



(10) **DE 10 2008 028 208 B4** 2012.03.22

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 028 208.1**  
(22) Anmeldetag: **09.06.2008**  
(43) Offenlegungstag: **17.12.2009**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **22.03.2012**

(51) Int Cl.: **F23Q 13/00 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
51147, Köln, DE**

(74) Vertreter:  
**HOEGER, STELLRECHT & PARTNER  
Patentanwälte, 70182, Stuttgart, DE**

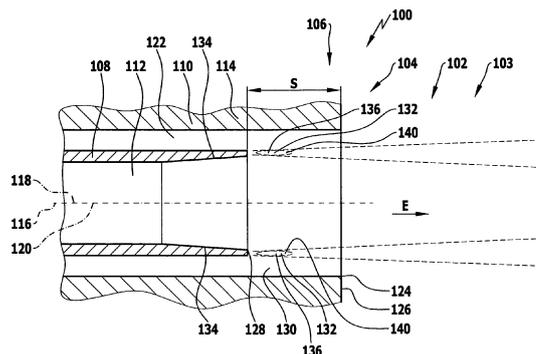
(72) Erfinder:  
**Lux, Johannes, 41812, Erkelenz, DE; Haidn,  
Oskar, Dr., 74676, Niedernhall, DE; Suslov, Dmitry,  
Dr., 74219, Möckmühl, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	37 31 046	A1
DE	10 2007 033 809	A1
DE	603 07 033	T2
DE	15 38 106	A
US	5 673 550	A
US	5 845 480	A
US	4 302 933	A
US	5 857 323	A
EP	0 816 674	A1
WO	98/ 11 388	A1
WO	2007/ 011 361	A2

(54) Bezeichnung: **Brennkammervorrichtung und Verfahren zu deren Betrieb**

(57) Zusammenfassung: Um ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkammervorrichtung bereitzustellen, bei welchem ein Zündvorgang zum Zünden einer Flamme zuverlässig mehrfach ausführbar ist, wird vorgeschlagen, dass ein Brennstoff-Oxidator-Gemisch erzeugt wird und mindestens ein Laserstrahl auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch zum Zünden desselben gerichtet wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkammervorrichtung, bei dem ein Brennstoff-Oxidator-Gemisch gezündet wird.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner eine Brennkammervorrichtung, umfassend mindestens eine Brennkammer und mindestens einen Einblaskopf mit mindestens einem Injektor zum Zuführen von Brennstoff und Oxidator zu einem Brennraum.

**[0003]** Weiterhin betrifft die Erfindung ein Triebwerk, umfassend mindestens eine Brennkammervorrichtung.

**[0004]** Bei den bekannten Brennkammervorrichtungen und Triebwerken wird beispielsweise ein in dem Artikel von Huzel, D. K. and Huang, D. H., Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines. AIAA, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 147, 1992, beschriebener pyrotechnischer Zünder zum Zünden einer Flamme in der Brennkammervorrichtung und/oder in dem Triebwerk verwendet. Derartige pyrotechnische Zünder haben den Nachteil, dass sie nur einmal verwendet werden können.

**[0005]** Die DE 10 2007 033 809 A1 offenbart eine Laserzündanlage für einen Verbrennungsmotor.

**[0006]** Die DE 37 31 046 A1 offenbart ein Verfahren zum Einleiten einer exotherm verlaufenden chemischen Reaktion, bei welchem ein Katalysatorbett mit einem Laserstrahl beaufschlagt wird.

**[0007]** Die DE 15 38 106 A offenbart einen magneto-hydrodynamischen Generator.

**[0008]** Die DE 603 07 033 T2 offenbart eine Pulsverbrennungsvorrichtung, welche beispielsweise in einer Turbinenmaschine verwendet wird.

**[0009]** Die EP 0 816 674 A1 offenbart eine Brennkammer, in welcher ein zerstäubter Brennstoff mit komprimierter Luft verbrannt wird. Das Brennstoff-Luft-Gemisch wird hierzu mittels eines Laserstrahls, welcher auf einen Bereich stromabwärts einer Brennstoffdüse in einem Brennraum der Brennkammer gerichtet ist, gezündet.

**[0010]** Die WO 2007/011361 A2 offenbart eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Funkens und eine Diagnoseeinrichtung, mittels welcher der Funke und/oder eine Flamme untersucht werden kann.

**[0011]** Die WO 98/11388 A1 offenbart ein Laserzündungssystem zum Zünden eines Brennstoff-Luft-Gemisches in einer Brennkammer, wobei der Laser-

strahl in einen Brennraum der Brennkammer stromabwärts einer Brennstoffdüse gerichtet ist.

**[0012]** Die US 5,857,323 A offenbart ein Raketentriebwerk, welches aufgrund eines porösen Injektors für den primären Treibstoff über einen großen Schubbereich drosselbar ist.

**[0013]** Die US 5,845,480 offenbart eine Brennkammer, bei welcher ein Brennstoff-Luft-Gemisch durch Bestrahlung eines Zündbereichs mit Mikrowellen- und Laserstrahlung gezündet werden kann.

**[0014]** Die US 5,673,550 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Brennstoff-Sprays mittels einer Laservorrichtung.

**[0015]** Die US 4,302,933 offenbart ein Strahltriebwerk, bei welchem ein Brennstoff-Luft-Gemisch hinter einem Flammenhalter mittels eines Laserstrahls gezündet wird.

**[0016]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkammervorrichtung so zu verbessern, dass ein Zündvorgang zum Zünden einer Flamme zuverlässig mehrfach ausführbar ist.

**[0017]** Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß durch die Merkmale von Anspruch 1 gelöst.

**[0018]** Durch das Richten eines Laserstrahls auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch zum Zünden desselben ist ein Zündvorgang besonders zuverlässig durchführbar. Ferner kann ein Laserstrahl mehrfach hintereinander auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch gerichtet werden, sodass ein Zündvorgang mit wenig Aufwand in kurzen Zeitabständen wiederholbar ist.

**[0019]** Vorteilhaft kann es sein, wenn mindestens ein Laserstrahl auf eine Flammenankerungszone gerichtet wird. Auf diese Weise ist eine besonders zuverlässige Zündung möglich.

**[0020]** Flammenankerungszonen (welche auch als flame holding zone, flame anchor point, flame anchoring point, flame anchoring zone oder flame stabilization zone bezeichnet werden) sind beispielsweise in dem Artikel von Singla G. et al., Flame stabilization in high pressure LOx/GH2 and GCH4 combustion. Proceedings of the Combustion Institute 31, S. 2215–2222, 2007, und in dem Artikel von Matsuyama S. et al., A Numerical Investigation an Shear Coaxial LOX/GH2 Jet Flame at Supercritical Pressure. 44<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 2006, beschrieben.

**[0021]** Die Flammenankerungszone ist die Zone, in der ein zündfähiges Gemisch aus Brennstoff und Oxi-

dator entsteht und ausgehend von welcher sich nach dem Zünden des Gemisches eine stabile Flamme ausbilden kann.

**[0022]** Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass Brennstoff und Oxidator vor einer Zuführung in einen Brennraum der Brennkammervorrichtung zumindest teilweise innerhalb eines Injektors vermischt werden. Dadurch ist eine vorteilhafte Verbrennung des Brennstoffs möglich.

**[0023]** Der Brennstoff und der Oxidator werden mittels mindestens eines Injektors zumindest abschnittsweise koaxial geführt. Auf diese Weise ist eine Vermischung von Brennstoff und Oxidator an einer Austrittsöffnung besonders einfach realisierbar.

**[0024]** Insbesondere kann bei koaxialer Zuführung von Brennstoff und Oxidator vorgesehen sein, dass sich eine Flammenankerungszone in einem Nachlauf einer inneren Zuführung ausbildet.

**[0025]** Unter einem Nachlauf ist derjenige Bereich zu verstehen, der in einer Einströmrichtung hinter einer den Brennstoff und den Oxidator trennenden Wand angeordnet ist.

**[0026]** Günstig kann es sein, wenn mindestens ein Laserstrahl zumindest abschnittsweise mittels eines Lichtleiters geführt wird. Auf diese Weise ist der mindestens eine Laserstrahl besonders einfach und flexibel innerhalb der Brennkammervorrichtung führbar.

**[0027]** Günstig kann es ferner sein, wenn mindestens ein Laserstrahl quer zu einer Hauptachse mindestens eines Injektors gerichtet wird.

**[0028]** Besonders günstig kann es sein, wenn der mindestens eine Laserstrahl mindestens näherungsweise senkrecht zu einer Hauptachse mindestens eines Injektors gerichtet wird.

**[0029]** Einerseits kann vorgesehen sein, dass mindestens ein Laserstrahl mittels eines optischen Systems fokussiert wird. Auf diese Weise kann die für die Zündung benötigte Laserenergie gezielt an einem bestimmten Ort bereitgestellt werden.

**[0030]** Alternativ oder ergänzend hierzu kann vorgesehen sein, dass mindestens ein Laserstrahl unfokussiert auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch gerichtet wird.

**[0031]** Bei einer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass mittels einer Detektionsvorrichtung Strahlung aus mindestens einem Bereich detektiert wird, auf welchen mindestens ein Laserstrahl gerichtet ist. Dadurch kann beispielsweise die Temperatur und/oder die Dichte in dem Bereich, auf wel-

chen der mindestens eine Laserstrahl gerichtet ist, untersucht werden.

**[0032]** Vorteilhaft kann es sein, wenn mittels einer Detektionsvorrichtung überprüft wird, ob ein Laserstrahl zur Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches und zur Ausbildung einer Flamme geführt hat. Auf diese Weise ist überwachbar, ob ein Zündvorgang erfolgreich war.

**[0033]** Vorteilhaft kann es ferner sein, wenn nach der Ausbildung einer Flamme in regelmäßigen Zeitabständen überprüft wird, ob die Flamme erloschen ist. Dadurch ist besonders einfach überprüfbar, ob unverbranntes Brennstoff-Oxidator-Gemisch ausströmt.

**[0034]** Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn nach einem Erlöschen der Flamme zur erneuten Zündung ein Laserstrahl auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch gerichtet wird. So ist eine Flamme in der Brennkammervorrichtung auf besonders einfache Art und Weise wiederherstellbar.

**[0035]** Günstig kann es sein, wenn mehrere Laserstrahlen auf unterschiedliche Bereiche des Brennstoff-Oxidator-Gemisches gerichtet werden. Dadurch kann eine Zündung an mehreren Stellen erfolgen.

**[0036]** Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass eine Zündung an mehreren Stellen gleichzeitig erfolgt.

**[0037]** Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, dass die Laserstrahlen zeitlich versetzt erzeugt werden. Dadurch kann eine explosionsartige Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches, das heißt eine im Wesentlichen gleichzeitige Zündung des gesamten Gemisches und damit die Ausbildung einer Druckwelle, verhindert werden.

**[0038]** Vorteilhaft kann es sein, wenn die Laserstrahlen mittels einer Steuerungsvorrichtung gesteuert werden. Auf diese Weise ist insbesondere ein zeitlicher Versatz der Laserstrahlen einfach steuerbar.

**[0039]** Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zu Grunde, eine Brennkammervorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, welche einen zuverlässigen und mehrfach ausführbaren Zündvorgang zum Zünden einer Flamme ermöglicht.

**[0040]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale von Anspruch 14 gelöst.

**[0041]** Die erfindungsgemäße Brennkammervorrichtung weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläuterten Vorteile auf.

**[0042]** Vorteilhaft kann es sein, wenn die als Zündquelle dienende Laservorrichtung in einen Injektor integriert ist. Dadurch kann die Brennkammervorrichtung platzsparend ausgebildet werden.

**[0043]** Der mindestens eine Injektor umfasst mindestens ein als Brennstoff-Injektorelement ausgebildetes Injektorelement zum Zuführen von Brennstoff und mindestens ein als Oxidator-Injektorelement ausgebildetes Injektorelement zum Zuführen von Oxidator. Auf diese Weise kann mittels des Injektors sowohl Brennstoff als auch Oxidator zugeführt werden.

**[0044]** Die mindestens zwei Injektorelemente des mindestens einen Injektors sind coaxial zueinander angeordnet.

**[0045]** Besonders günstig kann es sein, wenn mindestens drei Injektorelemente des mindestens einen Injektors trikoaxial zueinander angeordnet sind. Dadurch sind mindestens drei, beispielsweise voneinander verschiedene, Fluide mittels des Injektors getrennt führbar.

**[0046]** Vorteilhaft kann es sein, wenn der mindestens eine Injektor mindestens ein Injektorrohr umfasst.

**[0047]** Bei einer Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass an einem in der Einströmrichtung hinteren Ende mindestens eines Injektorelements eine innere und/oder eine äußere Anfassung vorgesehen ist. Auf diese Weise ist eine Gemischbildung in der Einströmrichtung hinter dem Injektorelement begünstigt.

**[0048]** Vorteilhaft kann es sein, wenn der mindestens eine Injektor an einer Injektormündungsöffnung direkt in den Brennraum einmündet.

**[0049]** Mindestens ein Injektorelement umfasst eine Mündungsöffnung, welche gegenüber einer Austrittsebene des mindestens einen Injektors entgegen einer Einströmrichtung zurückversetzt angeordnet ist. Dadurch ist eine optimierte Strömung innerhalb der Brennkammervorrichtung möglich.

**[0050]** Insbesondere kann durch geeignete Wahl der relativen Abstände und der Durchmesser der Mündungsöffnungen und der Austrittsebene eine Flammenankerzone innerhalb des Injektors gebildet und eine Flamme dort stabiler gehalten werden.

**[0051]** Ferner bietet ein solches Zurückversetzen der Mündungsöffnung des mindestens einen Injektorelements gegenüber der Austrittsebene des mindestens einen Injektors den Vorteil, dass sich ein Öffnungswinkel einer sich ausbildenden Flamme beim Eintritt in die Brennkammer vergrößert. Dies führt in

der Folge zu verbesserten Leistungsdaten der Brennkammer, insbesondere zu einer besseren Verbrennungsstabilität und einer höheren Verbrennungseffizienz.

**[0052]** Vorteilhaft kann es sein, wenn die Laservorrichtung mindestens eine Laserdiode umfasst. Auf diese Weise ist ein Laserstrahl einfach erzeugbar.

**[0053]** Alternativ oder ergänzend hierzu können auch andere Laservorrichtungen wie Festkörperlaser, Gaslaser, Farbstofflaser usw. Anwendung finden.

**[0054]** Insbesondere kann vorgesehen sein, dass ein Laserstrahl auf den Oxidator hinsichtlich einer Absorptionswellenlänge, der Aktivierungsenergie oder des Emissionsgrades für eine primäre Anregung abgestimmt ist.

**[0055]** Vorteilhafterweise kann vorgesehen sein, dass der Laserstrahl mit einer Frequenz von mindestens 10 Hz, insbesondere mit einer Frequenz von mehreren 100 Hz, zur Erhöhung der Züandsicherheit pulsiert.

**[0056]** Vorteilhaft kann es sein, wenn die Laservorrichtung mindestens einen Lichtleiter zur Führung des mindestens einen Laserstrahls umfasst.

**[0057]** Günstig kann es sein, wenn die Laservorrichtung mindestens ein optisches System zur Fokussierung des mindestens einen Laserstrahls umfasst.

**[0058]** Bei der Erfindung ist vorgesehen, dass die Laservorrichtung so an mindestens einem Injektor angeordnet ist, dass mindestens ein Laserstrahl zumindest teilweise in einem Fluidkanal des mindestens einen Injektors verläuft. Auf diese Weise kann ein Laserstrahl einfach auf ein Gemisch aus Brennstoff und Oxidator gerichtet werden.

**[0059]** Mindestens ein optischer Zugang ist in einer äußeren Wand des mindestens einen Injektors vorgesehen. Dadurch kann ein Laserstrahl einfach in einen Innenraum des Injektors gerichtet werden.

**[0060]** Der mindestens eine optische Zugang ist in einer Richtung parallel zu der Einströmrichtung zwischen mindestens einer Mündungsöffnung eines Injektorelements und einer Austrittsebene des mindestens einen Injektors angeordnet. Dadurch kann der mindestens eine Laserstrahl einfach auf ein sich bereits innerhalb des Injektors ausbildendes Brennstoff-Oxidator-Gemisch gerichtet werden.

**[0061]** Bei einer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Brennkammervorrichtung mindestens eine Detektionsvorrichtung umfasst. Auf

diese Weise kann eine einfache Überwachung der Brennkammervorrichtung erfolgen.

**[0062]** Günstig kann es sein, wenn die mindestens eine Detektionsvorrichtung mindestens einen Lichtdetektor umfasst. Auf diese Weise kann von der Flamme in der Brennkammervorrichtung ausgesandtes Licht einfach erfasst werden.

**[0063]** Besonders günstig kann es sein, wenn die mindestens eine Detektionsvorrichtung mindestens einen Lichtleiter umfasst. Auf diese Weise ist von der Flamme in der Brennkammervorrichtung ausgesandtes Licht einfach zu der Detektionsvorrichtung führbar.

**[0064]** Vorteilhaft kann es sein, wenn die mindestens eine Detektionsvorrichtung so an mindestens einem Injektor angeordnet ist, dass eine Flamme in dem Bereich detektierbar ist, in dem eine Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches mittels mindestens eines Laserstrahls erfolgt. Auf diese Weise ist besonders einfach überwachbar, ob eine Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches erfolgt ist.

**[0065]** Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn mindestens eine Detektionsvorrichtung so an mindestens einem Injektor angeordnet ist, dass eine Flamme zwischen mindestens einer Mündungsöffnung eines Injektorelements und einer Austrittsebene des mindestens einen Injektors detektierbar ist. Dadurch kann einfach überprüft werden, ob sich die Flamme bis in den Injektor hinein erstreckt oder von dort ausbreitet.

**[0066]** Vorteilhaft kann es sein, wenn eine Strahlumlenkung vorgesehen ist, um sowohl mindestens einen Laserstrahl als auch einen mittels der mindestens einen Detektionsvorrichtung zu detektierenden Strahl über einen zumindest abschnittsweise gemeinsamen optischen Weg führen zu können. Auf diese Weise kann mittels lediglich eines optischen Zugangs an dem Injektor sowohl eine Einkopplung eines Lasers, als auch eine Auskopplung eines von der Flamme emittierten und von der Detektionsvorrichtung zu detektierenden Lichtstrahls erfolgen.

**[0067]** Alternativ oder ergänzend hierzu kann vorgesehen sein, dass mindestens ein Injektor mindestens zwei optische Zugänge in einer äußeren Wand umfasst.

**[0068]** Bei einer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der mindestens eine Einblaskopf mehrere gleichmäßig voneinander beabstandet angeordnete Injektoren umfasst. Dadurch ist auf einfache Art und Weise eine gleichmäßige Ausbildung einer Flamme in der Brennkammervorrichtung möglich.

**[0069]** Vorteilhaft kann es sein, wenn mindestens eine Steuerungsvorrichtung zur Steuerung der Brennkammervorrichtung vorgesehen ist.

**[0070]** Ganz besonders vorteilhaft kann es sein, wenn mindestens zwei Injektoren jeweils eine Laservorrichtung zugeordnet ist, wobei die mindestens zwei Laservorrichtungen mittels der Steuerungsvorrichtung, insbesondere zeitlich, steuerbar sind.

**[0071]** Alternativ oder ergänzend hierzu kann vorgesehen sein, dass mittels der Steuerungsvorrichtung die Leistung und/oder die Impulsdauer der mindestens zwei Laservorrichtungen steuerbar ist.

**[0072]** Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zu Grunde, ein Triebwerk der eingangs genannten Art bereitzustellen, welches einen zuverlässigen und mehrfach ausführbaren Zündvorgang zum Zünden einer Flamme in dem Triebwerk ermöglicht.

**[0073]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine erfindungsgemäße Brennkammervorrichtung eingesetzt wird.

**[0074]** Das erfindungsgemäße Triebwerk weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Brennkammervorrichtung erläuterten Vorteile auf.

**[0075]** Die erfindungsgemäße Brennkammervorrichtung eignet sich insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0076]** Die erfindungsgemäße Brennkammervorrichtung, das erfindungsgemäße Verfahren zu deren Betrieb und das erfindungsgemäße Triebwerk weisen ferner die folgenden Vorteile auf:

- Zündung direkt bei der Einspritzung und damit keine Flammenwanderung und kein Ausblasen der Flamme;
- Möglichkeit der gruppierten Zündung durch eine gruppierte Anordnung von Injektoren mit Zündvorrichtung am Einblaskopf;
- Reduktion der Kosten;
- keine Überdimensionierung der Brennkammervorrichtung nötig, da eine hohe Zündsicherheit gewährleistet ist;
- hohe Redundanz durch mehrere Zündorte;
- sofortige Detektion einer Zündung möglich;
- Verringerung der Komplexität der Zündvorrichtung;
- keine Notwendigkeit von hypergolen Zündern und damit auch Vermeidung von toxischen und aggressiven Brennstoffen und Oxidatoren;
- Bereitstellung einer lokalvariablen Zündung;
- Verringerung des starken Druckschlags bei der Zündung und der damit verbundenen hohen Belastung der Brennkammervorrichtung;
- Wiederezündbarkeit;

- Wiederverwendbarkeit;
- Verringerung des Betriebsrisikos;
- Zündung unmittelbar in der Flammenankerungszone und damit unmittelbare Flammenstabilisierung;
- gute Einstellbarkeit des Zündortes;
- zeitlich und räumlich getrennte Zündung zur Ermöglichung einer optimalen Zünd- und Anfahrsequenz; und
- Verwendung von lediglich elektrischer Leistung zur Zündung der Flamme und damit Vermeidung von zusätzlichem Treibstoff und entsprechenden Leitungs- und Isolationssystemen.

[0077] Erfindungsgemäße Brennkammervorrichtungen finden auch in der chemischen Industrie und in der Verfahrenstechnik Anwendung, da die Qualität eines Produktes, das in einer Brennkammervorrichtung oder unter Verwendung einer Brennkammervorrichtung hergestellt wird, durch eine erfindungsgemäße Brennkammervorrichtung verbessert werden kann.

[0078] Weitere Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung und der zeichnerischen Darstellung von Ausführungsbeispielen.

[0079] In den Figuren zeigen:

[0080] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung;

[0081] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit einem Zündleitrohr;

[0082] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit einem optischen Zugang;

[0083] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit einem optischen Zugang und einer Laservorrichtung;

[0084] [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit einer Laservorrichtung und einer Detektionsvorrichtung;

[0085] [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit zwei einander gegenüberliegend angeordneten Laservorrichtungen;

[0086] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung einer siebten Ausführungsform eines Injektors einer Brenn-

kammervorrichtung mit schräg angeordneter Zuführung eines Laserstrahls;

[0087] [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung einer achten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit drei Fluidkanälen zur Zuführung von Fluiden;

[0088] [Fig. 9](#) eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Vorderseite der dritten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung gemäß [Fig. 3](#);

[0089] [Fig. 10](#) eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Vorderseite einer neunten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit zwei senkrecht zu einer Hauptachse und senkrecht zueinander ausgerichteten optischen Zugängen;

[0090] [Fig. 11](#) eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Vorderseite einer zehnten Ausführungsform eines Injektors einer Brennkammervorrichtung mit zwei senkrecht zu einer Hauptachse des Injektors und unter einem Winkel  $\alpha$  zueinander ausgerichteten optischen Zugängen;

[0091] [Fig. 12](#) eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Vorderseite einer ersten Ausführungsform eines Einblaskopfs einer Brennkammervorrichtung mit einer Vielzahl von Injektoren und zentraler Zündung;

[0092] [Fig. 13](#) eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine Vorderseite einer zweiten Ausführungsform eines Einblaskopfs einer Brennkammervorrichtung mit einer Vielzahl von Injektoren mit dezentraler Zündung;

[0093] [Fig. 14](#) eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines Triebwerks mit gestufter Verbrennung;

[0094] [Fig. 15](#) eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines Triebwerks, welches als Gasgenerator verwendbar ist; und

[0095] [Fig. 16](#) eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform eines Triebwerks, welches als Expander verwendbar ist.

[0096] Gleiche oder funktional äquivalente Elemente sind in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 16](#) mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0097] Eine in [Fig. 1](#) ausschnittsweise dargestellte Brennkammervorrichtung **100** umfasst eine Brennkammer **102** mit einem Brennraum **103** und einen Einblaskopf **104**.

[0098] Der Einblaskopf **104** umfasst mehrere Injektoren **106**. Als Beispiel für die Anzahl der Injektoren **106** sei angeführt, dass bei dem bekannten Einblaskopf des Vulcain II-Triebwerks der Ariane **5** fünfhundertsechszwanzig Injektoren **106** vorgesehen sind. Bei dem Oberstufentriebwerk VINCI sind einhundertzweiundzwanzig Injektoren **106** vorgesehen.

[0099] Eine in [Fig. 1](#) dargestellte erste Ausführungsform eines Injektors **106** umfasst ein inneres Injektorelement **108** und ein äußeres Injektorelement **110**.

[0100] Das innere Injektorelement **108** ist im Wesentlichen rohrförmig ausgebildet und umfasst einen inneren Fluidkanal **112**.

[0101] Das äußere Injektorelement **110** ist mittels eines Rohrs gebildet und an einem Grundkörper **114** des Injektors **106** angeordnet.

[0102] Das innere Injektorelement **108** ist im Innern des äußeren Injektorelements **110** angeordnet, wobei eine Hauptachse **116** des inneren Injektorelements **108** mit einer Hauptachse **118** des äußeren Injektorelements **110** und einer Hauptachse **120** des Injektors **106** zusammenfällt.

[0103] Das innere Injektorelement **108** und das äußere Injektorelement **110** sind coaxial zueinander angeordnet, wobei ein äußerer Durchmesser des inneren Injektorelements **108** kleiner ist als ein innerer Durchmesser des äußeren Injektorelements **110**, so dass zwischen dem inneren Injektorelement **108** und dem äußeren Injektorelement **110** in radialer Richtung bezüglich der Hauptachsen **116**, **118** und **120** ein Freiraum ist, welcher einen äußeren Fluidkanal **122** bildet.

[0104] Der innere Fluidkanal **112** und der äußere Fluidkanal **122** dienen der Zuführung von Brennstoff und Oxidator zu der Brennkammer **102**.

[0105] Als Brennstoffe können insbesondere Wasserstoff, Methan und Kerosin dienen. Als Oxidator ist bei dieser Ausführungsform, insbesondere flüssiger, Sauerstoff vorgesehen. Die Temperatur des Sauerstoffs beträgt beispielsweise ungefähr 90 K bis ungefähr 130 K. Bei der Verwendung von Sauerstoff zur Brennkammerkühlung kann die Temperatur des Sauerstoffs bei der Zuführung zu dem Injektor **106** jedoch auch höher sein.

[0106] Das äußere Injektorelement **110** endet an einem in einer Einströmrichtung E hinteren Ende mit einer Mündungsöffnung **124** in den Brennraum **103**.

[0107] Die Mündungsöffnung **124** des äußeren Injektorelements **110** ist in einer Austrittsebene **126** angeordnet und bildet ein in der Einströmrichtung E hinteres Ende des Injektors **106**.

[0108] Ein in der Einströmrichtung E hinteres Ende des inneren Injektorelements **108** ist als Mündungsöffnung **128** des inneren Injektorelements **108** ausgebildet.

[0109] Die Mündungsöffnung **128** des inneren Injektorelements **108** ist relativ zu der Austrittsebene **126** bezüglich der Einströmrichtung E um eine Strecke S zurückversetzt, das heißt entgegen der Einströmrichtung E versetzt, angeordnet.

[0110] Dadurch, dass der innere Fluidkanal **112** an der Mündungsöffnung **128** des inneren Injektorelements **108** in der Einströmrichtung E vor dem Ende des äußeren Fluidkanals **122** endet, ist an dem Injektor **106** ein gemeinsamer Fluidkanal **130** vorgesehen, in welchem ein in dem inneren Fluidkanal **112** geführtes Fluid zusammen mit einem in dem äußeren Fluidkanal **122** geführten Fluid geführt wird.

[0111] Zumindest teilweise vermischt sich in diesem gemeinsamen Fluidkanal **130** das in dem äußeren Fluidkanal **122** geführte Fluid und das in dem inneren Fluidkanal **112** geführte Fluid.

[0112] Dabei bildet sich eine Vermischungszone **132** aus, welche an die Mündungsöffnung **128** des inneren Fluidkanals **112** anschließt.

[0113] Die Vermischung in der Vermischungszone **132** wird in dieser Ausführungsform des Injektors **106** durch eine Anfasung **134** an dem in der Einströmrichtung E hinteren Ende des inneren Injektorelements **108** und eine Geschwindigkeitsdifferenz zwischen der Brennstoffeinströmgeschwindigkeit von ungefähr 200 m/s bis ungefähr 400 m/s und der Sauerstoffeinströmgeschwindigkeit von ungefähr 20 m/s bis ungefähr 30 m/s begünstigt. Ferner führt dies zu einer effizienten Zerstäubung von Brennstoff und Oxidator.

[0114] Da die Fluide im Bereich der Vermischungszone **132** aufgrund der entstehenden Scherkräfte zwischen den Fluidstrahlen zirkulieren, wird die Vermischungszone **132** auch Rezirkulationszone **136** genannt. Die Rezirkulationszone **136** ist unmittelbar im Nachlauf des inneren Injektorelements **108** angeordnet.

[0115] Es kann vorgesehen sein, dass das in dem inneren Fluidkanal **112** geführte Fluid ein Oxidator und das in dem äußeren Fluidkanal **122** geführte Fluid ein Brennstoff ist.

[0116] Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass in dem inneren Fluidkanal **112** ein Brennstoff und in dem äußeren Fluidkanal **122** ein Oxidator geführt wird.

[0117] Durch die Verwendung eines Brennstoffs und eines Oxidators als in dem Injektor **106** geführte

Fluide, ergibt sich in der Vermischungszone **132** ein Brennstoff-Oxidator-Gemisch, welches zündfähig sein kann.

**[0118]** Eine Flamme breitet sich nach einer Zündung aufgrund der Rezirkulation der Fluide in der Rezirkulationszone **136** in der Regel von dieser Rezirkulationszone **136** aus aus. Aufgrund der Rezirkulation der Fluide und der damit verbundenen Reduktion der Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt eine "Ankerung" der Flamme. Daher wird die Rezirkulationszone **136** auch als Flammenankerungszone **140** bezeichnet.

**[0119]** In Abhängigkeit von den Strömungsparametern kann sich die Rezirkulationszone **136** jedoch auch über einen größeren Bereich als die Flammenankerungszone **140** erstrecken, wobei die Flammenankerungszone **140** dann in der Rezirkulationszone **136** angeordnet ist.

**[0120]** Die räumliche Ausdehnung der Flammenankerungszone **140** in axialer Richtung liegt in der Regel ungefähr in der Größenordnung der radialen Wandstärke des inneren Injektorelements **108** an dessen Mündungsöffnung **128**. Beispielsweise beträgt die Wandstärke ungefähr höchstens 1 mm.

**[0121]** Die räumliche Ausdehnung der Flammenankerungszone **140** in axialer Richtung beträgt dann beispielsweise ungefähr 1 mm bis ungefähr 3 mm.

**[0122]** Zur Zündung in der Flammenankerungszone **140** wird aufgrund geringerer Strömungsgeschwindigkeiten und günstigeren Mischungsverhältnissen eine geringere Zündenergie als zur Zündung weiter stromabwärts benötigt.

**[0123]** Vorzugsweise erfolgt eine Zündung innerhalb des Injektors **106**.

**[0124]** Mittels einer Flammenankerung kann ein, in der Regel zyklisches, Entfernen und Annähern einer Flamme an den Injektor **106**, das heißt eine Flammenwanderung, vermieden und die Flamme dadurch stabilisiert werden.

**[0125]** Eine in [Fig. 2](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Injektors **106** unterscheidet sich von der in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsform dadurch, dass der Injektor **106** ein Zündleitrohr **142** umfasst, welches als Zündvorrichtung **138** dient.

**[0126]** Ein in der Einströmrichtung E hinteres Ende des Zündleitrohrs **142** ist in der Austrittsebene **126** angeordnet und mündet damit auf gleicher Höhe in den Brennraum **103** wie die Mündungsöffnung **124** des äußeren Fluidkanals **122**.

**[0127]** Mittels des Zündleitrohrs **142** kann beispielsweise ein Zündfunken in den Brennraum **103** einge-

bracht werden, welcher einen mittels des Injektors **106** in den Brennraum **103** der Brennkammer **102** eingebrachten Fluidstrom entzündet.

**[0128]** Im Übrigen stimmt die in [Fig. 2](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

**[0129]** Eine in [Fig. 3](#) dargestellte dritte Ausführungsform eines Injektors **106** unterscheidet sich von der in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsform dadurch, dass ein optischer Zugang **144** vorgesehen ist.

**[0130]** Der optische Zugang **144** ist als Durchtrittsöffnung **145** in einer äußeren Wand **146** des äußeren Injektorelements **110** ausgebildet.

**[0131]** Der optische Zugang **144** ist dabei in der Einströmrichtung E zwischen der Mündungsöffnung **124** des äußeren Fluidkanals **122** und der Mündungsöffnung **128** des inneren Fluidkanals **112** angeordnet.

**[0132]** Zur einfachen Führung von Licht ist bei dieser Ausführungsform ein Lichtleiter **148** vorgesehen. Ein Ende des Lichtleiters **148** ist dabei so angeordnet, dass es bündig mit einer Innenseite **150** der äußeren Wand **146** des äußeren Injektorelements **110** abschließt.

**[0133]** Der Lichtleiter **148** ist dabei zumindest näherungsweise senkrecht auf die Hauptachse **116** des inneren Injektorelements **108**, die Hauptachse **118** des äußeren Injektorelements **110** und die Hauptachse **120** des Injektors **106** ausgerichtet, so dass ein mittels des Lichtleiters **148** in den Injektor **106** gerichteter Laserstrahl die Vermischungszone **132** zweifach zumindest näherungsweise senkrecht schneidet.

**[0134]** Zur erfolgreichen Zündung muss ein Laserstrahl nur auf eine Vermischungszone **132** mit einem zündfähigen Gemisch aus Brennstoff und Oxidator gerichtet werden. Diese Vermischungszone **132** muss nicht zwingend eine Rezirkulationszone **136** oder eine Flammenankerungszone **140** sein.

**[0135]** Das Richten des Laserstrahls auf eine Flammenankerungszone **140** kann jedoch Vorteile hinsichtlich der Zündsicherheit und der Flammenstabilität haben.

**[0136]** Der Laserstrahl wird mit einer (nicht dargestellten) Laservorrichtung erzeugt.

**[0137]** Die zur Initialzündung erforderlichen Laserparameter sind davon abhängig, ob eine resonante Zündung, das heißt eine direkte Anregung von beispielsweise Sauerstoff, oder eine thermische Zün-

derung, das heißt eine unspezifische "Breitband"-Anregung, mittels der Laservorrichtung bewirkt werden soll.

[0138] Beispielsweise kann zur resonanten Zündung und zur laserinduzierten photochemischen Zündung eine Laserwellenlänge von ungefähr 130 nm bis ungefähr 250 nm vorgesehen sein. Die Pulsfrequenz beträgt dabei beispielsweise höchstens 100 Hz. Als Pulslänge können ungefähr 10 ns vorgesehen sein. Die Pulsenergie beträgt bei der resonanten Zündung beispielsweise höchstens ungefähr 50 mJ.

[0139] Bei der thermischen Zündung kann eine wesentlich höhere, beispielsweise mit handelsüblichen Infrarotlasern, insbesondere mit Diodenlasern, erzeugte Wellenlänge und eine Pulsenergie von höchstens ungefähr 150 mJ verwendet werden.

[0140] Ein Vorteil der resonanten Zündung ist der geringe Zündenergiebedarf.

[0141] Der Injektor 106 dient insbesondere der Initialzündung einer Flamme in einer Brennkammervorrichtung, das heißt dem erstmaligen Zünden durch eine beispielsweise eine Laservorrichtung umfassende Fremdzündquelle.

[0142] Ein Erlöschen der Flamme nach einer Initialzündung wird durch eine geeignete Anordnung der Injektoren 106 und durch eine geeignete Wahl der Einspritzbedingungen verhindert.

[0143] Im Übrigen stimmt die in Fig. 3 dargestellte dritte Ausführungsform eines Injektors 106 hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0144] Eine in Fig. 4 dargestellte vierte Ausführungsform eines Injektors 106 unterscheidet sich von der in Fig. 3 dargestellten dritten Ausführungsform dadurch, dass eine Laservorrichtung 152 vorgesehen ist, welche beispielsweise mindestens eine Laserdiode zur Erzeugung eines Laserstrahls umfasst.

[0145] Laserdioden haben die Vorteile, dass sie sehr klein und gut verfügbar sind und mit wenig Aufwand verbaut werden können.

[0146] Im Gegensatz zu der in Fig. 3 dargestellten dritten Ausführungsform des Injektors 106 ist bei der in Fig. 4 dargestellten vierten Ausführungsform kein Lichtleiter 148 vorgesehen. Stattdessen schließt mit der Innenseite 150 der äußeren Wand 146 des äußeren Injektorelements 110 ein optisches System 154 bündig ab.

[0147] Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Durchtrittsöffnung 145 mit einer lichtdurchlässigen Substanz gefüllt ist.

[0148] Mittels des optischen Systems 154 kann ein mittels der Laservorrichtung 152 erzeugter Laserstrahl fokussiert werden.

[0149] Ein Fokus 156 des optischen Systems 154 fällt in dieser Ausführungsform in die Vermischungszone 132.

[0150] Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass der Laserstrahl auf einen anderen Bereich fokussiert wird.

[0151] Ferner zeichnet sich die in Fig. 4 dargestellte vierte Ausführungsform eines Injektors 106 dadurch aus, dass am in der Einströmrichtung E hinteren Ende des inneren Injektorelements 108 keine Anfasung vorgesehen ist.

[0152] Im Übrigen stimmt die in Fig. 4 dargestellte vierte Ausführungsform eines Injektors 106 hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in Fig. 3 dargestellten dritten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0153] Eine in Fig. 5 dargestellte fünfte Ausführungsform eines Injektors 106 unterscheidet sich von der in Fig. 4 dargestellten vierten Ausführungsform dadurch, dass in einem optischen Weg 158 des Laserstrahls eine Strahlumlenkung 160 angeordnet ist.

[0154] Ferner ist eine Detektionsvorrichtung 162 zur Detektion von Licht vorgesehen.

[0155] Diese kann insbesondere eine Photodiode, einen CCD-Chip und/oder einen Photomultiplier umfassen.

[0156] Zur spektralen Auflösung des zu detektierenden Lichts kann ferner ein Spektrometer vorgesehen sein.

[0157] Die Strahlumlenkung 160 ist dabei so in dem optischen Weg 158 des Laserstrahls angeordnet, dass der Laserstrahl und von der Detektionsvorrichtung 162 zu detektierendes Licht zumindest abschnittsweise auf einem gemeinsamen optischen Weg 164 durch einen gemeinsamen optischen Zugang 166 und ein gemeinsames optisches System 168 geführt werden.

[0158] Im Übrigen stimmt die in Fig. 5 dargestellte fünfte Ausführungsform eines Injektors 106 hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in Fig. 4 dargestellten vierten Ausführungsform überein, auf deren vor-

stehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0159] Eine in [Fig. 6](#) dargestellte sechste Ausführungsform eines Injektors **106** entspricht im Wesentlichen der in [Fig. 4](#) dargestellten vierten Ausführungsform eines Injektors **106**, wobei bei der sechsten Ausführungsform eines Injektors **106** ein dem optischen Zugang **144** bezüglich der Hauptachse **116** des inneren Injektorelements **108**, der Hauptachse **118** des äußeren Injektorelements **110** und der Hauptachse **120** des Injektors **106** direkt gegenüberliegender zweiter optischer Zugang **170** vorgesehen ist.

[0160] Durch diesen zweiten optischen Zugang **170** kann mittels einer zweiten Laservorrichtung **172** und eines zweiten optischen Systems **174** ein weiterer Laserstrahl auf einen zweiten Fokus **176** fokussiert werden.

[0161] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 6](#) dargestellte sechste Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 4](#) dargestellten vierten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0162] Eine in [Fig. 7](#) dargestellte siebte Ausführungsform eines Injektors **106** entspricht im Wesentlichen der in [Fig. 3](#) dargestellten dritten Ausführungsform eines Injektors **106**, mit dem Unterschied, dass die Durchtrittsöffnung **145** in der äußeren Wand **146** des äußeren Injektorelements **110** nicht senkrecht auf die Innenseite **150** des äußeren Injektorelements **110** ausgerichtet ist, sondern unter einem Winkel  $\alpha$ , wobei ein mittig durch die Durchtrittsöffnung **145** geführter Laserstrahl mit der Austrittsebene **126** den Winkel  $\alpha$  einschließt.

[0163] Der Winkel  $\alpha$  ist bei einer Ausführungsform in einer Größenordnung von ungefähr  $30^\circ$ , so dass ein Laserstrahl unter diesem Winkel in den gemeinsamen Fluidkanal **130** einstrahlbar ist. Der eingestrahelte Laserstrahl schneidet dabei die Vermischungszone **132** in einem Zündort **178**, welcher in dem gemeinsamen Fluidkanal **130** angeordnet ist.

[0164] Eine Einstrahlung des Laserstrahls unter dem Winkel  $\alpha$  dient dazu, möglicherweise vorhandene konstruktive Einschränkungen im Bereich des Injektors **106** zu umgehen und Zündorte **178** zu erreichen, die unter senkrechter Einstrahlung nicht zu erreichen wären. Insbesondere kann dies der Fall sein, wenn die Strecke **S** sehr klein, beispielsweise kleiner als der Durchmesser des optischen Zugangs **144**, ist.

[0165] Zur zusätzlichen Zündung an einer Schnittstelle **180**, in welcher der Laserstrahl erneut die Vermischungszone **132** schneidet, ist in der Regel die Energie des Laserstrahls nicht ausreichend.

[0166] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 7](#) dargestellte siebte Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 3](#) dargestellten dritten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0167] Eine in [Fig. 8](#) dargestellte achte Ausführungsform eines Injektors **106** unterscheidet sich von der in [Fig. 3](#) dargestellten dritten Ausführungsform dadurch, dass der Injektor **106** ein mittleres Injektorelement **182** umfasst, welches innerhalb des äußeren Injektorelements **110** angeordnet ist und das innere Injektorelement **108** umgibt.

[0168] Das mittlere Injektorelement **182** ist im Wesentlichen rohrförmig ausgebildet und weist eine Mündungsöffnung **184** auf, welche in der Einströmrichtung **E** zwischen der Mündungsöffnung **124** des äußeren Injektorelements **110** und der Mündungsöffnung **128** des inneren Injektorelements **108** angeordnet ist.

[0169] Durch die Anordnung des mittleren Injektorelements **182** zwischen dem äußeren Injektorelement **110** und dem inneren Injektorelement **108** ergibt sich zusätzlich zu dem äußeren Fluidkanal **122**, welcher zwischen dem äußeren Injektorelement **110** und dem mittleren Injektorelement **182** angeordnet ist, und dem inneren Fluidkanal **112**, welcher im Inneren des inneren Injektorelements **108** angeordnet ist, ein mittlerer Fluidkanal **186**, welcher zwischen dem mittleren Injektorelement **182** und dem inneren Injektorelement **108** angeordnet ist.

[0170] Auf der Innenseite eines in der Einströmrichtung **E** hinteren Endes des mittleren Injektorelements **182** ist eine Anfasung **188** vorgesehen, welche im Wesentlichen der Anfasung **134** des inneren Injektorelements **108** entspricht.

[0171] Eine Hauptachse **190** des mittleren Injektorelements **182** fällt mit der Hauptachse **116** des inneren Injektorelements **108**, der Hauptachse **118** des äußeren Injektorelements **110** und der Hauptachse **120** des Injektors **106** zusammen. Der Injektor **106** ist so als Trikoaxialinjektor ausgebildet.

[0172] Aufgrund der zurückversetzten Anordnung der Mündungsöffnung **128** des inneren Injektorelements **108** gegenüber der Mündungsöffnung **184** des mittleren Injektorelements **182** ergibt sich eine Einmündung des inneren Fluidkanals **112** in den mittleren Fluidkanal **186**, wobei sich am in der Einströmrichtung **E** hinteren Ende des inneren Injektorelements **108** eine Vermischungszone **132** ausbildet.

[0173] Am in der Einströmrichtung **E** hinteren Ende des mittleren Injektorelements **182** mündet schließlich der innere Fluidkanal **112** mit dem mittleren Fluid-

kanal **186** in den äußeren Fluidkanal **122**. Auch am in der Einströmrichtung E hinteren Ende des mittleren Injektorelements **182** bildet sich dadurch eine Vermischungszone **132** aus.

[0174] Die Vermischungszonen **132** sind im Anschluss an die Enden der Injektorelemente **108**, **182** im Wesentlichen ringförmig ausgebildet und zueinander koaxial angeordnet.

[0175] Ein durch den optischen Zugang **144** in den gemeinsamen Fluidkanal **130** eingestrahelter Laserstrahl schneidet beide Vermischungszonen **132** je zweimal, so dass sich insgesamt theoretisch vier mögliche Zündorte **192** ergeben, welche aufgrund der senkrechten Ausrichtung des optischen Zugangs **144** alle in dem gemeinsamen Fluidkanal **130** innerhalb des Injektors **106** angeordnet sind.

[0176] Eine praktische Relevanz hat üblicherweise jedoch nur der in Einstrahlrichtung erste Zündort, da bereits hier die Laserenergie größtenteils absorbiert wird.

[0177] Die achte Ausführungsform eines Injektors eignet sich insbesondere zur Verwendung in Verbrennkammern oder Gasgeneratoren, wobei entweder zwei unterschiedliche Komponenten, insbesondere mit mittiger Zuführung eines Oxidators, oder drei unterschiedliche Komponenten zugeführt werden.

[0178] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 8](#) dargestellte achte Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 3](#) dargestellten dritten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0179] In [Fig. 9](#) ist eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf die Vorderseite der dritten Ausführungsform eines Injektors **106** dargestellt.

[0180] Insbesondere ist aus dieser Darstellung ersichtlich, dass die Hauptachse **116** des inneren Injektorelements **108**, die Hauptachse **118** des äußeren Injektorelements **110** und die Hauptachse **120** des Injektors **106** zusammenfallen.

[0181] In [Fig. 10](#) ist in einer der [Fig. 9](#) entsprechenden Darstellung eine neunte Ausführungsform eines Injektors **106** dargestellt, welche im Wesentlichen der in [Fig. 9](#) dargestellten dritten Ausführungsform eines Injektors **106** entspricht, mit dem Unterschied, dass zwei Durchtrittsöffnungen **145** in der äußeren Wand **146** des äußeren Injektorelements **110** vorgesehen sind, welche jeweils einen mit einem Lichtleiter **148** versehenen optischen Zugang **144** bilden.

[0182] Die optischen Zugänge **144** sind in dieser Ausführungsform derart angeordnet, dass sie relativ

zueinander in einem senkrechten Winkel und senkrecht zu der Einströmrichtung E ausgerichtet sind.

[0183] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 10](#) dargestellte neunte Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in den [Fig. 3](#) und [Fig. 9](#) dargestellten dritten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0184] Bei einer in [Fig. 11](#) dargestellten zehnten Ausführungsform eines Injektors **106** sind entsprechend der in [Fig. 10](#) dargestellten neunten Ausführungsform zwei optische Zugänge **144** vorgesehen, mit dem Unterschied, dass die optischen Zugänge **144** relativ zueinander nicht in einem senkrechten Winkel, sondern in einem Winkel  $\beta$  zueinander ausgerichtet sind.

[0185] Der Winkel  $\beta$  ist bei einer Ausführungsform in einer Größenordnung von ungefähr  $135^\circ$ .

[0186] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 11](#) dargestellte zehnte Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in den [Fig. 3](#) und [Fig. 9](#) dargestellten dritten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0187] In [Fig. 12](#) ist eine schematische Draufsicht auf eine erste Ausführungsform eines Einblaskopfs **104** mit zweihundertfünf Injektoren **106** dargestellt, welche in einem symmetrischen Muster angeordnet sind. Ein symmetrisches Muster ergibt sich bei der Auslegung eines Einblaskopfes **104** in der Regel insbesondere in den radial äußeren Reihen, so dass eine Brennkammerwand im Betrieb der Brennkammer Vorrichtung **100** gleichmäßig belastet wird. Im radial inneren Bereich ist in der Regel ein gleichmäßiger Abstand der Injektoren **106** voneinander vorgesehen. Durch die Berücksichtigung beider Kriterien ergeben sich daher zumeist sehr komplexe Muster der Injektoren **106**.

[0188] Bei dieser ersten Ausführungsform des Einblaskopfs **104** ist vorgesehen, dass ein zentraler Injektor **106** eine laserbasierte Zündvorrichtung **138** umfasst.

[0189] Beispielsweise kann bei einem solchen Einblaskopf **104** vorgesehen sein, dass der zentrale Injektor **106** entsprechend der in den [Fig. 3](#) und [Fig. 9](#) dargestellten dritten Ausführungsform ausgebildet ist, während die übrigen Injektoren **106** der in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsform entsprechen.

[0190] Eine in [Fig. 13](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Einblaskopfs **104** unterscheidet sich von der in [Fig. 12](#) dargestellten ersten Ausführungs-

form eines Einblaskopfs **104** dadurch, dass vier dezentral angeordnete Injektoren **106** vorgesehen sind, welche beispielsweise der in [Fig. 3](#) dargestellten dritten Ausführungsform entsprechen und somit jeweils eine laserbasierte Zündvorrichtung **138** umfassen. Ferner umfasst der Einblaskopf **104** zweihunderteins Injektoren **106**, welche im Wesentlichen der in [Fig. 1](#) dargestellten ersten Ausführungsform, das heißt ohne Zündvorrichtung **138**, entsprechen.

[0191] Die Injektoren **106** sind bei der in [Fig. 13](#) dargestellten zweiten Ausführungsform des Einblaskopfs **104** gleichmäßig auf einem Kreis um eine Hauptachse **194** des Einblaskopfs **104** verteilt. Auf diese Weise kann ein mittels der Injektoren **106** des Einblaskopfs **104** in den Brennraum **103** der Brennkammer **102** einströmendes Gemisch aus Brennstoff und Oxidator dezentral gezündet werden, was eine erhebliche Reduktion der durch die Zündung verursachten Belastung des Einblaskopfs **104** und der gesamten Brennkammervorrichtung **100** ermöglicht.

[0192] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 13](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Einblaskopfs **104** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 12](#) dargestellten ersten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0193] Eine in [Fig. 14](#) dargestellte erste Ausführungsform eines Triebwerks **196** umfasst eine Brennkammervorrichtung **100** mit einem Einblaskopf **104**, welcher eine Vielzahl von (nicht dargestellten) Injektoren umfasst.

[0194] Die erste Ausführungsform des Triebwerks **196** ist ein Raketentriebwerk.

[0195] Es kann jedoch alternativ auch vorgesehen sein, dass das Triebwerk eine Fluggasturbine, eine stationäre Gasturbine oder ein Verbrennungsmotor ist.

[0196] Ein Brennraum **103** einer Brennkammer **102**, in welchen der Einblaskopf **104** mündet, ist von einer Lavalldüse **198** berandet.

[0197] Das Triebwerk **196** umfasst ferner eine Oxidatorzuführung **200**, eine Brennstoffzuführung **202** und eine Turbine **204**. Eine Oxidatorpumpe **206** dient dem Antreiben eines Oxidators. Eine Brennstoffpumpe **208** dient dem Antreiben eines Brennstoffs.

[0198] Zur Zuführung von Oxidator und Brennstoff zu der Turbine **204** sind Zuführvorrichtungen **210** vorgesehen. Ferner sind Zuführvorrichtungen **210** vorgesehen, um Oxidator mittels der Oxidatorpumpe **206** zu dem Einblaskopf **104** der Brennkammervorrichtung **100** und einem Vorbrenner **212** zu befördern.

[0199] Aus dem Brennraum **103** der Brennkammer **102** kann dem Vorbrenner **212** mittels einer Zuführvorrichtung **210** ein in dem Brennraum **103** der Brennkammer **102** vorhandenes Gasgemisch zugeführt werden. An dem Vorbrenner **212** austretendes Gas kann mittels einer Zuführvorrichtung **210** der Turbine **204** zugeführt werden.

[0200] Eine weitere Zuführvorrichtung **210** ist zur Herstellung einer Fluidverbindung zwischen der Turbine **204** und der Brennkammervorrichtung **100** vorgesehen.

[0201] Ferner ist eine Zuführvorrichtung **210** vorgesehen, um mittels der Brennstoffpumpe **208** Brennstoff einem Ende der Lavalldüse **198** zuzuführen.

[0202] Bei der in [Fig. 14](#) dargestellten ersten Ausführungsform eines Triebwerks **196** ist eine gestufte Verbrennung vorgesehen. Insbesondere erfolgt bei diesem Triebwerk **196** eine Vorverbrennung in dem Vorbrenner **212**. Die Turbine **204** treibt die Brennstoffpumpe **208** und die Oxidatorpumpe **206** an. Eine Verbrennung erfolgt einerseits direkt am Einblaskopf **104** der Brennkammervorrichtung **100** und andererseits in der Nähe eines Ausgangs der Lavalldüse **198**, wo erneut Brennstoff zugeführt wird.

[0203] Eine in [Fig. 15](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Triebwerks **196** entspricht im Wesentlichen der in [Fig. 14](#) dargestellten ersten Ausführungsform eines Triebwerks **196**, mit unterschiedlich angeordneten Zuführvorrichtungen **210**. Bei der zweiten Ausführungsform des Triebwerks **196** ist dieses Triebwerk **196** als Gasgenerator betreibbar.

[0204] Hierzu erfolgt eine Zuführung von Oxidator mittels der Oxidatorpumpe **206** zu dem Vorbrenner **212**, der Brennkammervorrichtung **100** und der Turbine **204**. Mittels der Brennstoffpumpe **208** wird über Zuführvorrichtungen **210** der Turbine **204**, dem Vorbrenner **212** und dem Ende der Lavalldüse **198** Brennstoff zugeführt.

[0205] Aus dem Vorbrenner **212** gelangt Gas in die Turbine **204** und wird von dort in einen mittleren Bereich der Lavalldüse **198** mittels einer weiteren Zuführvorrichtung **210** befördert.

[0206] Ferner ist an der Brennkammervorrichtung **100** eine Rückführung **214** vorgesehen, um in dem Brennraum **103** der Brennkammer **102** vorhandenes Gas dem Einblaskopf **104** zuführen zu können.

[0207] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 15](#) dargestellte zweite Ausführungsform eines Triebwerks **196** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 14](#) dargestellten ersten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

[0208] In [Fig. 16](#) ist eine dritte Ausführungsform eines Triebwerks **196** dargestellt, welche sich von der in [Fig. 14](#) dargestellten ersten Ausführungsform dadurch unterscheidet, dass kein Vorbrenner **212** vorgesehen ist und die Zuführleitungen **210** zwischen der Oxidatorpumpe **206** und der Brennkammervorrichtung **100**, zwischen der Turbine **204** und der Brennkammervorrichtung **100**, zwischen der Brennstoffpumpe **208** und der Turbine **204**, zwischen der Oxidatorpumpe **206** und der Turbine **204** und zwischen der Brennstoffpumpe **208** und dem Ende der Lavaldüse **198** angeordnet sind.

[0209] Bei dieser Ausführungsform kann das Triebwerk **196** insbesondere als Expander betrieben werden.

[0210] Hierzu wird von der Oxidatorpumpe **206** der Brennkammervorrichtung **100** Oxidator zugeführt. Aus der Turbine **204** stammendes Gas wird ebenfalls der Brennkammervorrichtung **100** zugeführt, wobei eine Rückföhrleitung aus der Brennkammervorrichtung **100** zu der Turbine **204** vorgesehen ist.

[0211] Die Turbine **204** wird mit Oxidator und Brennstoff versorgt. Ferner ist eine Zuföhrleitung **210** vorgesehen, um Brennstoff mittels der Brennstoffpumpe **208** dem Ende der Lavaldüse **198** zuzuföhren.

[0212] Im Übrigen stimmt die in [Fig. 16](#) dargestellte dritte Ausführungsform eines Injektors **106** hinsichtlich Aufbau und Funktion mit der in [Fig. 14](#) dargestellten ersten Ausführungsform überein, auf deren vorstehende Beschreibung insoweit Bezug genommen wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkammervorrichtung, umfassend:

– Erzeugen eines Brennstoff-Oxidator-Gemisches mittels mindestens eines Einblaskopfes (**104**) mit mindestens einem Injektor (**106**) zum Zuföhren von Brennstoff und Oxidator zu einem Brennraum (**103**) der Brennkammervorrichtung (**100**), wobei der mindestens eine Injektor (**106**) mindestens ein als Brennstoffinjektorelement ausgebildetes Injektorelement (**108, 110, 182**) zum Zuföhren von Brennstoff und mindestens ein als Oxidatorinjektorelement ausgebildetes Injektorelement (**108, 110, 182**) zum Zuföhren von Oxidator umfasst, wobei die mindestens zwei Injektorelemente (**108, 110, 182**) des mindestens einen Injektors (**106**) koaxial zueinander angeordnet sind und wobei mindestens ein Injektorelement (**108, 110, 182**) eine Mündungsöffnung (**124, 128, 184**) umfasst, die gegenüber einer Austrittsebene (**126**) des mindestens einen Injektors (**106**) entgegen einer Einströmrichtung (E) zurückversetzt angeordnet ist;

– Erzeugen von mindestens einem Laserstrahl mittels einer Laservorrichtung (**152, 172**) zur Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches,

**dadurch gekennzeichnet**, dass die Laservorrichtung (**152, 172**) so an dem mindestens einen Injektor (**106**) angeordnet ist, dass der mindestens eine Laserstrahl zumindest teilweise in einem Fluidkanal (**112, 122, 130, 186**) des mindestens einen Injektors (**106**) verläuft, dass als Oxidator flüssiger Sauerstoff verwendet wird und

dass der mindestens eine Laserstrahl durch mindestens einen in einer äußeren Wand (**146**) des mindestens einen Injektors (**106**) angeordneten optischen Zugang (**144, 170**) in einen Innenraum des Injektors (**106**) gerichtet wird, wobei der optische Zugang (**144, 170**) in einer Richtung parallel zu einer Einströmrichtung (E) zwischen der Austrittsebene (**126**) des mindestens einen Injektors (**106**) und der mindestens einen Mündungsöffnung (**124, 128, 184**) des Injektorelements (**108, 110, 182**) angeordnet ist, welche gegenüber der Austrittsebene (**126**) des mindestens einen Injektors (**106**) entgegen der Einströmrichtung (E) zurückversetzt angeordnet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Laserstrahl auf eine Flammenankerungszone gerichtet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff und der Oxidator vor einer Zuföhrung in den Brennraum (**103**) der Brennkammervorrichtung (**100**) zumindest teilweise innerhalb des mindestens einen Injektors (**106**) vermischt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Laserstrahl zumindest abschnittsweise mittels eines Lichtleiters (**148**) geföhrt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Laserstrahl quer zu einer Hauptachse (**120**) des mindestens einen Injektors (**106**) gerichtet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Laserstrahl mittels eines optischen Systems (**154**) fokussiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Detektionsvorrichtung (**162**) Strahlung aus mindestens einem Bereich detektiert wird, auf welchen der mindestens eine Laserstrahl gerichtet ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Detektionsvorrichtung (**162**) überprüft wird, ob ein Laserstrahl zur Zündung

des Brennstoff-Oxidator-Gemisches und zur Ausbildung einer Flamme geführt hat.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Ausbildung einer Flamme in regelmäßigen Zeitabständen überprüft wird, ob die Flamme erloschen ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach einem Erlöschen der Flamme zur erneuten Zündung ein Laserstrahl auf das Brennstoff-Oxidator-Gemisch gerichtet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Laserstrahlen auf unterschiedliche Bereiche des Brennstoff-Oxidator-Gemisches gerichtet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlen zeitlich versetzt erzeugt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlen mittels einer Steuerungsvorrichtung gesteuert werden.

14. Brennkammervorrichtung, umfassend:  
 – mindestens eine Brennkammer (102),  
 – mindestens einen Einblaskopf (104) mit mindestens einem Injektor (106) zum Zuführen von Brennstoff und Oxidator zu einem Brennraum (103), wobei der mindestens eine Injektor (106) mindestens ein als Brennstoffinjektorelement ausgebildetes Injektorelement (108, 110, 182) zum Zuführen von Brennstoff und mindestens ein als Oxidatorinjektorelement ausgebildetes Injektorelement (108, 110, 182) zum Zuführen von Oxidator umfasst, wobei mindestens zwei Injektorelemente (108, 110, 182) des mindestens einen Injektors (106) koaxial zueinander angeordnet sind und wobei mindestens ein Injektorelement (108, 110, 182) eine Mündungsöffnung (124, 128, 184) umfasst, die gegenüber einer Austrittsebene (126) des mindestens einen Injektors (106) entgegen einer Einströmrichtung (E) zurückversetzt angeordnet ist, und  
 – eine Laservorrichtung (152, 172) zur Erzeugung mindestens eines Laserstrahls zur Zündung eines Brennstoff-Oxidator-Gemisches, dadurch gekennzeichnet, dass die Laservorrichtung (152, 172) so an dem mindestens einen Injektor (106) angeordnet ist, dass der mindestens eine Laserstrahl zumindest teilweise in einem Fluidkanal (112, 122, 130, 186) des mindestens einen Injektors (106) verläuft, dass als Oxidator flüssiger Sauerstoff vorgesehen ist und dass mindestens ein in einer äußeren Wand (146) des mindestens einen Injektors (106) angeordneter optischer Zugang (144, 170) vorgesehen ist, durch welchen der mindestens eine Laserstrahl in einen Innenraum des Injektors (106) gerichtet werden kann

und welcher in einer Richtung parallel zu einer Einströmrichtung (E) zwischen der Austrittsebene (126) des mindestens einen Injektors (106) und der mindestens einen Mündungsöffnung (124, 128, 184) des Injektorelements (108, 110, 182) angeordnet ist, welche gegenüber der Austrittsebene (126) des mindestens einen Injektors (106) entgegen der Einströmrichtung (E) zurückversetzt angeordnet ist.

15. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens drei Injektorelemente (108, 110, 182) des mindestens einen Injektors (106) trikoaxial zueinander angeordnet sind.

16. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Injektor (106) mindestens ein Injektorrohr umfasst.

17. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass an einem in einer Einströmrichtung (E) hinteren Ende des mindestens einen Injektorelements (108, 110, 182) eine innere und/oder äußere Anfasung (134, 188) vorgesehen ist.

18. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Injektor (106) an einer Injektormündungsöffnung (124) direkt in den Brennraum (103) einmündet.

19. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Laservorrichtung (152, 172) mindestens eine Laserdiode umfasst.

20. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Laservorrichtung (152, 172) mindestens einen Lichtleiter (148) zur Führung des mindestens einen Laserstrahls umfasst.

21. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Laservorrichtung (152, 172) mindestens ein optisches System (154, 168, 174) zur Fokussierung des mindestens einen Laserstrahls umfasst.

22. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, gekennzeichnet durch mindestens eine Detektorvorrichtung (162).

23. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Detektorvorrichtung (162) mindestens einen Lichtdetektor umfasst.

24. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine

Detektionsvorrichtung (**162**) mindestens einen Lichtleiter (**148**) umfasst.

führung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

25. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Detektionsvorrichtung (**162**) so an dem mindestens einen Injektor (**106**) angeordnet ist, dass eine Flamme in einem Bereich (**132, 136, 140**) detektierbar ist, in dem eine Zündung des Brennstoff-Oxidator-Gemisches mittels des mindestens einen Laserstrahls erfolgt.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

26. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Detektionsvorrichtung (**162**) so an dem mindestens einen Injektor (**106**) angeordnet ist, dass eine Flamme zwischen der mindestens einen Mündungsöffnung (**124, 128, 184**) des Injektorelements (**108, 110, 182**) und einer Austrittsebene (**126**) des mindestens einen Injektors (**106**) detektierbar ist.

27. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass eine Strahlumlenkung (**160**) vorgesehen ist, um sowohl den mindestens einen Laserstrahl als auch einen mittels der mindestens einen Detektionsvorrichtung (**162**) zu detektierenden Lichtstrahl über einen zumindest abschnittsweise gemeinsamen optischen Weg (**164**) führen zu können.

28. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Injektor (**106**) mindestens zwei optische Zugänge (**144, 170**) in einer äußeren Wand (**146**) umfasst.

29. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Einblaskopf (**104**) mehrere gleichmäßig voneinander beabstandete Injektoren (**106**) umfasst.

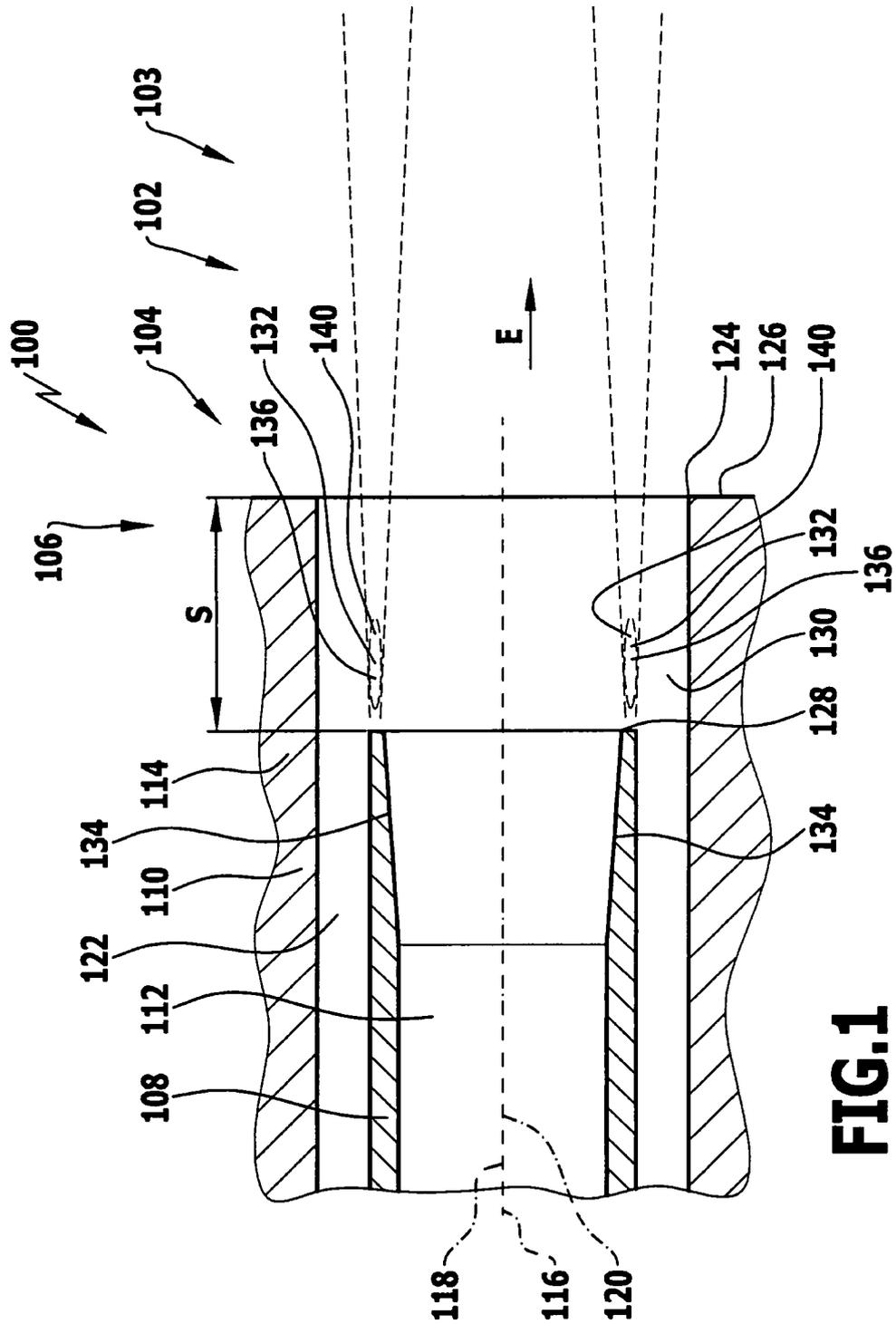
30. Brennkammervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 29, gekennzeichnet durch eine Steuerungsvorrichtung zur Steuerung der Brennkammervorrichtung (**100**).

31. Brennkammervorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Injektoren (**106**) jeweils eine Laservorrichtung (**152, 172**) zugeordnet ist, wobei die mindestens zwei Laservorrichtungen (**152, 172**) mittels der Steuerungsvorrichtung steuerbar sind.

32. Triebwerk, umfassend mindestens eine Brennkammervorrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 14 bis 31.

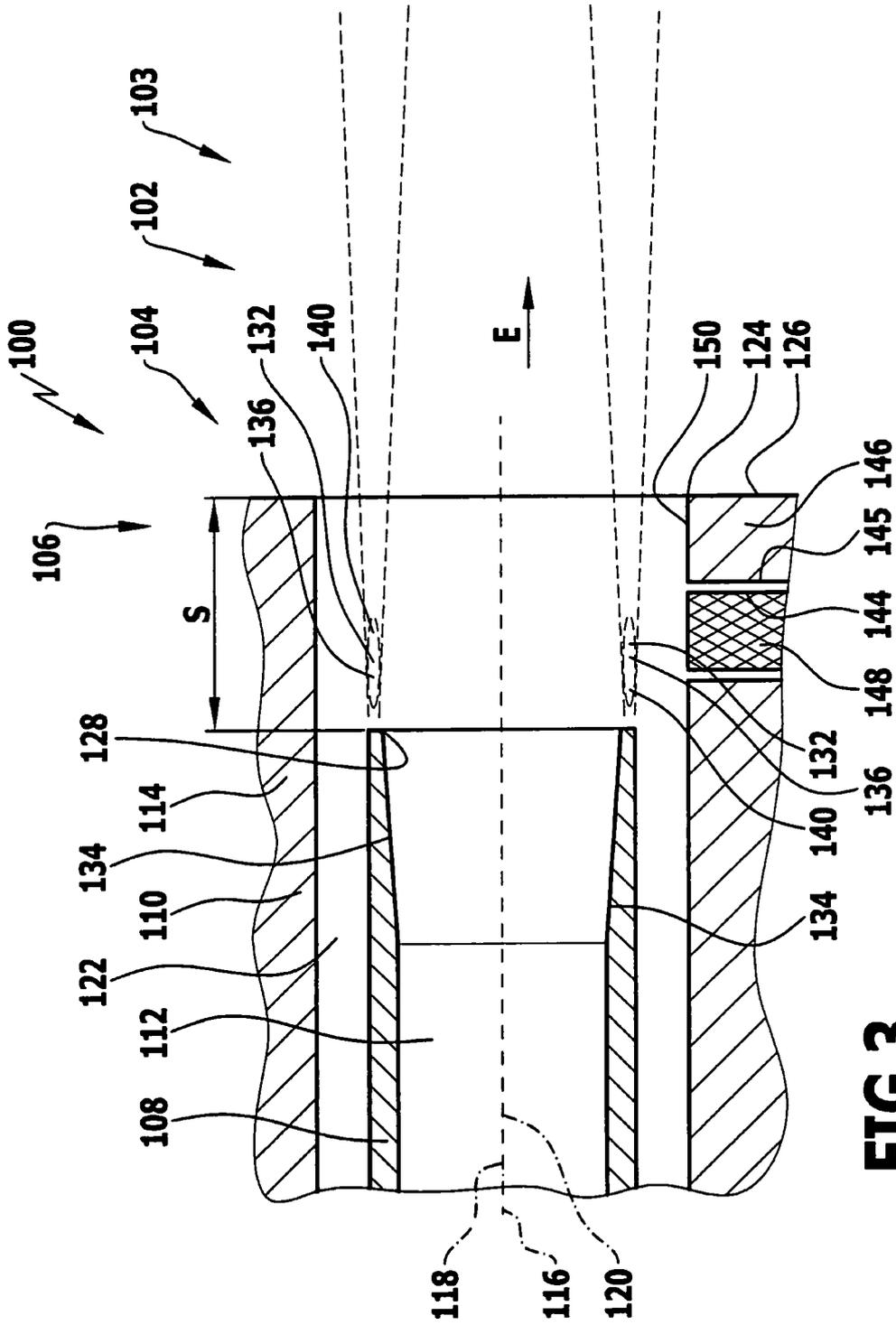
33. Verwendung einer Brennkammervorrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 14 bis 31 zur Durch-

Anhängende Zeichnungen

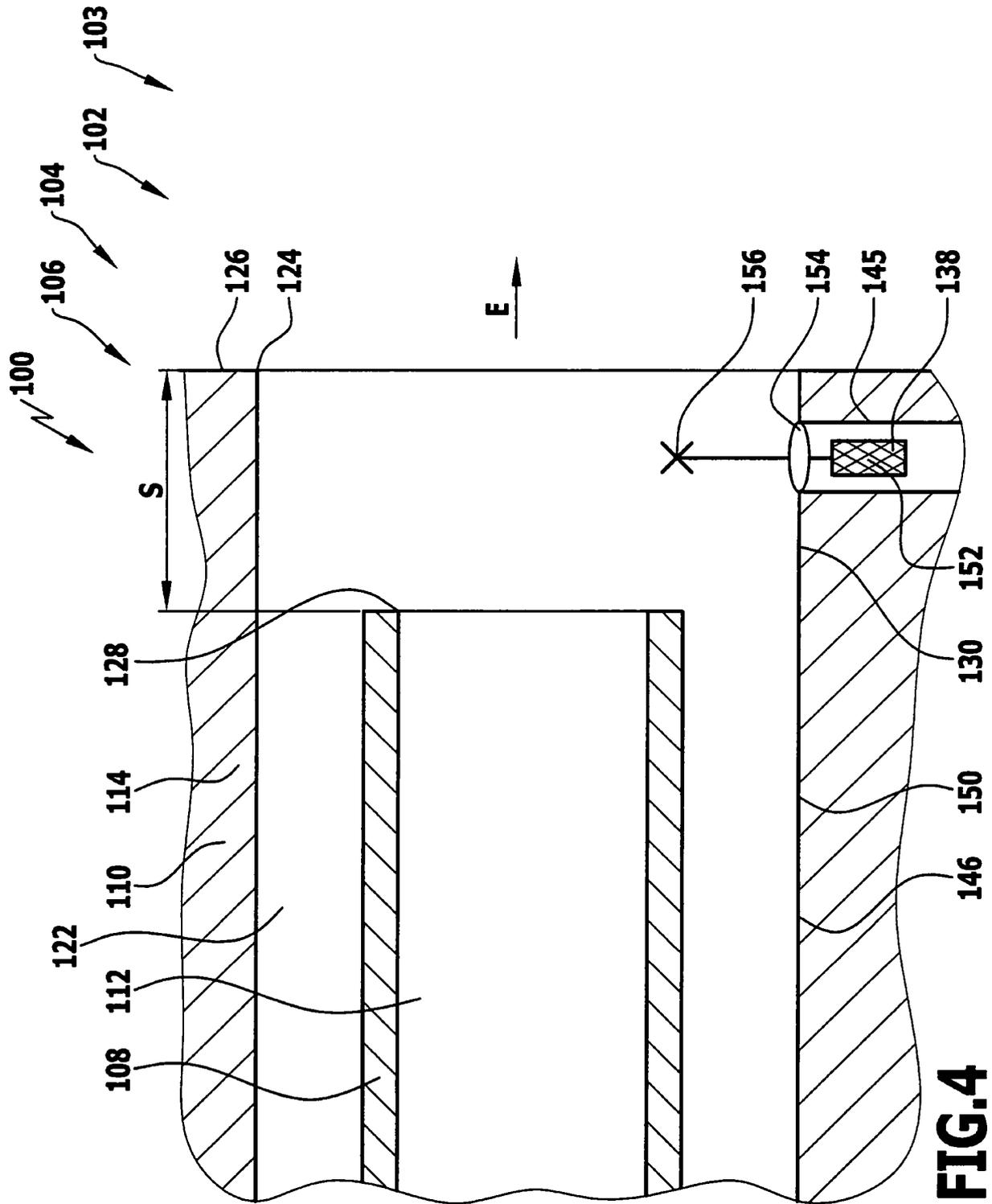


**FIG.1**

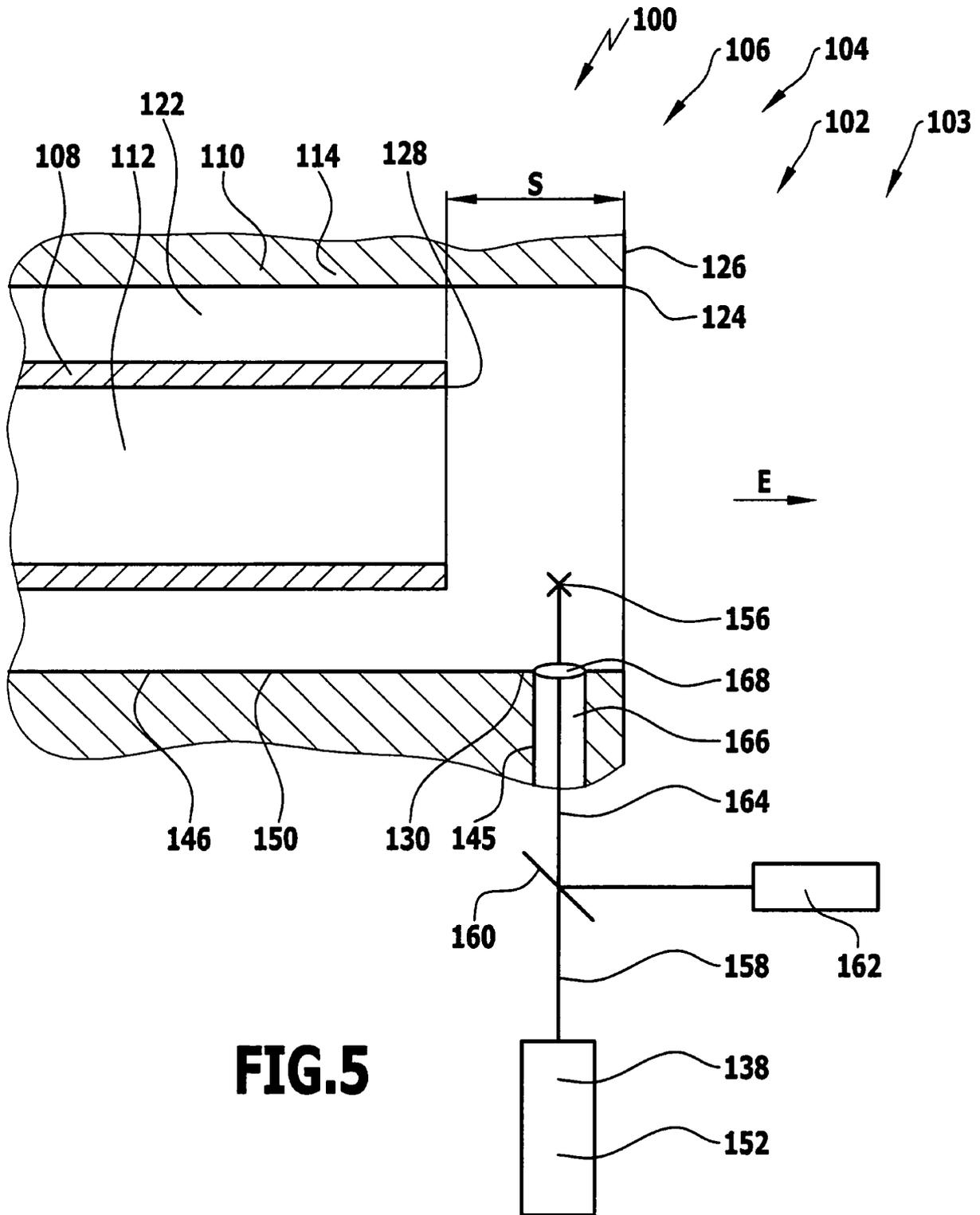




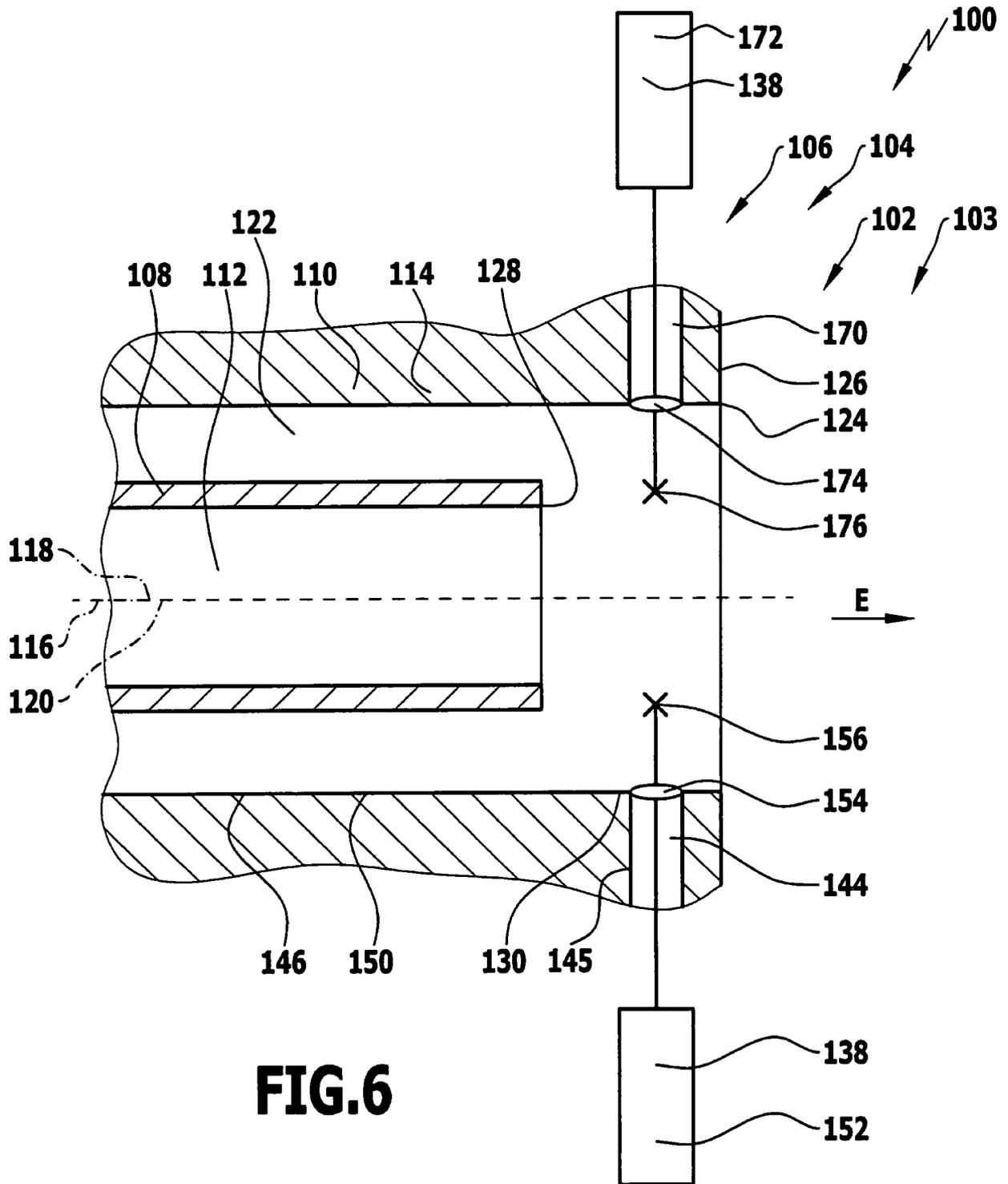
**FIG.3**



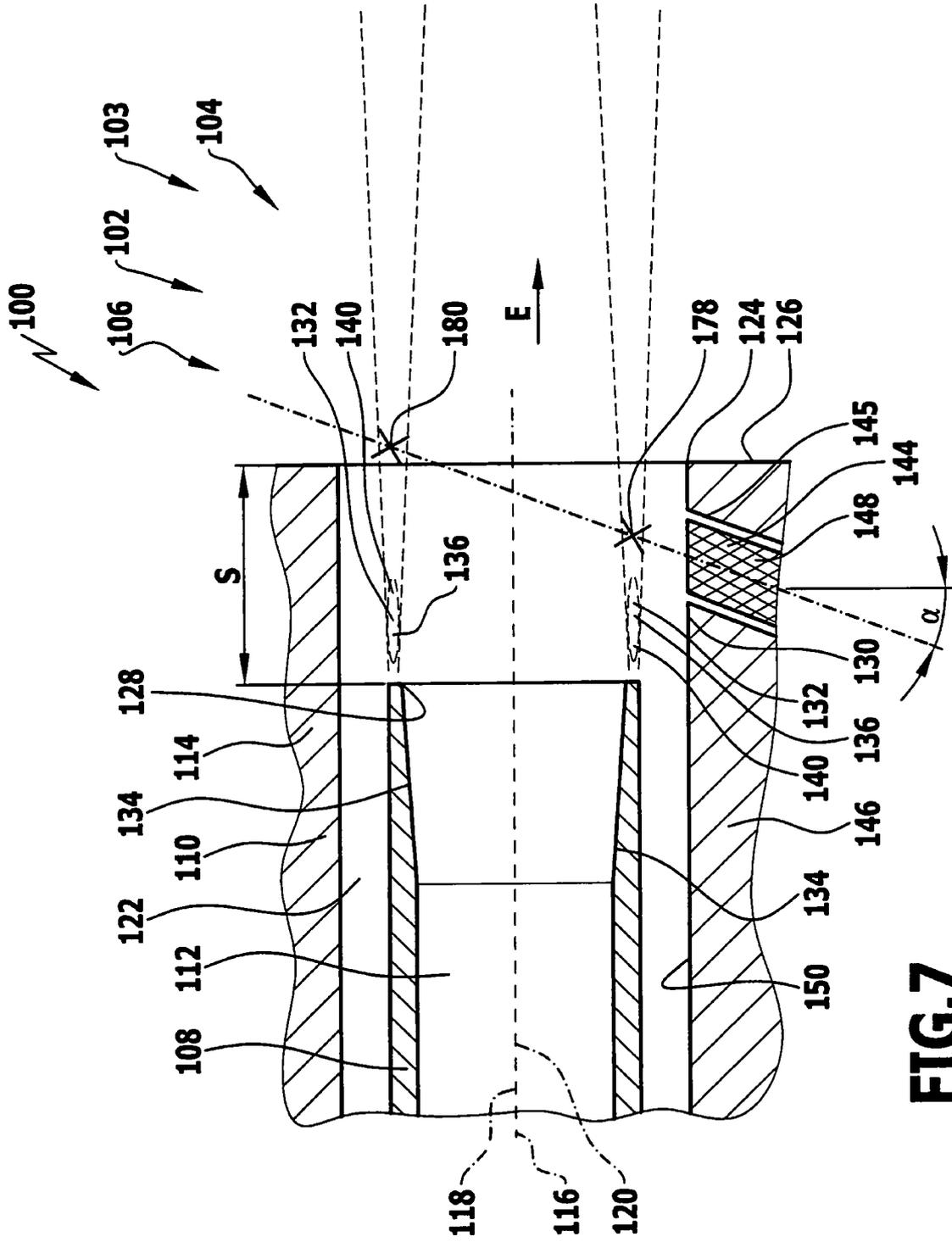
**FIG.4**



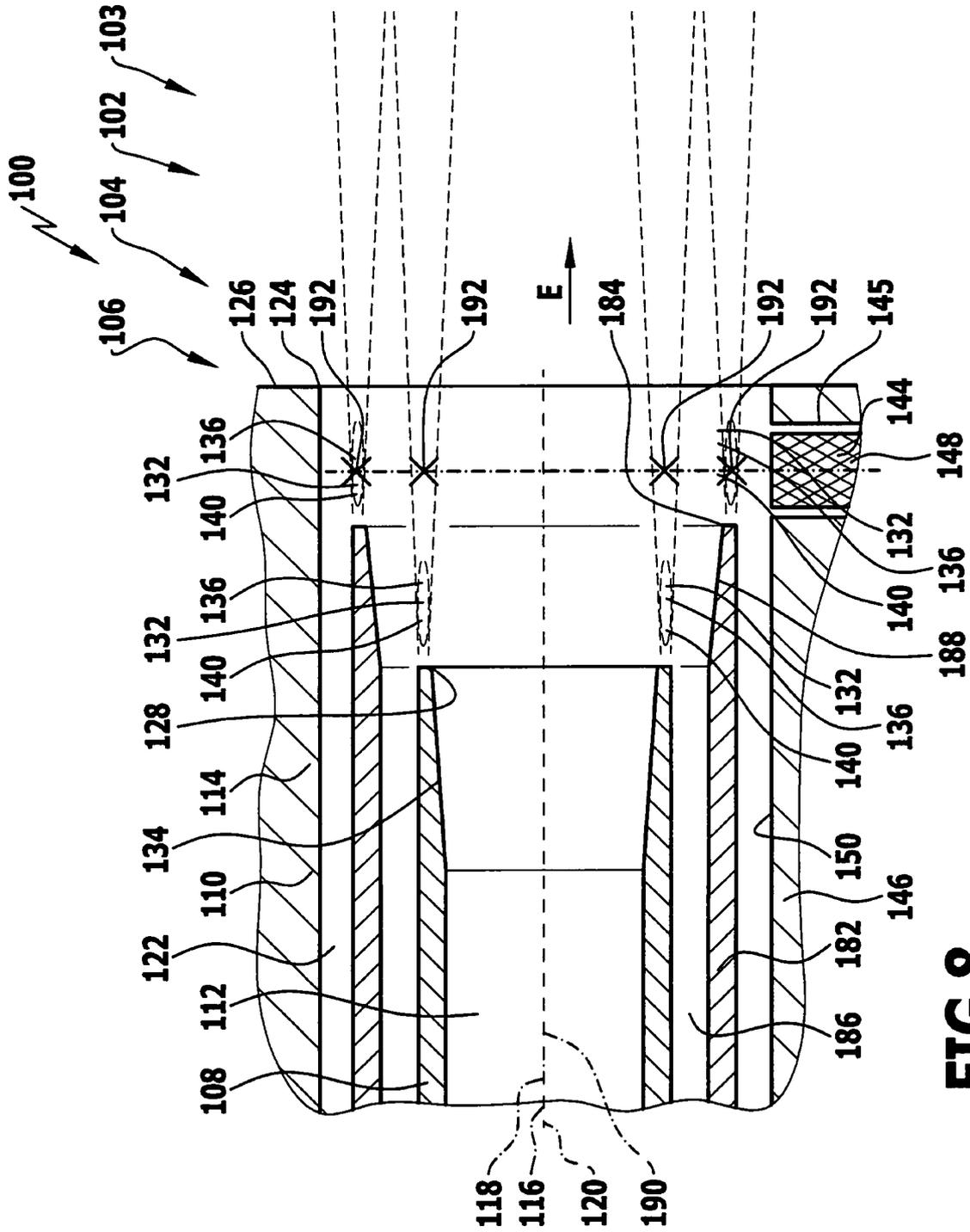
**FIG.5**



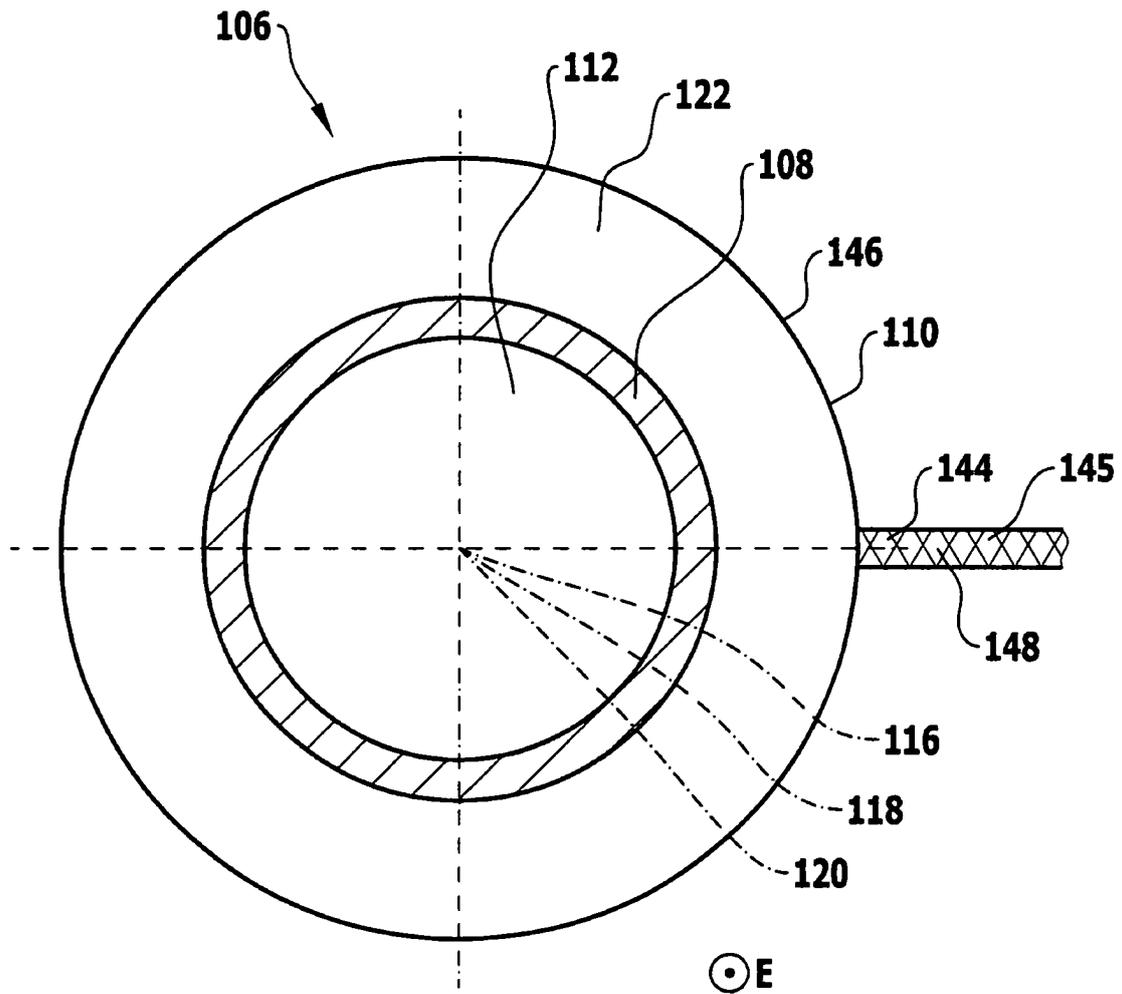
**FIG.6**



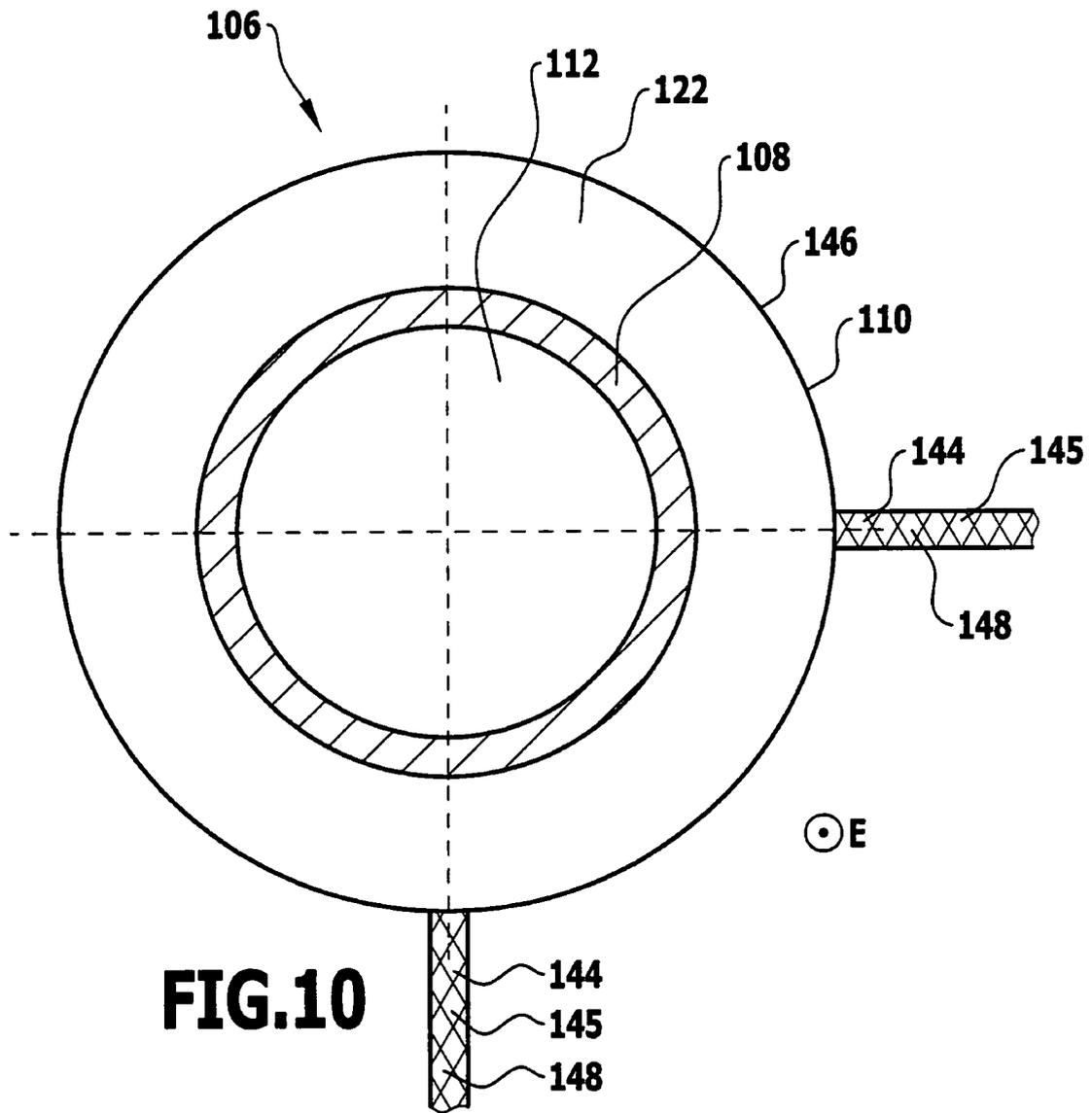
**FIG.7**

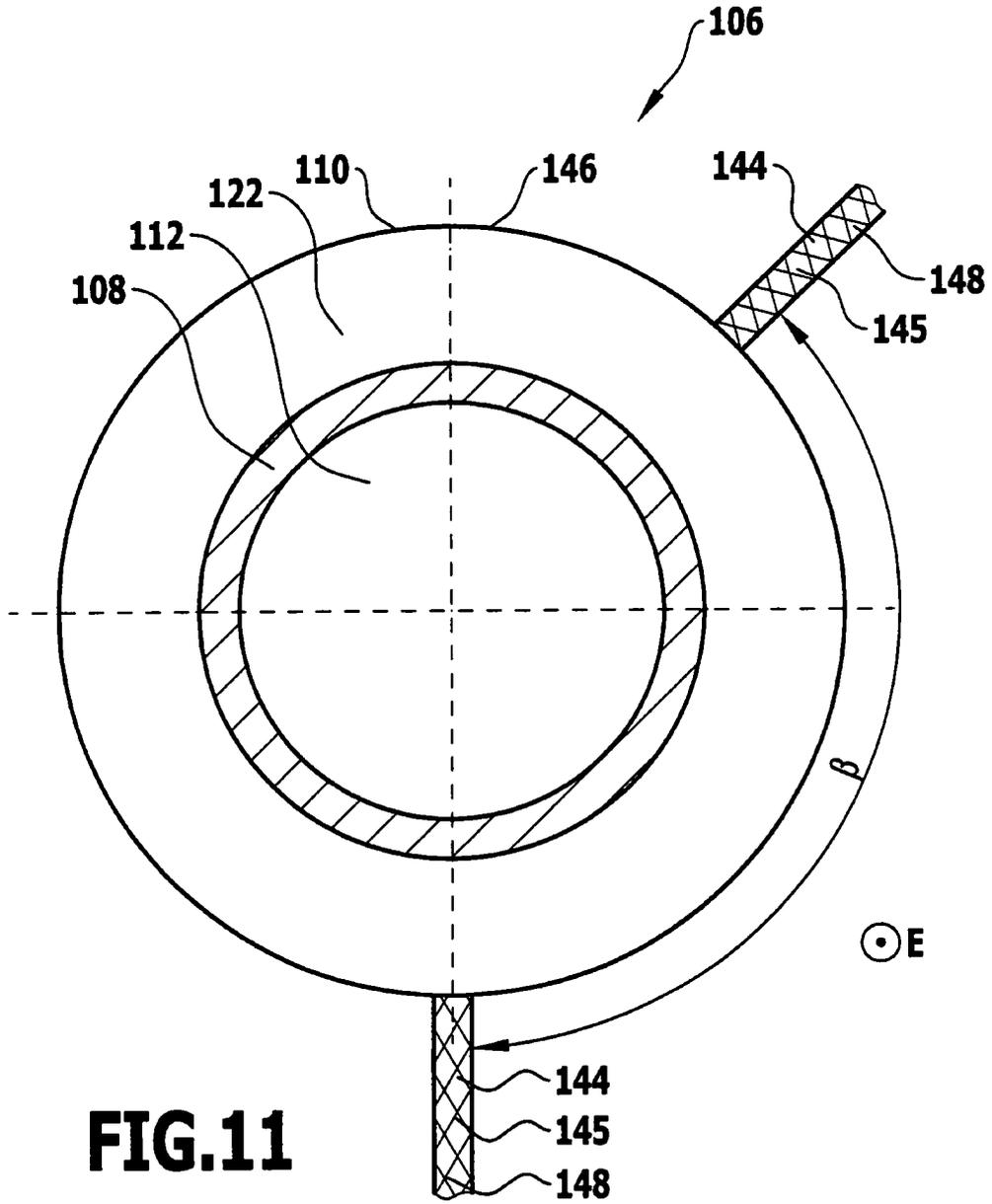


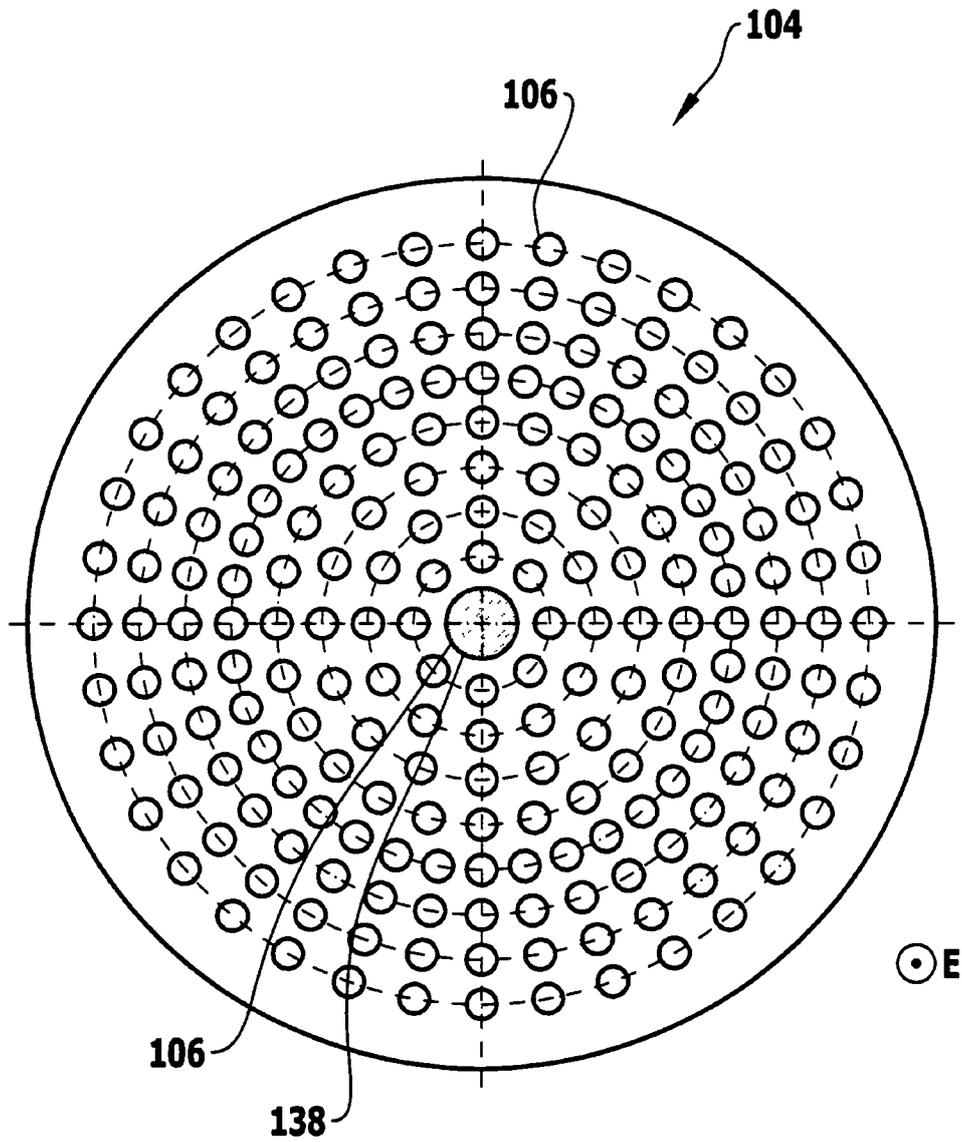
**FIG. 8**



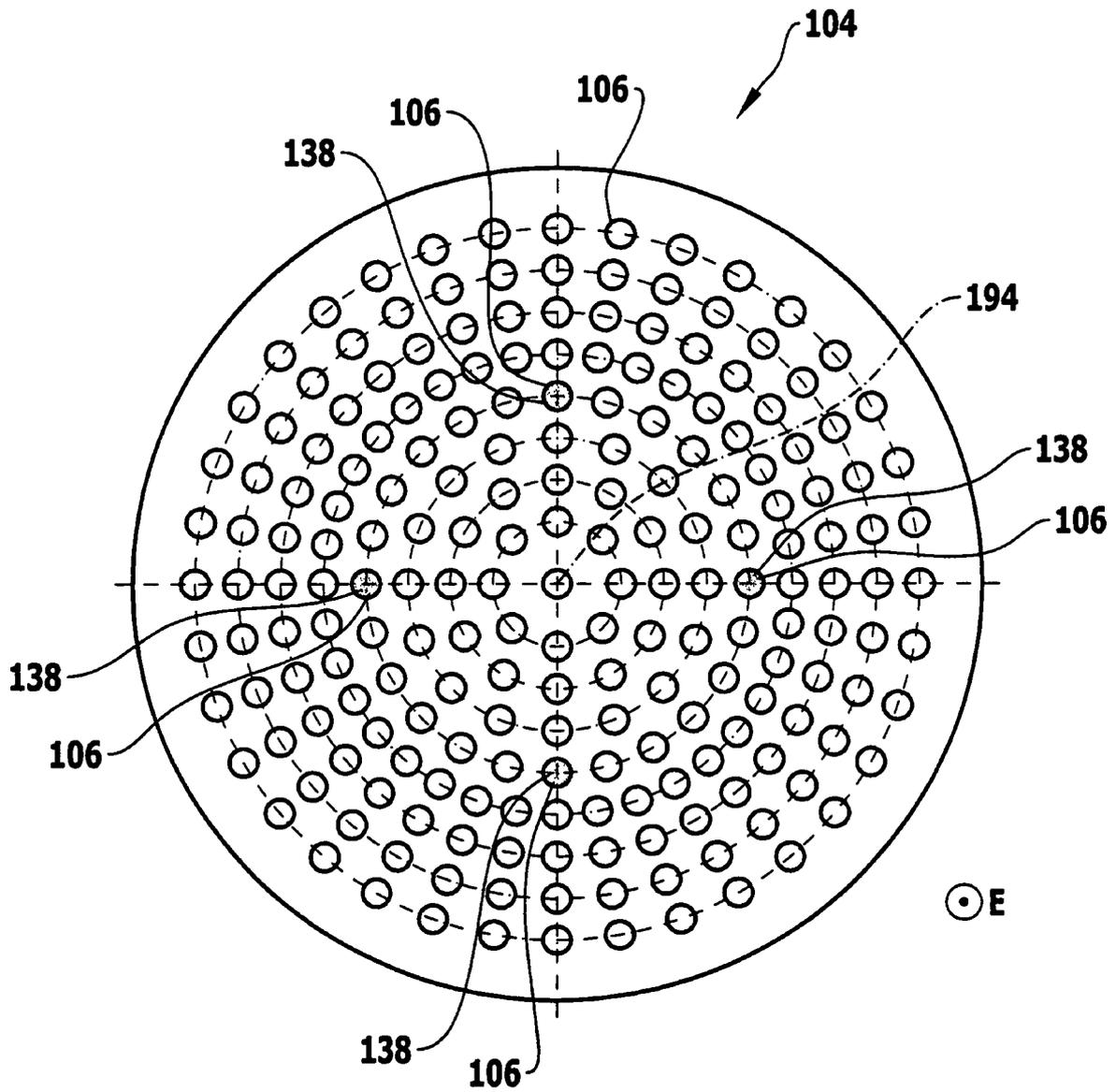
**FIG.9**



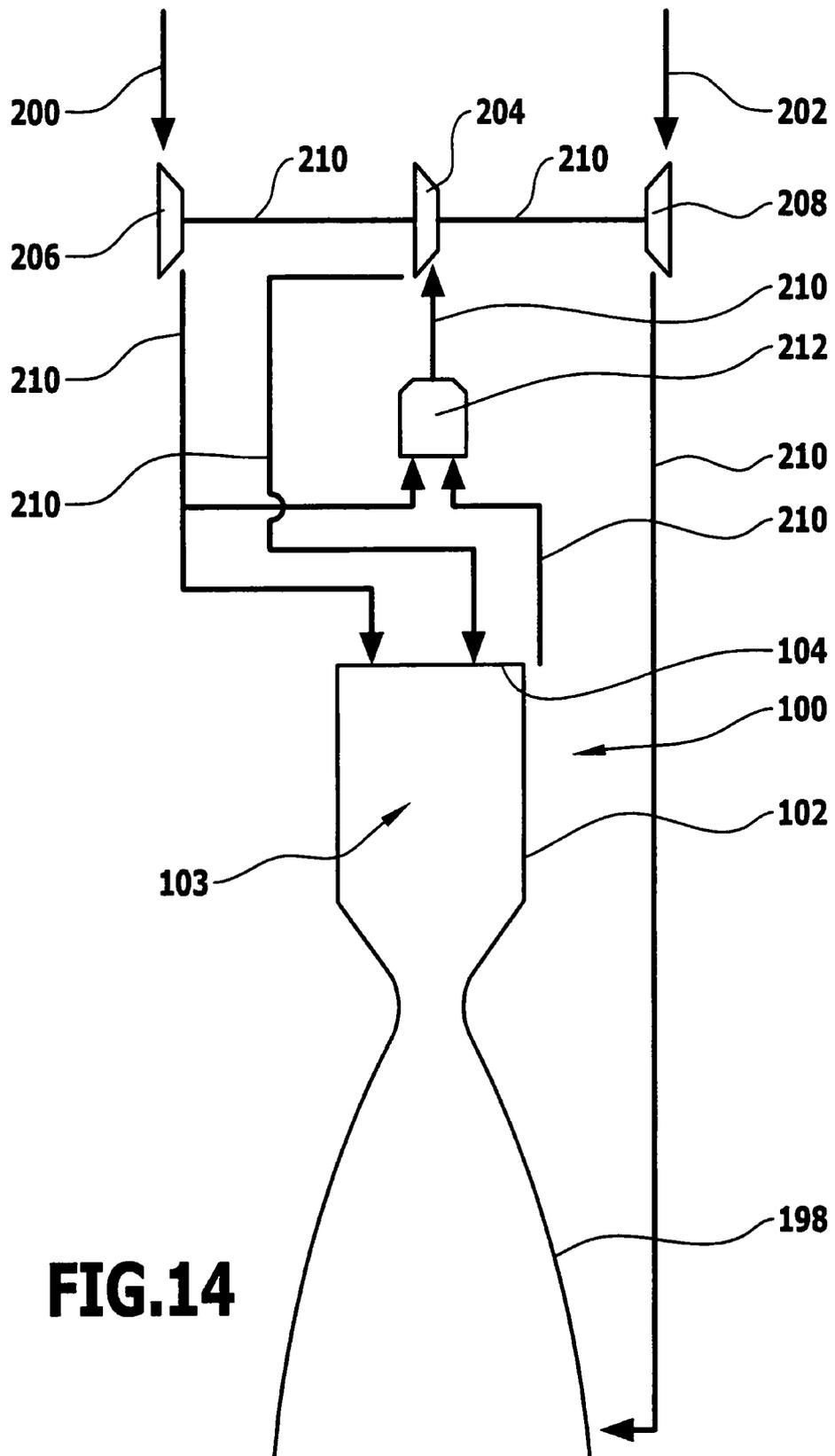




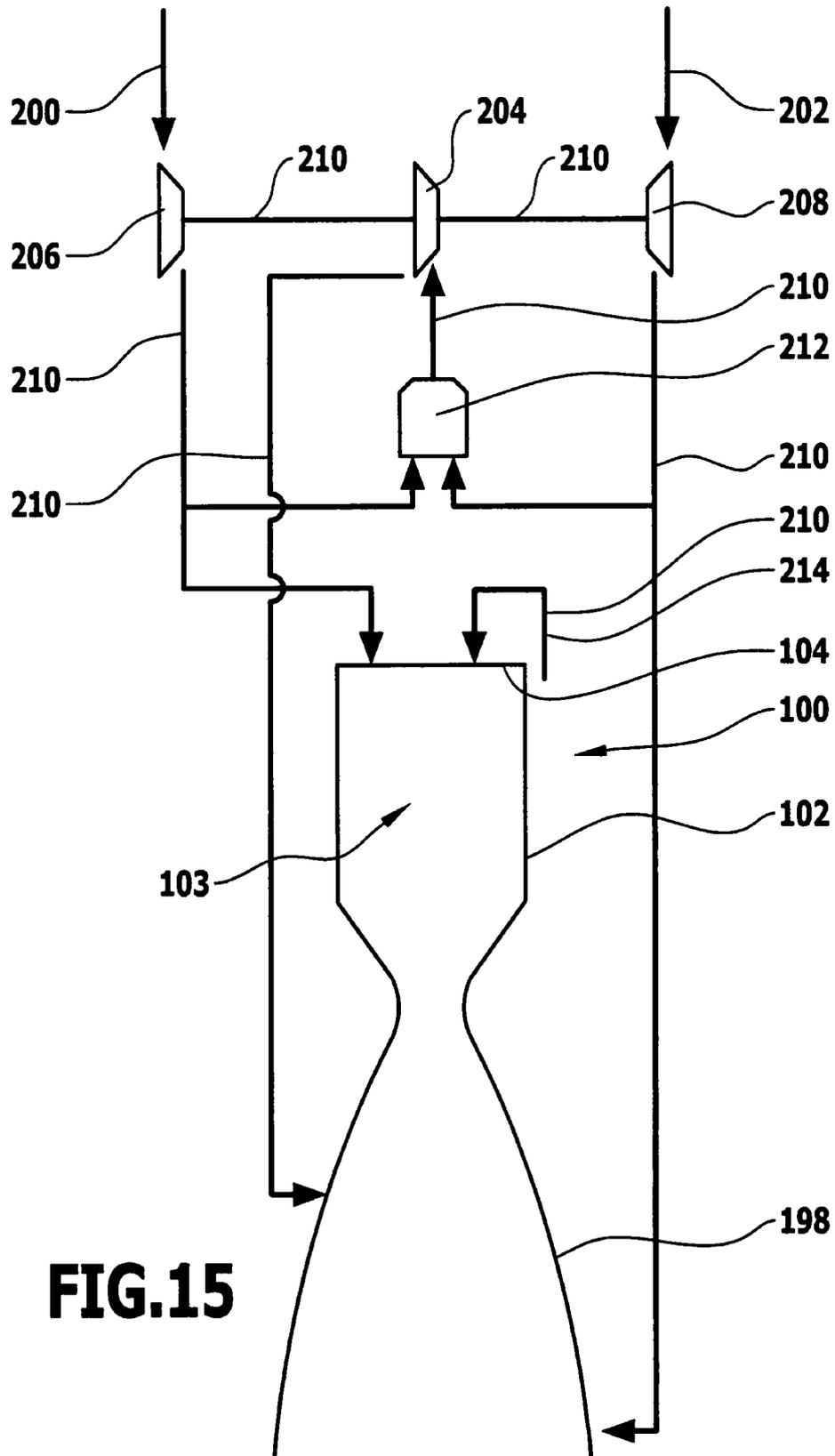
**FIG.12**



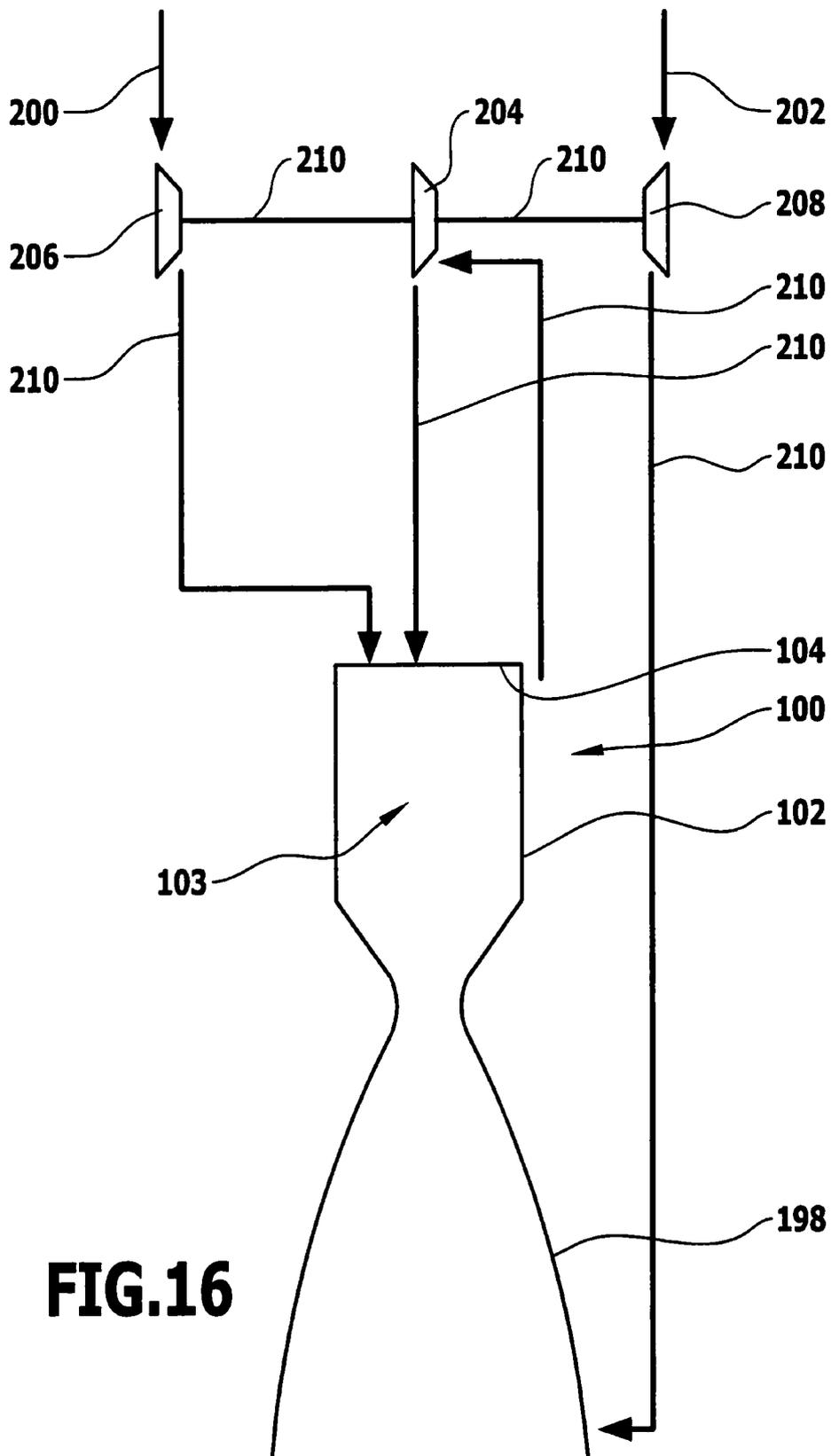
**FIG.13**



**FIG.14**



**FIG.15**



**FIG.16**