

(19)



(11)

EP 2 927 594 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.10.2015 Patentblatt 2015/41

(51) Int Cl.:
F23R 3/00 (2006.01) **F23R 3/06 (2006.01)**
F23R 3/60 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15158442.2**

(22) Anmeldetag: **10.03.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(72) Erfinder:
• **Clemen, Carsten, Dr.-Ing.**
15749 Mittenwalde (DE)
• **Dörr, Thomas, Dr.-Ing.**
12167 Berlin (DE)
• **Bake, Sebastian, Dr.-Ing.**
12159 Berlin (DE)

(30) Priorität: **11.03.2014 DE 102014204482**

(74) Vertreter: **Hoefer & Partner Patentanwälte mbB**
Pilgersheimer Straße 20
81543 München (DE)

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(54) Brennkammer einer Gasturbine

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Brennkammer einer Gasturbine mit einer äußeren Brennkammerwand (1) und an deren Innenseite befestigten Schindeln (9) oder auf eine einwandige Brennkammer, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer in einem mittleren

Bereich, bezogen auf die Durchströmungsrichtung, einen sich um den gesamten Umfang der Brennkammer erstreckenden Schlitz (18) aufweist, der die äußere Brennkammerwand (1) und die Schindeln (9) zur Zuleitung von Mischluft unterteilt.

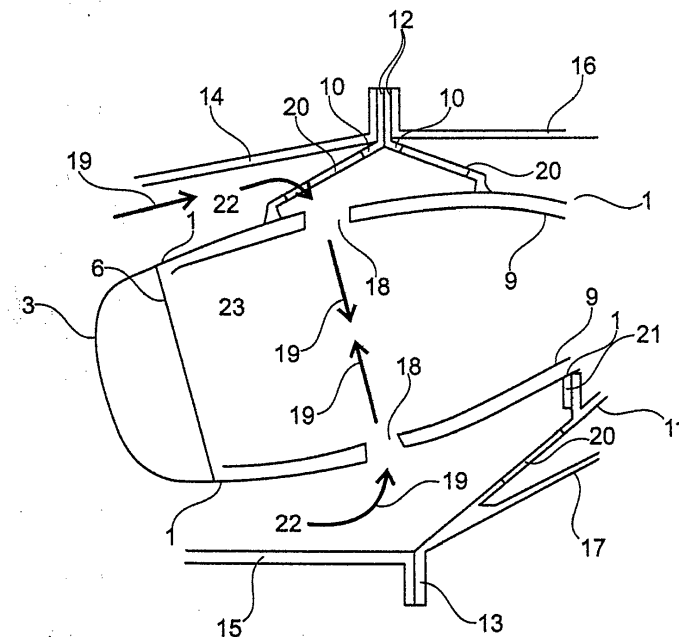


Fig. 3

EP 2 927 594 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Brennkammer einer Gasturbine mit einer äußeren Brennkammerwand und mit an der Innenseite der äußeren Brennkammerwand befestigten Schindeln.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, durch Zumischlöcher oder Mischluftlöcher radial von außen Luft in den Brennkammerinnenraum einzuführen. Dabei werden stets einzelne, diskrete Zumischlöcher verwendet, welche in geeigneter Weise am Umfang der Brennkammer verteilt sind. Die Zumischlöcher sind dabei üblicherweise in einer oder mehreren Reihen am Umfang der Brennkammer angeordnet.

[0003] Die Zuführung von Mischluft dient dazu, die Verbrennung in der Brennkammer zu optimieren. Insbesondere soll dabei eine möglichst gute Verblockung und Durchmischung der Brenngase mit der Zumischluft erfolgen, um die NOx-Emissionen zu kontrollieren und zu minimieren.

[0004] Die aus dem Stand der Technik bekannten Konstruktionen weisen den Nachteil auf, dass durch die diskrete, einzelne Anordnung der Zumischlöcher nicht eine maximale Verblockung und eine beste Durchmischung der Zumischluft mit den Brenngasen möglich ist. Somit ist nicht die maximal mögliche Reduzierung der NOx-Emissionen möglich. Als Nachteil bei den bekannten Konstruktionen zeigt sich weiterhin, dass eine beliebige Anordnung der einzelnen diskreten Zumischlöcher zueinander und insbesondere eine beliebige Beabstandung der Zumischlöcher zueinander aufgrund des mechanischen Aufbaues der Brennkammeraußenwand und der Schindel nicht möglich sind.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkammer einer Gasturbine zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit die Nachteile des Standes der Technik vermeidet und eine optimierte Zuführung von Mischluft ermöglicht.

[0006] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung. Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass die Brennkammer in einem mittleren Bereich, bezogen auf die Durchströmungsrichtung, einen sich um den gesamten Umfang der Brennkammerwand erstreckenden Schlitz aufweist, der die äußere Brennkammerwand und die Schindeln unterteilt und durch den Mischluft zugeführt werden kann.

[0007] Erfindungsgemäß ergibt sich somit der entscheidende Vorteil, dass durch die optimierte Zuführung der Mischluft die NOx-Emissionen in maximal möglicher Weise reduziert werden können. Dabei ist es besonders günstig, dass der Umfangsschlitz mit einer gleichen effektiven Durchströmfläche zur Lufteinmischung versehen sein kann, wie die aus dem Stand der Technik bekannten Zumischlöcher.

[0008] In besonders günstiger Ausgestaltung der Er-

findung ist vorgesehen, dass die Brennkammer durch den Schlitz in einen vorderen Teil und einen hinteren Teil unterteilt ist. Die Bezeichnung "vorderer und hinterer Teil" bezieht sich dabei stets auf die Durchströmungsrichtung der Brennkammer.

[0009] Der erfindungsgemäß vorgesehene Schlitz kann um den gesamten Umfang geradlinig, d.h., mit konstanter Breite ausgebildet sein. Es ist auch möglich, diesen gewellt auszubilden, sei es mit gleicher Breite oder variabler Breite. Hierdurch ist eine Anpassung an die Anordnung der einzelnen, um den Umfang der Ringbrennkammer verteilten Brenner möglich. In einer weiteren Ausgestaltungsvariante kann vorgesehen sein, dass der Schlitz mit einer sich um den Umfang ändernden Breite versehen sein kann, beispielsweise durch Ausbuchtungen und Engstellen in Umfangsrichtung.

[0010] Da erfindungsgemäß die Brennkammer in einen vorderen Teil und einen hinteren Teil unterteilt ist, ist es besonders günstig, wenn der vordere Teil und der hintere Teil der Brennkammer jeweils separat gelagert sind. Die Lagerung erfolgt bevorzugterweise mittels Brennkammerarmen. Diese weisen in bevorzugter Weiterbildung der Erfindung Durchflussöffnungen auf, um die Luftströmung zu optimieren. Die Querschnitte der Durchflussöffnungen sind dabei bevorzugterweise größer, als der Gesamtquerschnitt des Schlitzes.

[0011] Es versteht sich, dass die Lagerung der Schindeln an der äußeren Brennkammerwand in unterschiedlicher Weise erfolgen kann. Es ist möglich, hierfür Schraubenbolzen zu verwenden, so wie dies der Stand der Technik zeigt. Es ist jedoch auch möglich, den vorderen und hinteren Teil der Brennkammerwand jeweils einstückig mittels additiven Verfahren (Laserauftragschweißverfahren oder ähnlichem) herzustellen. In jedem Falle ist sichergestellt, dass zwischen der Schindel und der äußeren Brennkammerwand ein Kuhlftzwischenraum besteht, um in bekannter Weise eine Prallkühlung und eine Effusionskühlung vorsehen zu können. Die erfindungsgemäße Ausbildung kann auch für einwandig ausgeführte Brennkammern (ohne Schindel) angewendet werden.

[0012] In einer besonders günstigen Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der vordere Teil und der hintere Teil der Brennkammerwand ihren Abstand bei thermischer Expansion und thermischer Kontraktion ändern können. Somit ist es möglich, die Breite des Schlitzes zu variieren, abhängig von der Temperatur der Brennkammer. Somit kann im kalten Zustand die Breite des Umfangsschlitzes durch einen größeren Abstand der Seitenwandungen des Schlitzes größer sein, als im heißen Zustand. Damit wird im kalten Zustand der Brennkammer die Zuführung von Zumischluft erhöht, bei gleichzeitig geringerer Kuhlft für die Brennkammerwände. Im heißen Zustand ist dies dann umgekehrt, der Umfangsschlitz wird eine geringere Breite aufweisen. Hierdurch ist eine variable Geometrie zur Lufteinführung und damit eine deutliche Reduzierung der NOx-Emissionen für kältere Betriebspunkte und Betriebszustände

der Brennkammer möglich.

[0013] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Gasturbinentriebwerks gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 eine vereinfachte Seiten-Schnittansicht einer Brennkammer gemäß dem Stand der Technik;
- Fig. 3 eine Seitenansicht, analog Fig. 2, eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung;
- Fig. 4 eine Darstellung, analog Fig. 3, eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung;
- Fig. 5 eine Darstellung, analog den Fig. 3 und 4, eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung;
- Fig. 6 bis 8 schematische Darstellungen der Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Umfangsschlitzes;
- Fig. 9 und 10 Ansichten, analog Fig. 5, mit der Verdeutlichung eines kalten und eines heißen Betriebszustands,
- Fig. 11 und 12 Darstellungen, analog den Fig. 6 und 8, im kalten und im heißen Betriebszustand,
- Fig. 13 und 14 Ausgestaltungsvarianten, analog Fig. 9 und 10, und
- Fig. 15 und 16 Darstellungen im heißen und kalten Betriebszustand der Ausführungsbeispiele der Fig. 13 und 14 in analoger Darstellung zu dem Fig. 11 und 12.

[0014] Das Gasturbinentriebwerk 110 gemäß Fig. 1 ist ein allgemein dargestelltes Beispiel einer Turbomaschine, bei der die Erfindung Anwendung finden kann. Das Triebwerk 110 ist in herkömmlicher Weise ausgebildet und umfasst in Strömungsrichtung hintereinander einen Lufteinlass 111, einen in einem Gehäuse umlaufenden Fan 112, einen Mitteldruckkompressor 113, einen Hochdruckkompressor 114, eine Brennkammer 115, eine Hochdruckturbine 116, eine Mitteldruckturbine 117 und eine Niederdruckturbine 118 sowie eine Abgasdüse 119, die sämtlich um eine zentrale Triebwerksmittelachse 101 angeordnet sind.

[0015] Der Mitteldruckkompressor 113 und der Hoch-

druckkompressor 114 umfassen jeweils mehrere Stufen, von denen jede eine in Umfangsrichtung verlaufende Anordnung fester stationärer Leitschaufeln 120 aufweist, die allgemein als Statorschaufeln bezeichnet werden und die radial nach innen vom Triebwerksgehäuse 121 in einem ringförmigen Strömungskanal durch die Kompressoren 113, 114 vorstehen. Die Kompressoren weisen weiter eine Anordnung von Kompressorlaufschaufeln 122 auf, die radial nach außen von einer drehbaren Trommel oder Scheibe 125 vorstehen, die mit Naben 126 der Hochdruckturbine 116 bzw. der Mitteldruckturbine 117 gekoppelt sind.

[0016] Die Turbinenabschnitte 116, 117, 118 weisen ähnliche Stufen auf, umfassend eine Anordnung von festen Leitschaufeln 123, die radial nach innen vom Gehäuse 121 in den ringförmigen Strömungskanal durch die Turbinen 116, 117, 118 vorstehen, und eine nachfolgende Anordnung von Turbinenschaufeln 124, die nach außen von einer drehbaren Nabe 126 vorstehen. Die Kompressortrommel oder Kompressorscheibe 125 und die darauf angeordneten Schaufeln 122 sowie die Turbinenrotornabe 126 und die darauf angeordneten Turbinenlaufschaufeln 124 drehen sich im Betrieb um die Triebwerksmittelachse 101.

[0017] Die Fig. 2 zeigt eine Brennkammer gemäß dem Stand der Technik in vereinfachter Schnittansicht. Die Brennkammer weist eine Brennkammeraußenwand 1 sowie ein Hitzeschild 2, einen Brennkammerkopf 3 und eine Brennerdichtung 4 auf. An der Innenseite der Brennkammeraußenwand 1 sind Schindeln 9 angeordnet, welche einstückig mit Stehbolzen 7 verbunden sind, welche wiederum von außen mittels Muttern 8 gesichert sind. Auf die Darstellung von Prallkühlöchern und Effusionskühlöchern wurde der Einfachheit halber verzichtet.

[0018] Im vorderen Bereich weist die Brennkammer in bekannter Weise eine Kopfplatte 6 auf. Um den Umfang der Brennkammer sind in der Brennkammeraußenwand 1 und den Schindeln 9 mehrere einzelne, diskrete Zumischlöcher 5 ausgebildet, durch welche Mischluft eingeführt wird.

[0019] Die Lagerung der Brennkammer erfolgt mittels eines äußeren Brennkammerarms und eines inneren Brennkammerarms 11 sowie eines äußeren Brennkammerflansches 12 und eines inneren Brennkammerflansches 13. Das Bezugszeichen 14 bezeichnet ein äußeres Brennkammergehäuse, während ein inneres Brennkammergehäuse mit dem Bezugszeichen 15 versehen ist. Am Auslass der Brennkammer sind schematisch ein äußeres Turbinengehäuse 16 und ein inneres Turbinengehäuse 17 dargestellt.

[0020] Die Fig. 3 bis 5 zeigen jeweils unterschiedliche Ausgestaltungsvarianten der erfindungsgemäßen Brennkammer. Bei dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel ist insbesondere deutlich ersichtlich, dass die Brennkammer in einen vorderen Teil und einen hinteren Teil unterteilt ist. Die Unterteilung erfolgt durch einen sich in Umfangsrichtung erstreckenden Zumischschlitz 18, welcher sowohl die Brennkammeraußenwand 1 als auch

die Schindel 9 durchgreift und sich um den gesamten Umfang erstreckt. Somit ist es möglich, Zumischluft 19 gleichmäßig und wirksam zuzuführen, so wie dies durch die Pfeile dargestellt ist. Bei einer einwandigen Brennkammerausbildung bestehend nur aus der Brennkammeraußenwand 1 ohne Schindel trennt der Zumischschlitz 18 die Brennkammerwand analog in eine vordere und eine hintere Hälfte.

[0021] Die in Fig. 3 gezeigte Brennkammer ist an ihrem vorderen Teil und ihrem hinteren Teil jeweils mittels separater äußerer Brennkammerarme 10 gelagert. Diese weisen Durchflussöffnungen 20 auf, um eine optimierte Kühlluftführung zu gewährleisten. Die beiden äußeren Brennkammerarme 10 sind mit ihren äußeren Brennkammerflanschen 12 an dem äußeren Brennkammergehäuse 14 sowie dem äußeren Turbinengehäuse 16 befestigt. Die innere Befestigung erfolgt analog der aus dem Stand der Technik bekannten Ausgestaltung, wobei zusätzlich eine Verbindung 21 zwischen der Brennkammer und dem inneren Brennkammerarm 11 erfolgt.

[0022] Die Ausgestaltungsvariante der Fig. 4 unterscheidet sich hinsichtlich der Lagerung an dem äußeren Brennkammergehäuse 14 und an dem äußeren Turbinengehäuse 16. Die beiden äußeren Brennkammerflansche 12 sind mittels eines Zwischengehäuses 24 befestigt.

[0023] Bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die Lagerung des hinteren Teils der Brennkammer mit ihrem äußeren Brennkammerflansch 12 zwischen dem Zwischengehäuse 24 und dem äußeren Turbinengehäuse 16, während der vordere Teil der Brennkammer über den Brennkammerkopf 3 und einen äußeren Brennkammerarm 10 gelagert ist.

[0024] Die Fig. 6 bis 8 zeigen in schematischer Ansicht Ausgestaltungsvarianten des Zumischschlitzes 18. Die Fig. 6 zeigt eine Ausgestaltungsvariante, bei welcher der Zumischschlitz 18 geradlinig mit gleichbleibender Breite ausgebildet ist. Gemäß Fig. 7 ist eine gleichbleibende Breite des Zumischschlitzes 18 vorgesehen. Dieser ist jedoch um den Umfang gewellt ausgebildet. Die Fig. 8 zeigt eine Ausgestaltungsvariante des Zumischschlitzes 18, bei welcher dieser um den Umfang breitere Bereiche und Engstellen aufweist.

[0025] Die Fig. 9 bis 12 zeigen eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung in analoger Darstellung zu Fig. 5. Dabei zeigt die Fig. 9 einen kalten oder kälteren Betriebszustand, während die Fig. 10 einen heißen Betriebszustand zeigt. Bei dem kalten Betriebszustand liegt eine größere Breite des Zumischschlitzes 18 vor, so wie dies in den Fig. 11 und 12 analog zu den Ausgestaltungen der Fig. 8 und 6 in der linken Bildhälfte dargestellt ist. Bei erhöhter Temperatur (heißer Betriebszustand) dehnen sich die Teile der Brennkammer aus, so wie dies durch die Pfeile 25 dargestellt ist. Hierdurch verringert sich die Breite des Zumischschlitzes 18. Dies ist im Vergleich in den Fig. 11 und 12 in der rechten Bildhälfte gezeigt. Somit ist es möglich, im kalten Betriebszustand ein größeres Mischluftvolumen zuzuführen, um

die NOx-Emissionen für kältere Betriebspunkte zu reduzieren.

[0026] Die Fig. 13 und 14 zeigen vereinfachte Schnitansichten in analoger Darstellung zu den Fig. 9 und 10. In Abwandlung zu dem Ausführungsbeispiel der Fig. 9 und 10, bei welchem die Ränder des Zumischschlitzes 18 gerade ausgebildet sind und direkt einander gegenüberliegend angeordnet sind, zeigt das Ausführungsbeispiel der Fig. 13 und 14 eine Ausgestaltung, bei welcher sich die Wandungen der Teilbereiche der Brennkammer überlappen, so wie dies in den Fig. 15 und 16 dargestellt ist. Die beiden überlappenden Bereiche sind jeweils mit einem Schlitz oder mit Löchern versehen. Durch die Überlappung ergibt sich im kalten Zustand (Fig. 15) eine geringere Überlappung, welche insgesamt in einer geringeren Breite des Zumischschlitzes 18 resultiert. Bei einem heißen Betriebszustand (Fig. 16) ist die Überlappung größer, so wie dies aus der oberen Bildhälfte der Fig. 16 ersichtlich ist. Dies resultiert in einem breiteren wirksamen Zumischschlitz 18. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel kann die Schlitzgeometrie in Umfangsrichtung geradlinig oder gewellt oder mit einem sich ändernden Querschnitt ausgebildet sein. Die Fig. 13 bis 16 zeigen somit ein Ausführungsbeispiel, welches gegensätzlich zu dem Ausführungsbeispiel der Fig. 9 bis 12 wirkt, da sich die Breite des Zumischschlitzes vom kalten zum heißen Betriebszustand verbreitert.

[0027] Die Erfindung ermöglicht somit eine ideale Verblockung/Vermischung der Zumischluft 19 mit den Brenngasen im Brennkammervolumen 23. Durch den Umfangsschlitz 18, welcher in der Brennkammerwand 1 und der Schindel 9 ausgebildet ist, wird die Zumischluft in optimaler Weise zugeführt, so dass die NOx-Emissionen minimiert werden. Der Umfangsschlitz weist bevorzugterweise den gleichen effektiven Strömungsquerschnitt bzw. die gleiche Durchströmfläche auf, wie vergleichbare Zumischlöcher 5 gemäß dem Stand der Technik (s. Fig. 2).

[0028] Wie beschrieben, teilt sich die erfindungsgemäße Brennkammer in zwei Teile. Deshalb ist erfindungsgemäß ein Aufhängungskonzept beschrieben, bei welchem die Teile der Brennkammer am inneren und äußeren Brennkammergehäuse und am Turbinengehäuse in geeigneter Weise befestigt sind. Dies erfolgt, wie erläutert, durch zusätzliche Brennkammerarme 12. Diese können in beliebiger Weise an der Brennkammer befestigt oder mit dieser verbunden sein, beispielsweise durch einstückige Ausgestaltung, durch Verschweißen, durch Verschrauben oder in ähnlicher Weise.

Bezugszeichenliste:

[0029]

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 | Brennkammer-Außenwand |
| 2 | Hitzeschild |
| 3 | Brennkammerkopf |
| 4 | Brennerdichtung |

5	Zumischlöcher	
6	Kopfplatte	
7	Stehbolzen	
8	Mutter	
9	Schindel	5
10	äußerer Brennkammerarm	
11	innerer Brennkammerarm	
12	äußerer Brennkammerflansch	
13	innerer Brennkammerflansch	
14	äußeres Brennkammergehäuse	10
15	inneres Brennkammergehäuse	
16	äußeres Turbinengehäuse	
17	inneres Turbinengehäuse	
18	Zumischschlitz	
19	Zumischluft	15
20	Durchflussöffnungen	
21	Verbindung Brennkammer - innerer Brennkammerarm 11	
22	Brennkammerringraum	
23	Brennkammervolumen	20
24	Zwischengehäuse	
25	Ausdehnung	
101	Triebwerksmittelachse	
110	Gasturbinentriebwerk / Kerntriebwerk	25
111	Lufteinlass	
112	Fan	
113	Mitteldruckkompressor (Verdichter)	
114	Hochdruckkompressor	
115	Brennkammer	30
116	Hochdruckturbine	
117	Mitteldruckturbine	
118	Niederdruckturbine	
119	Abgasdüse	
120	Leitschaufeln	35
121	Triebwerksgehäuse	
122	Kompressorlaufschaufeln	
123	Leitschaufeln	
124	Turbinenschaufeln	
125	Kompressortrommel oder -scheibe	40
126	Turbinenrotornabe	
127	Auslasskonus	

zeichnet, dass die Brennkammer in einem mittleren Bereich, bezogen auf die Durchströmungsrichtung, einen sich um den gesamten Umfang der Brennkammer erstreckenden Schlitz (18) aufweist, der die Brennkammerwand (1) zur Zuleitung von Mischluft unterteilt.

3. Brennkammer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkammer durch den Schlitz (18) in einen vorderen Teil und einen hinteren Teil unterteilt ist.

4. Brennkammer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schlitz (18) um den gesamten Umfang geradlinig oder gewellt oder mit sich änderndem Querschnitt ausgebildet ist.

5. Brennkammer nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vordere Teil der Brennkammer und der hintere Teil der Brennkammer separat gelagert sind.

6. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vordere Teil der Brennkammer und der hintere Teil der Brennkammer mittels Brennkammerarmen (10, 11) gelagert sind, welche Durchflussöffnungen (20) aufweisen.

7. Brennkammer nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lagerung des vorderen Teils und des hinteren Teils der Brennkammer zur Veränderung der Breite des Schlitzes (18) bei thermischer Expansion oder Kontraktion ausgebildet ist.

8. Brennkammer nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Schlitzes (18) variabel ist.

Patentansprüche

45

1. Brennkammer einer Gasturbine mit einer äußeren Brennkammerwand (1) und an deren Innenseite befestigten Schindeln (9), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkammer in einem mittleren Bereich, bezogen auf die Durchströmungsrichtung, einen sich um den gesamten Umfang der Brennkammer erstreckenden Schlitz (18) aufweist, der die äußere Brennkammerwand (1) und die Schindeln (9) zur Zuleitung von Mischluft unterteilt.
2. Brennkammer einer Gasturbine mit einer einwandigen Brennkammerwand (1), **dadurch gekennzeichnet,**

55

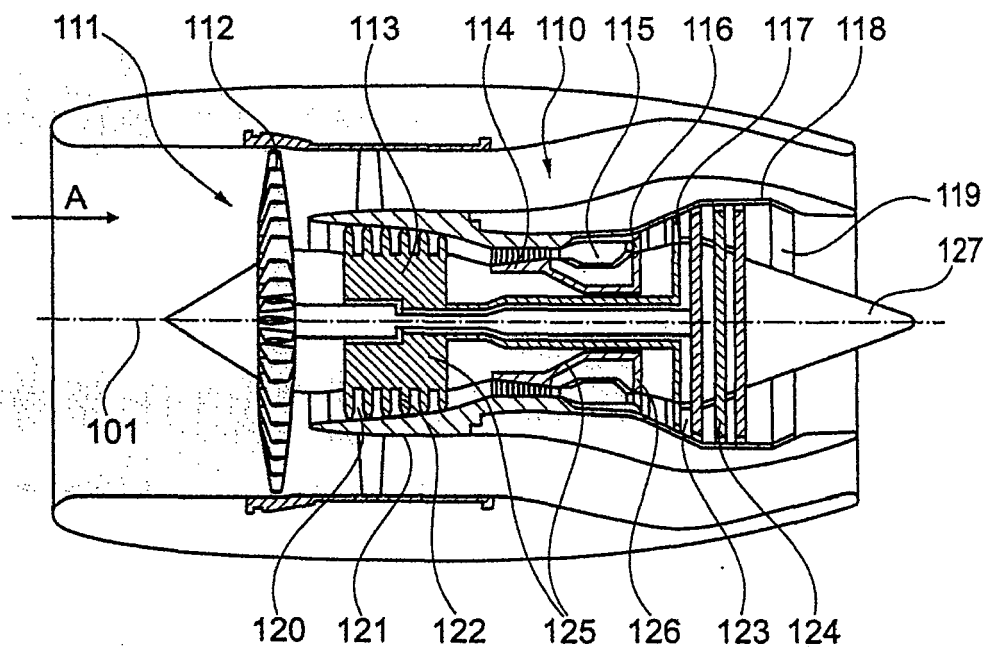
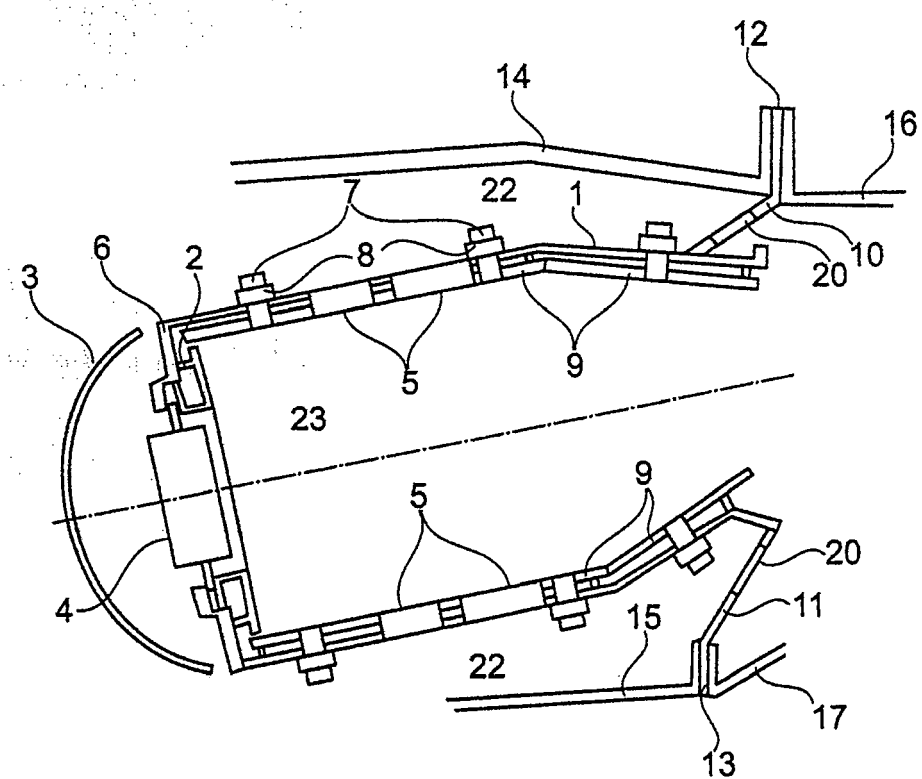


Fig. 1



Stand der Technik
Fig. 2

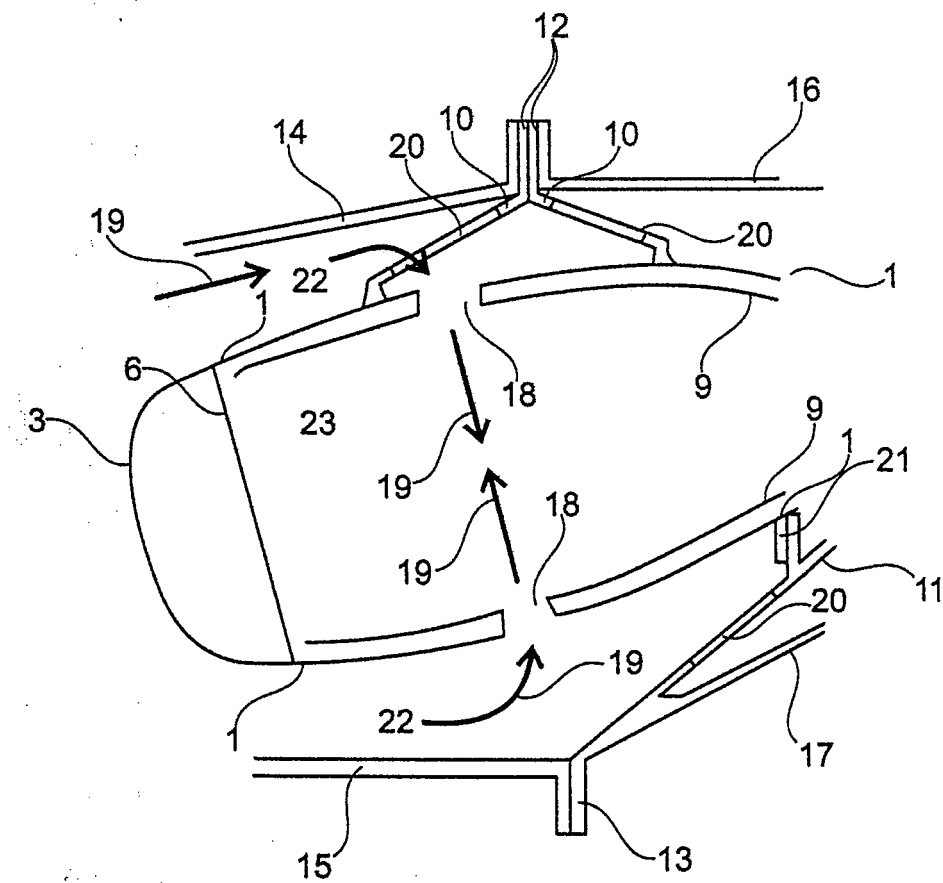


Fig. 3

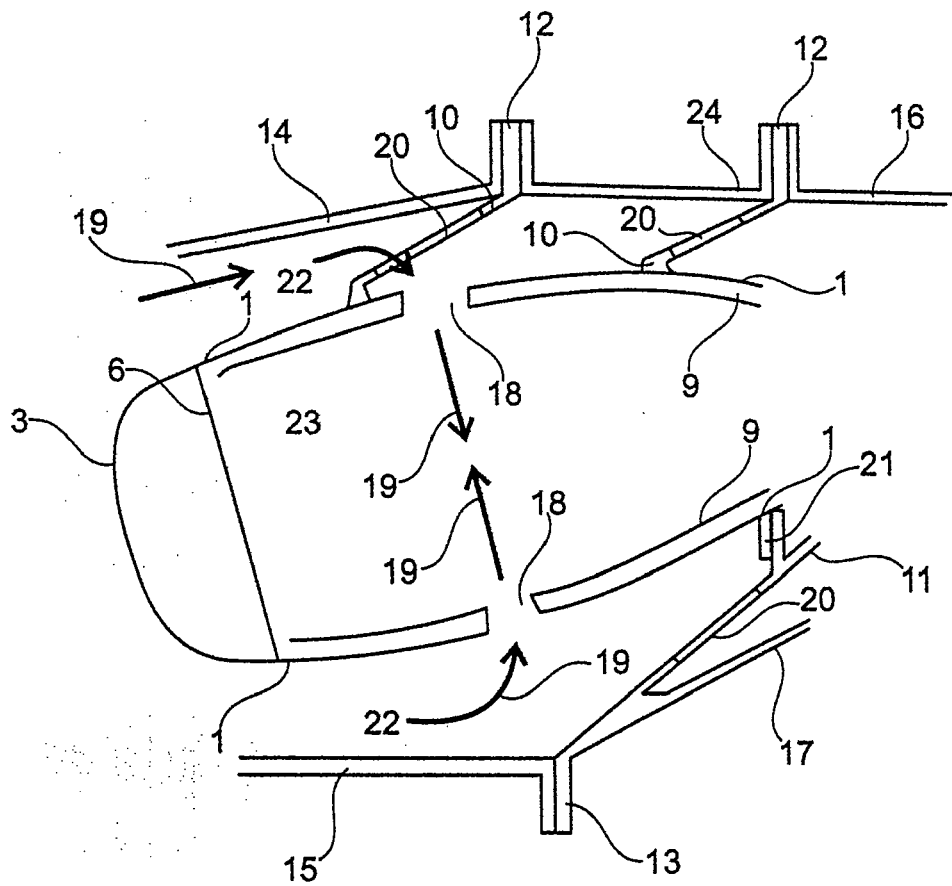


Fig. 4

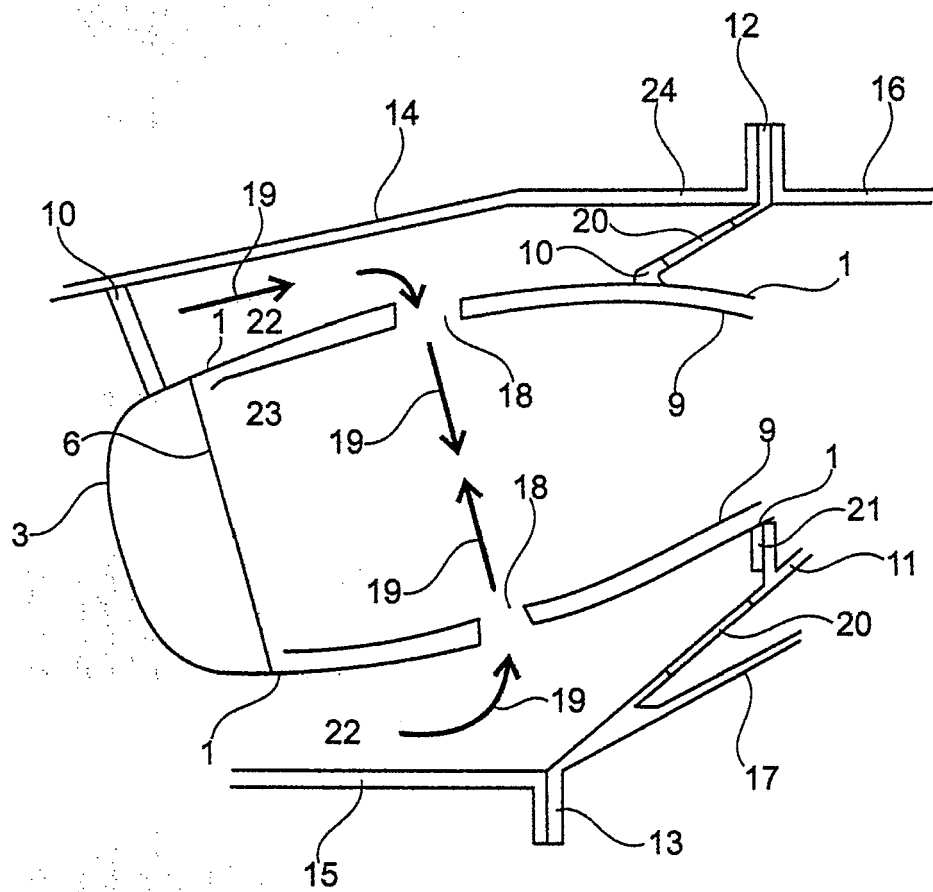


Fig. 5

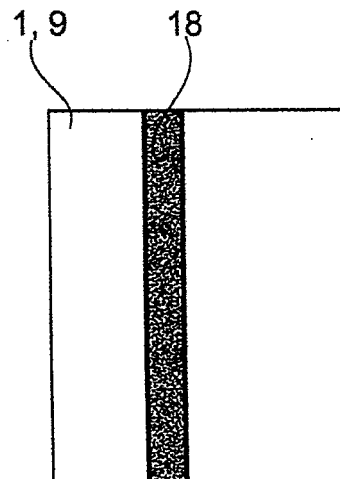


Fig. 6

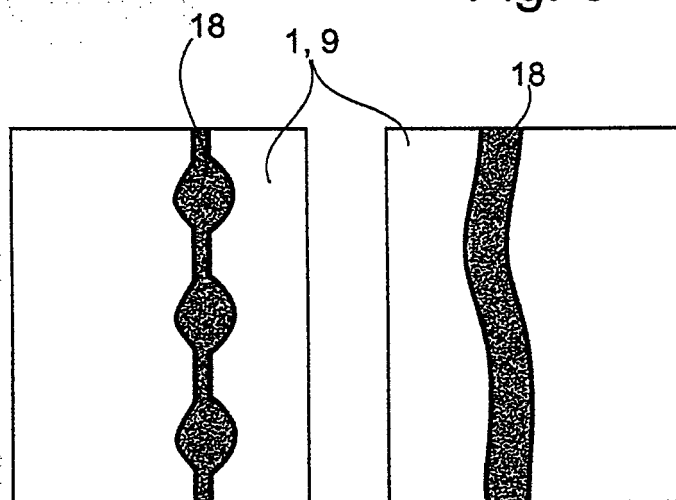


Fig. 8

Fig. 7

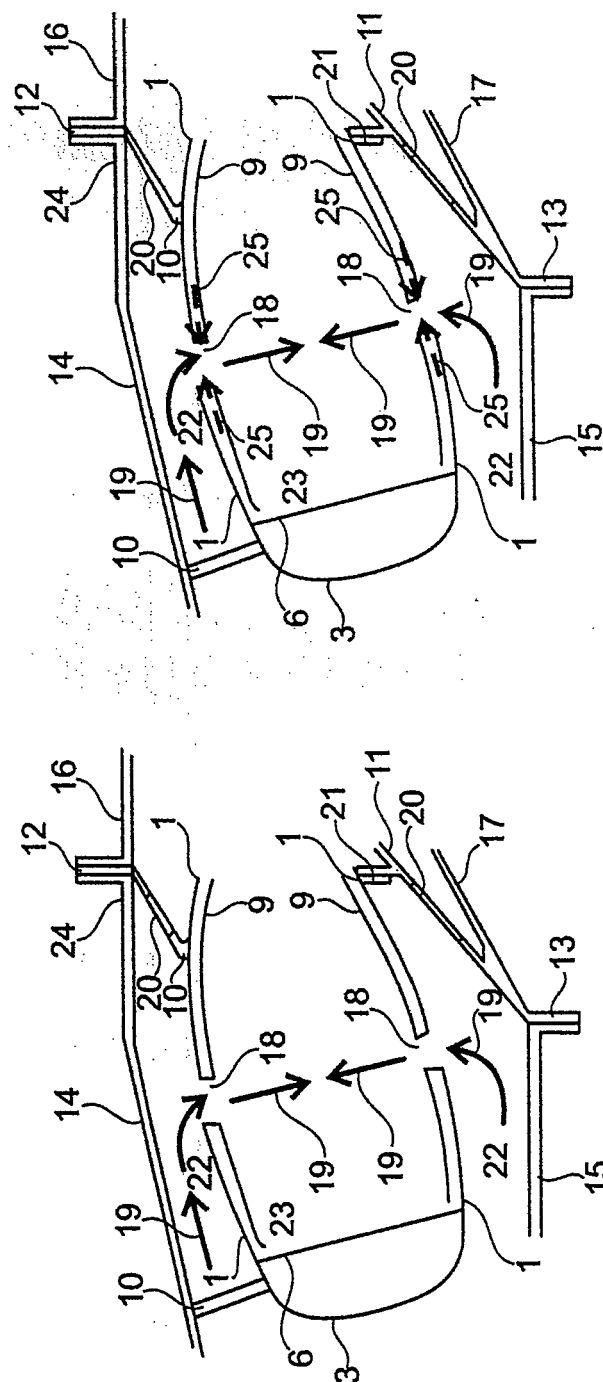


Fig. 10

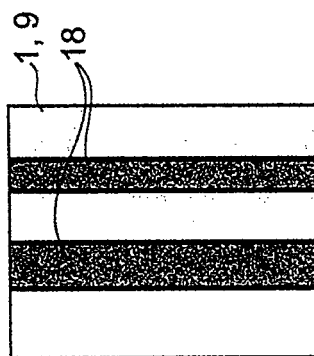


Fig. 12

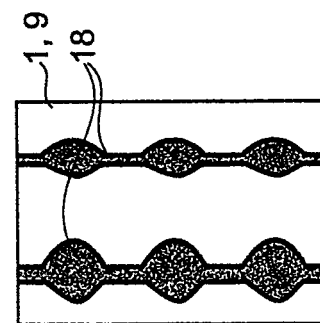


Fig. 11

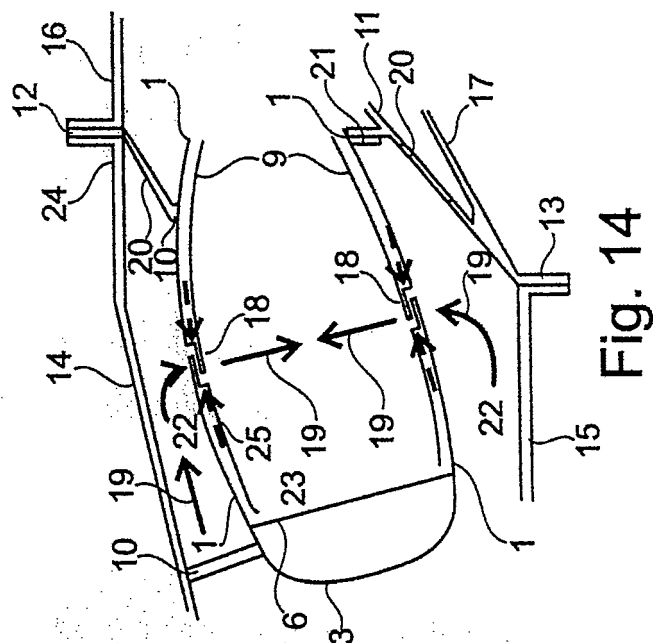


Fig. 13

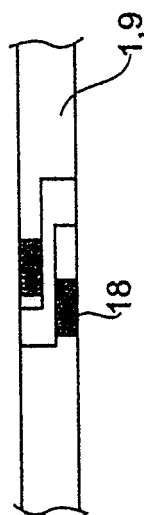


Fig. 14

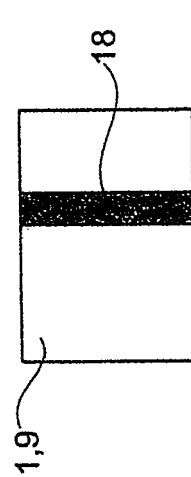


Fig. 15

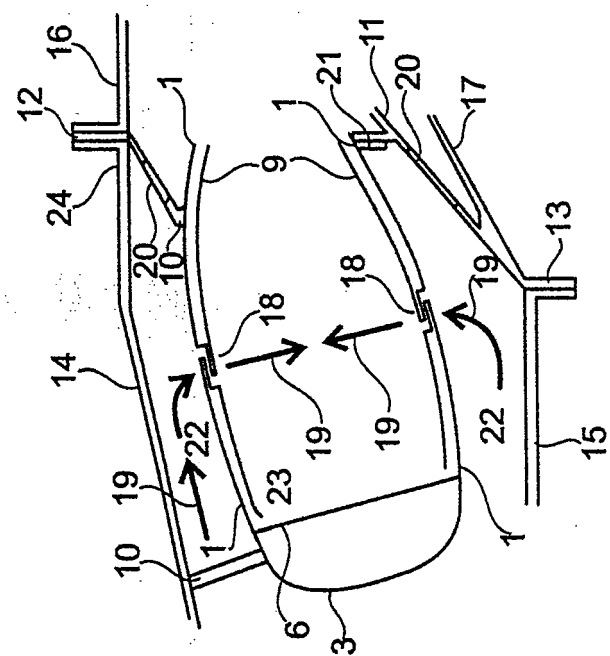


Fig. 16

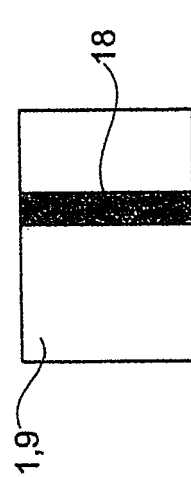
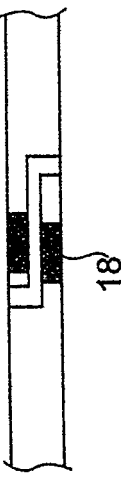


Fig. 18