

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. September 2013 (19.09.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/135568 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2013/054681
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 8. März 2013 (08.03.2013)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:** 10 2012 204 022.6 14. März 2012 (14.03.2012) DE
- (71) **Anmelder:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) **Erfinder:** BAUMGARTNER, Robert; Lagerstr. 59a, 82178 Puchheim/Bhf. (DE). EVERS, Daniel; Gambsweg 4, 83624 Otterfing (DE). KORNBICHLER, Andreas; Rieder Straße 16, 83623 Dietramszell (DE). SCHWULERA, Ulrich; Fließnerstr. 27, 40878 Ratingen (DE). ZIROFF, Andreas; Reichenbachstraße 31, 80469 München (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

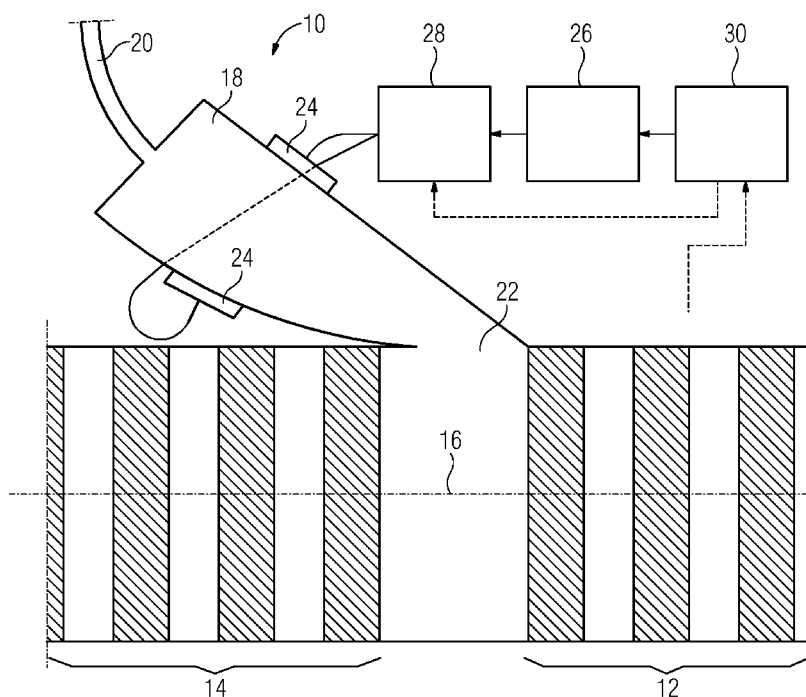
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** GAS TURBINE AND METHOD FOR OPERATING IT

(54) **Bezeichnung :** GASTURBINE UND VERFAHREN ZU DEREN BETRIEB



(57) **Abstract:** The invention relates to a gas turbine (10) having a combustion chamber (18) for burning a fuel/air mixture and a turbine device (12) which can be driven by means of the combustion gases in order to generate mechanical energy, wherein the gas turbine (10) comprises at least one radiating device (24) for radiating an alternating electromagnetic field into the combustion chamber (18) with the input of thermal energy.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Gasturbine (10) mit einer Brennkammer (18) zum Verbrennen eines Treibstoff-Luft-Gemisches sowie einer Turbineneinrichtung (12), welche mittels der Verbrennungsgase zum Erzeugen mechanischer Energie antreibbar ist, wobei die Gasturbine (10) zumindest eine Abstrahlvorrichtung (24) zum Abstrahlen eines elektromagnetischen Wechselfelds in die Brennkammer (18) unter Eintrag thermischer Energie umfasst.

WO 2013/135568 A2



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Gasturbine und Verfahren zu deren Betrieb

5 Die Erfindung betrifft eine Gasturbine nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Gasturbine nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 8.

10 In Gasturbinen wird ein Brennstoff-Luft-Gemisch in einer Brennkammer verbrannt und der heiße Abgasstrahl einer Turbine zugeführt, mittels welcher die Wärmeenergie der Verbrennung in mechanische Energie umgesetzt wird. Während des Betriebs wird Brennstoffmenge und Luftzufuhr zur Brennkammer so eingestellt, dass die Turbine bei maximalem Wirkungsgrad und minimaler mechanischer Belastung die gewünschte Leistung erzeugt.

Es kann jedoch vorkommen, dass durch Turbulenzen im Abgasstrom die Flamme in der Brennkammer zu oszillieren beginnt. Meist ändert sie dabei mit einer Frequenz von einigen 10 Hz ihre Ausdehnung und Temperatur und damit die Energieverteilung im Brennraum. Dies kann wiederum zu Druckschwankungen im Abgasstrom führen, die Torsionsschwingungen des Turbinenrotors verursachen. Durch die mechanische Kopplung des Turbinenrotors an weitere abtriebsseitige Komponenten, wie beispielsweise Kupplungen, Getriebe, Generatoren oder dergleichen, werden derartige Torsionsschwingungen weiter übertragen und führen zu Verschleiß nicht nur an der Turbine selbst sondern auch an den weiteren genannten Komponenten.

30 Es ist bekannt, derartige Turbulenzen mittels geeigneter Leitschaufeln (beispielsweise sogenannten variable inlet guide vanes) zu unterbinden bzw. abzuschwächen. Auch durch die Regelung der Brennstoffmenge können Torsionsschwingungen an der Turbine minimiert werden. Eine solche Wahl der Verbrennungsparameter kann jedoch zu suboptimalen Wirkungsgraden und Leistungsabgaben führen.

Es ist ferner bekannt, mittels eingestrahelter elektromagnetischer Felder die Flammenform in der Brennkammer durch Kraftausübung auf das ionisierte Gas der Flamme zu beeinflussen, um die Verbrennung zu verbessern.

5

Die US 2012/0023950 A1 offenbart einen so genannten Flammenhalter zum Halten einer Flamme, beispielsweise in einer Brennkammer einer Gasturbine. In der Brennkammer wird ein Treibstoff-Luft-Gemisch verbrannt, wodurch eine Flamme in der Brennkammer entsteht.

10

Die Gasturbine umfasst eine Turbineneinrichtung, welche mittels der Verbrennungsgase zum Erzeugen mechanischer Energie antreibbar ist.

15

Dabei ist zumindest eine Abstrahlvorrichtung zum Einstrahlen eines elektromagnetischen Felds in die Brennkammer vorgesehen. Das elektromagnetische Feld kann dabei ein elektromagnetisches Wechselfeld zum Halten, d. h. zum Führen der Flamme in der Brennkammer sein.

20

Der DE 603 20 344 T2 ist eine Gasturbinen-Brennkammer als bekannt zu entnehmen. In einem Brennkammergehäuse ist eine Auskleidung vorgesehen. Die Gasturbinen-Brennkammer umfasst auch einen Bypasskanal, der in der Auskleidung vorgesehen und so aufgebaut ist, dass er eine Steuerung der Strömungsgeschwindigkeit bzw. -menge von in eine Primärverbrennungszone über ein Verwirbelungselement gelieferter Luft ermöglicht, indem ein Teil der Luft durch den Bypasskanal geleitet wird. Dabei ist es vorgesehen, dass die Gasturbine-Brennkammer ferner einen aus einer magnetischen Substanz gebildeten Schwebekörper umfasst, der in dem Bypasskanal vorgesehen ist, um den Bypasskanal durch die Bewegungsposition des Schwebekörpers zu öffnen und zu schließen. Darüber hinaus ist eine elektromagnetische Spule vorgesehen, die außerhalb des Brennkammergehäuses entsprechend der Position des Schwebekörpers so vorgesehen ist, dass sie den Schwebekörper bewegt.

35

Aus der DE 36 26 356 A1 geht ein Verfahren zur Erhöhung der Gasdynamik und Schadgasbeseitigung durch additive Wechselwirkungen auf Elementarteilchen und elektrische Ladungen hervor. Das Verfahren dient zum Nachbehandeln von Abgas, indem in das
5 Abgas magnetische Wechselwirkungsfelder eingetragen werden.

Schließlich offenbart die DE 10 2007 046 931 A1 ein Verfahren zur Neutralisierung von Stickoxiden, die bei der Verbrennung von Treibstoffen in Verbrennungsmotoren entstehen. Die Zer-
10 setzung der Stickoxide erfolgt durch ein elektromagnetisches Wechselfeld, welches in Abgas, welches ein Gehäuse durchströmt, eingetragen wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine
15 Gasturbine nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 8 bereitzustellen, die bei möglichst optimalem Wirkungsgrad und möglichst optimaler Leistungsabgabe einen besonders verschleißarmen Turbinenbetrieb ermöglichen.

20 Diese Aufgabe wird durch eine Gasturbine mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 8 gelöst.

25 Eine solche Gasturbine umfasst eine Brennkammer zum Verbrennen eines Treibstoff-Luft-Gemischs, sowie eine Turbineneinrichtung, welche mittels der Verbrennungsgase zum Erzeugen mechanischer Energie antreibbar ist. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Gasturbine zumindest eine Abstrahl-
30 vorrichtung zum Abstrahlen eines elektromagnetischen Wechselfelds in die Brennkammer unter Eintrag thermischer Energie umfasst.

Durch Einstrahlen eines derartigen, vorzugsweise hochfrequenten Wechselfeldes wird also nicht nur die Flammenform beeinflusst, sondern vielmehr direkt thermische Energie in die
35 Flamme eingetragen. Dies beruht auf den elektrischen Verlusten bei der Wechselwirkung des Wechselfeldes mit dem ioni-

sierten Plasma der Flamme. Durch Einkoppeln des elektromagnetischen Wechselfeldes wird somit die Flammentemperatur erhöht. Hierdurch wird es möglich, beispielsweise auf Grundlage von Turbulenzen im Treibstoffstrom auftretende Oszillationen der Flammtemperatur durch entsprechende Eingriffe mittels des eingestrahlten elektromagnetischen Wechselfeldes zu glätten bzw. ganz zu unterbinden. Die Verbrennung in der Turbine wird somit gleichmäßiger, sodass die aus Verbrennungsozillationen resultierenden Torsionsschwingungen des Turbinenrotors und der mechanisch mit diesen abtriebsseitig gekoppelten Komponenten vermieden werden können.

Die Regelung des Gasgemisches in der beschriebenen Gasturbine kann somit auf einem optimalen Wirkungsgrad und eine optimale Leistungsabgabe hin ausgelegt werden, ohne dass auf die Flammenstabilität Rücksicht genommen werden muss. Insgesamt kann eine derartige Turbine somit mit kleinstmöglichem Verschleiß bei optimalen Wirkungsgrad und optimaler Leistungsabgabe betrieben werden.

Die Abstrahlvorrichtung kann dabei als Antenne, Spule, Kondensatorplatte oder dergleichen ausgebildet sein. Insbesondere zweckmäßig ist es, wenn die Abstrahlvorrichtung zumindest ein paar von an gegenüberliegenden Seiten der Brennkammer angeordneten Spulen, Antennen oder dergleichen umfasst.

Es ist ferner zweckmäßig, die Abstrahlvorrichtung mit einer Sendevorrichtung zum Erzeugen eines elektromagnetischen Wechselfeldes zu koppeln, die idealerweise mit einer zugeordneten Steuereinrichtung zum Ansteuern der Sendevorrichtung gekoppelt ist.

Um zu bestimmen, wie das elektromagnetische Wechselfeld idealerweise ausgelegt werden muss, um den momentanen Verbrennungsparametern zu entsprechen, ist es zweckmäßig, die Steuervorrichtung mit zumindest einem Sensor zum Erfassen eines Betriebsparameters der Gasturbine zu koppeln. Beispielsweise kann durch die Messung von Beschleunigungen am Turbinenrotor,

oder der Torsion am Turbinenrotor eine Oszillation der Flamme detektiert werden und das elektromagnetische Wechselfeld entsprechend angepasst werden, um dieser entgegenzuwirken.

5 Auch eine direkte Messung des Flammzustandes ist möglich. Hierzu wird die Steuervorrichtung zum Messen einer Reflektions- und/oder Transmissionseigenschaft der Abstrahlvorrichtung ausgelegt. Reflektion bzw. Transmission des elektromagnetischen Feldes, welches in die Brennkammer eingekoppelt
10 wird, hängt vom jeweiligen Zustand der Flamme ab. Insbesondere ändern sich mit der Flammentemperatur Permittivität, dielektrische Verluste und Impedanz des Gases in der Brennkammer, sodass durch Beobachtung des elektromagnetischen Wechselfelds selbst Rückschlüsse auf den Flammzustand getroffen
15 werden können, sodass eine Glättung von Flammenoszillationen möglich wird.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben einer Gasturbine, bei welcher ein Treibstoff-Luft-Gemisch in
20 einer Brennkammer verbrannt und die entstehenden Verbrennungsgase zur Erzeugung mechanischer Energie einer Turbineneinrichtung zugeleitet werden. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass im Bereich der Brennkammer in Abhängigkeit von einem Verbrennungszustand des Gas-Luft-Gemisches ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt wird, wobei durch das Wechselfeld thermische Energie in die Brennkammer eingetragen
25 wird.

Wie bereits anhand der erfindungsgemäßen Gasturbine erläutert, können auf diese Art turbulenzbedingte Oszillationen der Flamme, die zu Druckschwankungen und damit Torsionsschwingungen in der Turbineneinrichtung führen könnten, durch
30 zusätzlichen Wärmeeintrag kompensiert und geglättet werden, sodass die Turbine an ihrem optimalen Betriebspunkt bei gleichzeitigem normalen Verschleiß betrieben werden kann.
35

Die Energiezuführung über das Brennkammervolumen muss dabei nicht homogen sein. Unter gewissen Umständen kann es zweckmä-

Big sein, wenn lediglich einem Teilbereich einer Flamme in der Brennkammer durch Beaufschlagung mit dem elektromagnetischen Wechselfeld thermische Energie zugeführt wird. Beispielsweise können so Flammenrandbereiche zusätzlich aufge-
5 heizt werden, um eine homogenere Verbrennung zu gewährleisten.

Die Frequenz des erzeugten Wechselfeldes wird vorzugsweise in Abhängigkeit von zumindest einem Zustandsparameter der Flamme
10 eingestellt. Mit anderen Worten wird die Einstrahlung elektromagnetischer und damit thermischer Energie in die Brennkammer vom aktuellen Verbrennungszustand abhängig gemacht, so dass Abweichungen von einem vorgegebenen Sollzustand korrigiert werden können.

15 Zweckmäßigerweise wird dabei eine Impedanz einer Sendeeinrichtung zum Erzeugen des elektromagnetischen Wechselfelds in Abhängigkeit von zumindest einem Zustandsparameter der Flamme eingestellt. Hierdurch können temperaturbedingte Schwankungen
20 der Permittivität und der dielektrischen Verluste in der Brennkammer kompensiert werden, sodass immer der gewünschte Energiebetrag zuführbar ist.

Der zumindest eine Zustandsparameter der Flamme kann, wie bereits anhand der erfindungsgemäßen Gasturbine geschildert,
25 durch Messen zumindest eines Betriebsparameters der Gasturbine bestimmt werden. Da sich Druckschwankungen in der Brennkammer unmittelbar auf die Turbineneinrichtung auswirken und dort beispielsweise Torsionen erzeugen, kann durch Messung
30 des Torsionszustands des Turbinenrotors auf dem Flammenzustand in der Brennkammer rückgeschlossen werden. Auch Druck- bzw. Temperaturmessungen können hierbei Anwendung finden.

Es ist zusätzlich oder alternativ möglich, den wenigstens einen Zustandsparameter der Flamme durch Messung einer Absorp-
35 tions- und/oder Transmissionseigenschaft einer Abstrahlvorrichtung zum Abstrahlen des elektromagnetischen Wechselfelds in dem Brennraum zu bestimmen, da die Absorption bzw. Trans-

mission von elektromagnetischen Wellen in der Brennkammer unmittelbar vom Flammzustand abhängen.

Es ist ferner zweckmäßig, das elektromagnetische Wechselfeld
5 räumlich und/oder zeitlich zu modulieren, so dass alle Teilbereiche der Brennkammer ungeachtet ihrer eigenen zeitlichen Variation jeweils auf die gewünschten Optimalbedingungen gebracht werden können.

10 Im Folgenden wird die Erfindung und ihre Ausführungsformen anhand der Zeichnung näher erläutert. Die einzige FIG zeigt hierbei eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Gasturbine.

15 Eine im Ganzen mit 10 bezeichnet Gasturbine umfasst eine Turbineneinheit 12 sowie einen Verdichter 14, die auf einer gemeinsamen Welle 16 angeordnet sind. Einer Brennkammer 18 wird über eine Leitung 20 ein Treibstoff-Luft-Gemisch zugeführt,
20 welches in der Brennkammer 18 verbrannt wird. Durch eine Öffnung 22 treten die heißen Verbrennungsgase in die Turbineneinheit 12 ein und treiben die Gasturbine 10 an. Durch die Kopplung mit dem Verdichter 14 wird zusätzlich verdichtete Luft durch die Turbine gefördert, was deren Wirkungsgrad erhöht.

25

Aufgrund von Turbulenzen oder dergleichen im Strom des Treibstoff-Luft-Gemisches, kann es dabei zu Oszillationen in der Flamme in der Brennkammer 18 kommen. Temperaturschwankungen in der Flamme führen wiederum zu Druckschwankungen, was
30 letztendlich in einer Oszillation der auf die Turbineneinheit 12 wirkenden Kräfte führt. In der Turbineneinheit 12 kann es daher zu Torsionsspannungen kommen, die sich über die Welle 16 auch über den Verdichter 14 sowie auf abtriebsseitig nachgelagerte Komponenten, wie beispielsweise Getriebe, Generatoren oder dergleichen fortsetzen können und den Verschleiß aller
35 beteiligten mechanischen Komponenten erhöhen können.

Um derartigen Oszillationen entgegenzuwirken, sind an der Brennkammer 18 Elektroden 24 angebracht, zwischen denen ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt werden kann. Die Erzeugung erfolgt dabei mittels eines Hochfrequenz-
5 generators 26 mit einem nachgelagerten Hochfrequenzfrontend 28, wobei beide Komponenten 26, 28 von einer Steuereinheit 30 angesteuert werden.

Die beschriebene elektromagnetische Feldeinspeiseeinrichtung
10 weist eine charakteristische Impedanz auf, die abhängig von der Geometrie, dem Material der Brennkammer 18 sowie der Elektroden 24 ist und ferner von der Frequenz des angelegten elektromagnetischen Wechselfeldes und der Beschaffenheit des Dielektrikums in der Brennkammer 18 zwischen den Elektroden
15 24 ist. Letztere wird durch die Eigenschaften der Gase im Brennraum bestimmt. Im nicht gezündeten Zustand befindet sich im Brennraum ein kaltes Gasmisch mit großem Luftanteil. Das Dielektrikum weist in diesem Zustand tendenziell sehr geringe dielektrische Verluste und eine geringe relative Permittivität
20 auf, was zu einer sehr hoch ohmigen Impedanz der Feldeinspeiseeinrichtung führt.

Nach Zündung einer Flamme in der Brennkammer 18 bestimmt diese die Hochfrequenzeigenschaften des Dielektrikums maßgeb-
25 lich, sofern die Flamme große Teile desjenigen Volumens ausfüllt, welches von den zwischen den Elektroden 24 anliegenden Feld durchdrungen wird. Die Flamme besteht aus ionisiertem Gas, welches leitfähig ist und daher eine andere Permittivität und größere dielektrische Verluste aufweist als das nicht io-
30 nisierte Gas im ungezündeten Zustand. Nach der Zündung sinkt daher die Impedanz der Elektrodenanordnung.

Ein Medium mit dielektrischen Verlusten absorbiert elektromagnetische Energie und setzt diese in Wärme um. Durch das
35 Zuführen eines elektromagnetischen Wechselfeldes über die Elektroden 24 wird in der Brennkammer 18 elektromagnetische Energie injiziert und das Gasmisch heizt sich daher auf.

Oszilliert nun die Flamme in der Brennkammer 18, so ändern sich die Eigenschaften der Flamme periodisch zwischen zwei Endzuständen. Im heißen Endzustand sind große Teile des Gases im Brennraum ionisiert, der Brennraum weist einen hohen Energiegehalt auf. Im weniger heißen Endzustand der Flamme ist das Volumen ionisierter Gase geringer und der Energiegehalt im Brennraum daher entsprechend niedriger. Diese Oszillation lässt sich grundsätzlich wie folgt beschreiben:

$$10 \quad P(x, y, z, t) = P_m(x, y, z) \cdot e^{(j\omega + \alpha)t}$$

Sie ist charakterisiert durch die Resonanzfrequenz ω und eine Dämpfungskonstante α . Dementsprechend schwankt die Energiemenge, die in der Oszillation enthalten ist, über die Zeit:

15

$$E(t) = E_0 \cdot e^{2\alpha t}$$

Die Energie, welche benötigt wird, um die Oszillation zu stören und zu modulieren, kann dabei durch folgende Gleichung beschrieben werden:

20

$$E_c = E(t) = E_0 \cdot e^{2\alpha t}$$

Mit anderen Worten ist die Energie, welche benötigt wird, um die Oszillation zu verhindern klein, wenn sie früh injiziert wird, und wenn die Absorptionsfähigkeit des Gasgemisches bei der Injektion hoch ist.

25

Es ist daher notwendig, mittels des Hochfrequenzgenerators 26, des Hochfrequentfrontends 28 und der Elektroden 24 eine schnelle und variable Einkopplung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Brennkammer 18 zu realisieren. Die Einkopplung muss erfolgen, sobald sich erste Resonanz- bzw. Schwingungseffekte in der Brennkammer 18 zeigen. Hierzu ist es erforderlich, den Beginn der Flammenoszillation zu detektieren. Hierzu kann zunächst die bereits vorhandene Betriebssensorik der Gasturbine 10 verwendet werden, indem existierende Sensoren für Beschleunigungen, Drücke, Torsionen

35

an der Turbineneinheit 12 und dergleichen mit der Steuereinheit 30 gekoppelt werden und von dieser ausgewertet werden.

Beim Auftreten von Oszillationen wird ein Triggersignal gegeben, welches dazu führt, dass die Hochfrequenzleistung durch Hochfrequenzgenerator 26 (Sender) und Hochfrequenzgenerator 28 (Frontend) mit dem richtigen Timing impedanzangepasst in die Elektroden 24 eingespeist wird, wodurch sich im Brennraum ein stützendes, elektromagnetisches Heizfeld aufbaut.

10

Alternativ oder zusätzlich können auch die elektromagnetischen Eigenschaften der Elektroden 24 im Zusammenspiel mit Frontend und Sender ausgenutzt werden, um beginnende Oszillationen zu detektieren. Hierzu wird kontinuierlich das Reflexions- und Transmissionsverhalten der Elektroden 24 überwacht.

15

Bei beginnender Flammenoszillation ändert sich dieses Verhalten analog zur Schwankung des Energiegehalts im Brennraum und zur Schwankung des Ionisationsgrades. Wird eine Oszillation des Reflektions- /Transmissionsverhaltens registriert, wird durch Sender und Frontend die Hochfrequenzleistung, die über die Elektroden 24 eingespeist wird, mit dem richtigen Timing impedanzangepasst bereitgestellt, was wiederum den gewünschten Aufbau des Heizfeldes bewirkt.

20

25

Um eine frühe Erkennung der Flammenoszillation und damit ein Unterbinden der Oszillation mit möglichst geringem Energieaufwand zu ermöglichen, muss die Amplitude der Flammenoszillation in Echtzeit überwacht werden, um periodische Energie minima in der Brennkammer 18 früh zu erkennen. Der Zeitpunkt dieser Minima ist der Zeitpunkt, an dem die Hochfrequenzenergie eingespeist werden muss, um die Oszillation zu unterbinden.

30

35

Beispielsweise soll bei einer Oszillation der Flamme im Brennraum mit einer Frequenz von 20 Hz, also einer Periodendauer von 50 ms, die Verbrennung der Flammen mittels elektro-

magnetischer Heizenergie gestützt werden. Idealisiert betrachtet, beträgt die Dauer der negativen Halbwelle der Verbrennungsenergie dann 25 Ms. Das bedeutet, dass über die Elektroden 24 Hochfrequenzpulse von weniger als 25 ms Dauer
5 zeitgerecht, also während der negativen Halbwelle der Verbrennungsenergie, eingespeist werden muss. Die zeitliche Genauigkeit sollte dabei weniger als 5 ms betragen.

Generell entstehen derartige Oszillationen der Flamme im
10 Brennraum durch inhomogene Verbrennung, die wiederum aus der nicht optimalen Mischung von Luft und Brennstoff entsteht. Durch das Aufheizen bzw. Ionisieren der Flamme mittels der Hochfrequenzinjektion wird eine homogenere Verbrennung und damit eine konstantere Temperatur der Flamme über die Zeit
15 erreicht und eine Oszillation verhindert.

Alternativ zur Energieinjektion während der Energieminima kann auch durch Modulation des Energiegehalts der Brennkammer
18 die Resonanzfrequenz für derartige Oszillationen verschoben werden, so dass Bereiche, in denen ein Aufschaukeln der
20 Oszillation durch mechanische Resonanzen in der Turbine vorkommen könnte, vermieden werden. Hierzu muss eine Energiemenge zur Verfügung gestellt werden, die bewirkt, dass die Resonanzbedingung für die Flamme bzw. Turbulenzbildung verändert
25 wird.

Die Gestaltung der Feldeinspeisung ist dabei so vorzunehmen, dass eine optimale Absorption von hochfrequent eingespeister Energie im ionisierten Gasgemisch der Brennkammer 18 erfolgt.
30 Um dies zu erreichen, muss eine Elektrodenanordnung so gestaltet werden, dass ein möglichst großes Volumen der Flamme im eingekoppelten elektromagnetischen Wechselfeld liegt. Bei kapazitiver Einkopplung müssen sich dabei die Elektrodenteile, die beispielsweise in Form von Kondensatorplatten gestaltet
35 sein können, möglichst nahe am Flammenbereich befinden. Aus diesem Grund ist das Material und die Formgebung der Elektrodenanordnung so zu wählen, dass sie den hohen Tempera-

turen, Drücken und der aggressiven Atmosphäre im Brennraum widerstehen können.

Neben der zeitlichen Variation des Energiegehaltes der Flamme
5 gibt es auch räumliche Inhomogenitäten. Durch eine geeignete
Formgebung der Elektroden 24 ist es möglich, die Feldverteilung
derart zu wählen, dass bestimmte Zonen im Verbrennungsraum,
z. B. an der Peripherie der Flamme, hinsichtlich der
Energieeinkopplung begünstigt werden.

10

Die Feldverteilung kann dabei sowohl zeitlich als auch räumlich
dynamisch und in Echtzeit verändert werden, indem man mehrere
Feldeinspeisevorrichtungen aus Elektroden 24, zugeordneten
Sendern und Frontends zur Verfügung stellt, die jeweils mit
15 einem individuellen Hochfrequenzsignal mit individuelle
einstellbarer Phase und Amplitude beaufschlagt werden können.
Daraus resultiert ein Gesamtfeld im Brennraum, dass aus der
Überlagerung der Einzelfelder besteht, wodurch es möglich wird,
lokale Zonen besonders hoher Energiedichte, so genannte
20 Hotspots, zu erzeugen. Die Feldeinspeisung kann je nach
Frequenz entweder so ausgeführt werden, dass sich ein
elektromagnetisches Nahfeld im Brennraum ausbildet (bei niedrigen
Frequenzen) oder antennenartig, wobei im Brennraum ein
elektromagnetisches Fernfeld erzeugt wird. Das Wechselfeld
25 kann durch Platten, Kondensatoren, Stäbe, Antennen, oder auch
durch Hohlleitereinspeisung eingekoppelt werden.

Eine zweiteilige Elektrodenanordnung muss dabei nicht symmetrisch
ausgeführt sein, sondern kann auch andere Geometrien
30 einnehmen. Ein Elektrodenteil kann z. B. auch durch das Metallgehäuse
der Brennkammer 18 gebildet werden.

Da die Absorptionsfähigkeit eines Dielektrikums durch die
Hochfrequenzverluste bestimmt wird, muss der Sender (Hochfrequenz-
35 quelle) so eingestellt werden, dass eine Frequenz zur Verfügung
gestellt wird, die eine optimale Absorption der eingespeisten
Energie ermöglicht. Da sich die Absorptionsfä-

higkeit in Brennkammer 18 über die Zeit ändert, muss die Frequenz dynamisch einstellbar sein.

Um die Hochfrequenzleistung möglichst effizient in den Brenn-
5 raum einzukoppeln, muss eine Anpassung der Impedanz der Hoch-
frequenzquelle und der Elektroden 24 erfolgen. Aufgrund zeit-
licher Schwankungen ist auch hier eine dynamische Anpassung
erforderlich, da sich die Impedanz der Elektroden 24 abhängig
10 von dem Absorptionsverhalten des Dielektrikums in der Brenn-
kammer 18 ändert.

Insgesamt wird so eine Gasturbine 10 geschaffen, die ohne me-
chanische Regelkomponenten im Betrieb gesteuert werden kann.
Hochfrequenzenergie wird nur bei Bedarf injiziert, wobei die
15 Energiedosierung abhängig vom Arbeitspunkt der Turbine vorge-
nommen werden kann. Hierdurch wird es ermöglicht, die Luft-
und Brennstoffzufuhr so zu wählen, dass ein optimaler Wir-
kungsgrad der Turbine erreicht werden kann.

Patentansprüche

1. Gasturbine (10) mit einer Brennkammer (18) zum Verbrennen eines Treibstoff-Luft-Gemischs sowie einer Turbineneinrichtung (12), welche mittels der Verbrennungsgase zum Erzeugen mechanischer Energie antreibbar ist, wobei die Gasturbine (10) zumindest eine Abstrahlvorrichtung (24) zum Einstrahlen eines elektromagnetischen Wechselfelds in die Brennkammer (18) umfasst,
5
10 dadurch gekennzeichnet, dass die Abstrahlvorrichtung (24) dazu ausgelegt ist, durch das Einstrahlen des elektromagnetischen Wechselfelds thermische Energie in eine Flamme in der Brennkammer (18) einzutragen.
- 15 2. Gasturbine (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstrahlvorrichtung (24) als Antenne oder Spule ausgebildet ist.
- 20 3. Gasturbine (10) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstrahlvorrichtung (24) zumindest ein Paar von an gegenüberliegenden Seiten der Brennkammer angeordneten Spulen oder Antennen umfasst.
- 25 4. Gasturbine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstrahlvorrichtung (24) mit einer Sendevorrichtung (26) zum Erzeugen eines elektromagnetischen Wechselfelds gekoppelt
30 ist.
5. Gasturbine (10) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuervorrichtung (30) zum Ansteuern der Sendevorrichtung (26) gekoppelt ist.
35
6. Gasturbine (10) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuervorrichtung (30) mit zumindest einem Sensor zum Erfassen eines Betriebsparameters der Gasturbine gekoppelt ist.

7. Gasturbine (10) nach Anspruch 5 oder 6,

5 dadurch gekennzeichnet, dass

die Steuervorrichtung (30) zum Messen einer Reflexions- und/oder Transmissionsverhaltens der Abstrahlvorrichtung (24) ausgelegt ist.

10 8. Verfahren zum Betreiben einer Gasturbine (10), bei welchem ein Treibstoff-Luft-Gemisch in einer Brennkammer (18) verbrannt und die entstehenden Verbrennungsgase zur Erzeugung mechanischer Energie einer Turbineneinrichtung (12) zugeleitet werden, wobei im Bereich der Brennkammer (18) ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt und in die Brennkammer

15 (18) eingetragen wird, dadurch gekennzeichnet, dass

das elektromagnetische Wechselfeld in Abhängigkeit von einem Verbrennungszustand des Gas-Luft-Gemisches erzeugt wird, wobei

20 bei zumindest einem Teilbereich einer Flamme in der Brennkammer (18) durch Beaufschlagung mit dem elektromagnetischen Wechselfeld thermische Energie zugeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

25 dadurch gekennzeichnet, dass

eine Frequenz des erzeugten Wechselfeldes in Abhängigkeit von zumindest einem Zustandsparameter der Flamme eingestellt wird.

30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

eine Impedanz einer Sendevorrichtung (26, 28) zum Erzeugen des elektromagnetischen Wechselfeldes in Abhängigkeit von zumindest einem Zustandsparameter der Flamme eingestellt wird.

35

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

der zumindest eine Zustandsparameter der Flamme durch Messen
zumindest eines Betriebsparameters der Gasturbine bestimmt
wird.

5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zumindest eine Zustandsparameter der Flamme durch Messen
einer Absorptions- und/oder Transmissionseigenschaft einer
Abstrahlvorrichtung (24) zum Abstrahlen des elektromagneti-
10 schen Wechselfelds in die Brennkammer (18) bestimmt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
das elektromagnetische Wechselfeld räumlich und/oder zeitlich
15 moduliert wird.

