



(11)

EP 3 699 493 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.08.2020 Patentblatt 2020/35

(51) Int Cl.:

F23R 3/00 (2006.01)

F23R 3/28 (2006.01)

F23R 3/46 (2006.01)

F23R 3/60 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20160469.1**

(22) Anmeldetaq: **18.02.2019**

(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**

PEPITURSSEISIKSMTR
Benannte Erstreckungsteile:

Benannt
BA ME

BA ME

Behailete valid
KH MA MD TN

(30) Priorität: 28.02.2018 DE 102018104543

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
19157668.5 / 3 534 070

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
51147 Köln (DE)

(72) Erfinder:

- Seliger-Ost, Hannah
70825 Korntal-Münchingen (DE)
 - Lang, Matthias
82266 Inning (DE)
 - Huber, Andreas
78549 Spaichingen (DE)

(74) Vertreter: **Fleck, Julia Maria**
Jeck, Fleck & partner mbB
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(54) BRENNKAMMERSYSTEM UND MIKROGASTURBINENANORDNUNG

(57) Die Erfindung betrifft ein Brennkammersystem (1), insbesondere zum Einsatz in einer Gasturbinenanlage, mit einer um eine Längsachse (L) umlaufenden Umfangswandung (3), die einen Brennraum (2) umgrenzt, in dem im Betrieb eine Reaktionszone (21) ausgebildet ist, mit einem eingangsseitig des Brennraums (2) angeordneten Brennerkopf (4) zur Zugabe von Brennstoff und Oxidator in den Brennraum (2), der zumindest eine Brennstoffzufuhr zur Zugabe von Brennstoff in den Oxidator umfasst und mit einem ausgangsseitig des Brennraums (2) angeordneten Brennraumauslass (35). Eine

definierte Positionierung des Brennkammersystems auch im Betrieb wird dadurch erreicht, dass das Brennkammersystem (1) in zumindest eine erste und eine zweite Baueinheit (36, 37) unterteilt ist, die in eingebautem Zustand in einer technischen Anwendung axial hintereinander angeordnet sind, wobei sich die zweite Baueinheit (37) zumindest bereichsweise stromab der ersten Baueinheit (36) erstreckt, und dass die Baueinheiten (36, 37) axial relativ zueinander verschiebbar gelagert sind (Fig. 1).

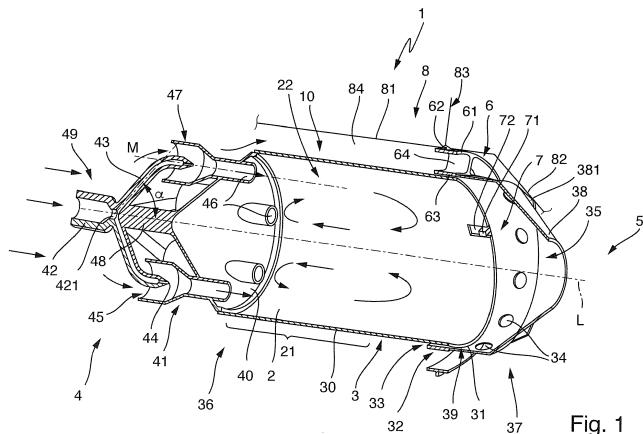


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Brennkammersystem, insbesondere zum Einsatz in einer Gasturbinenanlage, mit einer um eine Längsachse umlaufenden Umfangswandung, die einen Brennraum umgrenzt, in dem im Betrieb eine Reaktionszone ausgebildet ist, mit einem eingangsseitig des Brennraums angeordneten Brennerkopf zur Zugabe von Brennstoff und Oxidator in den Brennraum, der zumindest eine Brennstoffzufuhr zur Zugabe von Brennstoff in den Oxidator umfasst, und mit einem ausgangsseitig des Brennraums angeordneten Brennraumauslass. Ferner betrifft die Erfindung eine Mikrogasturbinenanordnung mit einem Brennkammersystem.

[0002] Derartige Brennkammersysteme werden beispielsweise in Gasturbinenanlagen eingesetzt und sind beispielsweise aus der EP 1 497 589 B1 und der EP 1 995 515 A1 bekannt. Im Allgemeinen zielt die Entwicklung solcher Brennkammersysteme darauf ab, den Schadstoffausstoß zu optimieren und einen stabilen Betrieb zu gewährleisten. Insbesondere bei Mikrogasturbinenanlagen (in einer Leistungsklasse von kleiner 1 MW) soll dabei aufgrund entsprechender Anwendungsgebiete z.B. im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung ein weiter Betriebsbereich, bei Voll- und Teillast, abgedeckt werden. Zudem wird eine hohe Flexibilität z.B. bzgl. des Betriebs mit unterschiedlichen Brennstoffen angestrebt.

[0003] Ein spezielles bekanntes Konzept verwendet dabei eine Verbrennungsprozessführung, bei der im Brennraum eine ausgeprägte, insbesondere innere, Rezirkulationszone ausgebildet ist, basierend auf dem sogenannten FLOX®-Prinzip ("Flameless Oxidation"). Durch die Rezirkulation werden bereits verbrannte Abgase innerhalb des Brennraums zurückgeführt und der zugeführten Frischluft in größerer Menge beigemischt. Aktuelle Brennkammersysteme basierend auf dem FLOX®-Prinzip sind beispielsweise in "Zanger, J., Monz, T, Aigner, M., Experimental Investigation of the Combustion Characteristics of a double-staged FLOX®-based Combustor on an Atmospheric and a Micro Gas Turbine Test Rig, Proceedings of ASME Turbo Expo 15.-19. Juni 2015" und "Li, G., Gutmark, E. J., Stankovic, D., Overman, N., Cornwell, M., Fuchs, L. und Milosavljevic, V., Experimental Study of Flameless Combustion in Gas Turbine Combustors, 44th AIAA 9.-12. Januar 2006" veröffentlicht.

[0004] Für einen stabilen und emissionsarmen Betrieb in dem Gesamtsystem einer technischen Anwendung, insbesondere einer (Mikro-)Gasturbinenanlage, sind definierte Verhältnisse in dem und um das Brennkammer-system entscheidend. Dabei kann beispielsweise die Einbauposition bzw. Lage des Brennkammersystems in einem Turbinengehäuse Einfluss nehmen, insbesondere, wenn die Außenbegrenzung des Brennkammersystems in die Geometrie von Gasführungswegen integriert ist. Dies können z. B. Kühlluftkanäle um das Brennkammersystem sein. Verändert sich die Positionierung bzw. Lage des Brennkammersystems bezüglich des Gehäu-

ses, beispielsweise durch Wärmeausdehnung im Betrieb, kann dies die Geometrie beeinflussen und die Versorgung des Brennkammersystems mit Brenngas (Oxidator und/oder Brennstoff) verändern. Dies kann sich wiederum negativ auf den Verbrennungsprozess, insbesondere die Stabilität und/oder Abgasemissionen, auswirken.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Brennkammersystem bereitzustellen, welches auch im Betrieb weitgehend definiert in einer technischen Anwendung positioniert ist. Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Mikrogasturbinenanordnung mit einem derartigen Brennkammersystem bereitzustellen.

[0006] Die Aufgabe wird für das Brennkammersystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dabei ist vorgesehen, dass das Brennkammersystem in zumindest eine erste und eine zweite Baueinheit unterteilt ist, die in eingebautem Zustand in einer technischen Anwendung axial hintereinander angeordnet sind, wobei sich die zweite Baueinheit zumindest bereichsweise stromab der ersten Baueinheit erstreckt, und dass die Baueinheiten axial relativ zueinander verschiebbar gelagert sind.

[0007] Für die Mikrogasturbinenanordnung wird die Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 18 gelöst. Dieser betrifft eine Mikrogasturbinenanordnung mit einem erfindungsgemäßem Brennkammersystem, mit einer stromab des Brennkammersystems angeschlossenen Turbine und mit einem Gehäuse, das zumindest das Brennkammersystem mittels einer Wandung umgibt, wobei zwischen einem Bereich der Wandung und dem Brennkammersystem zumindest ein Kanal zur Gasführung, insbesondere zur Luftführung, gebildet ist.

[0008] Durch die erfindungsgemäße Ausbildung wird eine Teilung des Brennkammersystems erreicht, die insbesondere senkrecht zur axialen Richtung vorgenommen sein kann. Die zweite Baueinheit schließt z. B. stromab an die erste Baueinheit an. Im Übergang können die Baueinheiten zumindest bereichsweise überlappen. Die axiale Verschiebbarkeit ist derart, dass zumindest das stromab weisende Ende der ersten Baueinheit, insbesondere des ersten Teilabschnitts der Umfangswandung, gegenüber der zweiten Baueinheit, insbesondere dem zweiten Teilabschnitt der Umfangswandung, axial verschiebbar sind.

[0009] Diese Ausbildung bewirkt, dass Änderungen in der axialen Position einer, z.B. der ersten, Baueinheit, beispielsweise aufgrund von Längenänderung durch Wärmeausdehnung der Umfangswandung, innerhalb des Brennkammersystems kompensiert werden können.

Die Positions- bzw. Längenänderung wird nicht auf die anschließende Baueinheit übertragen, da die axialen Bewegungen der Baueinheiten voneinander entkoppelt sind. Positions-, insbesondere Längenvariationen des Brennkammersystems können so minimiert werden.

Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn das Brennkammersystem in eine Innengeometrie einer technischen Anwendung integriert ist, wobei eine genaue Positionierung erforderlich ist. Dies kann beispielsweise der Fall

sein, wenn das Brennkammersystem eine Teilbegrenzung eines Kanals zur Gasführung bildet und Längenänderungen des Brennkammersystems den Strömungsquerschnitt des Kanals beeinflussen würden, was sich wiederum auf den Verbrennungsprozess auswirken kann. Die definierte Positionierung trägt damit zu einer kontrollierten, sauberen und stabilen Verbrennung im Betrieb bei.

[0010] Einfache Anpassungsmöglichkeiten des Brennkammersystems beispielsweise an einen Betrieb mit unterschiedlichen Brennstoffen, ergeben sich, wenn in eingebautem Zustand die Baueinheiten lösbar (axial) hintereinander angeordnet sind. Die Baueinheiten können dann bei der oder nach der Demontage des Brennkammersystems separat voneinander vorliegen. Auf diese Weise können Baueinheiten, die für eine andere Betriebsweise anders ausgestaltet sein sollten, einzeln ausgetauscht werden, ohne dass das gesamte Brennkammersystem getauscht werden muss. Dies kann beispielsweise Elemente betreffen, die einen Einfluss auf eine Aufteilung des Oxidatorstroms haben, wie etwa Mischluftöffnungen in einem Teilabschnitt der Umfangswandung.

[0011] Vorzugsweise umfasst die erste Baueinheit einen ersten Teilabschnitt der Umfangswandung und/oder umfasst die zweite Baueinheit einen zweiten Teilabschnitt der Umfangswandung. Die Teilung des Brennkammersystems in die Baueinheiten ist angrenzend an einen oder zwischen zwei Teilabschnitten angeordnet. Die Teilabschnitte verlaufen z. B. jeweils umlaufend um die Längsachse, so dass sich axial hintereinander angeordnete Rohrabschnitte ergeben. In einer einfach zu fertigenden Ausbildung kann die Teilung beispielsweise senkrecht zur axialen Richtung (d. h. zur Längsachse) vorgenommen sein.

[0012] In einer bevorzugten Ausstellungsvariante überlappen die hintereinander angeordneten Baueinheiten in einem axialen Überlappungsbereich miteinander, wobei insbesondere der erste Teilabschnitt mit der zweiten Baueinheit, insbesondere mit dem zweiten Teilabschnitt, überlappt. Dazu ist (zumindest in dem Überlappungsbereich) der innere Umfang der einen, äußeren Baueinheit bzw. des Teilabschnitts größer als der äußere Umfang der anderen, inneren Baueinheit bzw. des Teilabschnitts und ist in dem Überlappungsbereich über die innere Baueinheit bzw. den inneren Teilabschnitt geschoben. Die genaue Länge des Überlappungsbereichs kann sich je nach axialer Verschiebung der beiden Teilabschnitte zueinander ändern. Bei einer rohrartigen Ausgestaltung der Umfangswandung liegt in dem Überlappungsbereich z. B. eine Rohr-in-Rohr-Anordnung vor. So ist auf einfache Weise ein definierter, einfach zu fertigender Übergang zwischen zwei Baueinheiten bzw. Teilabschnitten erhältlich.

[0013] In einer bevorzugten Ausstellungsvariante sind die Baueinheiten, insbesondere die Teilabschnitte, in dem Überlappungsbereich zumindest teilweise berührungslos zueinander angeordnet. Dadurch ergibt sich ein

radiales Spiel zwischen den Baueinheiten bzw. Teilabschnitten in Art eines kleinen Spalts. Bei einer rohrartigen Ausgestaltung liegt dieser z.B. als Ringspalt vor. Ggf. können berührende Elemente vorhanden sein, z. B. Abstandshaltemittel, um das Spaltmaß zu halten. Durch eine derartige Ausbildung wird eine einfache, möglichst reibungsarme Montage und Beweglichkeit der Teilabschnitte zueinander ermöglicht. Spannungszustände im Material bei einer axialen Bewegung zueinander werden verringert bzw. vermieden. Der Spalt ist dabei möglichst klein, um Leckagen zwischen Brennraum und Außenbereich gering zu halten, jedoch vorzugsweise ausreichend groß, um auch im Betrieb, z. B. unter Wärmeausdehnung, eine unbeeinträchtigte Beweglichkeit zu gewähren.

[0014] Vorzugsweise umfasst das Brennkammersystem zumindest eine Verdreh sicherungseinrichtung, mittels derer die hintereinander angeordneten Baueinheiten (insbesondere mit aufeinanderfolgenden Teilabschnitten) in Umfangsrichtung verdrehsicher zueinander gelagert sind. Dies ermöglicht eine genaue Positionierbarkeit der Baueinheiten bzw. der Teilabschnitte in Umfangsrichtung zueinander. So können Elemente des Brennkammersystems, die unterschiedlichen Teilabschnitten bzw. Baueinheiten zugeordnet sind, in Umfangsrichtung definiert zueinander angeordnet sein. Ein Beispiel bilden Mischluftöffnungen, die in definierter Positionierung zu Zufuhrdüsen des Brennerkopfes angeordnet werden. Diese Ausbildung trägt zu einem optimierten, kontrollierten Verbrennungsprozess bei.

[0015] In einer einfach zu fertigenden und teileoptimierten Ausstellungsvariante ist die Verdreh sicherungseinrichtung in dem Überlappungsbereich ausgebildet, wobei eine der beiden Baueinheiten außen und eine innen angeordnet ist. Dabei umfasst die Verdreh sicherungseinrichtung ein Verdreh sicherungsmittel, das insbesondere auf der Innenseite der im Überlappungsbereich äußeren Baueinheit, insbesondere des äußeren Teilabschnitts, ausgebildet ist und weiterhin eine Aufnahme, die insbesondere an einem stromabweisenden Ende der inneren Baueinheit, insbesondere des inneren Teilabschnitts ausgebildet ist. Das Verdreh sicherungsmittel ist in der Aufnahme axial führbar. Das Verdreh sicherungsmittel ist insbesondere als Vorsprung, z. B. in Form einer "Nase", eines Stiftes oder eines Stegs ausgebildet. Die Aussparung erstreckt sich vorzugsweise axial längs ausgehend von dem stromabweisenden Ende in die innere Baueinheit, z. B. als ein Schlitz in den inneren Teilabschnitt. Die Aufnahme ist derart dimensioniert, dass das Verdreh sicherungsmittel hineinragen kann. Die Verdreh sicherungseinrichtung lässt eine axiale Relativbewegung zu, verhindert jedoch ein Verdrehen.

[0016] In einer besonders zweckmäßigen Ausstellung umfasst die erste Baueinheit den Brennerkopf sowie den ersten Teilabschnitt der Umfangswandung, die insbesondere an dem Brennerkopf befestigt ist. Mit dem ersten Teilabschnitt erstreckt sich die erste Baueinheit axial über den Bereich der Reaktionszone hinweg. Alter-

nativ oder zusätzlich umfasst die zweite Baueinheit den Brennraumauslass. In und unmittelbar stromab der Reaktionszone ergeben sich im Betrieb hohe Temperaturen, die eine verhältnismäßig große Wärmeausdehnung des ersten Teilabschnitts bewirken. Die dadurch verursachte Längenänderung des ersten Teilabschnitts kann aufgrund der axialen Verschiebbarkeit durch Bewegung relativ zu dem zweiten Teilabschnitt kompensiert werden und führt daher nicht zu einer Längenänderung des gesamten Brennkammersystems. Dies ermöglicht eine weitgehend definierte Lage bzw. Positionierung des Brennkammersystems über die gesamte Länge auch im Betrieb. Auswirkungen der Längenausdehnung auf eine positionierungsabhängige Geometrie in der Peripherie des Brennkammersystems, wie z. B. der eines Gasleitungskanals, können minimiert werden. Von derartigen Geometrien abhängige Parameter, beispielsweise die Aufteilung des Oxidators auf unterschiedliche Strömungsführungsgeometrien (d. h. die Verhältnisse der Luftströme) und/oder die lokalen Luft/Brennstoff-Verhältnisse in der Brennkammer, können auch im Betrieb im Wesentlichen konstant gehalten werden, was zu einem kontrollierten Verbrennungsprozess beiträgt.

[0017] Vorzugsweise erstreckt sich der erste Teilabschnitt möglichst weit in Richtung Brennkammerauslass, sodass ein möglichst großer Teil der Längenänderung durch Wärmeausdehnung des Brennkammersystems kompensiert werden kann. Der erste Teilabschnitt kann so z. B. bis zu einer axialen Position reichen, an dem die Temperatur des Abgases z. B. durch Beimischung von Sekundärluft deutlich reduziert wird, was auch die Wärmeausdehnung reduziert.

[0018] Zweckmäßigerweise kann die Länge des ersten Teilabschnitts bzw. die Teilung so gewählt werden, dass Elemente bzw. Ausgestaltungen des Brennkammersystems stromab der Reaktionszone, die bei unterschiedlichen Betriebsweisen anzupassen sind (z. B. Mischluftöffnungen), der zweiten Baueinheit zugeordnet sind. Auf diese Weise ergeben sich zusätzlich vorteilhafte einfache Anpassungsmöglichkeiten des Brennkammersystems. Es kann auch auf einen zweiten Teilabschnitt der Umfangswandung verzichtet werden und sich der erste Teilabschnitt in einen dafür vorgesehenen Bereich in der zweiten Baueinheit, z. B. an dem Brennraumauslass, ausdehnen.

[0019] Eine stabile, von der ersten Baueinheit unabhängige Lagerung für eine präzise Festlegung der zweiten Baueinheit ist dadurch erreichbar, dass die zweite Baueinheit an ihrem Außenumfang zumindest ein Lagermittel aufweist, das dazu ausgebildet ist, die zweite Baueinheit an einem das Brennkammersystem umgebenden Gehäuse (z. B. dem Übergang zwischen zwei Gehäuseteilen, wie einem Druck- und einem Turbinengehäuseteil) zu lagern.

[0020] Vorzugsweise ist das Lagermittel zur Anordnung in einem Gasführungsabschnitt, insbesondere in einem Kanal, ausgebildet, wobei es von Gas passierbar ist. Der Gasführungsabschnitt ist zwischen dem Brenn-

kammersystem und dem umgebenden Gehäuse einer technischen Anwendung ausgebildet. "Von Gas passierbar" heißt, dass das Lagermittel strömungsgünstig mit einer geringen Versperrwirkung ausgebildet ist, wobei

5 es z. B. weniger als die Hälfte des Strömungsquerschnitts versperrt. So kann es vorteilhafterweise zugleich als (radiales) Distanzhaltemittel wirken, das eine definierte Querschnittsfläche des Kanals sicherstellt und so einen gleichmäßigen Gasstrom ermöglicht. Bei einer zylindrischen Ausbildung von Umfangswandung und umgebendem Gehäuse ist insbesondere ein ringartiges Element zweckmäßig, da es eine hohe Stabilität aufweist und verhältnismäßig einfach, z. B. als Dreh- und/oder Frästeil, zu fertigen ist.

10 **[0021]** Eine solche vorteilhafte gaspassierbare, stabile Ausbildung des Lagermittels ergibt sich z. B., wenn das Lagermittel (insbesondere ringförmig) umlaufend ausgebildet ist, mit einem umlaufenden äußeren Anlageabschnitt zur Anlage an einem das Brennkammersystem

20 umgebenden Gehäuse und mit einem umlaufenden inneren Anlageabschnitt, der an der zweiten Baueinheit, insbesondere an dem zweiten Teilabschnitt, angeordnet, z. B. befestigt, ist und wenn die beiden Anlageabschnitte über radial angeordnete Stege miteinander Gas passierbar verbunden sind. Der äußere Anlageabschnitt kann für eine einfache axiale Fixierung an dem Gehäuse einen umlaufenden, radial nach außen gerichteten Überstand aufweisen, der z. B. in einer Nut einer Flanschverbindung eingreifen kann.

25 **[0022]** Eine Verringerung der Temperaturbelastung des Lagermittels ist dadurch erreichbar, dass das Lagermittel in dem Überlappungsbereich, insbesondere zwischen dem ersten Teilabschnitt und dem zweiten Teilabschnitt, angeordnet ist. In diesem Bereich herrschen z. B. aufgrund einer berührungsfreien Anordnung der beiden Baueinheiten zueinander und einer ggf. vorhandenen Luftleckage in die Brennkammer geringere Temperaturen an der Außenseite der Umfangswandung. Das Lagermittel kann somit weniger temperaturfest ausgelegt sein, was in der Regel mit geringeren Fertigungskosten und/oder -aufwand einhergeht.

30 **[0023]** Eine teile- und strömungsoptimierte Lagerung der ersten Baueinheit ergibt sich, wenn die erste Baueinheit über den Brennerkopf (bzw. zumindest Teilen davon) und über eine Brennstoffzuleitung gelagert ist. Auf diese Weise werden großteils bereits vorhandene Teilkomponenten als Lagerung benutzt, die in der Regel bereits strömungsoptimiert ausgelegt sind. Insbesondere bei Mikrogasturbinen ist diese Ausgestaltung von Vorteil, 35 da dort die Brennstoffzuleitung verhältnismäßig groß dimensioniert sein kann relativ zu der ersten Baueinheit und damit eine gute Stabilität für deren stabile Lagerung aufweist.

40 **[0024]** Besondere Vorteile ergeben sich, wenn das Brennkammersystem derart ausgebildet ist, dass im Betrieb von einem Gesamt-Oxidatorstrom ein Sekundärstrom an Oxidator abgezweigt und über den Brennerkopf 45 in einen Kanal zwischen der Umfangswandung und einer

das Brennkammersystem umgebenden Wandung gelehnt wird. Die Wandung ist insbesondere einem das Brennkammersystem umgebenden Gehäuse zugeordnet. Der Sekundärstrom wird z. B. zu Kühlzwecken eingesetzt, sowohl konvektiv durch Vorbeiströmen an der Umfangswandung als auch zur Kühlung des Abgases durch Beimischung hinter der Reaktionszone durch Mischluftöffnungen. Das Verhältnis zwischen Gesamt-Oxidatorstrom und Sekundärstrom wird in der Regel über die Geometrie und einem damit verbundenen bestimmten Druckverlustverhältnis ausgelegt. Änderungen in der Länge des Brennkammersystems können dieses Verhältnis über Geometrieveränderungen des Kanals beeinflussen, was wiederum den Verbrennungsprozess beeinflussen kann. Dies kann durch die erfundungsgemäße Ausgestaltung des Brennkammersystems verringert bzw. vermieden werden. Zugleich kann das Verhältnis gezielt geändert werden durch Änderung der Geometrie der Luftzufuhr des Kanals und/oder von vorhandenen Mischluftöffnungen durch die einfache Austauschbarkeit der zweiten Baueinheit.

[0025] Eine vorteilhafte Ausgestaltung ergibt sich, wenn in dem zweiten Teilabschnitt der Umfangswandung, insbesondere umlaufend, Mischluftöffnungen angeordnet sind, über die im Betrieb stromab der Reaktionszone Oxidator des Sekundärstroms in den Brennraum strömt. Durch die Beimischung von Oxidator wird das Abgas vor Eintritt in die Turbine abgekühlt, was die thermische Belastung der Turbine wesentlich reduziert und auch die Wärmeausdehnung der Umfangswandung ab der Position der Mischluftöffnungen verringern kann. Wenn die Mischluftöffnungen dem zweiten Teilabschnitt zugeordnet sind, können die Mischluftöffnungen auf einfache Weise durch Austausch lediglich der zweiten Baueinheit geändert werden, z. B., wenn eine andere Betriebsweise ein anderes Verhältnis von Gesamt- zu Sekundärstrom erfordert.

[0026] Ein besonders vorteilhaftes Brennkammersystem ergibt sich, wenn das Brennkammersystem zum Betrieb mit einer ausgeprägten inneren Rezirkulationszone ausgebildet ist, wobei insbesondere Zufuhrdüsen zur Zufuhr von Oxidator und/oder Brennstoff über den Brennerkopf ringförmig umlaufend in der Stirnwand des Brennerkopfes angeordnet sind. Vorzugsweise befinden sich die Zufuhrdüsen radial im Außenbereich, näher an der Umfangswandung als an der Längsachse, vorzugsweise im äußeren Drittel. Die Umfangswandung ist dabei für eine symmetrische Verbrennung z. B. zylindrisch umlaufend ausgebildet. Brennkammersysteme dieser Art sind beispielsweise in der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2016 118 632.5, eingereicht beim DPMA am 30.09.2016, und in der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2016 118 633.3, eingereicht beim DPMA am 30.09.2016, angegeben.

[0027] Eine strömungsgünstige Ausbildung des Brennerkopfes und damit des Brennkammersystems wird erreicht, wenn die Stirnwand zumindest teilweise gegen

die Anströmrichtung des Oxidators zulaufend ausgebildet ist. Dabei verjüngt sich die Stirnwand beispielsweise konisch und läuft insbesondere symmetrisch auf der Längsachse zusammen. Dadurch wird der Anströmverlust durch den Oxidator, der über ein Plenum in Richtung der Brennkammer bzw. um die Brennkammer geleitet wird, reduziert. Dies trägt zur Strömungsoptimierung des Brennkammersystems und damit zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrades einer Anlage bei, in der das Brennkammersystem zum Einsatz kommt. Auch die Abzweigung eines Sekundärstromes aus dem Oxidator und dessen Verteilung auf einen Kanal um die Umfangswandung kann dadurch strömungseffizient erfolgen.

[0028] Vorzugsweise ist die Stirnwand als Wandung anstelle aus Vollmaterial ausgebildet. Vorhandene Zufuhrdüsen in die Brennkammer sind an der Stirnwand befestigt und ragen dabei zumindest stromauf in das Plenum, vorzugsweise auch stromab in den Brennraum hinein. Dadurch kann die Materialdicke der Stirnwand möglichst gering sein, jedoch derart, dass eine ausreichende Stabilität auch bei für Brennkammersysteme typischer thermischer Belastung gewährleistet ist. Es hat sich herausgestellt, dass eine derartige, möglichst dünnwandige Stirnwand zur Stabilität des Verbrennungsprozesses beiträgt: Durch die geringe Masse ergibt sich eine geringe thermische Trägheit. So werden stationäre Zustände im Brennkammersystem, mit stabilem Verbrennungsbetrieb, schneller erreicht.

[0029] Eine kompakte erste Baueinheit mit einer stabilen Lagerung ist dadurch erhältlich, dass die Stirnwand stromauf in ein Positionierelement übergeht, das auf der Längsachse angeordnet ist, und dass das Positionierelement stromauf in einen Verteilerbereich und darüber in eine Brennstoffzuleitung übergeht. Dadurch ist zugleich eine symmetrische, teileoptimierte und strömungseffiziente Ausbildung des Brennkammersystems erreichbar. Die Symmetrie begünstigt dabei einen optimierten Verbrennungsprozess mit geringem Schadstoffausstoß.

[0030] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittdarstellung durch ein erfundungsgemäßes Brennkammersystem mit einer ersten und einer zweiten Baueinheit, denen jeweils ein Teilabschnitt einer Umfangswandung zugeordnet ist und

Fig. 2 eine Ansicht des Brennkammersystems gemäß Fig. 1 von vorne in Richtung Brennerkopf und Lagermittel.

[0031] Fig. 1 zeigt in einer Schnittdarstellung ein Brennkammersystem 1 mit einem Brennerkopf 4 und einer Brennkammer 10. Das Brennkammersystem 1 ist zur Verbrennungsprozessführung nach dem sogenannten "FLOX®"-Prinzip ausgelegt, bei dem sich im Betrieb eine ausgeprägte innere Rezirkulationszone 22 ausbildet.

Durch die erfindungsgemäße Weiterbildung des derartigen Brennkammsystems 1 lassen sich die bereits günstigen Emissionswerte weiter optimieren bzw. stabilisieren. So wird in Zusammenwirken mit den nachfolgend beschriebenen Ausbildungen, insbesondere auch des Brennerkopfes 4, ein effizient, stabil und emissionsarm zu betreibendes Brennkammsystem 1 bereitgestellt.

[0032] Die Brennkammer 10 umfasst einen Brennraum 2, der von einer Umfangswandung 3 der Brennkammer 10 umgrenzt ist. Die Umfangswandung 3 ist zylindrisch um eine Längsachse L angeordnet, entlang derer sich das Brennkammsystem 1 axial erstreckt. Im ausgangsseitigen Endbereich der Brennkammer 10 sind rundum in der Umfangswandung 3 Mischluftöffnungen 30 zum Zuführen von Mischluft in das verbrannte, aus der Brennkammer 10 strömende Abgas eingebracht. Diese sind vorliegend in einer Reihe ringartig, radial gleichmäßig um die Umfangswandung 3 verteilt und im Einzelnen als Kreisbohrungen ausgeführt, wobei andere Öffnungsformen und auch andere Anordnungen möglich sind.

[0033] Der Brennerkopf 4 ist eingangsseitig des Brennraums 2 angeordnet und weist für die Zugabe von zu verbrennenden Frischgasen (d. h. Oxidator, hier weiterhin als "(Brenn-) Luft" bezeichnet, und Brennstoff) mehrere, hier beispielhaft sechs, Zufuhrdüsen 47 mit in den Brennraum 2 mündenden Zuführöffnungen 46 auf. Die Zuführöffnungen 46 sind gleichmäßig umlaufend auf einem gedachten Ring in einer eingangsseitigen Stirnwand 40 angeordnet. Der Ring, insbesondere Kreisring, auf dem die Zuführöffnungen 46 angeordnet sind, befindet sich im äußeren Bereich der Stirnwand 40, sodass der radiale Abstand der Zuführöffnungen 46 (bezüglich ihrer Mittelpunkte) zu der Umfangswandung 3 geringer ist als zu der Längsachse L. Das Frischgas "Luft" kann auch durch einen anderen Oxidator gebildet sein und/oder Gaszusätze aufweisen, wie etwa Abgas, oder thermisch verwertbare Kohlenwasserstoffverbindungen. Als Brenngas wird z. B. Erdgas eingesetzt, oder ein anderer, insbesondere gasförmiger, Brennstoff.

[0034] Der Brennerkopf 4 umfasst neben den Zufuhrdüsen 47 und der Stirnwand 40, die eingangsseitig den Brennraum 2 begrenzt, eine Brennstoffzufuhr zur Zugabe von Brennstoff in die Brennluft. Die Stirnwand 40 ist entgegen der Anströmrichtung bezüglich der Brennluft konisch verjüngt, um den Anströmverlust im Betrieb gegenüber einer flachen Ausführung zu verringern.

[0035] Die Brennstoffzufuhr umfasst vorliegend mehrere Brennstoffdüsen 44, die hier jeweils einer der Zufuhrdüsen 47 zur Bildung von Luft-/ Brennstoffdüsenanordnungen 41 zugeordnet sind. Dabei ragt je eine Zufuhrdüse 47 mit einem, hier durch einen Zylinderabschnitt gebildeten, stromaufseitigen Ende in ein Plenum 49 hinein und bildet so eine Luftzufuhr 45. Stromab der Luftzufuhr 45 verjüngt sich der Querschnitt der Zufuhrdüse 47, hier des Zylinderabschnitts, zur Bildung einer Beschleunigungsstrecke, hier über einen konischen axi-

alen Bereich, und ragt mit einem verjüngten, stromabseitigen Abschnitt durch die Stirnwand 40 in die Brennkammer 10 hinein. Der in die Brennkammer 10 ragende Abschnitt ist ebenfalls zylinderförmig ausgebildet, kann aber auch eine andere Form aufweisen. Die Zufuhrdüsen 47 erstrecken sich entlang von Mittellängsachsen M, die parallel zur Längsachse L ausgerichtet sind, zur axialen Zufuhr des teilvergasmischten Brennstoff-Luft-Gemisches in die Brennkammer 10. Möglich ist auch eine nicht-vorgasmischte oder technisch vollständig vorgasmischte Zugabe der Frischgase, wobei der Brennerkopf 4 entsprechend ausgelegt ist.

[0036] In jeweils einer Zufuhrdüse 47 ragt eine Zweigleitung 43 einer fingerartigen Leitungsanordnung hinein. Dabei gehen die Zweigleitungen 43 fingerartig von einer zentralen Brennstoffzuleitung 42 ab, wobei sie eine gewisse Leitungslänge, beispielsweise mehr als dreimal so lang wie der Leitungsaußendurchmesser, aufweisen. Für eine genaue, symmetrische Zuführung des Brennstoffes von der zentralen Brennstoffzuleitung 42 radial mittig in die Zufuhrdüsen 47 sind die Zweigleitungen 43 mit einem Richtungswechsel, hier für eine günstige Strömungsführung gebogen, ausgeführt, wobei der Winkel α der Biegungen größer 90° und weniger 180° beträgt. Je eine Zweigleitung 43 mündet in einer Brennstoffdüse 44, die unmittelbar stromauf des verjüngten Abschnitts, mit einer Mündung unmittelbar zu Beginn der Beschleunigungsstrecke, positioniert ist. Der Brennstoff kann so koaxial der einströmenden Brennluft zugegeben werden, wobei unmittelbar stromab der Brennstoff-Zugabeposition die Brennluft durch die Querschnittsverengung beschleunigt wird. Bis zu der Zuführöffnung 46 kann eine (Teil-) Vormischung von Brennstoff und Brennluft stattfinden. Neben den Brennstoffdüsen 44 umfasst die Brennstoffzufuhr weiterhin einen zentralen, symmetrisch auf der Längsachse L angeordneten Verteilerbereich 421 und die davon abgehenden und in die Brennstoffdüsen 44 mündenden Zweigleitungen 43. Die Zweigleitungen 43 werden über den Verteilerbereich 421 und eine Brennstoffzuleitung 42 mit Brennstoff gespeist. So ergibt sich eine symmetrische Anordnung der Brennstoffzufuhr, bei der nicht explizit ein Brennstoffplenum vorgesehen ist. Dadurch kann auf einen hohen Druckverlust zur gleichmäßigen Verteilung des Brennstoffes, wie in der Regel bei Ausführungen mit Brennstoffplenum vorgesehen, verzichtet werden.

[0037] Der Brennerkopf 4 und die Umfangswandung 3 können als Montagehilfe eine radiale Positioniereinheit aufweisen (hier nicht gezeigt). Diese kann z.B. durch einen nasenartigen Vorsprung im Außenbereich der Stirnwand 4 und eine komplementäre Aufnahme in der Umfangswandung 3 gebildet sein. Die Aufnahme ist z. B. so ausgebildet und positioniert, dass der Vorsprung bei der Montage von Brennerkopf 4 und Umfangswandung 3 eingreift. Diese Ausbildung erleichtert bei der Erstmontage des Brennkammsystems 1, bei der der Brennerkopf 4 und die Umfangswandung 3 aneinander befestigt werden, eine definierte Positionierung dieser beiden Teile

zueinander in Umfangsrichtung.

[0038] An ihrem stromab gelegenen Ende weist das Brennkammersystem 1 einen Brennraumauslass 35 auf, mittels dem das Brennkammersystem 1 in eine Abgasleitung (hier nicht dargestellt) eines Abgasbereichs 5 übergeht. Über die Abgasleitung wird das Abgas im Betrieb beispielsweise einer Turbine zugeführt. Der Brennraumauslass 35 weist einen konischen Abschnitt 38 auf, der zur strömungsgünstigen Querschnittsreduktion von der Umfangswandung 3 auf die Abgasleitung vorhanden ist. Der konische Abschnitt 38 kann fest, z. B. einteilig mit der Umfangswandung 3 verbunden sein. Auf den konischen Abschnitt 38 kann auch verzichtet werden.

[0039] Das Brennkammersystem 1 ist in einem Gehäuse einer technischen Anwendung montiert, dessen Wandung 8 in Fig. 1 teilweise schematisch angedeutet ist. Insbesondere kann dies das Gehäuse einer Mikrogasturbinenanordnung sein, z.B. mit einem Druckgehäuseteil 81, das einen Großteil des Brennkammersystems 1 beherbergt und mit einem Turbinengehäuseteil 82, die über eine Flanschverbindung 83 (hier angedeutet) verbunden sind. Zwischen der Wandung 8 und der Außenseite der Umfangswandung 3 ist ein Kanal 84 zur Luftführung gebildet. Der Kanal 84 dient der Sekundärluftführung, die sich im Betrieb aus dem Gesamtluftstrom des Plenums 49 stromauf der Stirnwand 40 abteilt. Die Wandung 8 läuft im Bereich des konischen Abschnitts 38 in einer, hier konischen, Querschnittsverengung zusammen. Wie Fig. 1 erkennen lässt, hängt der Strömungsquerschnitt des Kanals 84 im Bereich der Querschnittsverengung u. a. von der axialen Länge des Brennkammersystems 1 ab.

[0040] Gemäß einem Kernaspekt der Erfindung ist das Brennkammersystem 1 axial in zwei Baueinheiten 36 und 37 unterteilt, die relativ zueinander axial verschiebbar gelagert sind. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die Lagerung getrennt voneinander. Möglich sind auch mehr als zwei Baueinheiten 36, 37, die das Brennkammersystem 1 bilden. Den Baueinheiten 36 und 37 ist jeweils ein axialer Teilabschnitt 30, 31 der Umfangswandung 3 zugeordnet, sodass die Umfangswandung 3 in zwei axiale Teilabschnitte 30, 31 unterteilt ist. Die Baueinheiten 36, 37 sind mit den Teilabschnitten 30, 31 axial hintereinander und in ihrem Übergang relativ zueinander axial verschiebbar angeordnet. Dabei ist zumindest ein stromab weisendes Ende 39 des ersten Teilabschnitts 30 gegenüber dem zweiten Teilabschnitt 31 axial verschiebbar. Die erste, weiter stromauf angeordnete Baueinheit 36 umfasst weiterhin den Brennerkopf 4, an dessen Stirnwand 40 die Umfangswandung 3 umlaufend befestigt ist und von der aus sich der erste Teilabschnitt 30 der Umfangswandung 3 erstreckt. Der erste Teilabschnitt 30 weist axial eine derartige Länge auf, dass er sich zumindest über eine Reaktionszone 21 hinweg erstreckt, in der im Betrieb die schnellen Verbrennungsreaktionen stattfinden. Die zweite Baueinheit 37 umfasst neben dem zweiten Teilabschnitt 37 den Brennraumauslass 35 mit dem konischen Abschnitt 38. In dem zweiten

Teilabschnitt 31 der Umfangswandung 3 sind weiterhin die Mischluftöffnungen 34 angebracht.

[0041] Die beiden Baueinheiten 36, 37 sind derart lösbar montiert, dass die Teilabschnitte 30, 31 unmittelbar axial hintereinander angeordnet sind. "Lösbar" bedeutet, dass die Baueinheiten 36, 37 bei oder nach der Demontage trennbar sind bzw. getrennt vorliegen. Ein definierter, axial lückenloser Übergang zwischen den beiden Teilabschnitten 30, 31 wird dadurch erreicht, dass die beiden Teilabschnitte 30, 31 in einem axialen Überlappungsbereich 32 miteinander überlappen. Dazu ist der Innendurchmesser des zweiten Teilabschnitts 31 geringfügig größer als der Außendurchmesser des ersten Teilabschnitts 30, sodass bei der Montage der erste Teilabschnitt 30 in den zweiten Teilabschnitt 31 geschoben werden kann. Vorliegend ist der Innendurchmesser des zweiten Teilabschnitts 31 derart größer gewählt, dass die beiden Teilabschnitte 30, 31 berührungslos unter Bildung eines Ringspalts 33 in dem Überlappungsbereich 32 zueinander angeordnet sind (bis auf z. B. ggf. vorhandene Verdreh sicherungsmittel und/oder Führungsmittel und/oder Abstandshaltemittel 381). Dies erlaubt eine einfache Montage und eine gute axiale Beweglichkeit zueinander. Der Ringspalt 33 ist radial so weit, dass auch bei z. B. Verformungen im Betrieb die axiale Beweglichkeit zueinander erhalten bleibt, ansonsten jedoch möglichst eng, um eine Lufleckage zwischen dem Kanal 84 und dem Brennraum 2 gering zu halten.

[0042] Im Betrieb kommt es aufgrund hoher thermischer Belastung, insbesondere in der Reaktionszone 21, zu einer Wärmeausdehnung insbesondere der Umfangswandung 3. Dies bewirkt eine (axiale) Längenausdehnung der Umfangswandung 3, die bei einem herkömmlichen, einteiligen Brennkammersystem 1 in einer axialen Verschiebung am Brennraumauslass 35 resultieren kann, insbesondere wenn es stromauf der Brennkammer 10 gelagert ist, beispielsweise über den Brennerkopf 4. Wenn - wie auch bei dem hier gezeigten Beispiel - das Brennkammersystem 1 in eine Gasführungsgeometrie (hier der Luftführungsgeometrie) einer Gasturbinenanlage eingebunden ist, kann die Längenänderung diese Geometrie verändern. Der Brennraumauslass 35 mit dem konischen Abschnitt 38 wird axial in Richtung Turbinengehäuseteil 82 verschoben, was den Strömungsquerschnitt des Kanals 84 verringert. Dies beeinflusst die Druckverlustverhältnisse in der Gasführung und damit das Verhältnis der Luftaufteilung (Brennluft zu Sekundärluft), was einen direkten Einfluss auf den Verbrennungsprozess und damit den Abgasemissionen nimmt.

[0043] Durch die hier gezeigte Ausbildung wird die wärmeausdehnungsbedingte Längenänderung des Brennkammersystems 1 durch die axiale Relativbewegung der Teilabschnitte 30, 31 zueinander weitgehend kompensiert. Unter der thermischen Belastung im Betrieb schiebt sich der erste Teilabschnitt 30 der Umfangswandung 3 axial weiter unter den zweiten Teilabschnitt 31 der Umfangswandung 3. Der Weg der axialen Ver-

schiebbarkeit ist dabei zumindest so groß ausgelegt wie die zu erwartende wärmebedingte Längenausdehnung der ersten Baueinheit 36, um diese kompensieren zu können. Dabei vergrößert sich der Überlappungsbereich 32 um die axiale Längenausdehnung, die Gesamtlänge des Brennkammersystems 1 bleibt jedoch weitgehend unverändert. Die Gesamtlänge variiert im Wesentlichen um die Längenausdehnung der zweiten Baueinheit 37. Diese Längenausdehnung fällt aufgrund der dort niedrigeren Gastemperaturen (insbesondere auch durch Beimischung von Mischluft) und der vergleichsweise geringen Länge der zweiten Baueinheit 37 gering aus. Der Strömungsquerschnitt des Kanals 84 bleibt somit im Wesentlichen unverändert. Dadurch bleiben die Druckverlustverhältnisse in der Strömungsführung und damit das Verhältnis der Luftaufteilung im Wesentlichen konstant. Dies trägt zu einer definierten Verbrennungsprozessführung bei.

[0044] Die beiden Baueinheiten 36, 37 sind für eine axial verschiebbare Lagerung der Teilabschnitte 30, 31 zweckmäßigerweise getrennt voneinander gelagert. Die zweite Baueinheit 37 ist an dem sie umgebenden Gehäuse der technischen Anwendung, hier der Mikrogasturbinenanordnung, gelagert. Zu diesem Zweck weist die zweite Baueinheit 37 vorliegend ein Lagermittel 6 auf, das an dem Außenumfang des zweiten Teilabschnitts 31 befestigt ist. In der gezeigten Ausführungsvariante erfolgt die Lagerung des Lagermittels 6 an der Flanschverbindung 83 zwischen den beiden Gehäuseteilen 81, 82, wodurch das Lagermittel 6 einfach montierbar und die zweite Baueinheit 37 sicher gelagert ist. Das Lagermittel 6 ist bei dem Ausführungsbeispiel so ausgebildet, dass es umlaufend in einem Gasführungsabschnitt, hier dem Kanal 84, angeordnet werden kann, wobei es von dem Gas passierbar ist. Dabei ist das Lagermittel 6 vorteilhaft so ausgebildet, dass es einen geringen Strömungswiderstand aufweist, aber zugleich ausreichend stabil ist für eine sichere Lagerung.

[0045] Die genannte vorteilhafte Lagerung lässt sich z. B. durch die hier gezeigte Ausbildung erreichen. Wie im Detail auch aus Fig. 2 ersichtlich, weist das Lagermittel 6 eine Ringstruktur auf. Dabei umfasst das Lagermittel 6 einen ringförmigen äußeren Anlageabschnitt 61 zur Anlage an dem umgebenden Gehäuse und einen inneren Anlageabschnitt 63, mit dem das Lagermittel 6 an dem zweiten Teilabschnitt 31 der Umfangswandung 3 befestigt ist und so einen Teil der zweiten Baueinheit 37 bildet. Die Anlageabschnitte 61, 63 sind für eine sichere Anlage bzw. gute Befestigungsmöglichkeit mit zugleich widerstandsarmer Formgebung ringartig und vorzugsweise dünnwandig ausgebildet. Die Materialstärke ist jedoch zumindest ausreichend dick, um den Anlageabschnitten 61, 63 die für die Lagerung nötige Stabilität zu verleihen. Der äußere Anlageabschnitt 61 weist einen umlaufenden, radial nach außen gerichteten Überstand 62 auf, der hier axial mittig ausgebildet ist. Mit dem Überstand 62 greift das Lagermittel 6 z. B. in eine in der Flanschverbindung 83 gebildete Nut ein. Dabei kann das Lager-

mittel 6 zwischen den Flanschen geklemmt sein, wodurch vorteilhaft eine definierte Positionierung des Lagermittels 6 und damit der zweiten Baueinheit 37 erreicht wird. Bei vertikaler Montage des Brennkammersystems

5 1 könnte das Lagermittel 6 mit dem Überstand 62 auch auf dem Flansch des Turbinengehäuseteils 82 aufliegen und sich gegen diesen abstützen (hier nicht gezeigt). Die beiden Anlageabschnitte 61, 63 sind durch sich radial (bzgl. der Längsachse L) erstreckende Stege 64 stabil 10 miteinander verbunden, hier beispielhaft sechs an der Zahl.

[0046] Durch die genannte Ausbildung und Positionierung wirkt das Lagermittel 6 zugleich als radialer Distanzring. Dadurch wird ein gleichmäßiger radialer Abstand 15 des Brennkammersystems 1 zu der Wandung 8, und damit ein gleichmäßiger symmetrischer Strömungsquerschnitt des Kanals 84 sichergestellt. Dies trägt zu einer symmetrischen Luftführung bei. Wie Figur 1 zeigt, kann/können zusätzlich ein oder mehrere Abstandshaltemittel 381 an der zweiten Baueinheit 37 vorhanden sein, um den Strömungsquerschnitt des Kanals 84 möglichst konstant zu halten. Die Abstandshaltemittel 381 sind vorliegend in Form von Vorsprüngen an der Außenseite des konischen Abschnitts 38 zur Anlage an der Wandung 8 angeordnet. Sie dienen insbesondere dazu, die zweite Baueinheit 37 zusätzlich festzulegen und Positionsänderungen der zweiten Baueinheit 37 z. B. durch Verformungen entgegenzuwirken.

[0047] Das Lagermittel 6 ist in dem Überlappungsbereich 32 an der zweiten Baueinheit 37 befestigt. Der Überlappungsbereich 32 entspricht in seiner axialen Ausdehnung z. B. in etwa der axialen Ausdehnung des Lagermittels 6 bzw. des inneren Anlageabschnitts 63. Der Überlappungsbereich 32 kann auch länger sein, insbesondere im Betrieb, in dem sich der Überlappungsbereich 32 um die Verschiebung durch Wärmeausdehnung axial vergrößert. Die Befestigung des Lagermittels 6 in dem Überlappungsbereich 32 hat den Vorteil, dass die Wärmelastung des Anlageabschnitts 63 verringert 40 wird. Dies ergibt sich insbesondere durch die berührungslose Anordnung der Teilabschnitte 30, 31 zueinander, wobei der Ringspalt und eine ggf. vorhandene Luftleckage in den Brennraum 2 die Wärmeübertragung zwischen dem Brennraum 2 und dem Anlageabschnitt 63 reduzieren.

[0048] Die Lagerung der ersten Baueinheit 36 erfolgt teileoptimiert über den Brennerkopf 4, der mit dem ersten Teilabschnitt 30 verbunden ist. Die Übertragung der Lagerkräfte erfolgt über die Stirnwand 40, die stromauf 50 ein stabartiges Positionierelement 48 übergeht, das zentral auf der Längsachse L angeordnet ist. Das Positionierelement 48 geht stromauf in den Verteilerbereich 421 und darüber in die Brennstoffzuleitung 42 über. Die Festlegung der ersten Baueinheit 36 erfolgt über die Brennstoffzuleitung 42 stromauf des Brennkammersystems 1 (hier nicht gezeigt). So sind in die Lagerung der ersten Baueinheit 36 vorteilhaft großteils bereits vorhandene Elemente des Brennerkopfes 4 involviert. Die Lagerung

ist zugleich strömungsgünstig ausgelegt, durch die widerstandsarme Formgebung der gegen die Anströmrichtung konischen Stirnwand 4 und der zentralen, im Querschnitt kompakten Anordnung und Ausbildung des Positionierelements 48, des Verteilerbereichs 421 und der Brennstoffzuleitung 42. So wird zugleich eine strömungseffiziente stabile Lagerung erreicht.

[0049] Das Brennkammersystem 1 umfasst eine Verdrehsicherungseinrichtung 7, über die die beiden Bauinheiten 36, 37 und damit die Teilabschnitte 30, 31 in Umfangsrichtung verdrehsicher zueinander gelagert sind. Dadurch wird in radialer Richtung eine festgelegte Positionierung der beiden Bauinheiten 36, 37 erreicht. So lassen sich Elemente bzw. Ausbildungen in beiden Bauinheiten 36, 37 in Umfangsrichtung zueinander definiert positionieren. Vorliegend betrifft dies z. B. die Zufuhröffnungen 46 des Brennerkopfes 4, die radial eindeutig definiert zu den Mischluftöffnungen 34 der zweiten Bauinheit 37 angeordnet sind, z. B. so, dass zwei Mischluftöffnungen 34 radial jeweils zwischen zwei Zufuhröffnungen 46 liegen. Dies ermöglicht eine definierte, saubere Verbrennungsprozessführung.

[0050] In dem gezeigten Beispiel ist die Verdrehsicherungseinrichtung 7 in dem Überlappungsbereich 32 ausgebildet. Dabei umfasst die Verdrehsicherungseinrichtung 7 ein Verdrehsicherungsmittel 71, das vorliegend als Vorsprung an der Innenseite des äußeren, hier des zweiten, Teilabschnitts 31 ausgebildet ist, z. B. in Form einer "Nase", eines Stegs oder Stifts. Weiterhin umfasst die Verdrehsicherungseinrichtung 7 eine Aufnahme 72, die hier an dem Ende 39 des inneren, ersten Teilabschnitts 30 ausgebildet ist. Die Aufnahme 72 ist dabei in Art einer axial verlaufenden länglichen Aussparung, beispielsweise als Schlitz, in das Ende 39 des ersten Teilabschnitts 30 eingebracht. Die Aussparung ist so breit ausgebildet, dass das Verdrehsicherungsmittel 71 hineinragen kann, wobei das Verdrehsicherungsmittel 71 eine entsprechende radiale Höhe aufweist. Die axiale Länge der Aussparung entspricht zumindest dem Weg der zu erwartenden axialen Verschiebung, in der die Wärmeausdehnung in diesem Bereich resultiert. Der erste Teilabschnitt 30 ist so mit seinem Ende 39 gegenüber dem zweiten Teilabschnitt 31 über den gesamten Weg der Wärmeausdehnung bewegbar bzw. verschiebbar und radial geführt.

[0051] Ein weiterer Vorteil der hier beschriebenen Teilung des Brennkammersystems 1 besteht darin, dass mit wenig Aufwand Einfluss auf die Luftverhältnisse genommen werden kann. Soll z. B. das Brennkammersystem 1 flexibel, beispielsweise mit unterschiedlichen Brennstoffen, eingesetzt werden, erfordert dies häufig eine Anpassung der Luftverhältnisse. Durch die hier beschriebene Teilung des Brennkammersystems 1 ist insbesondere das Mischluft-Verhältnis mit geringem Aufwand durch Austausch der zweiten Bauinheit 37 anpassbar.

[0052] Im Betrieb wird dem Brennkammersystem 1 Luft durch das Plenum 49 zugegeben. In Fig. 1 ist die Luftführung durch Pfeile angedeutet. Die Luft teilt sich

gemäß einem bestimmten Verhältnis, in einen Sekundärluftstrom und einen Brennluftstrom auf. Die Sekundärluft wird entlang der Stirnwand 40 in den Kanal 84 geleitet, wobei die Strömungsführung durch die konische Verjüngung der Stirnwand 40 widerstandsarm gestaltet ist. Die die Brennkammer 10 umströmende Sekundärluft kühlte die Stirnwand 40 und die Umfangswand 3 insbesondere konvektiv. Durch die Mischluftöffnungen 34 gelangt ein Teil der Sekundärluft als Mischluft in die

5 Brennkammer 10. Der Rest strömt weiter in Richtung Abgasbereich 5. Das Verhältnis der Aufteilung von Gesamtluft (oder Brennluft) zu Sekundärluft und Mischluft zu restlicher Luft in der Sekundärluft wird durch die Geometrie der Strömungsführung, insbesondere der Ausbildung 10 der Mischluftöffnungen 34 und des Kanals 84, bestimmt.

[0053] Die restliche Luft gelangt als Brennluft durch die Luftzufuhren 45 in die Luft-/Brennstoffdüsenanordnungen 41. Hier wird der Brennluft Brennstoff koaxial zur 15 Hauptströmungsrichtung in die Zufuhrdüsen 47 unmittelbar stromauf der Querschnittsverengungen zugegeben, sodass über die durch die Querschnittsverengungen gebildeten Beschleunigungsstrecken die Brennluft mit dem zugegebenen Brennstoff beschleunigt wird. Bis zu den 20 Austrittsöffnungen 46 erfolgt eine teilweise Vermischung von Brennluft und Brennstoff. Dieses Gemisch wird nun 25 der Brennkammer 10 zugeführt, entzündet sich dort und wird in der Reaktionszone 21 verbrannt. In dem Brennraum 2 bildet sich in der Rezirkulationszone 21 eine Rezirkulationsströmung mit einer inneren Rezirkulation des 30 verbrannten Abgases aus, durch die ein Teil des verbrannten Abgases wieder in einen Bereich stromauf der Verbrennungszone zurückgeführt wird und sich in die noch unverbrannten Frischgase eimischt (in der Figur durch Pfeile angedeutet). Auf diese Weise wird die Verbrennungstemperatur reduziert. Die verhältnismäßig 35 weit außen angeordneten Zufuhröffnungen 46 begünstigen dabei eine im Wesentlichen nach innen gerichtete Rezirkulation, sodass die zurückströmenden Abgase in der inneren Rezirkulationszone 21, umgeben von der 40 ringförmigen Verbrennungszone, zurückströmen, d.h. näher an der Längsachse L vorbei als die verbrennenden Gase. Durch die im Wesentlichen innere Rezirkulation wird eine kompakte Strömungsführung erreicht, wodurch wiederum die Brennkammer 10 insbesondere bezüglich 45 ihrer Länge kompakt ausgelegt werden kann.

[0054] Der Brennerkopf 4 und die Brennkammer 10 sind derart ausgelegt, dass die Reaktionszone 21 und Rezirkulationszone 22 stromauf der Mischluftöffnungen 34 gelegen sind. Die durch die Mischluftöffnungen 34 zugegebene Mischluft mischt sich im Wesentlichen in das in Richtung stromab in den Abgasbereich 5 strömende Abgas ein und kühlt dieses.

[0055] Der Brennerkopf 4 und die Brennkammer 10 sind z. B. derart ausgelegt, dass sich eine Rezirkulationsrate (Massenverhältnis an zurückgeföhrttem Abgas zu zugegebenen Frischgasen) von kleiner 1,5, bevorzugt kleiner 1, beispielsweise 0,4 bis 0,8 ergibt. Diese Rezirkulationsrate erlaubt eine über einen weiten Betriebsbe-

reich stabile, saubere Verbrennung.

[0056] Die angegebene Verbrennungsprozessführung ermöglicht einen emissionsarmen, stabilen und effizienten Betrieb der Mikrogasturbinenanordnung. Die erfindungsgemäße Ausbildung des Brennkammsystems 1 trägt zu dem vorteilhaften Betrieb bei, indem die auslegungsgemäßen Verhältnisse zwischen den Luftströmen genauer eingehalten werden können.

Patentansprüche

1. Brennkammsystem (1), insbesondere zum Einsatz in einer Gasturbinenanlage,
mit einer um eine Längsachse (L) umlaufenden Umfangswandung (3), die einen Brennraum (2) umgrenzt, in dem im Betrieb eine Reaktionszone (21) ausgebildet ist,
mit einem eingangsseitig des Brennraums (2) angeordneten Brennerkopf (4) zur Zugabe von Brennstoff und Oxidator in den Brennraum (2), der zumindest eine Brennstoffzufuhr zur Zugabe von Brennstoff in den Oxidator umfasst und mit einem ausgangsseitig des Brennraums (2) angeordneten Brennraumausslass (35),
dadurch gekennzeichnet,
dass das Brennkammsystem (1) in zumindest eine erste und eine zweite Baueinheit (36, 37) unterteilt ist, die in eingebautem Zustand in einer technischen Anwendung axial hintereinander angeordnet sind, wobei sich die zweite Baueinheit (37) zumindest bereichsweise stromab der ersten Baueinheit (36) erstreckt, und
dass die Baueinheiten (36, 37) axial relativ zueinander verschiebbar gelagert sind.
2. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Baueinheit (36) einen ersten Teilabschnitt (30) der Umfangswandung (3) umfasst, und/oder
dass die zweite Baueinheit (37) einen zweiten Teilabschnitt (31) der Umfangswandung (3) umfasst und
dass die Teilung des Brennkammsystems (1) in die Baueinheiten (36, 37) angrenzend an einen oder zwischen zwei Teilabschnitten (30, 31) angeordnet ist.
3. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die hintereinander angeordneten Baueinheiten (36, 37) in einem axialen Überlappungsbereich (32) miteinander überlappen, wobei insbesondere der erste Teilabschnitt (30) mit der zweiten Baueinheit (37), insbesondere mit dem zweiten Teilabschnitt (31), überlappt.
4. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Baueinheiten (36, 37) in dem Überlappungsbereich (32) zumindest teilweise berührungs-frei zueinander angeordnet sind.

5. Brennkammsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Brennkammsystem (1) zumindest eine Verdreh sicherungseinrichtung (7) umfasst, mittels derer die hintereinander angeordneten Baueinheiten (36, 37) in Umfangsrichtung verdrehsicher zu-einander gelagert sind.
- 10 6. Brennkammsystem (1) nach zumindest den An-sprüchen 3 und 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verdreh sicherungseinrichtung (7) in dem Überlappungsbereich (32) ausgebildet ist, wobei ei-ne der beiden Baueinheiten (36, 37) außen und eine innen angeordnet ist und wobei die Verdreh sicherungseinrichtung (7) ein Verdreh sicherungsmittel (71) umfasst, das insbesondere auf der Innenseite der äußeren Baueinheit (37), insbesondere des äu-ßeren Teilabschnitts (31), ausgebildet ist und weiterhin eine Aufnahme (72) umfasst, die insbesonde-re an einem stromabweisenden Ende (39) der inne-ren Baueinheit (36), insbesondere des inneren Teil-abschnitts (30), ausgebildet ist, und
dass das Verdreh sicherungsmittel (71) in der Auf-nahme (72) axial geführt ist.
- 15 7. Brennkammsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verdreh sicherungseinrichtung (7) in dem Überlappungsbereich (32) ausgebildet ist, wobei ei-ne der beiden Baueinheiten (36, 37) außen und eine innen angeordnet ist und wobei die Verdreh sicherungseinrichtung (7) ein Verdreh sicherungsmittel (71) umfasst, das insbesondere auf der Innenseite der äußeren Baueinheit (37), insbesondere des äu-ßeren Teilabschnitts (31), ausgebildet ist und weiterhin eine Aufnahme (72) umfasst, die insbesonde-re an einem stromabweisenden Ende (39) der inne-ren Baueinheit (36), insbesondere des inneren Teil-abschnitts (30), ausgebildet ist, und
dass das Verdreh sicherungsmittel (71) in der Auf-nahme (72) axial geführt ist.
- 20 8. Brennkammsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Baueinheit (36) den Brennerkopf (4) sowie den ersten Teilabschnitt (30) umfasst und sich mit dem ersten Teilabschnitt (30) axial über den Be-reich der Reaktionszone (21) hinweg erstreckt und/oder dass die zweite Baueinheit (37) den Brenn-raumausslass (35) umfasst.
- 25 9. Brennkammsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Baueinheit (37) an ihrem Außenum-fang zumindest ein Lagermittel (6) aufweist, das da-zu ausgebildet ist, in eingebautem Zustand die zweite Baueinheit (37) an einem das Brennkammsys-tem (1) umgebenden Gehäuse (81, 82) zu lagern.
- 30 10. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Lagermittel (6) zur Anordnung in einem Gasführungsabschnitt, insbesondere in einen Kanal (8), ausgebildet ist, wobei es von Gas passierbar ist.
- 35 11. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 9,
- 40 12. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Baueinheit (37) an ihrem Außenum-fang zumindest ein Lagermittel (6) aufweist, das da-zu ausgebildet ist, in eingebautem Zustand die zweite Baueinheit (37) an einem das Brennkammsys-tem (1) umgebenden Gehäuse (81, 82) zu lagern.
- 45 13. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Baueinheit (37) an ihrem Außenum-fang zumindest ein Lagermittel (6) aufweist, das da-zu ausgebildet ist, in eingebautem Zustand die zweite Baueinheit (37) an einem das Brennkammsys-tem (1) umgebenden Gehäuse (81, 82) zu lagern.
- 50 14. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Baueinheit (37) an ihrem Außenum-fang zumindest ein Lagermittel (6) aufweist, das da-zu ausgebildet ist, in eingebautem Zustand die zweite Baueinheit (37) an einem das Brennkammsys-tem (1) umgebenden Gehäuse (81, 82) zu lagern.
- 55 15. Brennkammsystem (1) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Baueinheit (37) an ihrem Außenum-fang zumindest ein Lagermittel (6) aufweist, das da-zu ausgebildet ist, in eingebautem Zustand die zweite Baueinheit (37) an einem das Brennkammsys-tem (1) umgebenden Gehäuse (81, 82) zu lagern.

- dadurch gekennzeichnet,**
dass das Lagermittel (6) umlaufend ausgebildet ist,
mit einem umlaufenden äußereren Anlageabschnitt
(61) zur Anlage an einem das Brennkamersystem
(1) umgebenden Gehäuse und mit einem umlaufen-
den inneren Anlageabschnitt (63), der an der zweiten
Baueinheit (37), insbesondere an dem zweiten Teil-
abschnitt (31), angeordnet ist und
dass die beiden Anlageabschnitte (61, 63) über ra-
dial angeordnete Stege (64) miteinander Gas pas-
sierbar verbunden sind.
11. Brennkamersystem (1) nach zumindest den An-
sprüchen 3 und 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Lagermittel (6) in dem Überlappungsbe-
reich (32) angeordnet ist.
12. Brennkamersystem (1) nach zumindest Anspruch
7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Baueinheit (36) über den Brennerkopf
(4) und über eine Brennstoffzuleitung (42) gelagert
ist.
13. Brennkamersystem (1) nach einem der vorherge-
henden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Brennkamersystem (1) derart ausgebil-
det ist, dass im Betrieb von einem Gesamt-Oxida-
torstrom ein Sekundärstrom an Oxidator abgezweigt
und über den Brennerkopf (4) in einen Kanal (84)
zwischen der Umfangswandung (3) und einer das
Brennkamersystem (1) umgebenden Wandung
(8) gelenkt wird.
14. Brennkamersystem (1) nach einem der Ansprüche
2 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass in dem zweiten Teilabschnitt (31) der Umfangs-
wandung (3) insbesondere umlaufend, Mischluftöff-
nungen (34) angeordnet sind, über die im Betrieb
stromab der Reaktionszone (21) Oxidator des Se-
kundärstroms in den Brennraum (2) strömt.
15. Brennkamersystem (1) nach einem der vorherge-
henden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Brennkamersystem (1) zum Betrieb mit
einer ausgeprägten inneren Rezirkulationszone (22)
ausgebildet ist, wobei insbesondere Zufuhrdüsen
(47) zur Zufuhr von Oxidator und/oder Brennstoff
ringförmig umlaufend in einer Stirnwand (40) des
Brennerkopfes (4) angeordnet sind.
16. Brennkamersystem (1) nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stirnwand (40) zumindest teilweise gegen
- die Anströmrichtung des Oxidators zulaufend aus-
gebildet ist.
17. Brennkamersystem (1) nach Anspruch 15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stirnwand (40) stromauf in ein Positioniere-
lement (48) übergeht, das auf der Längsachse (L)
angeordnet ist, und
dass das Positionierelement (48) stromauf in einen
Verteilerbereich (421) und darüber in eine Brenn-
stoffzuleitung (42) übergeht.
18. Mikrogasturbinenanordnung mit einem Brennkam-
mersystem (1) nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, mit einer stromab des Brennkamersys-
tems (1) angeschlossenen Turbine und mit einem
Gehäuse, das zumindest das Brennkamersystem
(1) mittels einer Wandung (8) umgibt, wobei zwi-
schen einem Bereich der Wandung (8) und dem
Brennkamersystem (1) zumindest ein Kanal (84)
zur Gasführung, insbesondere zur Luftführung, ge-
bildet ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

11

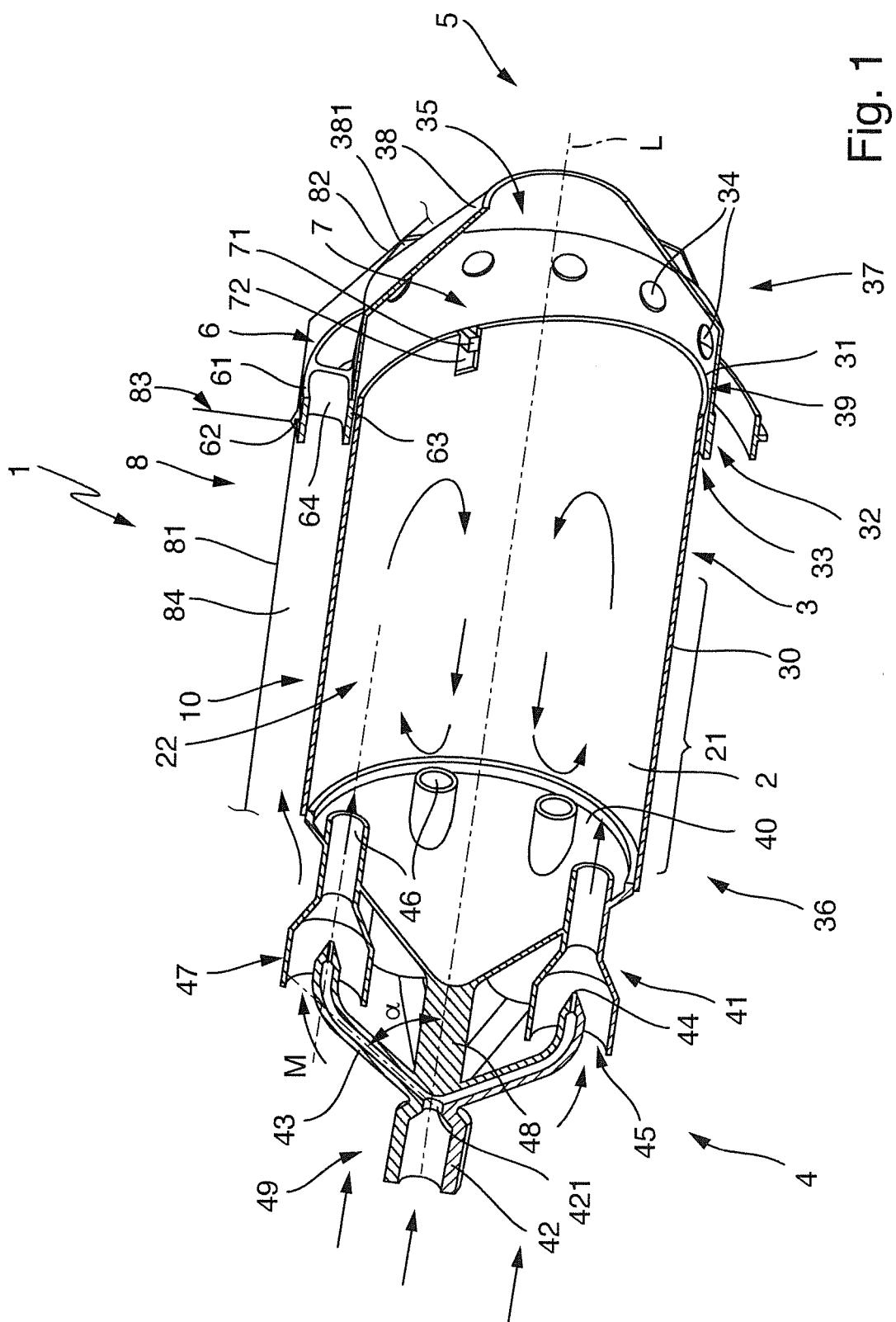


Fig.

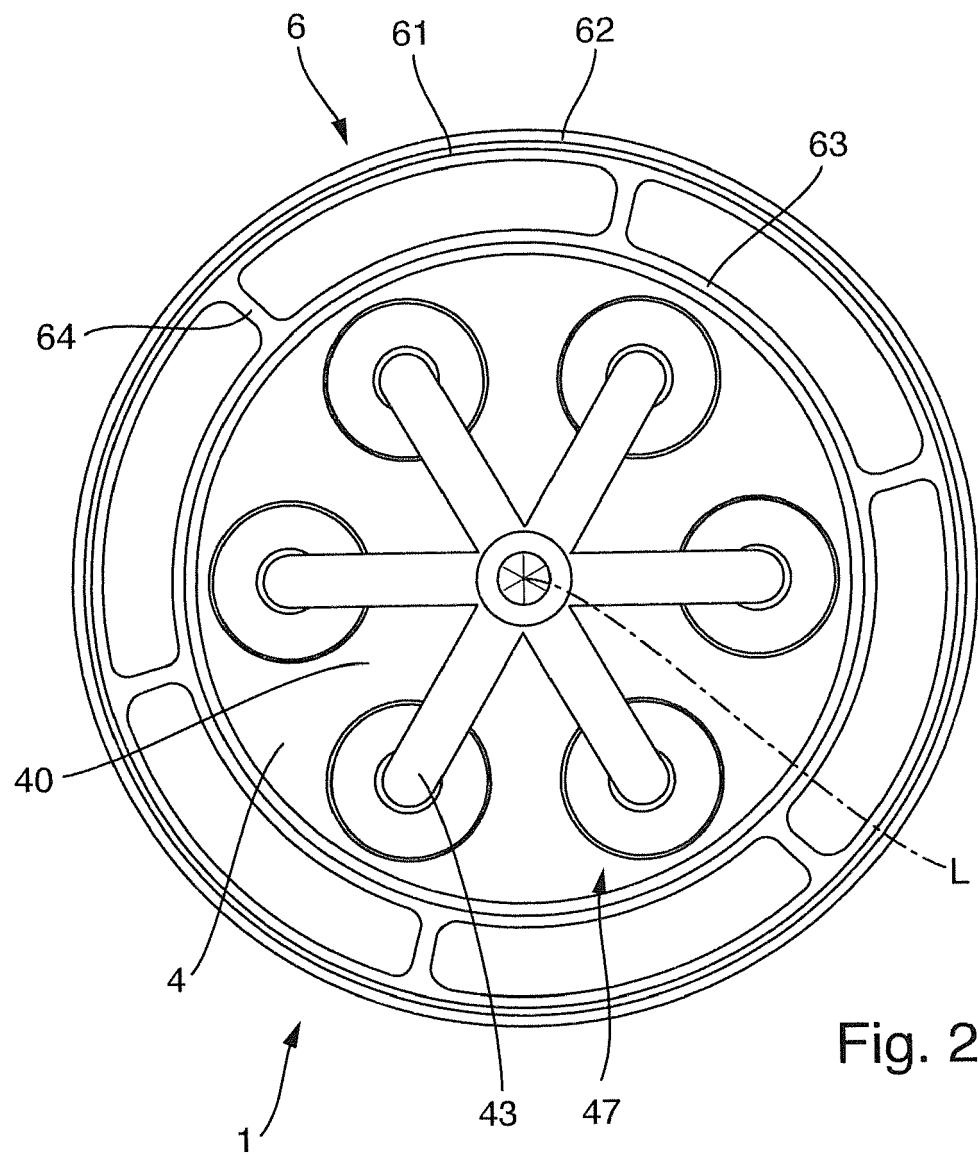


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 16 0469

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE								
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)					
10 X	DE 10 2015 226079 A1 (DÜRR SYSTEMS AG [DE]) 22. Juni 2017 (2017-06-22) * Seite 4, Absatz 40 - Seite 5, Absatz 62 * * Seite 10, Absatz 176 - Seite 11, Absatz 199 * * Abbildungen 4, 8-11 * -----	1-9, 12-17	INV. F23R3/00 F23R3/28 F23R3/46 F23R3/60 F23D14/08					
15 X	DE 10 2012 216080 A1 (DUERR SYSTEMS GMBH [DE]) 20. Februar 2014 (2014-02-20) * Seite 3, Absatz 20 - Seite 4, Absatz 27 * * Abbildung 1 *	1-3,7, 12-18						
20 X	GB 1 420 202 A (STONE PLATT CRAWLEY LD; LUCAS INDUSTRIES LTD) 7. Januar 1976 (1976-01-07) * Seite 2, Zeile 25 - Seite 3, Zeile 29 * * Abbildungen 1-5 *	1-5,7-9, 12,13						
25			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)					
30			F23R F23D					
35								
40								
45								
50 1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt							
55	<table border="1"> <tr> <td>Recherchenort</td> <td>Abschlußdatum der Recherche</td> <td>Prüfer</td> </tr> <tr> <td>München</td> <td>20. Juli 2020</td> <td>Rudolf, Andreas</td> </tr> </table> <p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	München	20. Juli 2020	Rudolf, Andreas	
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer						
München	20. Juli 2020	Rudolf, Andreas						

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 16 0469

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-07-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102015226079 A1	22-06-2017	DE 102015226079 A1 DE 112016005836 A5 WO 2017103232 A1	22-06-2017 30-08-2018 22-06-2017
20	DE 102012216080 A1	20-02-2014	DE 102012216080 A1 EP 2885582 A2 US 2015089954 A1 US 2018238549 A1 WO 2014027005 A2	20-02-2014 24-06-2015 02-04-2015 23-08-2018 20-02-2014
25	GB 1420202 A	07-01-1976	AU 5311273 A CA 972279 A FR 2176459 A5 GB 1420202 A IT 981111 B JP S493223 A NL 7303488 A	12-09-1974 05-08-1975 26-10-1973 07-01-1976 10-10-1974 12-01-1974 18-09-1973
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1497589 B1 [0002]
- EP 1995515 A1 [0002]
- DE 102016118632 [0026]
- DE 102016118633 [0026]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- ZANGER, J. ; MONZ, T ; AIGNER, M. Experimental Investigation of the Combustion Characteristics of a double-staged FLOX®-based Combustor on an Atmospheric and a Micro Gas Turbine Test Rig. *Proceedings of ASME Turbo Expo*, 15. Juni 2015 [0003]
- LI, G. ; GUTMARK, E. J. ; STANKOVIC, D. ; OVERMAN, N. ; CORNWELL, M. ; FUCHS, L. ; MIOSAVLJEVIC, V. Experimental Study of Flameless Combustion in Gas Turbine Combustors. *44th AIAA 9, 12. Januar 2006* [0003]