



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.05.2008 Patentblatt 2008/19

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

(21) Anmeldenummer: **07100923.7**

(22) Anmeldetag: **22.01.2007**

(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 RS

(30) Priorität: **03.11.2006 DE 102006053278**

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

(72) Erfinder:

- **Faragó, Zoltán**
74747, Ravenstein (DE)
- **Michy, Aurélien**
45400, Fleury-les-Aubrais (FR)

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

(54) **Brennkammervorrichtung**

(57) Es wird eine Brennkammervorrichtung bereitgestellt, umfassend eine Brennkammer mit einem Brennraum und eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen, welche an der Brennkammer angeordnet sind, wobei die Resonatorvorrichtungen zur Unterdrückung von Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit Tangentialbeteiligung ausgebildet und angeordnet sind, wobei eine erste Resonatoreinrichtung mit einer oder mehreren Re-

sonatorvorrichtungen und eine zweite Resonatoreinrichtung mit einer oder mehreren Resonatorvorrichtungen, welche zu der ersten Resonatoreinrichtung mindestens

näherungsweise in einem Winkel $\alpha = i \cdot \frac{90^\circ}{n}$ bezogen

auf eine Brennraumachse angeordnet ist, wobei i eine ungerade natürliche Zahl ist und n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder der Tangentialbeteiligung der Kombinationsmode ist.

FIG.1

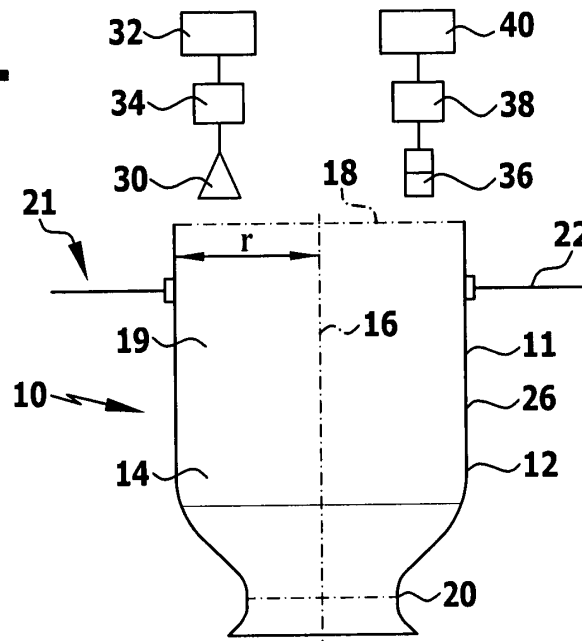
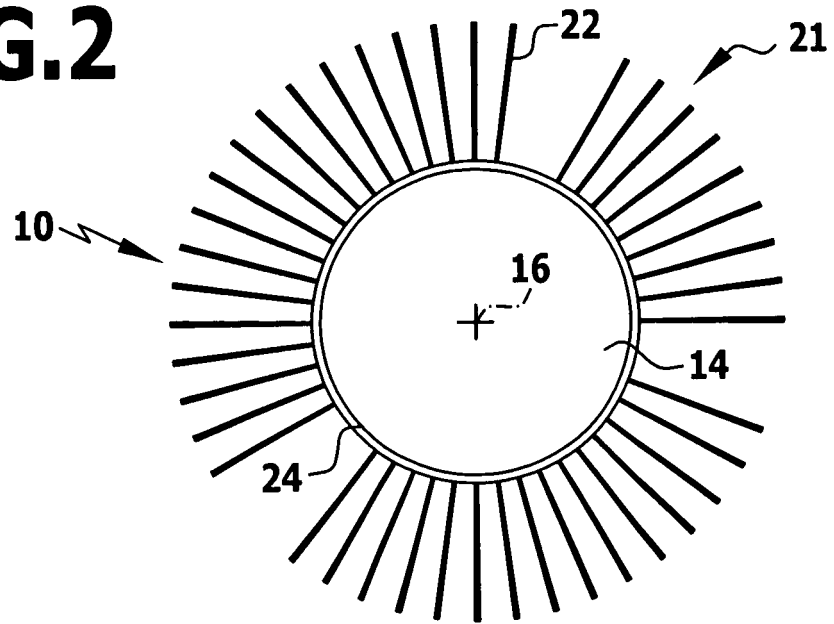


FIG.2



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Brennkammervorrichtung, umfassend eine Brennkammer mit einem Brennraum und eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen, welche an der Brennkammer angeordnet sind, wobei die Resonatorvorrichtungen zur Unterdrückung von Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit Tangentialbeteiligung ausgebildet und angeordnet sind.

[0002] In oder an Brennkammern, insbesondere für Flugkörper wie Raketen, 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 Oszillationen aufweisen.

[0003] 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 erfolgt. 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.

[0004] Bei einer Störung der Verbrennung tritt üblicherweise eine Leistungsminderung auf. Es besteht auch die Gefahr, dass die Betriebssicherheit erniedrigt wird und die Lebensdauer erniedrigt wird. Es kann auch eine Erhöhung der Schadstoffbelastung und der Schallbelastung auftreten.

[0005] Die akustischen Eigenschaften einer Brennkammer lassen sich durch das Vorsehen von einem oder mehreren akustischen Resonatoren als Dämpfungselemente beeinflussen. Diese akustischen Resonatoren können an Eigenmoden der Brennkammer koppeln, um so Eigenmoden in unkritische Frequenzbereiche verschieben zu können bzw. störende Eigenmoden dämpfen zu können.

[0006] Aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2005 035 085 vom 20. Juli 2005 und der nicht vorveröffentlichten europäischen Patentanmeldung Nr. 06 117 462.9 vom 19. Juli 2006 des gleichen Anmelders ist ein Verfahren zur Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer bekannt, bei dem die Brennkammer mit mindestens einem akustischen Resonator als Dämpfungselement versehen wird und eine erste Eigenmode einer Ausgangs-Brennkammer-Resonator-Kombination unterhalb der Eigenmode der Ausgangs-Brennkammer und einer zweiten Eigenmode der Ausgangs-Brennkammer-Resonator-Kombination oberhalb der Eigenmode der Ausgangs-Brennkammer bezüglich Intensität und/oder Halbwertsbreite verglichen wird.

[0007] Aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2005 050 029.3 vom 14. Oktober 2005 des gleichen Anmelders ist eine Resonatorvorrichtung für eine Brennkammer mit einem Brennraum bekannt, welche eine Wandung umfasst, durch welche ein Resonatorraum gebildet ist, wobei der Resonatorraum an einer ersten Stirnseite zur Verbindung mit der Brennkammer mittels einer ersten Öffnung offen ist. Die Wandung weist an einer der ersten Stirnseite gegenüberliegenden zweiten Stirnseite eine zweite Öffnung auf.

[0008] Untersuchungen zu den Eigenmoden einer zylindrischen Brennkammer sind in dem Artikel "Resonance Frequencies and Damping in Combustion Chambers with Quarter Wave Cavities" von Z. Faragó und M. Oschwald, 6th Symposium on Launcher Technologies, November 8th to 11th, 2005, München, beschrieben.

[0009] Aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2006 007 711.3 vom 14. Februar 2006 des gleichen Anmelders ist eine Brennkammer mit einem Brennraum und einer Resonatereinrichtung, welche eine oder mehrere Resonatoren umfasst und zur Einstellung der akustischen Eigenschaften der Brennkammer dient, bekannt. Mindestens ein Resonator ist mit einem Oberton auf eine Eigenmode der Brennkammer abgestimmt.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkammervorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, welche einfach aufgebaut ist und für welche sich Eigenschwingungen der Brennkammer auf effektive Weise dämpfen lassen.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine erste Resonatereinrichtung mit einer oder mehreren Resonatorvorrichtungen und eine zweite Resonatereinrichtung mit einer oder mehreren Resonatorvorrichtungen vorgesehen sind, wobei die zweite Resonatereinrichtung zu der ersten Resonatereinrichtung mindestens näherungsweise in einem Winkel $\alpha = i \cdot \frac{90^\circ}{n}$ bezogen auf eine Brennraumachse angeordnet ist, wobei i eine ungerade

natürliche Zahl und n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder Tangentialbeteiligung der Kombinationsmode ist.

[0012] Es hat sich gezeigt, dass durch die erfindungsgemäße Anordnung sich Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit Tangentialbeteiligung auf effektive Weise unter Minimierung der Anzahl der Resonatorvorrichtungen dämpfen lassen. Jede Tangentialmode der Brennkammer tritt in einer Doppelversion (σ -Mode und π -Mode) auf. Diese Doppelversionen sind miteinander gekoppelt, da der Druckknoten einer Mode der Geschwindigkeitsknoten der anderen Mode ist. Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Resonatereinrichtungen lassen sich alle Tangentialmoden der Ordnung n effektiv dämpfen. Beispielsweise lassen sich σ -Moden und π -Moden effektiv dämpfen.

[0013] Zur Dämpfung einer bestimmten Tangentialmode der Brennkammer mit einer bestimmten Eigenfrequenz rei-

chen grundsätzlich zwei Resonatorvorrichtungen aus, die in dem Winkel α zueinander angeordnet sind. Die Resonatorvorrichtungen können dabei auf die Grundmode oder einen Oberton der entsprechenden Tangentialmode abgestimmt sein.

[0014] Wenn weitere Tangentialmoden gedämpft werden sollen, dann sollten die jeweiligen Resonatoreinrichtungen in dem entsprechenden Winkel α zueinander angeordnet werden.

[0015] Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens eine Resonatoreinrichtung mit einer Gruppe von Resonatorvorrichtungen vorgesehen ist, welche mindestens näherungsweise in

einem Winkel von 0° oder $\beta = j \cdot \frac{90^\circ}{n}$ bezogen auf eine Brennraumachse zueinander angeordnet sind, wobei j eine

gerade natürliche Zahl ist und n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder der Tangentialbeteiligung der Kombinationsmode ist.

[0016] Wenn in einer Resonatoreinrichtung eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen vorgesehen sind, welche insbesondere aneinander angepasst sind, dann lässt sich eine effektive Intensitätsreduktion der entsprechenden Tangentialmode bzw. Kombinationsmode erreichen.

[0017] Die Lösung, bei der mindestens eine Resonatoreinrichtung mehrere Resonatorvorrichtungen umfasst, die entsprechend angeordnet sind, lässt sich mit der Lösung einer Winkelanordnung von Resonatoreinrichtungen kombinieren.

[0018] Die Resonatorvorrichtungen sind insbesondere als $\lambda/4$ -Resonatoren oder Helmholtz-Resonatoren ausgebildet. Solche Resonatoren lassen sich auf einfache Weise herstellen und an der Brennkammer fixieren.

[0019] Insbesondere weisen die Resonatorvorrichtungen jeweils eine Wandung auf, welche einen Resonatorraum begrenzen, wobei der Resonatorraum über eine Öffnung mit dem Brennraum verbunden ist. Dadurch ist eine Ankopplung des Brennraums an dem entsprechenden Resonatorraum einer Resonatorvorrichtung auf einfache Weise möglich.

[0020] Insbesondere ist eine Längsachse des jeweiligen Resonatorraums quer zu der Brennraumachse orientiert. Vorzugsweise steht die Längsachse des jeweiligen Resonatorraums senkrecht zu der Brennraumachse. Dadurch lässt sich eine große Anzahl von Resonatorvorrichtungen an der Brennkammer anordnen.

[0021] Günstig ist es, wenn die Resonatorräume der Resonatorvorrichtung im Wesentlichen den gleichen Durchmesser aufweisen. Dadurch lässt sich die Brennkammervorrichtung auf einfache Weise herstellen.

[0022] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die erste Resonatoreinrichtung an einem ersten Sektorbereich der Brennkammer und die zweite Resonatoreinrichtung an einem zweiten Sektorbereich der Brennkammer angeordnet sind. An dem ersten Sektorbereich und entsprechend an dem zweiten Sektorbereich lassen sich (pro Resonatoreinrichtung) auch mehrere Resonatorvorrichtungen positionieren, um beispielsweise eine Variation der Schallgeschwindigkeit im Brennraum berücksichtigen zu können.

[0023] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn Resonatorvorrichtungen einer Gruppe (das heißt einer Resonatoreinrichtung) Resonatorräume unterschiedlicher Längen aufweisen. Dadurch erhält man eine effektive Unterdrückung von Tangentialmoden bzw. Kombinationsmoden mit Tangentialbeteiligung.

[0024] Es hat sich dabei als günstig erwiesen, wenn die Länge des längsten Resonatorraums oberhalb eines Mittelwerts liegt und die Länge des kürzesten Resonatorraums unterhalb des Mittelwerts liegt. Die Längen der Resonatorräume weichen vorteilhafterweise nur geringfügig voneinander ab.

[0025] Insbesondere entspricht der Mittelwert mindestens näherungsweise einer Anti-Crossing-Länge.

[0026] Insbesondere liegt die Differenz zwischen der größten Länge und der kleinsten Länge bei $k \cdot a \cdot d/n^{0,7}$, wobei d ein Durchmesser der Resonatorräume ist, a eine dimensionslose Zahl, k die Anzahl der Resonatorvorrichtungen pro Resonatoreinrichtung und n die Ordnungszahl der Tangentialmode.

[0027] Es hat sich gezeigt, dass es günstig ist, wenn a im Bereich zwischen 0,25 und 0,7 liegt. Dadurch erhält man eine effektive Modenunterdrückung der entsprechenden Tangentialmode bzw. Kombinationsmode mit Tangentialbeteiligung.

[0028] Beispielsweise ist es günstig, wenn a bei ungefähr 0,4 liegt, wenn die mindestens eine Gruppe (die Resonatoreinrichtung) zwei Resonatorvorrichtungen umfasst. In diesem Falle unterscheidet sich dann der Resonatorraum der Resonatorvorrichtung mit der größten Länge um ungefähr den Durchmesser des Resonatorraums von der Resonatorvorrichtung mit der kleinsten Länge.

[0029] Beispielsweise ist es günstig, wenn eine Länge L_{k+1} eines Resonatorraums einer Resonatorvorrichtung k+1

bestimmt ist durch $L_{k+1} = L_k - \frac{b \cdot d}{n^{0,7}}$, wobei d ein Durchmesser des Resonatorraums ist und b eine dimensionslose

Zahl. Durch entsprechende Längenabstufung der Resonatorvorrichtung erhält man eine effektive Dämpfungswirkung pro Tangentialmode beispielsweise auch bei Verbrennungsstabilitäten; n ist die Ordnungszahl der Tangentialmode.

[0030] Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die dimensionslose Zahl b im Bereich zwischen 0,1 und 1,2 liegt und

insbesondere im Bereich zwischen 0,3 und 0,7 liegt. Es hat sich als besonders günstig erwiesen, wenn b bei ungefähr 0,5 liegt.

[0031] Die Länge L_0 ist dadurch bestimmt, dass die Eigenfrequenz der entsprechenden Resonatorvorrichtung der Eigenfrequenz der entsprechenden Tangentialmode der Brennkammer ohne Resonatorvorrichtung entspricht.

[0032] Bei einem $\lambda/4$ -Resonator ist L_0 beispielsweise gegeben durch
$$L_0 = \frac{\pi \cdot r (2l - 1) c_R}{2\alpha_{n,m} \cdot c_B}$$
, wobei r ein Brenn-

kammerradius, c_R die Schallgeschwindigkeit im Resonatorraum der Resonatorvorrichtung, c_B die Schallgeschwindigkeit im Brennraum, l die Ordnungszahl der Eigenmode der Resonatorvorrichtung mit $l = 1, 2, 3, \dots$ und $\alpha_{n,m}$ Eigenwerte der Besselfunktionen sind mit $m = 1, 2, 3, \dots$ und $n = 0, 1, 2, \dots$

[0033] Insbesondere ist der Winkelabstand zwischen einer Längsachse der Resonatorvorrichtung $k+1$ und einer Längsachse der Resonatorvorrichtung k kleiner als der zweifache Durchmesser eines Resonatorraums, um eine effektive Dämpfungswirkung erzielen zu können.

[0034] Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die Anzahl der an dem ersten Sektorbereich angeordneten Resonatorvorrichtungen mindestens ungefähr $(L_{\max} - L_{\min})/(b \cdot d/n^{0,7})$ ist, wobei L_{\max} die Länge eines Resonatorraums der Resonatorvorrichtung mit größter Länge ist und L_{\min} die Länge des Resonatorraums der Resonatorvorrichtung mit der kleinsten Länge ist und b zwischen 0,1 und 1,2 liegt. Dadurch erhält man bei den Resonanzfrequenzen f_{\max} und f_{\min} dieselbe Modenunterdrückung.

[0035] Es kann vorgesehen sein, dass Resonatorvorrichtungen an dem ersten Sektorbereich und/oder zweiten Sektorbereich axial beabstandet angeordnet sind. Dadurch lassen sich Resonatorvorrichtungen mit kleinem Winkelabstand an einem entsprechenden Sektorbereich positionieren.

[0036] Günstig ist es, wenn der erste Sektorbereich und/oder der zweite Sektorbereich, an welchem längenabgestufte Resonatorvorrichtungen angeordnet sind, sich über einen Winkelbereich kleiner als $90^\circ/(2n)$ beschränkt. Beispielsweise sind in vier Sektoren sechs Resonatorvorrichtungen pro Sektor angeordnet. Der Winkelbereich eines Sektors liegt bei 15° .

[0037] Es ist möglich, dass der erste Sektorbereich und/oder der zweite Sektorbereich Teilbereiche aufweist, welcher um einen Winkel 2α beabstandet sind. Dadurch lassen sich die Winkelabstände von Resonatorvorrichtungen an einem Sektorbereich klein halten. Beispielsweise ist die eine Hälfte der Resonatorvorrichtung in einem Sektorbereich in einem ersten Teilbereich angeordnet und die andere Hälfte in dem zweiten Teilbereich.

[0038] Insbesondere sind an unterschiedlichen Stellen der Brennkammer unterschiedliche Resonatoren zur Unterdrückung unterschiedlicher Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit unterschiedlicher Tangentialbeteiligung angeordnet. Wenn die oben genannte Winkelbedingung erfüllt ist, dann lässt sich die Anzahl der Resonatorvorrichtungen minimieren.

[0039] Bei einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist die erste Resonatoreinrichtung auf den ersten Oberton der ersten Tangentialmode abgestimmt, die zweite Resonatoreinrichtung in einem Winkel von 90° zu der ersten Resonatorvorrichtung angeordnet und auf die erste Tangentialmode abgestimmt, eine dritte Resonatoreinrichtung in einem Winkel von 45° angeordnet und auf die zweite Tangentialmode abgestimmt, und eine vierte Resonatoreinrichtung ist in einem Winkel von 30° angeordnet und auf die dritte Tangentialmode abgestimmt. Da der erste Oberton der ersten Tangentialmode mit dem zweiten Oberton der zweiten Tangentialmode und dem dritten Oberton der dritten Tangentialmode übereinstimmt, lässt sich bei dieser Anordnung mit nur vier Resonatoren sowohl die erste Tangentialmode als auch die zweite Tangentialmode als auch die dritte Tangentialmode effektiv dämpfen und zwar sowohl für σ -Moden als auch π -Moden.

[0040] Es ist dabei möglich, dass jede Resonatoreinrichtung beispielsweise zwei Resonatorvorrichtungen oder mehr als zwei Resonatorvorrichtungen umfasst, die möglichst nahe bei dem Winkel β bzw. bei 0° zueinander angeordnet sind.

[0041] Günstig ist es, wenn in dem Resonatorraum einer Resonatorvorrichtung ein oder mehrere Resonanzbeeinflussungselemente angeordnet sind, welche fluiddurchlässig sind und turbulenz erzeugend sind.

[0042] Es ist grundsätzlich so, dass eine auf eine zu dämpfende Eigenmode abgestimmte Resonatorvorrichtung einen Frequenzschutzbereich umfasst, wobei Eigenmoden, deren Frequenz in den Frequenzschutzbereich fällt, unterdrückt werden. Dadurch können auch Eigenmoden während Verbrennungsstabilitäten unterdrückt werden, wenn deren entsprechende Eigenfrequenz in den Frequenzschutzbereich fällt. Es ist deshalb grundsätzlich wünschenswert, dass der Frequenzschutzbereich möglichst groß ist.

[0043] Es hat sich gezeigt, dass, wenn beispielsweise im Bereich des Anticrossing gearbeitet wird (im Bereich der vermiedenen Kreuzung), wie in der EP 06 117 462.9 beschrieben, der geschützte Frequenzbereich, welcher zwischen der T+-Eigenmode und der T--Eigenmode liegt, größer ist, je größer das Verhältnis von Resonatorraumdurchmesser zu Brennkammerradius ist. Es hat sich andererseits gezeigt, dass die Dämpfungswirkung einer Resonatorvorrichtung mit Vergrößerung dieses Verhältnisses abnimmt.

[0044] Bei der erfindungsgemäßen Lösung sind in dem Resonatorraum ein oder mehrere Resonanzbeeinflussungselemente angeordnet. Diese führen zu einer Linienverbreiterung der zu unterdrückenden Eigenmode und damit zur

höheren Dämpfung. Es hat sich gezeigt, dass solche Resonanzbeeinflussungselemente den Frequenzschutzbereich nicht wesentlich beeinflussen, aber bezogen auf das gleiche Verhältnis von Resonatorraumdurchmesser zu Brennkammerradius eine erhöhte Dämpfungswirkung haben. Durch ein entsprechendes Resonanzbeeinflussungselement wird die Intensität der Eigenmoden reduziert, während der entsprechende Frequenzschutzbereich im Wesentlichen unbeeinflusst ist. Das oder die Resonanzbeeinflussungselemente haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Eigenfrequenzen der Eigenmoden.

[0045] Durch die beschriebene Lösung lässt sich bei effektiver Dämpfung ein großer Frequenzschutzbereich bereitstellen. Dadurch ist es beispielsweise möglich, eine geringere Anzahl an Resonatorvorrichtungen an der Brennkammer zu positionieren und dabei eine gleiche oder bessere Dämpfungswirkung zu erhalten.

[0046] Insbesondere sind in dem Resonatorraum ein oder mehrere Gitter und/oder poröse Strukturen als Resonanzbeeinflussungselemente angeordnet. Durch ein Gitter oder eine poröse Struktur kann Fluid durchströmen. Dadurch ist eine akustische Kopplung zwischen der Resonatorvorrichtung und dem Brennraum erreicht. Durch die Durchströmung wird das Fluid zur Turbulenzen angeregt. Die Turbulenzen führen zu einem irreversiblen Druckabfall, welcher den beschriebenen Effekt hat.

[0047] Insbesondere ist eine poröse Struktur offenporös. Es hat sich gezeigt, dass beispielsweise ein nicht offenporöses Schaummaterial zu einer akustischen Abkopplung der Resonatorvorrichtung von dem Brennraum führt.

[0048] Grundsätzlich kann die Anordnung des oder der Resonanzbeeinflussungselemente beliebig sein. Es hat sich bei Versuchen der stärkste quantitative Effekt ergeben, wenn das oder die Resonanzbeeinflussungselemente an oder in der Nähe der stirnseitigen Öffnung angeordnet sind.

[0049] Es ist grundsätzlich möglich, dass sich das oder die Resonanzbeeinflussungselemente über einen Teilquerschnitt oder über den Gesamtquerschnitt des Resonatorraums erstrecken. Der letztere Fall hat sich als günstig erwiesen, um eine hohe Dämpfungswirkung zu erzielen.

[0050] Es ist möglich, dass das oder die Resonanzbeeinflussungselemente den Resonatorraum ganz oder teilweise ausfüllen.

[0051] Vorteilhaft ist es, wenn das oder die Resonanzbeeinflussungselemente aus einem metallischen oder keramischen Material hergestellt sind. Dadurch lässt sich ein temperaturbeständiges Resonanzbeeinflussungselement realisieren, welches auch bei einem Verbrennungsbetrieb der Brennkammer nicht beschädigt wird.

[0052] Es hat sich als günstig erwiesen, wenn ein Resonanzbeeinflussungselement eine poröse Struktur aus einem Fasermaterial umfasst, wobei die Faserdichte im Bereich zwischen 5 mg/cm^3 und 300 mg/cm^3 liegt und insbesondere im Bereich zwischen 10 mg/cm^3 und 200 mg/cm^3 liegt.

[0053] Bei einer alternativen Ausführungsform wurde als Resonanzbeeinflussungselement ein Gitter und insbesondere flaches Gitter verwendet, wobei die Maschenzahl im Bereich zwischen 300 1/cm^2 und 6000 1/cm^2 und insbesondere im Bereich zwischen 400 1/cm^2 und 5000 1/cm^2 liegt. Es hat sich bei unwesentlicher Beeinflussung des Frequenzschutzbereich eine effektive Dämpfung auch bei größerem Resonatorraumdurchmesser erreichen lassen.

[0054] Die Resonatorvorrichtung ist beispielsweise als $\lambda/4$ -Resonator oder als Helmholtz-Resonator ausgebildet.

[0055] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung der Erfindung. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkammervorrichtung mit an einer Brennkammer angeordneten Resonatorvorrichtungen (Stand der Technik);

Figur 2 eine Draufsicht auf die Brennkammervorrichtung gemäß Figur 1 (Stand der Technik);

Figur 3 eine Teilschnittdarstellung einer Brennkammervorrichtung mit Resonatorvorrichtungen;

Figur 4 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Brennkammervorrichtung in Draufsicht;

Figur 5 ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Brennkammervorrichtung in Draufsicht;

Figur 6 ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Brennkammervorrichtung in Seitenansicht;

Figur 7 eine schematische Darstellung des Klangbilds für verschiedene Eigenmoden einer zylindrischen Brennkammer;

Figur 8 ein Messdiagramm für die Intensität der Druckschwankung der 1T-Eigenmode bei unterschiedlicher Anordnung und Ausbildung von Resonatorvorrichtungen in Abhängigkeit von der Tangentialposition (Winkel χ);

- Figur 9(a) ein Intensitätsdiagramm für unterschiedliche Eigenmoden, wenn eine Resonatereinrichtung mit zwei Resonatorvorrichtungen vorgesehen ist;
- 5 Figur 9(b) ein ähnliches Diagramm wie in Figur 9(a), wenn die Resonatereinrichtung drei Resonatorvorrichtungen unterschiedlicher Länge umfasst;
- Figur 10 Schnittansichten für Ausführungsbeispiele von Resonatorvorrichtungen;
- 10 Figur 11 für ein Ausführungsbeispiel einer Brennkammervorrichtung die Abhängigkeit der Eigenfrequenzen der 1T+-Eigenmode und 1T--Eigenmode beim 1T-Anticrossing in Abhängigkeit von einem Resonatorraumdurchmesser bezogen auf einen Brennraumradius für einen $\lambda/4$ -Resonator;
- Figur 12 die Intensitätsreduktion für die entsprechenden Eigenmoden;
- 15 Figur 13 den Frequenzverlauf einer 1T+-Eigenmode und 1T--Eigenmode beim 1T-Anticrossing für einen bestimmten Resonatorraumdurchmesser ($d/r = 0,18$) als Funktion der Maschenzahl M eines an der Resonatorvorrichtung angeordneten Gitters;
- 20 Figur 14 die Intensitätsreduktion, wenn die Resonatorvorrichtung mit einem Gitter der Maschenzahl M versehen ist;
- Figur 15 den Frequenzverlauf der 1T+-Eigenmode und 1T--Eigenmode beim 1T-Anticrossing für einen bestimmten Resonatorraumdurchmesser ($d/r = 0,18$) als Funktion der Länge L_p einer porösen Struktur, welche an der Resonatorvorrichtung angeordnet ist; und
- 25 Figur 16 die entsprechende Intensitätsreduktion.

[0056] Ein Ausführungsbeispiel einer Brennkammervorrichtung, welche in Figur 1 schematisch gezeigt und dort mit 10 bezeichnet ist, umfasst eine Brennkammer 11 mit einer Brennkammerwand 12 und einem Innenraum als Brennraum 14. Der Brennraum 14 ist üblicherweise rotationssymmetrisch um eine Brennraumachse 16 ausgebildet.

30 **[0057]** Die Brennkammer 11 weist ein Ende 18 auf, an welchem eine Einblaseeinrichtung zum Einblasen von Brennstoff und Oxidator angeordnet ist (in Figur 1 nicht gezeigt). Das Ende 18 liegt an einem zylindrischen Bereich 19, auf welchen ein eingeschnürter Halsbereich 20 folgt.

[0058] Brenngase treten aus der Brennkammer 11 über den Halsbereich 20 aus.

35 **[0059]** Eine Brennkammer 11 weist akustische Eigenmoden auf. Kenntnis und Einstellung der akustischen Eigenschaften einer Brennkammer 11 kann für Verbrennungsvorgänge wichtig sein. Teilvorgänge der Verbrennung eines Treibstoffs in der Brennkammer 11 wie Brennstoffzufuhr, Mischungsbildung und chemische Reaktion sowie bei Flüssigbrennstoff Zerstäubung und Verdampfung können periodische bzw. pulsierende Vorgänge sein. Wenn die entsprechende Oszillationsfrequenz irgend eines dieser Teilvorgänge eine akustische Eigenmode der Brennkammer 11 zur Schwingung anregt, können in der Brennkammer 11 aufgrund akustischer Kopplung starke Druckpulsationen entstehen, die wiederum zu einer Beschädigung der Brennkammer 11 führen können bzw. zu Störungen der Verbrennung führen können.

40 **[0060]** Durch gezielte Einstellung der akustischen Eigenschaften der Brennkammer 11 über eine Resonatereinrichtung 21 kann man die geschilderten Probleme vermeiden.

45 **[0061]** An der Brennkammer 11 sind ein oder mehrere akustische Resonatorvorrichtungen 22 als Dämpfungselemente angeordnet. Wenn eine solche akustische Resonatorvorrichtung 22 (oder eine Mehrzahl von akustischen Resonatorvorrichtungen 22) mit einer akustischen Eigenmode der Brennkammer 11 koppelt (das heißt in Resonanz steht), dann kann bei geeigneter Wahl die Eigenmode in einen Frequenzbereich geschoben werden, in dem sie für den Verbrennungsvorgang nicht mehr störend ist, bzw. gedämpft werden und im Idealfall weitgehend unterdrückt werden.

50 **[0062]** Es ist beispielsweise bekannt, dass ein Ringflansch 24 an einer Außenseite 26 der Brennkammer 11 fixiert ist, an welchem sich akustische Resonatorvorrichtungen 22 insbesondere um eine Umfangslinie an der Außenseite 26 der Brennkammer 11 positionieren lassen (vorzugsweise auf der gleichen Höhe). Der Abstand der Resonatorvorrichtungen 22 (längs der Brennraumachse 16) zu dem Halsbereich 20 ist vorzugsweise größer als der Durchmesser $2r$ des Brennraums 14.

55 **[0063]** Eine akustische Resonatorvorrichtung 22 weist dabei einen Resonatorraum 28 (Resonanzraum) auf, welcher über eine Öffnung 29 in Verbindung mit dem Brennraum 14 der Brennkammer 11 steht (Figuren 3, 10).

[0064] Zur akustischen Untersuchung der Brennkammer 11 erfolgt eine akustische Anregung der Brennkammer 11 über einen Lautsprecher 30. Zur Signalerzeugung ist ein Signalgenerator 32 vorgesehen, dessen Signale von einem Verstärker 34 verstärkt werden. Der Verstärker 34 ist an den Lautsprecher 30 gekoppelt.

[0065] Zur Signaldetektion ist ein Mikrofon 36 vorgesehen, welches an einen Verstärker 38 gekoppelt ist. Der Verstärker 38 liefert die verstärkten Signale an eine Auswerteeinrichtung 40, durch welche insbesondere das Frequenzspektrum der Brennkammer 11 ermittelbar ist.

[0066] Als akustische Resonatorvorrichtung lässt sich beispielsweise ein Lambda-Viertel-Resonator 42 einsetzen (Figur 10). Dieser umfasst eine zylindrische Röhre 44, in welcher der zylindrische Resonatorraum 28 gebildet ist. Die Röhre 44 mündet über ein offenes Ende 46 in den Brennraum 14 der Brennkammer 11. Die Röhre 44 ist quer und insbesondere senkrecht zu der Brennraumachse 16 orientiert und mindestens teilweise radial ausgerichtet.

[0067] Der Resonatorraum 28 ist an dem dem Ende 46 gegenüberliegenden Ende 48 durch eine Wand 50 abgeschlossen. Diese Wand 50 kann festliegen oder sie kann verschieblich sein, so dass die Länge L des Resonatorraums 28 zwischen dem Ende 46 und dem Ende 48 variabel einstellbar ist.

[0068] Ein weiteres Beispiel für eine akustische Resonatorvorrichtung ist ein Helmholtz-Resonator, welcher in Figur 10 schematisch gezeigt und dort mit 52 bezeichnet ist. Ein Helmholtz-Resonator umfasst einen rotationssymmetrischen Resonatorraum 54, welcher beispielsweise teilweise in einer Röhre 56 gebildet ist. Die Röhre 56 ist über einen Hals 58 mit dem Innenraum 14 der Brennkammer 11 verbunden. Ein Innenraum 60 im Hals 58 ist auch Teil des Resonatorraums 54. Der Resonatorraum ist über eine Wand 62 geschlossen.

[0069] Der Hals 58 weist eine kleinere Querschnittsfläche als die Röhre 56 auf.

[0070] Durch gezielte Wahl bzw. Einstellung von einer oder mehreren akustischen Resonatorvorrichtungen 22 lassen sich die akustischen Eigenschaften der Brennkammer 11 einstellen. Die Einstellung erfolgt insbesondere derart, dass für pulsierende Vorgänge bei der Verbrennung in der Brennkammer 11 keine Kopplung mit Eigenmoden der Brennkammer 11 erfolgen kann.

[0071] Die Eigenmoden der Brennkammer 11 (ohne akustische Resonatorvorrichtungen 22) und die entsprechenden Eigenfrequenzen hängen von der geometrischen Form der Brennkammer 11 ab. Für eine ideale zylindrische Brennkammer 11 sind die Eigenfunktionen beispielsweise zylindrische Besselfunktionen.

[0072] Bei einer rotationssymmetrischen Brennkammer 11 mit Zylindergeometrie existieren als Eigenmoden transverse Moden und Längsmoden (Axialmoden). Die Längsmoden tragen üblicherweise die Bezeichnung nL wie 1L, 2L usw. Die transversen Moden umfassen Radialmoden (R-Moden) und Tangentialmoden (T-Moden). Die Radialmoden werden üblicherweise mit der Bezeichnung nR wie 1R, 2R usw. versehen und die tangentialen Moden mit der Bezeichnung nT wie 1T, 2T usw.

[0073] In Figur 7 sind Klangbilder der 1T-Eigenmode und 2T-Eigenmode einer rotationssymmetrischen Brennkammer dargestellt; s bedeutet dabei eine Symmetrielinie, p_n stellt jeweils einen Druck-Schwingungsbauch dar, in ist eine Isobare der Druckschwankung und K_n sind Druck-Schwingungsknoten.

[0074] Die 1T-Eigenmode untergliedert sich, wenn keine Resonatorvorrichtung vorhanden ist, in eine 1T-σ-Eigenmode und 1T-π-Eigenmode, bei welchen die Isobaren der Druckschwankung um 90° zueinander orientiert sind.

[0075] Die 2T-Eigenmode gliedert sich in eine 2T-σ-Eigenmode und eine 2T-π-Eigenmode, welche um 45° auseinander liegen.

[0076] Die Ankopplung einer Resonatorvorrichtung 22 bedeutet eine Symmetriestörung. Die 1T-σ-Eigenmode weist einen Druckbauch an der Öffnung 29 des entsprechenden Resonatorraums 28 auf. Die 1T-σ-Eigenmode tritt mit der Resonatorvorrichtung 22 in Wechselwirkung. Die 1T-π-Eigenmode, welche einen Druckknoten an der Öffnung 29 aufweist, tritt dagegen mit der Resonatorvorrichtung 22 nicht in Wechselwirkung.

[0077] Wie untenstehend noch näher erläutert wird, liegen bei bestimmten Anregungen der Brennkammer zwei Eigenmoden vor, die dicht beieinander liegen und gleiche Resonanzeigenschaften aufweisen. Diese sind in Figur 1 als 1T--Eigenmode und 1T+-Eigenmode mit ihren entsprechenden Klangbildern gezeigt. Die 1T--Eigenmode und 1T+-Eigenmode lassen sich anregen, wenn die Resonanzbedingungen bezüglich der Frequenz erfüllt ist, jedoch die Druckverteilung die Geschwindigkeitsverteilung der Resonatorvorrichtung 22 und der Brennkammer nicht zusammenpassen.

[0078] Wenn der zylindrische Bereich 19 der Brennkammer 11 eine genügend große Höhe aufweist im Vergleich zu dem Halsbereich 20, dann sind auch hier die Eigenfunktionen in guter Näherung Besselfunktionen. Auch die Öffnungen 46 zu Resonatorvorrichtungen 22 haben einen relativ geringen Einfluss.

[0079] Die Eigenfrequenzen der Brennkammer 11 für die transversen (radialen und tangentialen) Eigenschwingungen sind in guter Näherung durch die Gleichung

$$f_{n,m}^B = \frac{\alpha_{n,m} c_B}{2\pi r}; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

bestimmt, wobei $\alpha_{n,m}$ Eigenwerte der Besselfunktionen sind und c_B die Schallgeschwindigkeit im Brennraum 14 ist; r ist der Radius des Brennraums 14. $(m-1)$ ist die Ordnung der radialen Eigenmode; n ist die Ordnung der tangentialen Eigenmode; c_B kann veränderlich sein.

[0080] Die Eigenfrequenz eines Lambda-Viertel-Resonators ist

$$f_l^R = \frac{(2l-1)c_R}{4L}; \quad l = 1, 2, 3, \dots$$

mit der Resonatorlänge L und der Schallgeschwindigkeit c_R im Resonator. l ist die Ordnungszahl der Eigenmoden des Lambda-Viertel-Resonators, wobei $l = 1$ dem Grundton entspricht, $l = 2$ ist der erste Oberton, $l = 3$ ist der zweite Oberton usw.; c_R kann veränderlich sein.

[0081] Die Anzahl der Resonatorvorrichtungen 22, die an der Brennkammer 11 positionierbar sind, ist begrenzt. Wenn S als Abstand zwischen benachbarten Resonatorvorrichtungen (einschließlich Resonatorwand) angesetzt wird (Figur 3), dann ergibt sich die mögliche Anzahl der Resonatorvorrichtungen 22, die um eine Umfangslinie der Brennkammer 11 angeordnet werden können, als $2\pi(S+d)$. Bei einem Brennkammerdurchmesser von $2r = 220$ mm, einem Resonatordurchmesser von $d = 9$ mm und bei einem Abstand $S = 5,4$ mm ist die Anzahl der maximalen Resonatorvorrichtungen ca. 50. Eine größere Anzahl von Resonatorvorrichtungen kann nur durch Verkleinerung des Resonatordurchmessers d und/oder von S erreicht werden. Eine Verkleinerung von d resultiert in einer Verkleinerung des wirksamen Frequenzbereichs, wie weiter unten noch erläutert wird. Eine Verkleinerung von S führt zu konstruktiven Schwierigkeiten.

[0082] Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass eine erste Resonatereinrichtung 63 mit mindestens einer Resonatorvorrichtung 64 an der Brennkammer 11 angeordnet ist und eine zweite Resonatereinrichtung 65 mit mindestens einer Resonatorvorrichtung 66 in einem Winkel (mindestens näherungsweise)

$$\alpha = i \cdot \frac{90^\circ}{n}$$

dann angeordnet ist. $i = 1, 3, 5, \dots$ ist dabei eine ungerade Zahl und n ist die Ordnungszahl der zu unterdrückenden Tangentialmode oder die Ordnungszahl der Tangentialbeteiligung einer Kompensationsmode; der Winkel α ist auf die Brennraumachse 16 bezogen.

[0083] Wenn beispielsweise die erste Tangentialmode 1T zu unterdrücken ist, dann sind die erste Resonatereinrichtung 63 und die zweite Resonatereinrichtung 65 in einem Winkel von 90° bezogen auf die Brennraumachse 16 zueinander angeordnet. (Dieser Winkel kann auch bei 270° liegen.)

[0084] Wenn die zweite Tangentialmode 2T zu unterdrücken ist, dann liegen die erste Resonatereinrichtung 63 mit Resonatorvorrichtungen 64' und die zweite Resonatereinrichtung 65 mit Resonatorvorrichtungen 66' um 45° auseinander. (Sie können auch um 135° oder 225° oder 315° auseinander liegen.)

[0085] Wenn die dritte Tangentialmode 3T zu unterdrücken ist, dann liegen die erste Resonatereinrichtung 63 mit Resonatorvorrichtungen 64" und die zweite Resonatereinrichtung 65 mit Resonatorvorrichtungen 66" um 30° auseinander. Sie können auch um 90° , 150° , 210° , 270° oder 330° auseinander liegen.

[0086] In dem Brennraum 14 können sich bei den Tangentialmoden stehende Wellen ausbilden, welche unterschiedliche Charakteristika haben. Jede Tangentialmode tritt in Doppelausführung auf. Diese Doppelversionen sind miteinander gekoppelt, da der Druckknoten der einen Mode der Geschwindigkeitsknoten der anderen ist. Beispielsweise gibt es σ -Moden und π -Moden (Figur 7). Durch die Anordnung der ersten Resonatereinrichtung 63 und der zweiten Resonatereinrichtung 65 in dem Winkel α lassen sich effektiv sowohl die σ -Moden als auch die π -Moden der entsprechenden Tangentialmode unterdrücken.

[0087] Die erste Resonatereinrichtung 63 umfasst eine Gruppe von Resonatorvorrichtungen, die an einem ersten Sektorbereich 68 angeordnet sind. Die zweite Resonatereinrichtung 65 ist an einem zweiten Sektorbereich 70 der Brennkammer 11 angeordnet; sie umfasst ebenfalls mehrere Resonatorvorrichtungen 66.

[0088] Die erste Resonatereinrichtung 63 und die zugehörige zweite Resonatereinrichtung 65 sind auf eine bestimmte Tangentialmode der Brennkammer 11 ausgerichtet. Diese Tangentialmode kann beispielsweise bei Variation der Schallgeschwindigkeit unterschiedliche Eigenfrequenzen aufweisen. Um auch diese modifizierten Tangentialmoden dämpfen zu können, ist es vorteilhaft, wenn an dem jeweiligen ersten Sektorbereich 68 und dem zweiten Sektorbereich 70 eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen mit unterschiedlichen Resonatorraumlängen L angeordnet sind. Es ist günstig, wenn ein Winkelabstand β von Resonatorvorrichtungen einer solchen Gruppe bei näherungsweise 0° oder bei $j \cdot 90^\circ$

n liegt, wobei j eine gerade natürliche Zahl ist.

[0089] Entsprechend ist an dem ersten Sektorbereich 68 eine erste Gruppe 72 an Resonatorvorrichtungen angeordnet und an dem zweiten Sektorbereich 70 eine zweite Gruppe 74 an Resonatorvorrichtungen. (An dem ersten Sektorbereich 68' ist eine erste Gruppe 72' angeordnet und an dem zweiten Sektorbereich 70' ist eine zweite Gruppe 74' angeordnet. An dem ersten Sektorbereich 68" ist eine erste Gruppe 72" und an dem zweiten Sektorbereich 70" eine zweite Gruppe 74" angeordnet.)

[0090] Durch die unterschiedlichen Längen kann man beispielsweise auch transiente Vorgänge effektiv erfassen.

[0091] Es ist vorgesehen, um eine Verbrennungsstabilität in dem Brennraum 14 für einen weiten Schallgeschwindigkeitsbereich zu erreichen, dass die Resonatorvorrichtungen, welche pro Tangentialmode von einer Gruppe Resonatorvorrichtungen umfasst werden, in ihren Längen abgestuft sind. Die Längenabstufung erfolgt beispielsweise gemäß:

$$L_{k+1} = L_k - \frac{b \cdot d}{n^{0,7}}$$

L_{k+1} ist die Länge des Resonatorraums der Resonatorvorrichtung $k+1$ der entsprechenden Gruppe. d ist der Durchmesser des entsprechenden Resonatorraums und n ist die Ordnungszahl der entsprechenden Tangentialmode. b ist eine dimensionslose Zahl, die zwischen 0,1 und 1,2 und insbesondere zwischen 0,3 und 0,7 liegt. Besonders gute Ergebnisse haben sich erzielen lassen, wenn b bei ca. 0,5 liegt.

[0092] L_0 ist eine Grundlänge der Resonatorvorrichtung. Sie ist dadurch bestimmt, dass die Eigenfrequenz der entsprechenden Tangentialmode der Brennkammer 11 ohne Resonatorvorrichtung der Eigenfrequenz der Resonatorvorrichtung entspricht. Beispielsweise ist L_0 bei einem $\lambda/4$ -Resonator bestimmt durch

$$L_0 = \frac{\pi \cdot r \cdot (2l - 1) \cdot c_R}{2\alpha_{n,m} \cdot c_B}$$

[0093] Die Längenabstufung in zugehörigen Gruppen 72, 74 bzw. 72', 74' bzw. 72", 74" ist dabei die gleiche. Insbesondere ist jedem Resonator einer Gruppe ein Resonator der gleichen Länge in der zugehörigen Gruppe zugeordnet.

[0094] Innerhalb der jeweiligen Gruppe 72, 72', 72" (und damit auch in der Gruppe 74, 74', 74") ist der Abstand zwischen benachbarten Resonatorvorrichtungen $k+1$ und k bevorzugterweise möglichst klein. Vorzugsweise ist er auch kleiner als ein doppelter Durchmesser des Resonatorraums der Resonatorvorrichtungen.

[0095] Es hat sich als günstig erwiesen, wenn eine Resonatereinrichtung (beispielsweise die Resonatereinrichtung 63 und/oder die Resonatereinrichtung 65) eine Mehrzahl von Resonatorenvorrichtungen aufweist, welche unterschiedliche Längen haben, wie in Figur 4 schematisch angedeutet. Es ist dabei günstig, wenn die Resonatorvorrichtungen einer solchen Gruppe in einem Winkelbereich, welcher möglichst nahe bei 0° liegt oder möglichst nahe bei

$$\beta = j \cdot \frac{90^\circ}{n}$$

liegt, angeordnet sind, wobei n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder der Tangentialbeteiligung einer Kombinationsmode ist und j eine gerade natürliche Zahl.

[0096] Es ist ferner günstig, wenn die Resonatorräume der Resonatorvorrichtungen einer Gruppe Längen aufweisen, welche geringfügig voneinander abweisen, wobei eine minimale Länge L_{\min} unterhalb eines Mittelwerts liegt. Dieser Mittelwert ist durch die Anti-Crossing-Länge bestimmt. Ferner sollte eine Resonatorvorrichtung einen Resonatorraum mit einer Länge L_{\max} aufweisen, welche oberhalb dieses Mittelwerts liegt. Dadurch erhält man eine Verstärkung der Resonatorenwirkung. Insbesondere ist eine verstärkte Unterdrückung der Intensität von Druckschwankungen ermöglicht.

[0097] Besonders vorteilhaft ist es dann, wenn Resonatereinrichtungen, welche im Winkel α beabstandet sind, vorgesehen werden, welche selber wiederum eine Gruppe von Resonatorvorrichtungen umfassen, die der oben genannten Bedingung für den Winkel β genügen.

[0098] In Figur 8 ist ein Messdiagramm für die Intensität der Druckschwankungen der 1T-Eigenmode am Umfang

einer bestimmten Brennkammer gezeigt, wobei die Abhängigkeit von dem Winkel γ am Umfang gemessen wurde. Die Messwerte 160 entsprechen der Anordnung 162. Es wurde eine Resonatorvorrichtung ($\lambda/4$ -Resonator) vorgesehen, welche schlecht abgestimmt ist; der Resonatorraum der Resonatorvorrichtung weist eine Länge 20 mm auf. Diese Länge ist zu kurz.

[0099] Im Vergleich dazu gehören die Messwerte 164 zu einer Anordnung 166, bei der eine abgestimmte Resonatorvorrichtung (mit einer Resonatorraumlänge von 90 mm) verwendet wurde.

[0100] Man erkennt hier, dass bei der Position $\gamma = 90^\circ$ hohe Druckschwankungen vorliegen. Dies ist auf die $1T-\pi$ -Eigenmode zurückzuführen. Je weiter man von diesen 90° weg geht, desto effektiver erfolgt eine Unterdrückung der $1T$ -Eigenmode.

[0101] Die Messwerte 168 gehören zu der Anordnung 170, bei der zusätzlich gegenüber eine weitere Resonatorvorrichtung vorgesehen wurde. Man erkennt, dass diese einen relativ geringen Einfluss hat.

[0102] Aus den Klangbildern der Figur 7 ist der Verlauf der Messwerte 160, 164 und 168 leicht erklärbar.

[0103] Die Messwerte 172 gehören zu der erfindungsgemäßen Anordnung 174, bei welcher eine erste Resonatoreinrichtung (mit einer einzigen Resonatorvorrichtung) und eine zweite Resonatoreinrichtung (mit einer einzigen Resonatorvorrichtung) in einem Winkel von 90° auseinander liegen. Man erkennt, dass sowohl die $1T-\sigma$ -Eigenmode und auch die $1T-\pi$ -Eigenmode effektiv unterdrückt werden und man dadurch über den ganzen Umfang der Brennkammer eine effektive Unterdrückung der Druckschwankungen erhält.

[0104] In Figur 9(a) ist ein Messdiagramm gezeigt, wenn an einer Brennkammer eine einzigen Resonatoreinrichtung mit zwei Resonatorvorrichtungen angeordnet ist, wobei die beiden Resonatorvorrichtungen in einem kleinen Winkel möglichst dicht bei 0° angeordnet sind und Resonatorräume unterschiedlicher Längen aufweisen. Die Länge des kürzeren Resonatorraums ist L_{\min} und die Länge des größeren Resonatorraums ist L_{\max} .

[0105] Durch diese Anordnung entstehen eine $1T_1^-$, $1T_2^-$ und $1T_3^-$ -Eigenmode. Diese sind abgeschwächt. Die

$1T_1^-$ -Eigenmode entspricht einer $1T--$ -Eigenmode und die $1T_3^-$ -Eigenmode entspricht der $1T+$ -Eigenmode. Die

$1T_2^-$ -Eigenmode liegt mit der Eigenfrequenz zwischen den Frequenzen der beiden anderen Eigenmoden. Die $1T_2^-$ -Eigenmode liegt in der Intensität um ca. eine Zehnerpotenz niedriger als die der beiden anderen Eigenmoden, wenn die Länge der Resonatorräume der Resonatorvorrichtungen annähernd gleich ist. Bei Vergrößerung des Längenunterschieds sinkt die Intensität der $1T_1^-$ - und $1T_3^-$ -Eigenmode. Diejenige der $1T_2^-$ -Eigenmode steigt. Das Optimum der Längenabstufung liegt bei $L_{\max} - L_{\min} \approx k \cdot a \cdot d/n^{0,7}$ wobei d der Resonatordurchmesser ist, k die Anzahl der Resonatorvorrichtungen pro Resonatoreinrichtung (hier $k = 2$) und n die Ordnungszahl der Tangentialmode ist (hier $n = 1$); ein optimales a liegt bei ca. 0,4 bis 0,5.

[0106] Figur 9(b) entspricht einer Anordnung einer einzigen Resonatoreinrichtung an einer Brennkammer mit drei Resonatorvorrichtungen, die in einem kleinen Winkelbereich möglichst dicht bei 0° angeordnet sind. Es entsteht jeweils eine $1T_1^-$, $1T_2^-$, $1T_3^-$ und eine $1T_4^-$ -Eigenmode. Die optimale Längenabstufung erreicht man, wenn $L_{\max} - L_{\min}$ ungefähr $k \cdot a \cdot d/n^{0,7}$ ist, wobei a zwischen 0,25 und 0,7 liegt.

[0107] Die Messungen, welche zu den Diagrammen gemäß den Figuren 8 und 9 geführt haben, wurden an einer Modelbrennkammer mit Luft als Medium bei Umgebungsbedingungen (Kaltversuche) durchgeführt. Der Brennkammerdurchmesser betrug 220 mm und die Brennkammerlänge 40 mm. Der Resonatordurchmesser d betrug 9 mm.

[0108] Wenn mehrere Resonatorvorrichtungen mit entsprechender Winkelanordnung an der Brennkammer 11 angeordnet sind und die Länge der Resonatorräume aller Resonatorvorrichtungen gleich ist (dies entspricht $b = 0$), dann ist die Modenunterdrückung genauso groß, als wenn nur eine Resonatorvorrichtung mit der gleichen Resonatorraumlänge angekoppelt wäre. Der Frequenzbereich der Schutzwirkung zur Modenunterdrückung erhöht sich mit steigender Anzahl der Resonatorvorrichtungen etwas geringfügiger, als wenn der Durchmesser dieser einzigen Resonatorvorrichtung so vergrößert wäre, dass die Fläche der Resonatorvorrichtung mit erhöhtem Durchmesser der Summe der Fläche aller Resonatorvorrichtungen mit dem ursprünglichen Durchmesser entspräche.

[0109] Es hat sich gezeigt, dass, wenn zusätzlich zu der ersten Resonatoreinrichtung 63 und der zweiten Resonatoreinrichtung 65 eine dritte Resonatorvorrichtung gleicher Länge in einem "falschen" Winkel angeschlossen wird, sich die Modenunterdrückung verschlechtert. Wenn dann eine vierte Resonatoreinrichtung gleicher Länge an das System angeschlossen wird, wird der Winkel zwischen der dritten Resonatorvorrichtung und der vierten Resonatorvorrichtung der oben genannten Gleichung mit $i = 1, 3, 5, \dots$ entspricht, dann wird die entsprechende Tangentialmode wieder optimal unterdrückt.

[0110] Der erste Sektorbereich 68 und der zweite Sektorbereich 70 können mehrteilig ausgebildet sein. (Dies entspricht $j \neq 0$.) Dies ist in Figur 5 angedeutet. Der erste Sektorbereich 68 umfasst dabei Teilsektoren 76a, 76b und der zweite Sektorbereich 70 umfasst Teilsektoren 78a, 78b. Die Teilsektoren 76a, 76b unterscheiden sich dabei um ein geradzah-

liges Vielfaches des Winkels β . Entsprechend unterscheiden sich die Teilsektoren 78a, 78b um ein geradzahliges Vielfaches des Winkels α bezogen auf die Brennraumachse 16. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel mit $\alpha = 90^\circ$ liegen die Teilsektoren 76a und 76b um 180° auseinander. Entsprechend liegen die Teilsektoren 78a und 78b um 180° auseinander. Durch diese Ausbildung kann der Winkelbereich, in dem Resonatorvorrichtungen an einem Sektorbereich angeordnet sind, klein gehalten werden. Beispielsweise kann die Hälfte der Resonatorvorrichtungen in dem Teilsektor 76a und 78a und die andere Hälfte der Resonatorvorrichtungen in dem Teilsektor 76b und 78b angeordnet werden.

[0111] Es ist beispielsweise auch möglich, dass Resonatorvorrichtungen, wie in Figur 6 gezeigt, in einem jeweiligen Sektorbereich axial (das heißt parallel zur Brennraumachse 16) versetzt sind. Die Axialverschiebung ist dabei bevorzugterweise möglichst klein.

[0112] Bei der erfindungsgemäßen Anordnung ist es möglich, dass einander zugeordnete Resonatorvorrichtungen auf den Grundton abgestimmt sind, dass eine Resonatorvorrichtung auf einen Grundton und die andere Resonatorvorrichtung auf einen Oberton oder dass beide Resonatorvorrichtungen auf einen Oberton abgestimmt sind, wobei die Obertöne auch unterschiedlich sein können.

[0113] Für die Unterdrückung von Radialmoden ist bei gegebener Schallgeschwindigkeit eine einzige Resonatorvorrichtung ausreichend.

[0114] Bei einem konkreten Ausführungsbeispiel sind vier Resonatoreinrichtungen an der Brennkammer 11 angeordnet. Bei der erfindungsgemäßen Anordnung lassen sich die ersten drei Tangentialmoden 1T, 2T und 3T effektiv unterdrücken. Dazu ist eine erste Resonatoreinrichtung auf den ersten Oberton der ersten Tangentialmode abgestimmt. Der erste Oberton der ersten Tangentialmode stimmt mit dem zweiten Oberton der zweiten Tangentialmode und dem dritten Oberton der dritten Tangentialmode überein. In einem Winkel von 90° zu der ersten Resonatoreinrichtung ist eine zweite Resonatoreinrichtung angeordnet, die auf die erste Tangentialmode abgestimmt ist. In einem Winkel von 45° ist eine dritte Resonatoreinrichtung angeordnet, die auf die zweite Tangentialmode abgestimmt ist. In einem Winkel von 30° ist eine vierte Resonatoreinrichtung angeordnet, welche auf die dritte Tangentialmode abgestimmt ist.

[0115] Anticrossing oder "vermiedene Kreuzung" bedeutet, dass bei bestimmten Anregungen der Brennkammer zwei Eigenmoden vorliegen, die dicht beieinander liegen und gleiche Resonanzeigenschaften aufweisen; sie weisen insbesondere eine im Wesentlichen gleiche Intensität und Halbwertsbreite auf. Eine vermiedene Kreuzung entsteht dann, wenn zwar die Resonanzbedingung bezüglich der Frequenz erfüllt ist, jedoch die Druckverteilung und die Geschwindigkeitsverteilung in der Resonatorvorrichtung und der Brennkammer nicht zusammenpassen. So können beispielsweise die Resonanzfrequenzbedingungen für eine radiale Mode der Brennkammer und eine $\lambda/4$ -Oszillation einer angekoppelten Resonatorvorrichtung erfüllt sein. Jedoch erfordert die $\lambda/4$ -Oszillation der Resonatorvorrichtung einen Druckknoten an einer Resonatoröffnung in einem Innenraum der Brennkammer. Für die Radialmode ist dagegen ein Druckantiknoten an der Zylinderwand erforderlich.

[0116] Für eine Tangentialmode erfordert die $\lambda/4$ -Oszillation der Resonatorvorrichtung eine radiale Geschwindigkeitsfluktuation an der Mündung der Resonatorvorrichtung in die Brennkammer, während die Tangentialmode der Brennkammer eine azimutale Oszillation an der gleichen Stelle erfordert.

[0117] Durch die vermiedene Kreuzung entstehen zwei Eigenmoden, von denen die eine eine leicht niedrigere Frequenz hat als die Eigenmode der Brennkammer ohne Resonatorvorrichtung, und die andere eine leicht höhere Frequenz als die entsprechende Eigenmode der Brennkammer ohne Resonatorvorrichtung hat.

[0118] Wenn die Frequenz der Eigenmode mit der höheren Frequenz als f^+ bezeichnet wird und die der Eigenmode mit der identischen Frequenz als f^- und die Frequenz der zu unterdrückenden Mode als f bezeichnet wird, dann liegt der geschützte Frequenzbereich der Brennkammer bei $f \pm (f^+ - f)/6$ und der Schutzbereich liegt bei ca. $(f^+ - f)/3$. Der Schutzbereich ist derjenige Frequenzbereich, innerhalb welchem Eigenmoden unterdrückbar sind. Innerhalb des Schutzbereichs können auch bei Änderungen der Betriebsparameter der Verbrennung in der Brennkammer Eigenmode effektiv unterdrückt werden. Es ist daher wünschenswert, dass der Schutzbereich ein breiter Frequenzbereich ist, in dem für eine oder mehrere Resonatorvorrichtungen eine starke Dämpfung vorliegt.

[0119] Der Effekt der vermiedenen Kreuzung bzw. des Anticrossing ist in der nicht vorveröffentlichten europäischen Patentanmeldung Nr. 06 117 462.9 vom 19. Juli 2006 des gleichen Anmelders beschrieben. Es wird ausdrücklich darauf Bezug genommen.

[0120] Figur 12 zeigt die Abhängigkeit der Intensitätsreduktion (in dB) in Abhängigkeit des Verhältnisses d zu r für die Intensität der 1T+-Eigenmode und 1T-Eigenmode beim 1T-Anticrossing. Man erkennt, dass die stärkste Intensitätsreduktion und damit die stärkste Unterdrückung der 1T-Eigenmode bei einem Verhältnis von d zu r im Bereich zwischen 0,04 und 0,065 erfolgt. Zu größeren Durchmesser des Resonatorraums der entsprechenden Resonatorvorrichtung nimmt die Intensitätsreduktion ab, das heißt die Intensität wird weniger stark reduziert.

[0121] Man erkennt aus dem Vergleich mit den Figuren 11 und 12, dass ein großer Durchmesser d des Resonatorraums einer angeschlossenen Resonatorvorrichtung günstig ist für einen großen Schutzbereich, jedoch ungünstig ist für eine Intensitätsunterdrückung.

[0122] Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass in dem Resonatorraum 28 bzw. 54 der entsprechenden Resonatorvorrichtung 22 bzw. 52 ein oder mehrere Resonanzbeeinflussungselemente 100 angeordnet sind. In Figur 10 sind

verschiedene Beispiele gezeigt. Das oder die Resonanzbeeinflussungselemente 100 sind dabei so ausgebildet, dass sie fluiddurchlässig und insbesondere gasdurchlässig sind, um eine Ankopplung des Mediums in dem entsprechenden Resonatorraum 102 an das Medium im Brennraum 14 zu ermöglichen. Ferner sind das oder die Resonanzbeeinflussungselemente 100 so ausgebildet, dass sie turbulenz erzeugend sind. Das Fluid, welches durch ein entsprechendes Resonanzbeeinflussungselement 100 strömt, wird verwirbelt. Es entsteht ein Abfall in Druckschwankungen. Dies bewirkt eine Dissipation im Volumen.

[0123] Es hat sich gezeigt, dass durch das Vorsehen von einem oder mehreren Resonanzbeeinflussungselementen bei gegebenem Durchmesser d des Resonatorraums 102 die Frequenzbreite und damit der Schutzbereich 94 nur wenig beeinflusst wird, während die Intensitätsreduktion einem effektiven kleineren Durchmesser d entspricht. Durch das Vorsehen von einem oder mehreren Resonanzbeeinflussungselementen 100 lässt sich dadurch sowohl eine große Intensitätsreduktion als auch ein großer Schutzbereich 94 erreichen.

[0124] Das oder die Resonanzbeeinflussungselemente 100 können dabei den Resonatorraum 102 vollständig oder in einem Teilbereich ausfüllen.

[0125] In Figur 10 ist ein mit dem Bezugszeichen 104 bezeichnetes Resonanzbeeinflussungselement gezeigt, welches aus einer porösen Struktur 106 gebildet ist. Die poröse Struktur ist beispielsweise eine metallische Faserstruktur.

[0126] Das Resonanzbeeinflussungselement 104 ist an einer Öffnung 108 des Resonatorraums 102 in dem Brennraum 14 angeordnet.

[0127] Die Länge der porösen Struktur 106 parallel zu einer Achse 110 des Resonatorraums 102 kann dabei unterschiedlich sein. In Figur 10 sind Resonanzbeeinflussungselemente 104, welche als poröse Struktur ausgebildet sind, und eine unterschiedliche Länge aufweisen, mit dem Bezugszeichen 112, 114, 116, 118 und 120 gezeigt. Das Resonanzbeeinflussungselement 120 füllt das gesamte Volumen des Resonatorraums 102 auf, wobei das Resonanzbeeinflussungselement 120 fluiddurchlässig ist.

[0128] Die Resonanzbeeinflussungselemente 104 und 112 bis 120 erstrecken sich über den gesamten Querschnitt des jeweiligen Resonatorraums 102.

[0129] Es ist auch möglich, dass ein Resonanzbeeinflussungselement 122 vorgesehen ist, welches um die Achse 110 angeordnet ist und sich nicht über den gesamten Querschnitt des Resonatorraums 102 erstreckt.

[0130] Es ist beispielsweise auch möglich, dass ein ringförmiges Resonanzbeeinflussungselement 124 eine zentrale Öffnung 126 aufweist. Das Resonanzbeeinflussungselement 124 ist an einer Wandung des Resonatorraums angeordnet.

[0131] Es ist weiterhin möglich, dass Resonanzbeeinflussungselemente 128, 130, 132, 134 aus einem offenporösen Schaummaterial und insbesondere einem Metallschaum gebildet sind.

[0132] Es ist beispielsweise möglich, dass Resonanzbeeinflussungselemente wie die Resonanzbeeinflussungselemente 130 und 132 beabstandet zu der Öffnung des Resonatorraums zu dem Brennraum 14 hin positioniert sind.

[0133] Es ist beispielsweise auch möglich, dass ein Resonatorraum 136 mit einem Gitter 138 als Resonanzbeeinflussungselement versehen ist. Dieses Gitter 138 ist insbesondere an einer Öffnung 140 des Resonatorraums 136 zum Brennraum 14 angeordnet.

[0134] Das Gitter 138 weist Maschen mit dazwischenliegenden Öffnungen auf.

[0135] Ein Resonanzbeeinflussungselement 142 lässt sich beispielsweise auch an einer Öffnung eines Helmholtz-Resonators 52 in dem Brennraum 14 positionieren.

[0136] In Figur 13 ist ein Diagramm für die Eigenfrequenz der 1T+-Eigenmode und der 1T--Eigenmode beim Anticrossing gezeigt, wenn eine Resonatorvorrichtung mit einem Gitter 138 an einer Öffnung 140 vorgesehen ist. Dargestellt ist die Abhängigkeit von der Maschenweite des Gitters 138. Man erkennt, dass der Abstand zwischen den Eigenfrequenzen und damit der Schutzbereich im Wesentlichen unabhängig von der Maschenweite ist.

[0137] In Figur 14 ist die Intensitätsreduktion in Abhängigkeit der Maschenweite gezeigt. Es ist daraus ersichtlich, dass die Intensität der zu unterdrückenden 1T-Eigenmode mit zunehmender Maschenzahl abnimmt. Figur 14 ist mit Figur 12 zu vergleichen.

[0138] Es hat sich vorteilhaft erwiesen, wenn die Maschenweite zwischen 300 1/cm^2 und 6000 1/cm^2 und vorzugsweise zwischen 400 1/cm^2 und 5000 1/cm^2 .

[0139] Aus den Figuren 13 und 14 erkennt man im Vergleich mit den Figuren 11 und 12, dass das Vorsehen eines Gitters 138 als Resonanzbeeinflussungselement zu einer stärkeren Intensitätsreduktion führt, ohne dass der Schutzbereich wesentlich beeinflusst wird.

[0140] Die Figuren 13 und 14 wurden bei einem Verhältnis von d zu r von 0,18 aufgenommen.

[0141] Figur 15 zeigt ein Diagramm ähnlich wie Figur 13, wobei als Resonanzbeeinflussungselement 104 eine poröse Struktur gewählt wurde, nämlich eine Metallfaserstruktur mit einer Faserdichte von ca. 50 mg/cm^3 . Die Frequenz ist dargestellt in Abhängigkeit der Länge L_p des Resonanzbeeinflussungselements 104. Dieses ist an der Öffnung 108 angeordnet und erstreckt sich weg von dieser in den Resonatorraum 102 über die Länge L_p .

[0142] Die Messungen wurden durchgeführt bei einem Verhältnis von d zu r von 0,18.

[0143] Figur 16 zeigt die Intensitätsreduktion über L_p . Auch hier erkennt man die stärkere Intensitätsreduktion im Vergleich zu einer Brennkammer mit einer Resonatorvorrichtung ohne Resonanzbeeinflussungselement (Figuren 11

und 12).

[0144] Erfindungsgemäß lässt sich die Dämpfungswirkung einer Resonatorvorrichtung, welche an der Brennkammer 11 angeordnet ist, bei gegebenem Durchmesser d erhöhen, indem in dem Resonatorraum der Resonatorvorrichtung ein oder mehrere Resonanzbeeinflussungselemente angeordnet sind. Die Resonanzbeeinflussungselemente sind so ausgebildet, dass sie zu einer Erhöhung der Linienbreite der zu unterdrückenden Eigenmode führen. Es hat sich gezeigt, dass solche Resonanzbeeinflussungselemente den Frequenzschutzbereich kaum beeinflussen, während sie zu einer effektiven Intensitätsreduktion führen.

[0145] Als Resonanzbeeinflussungselemente können beispielsweise poröse Strukturen aus Mineralfaser oder Metallfaser vorgesehen sein oder ein offenporiges Schaummaterial. Beispielsweise kann auch ein Gitter verwendet werden. Auch Kombinationen sind möglich.

[0146] Wie oben erwähnt, ist es vorteilhaft, wenn Resonatorvorrichtungen für eine Gruppe in kleinem Abstand zueinander angeordnet sind. Durch die erfindungsgemäße Lösung mit dem Vorsehen von einem oder mehreren Resonanzbeeinflussungselementen 100 in einem Resonatorraum erhält man auch für größere Resonatorraumdurchmesser bei effektiver Dämpfung einen hohen Schutzbereich. Ein hoher Schutzbereich wiederum bedeutet, dass die Anzahl der notwendigen Resonatorvorrichtungen verringerbar ist. Durch die erfindungsgemäße Lösung mit den Resonanzbeeinflussungselementen lässt sich dadurch die Anzahl der Resonatorvorrichtungen in einer Gruppe verringern. Dadurch sind die Auswirkungen eines größeren Resonatorraumdurchmessers weniger relevant.

20 Patentansprüche

1. Brennkammervorrichtung, umfassend eine Brennkammer (11) mit einem Brennraum (14) und eine Mehrzahl von Resonatorvorrichtungen (22), welche an der Brennkammer (11) angeordnet sind, wobei die Resonatorvorrichtungen (22) zur Unterdrückung von Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit Tangentialbeteiligung ausgebildet und angeordnet sind,

gekennzeichnet durch eine erste Resonatoreinrichtung (63) mit einer oder mehreren Resonatorvorrichtungen (64) und eine zweite Resonatoreinrichtung (65) mit einer oder mehreren Resonatorvorrichtungen (66), welche zu der

ersten Resonatoreinrichtung (63) mindestens näherungsweise in einem Winkel $\alpha = i \cdot \frac{90^\circ}{n}$ bezogen auf eine

Brennraumachse (16) angeordnet ist, wobei i eine ungerade natürliche Zahl ist und n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder der Tangentialbeteiligung der Kombinationsmode ist.

2. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 1 oder dem Oberbegriff von Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** mindestens eine Resonatoreinrichtung (63; 65) mit einer Gruppe von Resonatorvorrichtungen, welche mindestens näherungsweise in einem Winkel von 0° oder $\beta = j \cdot \frac{90^\circ}{n}$ bezogen auf eine Brennraumachse (16) zueinander angeordnet sind, wobei j eine gerade natürliche Zahl ist und n die Ordnungszahl der Tangentialmode oder der Tangentialbeteiligung der Kombinationsmode ist.

3. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonatorvorrichtungen (22) als $\lambda/4$ -Resonatoren (42) oder Helmholtz-Resonatoren (52) ausgebildet sind.

4. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonatorvorrichtungen (22) jeweils eine Wandung aufweisen, welche einen Resonatorraum (28; 54) begrenzen, wobei der Resonatorraum (28; 54) über eine Öffnung (29) mit dem Brennraum (14) verbunden ist.

5. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Längsachse des jeweiligen Resonatorraums (28; 54) quer zu der Brennraumachse (16) orientiert ist.

6. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Resonatorräume (28) der Resonatorvorrichtungen (22) im Wesentlichen den gleichen Durchmesser (d) aufweisen.

7. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Resonatoreinrichtung (63) an einem ersten Sektorbereich (68) der Brennkammer (11) und die zweite Resonatoreinrichtung an einem zweiten Sektorbereich (70) der Brennkammer (11) angeordnet sind.

EP 1 918 642 A2

8. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Resonatorvorrichtungen eine Gruppe Resonatorräume unterschiedlicher Längen aufweisen.
- 5 9. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge des längsten Resonatorraums oberhalb eines Mittelwerts liegt und die Länge des kürzesten Resonatorraums unterhalb des Mittelwerts liegt.
10. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Mittelwert mindestens näherungsweise einer Anti-Crossing-Länge entspricht.
- 10 11. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Differenz zwischen der größten Länge und der kleinsten Länge bei $k \cdot a \cdot d/n^{0,7}$ liegt, wobei d ein Durchmesser der Resonatorräume ist, a eine dimensionslose Zahl, k die Anzahl der Resonatorvorrichtungen pro Resonatoreinrichtung und n die Ordnungszahl der Tangentialmode ist.
- 15 12. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** a im Bereich zwischen 0,25 und 0,7 liegt.
13. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** a bei ungefähr 0,4 liegt, wenn die mindestens eine Gruppe zwei Resonatorvorrichtungen umfasst.
- 20 14. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** Resonatorvorrichtungen (22) an dem ersten Sektorbereich (68) und/oder zweiten Sektorbereich (70) axial beabstandet angeordnet sind.
- 25 15. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Sektorbereich (68) und/oder zweite Sektorbereich (70) sich über einen Winkelbereich erstreckt, welcher kleiner als $90^\circ/(2n)$ ist.
- 30 16. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Sektorbereich (68) und/oder zweite Sektorbereich (70) Teilbereiche (76a, 76b; 78a, 78b) aufweisen, welche um einen Winkel 2α beabstandet sind.
- 35 17. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an unterschiedlichen Stellen der Brennkammer (11) unterschiedliche Resonatoren zur Unterdrückung unterschiedlicher Tangentialmoden oder Kombinationsmoden mit unterschiedlicher Tangentialbeteiligung angeordnet sind.
- 40 18. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Resonatoreinrichtung auf den ersten Oberton der ersten Tangentialmode (1T) abgestimmt ist, die zweite Resonatoreinrichtung in einem Winkel von 90° zu der ersten Resonatoreinrichtung angeordnet ist und auf die erste Tangentialmode (1T) abgestimmt ist, eine dritte Resonatoreinrichtung in einem Winkel von 45° angeordnet ist und auf die zweite Tangentialmode (2T) abgestimmt ist, und eine vierte Resonatoreinrichtung in einem Winkel von 30° angeordnet ist und auf die dritte Tangentialmode (3T) abgestimmt ist.
- 45 19. Brennkammervorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Resonatorraum (28) einer Resonatorvorrichtung (22) ein oder mehrere Resonanzbeeinflussungselemente (100) angeordnet sind, welche fluiddurchlässig sind und turbulenzzeugend sind.
- 50 20. Brennkammervorrichtung nach dem Oberbegriff von Anspruch 19 oder nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Resonatorraum (28) ein oder mehrere Gitter (138) und/oder poröse Strukturen (106) als Resonanzbeeinflussungselemente (100) angeordnet sind.
- 55 21. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine poröse Struktur (106) offenporös ist.
22. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder die Resonanzbeeinflussungselemente (100) an oder in der Nähe einer stirnseitigen Öffnung (29) angeordnet sind.
23. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder die

EP 1 918 642 A2

Resonanzbeeinflussungselemente (100) sich im Wesentlichen über den gesamten Querschnitt des Resonanzraums (28) erstrecken.

- 5
24. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder die Resonanzbeeinflussungselemente (100) ganz oder teilweise den Resonatorraum (28) ausfüllen.
25. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder die Resonanzbeeinflussungselemente (100) aus einem metallischen oder keramischen Material hergestellt sind.
- 10
26. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Resonanzbeeinflussungselement (100) eine poröse Struktur (106) aus einem Fasermaterial umfasst, wobei die Faserdichte im Bereich zwischen 5 mg/cm^3 und 300 mg/cm^3 liegt.
- 15
27. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Resonanzbeeinflussungselement (100) eine poröse Struktur (106) aus einem Fasermaterial umfasst, wobei die Faserdichte im Bereich zwischen 10 mg/cm^3 und 200 mg/cm^3 liegt.
- 20
28. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 27, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Resonanzbeeinflussungselement (100) ein Gitter (138) umfasst, wobei eine Maschenzahl (M) im Bereich zwischen 300 1/cm^2 und 6000 1/cm^2 liegt.
- 25
29. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Resonanzbeeinflussungselement (100) ein Gitter (138) umfasst, wobei eine Maschenzahl (M) im Bereich zwischen 400 1/cm^2 und 5000 1/cm^2 liegt.

30

35

40

45

50

55

FIG.1

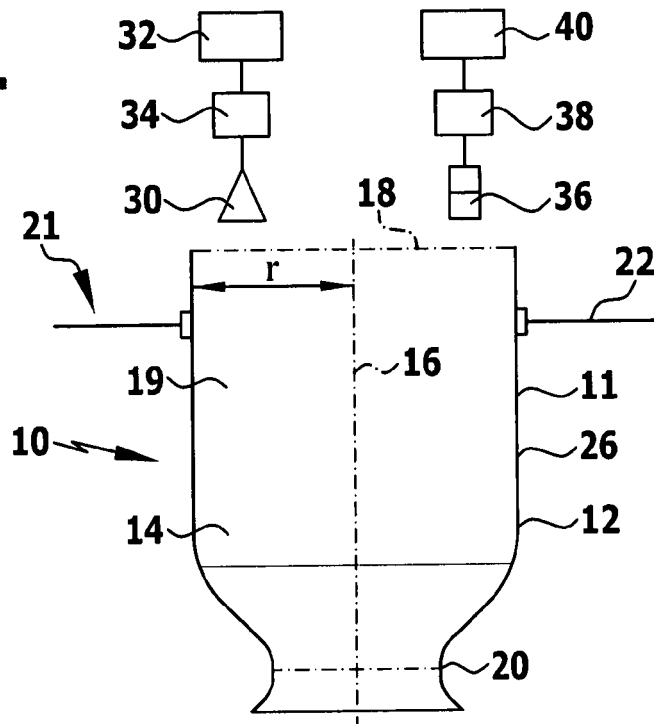


FIG.2

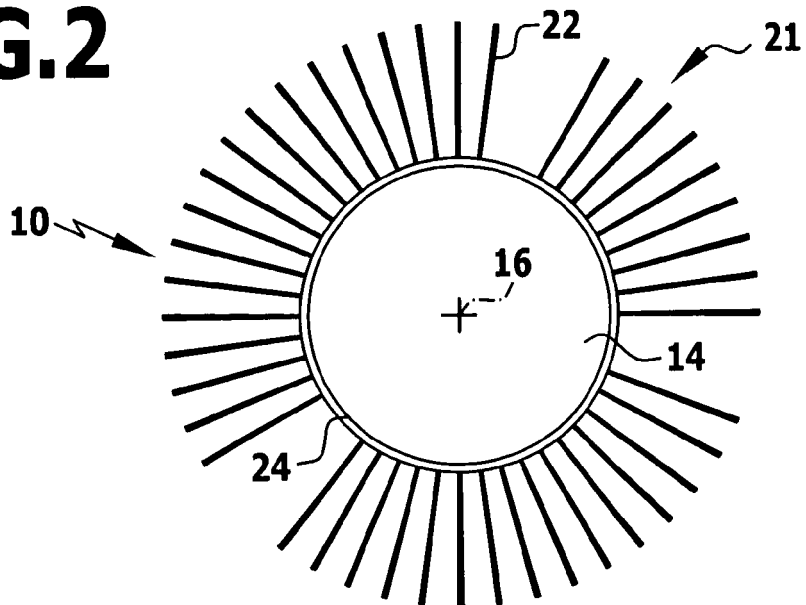


FIG.3

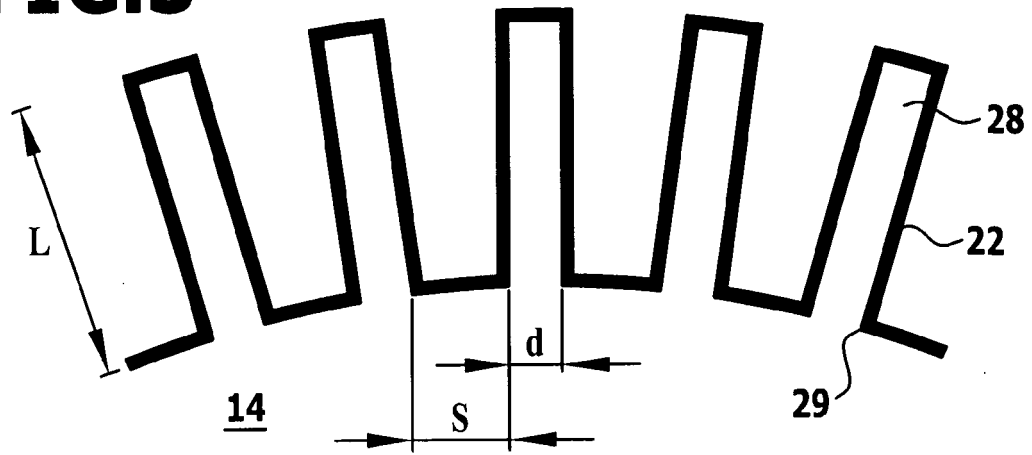


FIG.4

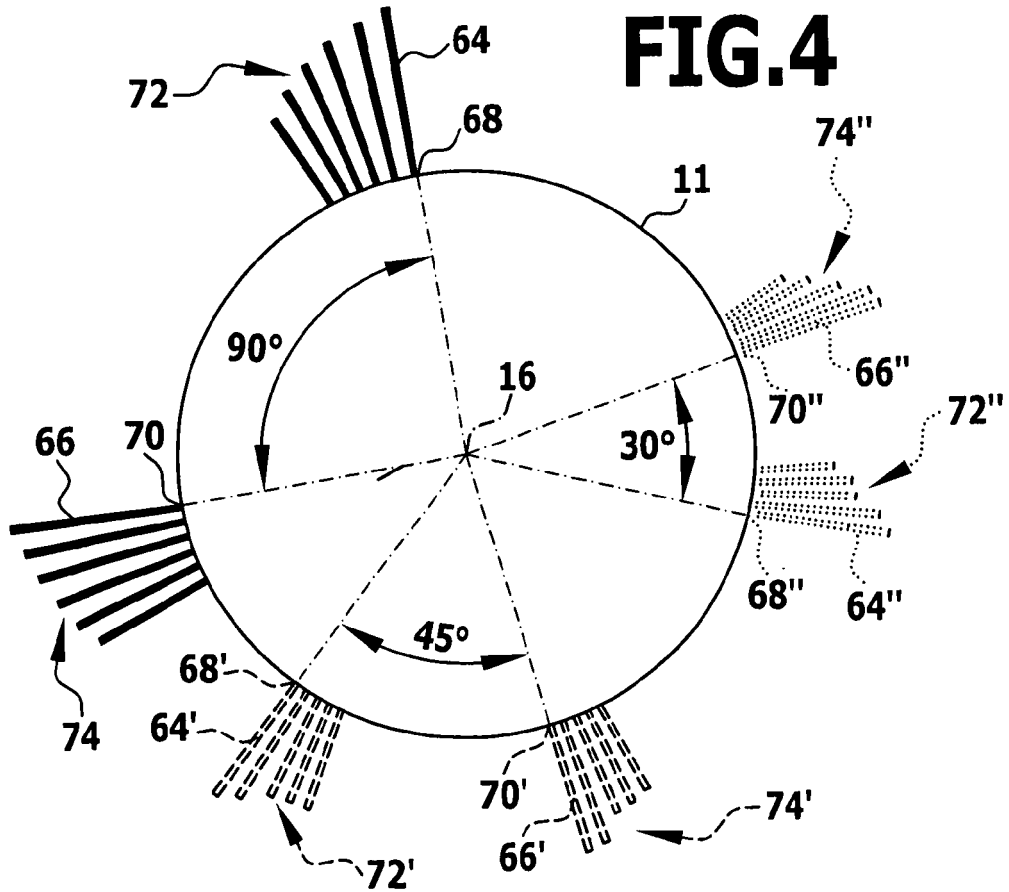


FIG.5

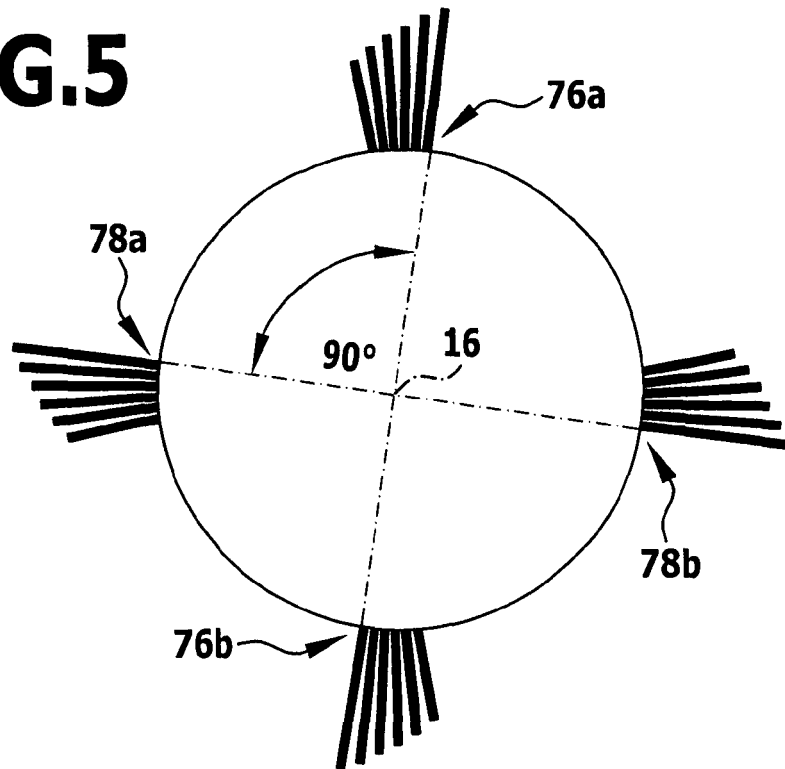


FIG.6

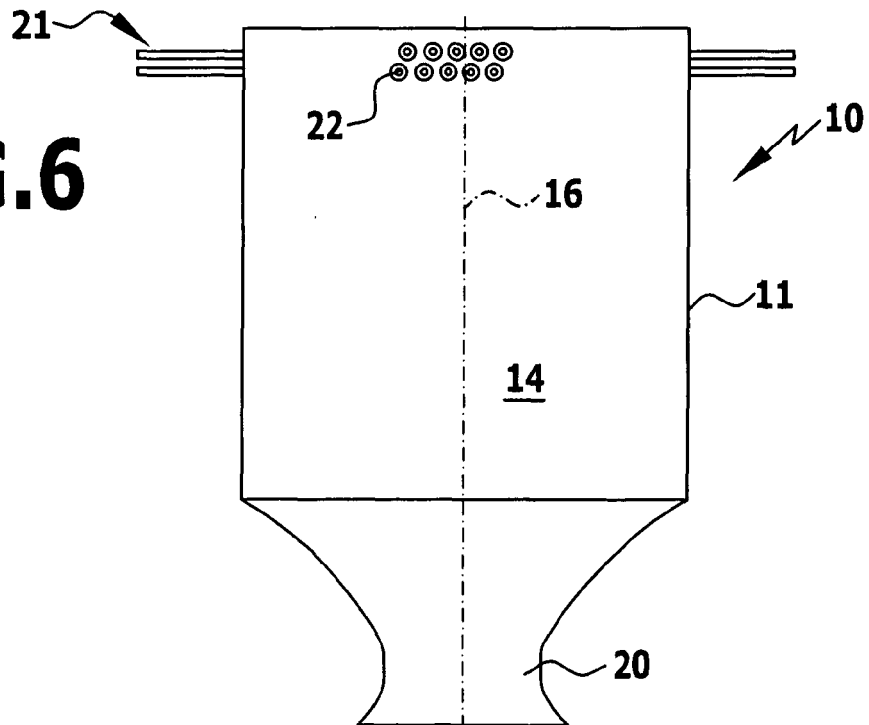


FIG.7

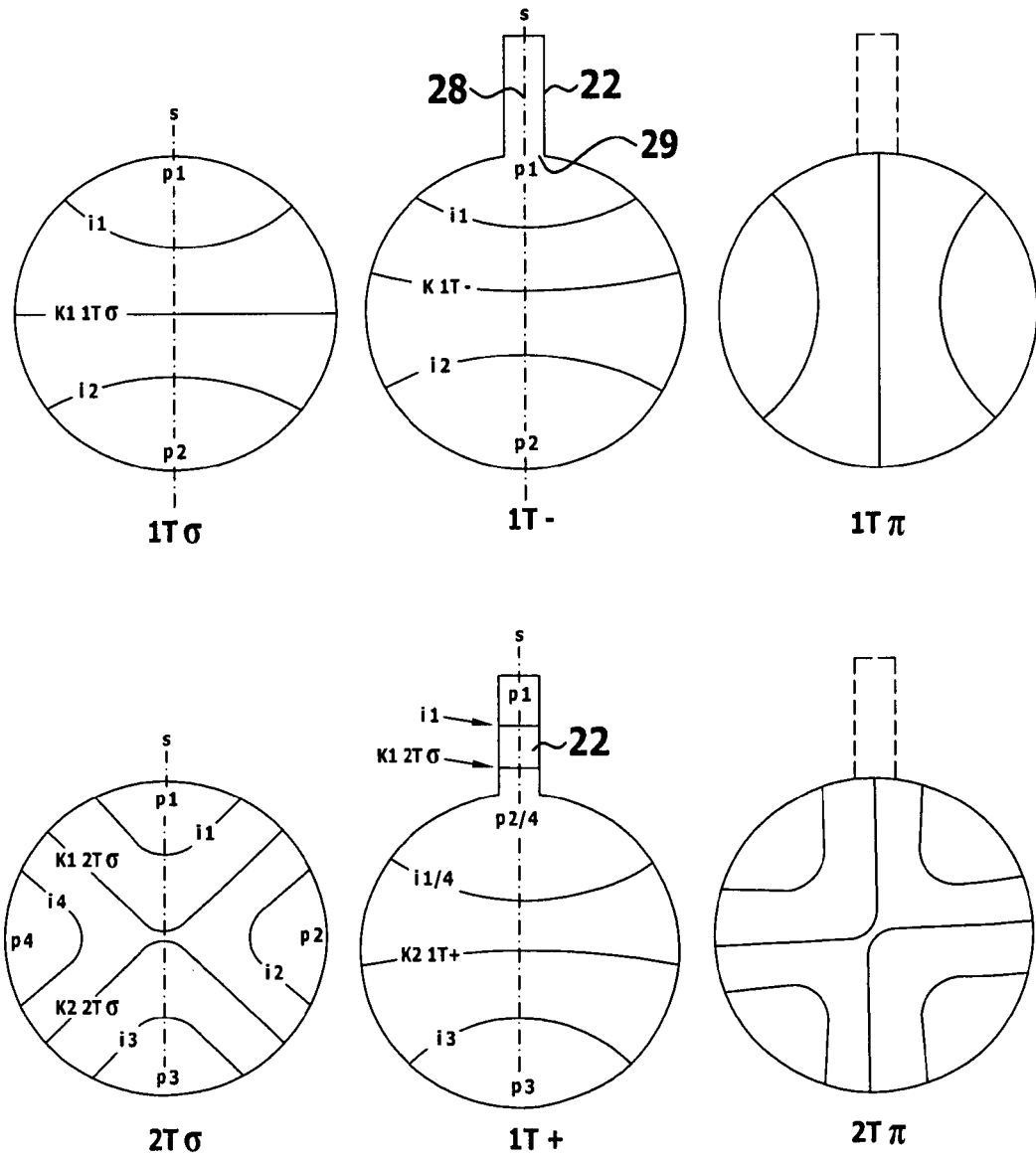


FIG.8

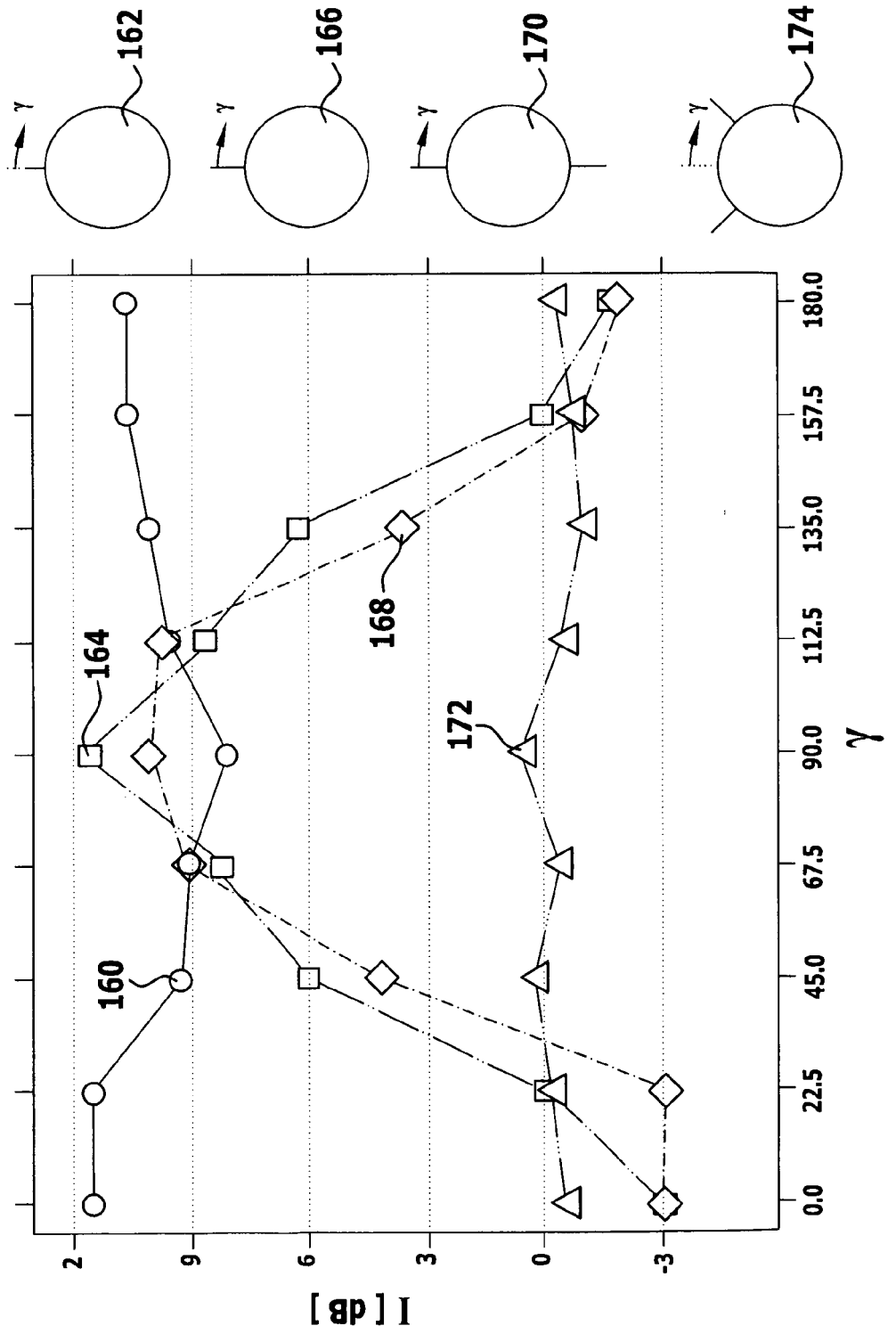


FIG.9a

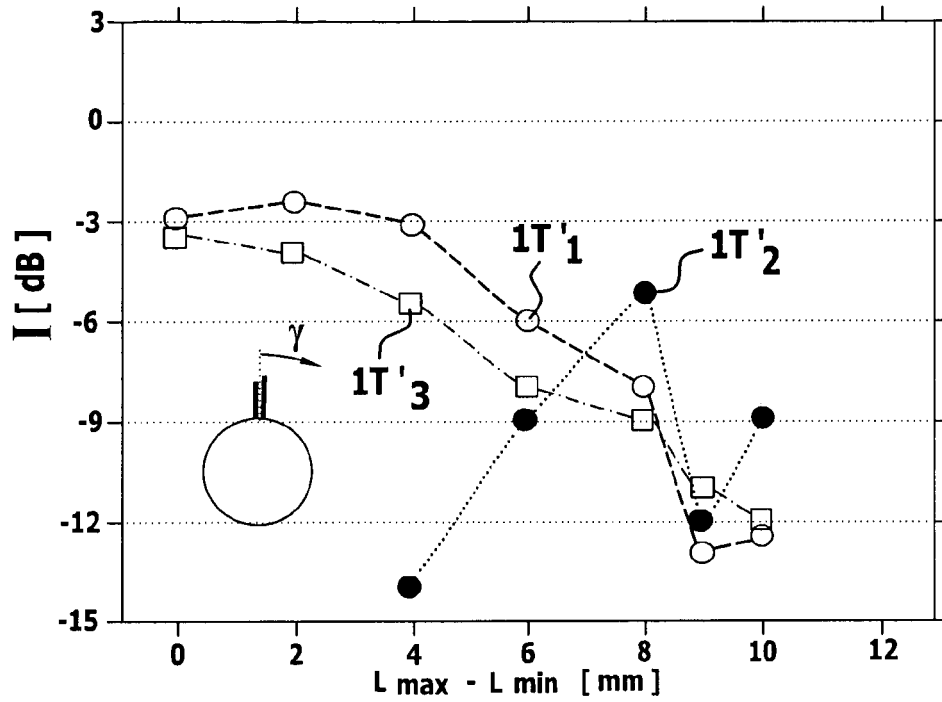


FIG.9b

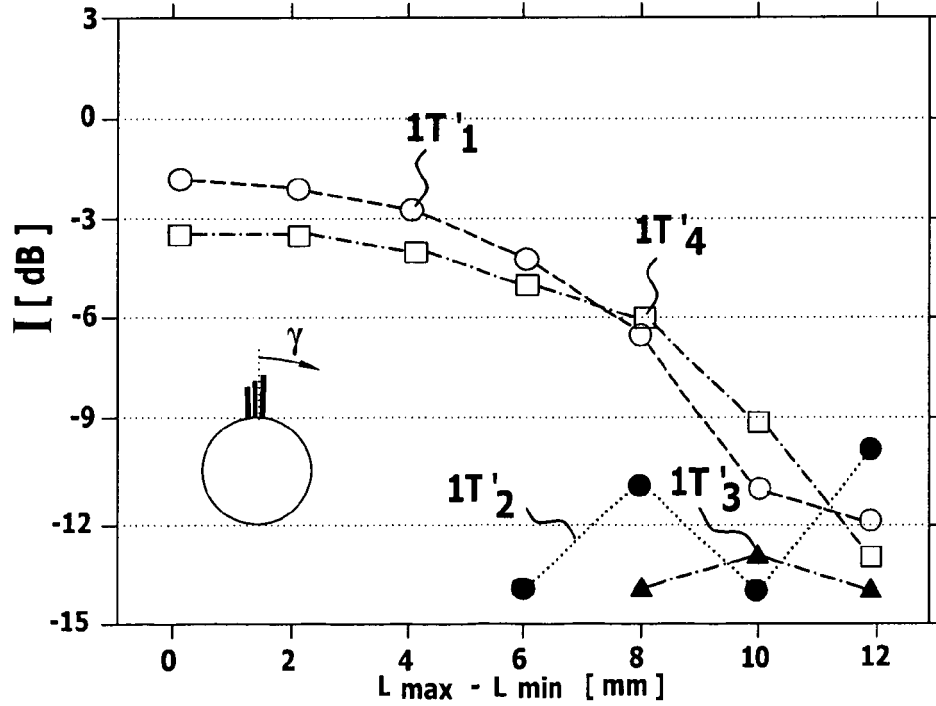


FIG.10

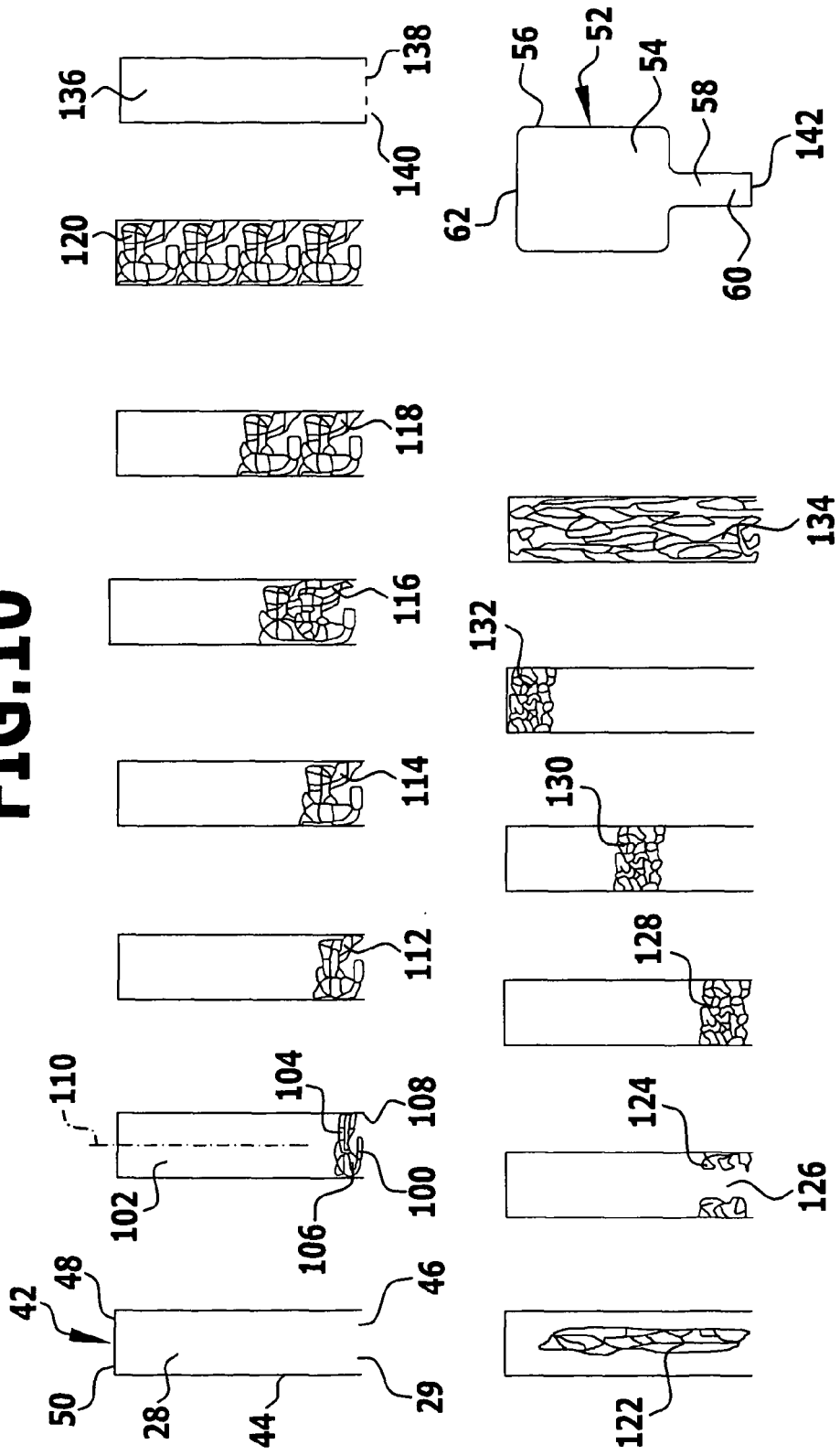


FIG.11

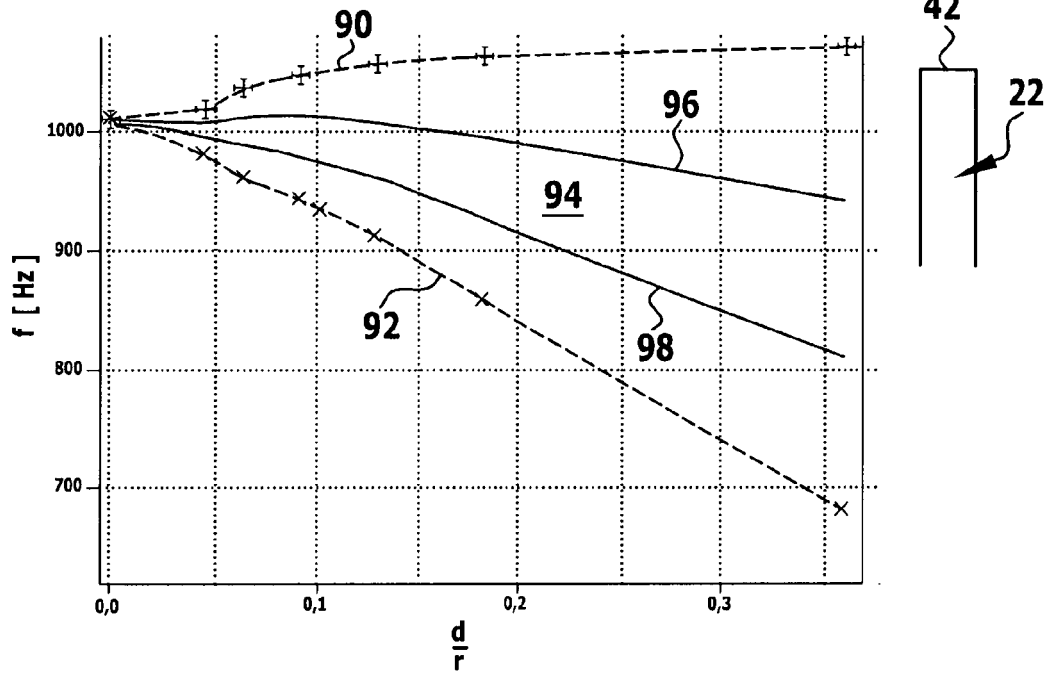


FIG.12

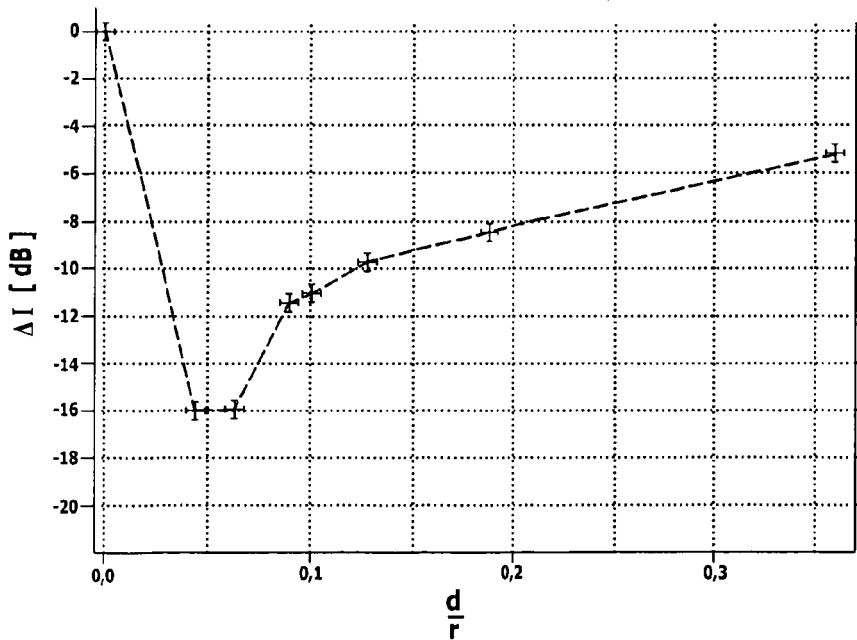


FIG.13

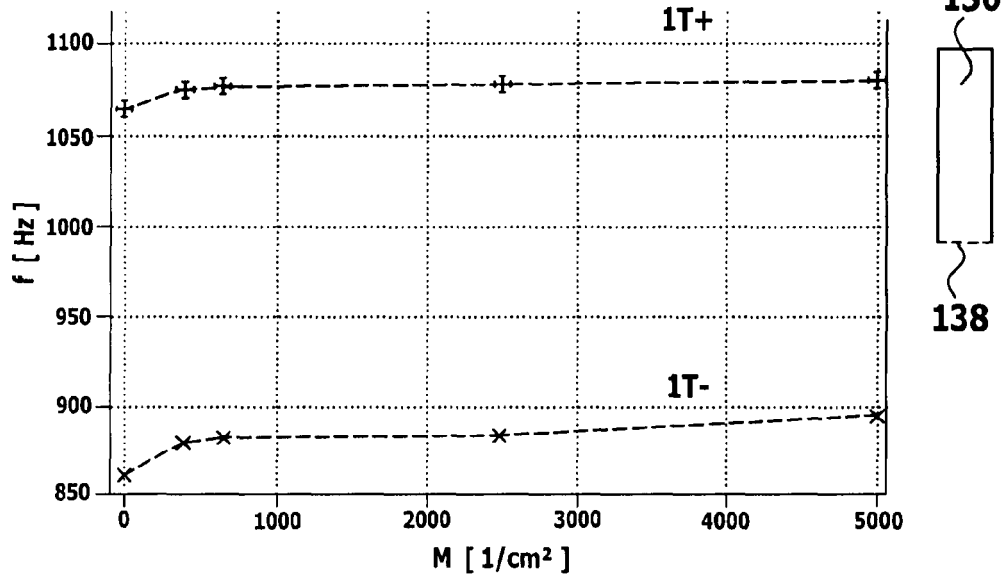


FIG.14

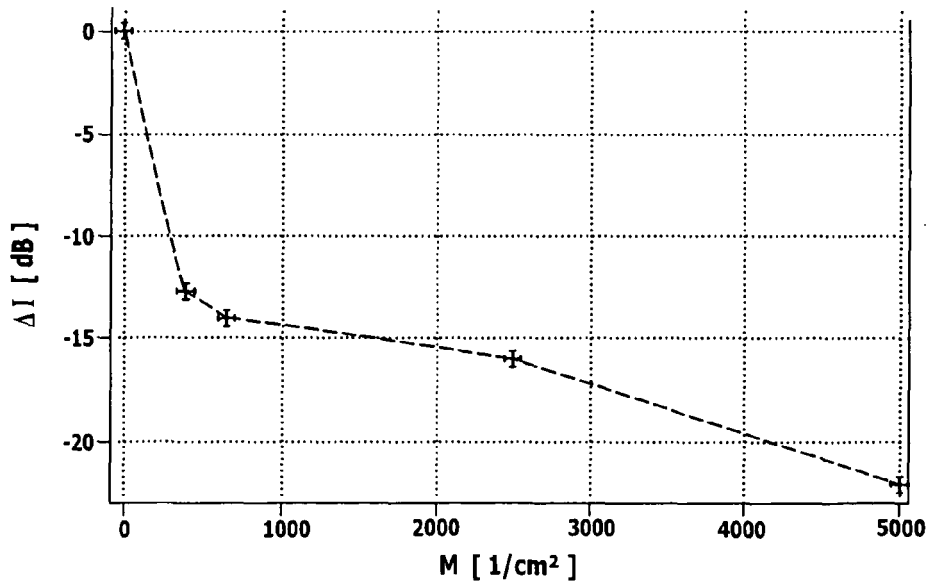


FIG.15

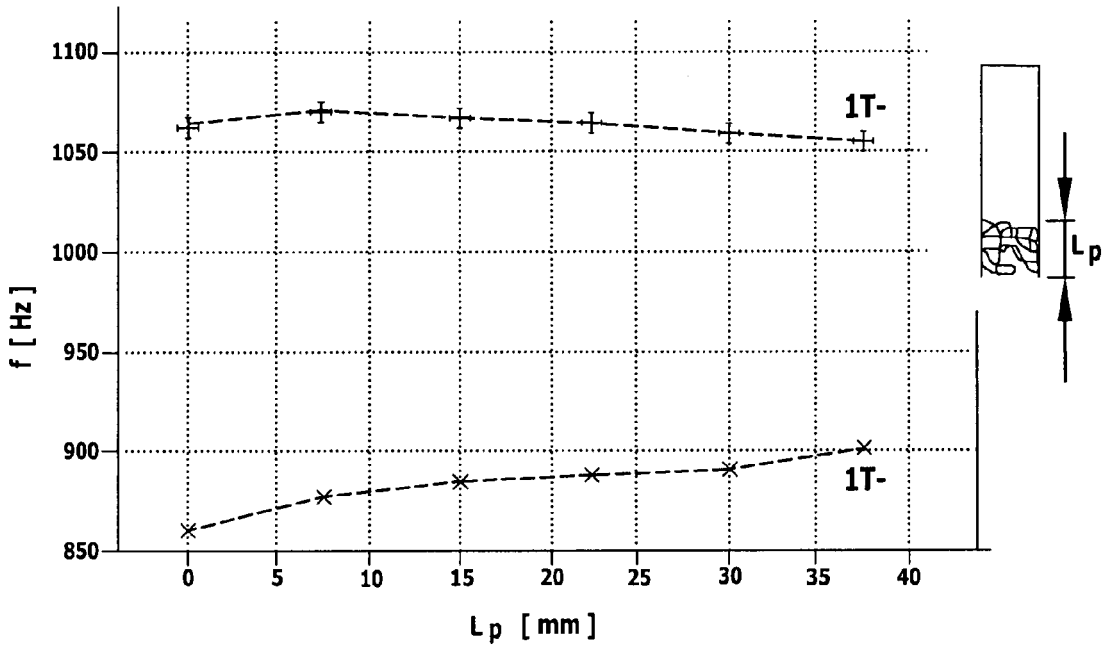
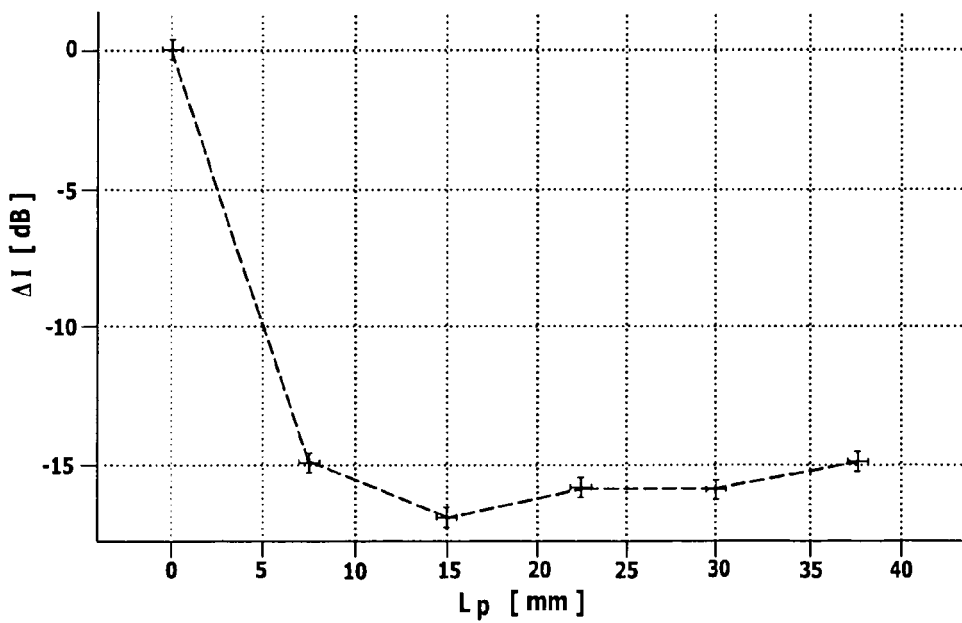


FIG.16



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 102005035085 [0006]
- EP 06117462 A [0006] [0043] [0119]
- DE 102005050029 [0007]
- DE 102006007711 [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **Z. FARAGÓ ; M. OSCHWALD.** Resonance Frequencies and Damping in Combustion Chambers with Quarter Wave Cavities. *6th Symposium on Launcher Technologies*, 08. November 2005 [0008]