Steuerungsprogramm oder -system, das zum Betrieb gemäß den hierin detailliert beschriebenen Verfahrensschritten abgewandelt worden ist, gemessen, überwacht und/oder berechnet werden. Auf diese Weise kann die Leistungsfähigkeit der Anlage gesteigert werden, indem aus der variablen Verdichterentnahme und den verfügbaren Kühlstromwerten durch die Nutzung der modellgestützten Steuerung größere Vorteile gezogen werden. Im Einzelnen kann die vorliegende Erfindung, wie es unten genauer erläutert ist, zur Erhöhung oder Maximierung der Abgabeleistung der Anlage oder der Effizienz verwendet werden.

**[0020]** Wie ein Fachmann erkennt, kann eine Verdichterentnahme in einer beliebigen Verdichterstufe eines Turbinensystems vorgesehen sein. Der entnommene Strom kann in den Turbinenabschnitt der Anlage eingespeist werden, um Elemente zu kühlen und/oder die Elemente während des Betriebs auf geeigneten Temperaturen zu halten. Wenn hierin der Ausdruck entnommener Strom verwendet wird, ist es so gemeint, dass er sich auf einen Luftstrom bezieht, der aus dem Verdichter 106 entnommen oder abgezapft und dem Turbinenabschnitt der Anlage zum Kühlen von Elementen oder Spülen

von Hohlräumen zugeführt wird. Die Menge der entnommenen Luft ist in konventionellen Systemen allgemein unveränderlich. Ein konventionelles variables Verdichterentnahmeverteil oder eine konventionelle variable Verdichterentnahmöffnung kann verwendet werden, um einen veränderlichen Wert der Verdichterluftentnahme zu ermöglichen.

**[0021]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind unten unter Bezug auf Blockdiagramme von Systemen, Verfahren, Vorrichtungen und/oder Computerprogrammprodukten gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Die beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung sind im Anschluss hieran unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen vollständiger beschrieben, in denen die gleichen Bezugszeichen in den verschiedenen Zeichnungen die gleichen Elemente kennzeichnen. Tatsächlich kann diese Erfindung in zahlreichen verschiedenen Formen verkörpert sein und darf nicht als auf die hierin gelieferten Beispiele beschränkt angesehen werden; vielmehr werden diese Beispiele geliefert, damit diese Offenbarung den anwendbaren gesetzlichen Vorschriften genügt.

**[0022]** Wie gesagt stellt **Fig. 4** ein beispielhaftes Turbinensystem 200 zur Anwendung der modellgestützten Steuerung gemäß dem hierin geschaffenen Verfahren zum Steuern der Entnahmeströme aus dem Verdichter 106 dar, so dass die Anlageneffizienz für bestimmte Anwendungen gesteigert wird. Das in **Fig. 4** gezeigte, beispielhafte Turbinensystem 200 kann eine Gasturbine sein, die zum Antreiben eines (nicht gezeigten) elektrischen Generators verwendet wird. Wie in der beispielhaften Ausführungsform aus **Fig. 4** gezeigt kann das Turbinensystem 200 einen Verdichter 106, eine Turbine 110 und eine Brennkammer 112 enthalten, wobei der allgemeine Betrieb derselben oben genauer beschrieben ist.

**[0023]** Wie ebenfalls gezeigt kann das Turbinensystem 200 Entnahmeleitungen oder -kanäle 204 enthalten, die in Strömungsverbindung mit einem Entnahmepunkt oder einer Entnahmestufe des Verdichters 106 angeordnet sind. Die Entnahmleitung 204 ist allgemein das Leitungssystem, das die entnommenen Ströme aus dem Verdichter 106 zu der Turbine 110 führt. In einigen beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann der Entnahmepunkt in dem Verdichter 106 an der Stufe 9 und/oder der Stufe 13 angeordnet sein, wobei eine Entnahme auch an anderen Stufen stattfinden könnte. Gemäß einigen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die gesteuerten variablen Entnahmeströme an einer beliebigen Komponente in einer beliebigen Stufe der Turbine 110 zum Kühlen von Elementen oder Spülen von Hohlräumen wieder eingespeist werden, wie es Fachleute erkennen werden. Um eine Steuerung und Handhabung der Entnahmeströme während des Betriebs der Turbinenan-

lage 100 zu ermöglichen, kann die Entnahmleitung 204 mit einer oder mehreren variablen Entnahmöffnungen 208 verbunden sein oder diese enthalten. Wie in dem dargestellten Ausführungsbeispiel von **Fig. 4** gezeigt können sich die Entnahmleitungen 204 über die variablen Entnahmöffnungen 208 hinaus fortsetzen und den entnommenen Strom an eine gewünschte Stelle innerhalb der Turbine 110 führen.

**[0024]** In beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung können die variablen Entnahmöffnungen 208 eine oder mehrere Öffnungen mit einer variablen Geometrie aufweisen. Die Geometrie jeder Entnahmöffnung 208 kann gemäß einem oder mehreren Turbinenbetriebsparametern der Anlage gesteuert werden. Wie unten genauer erläutert ist, können die Entnahmöffnungen 208 die Mengen der Entnahmeströme steuern, um bestimmte gewünschte Betriebs-eigenschaften zu erhalten. In beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung können die variablen Entnahmöffnungen 208 in eine vorhandene oder konventionelle Entnahmleitung 204 eingebaut sein. In einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung können eine oder mehrere variable Entnahmöffnungen 208 betrieben werden, um wenigstens eine Öffnungseinstellung mit einem relativ geringen Durchfluss, eine Öffnungseinstellung mit einem großen Durchfluss und/oder weitere Einstellungen festzulegen. Eine Steuerungseinheit 210 kann die Einstellungen der einen oder mehreren variablen Entnahmöffnungen 208 so steuern, dass diese Einstellungen so vorgenommen werden können, wie es von einem Systembediener des Turbinensystems 200 gewünscht wird. Eine beispielhafte variable Entnahmöffnung 208 kann ein Ventil (z.B. ein hydraulisches Durchgangsventil, ein pneumatisches Ventil, ein Absperrventil etc.) sein, wobei der Hub des Ventils von der Steuerungseinheit 210 mit konventionellen Mitteln gesteuert werden kann.

**[0025]** Wie ein Fachmann erkennt, kann die Steuerungseinheit 210 zahlreiche Funktionen erfüllen, die eine Brennstoff-, Luft- und Emissionssteuerung, eine Ablaufsteuerung für den Turbinenbrennstoff und Hilfsfunktionen zum Hochfahren, Herunterfahren und Abkühlen, eine Synchronisation und Spannungsanpassung des Generators und des Systems, eine Überwachung aller Turbinen-, Steuerungs- und Hilfsfunktionen, eine Überwachung aller Turbinenbetriebsparameter, einen Schutz vor unsicheren und nachteiligen Betriebsbedingungen und/oder weitere ähnliche Funktionen umfassen. In einigen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die Steuerungseinheit 210 und die Art, auf die sie die Entnahmeströme steuert und beeinflusst, in ein konventionelles oder vorhandenes Mehrparameter-Turbinenanlagensteuerungssystem (z.B. vorhandene modellgestützte Steuerungssysteme oder Steuerungssysteme mit korrigierten Para-

metern) einbezogen sein. In einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung kann die Steuerungseinheit 210 für ein Gasturbinensystem eine Komponente und/oder ein Modul sein, das in vorhandene Turbinensteuerungssysteme, wie etwa das Speedtronic™ Mark VI Control System der General Electric Company, jedoch ohne eine Beschränkung auf dieses, einbezogen ist. Wie ein Fachmann erkennt, können die Aspekte der vorliegenden Erfindung, die das Messen, Überwachen, Berechnen und Steuern von Turbinenanlagenbetriebsparametern und des Turbinenanlagenbetriebs einschließlich der notwendigen Sensoren und Computer betätigten Mechanismen (z.B. den variablen Entnahmöffnungen 208) enthalten, in einem oder mehreren dieser konventionellen Systeme zu finden sein, die zum Funktionieren gemäß der hierin beschriebenen Erfindung abgewandelt sein können.

**[0026]** Wie in **Fig. 4** gezeigt nutzen beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung eine integrierte Steuerungseinheit 210, um durch die Steuerung einer oder mehrerer variabler Entnahmöffnungen 208 eine aktive Modulation der Entnahmeströme während des Betriebs zu bewirken. Die Steuerungseinheit 210 ist zum Steuern der Entnahmeströme als Reaktion auf einen oder mehrere gemessene oder berechnete Anlagenbetriebsparameter im Zusammenhang mit den verschiedenen Komponenten des Turbinensystems 200 in der Lage. Demnach können gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung ein oder mehrere Betriebsparameter im Zusammenhang mit dem Turbinensystem 200 von der Steuerungseinheit 210 über konventionelle Sensoren gemessen werden, die an einem oder mehreren Orten in dem Turbinensystem 200 angeordnet sind. Die Sensoren können über die verschiedenen Komponenten und/oder Stufen des Turbinensystems 200, die den Verdichter 106, die Brennkammer 112, die Turbine 110, die variablen Entnahmöffnungen 208, die Entnahmeeleitungen 204 und weitere enthalten, verteilt angeordnet sein und Informationen an die Steuerungseinheit (210) übermitteln, wie es erforderlich ist. Wie ein Fachmann erkennt, können die Sensoren Messwerte in Verbindung mit Ventilstellungen, einer Temperatur, einem Druck und weiteren derartigen Messwerten aufnehmen, wie es unten beschrieben ist. Konventionelle Turbinenanlagensensoren können in Steuerungssystemen mit geschlossenem Regelkreis verwendet werden. Die Steuerungseinheit 210 überwacht dann die gemessenen Informationen von den Sensoren (man beachte, dass die Sensoren auch als ein Teil der Steuerungseinheit 210 angesehen werden können) und zeichnet die gemessenen Informationen auf. Die Steuerungseinheit 210 kann die erhaltenen Daten von den Sensoren verwenden, um Berechnungen im Zusammenhang mit Betriebsparametern vorzunehmen, die nicht durch einen Sensor gemessen worden sind, wie z.B. der Flammtemperatur.

Diese Berechnungen können auf konventionellen modellgestützten Steuerungssystemen oder anderen ähnlichen Verfahren basieren. Wie unten erläutert kann die Steuerungseinheit 210 diese Berechnungen und die gesammelten Daten verwenden, um die Entnahmeströme zum Verbessern des Betriebs der Turbinenanlage 100 zu modulieren.

**[0027]** Im Einzelnen können die Betriebsparameter, die von der Steuerungseinheit 210 des Turbinensystems 200 gemessen, überwacht und aufgezeichnet worden sind, für beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung enthalten: Turbinenabgastemperatur und/oder -druck, Verdichterluftstrom, Verdichtereinlasstemperatur, Verdichterauslasstemperaturen, Verdichtereinlassdruck, Verdichterauslassdruck, Brennstoffstrom, Verbrennungsdynamiken, -verteilung und Einlassluftstrom und/oder weitere Parameter, wie es unten beschrieben ist. In einigen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann die Steuerungseinheit 210 einen oder mehrere Betriebsparameter (z.B. eine Brennkammeraustrittstemperatur, eine Turbinenreferenztemperatur, die Turbinenflammentemperatur etc.) in Abhängigkeit von gemessenen Anlagenbetriebsparametern berechnen, überwachen und aufzeichnen. Wie hierin erwähnt kann die Steuerungseinheit 210 die variable Entnahmöffnung 208 gemäß beliebigen von all diesen gemessenen, überwachten, aufgezeichneten und/oder berechneten Anlagenbetriebsparametern (d.h. Daten darüber, wie die Anlage arbeitet, und zu den Bedingungen, unter denen sie arbeitet) steuern.

**[0028]** Das Turbinensystem 200, das in **Fig. 4** gezeigt und unter Bezug auf **Fig. 4** beschrieben ist, wird nur als Beispiel gegeben. Es sind zahlreiche weitere Turbinensystembetriebsumgebungen, -architekturen und/oder -konfigurationen möglich. Dementsprechend dürfen die Ausführungsbeispiele der Erfindung nicht als auf irgendeine bestimmte Betriebsumgebung, Architektur oder Konfiguration beschränkt angesehen werden, die in **Fig. 4** gezeigt und unter Bezug auf **Fig. 4** beschrieben ist. Unten wird unter Bezug auf die **Fig. 5** eine detailliertere Beschreibung des Betriebs zum Steuern der Verdichterentnahmeströme aus einem Verdichter 106 eines Turbinensystems in Übereinstimmung mit dem, Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung geliefert.

**[0029]** Die **Fig. 5** und **6** stellen ein beispielhaftes Flussdiagramm zum Steuern der Entnahmefluströme aus einem Verdichter 106 eines Turbinensystems gemäß Ausführungsbeispielen dar, wobei **Fig. 5** ein Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung zeigt, während **Fig. 6** ein Ausführungsbeispiel zeigt, das als solches nicht beansprucht ist, aber in Kombination mit dem Ausführungsbeispiel nach **Fig. 5** verwendet werden kann. Es wird erkannt, dass ein oder

mehrere Blöcke und/oder Kombinationen von Blöcken in den **Fig. 5** und **6** durch Computerprogrammbefehle implementiert sein können. Diese Computerprogrammbefehle können in einen Vielzweckcomputer, einen Spezialzweckcomputer oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung geladen werden, um eine solche Maschine zu ergeben, dass die Befehle, die auf dem Computer oder der anderen programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführt werden, Mittel zum Implementieren der Funktionalität des jeweiligen Blockes des Blockdiagramms oder der Kombinationen von Blöcken in dem Blockdiagramm schaffen, wie es in den Beschreibungen unten im Einzelnen erläutert ist. Diese Computerprogrammbefehle können auch in einem computerlesbaren Speicher gespeichert sein, der einen Computer oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungseinrichtung zum Funktionieren in einer bestimmten Weise einschließlich der Implementierung der in dem Block oder den Blöcken festgelegten Funktionen veranlassen kann. Ausführungsbeispiele der Erfindung können auch durch ein Anwendungsprogramm implementiert sein, das auf einem Betriebssystem eines Computers läuft. Zusätzlich oder alternativ kann das Anwendungsprogramm (ganz oder zum Teil) in einem entfernten Speicher oder in einem Speicher angeordnet sein, um Ausführungsbeispiele der Erfindung in die Praxis umzusetzen, wobei Aufgaben durch entfernte Verarbeitungseinrichtungen ausgeführt werden, die durch ein Kommunikationsnetz angebunden sind.

**[0030]** Es wird auch erkannt, dass jeder Block und/oder jede Kombination von Blöcken in den **Fig. 5** und **6** durch auf Spezialzweckhardware gestützte Computersysteme, die die festgelegten Funktionen oder Elemente erfüllen, oder durch Kombinationen aus Spezialzweckhardware und Computerbefehlen implementiert sein kann. Diese Ausführungsbeispiele können auch mit anderen Computersystemkonfigurationen, die handgeföhrte Vorrichtungen, Multiprozessorsysteme, Mikroprozessor gestützte oder programmierbare Unterhaltungselektronik, Minicomputer, Mainframecomputer etc. enthalten, in die Praxis umgesetzt werden.

**[0031]** Die in **Fig. 5** dargestellte beispielhafte Ausführungsform bezieht sich auf ein Verfahren zum Erhöhen und/oder Maximieren der Turbinenabgabeleistung. Dieses Verfahren kann durch die Verwendung von konventionellen modellgestützten Steuerungssystemen und einer variablen Entnahme implementiert sein. Ein Aspekt dieser beispielhaften Ausführungsform besteht darin, dass die Turbinenanlage 100 ihre Leistungsabgabe steigern kann. Dies kann durch Anwendung der variablen Entnahme, um die Entnahme von Luft aus dem Verdichter 106 zu maximieren, und danach bei gegebenen Entnahmeströmen durch eine Neuformulierung der

oberen Temperaturgrenzen durch das Betreiben der Anlage bei Temperaturen erreicht werden, die oberhalb der zuvor akzeptierten oberen Grenzen liegen. Diese Art des Betriebs kann z.B. Bedienern die Flexibilität gewähren, die Abgabeleistung an heißen Tagen während des Spitzenbedarfs zu erhöhen.

**[0032]** Wie in **Fig. 5** gezeigt ist, kann ein beispielhaftes Verfahren 500 bei einem Block 502 beginnen, wo ein oder mehrere Turbinenanlagenbetriebsparameter von der Steuerungseinheit 210 überwacht werden. Wie erwähnt ermöglicht die Verwendung von Sensoren, dass eine Vielzahl von gemessenen und/oder berechneten Turbinenbetriebsparametern durch die Steuerungseinheit 210 aufgezeichnet und/oder überwacht wird. Demnach kann das Verfahren bei dem Block 502 einen oder mehrere Turbinenbetriebsparameter messen, berechnen, aufzeichnen und/oder überwachen, die einen oder mehrere der folgenden enthalten:

- a) Entnahmleitungsdruk für eine oder mehrere der Entnahmleitungen 204 (Diese Messung kann durch einen Druckwandler vorgenommen werden, der stromabwärts der variablen Entnahmöffnungen angeordnet ist.);
- b) Entnahmestromwert (Dieser kann berechnet werden, wenn z.B. die bekannten Abmessungen der Entnahmleitungen 204 und der gemessene Druck in den Entnahmleitungen 204 gegeben sind.);
- c) die Einstellungen der variablen Entnahmöffnungen 208;
- d) Verdichteraustrittsdruck;
- e) Umgebungsbedingungen;
- f) Turbineneinlasstemperatur („Tfire“) (Tfire kann berechnet werden, wenn die gemessene Gasturbinenauslasstemperatur und weitere gemessene Parameter gegeben sind.);
- g) Gasturbinenleistungsabgabewert/-lastwert;
- h) Gasturbinenauslasstemperatur.

**[0033]** Sofern nichts anderes gesagt ist, kann das Messen, Berechnen, Aufzeichnen und/oder Überwachen der Turbinenbetriebsparameter mit konventionellen Mitteln und Verfahren durchgeführt werden. Es können auch andere Betriebsparameter überwacht werden. Die Überwachung des Blocks 502 kann kontinuierlich oder periodisch aktualisiert werden, und die aktualisierten Daten können von anderen Schritten in dem Verfahren verwendet werden, wie es in dem Flussdiagramm eingezeichnet ist.

**[0034]** Bei dem Block 504 kann das Verfahren feststellen, ob der Systembediener die Anlagenabgabeleistung steigern und/oder die Anlagenabgabenleis-

tung maximieren möchte. Wenn festgestellt wird, dass der Systembediener die Anlagenabgabeleistung steigern und/oder maximieren möchte, kann das Verfahren zu dem Block 506 fortschreiten. Wenn festgestellt wird, dass der Systembediener die Anlagenabgabeleistung nicht steigern und/oder maximieren möchte, kann das Verfahren enden oder den Block 504 wiederholen. (Man beachte, dass die Feststellung, ob der Systembediener die Anlagenabgabeleistung steigern und/oder maximieren möchte, in einer bevorzugten alternativen Ausführungsform automatisch und ohne eine gegenwärtige oder zusätzliche Eingabe von dem Systembediener vorgenommen werden kann. Das heißt, das Verfahren kann die Anlagenabgabeleistung automatisch erhöhen und/oder maximieren, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Ein Systembediener, der ein beliebiger Entscheider sein kann, der den Betrieb der Turbinenanlage 100 steuert, kann diese Bedingungen festlegen. In bestimmten Fällen können diese Bedingungen solche Faktoren wie Umgebungsbedingungen und Strompreise während des Spitzenbedarfs enthalten. Auf diese Weise kann der Systembediener oder ein anderer Entscheider zum Beispiel eine Entscheidung fällen, wann es kostengünstig ist, die Anlagenabgabeleistung über ein Grundlastniveau hinaus zu erhöhen oder zu maximieren, und Regeln aufstellen, die es ermöglichen, dass dies automatisch geschieht.)

**[0035]** In dem Block 506 kann das Verfahren die variablen Entnahmöffnungen 208 in eine weiter geöffnete oder im Wesentlichen vollständig geöffnete Stellung (d.h. die Einstellung, die es ermöglicht, dass näherungsweise die größte Menge des Entnahmestroms von dem Verdichter 106 zu der Turbine 110 strömt) bringen. Wenn die variablen Entnahmöffnungen 208 schon auf die vollständig geöffnete Stellung eingestellt worden sind, kann das Verfahren zu dem Block 504 zurückkehren, ohne eine Aktion ausgeführt zu haben, oder in einigen Ausführungsbeispielen zu dem Block 510 fortschreiten.

**[0036]** In dem Block 510 und/oder den darauffolgenden Blöcken wendet sich das Verfahren allgemein dem Steuerungsmechanismus zu, der den Brennstoffstrom zu der Brennkammer 112 und/oder den Wert der Leistungsabgabe der Verbrennungsmaschine steuert. Das Verfahren kann z.B. das aktuelle Tf<sub>fire</sub> messen und/oder berechnen, das die gegenwärtige Turbineneinlasstemperatur wiedergibt, und Tf<sub>fire\_max</sub> bestimmen, das die maximale Turbineneinlasstemperatur wiedergibt, bei der die Turbinenanlage 100 auf der Grundlage der Temperaturgrenzen der Heißgaspfadelemente und der Entnahmemenge (d.h. der Kühlluftmenge, die zum Kühlen der Heißgaspfadelemente verfügbar ist) arbeiten kann. Tf<sub>fire\_aktuell</sub> und Tf<sub>fire\_max</sub> können unter Verwendung eines modellgestützten Steuerungsansatzes berechnet werden, wenn die aktuell-

ten gemessenen Turbinenbetriebsparameter gegeben sind, die im Block 502 beschrieben sind, die beliebige Änderungen der gemessenen Turbinenbetriebsparameter enthalten, die in Folge einer Einstellung der variablen Entnahmöffnungen 208 in eine weiter geöffnete oder im Wesentlichen vollständig geöffnete Stellung (durch den Betrieb des Blockes 506) und/oder der Erhöhung oder Verringerung der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112, die sich aus dem Betrieb der Blöcke 513 und 514 (wie unten erläutert) ergeben haben kann, auftreten. Wie ein Fachmann erkennt, kann die Berechnung von Tf<sub>fire\_aktuell</sub> durch das modellgestützte Steuerungssystem zu einem großen Teil z.B. auf der Grundlage von gemessenen Betriebsparametern, wie etwa Turbinenauslasstemperaturdaten, Umgebungsbedingungsdaten und/oder den Verdichterdruckverhältnisdaten vorgenommen werden. Wie ein Fachmann erkennt, kann die Berechnung von Tf<sub>fire\_max</sub> durch das modellgestützte Steuerungssystem zum großen Teil z.B. auf der Grundlage der Modellvorhersage von Betriebsparametern, die zum Beispiel den Wert des Entnahmestroms bei der gegebenen neuen Einstellung und die Temperaturbegrenzungen der Komponenten in dem Heißgaspfad enthalten, bei erhöhten Temperaturen Tf<sub>fire</sub> vorgenommen werden. Der für diese Berechnungen verwendete modellgestützte Steuerungsansatz kann z.B. Turbinenbetriebssteuerungssysteme, wie etwa MBC Full Note Cycle Control, das ARES-Modell und andere ähnliche Steuerungssysteme enthalten.

**[0037]** In dem Block 512 kann das Verfahren die berechneten Werte von Tf<sub>fire\_aktuell</sub> und Tf<sub>fire\_max</sub> vergleichen. Wenn Tf<sub>fire\_max</sub> Tf<sub>fire\_aktuell</sub> um einen vorbestimmten Betrag überschreitet, kann das Verfahren zu dem Block 513 zurückkehren, wo die Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112 erhöht werden kann. Wenn Tf<sub>fire\_aktuell</sub> Tf<sub>fire\_max</sub> um einen vorbestimmten Wert überschreitet, kann das Verfahren zu dem Block 514 fortschreiten, wo die Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112 verringert werden kann. Wenn Tf<sub>fire\_max</sub> und Tf<sub>fire\_aktuell</sub> im Wesentlichen gleich sind oder innerhalb eines vorbestimmten Bereiches umeinander liegen, kann gesagt werden, dass das Verfahren 500 einen näherungsweise maximalen Wert der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112 und/oder einen maximalen Leistungsabgabewert bestimmt hat. Wenn dies der Fall ist, kann das Verfahren 500 zu dem Block 516 fortschreiten.

**[0038]** In dem Block 513 kann das Verfahren die Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112 erhöhen. Das Verfahren kann danach zu dem Block 510 fortschreiten.

**[0039]** In dem Block 514 kann das Verfahren, wie beschrieben, die Brennstoffzufuhr zu der Brennkam-

mer 112 verringern. Das Verfahren kann danach zu dem Block 510 forschreiten.

**[0040]** In dem Block 516 kann das Verfahren, wie gezeigt, enden oder zu dem Block 502 zurückkehren. Auf diese Weise kann es das Verfahren 500 Turbinensystemen im Betrieb ermöglichen, durch die Verwendung der modellgestützten Steuerung und der variablen Entnahme die Abgabeeleistung zu erhöhen und/oder zu maximieren.

**[0041]** Fig. 6 stellt eine beispielhafte, als solche nicht beanspruchte Ausführungsform eines Verfahrens 600 dar. Das in Fig. 6 dargestellte Ausführungsbeispiel bezieht sich auf das Erhöhen der Turbinenanlageneffizienz und/oder das Optimieren der Turbineneffizienz durch die Verwendung einer modellgestützten Steuerung und einer variablen Entnahme. Wie unten genauer beschrieben ist, kann dieser Aspekt der vorliegenden Erfindung es z.B. einem Systembediener ermöglichen, die Entnahmeströme zu beschneiden, die unnötigerweise zu hoch sind, während auf einem Grundlast- oder Teillastniveau gearbeitet wird, so dass die Anlage effizienter betrieben wird. Wie erwähnt ermöglicht es die Verwendung von Sensoren, dass eine Vielzahl von gemessenen und/oder berechneten Turbinenbetriebsparametern durch die Steuerungseinheit 210 aufgezeichnet und/oder überwacht wird. Dementsprechend kann das Verfahren in dem Block 602 einen oder mehrere Turbinenbetriebsparameter, die einen oder mehrere der folgenden enthalten, messen, berechnen, aufzeichnen und/oder überwachen:

- a) Entnahmeleitungsdruck für eine oder mehrere der Entnahmeleitungen 204 (Diese Messung kann durch einen Drucksensor vorgenommen werden, der stromabwärts der variablen Entnahmeöffnungen angeordnet ist.);
- b) einen Entnahmestromwert (Dieser kann berechnet werden, wenn z.B. die bekannten Abmessungen der Entnahmeleitungen 204 und der gemessene Druck in den Entnahmeleitungen 204 gegeben ist.);
- c) die Einstellungen der variablen Entnahmeöffnungen 208;
- d) den Verdichteraustrittsdruck;
- e) Umgebungsbedingungen;
- f) die Turbineneinlasstemperatur („Tfire“) (Tfire kann berechnet werden, wenn die gemessene Gasturbinenauslasstemperatur und weitere gemessene Parameter gegeben sind.);
- g) die Gasturbinenabgabeeleistung/-lastwert; und
- h) die Gasturbinenauslasstemperatur.

**[0042]** Sofern nichts anderes gesagt ist, kann das Messen, Berechnen, Aufzeichnen und/oder Überwachen der Turbinenbetriebsparameter mit konventionellen Mitteln und Verfahren vorgenommen werden. Es können auch andere Betriebsparameter überwacht werden. Die Überwachung des Blockes 602 kann kontinuierlich oder periodisch aktualisiert werden, und die aktualisierten Daten können von anderen Schritten in dem Verfahren verwendet werden, wie es in dem Flussdiagramm eingezeichnet ist.

**[0043]** In dem Block 604 kann das Verfahren feststellen, ob der Systembediener die Entnahmestromwerte verringern oder minimieren möchte, so dass die Anlageneffizienz erhöht und/oder optimiert wird. (Man beachte, dass das Verfahren in einer bevorzugten alternativen Ausführungsform Entnahmestromwerte automatisch verringern oder minimieren kann, so dass die Effizienz während der meisten Betriebsbedingungen erhöht oder optimiert wird, d.h. bei allen oder den meisten Grundlast- oder Teillastwerten, ohne eine Eingabe von dem Systembediener zu empfangen. Das bedeutet, dass der Betrieb gemäß den anderen Schritten des Verfahrens 600 in einem solchen Ausführungsbeispiel das Default-Steuerungsschema sein kann, so dass die Anlage während den meisten Betriebsbedingungen bei einem verringerten oder minimieren Entnahmestromwert arbeitet.) Wenn in dem Block 604 festgestellt wird, dass der Systembediener den Entnahmestromwert verringern möchte, so dass die Anlageneffizienz erhöht und/oder optimiert wird, kann das Verfahren zu dem Block 606 forschreiten. Wenn festgestellt wird, dass der Systembediener den Entnahmestromwert nicht senken möchte, um die Anlageneffizienz zu erhöhen und/oder zu optimieren, kann das Verfahren den Block 604 wiederholen.

**[0044]** In dem Block 606 kann das Verfahren ein kritisches Verhältnis gemessener Drücke berechnen. Wie ein Fachmann erkennt, ist das kritische Verhältnis gemessener Drücke das Druckverhältnis über der Entnahmleitung 204, d.h. das Verhältnis des Druckes in der Entnahmleitung zu dem Druck an dem Auslass des Verdichters 106. Das gemessene Druckniveau in der Entnahmleitung 204 kann durch einen Druckwandler gemessen werden, der stromabwärts von der variablen Entnahmeöffnung 208 angeordnet ist. Das Druckniveau an dem Auslass des Verdichters 106 kann durch konventionelle Mittel an dem Auslass des Verdichters 106 gemessen werden. In den Fällen, in denen mehr als eine Entnahmleitung 204 vorhanden ist, z.B. in einem System, das jeweils eine Entnahmleitung 204 aufweist, die Verdichterluft aus der neunten und der dreizehnten Stufe des Verdichters 106 entnimmt, kann für jede einzelne Entnahmleitung 204 ein Wert für das kritische Verhältnis gemessener Drücke berechnet werden.

**[0045]** In dem Block 608 kann das Verfahren ein planmäßiges kritisches Druckverhältnis bestimmen. Wie ein Fachmann erkennt, ist das planmäßige kritische Druckverhältnis ein vorbestimmter Wert oder eine vorbestimmte Grenze, die durch die Ausführungen der Heißgaspfadkomponenten festgelegt ist. Der planmäßige kritische Druckwert bezeichnet den Schwellenwert, oberhalb dessen die Heißgaspfadkomponenten nicht ausreichend gekühlt werden, sich überhitzen können oder die Lebensdauer der Teile beeinträchtigen können. Im Einzelnen kann die Bestimmung des planmäßigen kritischen Druckverhältnisses in einigen Fällen allgemein drei betriebliche Eigenschaften in Verbindung mit der Bereitstellung eines ausreichenden Entnahmestroms (d.h. Kühlmittel) für die Heißgaspfadelemente enthalten. Diese betrieblichen Eigenschaften können eine Rückflussreserve bzw. -marge, Radraumtemperaturmesswerte (die einen ausreichenden Radraumschlüsselstrom anzeigen können) und tatsächliche Metalltemperaturen in dem Heißgaspfad enthalten. Allgemein stellt das Betreiben der Turbinenanlage 100 in der Weise, dass der Wert des kritischen Verhältnisses gemessener Drücke kleiner als das planmäßige kritische Druckverhältnis bleibt, sicher, dass die Heißgaspfadkomponenten bei akzeptablen Temperaturen arbeiten. Wie ein Fachmann erkennt, kann das planmäßige kritische Druckverhältnis ein einziger Wert oder eine Liste von Werten sein, die von der gegenwärtigen Lasteinstellung, Umgebungsbedingungen und/oder weiteren Faktoren abhängt.

**[0046]** In dem Block 610 kann das Verfahren für eine oder alle der Entnahmeeleitungen 204 das kritische Verhältnis gemessener Drücke von dem Block 606 mit dem planmäßigen kritischen Druckverhältnis von dem Block 608 vergleichen. Wenn festgestellt wird, dass das kritische Verhältnis gemessener Drücke das planmäßige kritische Druckverhältnis um einen vorbestimmten Betrag überschreitet, kann das Verfahren zu dem Block 614 fortschreiten. Wenn festgestellt wird, dass das planmäßige kritische Druckverhältnis das kritische Verhältnis gemessener Drücke um einen vorbestimmten Betrag überschreitet, kann das Verfahren zu dem Block 612 fortschreiten. Wenn festgestellt wird, dass das kritische Verhältnis gemessener Drücke und das planmäßige kritische Druckverhältnis im Wesentlichen gleich sind oder in einem vorbestimmten Bereich umeinander liegen, kann das Verfahren zu dem Block 616 fortschreiten.

**[0047]** In dem Block 612 kann das Verfahren die variablen Entnahmeflüsse auf eine Stellung einstellen, die den Entnahmestrom verringert, der von dem Verdichter 106 zu der Turbine 110 fließt, d.h. die variable Entnahmeflussöffnung 208 auf eine weiter geschlossene Position einstellen. Dies kann getan werden, weil das planmäßige kritische Druckverhältnis, das das kritische Verhältnis gemessener Drücke

um einen vorbestimmten Betrag überschreitet, anzeigen kann, dass dem Verdichter übermäßig Kühlmittel entnommen wird. Das Verfahren kann danach zu dem Block 606 fortschreiten.

**[0048]** In dem Block 614 kann das Verfahren die variablen Entnahmeflüsse auf eine Stellung einstellen, die den Entnahmestrom, der von dem Verdichter 106 zu der Turbine 110 fließt, vergrößert, d.h. die variablen Entnahmeflüsse auf eine weiter geöffnete Position einstellen. Dies kann notwendig sein, weil das kritische Verhältnis gemessener Drücke, das das planmäßige kritische Druckverhältnis um einen vorbestimmten Betrag überschreitet, anzeigen kann, dass dem Verdichter 106 nicht genügend Kühlmittel entnommen wird. Das Verfahren kann danach zu dem Block 606 fortschreiten.

**[0049]** In dem Block 616 kann das Verfahren wie gezeigt enden oder zu dem Block 602 zurückkehren. Wie ein Fachmann erkennt, ermöglicht das Verfahren 600 im Betrieb einem Systembediener, einen unnötigen Entnahmestrom so zu beschneiden, dass die Effizienz der Turbinenanlage 100 erhöht und/oder maximiert wird.

**[0050]** Die beispielhaften Verfahrenselemente aus den **Fig. 5** und **6** sind im Wege eines Beispiels gezeigt, wobei auch andere Verfahrens- und Flussbeispiele eine geringere oder größere Anzahl von Elementen aufweisen können, und derartige Elemente können gemäß anderen Ausführungsbeispielen der Erfindung auch in alternativen Konfigurationen angeordnet sein. Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung können die technischen Wirkungen einer Verbesserung und/oder Maximierung der Abgabeleistung und/oder der Effizienz einer Turbinenanlage 100 durch die Nutzung variabler Entnahmeströme (durch eine oder mehrere variable Entnahmeflüsse hindurch) und eines modellgestützten Steuerungssystems bieten.

**[0051]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können die Verfahrensschritte der **Fig. 5** und **6** außerdem zu einem kombinierten/einzigen Verfahren kombiniert werden, wie ein Fachmann erkennen wird. In einem Beispiel für diese Art von Ausführungsform kann das Verfahren z.B. die Entnahmestromwerte gemäß dem Verfahren aus **Fig. 6** automatisch verringern oder minimieren, so dass die Effizienz unter den meisten Betriebsbedingungen (d.h. bei allen oder den meisten Grundlast- oder Teillastniveaus ohne Empfang einer Eingabe von dem Systembediener) gesteigert oder optimiert wird. Nach dem Empfang einer Eingabe von dem Systembediener (oder, wie beschrieben, automatisch nach der Erfüllung bestimmter festgelegter Bedingungen) kann das Verfahren bei erhöhten oder maximierten Entnahmestromwerten die Abgabeleistung erhöhen oder maximieren.

**[0052]** Wie ein Fachmann erkennt, ist zum Zwecke der Kürze und unter Berücksichtigung der Fähigkeiten eines Fachmanns nicht jeder mögliche Schritt hier im Einzelnen erörtert worden. Weiterhin werden Fachleute anhand der obigen Beschreibung verschiedener beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung Verbesserungen, Änderungen und Abwandlungen erkennen. Weiterhin sollte deutlich werden, dass sich das Vorangegangene nur auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Anmeldung bezieht und zahlreiche Änderungen und Abwandlungen hieran vorgenommen werden können.

**[0053]** Ein Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage 100 wird geschaffen, wobei der Entnahmestrom eine Zufuhr von verdichteter Luft enthält, die dem Verdichter 106 entnommen und durch Entnahmeleitungen 204 der Turbine 110 zugeführt wird, wobei die Entnahmeleitungen 204 eine variable Entnahmeöffnung 208 aufweisen und das Verfahren die Schritte enthält: Messen einer Anzahl von Turbinenanlagenbetriebsparametern; Überwachen der gemessenen Betriebsparameter der Turbinenanlage 100 durch eine Steuerungseinheit 210; Einstellen der variablen Entnahmeöffnungen 210 auf eine Stellung, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms ermöglicht; Berechnen wenigstens eines berechneten Betriebsparameters, der wenigstens eine aktuelle Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und eine maximale Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) enthält, in Abhängigkeit von einer modellgestützten Steuerung und den gemessenen Betriebsparametern; und Beeinflussen der Einstellung der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer 112, so dass durch Vergleichen der Werte der aktuellen Turbineneinlasstemperatur und der maximalen Turbineneinlasstemperatur ein erhöhter und/oder maximaler Wert der Anlagenabgabeleistung bestimmt wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines variablen Entnahmestroms in einer Turbinenanlage (100), die einen Verdichter (106), eine Brennkammer (112) und eine Turbine (110) enthält, wobei der Entnahmestrom eine Zufuhr verdichteter Luft, die dem Verdichter (106) entnommen und unter Umgehung der Brennkammer (112) durch eine oder mehrere Entnahmeleitungen (204) der Turbine (110) zugeführt wird, wobei wenigstens eine der Entnahmeleitungen (204) eine variable Entnahmeöffnung (208) aufweist, die eine Anzahl von Einstellungen aufweist, die von einer Steuerungseinheit (210) gesteuert werden, wobei das Verfahren die Schritte enthält: Messen einer Anzahl von Turbinenanlagenbetriebsparametern, wobei die gemessenen Betriebsparameter wenigstens einen mit einer Temperatur in der

Turbine (110) zusammenhängenden Parameter, einen mit der Einstellung der variablen Entnahmeöffnung (208) zusammenhängenden Parameter, einen mit dem Wert des Entnahmestroms zusammenhängenden Parameter und einen mit einer Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer (112) zusammenhängenden Parameter umfassen;

Überwachen der gemessenen Betriebsparameter der Turbinenanlage (100) durch die Steuerungseinheit (210);

Einstellen wenigstens einer variablen Entnahmeöffnung (208) auf eine Einstellung, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms ermöglicht;

Berechnen wenigstens eines berechneten Betriebsparameters, der wenigstens eine aktuelle Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und eine maximale Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) enthält, in Abhängigkeit von einer modellgestützten Steuerung und den gemessenen Betriebsparametern;

Beeinflussen der Einstellung der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer (112) in der Weise, dass durch Vergleichen der Werte der aktuellen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und der maximalen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) ein erhöhter und/oder näherungsweise maximaler Wert der Leistungsabgabe der Anlage bestimmt wird; und Feststellen, ob ein Systembediener die Anlagenabgabeleistung erhöhen und/oder maximieren möchte; wobei das Verfahren für den Fall, dass festgestellt wird, dass der Systembediener die Anlagenabgabeleistung erhöhen und/oder maximieren möchte, aufweist:

Einstellen wenigstens einer der variablen Entnahmeöffnungen (208) auf eine Einstellung, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms ermöglicht;

Berechnen der gegenwärtigen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_aktuell}$ ) und der maximalen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) in Abhängigkeit von den gegebenen Änderungen der gemessenen Betriebsparameter, die sich aus der Einstellung ergeben, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms für die wenigstens eine variable Entnahmeöffnung (208) ermöglichen, wobei die Berechnung der maximalen Turbineneinlasstemperatur ( $T_{fire\_max}$ ) auf der Grundlage einer Modellvorhersage von Betriebsparametern bei erhöhten gegenwärtigen Turbineneinlasstemperaturen ( $T_{fire}$ ) und unter Berücksichtigung von Änderungen der gemessenen Betriebsparameter, die in Folge einer Einstellung der wenigstens einen der variablen Entnahmeöffnungen (208) auf eine Einstellung, die einen näherungsweise maximalen Wert des Entnahmestroms ermöglicht, und der Beeinflussung der Einstellung der Brennstoffzufuhr zu der Brennkammer (112) auftreten, dem näherungsweisen Wert des Entnahmestroms bei der Einstellung, die einen näherungsweise maximalen Wert

des Entnahmestroms für die wenigstens eine variable Entnahmeöffnung (208) zulässt, und einer näherungsweise maximalen Brennkammeraustrittstemperatur, bei der die Turbinenanlage (100) bei den gegebenen Temperaturgrenzen der Heißgaspfadelemente arbeiten kann, erfolgt; und Vergleichen der gegenwärtigen Turbineneinlassstemperatur und der berechneten maximalen Turbineneinlassstemperatur.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

der variable Entnahmestrom Entnahmestromwerte umfasst, die in Abhängigkeit von der Einstellung der variablen Entnahmeöffnung (208) variieren; und die variable Entnahmeöffnung (208) wenigstens zwei diskrete Einstellungen aufweist, die eine weniger weit geöffnete Einstellung, bei der ein verringelter Wert des Entnahmestroms durch die variable Entnahmeöffnung (208) ermöglicht wird, und eine weiter geöffnete Einstellung, bei der ein erhöhter Wert des Entnahmestroms durch die variable Entnahmeöffnung (208) ermöglicht wird, enthalten.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die modellgestützte Steuerung ein Verfahren zum Steuern einer Turbinenanlage (100) in Abhängigkeit von einem Computer implementierten Modell des Betriebs der Turbinenanlage (100) enthält und die Steuerung der Turbinenanlage (100) von einer Anzahl gemessener Betriebsparameter und berechneter Betriebsparameter abhängt, wobei die berechneten Betriebsparameter in Abhängigkeit von dem Computer implementierten Modell des Betriebs und den gemessenen Betriebsparametern berechnet werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Teil des entnommenen Stroms den Heißgaspfadelementen in der Turbine (110) zugeführt wird, so dass der entnommene Strom die Elemente während des Betriebs kühl.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei  
die Messung der gemessenen Betriebsparameter durch eine Anzahl von Sensoren vorgenommen wird, die wenigstens einen Drucksensor enthalten, der stromabwärts von der variablen Entnahmeöffnung (208) angeordnet ist; und  
die Sensoren Betriebsparameterdaten sammeln und die Betriebsparameterdaten an die Steuerungseinheit (210) übermitteln.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

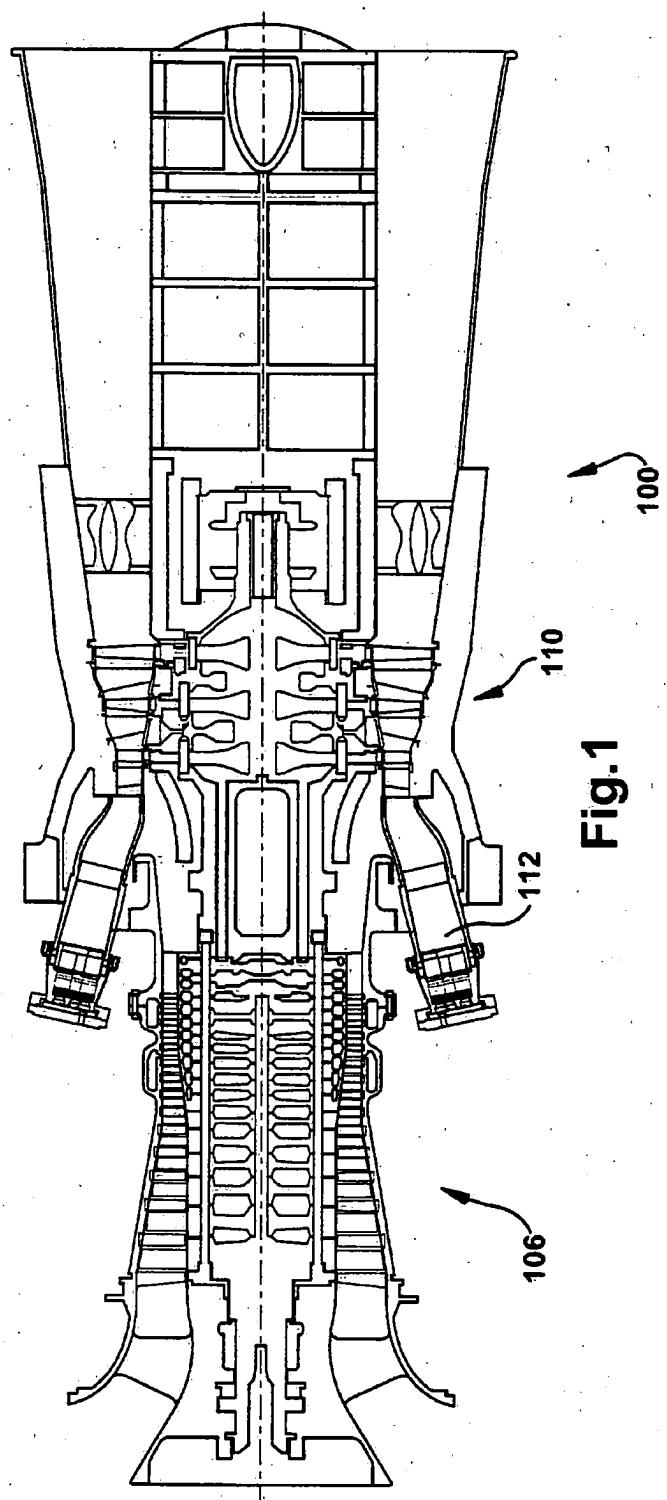
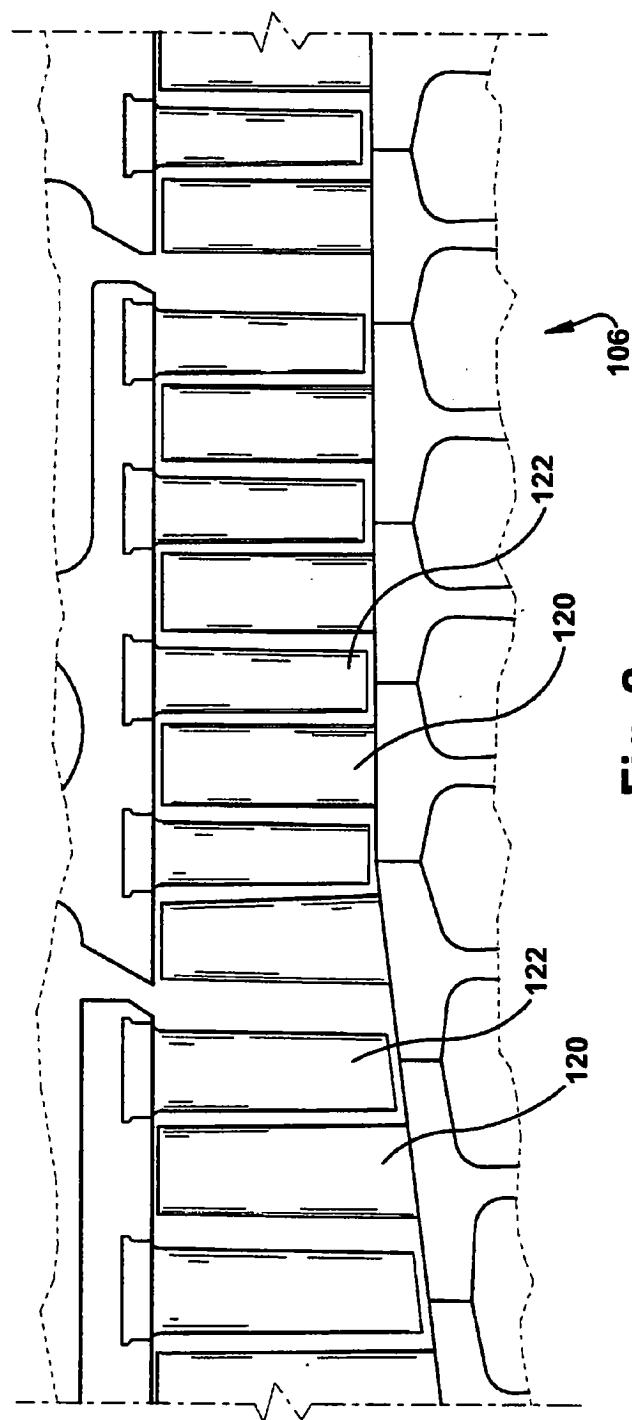


Fig.1



**Fig. 2**

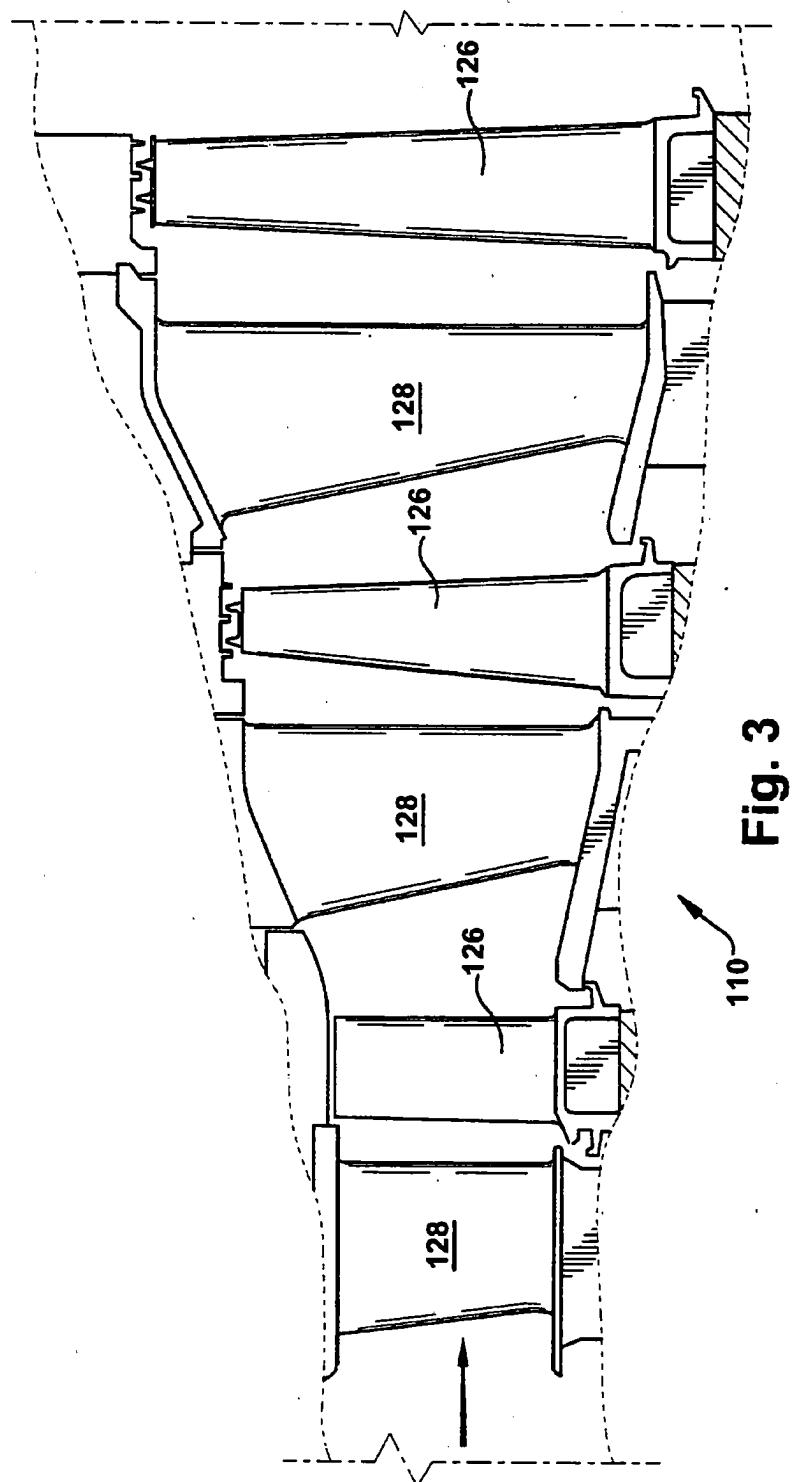
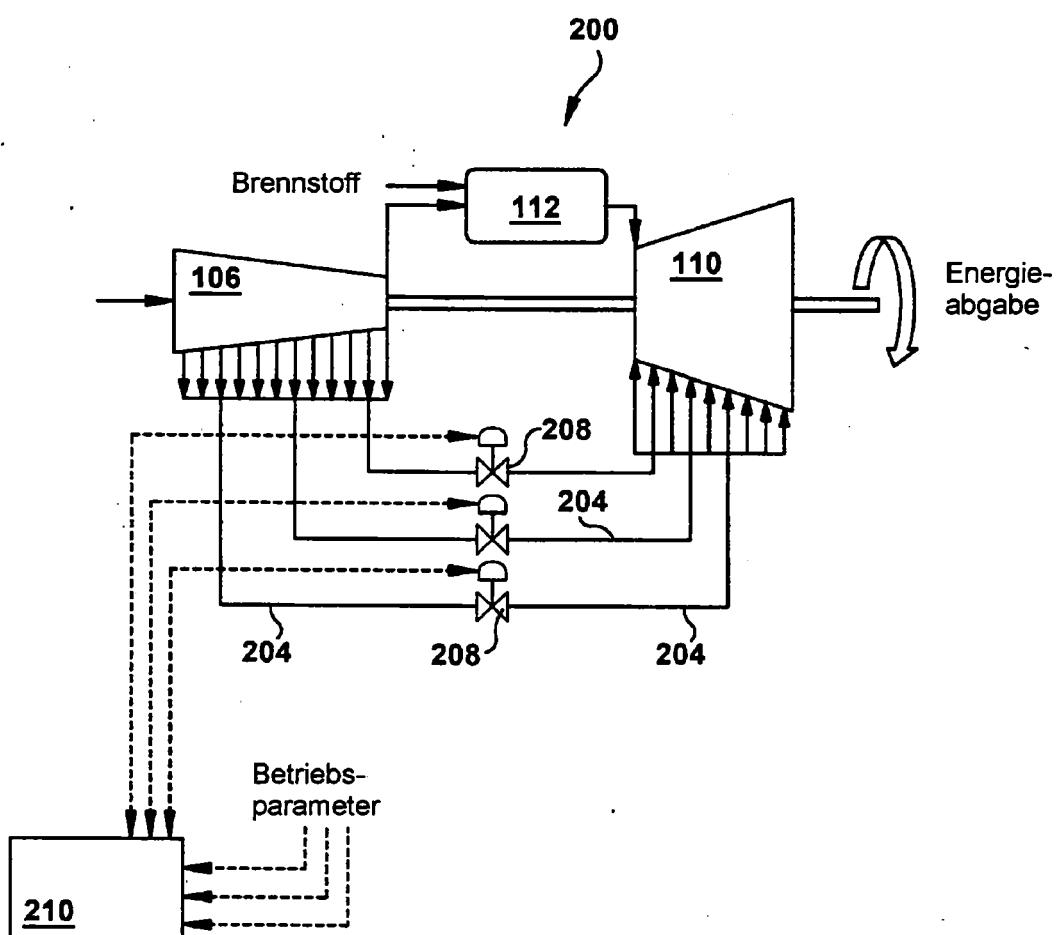
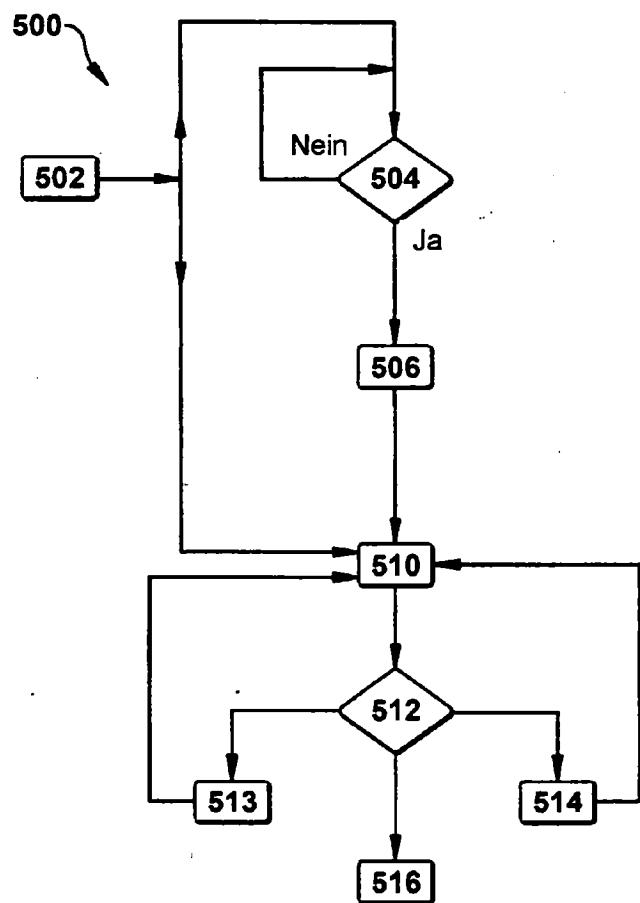


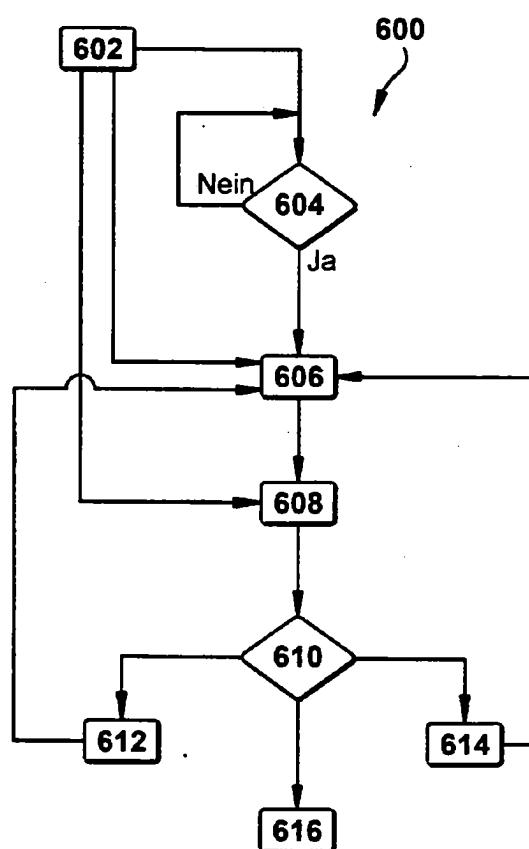
Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**