



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.04.2007 Patentblatt 2007/16

(51) Int Cl.:
F23M 13/00 (2006.01) F23R 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06121964.8**

(22) Anmeldetag: **09.10.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

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

(72) Erfinder: **Faragó, Zoltán**
74747, Ravenstein (DE)

(30) Priorität: **14.10.2005 DE 102005050029**

(74) Vertreter: **Hoeger, Stellrecht & Partner**
Patentanwälte
Uhlandstrasse 14 c
70182 Stuttgart (DE)

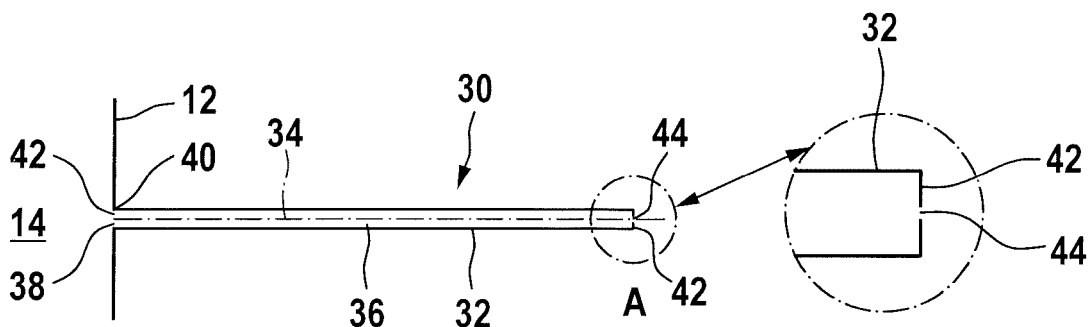
(54) **Resonatorvorrichtung für eine Brennkammer, Brennkammer und Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer**

(57) Um eine Resonatorvorrichtung für eine Brennkammer (10) mit einem Brennraum (14), umfassend eine Wandung (32), durch welche ein Resonatorraum (36) gebildet ist, wobei der Resonatorraum an einer ersten Stirnseite (40) zur Verbindung mit der Brennkammer mit-

tels einer ersten Öffnung (38) offen ist, bereitzustellen, mit welcher sich auf effektive Weise die akustischen Eigenschaften der Brennkammer einstellen lassen, ist vorgesehen, dass die Wandung an einer der ersten Stirnseite gegenüberliegenden zweiten Stirnseite (42) eine zweite Öffnung (44) aufweist.

Fig. 3 (a)

Fig. 3 (b)



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Resonatorvorrichtung für eine Brennkammer mit einem Brennraum, umfassend eine Wandung, durch welche ein Resonatorraum gebildet ist, wobei der Resonatorraum an einer ersten Stirnseite zur Verbindung mit der Brennkammer mittels einer ersten Öffnung offen ist.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner eine Brennkammer mit einem Brennraum.

[0003] Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer.

[0004] In oder an Brennkammern, beispielsweise für Flugkörper wie Raketen oder für Gasturbinen, können oszillierende Teilvorgänge der Verbrennung stattfinden. Die Brennstoffzufuhr kann oszillieren, die Mischungsbildung von Brennstoff und Oxidator kann oszillieren und die chemischen Reaktionen in der Brennkammer können oszillieren. Bei Flüssigbrennstoff oder bei einem gelförmigen Treibstoff kann die Zerstäubung und Verdampfung Oszillation aufweisen.

[0005] Die Brennkammer selbst ist ein Hohlkörper, welcher akustische Eigenmoden aufweist. Es ist grundsätzlich möglich, dass eine akustische Kopplung der beschriebenen oszillierenden Vorgänge mit Eigenmoden der Brennkammer erfolgen kann. Dadurch können Druckpulsationen entstehen, die beispielsweise zur Beschädigung der Brennkammer führen können oder die Verbrennung stören können. Es ist dabei sogar möglich, dass die Verbrennung erlischt.

[0006] Bei einer Störung der Verbrennung tritt üblicherweise eine Leistungsminderung auf. Es besteht auch die Gefahr, dass die Betriebssicherheit und die Lebensdauer erniedrigt werden. Es kann auch eine Erhöhung der Schadstoffbelastung und der Schallbelastung auftreten.

[0007] Die akustischen Eigenschaften einer Brennkammer lassen sich durch das Vorsehen von einer oder mehreren akustischen Resonatorvorrichtungen als Dämpfungsvorrichtungen beeinflussen. Diese akustischen Resonatorvorrichtungen können an Eigenmoden der Brennkammer koppeln, um so Eigenmoden in unkritische Frequenzbereiche verschieben zu können bzw. störende Eigenmoden dämpfen zu können.

[0008] Aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Anmeldung Nr. 10 2005 035 058.2 vom 20. Juli 2005 des gleichen Anmelders ist ein Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer, bei dem die Brennkammer mit mindestens einem akustischen Resonator als Dämpfungselement versehen wird, bekannt.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Resonatorvorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, mit welcher sich auf effektive Weise die akustischen Eigenschaften einer Brennkammer einstellen lassen.

[0010] Diese Aufgabe wird bei der eingangs genann-

ten Resonatorvorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Wandung an einer der ersten Stirnseite gegenüberliegenden zweiten Stirnseite eine zweite Öffnung aufweist.

[0011] Es hat sich gezeigt, dass sich durch das Vorsehen einer solchen Öffnung an einem sonst geschlossenen Ende des Resonatorraums die Dämpfung erhöhen lässt. Es hat sich dabei bei entsprechender Einstellung der Öffnungsfläche eine Dämpfungserhöhung um einen Faktor 15 erzielen lassen.

[0012] Durch die verbesserte Dämpfungswirkung der entsprechenden Resonatorvorrichtungen lassen sich Verbrennungsinstabilitäten auf effektive Weise unterdrücken.

[0013] Ferner ist es dann möglich, eine geringere Anzahl an Resonatorvorrichtungen an einer Brennkammer zur gezielten Einstellung deren akustischen Eigenschaften zu positionieren.

[0014] Durch die vorgesehene zweite Öffnung ist es auch möglich, Kühlmedium aus einem Resonatorraum auszublasen. (In einem Resonatorraum verbleibendes Kühlmedium kann die Resonatoreigenschaften beeinflussen.)

[0015] Ferner ist es möglich, über die zweite Öffnung auch während des Betriebs der Brennkammer ein Medium einzukoppeln und/oder auszukoppeln. Dadurch lassen sich die Resonatoreigenschaften auch zeitlich steuern, um beispielsweise eine effektive Dämpfungswirkung auch während einer Inbetriebnahmephase einer Brennkammer zu erreichen.

[0016] Insbesondere entspricht eine Öffnungsfläche der ersten Öffnung einer Querschnittsfläche des Resonatorraums an der ersten Stirnseite. Damit ist der Resonatorraum an der ersten Stirnseite vollständig offen gegenüber dem Brennraum.

[0017] Weiterhin ist es günstig, wenn die zweite Öffnung eine Öffnungsfläche aufweist, welche kleiner ist als eine Querschnittsfläche des Resonatorraums an der zweiten Stirnseite. Der Resonatorraum ist dann an der zweiten Stirnseite bis auf die zweite Öffnung geschlossen. Dadurch lässt sich auf einfache Weise eine verbesserte Dämpfungswirkung erreichen.

[0018] Insbesondere weist der Resonatorraum eine Länge auf, welche größer ist als der größte Durchmesser des Resonatorraums. Dadurch lassen sich über eine oder mehrere Resonatorvorrichtungen die akustischen Eigenschaften der Brennkammer auf effektive Weise beeinflussen.

[0019] Es kann vorgesehen sein, dass der Resonatorraum rotationssymmetrisch bezüglich einer Längsachse ausgebildet ist.

[0020] Bei einer Ausführungsform weist der Resonatorraum einen einheitlichen Querschnitt auf.

[0021] Üblicherweise wird ein Resonatorraum mit einheitlichem Querschnitt als $\lambda/4$ -Resonatorraum bezeichnet.

[0022] Es ist auch möglich, dass der Resonatorraum als Helmholtz-Resonatorraum ausgebildet ist, wobei er

dann keinen einheitlichen Querschnitt aufweist, sondern einen ersten Bereich mit einheitlichem Querschnitt und einen zweiten Bereich mit einheitlichem Querschnitt. Der Querschnitt im zweiten Bereich ist größer als der Querschnitt im ersten Bereich.

[0023] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn das Verhältnis einer Öffnungsfläche der zweiten Öffnung zu der Querschnittsfläche des Resonatorraums zwischen 0,001 und 0,1 liegt. Dadurch lässt sich eine erhöhte Dämpfungswirkung erreichen.

[0024] Insbesondere ist es dann günstig, wenn das Verhältnis zwischen 0,01 und 0,05 liegt.

[0025] Bei einer Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung einstellbar ist. Beispielsweise sind auswechselbare Verschlusselemente für den Resonatorraum vorgesehen, in welchem die zweite Öffnung gebildet ist. Bei einem entsprechenden Satz von Verschlusselementen lässt sich dann die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung gezielt wählen.

[0026] Günstig ist es, wenn an oder in der zweiten Öffnung ein Kapillarrohr angeordnet ist. Dadurch lassen sich aus dem Resonatorraum ausströmende Verbrennungsgase wegführen, um eventuelle Betriebsstörungen zu verhindern. Beispielsweise ist bei einem Helmholtz-Resonator in der zweiten Öffnung ein Kapillarrohr positioniert.

[0027] Es ist dann vorgesehen, dass der Resonatorraum über die zweite Öffnung in einen Innenraum des Kapillarrohrs mündet, um Verbrennungsgas effektiv abführen zu können.

[0028] Insbesondere weist das Kapillarrohr eine Querschnittsfläche auf, welche größer ist als eine Öffnungsfläche der zweiten Öffnung. Dadurch lassen sich Verbrennungsgase auf effektive Weise abführen.

[0029] Damit das Kapillarrohr die Resonatoreigenschaften des Resonatorraums nur minimal beeinflusst, ist günstigerweise vorgesehen, dass das Kapillarrohr eine Querschnittsfläche aufweist, welche kleiner ist als die Querschnittsfläche des Resonatorraums an der zweiten Stirnseite.

[0030] Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Brennkammer mit einem Brennraum bereitzustellen, an welcher die akustischen Eigenschaften auf einfache und effektive Weise einstellbar sind.

[0031] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine oder mehrere erfindungsgemäße Resonatorvorrichtungen an der Brennkammer angeordnet sind.

[0032] Die erfindungsgemäße Brennkammer weist die bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung erläuterten Vorteile auf.

[0033] Insbesondere weist die Brennkammer mindestens eine Öffnung auf, an welcher die mindestens eine Resonatorvorrichtung angeordnet ist. Dadurch kann über die Resonatorvorrichtung eine Beeinflussung der akustischen Eigenschaften der Brennkammer erfolgen.

[0034] Günstig ist es, wenn die mindestens eine Resonatorvorrichtung quer zu einer Brennkammerachse

orientiert ist. Dadurch lassen sich Resonatorvorrichtungen auf einfache Weise an der Brennkammer anordnen.

[0035] Aus dem gleichen Grund ist es günstig, wenn die mindestens eine Resonatorvorrichtung mindestens teilweise radial orientiert ist.

[0036] Um die Verbrennungsvorgänge außer der Beeinflussung der akustischen Eigenschaften minimal zu stören, ist die mindestens eine Resonatorvorrichtung vorzugsweise an einer Außenseite der Brennkammer angeordnet.

[0037] Beispielsweise ist eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen ringförmig an der Brennkammer angeordnet. Die Resonatorvorrichtungen können dabei auf der gleichen Höhe angeordnet sein oder auch auf unterschiedlichen Höhen.

[0038] Es kann vorgesehen sein, dass die zweite Öffnung der mindestens einen Resonatorvorrichtung in fluidwirksamer Verbindung mit einer Leitung steht. Dadurch lässt sich Verbrennungsgas abführen bzw. es lässt sich ein Gas in einen oder mehrere Resonatorräume eingekoppeln. Beispielsweise ist die Leitung geschlossen als Ringleitung ausgebildet. Dadurch lässt sich verhindern, dass Verbrennungsprodukte den Brennraum durch die Resonatorräume verlassen.

[0039] Dadurch wiederum lässt sich eine Schubverminderung einer Rakete oder eine Leistungsverminderung einer Gasturbine verringern.

[0040] Insbesondere ist die Leitung als Ringleitung ausgebildet oder umfasst eine Ringleitung, welche den Brennraum umgibt. Dadurch lassen sich Verbrennungsgase in dem System halten.

[0041] Es ist dann vorteilhaft, wenn die Ringleitung geschlossen ist, um Verbrennungsprodukte in dem System halten zu können.

[0042] Günstig ist es, wenn eine Querschnittsfläche der Ringleitung größer ist als eine Querschnittsfläche eines Resonatorraums. Dadurch lässt sich auf effektive Weise eine Schubminderung bzw. Leistungsverminderung verringern.

[0043] Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Leitung mit einem Kapillarrohr verbunden ist, welches an oder in der zweiten Öffnung der mindestens einen Resonatorvorrichtung angeordnet ist. Dadurch lässt sich auf effektive Weise eine Ableitung von Verbrennungsprodukten erreichen.

[0044] Günstig ist es, wenn eine Querschnittsfläche der Leitung größer ist als die Summe der Querschnittsflächen aller Kapillarrohre, wenn eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen vorgesehen ist. Dadurch lässt sich auf effektive Weise eine Abführung von Verbrennungsprodukten aus dem oder den Resonatorräumen erhalten, wobei sich die Verbrennungsprodukte im System halten lassen.

[0045] Günstig ist es, wenn an der Leitung mindestens ein steuerbares Ventil angeordnet ist. Dadurch lässt sich beispielsweise zeitabhängig und/oder druckschwankungsabhängig eine Steuerung der Durchströmung von Verbrennungsgasen durch Resonatorräume einstellen.

Beispielsweise lässt sich dadurch eine schnellere Erwärmung der Resonatorräume während Inbetriebnahmephasen erreichen. Durch eine auftretende Gasströmung lässt sich insbesondere in einer Inbetriebnahmephase eine höhere Dämpfung erreichen.

[0046] Insbesondere ist eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung des mindestens einen steuerbaren Ventils vorgesehen. Dadurch lässt sich eine zeitabhängige Steuerung und/oder druckschwankungsabhängige Steuerung erreichen, um eine effektive Dämpfung zu erreichen.

[0047] Es kann vorgesehen sein, dass die Leitung mit mindestens einem Gasbehälter verbunden ist. Aus dem Gasbehälter lässt sich Gas in den oder die Resonatorräume einkoppeln, um die Resonatoreigenschaften zu beeinflussen.

[0048] Insbesondere ist die fluidwirksame Verbindung mit dem Gasbehälter steuerbar, um die Resonatoreigenschaften steuern zu können.

[0049] Vorteilhaft ist es, wenn der Druck in dem mindestens einen Gasbehälter größer ist als der Brennkammerdruck. Dadurch lässt sich, wenn die fluidwirksame Verbindung mit dem Gasbehälter und dem oder den Resonatorräumen hergestellt ist, auf einfache Weise Gas in die Resonatorräume einkoppeln.

[0050] Insbesondere ist die Nominaldichte des Gases in dem mindestens einen Gasbehälter kleiner als die Dichte von Verbrennungsgas für die Brennkammer, wobei das Verbrennungsgas Brennstoff und Oxidator umfasst. Wenn in einen Resonatorraum ein leichteres Gas eingekoppelt wird, dann steigt die Schallgeschwindigkeit. Beim Brennerstart steigt in der Brennkammer aufgrund der Temperaturerhöhung die Schallgeschwindigkeit. Durch das Einströmen eines leichten Gases in den Resonatorraum lässt sich eine mindestens näherungsweise Synchronisierung des zeitlichen Verlaufs der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer und in dem oder den Resonatorräumen erreichen. Dadurch lassen sich auf effektive Weise die akustischen Eigenschaften der Brennkammer auch während einer Startphase einstellen.

[0051] Es kann vorgesehen sein, dass das Gas im Gasbehälter Brennstoff ist. Dadurch wird die Verbrennung in der Brennkammer minimal beeinflusst.

[0052] Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer bereitzustellen, welches auf einfache Weise durchführbar ist.

[0053] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass an der Brennkammer mindestens eine erfindungsgemäße Resonatorvorrichtung angeordnet wird und/oder eine erfindungsgemäße Brennkammer verwendet wird.

[0054] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens wurden bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung und der erfindungsgemäßen Brennkammer erläutert.

[0055] Insbesondere wird im Nichtbetrieb der Brenn-

kammer die mindestens eine Resonatorvorrichtung zur Entfernung von Kühlmedium in Richtung der zweiten Öffnung ausgeblasen. Über die zweite Öffnung lässt sich auf einfache Weise Kühlmedium während eines Ausblasvorgangs entfernen. Dadurch wiederum lassen sich die Resonatoreigenschaften gezielt einstellen, da die Beeinflussung durch verbleibendes Kühlmedium minimierbar ist.

[0056] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn über Gasauskopplung aus dem Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung und/oder Gaseinkopplung in den Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung über die zweite Öffnung die Resonatoreigenschaften beeinflusst werden. Es ergeben sich dadurch zusätzliche Steuerungsmöglichkeiten zur Beeinflussung und insbesondere auch zeitabhängigen Beeinflussung der Resonatoreigenschaften. Dadurch ist es beispielsweise möglich, auch während stationären Vorgängen die Resonanzfrequenz der Brennkammer und der Resonatorvorrichtungen aufeinander abzustimmen.

[0057] Insbesondere wird die Schallgeschwindigkeit beeinflusst. Die Resonatoreigenschaften hängen stark von der Schallgeschwindigkeit ab. Die Schallgeschwindigkeit lässt sich auf einfache Weise über Temperaturänderung oder Dichteänderung beeinflussen.

[0058] Insbesondere lässt sich die Schallgeschwindigkeit über Temperaturänderung beeinflussen, wenn beispielsweise dafür gesorgt wird, dass während einer Inbetriebnahmephase Verbrennungsprodukte durch den Resonatorraum hindurchgeführt werden, dann kann sich der Resonatorraum schneller erwärmen.

[0059] Es kann auch vorgesehen sein, dass die Schallgeschwindigkeit über Dichteänderung beeinflusst wird. Insbesondere wird dazu ein leichteres Gas in den Resonatorraum eingekoppelt. Durch die Einkopplung des leichteren Gases erhöht sich die Schallgeschwindigkeit. Dadurch lässt sich beispielsweise eine mindestens näherungsweise zeitliche Synchronisierung mit der Änderung der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer während einer Inbetriebnahmephase erreichen.

[0060] Insbesondere wird die Schallgeschwindigkeit im Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung in Abstimmung mit einer Änderung der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer beeinflusst. Beispielsweise lässt sich das Verhältnis der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer zu der Schallgeschwindigkeit in dem oder den Resonatorräumen mindestens näherungsweise zeitlich konstant halten. Dadurch lässt sich auch während einer Startphase eine optimale Resonatorlänge konstant halten.

[0061] Es ist auch möglich, dass die Resonatoreigenschaften über eine Gasströmung beeinflusst werden. Es lässt sich über eine Durchströmung des Resonators eine erhöhte Dämpfungswirkung erreichen.

[0062] Günstig ist es, wenn ein Gas mit kleinerer Dichte als Verbrennungsgas, welches Brennstoff und Oxidator umfasst, in den Resonatorraum eingekoppelt wird.

Dadurch lässt sich die Schallgeschwindigkeit beeinflussen. Insbesondere lässt sich eine mindestens näherungsweise Synchronisierung mit der zeitlichen Änderung der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer aufgrund Temperaturerhöhung erreichen.

[0063] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung der Erfindung. Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung einer Brennkammer mit an ihr angeordneten Resonatorvorrichtungen;
- Figur 2 eine Draufsicht auf die Brennkammer gemäß Figur 1;
- Figur 3(a) eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung;
- Figur 3(b) eine vergrößerte Darstellung des Bereichs A gemäß Figur 3(a);
- Figur 4(a) eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung;
- Figur 4(b) eine vergrößerte Darstellung des Bereichs A gemäß Figur 4(a);
- Figur 5 Messwerte für die Halbwertsbreite der ersten Tangentialmode in Abhängigkeit des Verhältnisses von Öffnungsfläche einer zweiten Öffnung zur Resonatorquerschnittsfläche;
- Figur 6 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung;
- Figur 7(a) eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung;
- Figur 7(b) eine vergrößerte Darstellung des Bereichs A gemäß Figur 7(a);
- Figur 8 ein fünftes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung;
- Figur 9 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Brennkammer; und
- Figur 10 eine Draufsicht auf die Brennkammer gemäß Figur 9.

[0064] Ein Ausführungsbeispiel einer Brennkammer, welches in Figur 1 schematisch gezeigt und dort mit 10 bezeichnet ist, umfasst eine Brennkammerwand 12 und einen Brennraum 14. Der Brennraum 14 ist üblicherweise rotationssymmetrisch um eine Achse 16 ausgebildet.

[0065] Die Brennkammer 10 weist ein Ende 18 auf, an welchem eine Einblaseeinrichtung zum Einblasen von Brennstoff und Oxidator angeordnet ist (in der Zeichnung nicht gezeigt).

[0066] Verbrennungsprodukte treten aus der Brennkammer 10 über einen Halsbereich 20 aus.

[0067] Die Brennkammer 10 ist beispielsweise für eine Gasturbine oder für einen Flugkörper wie beispielsweise eine Rakete vorgesehen.

[0068] Die Brennkammer 10 weist akustische Eigenmoden auf. Teilvorgänge der Verbrennung eines Brennstoffs in der Brennkammer 10 wie Brennstoffzufuhr, Mischungsbildung und chemische Reaktionen sowie bei Flüssigbrennstoff Zerstäubung und Verdampfung können periodische bzw. pulsierende Vorgänge sein. Wenn die entsprechende Oszillationsfrequenz irgendeines dieser Teilvorgänge eine akustische Eigenmode der Brennkammer 10 zur Schwingung anregt, können in der Brennkammer 10 aufgrund akustischer Kopplung starke Druckpulsationen entstehen, die wiederum zu einer Beschädigung der Brennkammer 10 führen können bzw. zur Störung der Verbrennung führen können.

[0069] Durch gezielte Einstellung der akustischen Eigenschaften der Brennkammer 10 kann man die geschilderten Probleme vermeiden.

[0070] Es ist dazu vorgesehen, dass an der Brennkammer 10 eine oder mehrere akustische Resonatorvorrichtungen 22 als akustische Dämpfungselemente angeordnet werden. Wenn eine entsprechende akustische Resonatorvorrichtung 22 (oder eine Mehrzahl von akustischen Resonatorvorrichtungen 22) mit einer akustischen Eigenmode der Brennkammer 10 koppelt, dann kann bei geeigneter Wahl die Eigenmode der Brennkammer 10 in einen Frequenzbereich geschoben werden, in dem sie für einen Verbrennungsvorgang nicht mehr störend ist, bzw. kann weitgehend unterdrückt werden ("weggedämpft" werden).

[0071] Beispielsweise ist an einer Außenseite 24 der Brennkammer 10 ein Ringflansch 26 angeordnet, über welchen sich Resonatorvorrichtungen 22 insbesondere um eine Umfangslinie 28 an der Außenseite 24 der Brennkammer 10 verteilt positionieren lassen.

[0072] Ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung, welches in Figur 3(a) schematisch gezeigt und dort mit 30 bezeichnet ist, umfasst eine Wandung 32, welche sich längs einer Längsachse 34 erstreckt. Die Wandung 32 ist insbesondere rotationssymmetrisch zu der Längsachse 34; sie ist beispielsweise zylindrisch ausgebildet.

[0073] Über die Wandung 32 ist ein Innenraum als Resonatorraum 36 ausgebildet. Der Resonatorraum 36 steht über eine erste Öffnung 38 an einer ersten Stirnseite 40 der Wandung 32 mit dem Brennraum 14 in fluid-

wirksamer Verbindung. Dazu weist die Brennkammerwand 12 eine entsprechende Öffnung 38 auf.

[0074] Die erste Öffnung 38 in der Wandung 32 erstreckt sich im Wesentlichen über den gesamten Querschnitt des Resonatorraums 36 an der ersten Stirnseite 40, d. h. die Querschnittsfläche des Resonatorraums 36 an der ersten Stirnseite 40 entspricht der Öffnungsfläche der ersten Öffnung 38.

[0075] Die Länge der Wandung 32 längs der Längsachse 34 ist in der Regel größer als der Durchmesser des Resonatorraums 36 senkrecht zur Längsachse 34.

[0076] An einer der ersten Stirnseite 40 gegenüberliegenden zweiten Stirnseite 42 der Wandung 32 ist der Resonatorraum 36 durch eine Stirnwand bis auf eine zweite Öffnung 44 in der Stirnwand geschlossen. Diese Öffnung 44 weist beispielsweise einen kreisförmigen Querschnitt auf und ist konzentrisch zu der Längsachse 34 angeordnet.

[0077] Es können auch andere Querschnittsformen für die zweite Öffnung 44 möglich sein und/oder es kann eine außerkonzentrische Anordnung vorliegen.

[0078] Eine Öffnungsfläche der zweiten Öffnung 44 ist kleiner als die Querschnittsfläche des Resonatorraums 36 an der zweiten Stirnseite 42.

[0079] Insbesondere liegt das Verhältnis $\Delta A = A_{2. \text{ Öffnung}} / A_{\text{Resonatorraum}}$ für die Öffnungsfläche $A_{2. \text{ Öffnung}}$ der zweiten Öffnung 44 zu der Querschnittsfläche $A_{\text{Resonatorraum}}$ des Resonatorraums 36 an der zweiten Stirnseite 42 im Bereich zwischen 0,001 und 0,1 und bevorzugterweise im Bereich zwischen 0,01 und 0,05.

[0080] Die mindestens eine Resonatorvorrichtung 30, welche an der Außenseite 24 der Brennkammer 10 montiert ist, ist vorzugsweise mit ihrer Längsachse 34 mindestens teilweise in radialer Richtung 46 (Figur 1) orientiert.

[0081] Es kann vorgesehen sein, dass die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung 44 einstellbar ist. Beispielsweise umfasst die Resonatorvorrichtung 30 an ihrer zweiten Stirnseite 42 ein Verschlusselement, in welchem die zweite Öffnung 44 gebildet ist. Dieses Verschlusselement ist austauschbar. Es kann ein Satz von Verschlusselementen mit unterschiedlicher Öffnungsweite der zweiten Öffnung 44 vorgesehen sein. Je nach Wahl des Verschlusselements, mit welchem der Resonatorraum 36 an der zweiten Stirnseite 42 "verschlossen" wird, lässt sich die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung 44 einstellen.

[0082] Es hat sich gezeigt, dass sich durch das Vorsehen der zweiten Öffnung 44 an der zweiten Stirnseite 42 des Resonatorraums 36 (im Vergleich zum Falle eines an der zweiten Stirnseite 42 vollständig geschlossenen Resonatorraums 36) die Dämpfung erhöhen lässt.

[0083] In Figur 5 sind Messergebnisse für eine Brennkammer 10 gezeigt, wobei Δh die Halbwertsbreite der ersten Tangentialmode ist. Man erkennt die starke Abhängigkeit der Halbwertsbreite von ΔA (dem Verhältnis der Öffnungsfläche der zweiten Öffnung 44 zu der Quer-

schnittsfläche des Resonatorraums 36 an der zweiten Stirnseite 42). Die Resonatorvorrichtung, mittels welcher gemessen wurde, entspricht dabei der Resonatorvorrichtung 30; es handelt sich um einen $\lambda/4$ -Resonatorraum mit einheitlichem Querschnitt über die Länge des Resonatorraums 36.

[0084] Man erkennt den starken Anstieg der Halbwertsbreite Δh bei einem ΔA -Wert von ungefähr 3; die Dämpfung wird also durch die zweite Öffnung 44 erhöht.

[0085] Beispielsweise ist bei einem ΔA -Wert von 5 die Dämpfung um einen Faktor von ca. 15 gegenüber einer komplett geschlossenen zweiten Stirnseite 42 ($\Delta A = 0$) erhöht.

[0086] Durch das Vorsehen der zweiten Öffnung 44 lässt sich also für die Resonatorvorrichtung 30 die Dämpfungswirkung erhöhen. Dadurch reicht es beispielsweise aus, zur Einstellung der Dämpfungseigenschaften der Brennkammer 10 eine geringere Anzahl von Resonatorvorrichtungen 30 zu verwenden, als wenn die zweite Stirnseite 42 geschlossen ist. Außerdem ergeben sich erhöhte Steuerungsmöglichkeiten wie unten noch näher beschrieben wird.

[0087] Weiterhin lässt sich beispielsweise Kühlmedium aus dem Resonatorraum 36, welches dorthin gelangt ist, auf einfache Weise entfernen, indem die Resonatorvorrichtung 30 (während einem Nichtbetriebszustand der Brennkammer 10) in Richtung der zweiten Öffnung 42 ausgeblasen wird.

[0088] Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung, welches in Figur 4(a) gezeigt und dort mit 48 bezeichnet ist, ist der Resonatorraum grundsätzlich gleich ausgebildet wie bei der Resonatorvorrichtung 30. Es werden deshalb gleiche Bezugszeichen verwendet.

[0089] An der zweiten Öffnung 44 ist ein Kapillarrohr 50 angeordnet, welches nicht in den Resonatorraum 36 hineinragt. Das Kapillarrohr 50 weist eine kleinere Querschnittsfläche (senkrecht zur Längsachse 34) auf als der Resonatorraum 36. Es weist eine größere Querschnittsfläche als die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung 44 auf. Der Resonatorraum 36 mündet über die zweite Öffnung 44 in einen Innenraum 52 des Kapillarrohrs 50.

[0090] Über das Kapillarrohr 50 lassen sich die aus dem Resonatorraum 36 ausströmenden Verbrennungsgase (welche Brennstoff und Oxidator umfassen) von dem Resonatorraum 36 ableiten, um mögliche Betriebsstörungen zu vermeiden.

[0091] Die Resonatorvorrichtungen 30 und 48 umfassen Resonatorräume 36 mit einheitlichem Querschnitt. Die Resonatorräume 36 sind als $\lambda/4$ -Resonatorräume ausgebildet.

[0092] Bei einem dritten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung, welches in Figur 6 schematisch gezeigt und dort mit 54 bezeichnet ist, ist ein Resonatorraum 56 als Helmholtz-Resonatorraum ausgebildet. Dieser Resonatorraum 56 umfasst einen ersten Bereich 58 und einen zweiten Bereich 60, wobei der erste Bereich 58 über eine erste Öffnung 62

in den Brennraum 14 mündet. Der erste Bereich 58 weist einen einheitlichen Querschnitt auf. Der zweite Bereich 60 weist ferner einen einheitlichen Querschnitt auf, wobei die Querschnittsfläche des zweiten Bereichs 60 größer ist als die Querschnittsfläche des ersten Bereichs 58.

[0093] Insbesondere sind der erste Bereich 58 und der zweite Bereich 60 jeweils zylindrisch ausgebildet.

[0094] An dem zweiten Bereich 60 ist an einer der ersten Öffnung 62 gegenüberliegenden Stirnseite 64 eine zweite Öffnung 66 gebildet, welche der zweiten Öffnung 44 bei den Resonatorvorrichtungen 30 und 48 entspricht.

[0095] In der Öffnung 66 ist ein Kapillarrohr 67 angeordnet, welches mit einem ersten Ende 69 innerhalb des Resonatorraums 56 und mit einem zweiten Ende 71 außerhalb des Resonatorraums 56 positioniert ist. Das Kapillarrohr 67 ragt in den Resonatorraum 56. An dem ersten Ende 69 weist das Kapillarrohr 67 eine Öffnung 69a auf und an dem zweiten Ende 71 eine Öffnung 71a. Die Querschnittsfläche des Kapillarrohrs 67 ist kleiner als die Querschnittsfläche des ersten Bereichs 58.

[0096] Bei einem vierten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Resonatorvorrichtung, welches in Figur 7(a) gezeigt und dort mit 68 bezeichnet ist, ist ein Resonatorraum entsprechend dem Resonatorraum 36 und ein Kapillarrohr entsprechend dem Kapillarrohr 50 vorgesehen. Es werden deshalb gleiche Bezugszeichen wie für die Resonatorvorrichtung 48 verwendet.

[0097] Das Kapillarrohr 50 steht in fluidwirksamer Verbindung mit einer Leitung 70. Das Kapillarrohr 50 mündet an einem der zweiten Öffnung 44 gegenüberliegenden Ende in einen Innenraum 72 der Leitung 70.

[0098] Die Leitung 70 ist beispielsweise als Ringleitung 74 ausgebildet (Figur 9) oder umfasst eine solche Ringleitung 74. Die Ringleitung 74 umgibt die Brennkammerwand 12. Sie kann geschlossen sein.

[0099] Die Leitung 70 weist eine Querschnittsfläche auf, welche größer ist als die Querschnittsfläche des Resonatorraums 36. Insbesondere ist die Querschnittsfläche der Leitung 70 größer als die Summe der Querschnittsflächen aller Kapillarrohre 50, wenn eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen 68 vorgesehen ist.

[0100] Wenn eine Ringleitung 74 vorgesehen ist, welche geschlossen ist, dann lässt sich verhindern, dass Verbrennungsgase den Brennraum 14 über Resonatorvorrichtungen 48 verlassen. Dadurch könnte beispielsweise der Schub einer Rakete oder die Leistung einer Gasturbine vermindert werden.

[0101] Bei einem fünften Ausführungsbeispiel, welches in Figur 8 gezeigt und dort mit 76 bezeichnet ist, ist eine Resonatorvorrichtung entsprechend der Resonatorvorrichtung 68 vorgesehen, welche an eine Leitung 78 angeschlossen ist. Bei der Leitung 78 handelt es sich beispielsweise um eine Ringleitung.

[0102] An die Leitung 78 ist mindestens ein steuerbares Ventil 80 gekoppelt, über welches eine fluidwirksame Verbindung der Leitung 78 mit der Umgebung hergestellt werden kann. Dem steuerbaren Ventil 80 ist eine Steuerungseinrichtung 82 zugeordnet, um beispielsweise eine

druckschwankungsabhängige und/oder zeitabhängige Öffnung/Schließung oder auch Drosselung zu erreichen.

[0103] Es kann vorgesehen sein, dass das steuerbare Ventil 80 als Drosselventil ausgebildet ist, über welches die Gasabgabe aus der Leitung 78 an die Umgebung steuerbar ist.

[0104] Beispielsweise kann es vorgesehen sein, dass in einer Zündphase der Brennkammer 10 das mindestens eine steuerbare Ventil 80 geöffnet wird und es nach erfolgter Zündung geschlossen wird oder eine Drosselung erfolgt. Dadurch ist es möglich, die Resonatoreigenschaften im Resonatorraum 36 zu steuern. In der Zündphase kann Verbrennungsgas durch die Resonatorvorrichtung 76 oder Resonatorvorrichtungen 76 aus der Brennkammer 10 in die Umgebung abgegeben werden. Das Verbrennungsgas durchströmt den oder die Resonatorräume 36. Dadurch erwärmen sich diese schneller als wenn das oder die Ventile 80 geschlossen sind. Dadurch wiederum wird die Betriebstemperatur der Resonatorvorrichtung 76 bzw. der Resonatorvorrichtungen 76 schneller erreicht. Dies wiederum erleichtert die Auslegung, da die Schallgeschwindigkeit (welche die Resonatoreigenschaften maßgeblich beeinflusst) temperaturabhängig ist und die Resonanzfrequenz eines Resonatorraums 36 von der Schallgeschwindigkeit abhängt.

[0105] Wenn Verbrennungsgas durch einen Resonatorraum 36 in die Umgebung strömt, dann erhöht sich durch diese Gasströmung in einem Resonatorraum 36 die Dämpfung. Es lässt sich dann in der Zündphase, in der Brennkammerschwingungen entscheidende Wirkungen haben können, die Dämpfung erhöhen.

[0106] Es ist beispielsweise auch möglich, dass das mindestens eine steuerbare Ventil 80 bei zunehmenden Druckschwankungen geöffnet wird oder in eine Drosselstellung (mit größerer Öffnung ins Freie) gebracht wird, um durch erhöhte Dämpfung die Brennkammerschwingungen zu reduzieren.

[0107] Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass über die Steuerungseinrichtung 82 das oder die steuerbaren Ventile 80 zeitlich gesteuert werden und/oder eine druckschwankungsabhängige Steuerung erfolgt.

[0108] Bei dem in Figur 9 gezeigten Ausführungsbeispiel einer Brennkammer (es werden dabei dieselben Bezugszeichen wie in Figur 1 verwendet) sind Resonatorvorrichtungen 68 vorgesehen, wobei die entsprechenden Kapillarrohre 50 mit einer Ringleitung 74 verbunden sind.

[0109] Es kann dabei vorgesehen sein (Figur 10), dass an die Ringleitung 74 eine weitere Leitung 84 gekoppelt ist, welche in Verbindung mit einem Gasbehälter 86 steht. An die Leitung 84 ist ein steuerbares Ventil 88 gekoppelt, welchem eine Steuerungseinrichtung 90 zugeordnet ist.

[0110] In dem Gasbehälter 86 ist ein Gas aufgenommen, welches unter einem Druck steht, der größer ist als der Innendruck in dem Brennraum 14. Bei geöffnetem Ventil 88 strömt dann Gas über die zweiten Öffnungen 44 in die Resonatorräume 36.

[0111] Insbesondere ist die Dichte des Gases, welches vom Gasbehälter 86 aufgenommen ist, kleiner als die Dichte von Verbrennungsgas für die Brennkammer 10, wobei das Verbrennungsgas Brennstoff und Oxidator umfasst. Beispielsweise ist das Gas im Gasbehälter 86 Brennstoff.

[0112] Im Beispiel eines Wasserstoff-Sauerstoff-Triebwerks wird durch den Gasbehälter 86 beispielsweise Wasserstoff aufgenommen.

[0113] Über die Leitung 84 lässt sich das Gas aus dem Gasbehälter 86 in die Resonatorräume 36 einkoppeln.

[0114] Beim Brennerstart steigt die Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer 10. Wenn gleichzeitig oder zeitnah mit dem Brennerstart das steuerbare Ventil 80 geöffnet wird, dann kann Gas aus dem Gasbehälter 86 in die Resonatorräume 36 einströmen. Da das Gas leichter ist als das Verbrennungsgas, steigt die Schallgeschwindigkeit in den Resonatorräumen 36.

[0115] Bei entsprechender Steuerung (und gegebenenfalls entsprechender Ausbildung der Resonatorräume 36) lässt sich eine mindestens näherungsweise Synchronisierung des Schallgeschwindigkeitsanstiegs in der Brennkammer 10 mit dem Schallgeschwindigkeitsanstieg in den Resonatorräumen 36 erhalten. Beispielsweise wird die Synchronisierung so eingestellt, dass das Verhältnis der Schallgeschwindigkeit in der Brennkammer 10 zu der Schallgeschwindigkeit in den Resonatorräumen 36 in der zeitlichen Entwicklung im Wesentlichen konstant ist und beispielsweise innerhalb eines 15 %-Bereichs liegt.

[0116] Durch die entsprechende Steuerung der Schallgeschwindigkeit in den Resonatorräumen 36 lässt es sich erreichen, dass eine optimierte Resonatorlänge (bestimmt durch die geometrischen Abmessungen der Resonatorräume 36) "erhalten" bleibt, d. h. dass die entsprechenden Resonatorvorrichtungen auch während der Brennerstartphase eine optimierte Dämpfungswirkung aufweisen.

[0117] Diese bleibt nach dem Startvorgang erhalten.

[0118] Es kann beispielsweise vorgesehen sein, dass gesteuert durch die Steuerungseinrichtung 90 das Öffnen des steuerbaren Ventils 88 mit dem Brennerstart synchronisiert erfolgt. Es kann auch ein zeitlicher Abstand vorgesehen sein.

[0119] Durch die entsprechende Steuerung lässt sich die üblicherweise am wenigsten stabile Phase der Verbrennung in der Brennkammer 10, nämlich die Inbetriebnahmephase, bei der sich die Brennkammertemperatur schnell ändert, effektiv bezüglich der akustischen Eigenschaften beeinflussen. Es lässt sich dadurch eine auch diese zeitliche Änderung berücksichtigende Abstimmung zwischen den Resonatorvorrichtungen und der Brennkammer 10 erreichen.

Patentansprüche

1. Resonatorvorrichtung für eine Brennkammer (10)

mit einem Brennraum (14), umfassend eine Wandung (32), durch welche ein Resonatorraum (36) gebildet ist, wobei der Resonatorraum (36) an einer ersten Stirnseite (40) zur Verbindung mit der Brennkammer (10) mittels einer ersten Öffnung (38) offen ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Wandung (32) an einer der ersten Stirnseite (40) gegenüberliegenden zweiten Stirnseite (42) eine zweite Öffnung (44; 66) aufweist.

2. Resonatorvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Öffnungsfläche der ersten Öffnung (38) der Querschnittsfläche des Resonatorraums (36) an der ersten Stirnseite (40) entspricht.

3. Resonatorvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Öffnung (44) eine Öffnungsfläche aufweist, welche kleiner ist als die Querschnittsfläche des Resonatorraums (36) an der zweiten Stirnseite (42).

4. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) eine Länge aufweist, welche größer ist als der größte Durchmesser des Resonatorraums (36).

5. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) rotationssymmetrisch bezüglich einer Längsachse (34) ausgebildet ist.

6. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) einen einheitlichen Querschnitt aufweist.

7. Resonatorvorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) als $\lambda/4$ -Resonatorraum ausgebildet ist.

8. Resonatorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) als Helmholtz-Resonatorraum ausgebildet ist.

9. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis einer Öffnungsfläche der zweiten Öffnung (44) zu einer Querschnittsfläche des Resonatorraums (36) zwischen 0,001 und 0,1 liegt.

10. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis einer Öffnungsfläche der zweiten Öffnung (44) zu einer Querschnittsfläche des Resona-

torraums (36) zwischen 0,01 und 0,05 liegt.

11. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungsfläche der zweiten Öffnung (44) einstellbar ist. 5
12. Resonatorvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an oder in der zweiten Öffnung (44; 66) ein Kapillarrohr (50; 67) angeordnet ist. 10
13. Resonatorvorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Resonatorraum (36) über die zweite Öffnung (44) in einen Innenraum (52) des Kapillarrohrs (50) mündet. 15
14. Resonatorvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kapillarrohr (50) eine Querschnittsfläche aufweist, welche größer ist als eine Öffnungsfläche der zweiten Öffnung (44). 20
15. Resonatorvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kapillarrohr (50) eine Querschnittsfläche aufweist, welche kleiner ist als die Querschnittsfläche des Resonatorraums (36) an der zweiten Stirnseite (42). 25
16. Brennkammer mit einem Brennraum (14), an welcher mindestens eine Resonatorvorrichtung (30; 48; 54; 68; 76) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche angeordnet ist. 30
17. Brennkammer nach Anspruch 16, **gekennzeichnet durch** mindestens eine Öffnung, an welcher die mindestens eine Resonatorvorrichtung angeordnet ist. 35
18. Brennkammer nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Resonatorvorrichtung quer zu einer Brennkammerachse (16) orientiert ist. 40
19. Brennkammer nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Resonatorvorrichtung mindestens teilweise radial orientiert ist. 45
20. Brennkammer nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Resonatorvorrichtung an einer Außenseite (24) der Brennkammer angeordnet ist. 50
21. Brennkammer nach einem der Ansprüche 16 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen ringförmig an der Brennkammer angeordnet sind. 55

22. Brennkammer nach einem der Ansprüche 16 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Öffnung (44) der mindestens einen Resonatorvorrichtung in fluidwirksamer Verbindung mit einer Leitung (70; 84) steht.
23. Brennkammer nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitung als Ringleitung (74) ausgebildet ist oder eine Ringleitung umfasst, welche den Brennraum (14) umgibt.
24. Brennkammer nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ringleitung (74) geschlossen ist.
25. Brennkammer nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Querschnittsfläche der Ringleitung (74) größer ist als eine Querschnittsfläche eines Resonatorraums (36).
26. Brennkammer nach einem der Ansprüche 22 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitung (70) mit einem Kapillarrohr (50) verbunden ist, welches an oder in der zweiten Öffnung (44) der mindestens einen Resonatorvorrichtung angeordnet ist.
27. Brennkammer nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Querschnittsfläche der Leitung (70) größer ist als die Summe der Querschnittsflächen aller Kapillarrohre (50), wenn eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen vorgesehen ist.
28. Brennkammer nach einem der Ansprüche 22 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Leitung (70; 84) mindestens ein steuerbares Ventil (80; 88) angeordnet ist.
29. Brennkammer nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuerungseinrichtung (82; 90) zur Steuerung des mindestens einen steuerbaren Ventils (80; 88) vorgesehen ist.
30. Brennkammer nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zeitliche Steuerung vorgesehen ist.
31. Brennkammer nach einem der Ansprüche 28 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitung (84) mit mindestens einem Gasbehälter (86) verbunden ist.
32. Brennkammer nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** die fluidwirksame Verbindung mit dem Gasbehälter (86) steuerbar ist.
33. Brennkammer nach Anspruch 31 oder 32, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck in dem minde-

stens einen Gasbehälter (86) größer ist als der Brennkammerdruck.

34. Brennkammer nach einem der Ansprüche 31 bis 33, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nominaldichte des Gases in dem mindestens einen Gasbehälter (86) kleiner ist als die Dichte von Verbrennungsgas für die Brennkammer, wobei das Verbrennungsgas Brennstoff und Oxidator umfasst. 5
35. Brennkammer nach einem der Ansprüche 31 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas im Gasbehälter (86) Brennstoff ist. 10
36. Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer, bei dem an der Brennkammer mindestens eine Resonatorvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 angeordnet wird und/oder eine Brennkammer gemäß einem der Ansprüche 16 bis 35 verwendet wird. 15
20
37. Verfahren nach Anspruch 36, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Nichtbetrieb der Brennkammer die mindestens eine Resonatorvorrichtung zur Entfernung von Kühlmedium in Richtung der zweiten Öffnung ausgeblasen wird. 25
38. Verfahren nach Anspruch 36 oder 37, **dadurch gekennzeichnet, dass** über Gasauskopplung aus dem Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung und/oder Gaseinkopplung in den Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung über die zweite Öffnung die Resonatoreigenschaften beeinflusst werden. 30
35
39. Verfahren nach Anspruch 38, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schallgeschwindigkeit beeinflusst wird.
40. Verfahren nach Anspruch 39, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schallgeschwindigkeit über Temperaturänderung beeinflusst wird. 40
41. Verfahren nach Anspruch 39 oder 40, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schallgeschwindigkeit über Dichteänderung beeinflusst wird. 45
42. Verfahren nach einem der Ansprüche 39 bis 41, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schallgeschwindigkeit im Resonatorraum der mindestens einen Resonatorvorrichtung in Abstimmung mit der Änderung der Schallgeschwindigkeit in einem Brennraum der Brennkammer beeinflusst wird. 50
43. Verfahren nach einem der Ansprüche 38 bis 42, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonatoreigenschaften über eine Gasströmung beeinflusst werden. 55

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 38 bis 43, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Gas mit kleinerer Dichte als Verbrennungsgas, welches Brennstoff und Oxidator umfasst, in den Resonatorraum eingekoppelt wird.

Fig. 1

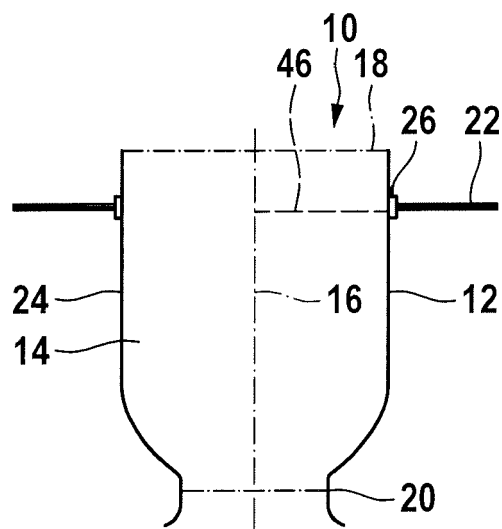


Fig. 2

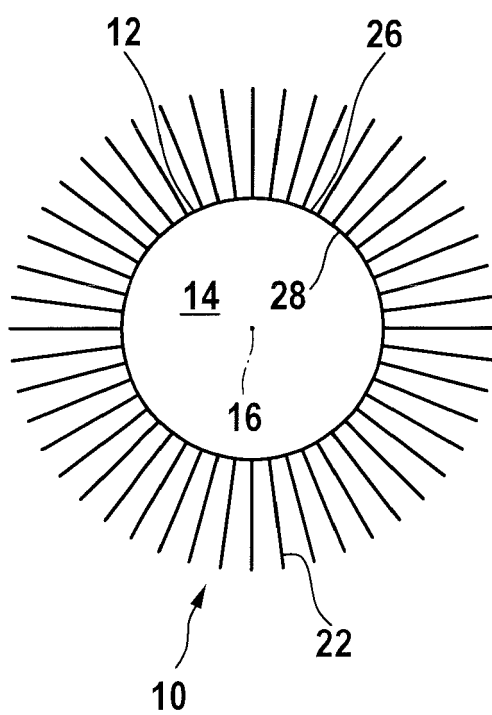


Fig. 3 (a)

Fig. 3 (b)

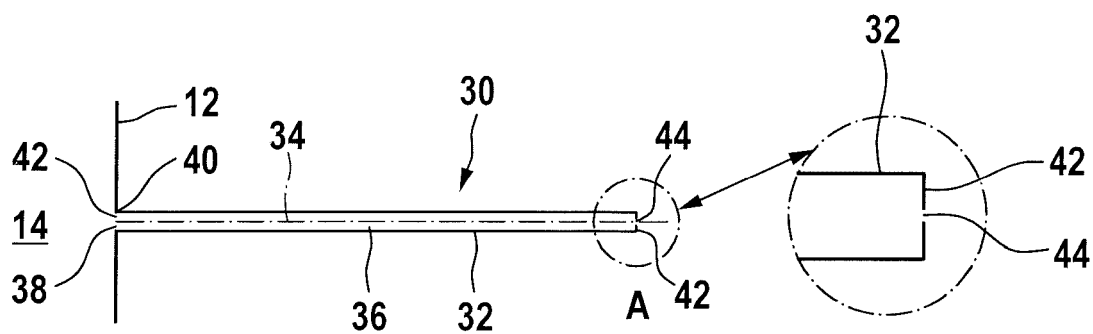


Fig. 4 (a)

Fig. 4 (b)

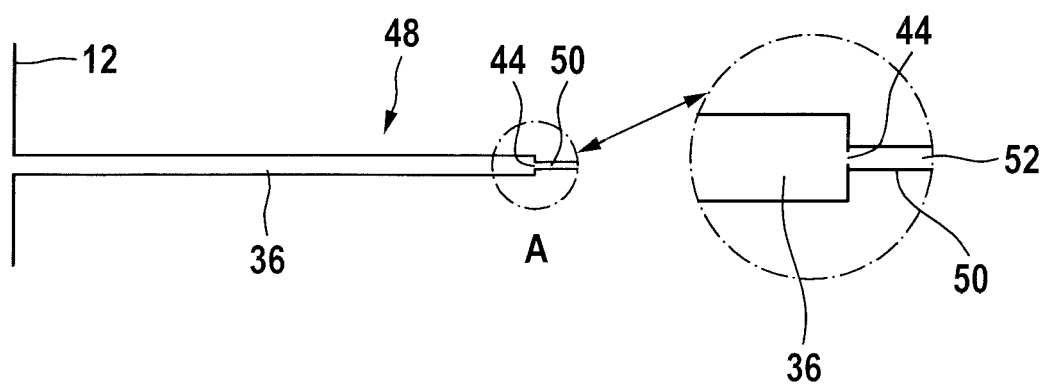


Fig. 5

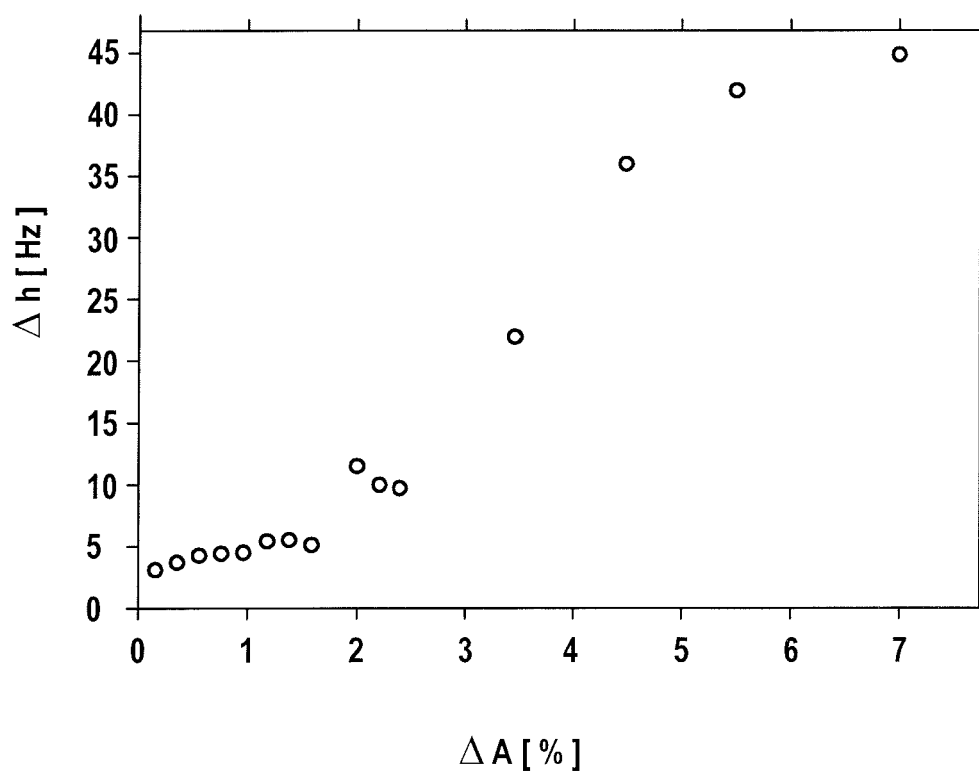


Fig. 6

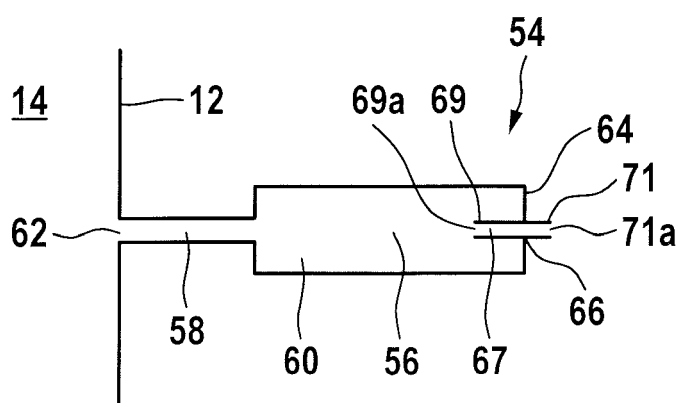


Fig. 7(a)

Fig. 7(b)

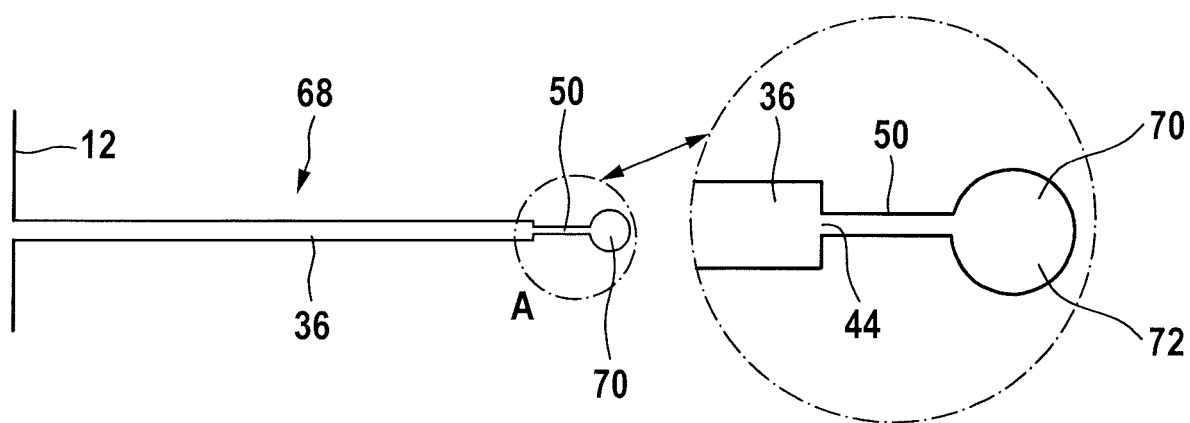


Fig. 8

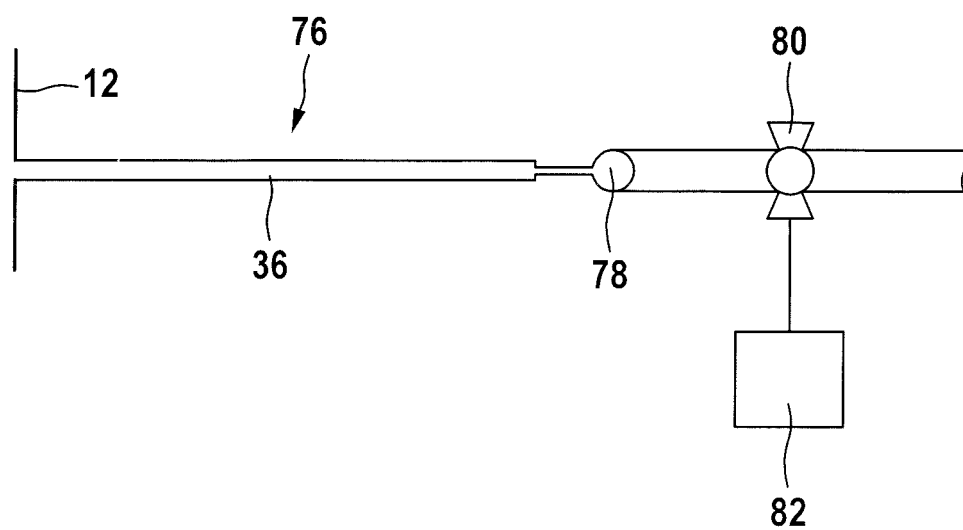


Fig. 9

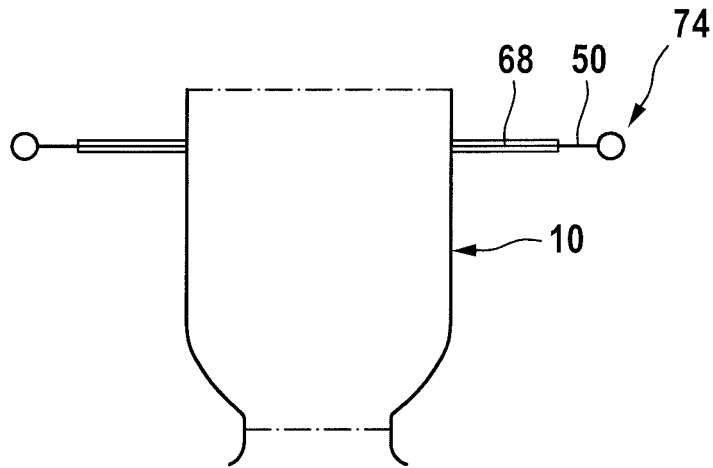
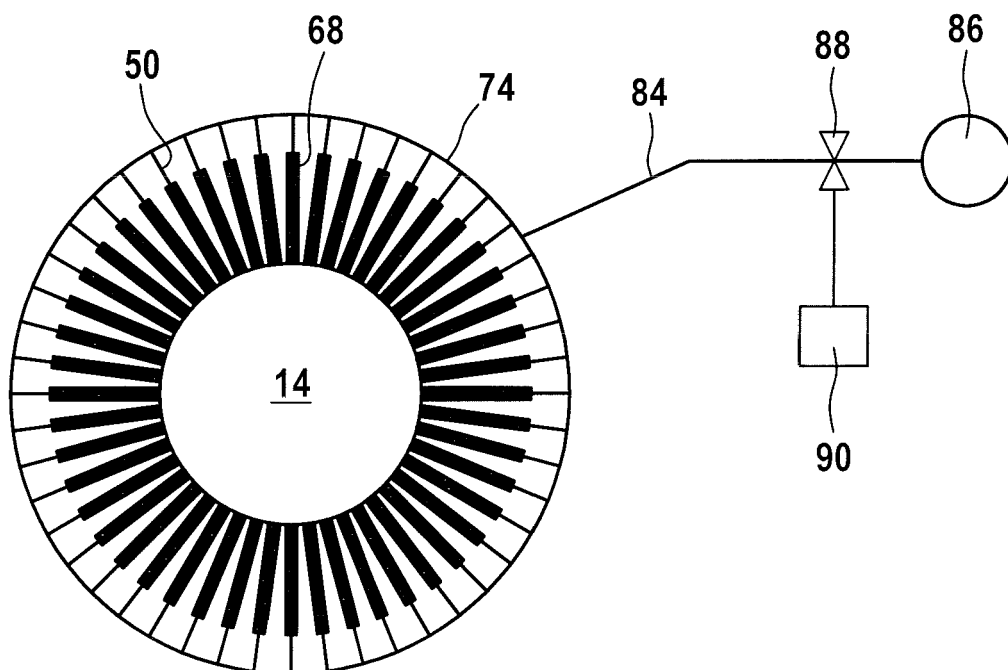


Fig. 10



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

- DE 102005035058 [0008]