

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Januar 2022 (27.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/018119 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *F23R 3/36* (2006.01) *F23R 3/28* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/070339
- (22) Internationales Anmeldedatum: 21. Juli 2021 (21.07.2021)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2020 119 619.9
24. Juli 2020 (24.07.2020) DE
- (71) Anmelder: **FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG** [DE/DE]; Schlossplatz 4, 91054 Erlangen (DE).
- (72) Erfinder: **REICHERT, Fernando Rafael**; Falknersweg 11, 91058 Erlangen (DE). **DR. JOVICIC, Vojislav**; Rudenzstr. 11, 90409 Nürnberg (DE). **DR. ZBOGAR-RASIC, Ana**; Hegemannweg 5, 91056 Erlangen (DE).
- (74) Anwalt: **LOUIS-PÖHLAU-LOHRENTZ**; Merianstr. 26, 90409 Nürnberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,

(54) Title: NOZZLE CLUSTER

(54) Bezeichnung: DÜSENCLUSTER

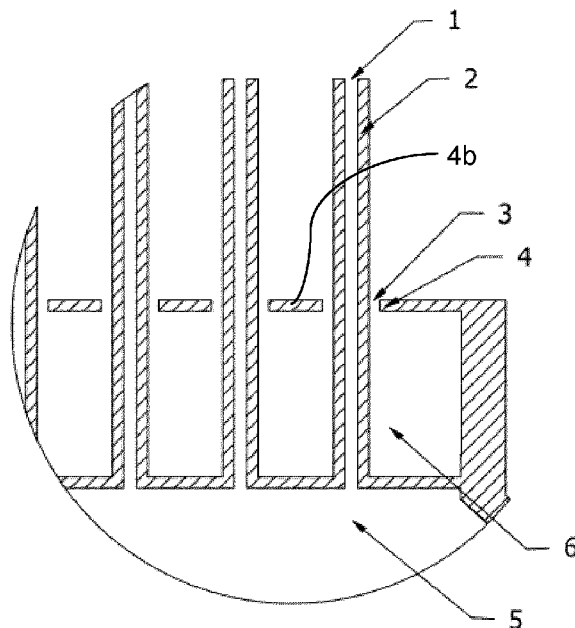


Fig. 2D

(57) Abstract: The invention relates to a nozzle cluster comprising a plurality of pairs each made up of a first (1) and a second gas outlet opening (3). In each pair the second gas outlet opening (3) runs at least partially around the first gas outlet opening (1). The invention further relates to a burner comprising at least one nozzle cluster according to the invention, to a gas turbine comprising one or more burners according to the invention, to a mixer comprising at least one nozzle cluster according to the invention, and to a method for producing a nozzle cluster according to the invention by additive manufacturing by means of 3D printing.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Düsencluster umfassend eine Vielzahl von Paaren aus jeweils einer ersten (1) und einer zweiten Gasauslassöffnung (3). Bei jedem Paar ist die zweite Gasauslassöffnung (3) um die erste Gasauslassöffnung (1)



WO 2022/018119 A1

RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

zumindest teilweise umlaufend angeordnet. Die Erfindung betrifft weiterhin einen mindestens einen erfindungsgemäßen Düsencluster umfassenden Brenner, eine einen oder mehrere erfindungsgemäße Brenner umfassende Gasturbine, einen mindestens einen erfindungsgemäßen Düsencluster umfassenden Mischer sowie ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Düsenclusters durch additive Fertigung mittels 3D Druck.

5

10 **Düsencluster**

Die Erfindung betrifft einen Düsencluster. Ein erfindungsgemäßer Düsencluster kann vorzugsweise als Brenner oder Mischer verwendet werden, insbesondere
15 als Brenner zum Verbrennen von Wasserstoff oder von wasserstoffreichen Gasmischungen (z.B. von Synthesegas bzw. kurz Syngas).

Nach dem Stand der Technik sind zum Verbrennen von Wasserstoff oder von Synthesegas vorgemischte Brenner und nicht-vorgemischte Brenner bekannt.
20 Bei vorgemischten Brennern wird Wasserstoff mit Luft bereits vor der Verbrennungszone gemischt. Dadurch kann eine magere Verbrennung erreicht werden und hohe Temperaturen können vermieden werden. Jedoch besteht bei vorgemischten Brennern die Gefahr eines Flammenrückschlags. Diese Gefahr wird bei nicht-vorgemischte Brennern vermieden, bei denen Wasserstoff erst
25 nach dem Austritt aus dem Brenner kurz vor der Flammenfront mit Luft vermischt wird. Jedoch können bei nicht-vorgemischten Brennern lokal sehr hohe Temperaturen entstehen. Diese können zu einer Beschädigung

insbesondere der Düsen führen. Außerdem führen die hohen Temperaturen zu großen Mengen von Stickoxiden.

Nach dem Stand der Technik sind weiterhin mit Brennern zum Verbrennen von
5 Wasserstoff oder von Synthesegas ausgestattete Gasturbinen bekannt, wie
beispielsweise aus der europäischen Patentanmeldung EP 2 982 907 A1. Die
Brenner der daraus bekannten Gasturbine haben eine komplizierte Geometrie.
Dadurch sind Änderungen an den Brennern, insbesondere Anpassungen der
10 Brennergeometrie und Skalierungen, das heißt Verkleinerungen oder
Vergrößerungen, aufwändig und kostspielig. Weiterhin bilden bei den
bekannten Brennern alle verfügbaren Luftdüsen und Brennstoffdüsen
gemeinsam eine Flammenfront. Die einzelnen Düsen können also nur
zusammen mit allen anderen Düsen unter Ausbildung einer gemeinsamen
Flammenfront betrieben werden.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile aus dem Stand der
Technik zu beseitigen. Insbesondere soll ein Düsencluster bzw. ein Brenner
bereitgestellt werden, bei dem die Gefahr eines Flammenrückschlags und hohe
Temperaturen vermieden sind. Weiterhin soll der Düsencluster bzw. Brenner
20 besonders flexibel betrieben werden können. Weiterhin soll ein Verfahren
angegeben werden, mit dem ein solcher Düsencluster bzw. Brenner besonders
kostengünstig hergestellt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Düsencluster gemäß dem
25 Gegenstand des Anspruchs 1, durch einen Brenner gemäß dem Gegenstand
des Anspruchs 25, durch eine Gasturbine gemäß dem Gegenstand des
Anspruchs 30, durch einen Mischer gemäß dem Gegenstand des Anspruchs 31
und durch ein Verfahren gemäß dem Gegenstand des Anspruchs 32 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind dazu jeweils in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

5 Nach Maßgabe der Erfindung umfasst der Düsencluster eine Vielzahl von Paaren aus jeweils einer ersten und einer zweiten Gasauslassöffnung. Vorzugsweise umfasst der Düsencluster eine Vielzahl von Paaren aus jeweils genau einer ersten und genau einer zweiten Gasauslassöffnung. Bei jedem Paar ist die zweite Gasauslassöffnung um die erste Gasauslassöffnung
10 zumindest teilweise umlaufend angeordnet ist. Die zweite Gasauslassöffnung kann also insbesondere bei jedem Paar teilweise umlaufend oder bei jedem Paar vollständig umlaufend um die erste Gasauslassöffnung angeordnet sein. Alternativ dazu kann die zweite Gasauslassöffnung bei einem Teil der Paare teilweise umlaufend und bei den restlichen Paaren vollständig umlaufend um die erste Gasauslassöffnung angeordnet sein.

15 In der folgenden Beschreibung wird oft exemplarisch von erster Gasauslassöffnung, von zweiter Gasauslassöffnung und von anderen Elementen im Singular gesprochen. Dies dient der einfacheren Sprechweise und der besseren Verdeutlichung der Zusammenhänge. Es versteht sich, dass
20 diese Sprechweise nicht das tatsächliche Vorhandensein von mehreren ersten Gasauslassöffnungen, mehreren zweiten Gasauslassöffnungen und von mehreren anderen Elementen ausschließt. Vielmehr sind die jeweils im Singular beschriebenen Merkmale auch entsprechend auf den Plural bezogen zu verstehen.

25 In der vorliegenden Anmeldung wird zwar konsequent von Gasen, Gasauslassöffnungen, Gasströmungsrichtung, etc. gesprochen. Trotzdem eignet sich die vorliegende Erfindung vorzugsweise ebenso für eine

Verwendung mit Flüssigkeiten. Beispielsweise kann die erste Gasauslassöffnungen mit einer Flüssigkeit beaufschlagt werden und die zweite Gasauslassöffnung mit einem Gas. Daher kann im Sinne der vorliegenden Anmeldung bei auf Gase bezogenen Erläuterungen vorzugsweise auch ein möglicher Einsatz von Flüssigkeiten mitgelesen und berücksichtigt werden.

Der Düsencluster ist so ausgestaltet, dass Gas aus den Gasauslassöffnungen ausströmen kann. Vorzugsweise kann ein erstes Gas aus den ersten Gasauslassöffnungen und/oder ein zweites Gas aus den zweiten Gasauslassöffnungen strömen. Die Gasströmungsrichtung ist an den Gasauslassöffnungen vorzugsweise jeweils von einem Inneren des Düsenclusters zu einem Äußeren des Düsenclusters gerichtet.

Insbesondere handelt es sich bei dem ersten Gas und dem zweiten Gas um miteinander reaktionsfähige Gase, insbesondere stark exotherm reagierende Gase, beispielsweise Wasserstoff und Sauerstoff bzw. Wasserstoff und Luft. Ein weiteres Beispiel kann eine Mischung aus Wasserstoff und Erdgas als erstes Gas oder eine Mischung aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid (Synthesegas) als erstes Gas und Luft als zweites Gas sein. Durch die Zuführung des ersten Gases an die erste Gasauslassöffnung bzw. an die ersten Gasauslassöffnungen und die davon getrennte Zuführung des zweiten Gases an die zweite Gasauslassöffnung bzw. an die zweiten Gasauslassöffnungen kann vorteilhafterweise eine Vermischung des ersten Gases mit dem zweiten Gas vor dem Ausströmen aus den Gasauslassöffnungen vermieden werden.

25

Im Sinne der vorliegenden Anmeldung ist ein „Paar“ vorzugsweise gleichbedeutend mit einer einzelnen Düse. Unter einem „Paar“ ist vorzugsweise eine Düse mit einer ersten und einer zweiten Gasauslassöffnung, insbesondere

mit genau einer ersten und genau einer zweiten Gasauslassöffnung zu verstehen. Weiterhin kann ein „Paar“ im Sinne der vorliegenden Anmeldung mehrere erste und/oder mehrere zweite Gasauslassöffnungen umfassen. Beispielsweise kann ein „Paar“ eine erste Gasauslassöffnung und mehrere
5 zweite Gasauslassöffnungen, insbesondere zwei zweite Gasauslassöffnungen, umfassen. Als weiteres Beispiel kann ein „Paar“ mehrere erste Gasauslassöffnungen, insbesondere zwei erste Gasauslassöffnungen, und eine zweite Gasauslassöffnung umfassen. Mehrere erste Gasauslassöffnungen an einem „Paar“ können beispielsweise durch Unterteilen einer ersten
10 Gasauslassöffnung in mehrere Teilbereiche gebildet werden. Mehrere zweite Gasauslassöffnungen an einem „Paar“ können entsprechend beispielsweise durch Unterteilen einer zweiten Gasauslassöffnung in mehrere Teilbereiche gebildet werden. Die einzelnen Paare aus der Vielzahl von Paaren können jeweils die gleiche Zusammenstellung aus einer oder mehreren ersten
15 Gasauslassöffnungen und einer oder mehreren zweiten Gasauslassöffnungen aufweisen. Alternativ können einzelne Paare aus der Vielzahl von Paaren verschiedene Zusammenstellungen aus einer oder mehreren ersten Gasauslassöffnungen und einer oder mehreren zweiten Gasauslassöffnungen aufweisen. Die Formulierung „Vielzahl von Paaren“ bzw. „Vielzahl von Paaren
20 aus erster und zweiter Gasauslassöffnung“ deckt vorzugsweise die soeben genannten Möglichkeiten ab.

Die ersten Gasauslassöffnungen weisen vorzugsweise jeweils die gleiche oder im Wesentlichen die gleiche Querschnittsform auf. Alternativ dazu kann die
25 Querschnittsform der ersten Gasauslassöffnungen für verschiedene Paare variieren. Die Variation kann dabei positionsabhängig sein. Die ersten Gasauslassöffnungen haben vorzugsweise einen runden, elliptischen, ovalen, dreieckigen, viereckigen, insbesondere rechteckigen oder quadratischen,

und/oder hexagonalen Querschnitt. In einigen Ausführungsformen weisen die ersten Gasauslassöffnungen dabei eine langgezogene Querschnittsform und/oder eine Schlitzform auf.

- 5 Die zweiten Gasauslassöffnungen weisen vorzugsweise jeweils die gleiche oder im Wesentlichen die gleiche Querschnittsform auf. Alternativ dazu kann die Querschnittsform der zweiten Gasauslassöffnungen für verschiedene Paare variieren. Die Variation kann dabei positionsabhängig sein. Die zweiten Gasauslassöffnungen bilden vorzugsweise jeweils einen Spalt. Die zweiten
- 10 Gasauslassöffnungen haben vorzugsweise einen runden, elliptischen, ovalen, dreieckigen, viereckigen, insbesondere rechteckigen oder quadratischen, und/oder hexagonalen Querschnitt. Die zweiten Gasauslassöffnungen bzw. die Spalte können dabei auch nur Teilbereiche solcher Formen als Querschnitt aufweisen. Es können Teilbereiche in Bezug auf die Umlaufrichtung und/oder
- 15 Teilbereiche in Bezug auf die radiale Richtung sein. Beispielsweise können die zweiten Gasauslassöffnungen bzw. die Spalte ein Viertelsegment eines Kreisrings als Querschnitt aufweisen. In einigen Ausführungsformen weisen die zweiten Gasauslassöffnungen dabei eine langgezogene Querschnittsform und/oder eine Schlitzform auf.

20

- Weiterhin ist im Sinne der vorliegenden Anmeldung der Begriff „Paar“ nicht notwendigerweise einschränkend auf eine Anzahl von genau zwei Gasauslassöffnungen zu verstehen. In besonderen Ausgestaltungen kann jedes Paar zusätzlich dritte und/oder vierte Gasauslassöffnungen umfassen. Alternativ
- 25 kann lediglich ein Anteil der Paare dritte und/oder vierte Gasauslassöffnungen umfassen. Die dritte Gasauslassöffnung kann zumindest teilweise um die erste und/oder zweite Gasauslassöffnung umlaufend angeordnet sein. Die vierte Gasauslassöffnung kann zumindest teilweise um die erste, zweite und/oder

5 dritte Gasauslassöffnung umlaufend angeordnet sein. Die zur Anordnung der zweiten Gasauslassöffnungen bezüglich der ersten Gasauslassöffnungen in dieser Anmeldung beschriebenen weiteren Merkmale lassen sich auf die Anordnung der dritten Gasauslassöffnungen bezüglich der zweiten und/oder ersten Gasauslassöffnungen und ggf. auf die Anordnung der vierten Gasauslassöffnungen bezüglich der dritten, zweiten und/oder ersten Gasauslassöffnungen übertragen.

10 Die dritte Gasauslassöffnung könnte im Beispiel einer Gasturbine mit aus dem Düsencluster gebildeten Brennern bei jedem Paar zusätzlich Sekundärluft bereitstellen. Bei der Sekundärluft kann es sich um Abgas handeln. In diesem Beispiel könnte das erste Gas Wasserstoff und das zweite Gas Primärluft sein. Die durch die dritte Gasauslassöffnung bereitgestellte Sekundärluft nimmt vorzugsweise nicht an der Verbrennung teil. Stattdessen umströmt die

15 Sekundärluft vorzugsweise jeweils die durch die Reaktion des ersten Gases mit dem zweiten Gas hervorgerufene Flamme. Dabei mischt sich die Sekundärluft vorzugsweise mit dem Abgas der Verbrennung. Dies führt vorteilhafterweise zu einer Reduzierung der Endtemperatur und damit zu einer Begrenzung der Temperatur des Abgases vor den Turbinenschaufeln.

20 An Stelle der Formulierung „vollständig umlaufend“ kann im Sinne dieser Anmeldung auch die Formulierung „umschließend“ verwendet werden.

25 Alternativ könnte der Düsencluster auch mit dem Begriff „Porencluster“ bezeichnet werden. Durch diesen Begriff kommt die geringe Öffnungsgröße der daher Poren ähnelnden Gasauslassöffnungen sowie die große Anzahl der Gasauslassöffnungen zum Ausdruck.

Vorzugsweise sind die Gasauslassöffnungen eines Paares derart zueinander benachbart angeordnet, bzw. in einem solch geringen Abstand zueinander angeordnet, dass sich die aus den Gasauslassöffnungen ausströmenden Gase unmittelbar nach dem Austritt miteinander vermischen. Eine Reduzierung der Mischlänge ermöglicht dabei eine besonders kompakte Bauweise.

Insbesondere ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Paaren vorzugsweise größer als der Abstand zwischen den Gasauslassöffnungen eines Paares. Besonders bevorzugt ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Paaren wesentlich größer als der Abstand zwischen den Gasauslassöffnungen eines Paares. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Paaren kann beispielsweise um einen Faktor 3 bis 20, insbesondere um einen Faktor 5 bis 10, größer sein als der Abstand zwischen den Gasauslassöffnungen eines Paares. Dadurch bleibt die Mischung der aus den Gasauslassöffnungen eines Paares ausströmenden Gase unabhängig von den aus den Gasauslassöffnungen der benachbarten Paare ausströmenden Gasen. Entsprechend bleibt auch eine Reaktion zwischen der aus den Gasauslassöffnungen eines Paares ausströmenden Gasen unabhängig von den aus den Gasauslassöffnungen der benachbarten Paare ausströmenden Gasen. Bei einem aus dem Düsencluster gebildeten Brenner verläuft die Verbrennung also für jedes Paar unabhängig von den benachbarten Paaren. Anstatt einer gemeinsamen Flammenfront wird vorteilhafterweise also eine Vielzahl von einzelnen Flammen erzeugt.

Bei einem aus dem Düsencluster gebildeten Brenner besteht vorteilhafterweise keine Gefahr eines Flammenrückschlags.

Außerdem kann der Düsencluster für den Fall des Zuführens einer zündbaren Mischung (z.B. Mischung aus Erdgas und Luft) beispielsweise als erstem Gas durch Vorsehen eines hinreichend geringen hydraulischen Durchmessers der ersten Verbindungsleitungen vorteilhafterweise als Flammensperre
5 funktionieren.

Aufgrund der Unabhängigkeit der einzelnen Paare besteht bei einem aus dem Düsencluster gebildeten Brenner vorteilhafterweise die Möglichkeit, die Brennerleistung durch Ausschalten von einzelnen Paaren zu reduzieren. Ein
10 Ausschalten erfolgt dabei insbesondere durch ein Absperrn der Zufuhr des ersten und/oder zweiten Gases zu den entsprechenden Gasauslassöffnungen der betreffenden Paare durch ein Absperrmittel. Dabei ist es beispielsweise möglich, die Düsen in einem bestimmten Bereich oder in bestimmten Bereichen des Düsenclusters auszuschalten. In einem weiteren Beispiel ist es möglich,
15 jedes zweites auszuschalten und dadurch die Brennerleistung zu halbieren.

Vorteilhafterweise ist eine Vergrößerung eines bestehenden Düsenclusters um weitere Paare bzw. um weitere Düsen, ein sogenanntes Upscaling, unproblematisch. Weiterhin können zusätzliche Paare bzw. zusätzliche Düsen
20 auf beliebigen Geometrien entlang einer Oberfläche vorgesehen werden.

Weiterhin erlaubt der erfindungsgemäße Düsencluster vorteilhafterweise ein Mischen kleinster Mengen an Gas, das heißt ein sogenanntes Micromixing.

25 Darüber hinaus homogenisiert der erfindungsgemäße Düsencluster vorteilhafterweise das Geschwindigkeitsfeld, insbesondere bei großen Querschnitten.

Der erfindungsgemäße Düsencluster eignet sich besonders für eine additive Fertigung mittels 3D-Druck. Dabei fallen vorteilhafterweise besonders geringe Herstellungskosten an.

- 5 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist bei jedem Paar die zweite Gasauslassöffnung konzentrisch und/oder symmetrisch um die erste Gasauslassöffnung herum angeordnet. Insbesondere ist die zweite Gasauslassöffnung bei jedem Paar achsen-, punkt- und/oder spiegelsymmetrisch, um die erste Gasauslassöffnung herum angeordnet. In einigen
- 10 Ausführungsformen ist die zweite Gasauslassöffnung im Wesentlichen konzentrisch und/oder im Wesentlichen symmetrisch um die erste Gasauslassöffnung herum angeordnet.

- Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst der
- 15 Düsencluster 10 bis 10.000 Paare aus jeweils einer ersten und einer zweiten Gasauslassöffnung, vorzugsweise 50 bis 2.000 Paare aus jeweils einer ersten und einer zweiten Gasauslassöffnung, besonders bevorzugt 100 bis 1.000 Paare aus jeweils einer ersten und einer zweiten Gasauslassöffnung. Insbesondere umfasst der Düsencluster 10 bis 10.000 Paare aus jeweils genau
- 20 einer ersten und genau einer zweiten Gasauslassöffnung, vorzugsweise 50 bis 2.000 Paare aus jeweils genau einer ersten und genau einer zweiten Gasauslassöffnung, besonders bevorzugt 100 bis 1.000 Paare aus jeweils genau einer ersten und genau einer zweiten Gasauslassöffnung.

- 25 Wie oben bereits erläutert kann ein „Paar“ im Sinne der vorliegenden Anmeldung mehrere erste und/oder mehrere zweite Gasauslassöffnungen umfassen. Entsprechend kann die Anzahl der ersten und/oder zweiten Gas-

auslassöffnungen die im vorigen Absatz genannte Anzahl der Paare übersteigen.

Vorzugsweise umfasst der Düsencluster 10 bis 10.000 erste

- 5 Gasauslassöffnungen, bevorzugt 50 bis 2.000 Paare erste Gasauslassöffnungen, besonders bevorzugt 100 bis 1.000 erste Gasauslassöffnungen. Alternativ oder zusätzlich umfasst der Düsencluster vorzugsweise 10 bis 10.000 zweite Gasauslassöffnungen, bevorzugt 50 bis 2.000 Paare zweite Gasauslassöffnungen, besonders bevorzugt 100 bis 1.000
- 10 zweite Gasauslassöffnungen.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weisen die ersten Gasauslassöffnungen einen hydraulischen Durchmesser im Bereich von 0,1 mm bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 0,3 mm bis 3 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 mm bis 1,0 mm auf.

- 15 Die der Vielzahl von Paaren zugehörigen ersten Gasauslassöffnungen weisen vorzugsweise jeweils den gleichen oder im Wesentlichen den gleichen hydraulischen Durchmesser auf. Alternativ dazu kann der hydraulischen Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen für verschiedene Paare
- 20 variieren. Die Variation kann dabei positionsabhängig sein. Beispielsweise kann der hydraulische Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen von zentral im Düsencluster gelegenen Paaren kleiner sein als der hydraulische Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen von peripher im Düsencluster gelegenen Paaren. Alternativ kann der hydraulische Durchmesser der ersten Gasauslass-
- 25 öffnungen von zentral im Düsencluster gelegenen Paaren größer sein als der hydraulische Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen von peripher im Düsencluster gelegenen Paaren.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die ersten Gasauslassöffnungen jeweils durch eine ringförmige Zwischenwand von den paarweise korrespondierenden zweiten Gasauslassöffnungen beabstandet. Die ringförmige Zwischenwand weist vorzugsweise eine Ringbreite von 0,2 mm bis 5 1 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,4 mm bis 0,7 mm, insbesondere im Bereich von 0,5 mm bis 0,6 mm auf. Unter der Ringbreite ist hier also die Wandstärke der ringförmigen Zwischenwand zu verstehen. Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter einer ringförmigen Geometrie eine in sich geschlossene Geometrie verstanden. Eine genauere Querschnittsform ist dabei 10 nicht festgelegt. Eine ringförmige Zwischenwand ist also eine in sich geschlossene Zwischenwand, ohne dass aus dem Begriff „ringförmig“ eine bestimmte Querschnittsform der ringförmigen Zwischenwand abzuleiten wäre. Die Zwischenwand ist vorzugsweise kreisringförmig. Alternativ kann die ringförmige Zwischenwand einen elliptischen, ovalen, dreieckigen, viereckigen, 15 insbesondere rechteckigen oder quadratischen, oder hexagonalen Querschnitt haben. Vorteilhafterweise sind viereckige Querschnitte besonders einfach druckbar.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die 20 zweiten Gasauslassöffnungen jeweils einen Spalt, vorzugsweise einen Ringspalt. Die zweiten Gasauslassöffnungen weisen vorzugsweise eine Spaltbreite im Bereich von 0,3 mm bis 3 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,4 mm bis 2 mm, insbesondere im Bereich von 0,5 mm bis 1 mm auf.

25 Die der Vielzahl von Paaren zugehörigen zweiten Gasauslassöffnungen weisen vorzugsweise jeweils die gleiche oder im Wesentlichen die gleiche Spaltbreite auf. Alternativ dazu kann die Spaltbreite der zweiten Gasauslassöffnungen für verschiedene Paare variieren. Die Variation kann dabei positionsabhängig sein.

Beispielsweise kann die Spaltbreite der zweiten Gasauslassöffnungen von zentral im Düsencluster gelegenen Paaren kleiner sein als die Spaltbreite der zweiten Gasauslassöffnungen von peripher im Düsencluster gelegenen Paaren. Alternativ kann die Spaltbreite der zweiten Gasauslassöffnungen von zentral im
5 Düsencluster gelegenen Paaren größer sein als die Spaltbreite der zweiten Gasauslassöffnungen von peripher im Düsencluster gelegenen Paaren.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter einem Ringspalt ein in sich geschlossener Spalt verstanden. Eine genauere Querschnittsform ist dabei
10 nicht festgelegt. Der Ringspalt hat vorzugsweise einen kreisringförmigen Querschnitt. Alternativ kann der Ringspalt einen elliptischen, ovalen, dreieckigen, viereckigen, insbesondere rechteckigen oder quadratischen, oder hexagonalen Querschnitt haben.

15 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die ersten Gasauslassöffnungen durch eine erste Verteilkammer gespeist angeordnet, und/oder die zweiten Gasauslassöffnungen durch eine zweite Verteilkammer gespeist angeordnet. Die erste und die zweite Verteilkammer sind dabei voneinander getrennt und vorzugsweise in Gasströmungsrichtung voneinander
20 beabstandet.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die zweite Verteilkammer in Gasströmungsrichtung zwischen der ersten Verteilkammer und den ersten und/oder zweiten Gasauslassöffnungen angeordnet.
25

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist für jedes Paar eine erste Verbindungsleitung der ersten Gasauslassöffnung zugeordnet, so dass die erste Gasauslassöffnung durch die erste Verbindungsleitung mit der

ersten Verteilkammer verbunden ist. Die ringförmige Zwischenwand gehört vorzugsweise der ersten Verbindungsleitung an. Die ringförmige Zwischenwand kann vollständig oder teilweise die erste Verbindungsleitung bilden.

- 5 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die erste Verbindungsleitung derart angeordnet, dass sie die zweite Verteilkammer durchgreift. Vorzugsweise ist die erste Verbindungsleitung für jedes Paar derart angeordnet, dass sie die zweite Verteilkammer durchgreift.
- 10 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist für jedes Paar eine zweite Verbindungsleitung der zweiten Gasauslassöffnung zugeordnet, so dass die zweite Gasauslassöffnung durch die zweite Verbindungsleitung mit der zweiten Verteilkammer verbunden ist. Vorzugsweise sind die erste und zweite Verbindungsleitung paarweise angeordnet. Die erste und zweite Verbindungs-
- 15 leitung können vorzugsweise einen zueinander koaxialen Verlauf aufweisen.

- Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung durchgreift für jedes Paar die erste Verbindungsleitung die korrespondierende zweite Verbindungsleitung. Vorzugsweise durchgreift für jedes Paar die erste
- 20 Verbindungsleitung die zweite Verteilkammer und die korrespondierende zweite Verbindungsleitung.

- Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die erste und die zweite Gasauslassöffnung eines Paares in der gleichen Ebene
- 25 angeordnet. Vorzugsweise sind die erste und die zweite Gasauslassöffnung eines jeden Paares in der gleichen Ebene angeordnet.

Mit anderen Worten ausgedrückt, liegt die erste Gasauslassöffnung in Gasströmungsrichtung vorzugsweise auf gleicher Höhe wie die paarweise korrespondierende zweite Gasauslassöffnung. Besonders bevorzugt befinden sich die erste und die zweite Gasauslassöffnung eines jeden Paares in

5 Gasströmungsrichtung auf gleicher Höhe.

Alternativ dazu können die ersten Gasauslassöffnungen in einer ersten Ebene und die zweiten Gasauslassöffnungen in einer von der ersten Ebene verschiedenen zweiten Ebene angeordnet sein. Insbesondere kann die erste

10 Gasauslassöffnung jeweils bezüglich der paarweise korrespondierenden zweiten Gasauslassöffnung hervorstehen, vorzugsweise um bis zu 20 mm, besonders bevorzugt um bis zu 10 mm. In diesem Fall ragt die erste Verbindungsleitung vorzugsweise jeweils aus der zweiten Verbindungsleitung

15 heraus.

Mit anderen Worten ausgedrückt, ist die erste Gasauslassöffnung in Gasströmungsrichtung vorzugsweise weiter stromabwärts angeordnet als die paarweise korrespondierende zweite Gasauslassöffnung. Besonders bevorzugt ist für jedes Paar die erste Gasauslassöffnung in Gasströmungsrichtung

20 vorzugsweise weiter stromabwärts angeordnet als die zweite Gasauslassöffnung.

Die Ebene (bzw. erste Ebene und/oder die zweite Ebene) verläuft dabei vorzugsweise horizontal oder im Wesentlichen horizontal. Alternativ kann die

25 Ebene (bzw. erste Ebene und/oder die zweite Ebene) in einer Schräge oder vertikal verlaufen. Weiterhin kann die Ebene (bzw. erste Ebene und/oder die zweite Ebene) eine Biegung und/oder Wölbung aufweisen.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst der Düsencluster einen ersten Gaseinlass und/oder einen zweiten Gaseinlass. Der erste Gaseinlass ist über eine erste Verteilleitung mittelbar oder unmittelbar mit den ersten Gasauslassöffnungen verbunden. Zusätzlich oder alternativ ist der
5 zweite Gaseinlass über eine zweite Verteilleitung mittelbar oder unmittelbar mit den zweiten Gasauslassöffnungen verbunden.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die erste Verteilleitung über die erste Verteilkammer mit den ersten Gasauslass-
10 öffnungen verbunden. Vorzugsweise ist die erste Verteilleitung über die erste Verteilkammer und über die ersten Verbindungsleitungen mit den ersten Gasauslassöffnungen verbunden. Zusätzlich oder alternativ ist die zweite Verteilleitung über die zweite Verteilkammer mit den zweiten
15 Gasauslassöffnungen verbunden. Vorzugsweise ist dabei die zweite Verteilleitung über die zweite Verteilkammer und über die zweiten Verbindungsleitungen mit den zweiten Gasauslassöffnungen verbunden.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die erste Verteilleitung derart mit Verästelungen, insbesondere mit vielfachen
20 Verästelungen, ausgestaltet, dass die erste Verteilleitung mit der ersten Gasauslassöffnung eines jeden Paares unmittelbar verbunden ist. Die erste Verteilleitung weist dabei vorzugsweise mehrere erste Gabelungsebenen auf. Besonders bevorzugt sind 2 bis 8 erste Gabelungsebenen. In jeder ersten Gabelungsebene vervielfacht sich dabei die Anzahl der Äste der ersten
25 Verteilleitung. Vorzugsweise verdoppelt, verdreifacht oder vervierfacht sich dabei die Anzahl der Äste der ersten Verteilleitung. In Gasströmungsrichtung stromabwärts der letzten ersten Gabelungsebene kann die erste Verteilleitung vorzugsweise in die ersten Verbindungsleitungen übergehen. In dieser

Ausführungsform gehören die ersten Verbindungsleitungen der ersten Verteilleitung 7a an. Die erste Verteilleitung kann vorzugsweise 16 bis 1024 erste Verbindungsleitungen umfassen. Zusätzlich oder alternativ ist die zweite Verteilleitung derart mit Verästelungen, insbesondere mit vielfachen

5 Verästelungen, ausgestaltet, dass die zweite Verteilleitung mit der zweiten Gasauslassöffnung eines jeden Paares unmittelbar verbunden ist. Die zweite Verteilleitung weist dabei vorzugsweise mehrere zweite Gabelungsebenen auf. Besonders bevorzugt sind 2 bis 8 zweite Gabelungsebenen. In jeder zweiten Gabelungsebene vervielfacht sich dabei die Anzahl der Äste der zweiten

10 Verteilleitung. Vorzugsweise verdoppelt, verdreifacht oder vervierfacht sich dabei die Anzahl der Äste der zweiten Verteilleitung. In Gasströmungsrichtung stromabwärts der letzten zweiten Gabelungsebene kann die zweite Verteilleitung vorzugsweise in die zweiten Verbindungsleitungen übergehen. In dieser Ausführungsform gehören die zweiten Verbindungsleitungen also der

15 zweiten Verteilleitung an. Die zweite Verteilleitung kann vorzugsweise 16 bis 1024 zweite Verbindungsleitungen umfassen.

Für den Fall, dass sowohl eine erste Verteilleitung als auch eine zweite Verteilleitung vorgesehen ist, können die erste Verteilleitung und die zweite

20 Verteilleitung derart angeordnet sein, dass die zweite Verteilleitung die erste Verteilleitung radial umgibt. Dabei weisen die erste Verteilleitung und die zweite Verteilleitung vorzugsweise die gleichen Gabelungsebenen auf. Vorzugsweise umgibt dabei bereits der zweite Gaseinlass radial den ersten Gaseinlass.

Alternativ können die erste und die zweite Verteilleitung erst stromabwärts einer

25 bestimmten ersten oder zweiten Gabelungsebene zusammengeführt werden, so dass die zweite Verteilleitung erst stromabwärts dieser bestimmten ersten oder zweiten Gabelungsebene die erste Verteilleitung radial umgibt.

Für den Fall, dass eine erste Verteilleitung vorgesehen ist, aber keine zweite Verteilleitung vorgesehen ist, kann der zweite Gaseinlass wie oben erläutert über eine zweite Verteilkammer mit den zweiten Gasauslassöffnungen verbunden sein. Für den Fall, dass eine zweite Verteilleitung vorgesehen ist,
5 aber keine erste Verteilleitung vorgesehen ist, kann der erste Gaseinlass wie oben erläutert über eine erste Verteilkammer mit den ersten Gasauslassöffnungen verbunden sein.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der
10 Düsencluster aus Metall, vorzugsweise aus Stahl, insbesondere aus Edelstahl, und/oder aus Keramik gebildet.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Düsencluster einstückig ausgebildet. Eine einstückige Ausbildung des
15 Düsenclusters ist besonders einfach und günstig bei einer additiven Fertigung mittels 3D-Druck.

Alternativ dazu kann der Düsencluster zweistückig oder mehrstückig ausgebildet sein.
20

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Düsencluster zweistückig aus einer ersten Einheit und einer zweiten Einheit ausgebildet. Die erste Einheit und die zweite Einheit sind besonders einfach und günstig bei einer additiven Fertigung mittels 3D-Druck herstellbar.
25

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die erste Einheit die erste Gasauslassöffnung, die erste Verbindungsleitung, die erste Verteilkammer und/oder den ersten Gaseinlass.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die zweite Einheit die zweite Gasauslassöffnung, die zweite Verbindungsleitung, die zweite Verteilkammer und/oder den zweiten Gaseinlass.

5

Die ringförmige Zwischenwand kann durch die erste Einheit ausgebildet sein. Alternativ kann die ringförmige Zwischenwand durch die zweite Einheit ausgebildet sein. Weiter alternativ kann die ringförmige Zwischenwand teilweise durch die erste Einheit und teilweise durch die zweite Einheit ausgebildet sein.

10

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die zweite Einheit auf die erste Einheit aufgesteckt. Vorzugsweise ist die zweite Einheit auf die ersten Verbindungsleitungen der ersten Einheit oder jeweils auf einen Abschnitt der ersten Verbindungsleitungen der ersten Einheit aufgesteckt. Dazu weist die zweite Einheit jeweils zu den ersten Verbindungsleitungen korrespondierende Ausnehmungen auf. Die Ausnehmungen durchgreifen die zweite Einheit vorzugsweise vollständig.

15

Alternativ kann die erste Einheit auf die zweite Einheit aufgesteckt sein.

20

Weiterhin können die erste und die zweite Einheit zusammengesteckt sein.

Durch die zweistückige Ausbildung ist vorteilhafterweise die Wartung und/oder Inspektion des Düsenclusters erleichtert. Insbesondere ist eine Prüfung der ersten und/oder zweiten Einheit auf Dichtigkeit dadurch vereinfacht. Die erste Einheit und die zweite Einheit können vorteilhafterweise dazu einfach getrennt werden.

25

Die erste Einheit wird vorzugsweise mit einem gasförmigen Brennstoff, insbesondere mit Wasserstoff, betrieben. Die die zweite Einheit wird vorzugsweise mit einem Oxidationsmittel, insbesondere mit Luft, betrieben. Durch die zweistückige Ausbildung kann in diesem Fall insbesondere die erste
5 Einheit einfacher und besser auf Dichtigkeit geprüft werden. Dadurch kann vorteilhafterweise der Gefahr einer ungewollten Mischung zwischen Wasserstoff und Luft vorgebeugt werden.

Die erste Verbindungsleitung und die korrespondierende zweite
10 Verbindungsleitung verlaufen vorzugsweise coaxial zueinander. Vorzugsweise sind dabei die verschiedenen ersten Verbindungsleitungen und die verschiedenen zweiten Verbindungsleitungen jeweils parallel zueinander.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung geht die zweite
15 Verbindungsleitung zumindest abschnittsweise einen Winkel zur korrespondierenden ersten Verbindungsleitung ein. Vorzugsweise verjüngt sich dabei die äußere Abmessung, insbesondere der äußere Durchmesser, der zweiten Verbindungsleitung in Gasströmungsrichtung. Mit anderen Worten ausgedrückt läuft die zweite Verbindungsleitung in Gasströmungsrichtung
20 vorzugsweise schräg auf die korrespondierende erste Verbindungsleitung zu. Insbesondere läuft die zweite Verbindungsleitung in Gasströmungsrichtung vorzugsweise konisch auf die von ihr coaxial umgebene korrespondierende erste Verbindungsleitung zu.

25 Der Winkel liegt vorzugsweise zwischen 5° und 50° , besonders bevorzugt zwischen 10° und 30° . Die zweite Verbindungsleitung kann entlang ihres gesamten Verlaufs den Winkel zur ersten Verbindungsleitung eingehen. Vorzugsweise geht die zweite Verbindungsleitung den Winkel zur ersten

Verbindungsleitung auf einem unmittelbar in die zweite Gasauslassöffnung mündenden Abschnitt ein.

- Durch das Vorsehen des Winkels der zweiten Verbindungsleitung zur
- 5 korrespondierenden ersten Verbindungsleitung auf zumindest einem unmittelbar in die zweite Gasauslassöffnung mündenden Abschnitt resultiert vorteilhafterweise ein entsprechender Winkel zwischen dem aus der zweiten Gasauslassöffnung ausströmenden Gas, beispielsweise Luft, und dem aus der ersten Gasauslassöffnung ausströmenden Gas, beispielsweise Wasserstoff.
- 10 Dadurch kann vorteilhafterweise eine bessere Mischung der jeweils ausströmenden Gase, beispielsweise von Wasserstoff und Luft, erreicht werden. Dadurch werden vorteilhafterweise die Verbrennungseigenschaften und die Emissionswerte verbessert.
- 15 Nach Maßgabe der Erfindung ist weiterhin ein Brenner umfassend mindestens einen erfindungsgemäßen Düsencluster beansprucht. Zur Realisierung einer möglichst einfachen Ausgestaltung umfasst der Brenner vorzugsweise genau einen erfindungsgemäßen Düsencluster. In weiteren bevorzugten Ausführungsformen umfasst der Brenner zwei, drei oder vier Düsencluster.
- 20 Beispielsweise kann der Brenner eine kubische oder quaderförmige Form aufweisen und vier Düsencluster umfassen. Die vier Düsencluster können dabei auf vier Seiten des kubischen oder quaderförmigen Brenners verteilt sein.

- Beim erfindungsgemäßen Brenner kommt die Mischung des ersten und zweiten
- 25 Gases erst beim Austritt der Gase aus der ersten und zweiten Gasauslassöffnung zustande. Daher besteht vorteilhafterweise keine Gefahr eines Flammenrückschlags. Der erfindungsgemäße Brenner ist also besonders sicher. Weiterhin ist der Verbrennungsbereich jeder einzelnen Flamme durch

- die Strömung des zweiten Gases, insbesondere von Luft, aus den zweiten Gasauslassöffnungen 3 ummantelt. Dies führt vorteilhafterweise zu einem Kühlungseffekt. Die Düsen aus erster und zweiter Gasauslassöffnung bleiben daher selbst bei Bedingungen nahe einer stöchiometrischen Verbrennung kühl.
- 5 Daher kann vorteilhafterweise auf eine Kühlung bzw. auf teure Hochtemperaturmaterialien für die Düsen verzichtet werden. Weiterhin kann der Brenner wegen der geringen Temperaturen an den Düsen bei nahezu beliebigen Mischungsverhältnissen und Strömungsgeschwindigkeiten betrieben werden. Erfindungsgemäße Brenner bieten also einen großen Betriebsbereich, sind also
- 10 besonders flexibel und variabel. Weiterhin werden die benötigte Mischlänge und das Flammvolumen, in dem eine stöchiometrische Verbrennung stattfinden kann durch die geringen Abmessungen der einzelnen Düsen verringert. Dadurch können die NO_x -Abgase vorteilhafterweise erheblich reduziert werden.
- 15 Aufgrund des vielfachen Vorsehens gleicher Düsen sind die Verbrennungsparameter, wie Mischverhältnis, Geschwindigkeiten und Volumenstrom vorteilhafterweise für einzelne Düsen gleich. Die Verbrennung an einzelnen Düsen ist vorteilhafterweise nicht von deren umgebenden Düsen abhängig. Daher ist eine Vergrößerung eines bestehenden Düsenclusters bzw. eines
- 20 bestehenden Brenners um weitere Düsen, ein sogenanntes Upscaling, unproblematisch. Weiterhin ist die Steuerung der Verbrennungsparameter der Gesamtheit der Düsen vorteilhafterweise bereits durch die Steuerung der Verbrennungsparameter einer einzelnen Düse möglich.
- 25 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die erste Gasauslassöffnung für einen gasförmigen Brennstoff vorgesehen. Das erste Gas ist also vorzugsweise ein gasförmiger Brennstoff. Der gasförmige Brennstoff wird dazu vorzugsweise am ersten Gaseinlass angeschlossen. Der

gasförmige Brennstoff umfasst vorzugsweise Wasserstoff und/oder Prozessgas und/oder Erdgas. Der gasförmige Brennstoff kann außerdem Methan umfassen. Der gasförmige Brennstoff kann beispielsweise eine Mischung aus Wasserstoff mit Erdgas und/oder Methan sein.

5

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die zweite Gasauslassöffnung für ein Oxidationsmittel vorgesehen. Das zweite Gas ist also vorzugsweise ein Oxidationsmittel. Das Oxidationsmittel ist vorzugsweise Luft, sauerstoffangereicherte Luft und/oder Sauerstoff. Das Oxidationsmittel
10 wird dazu vorzugsweise am zweiten Gaseinlass angeschlossen.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst der Brenner zusätzlich eine auf den Düsencluster aufgesetzte keramische Struktur. Die keramische Struktur kann als thermischer Schutz verwendet werden. Die
15 ersten Verbindungsleitungen durchdringen dabei die keramische Struktur zumindest teilweise. Vorzugsweise durchgreifen die ersten Verbindungsleitungen die keramische Struktur vollständig. Die ersten Gasauslassöffnungen können also innerhalb der keramischen Struktur oder an einer äußeren Oberfläche der keramischen Struktur angeordnet sein. Zusätzlich können die
20 ersten Verbindungsleitungen aus der keramischen Struktur hervorstehen. In diesem Fall sind die ersten Gasauslassöffnungen vorzugsweise stromabwärts von der keramischen Struktur in Gasströmungsrichtung angeordnet.

Vorzugsweise dringen die zweiten Verbindungsleitungen nicht in die keramische Struktur ein. Die zweiten Gasauslassöffnungen sind also vorzugsweise
25 stromaufwärts von der keramischen Struktur in Gasströmungsrichtung (bzw. entgegengesetzt der Gasströmungsrichtung) angeordnet. Alternativ dringen die zweiten Verbindungsleitungen teilweise in die keramische Struktur ein. Die

zweiten Gasauslassöffnungen können also innerhalb der keramischen Struktur angeordnet sein.

5 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst der Brenner zusätzlich eine auf die keramische Struktur aufgesetzte poröse Struktur zur Durchführung einer Verbrennung innerhalb der porösen Struktur. Die poröse Struktur ist vorzugsweise Si-infiltriertes SiC oder ein Si-SiC-Schaum. In dieser Ausführungsform durchdringen die ersten Verbindungsleitungen die keramische Struktur vorzugsweise nicht vollständig, sondern nur teilweise.

10

Die Verbrennung erfolgt in dieser Ausführungsform vorzugsweise flammlos. Durch Vorsehen der porösen Struktur kann vorteilhafterweise ein Porenbrenner realisiert werden. Die Verbrennung wird vorteilhafterweise innerhalb der porösen Struktur stabilisiert. Aufgrund der Stabilisierung der Verbrennung kann außerdem vorteilhafterweise die Leistung des Brenners in einem größeren Bereich moduliert werden. Vorteilhafterweise kann Leistung des Brenners in einem Bereich zwischen der maximalen Leistung und einem Zwanzigstel der maximalen Leistung variiert werden. Somit ist beispielsweise bei einer maximalen Leistung von 10 kW ein stabiler Betrieb mit einer Leistung von 500 W ermöglicht. Vorteilhafterweise erfolgt in dieser Ausführungsform außerdem ein hoher Anteil der Wärmeübertragung durch Strahlung.

20

Nach Maßgabe der Erfindung ist weiterhin eine Gasturbine umfassend einen oder mehrere erfindungsgemäße Brenner bzw. Düsencluster beansprucht. Die Gasturbine kann vorzugsweise modular aufgebaut sein und einen oder mehrere abnehmbare Brenner bzw. Düsencluster umfassen. Dadurch wird ein einfaches Austauschen der Brenner bzw. Düsencluster ermöglicht. Vorzugsweise umfasst

25

die Gasturbine 2 bis 30 Brenner, besonders bevorzugt umfasst die Gasturbine 4 bis 16 Brenner, insbesondere 8 bis 12 Brenner.

5 Nach Maßgabe der Erfindung ist weiterhin ein Mischer umfassend mindestens einen erfindungsgemäßen Düsencluster beansprucht. Vorzugsweise umfasst der Mischer genau einen erfindungsgemäßen Düsencluster. Der Mischer ermöglicht ein Zusammenführen mehrerer gasförmiger Substanzen, insbesondere zweier gasförmiger Substanzen. Ebenso ermöglicht der Mischer ein Zusammenführen mehrerer Flüssigkeiten bzw. einer Flüssigkeit und eines
10 Gases. Dieses Zusammenführen von Gasen und/oder Flüssigkeiten kann beispielsweise eine Durchführung einer Reaktion, insbesondere einer chemischen Reaktion ermöglichen.

Die erfindungsgemäße Idee erstreckt sich auch auf ein Verfahren zur
15 Herstellung eines erfindungsgemäßen Düsenclusters, und/oder eines erfindungsgemäßen Brenners, und/oder eines erfindungsgemäßen Mischers, wobei vorgesehen ist, dass der Düsencluster, der Brenner und/oder der Mischer durch additive Fertigung mittels 3D Druck hergestellt wird. Der 3D Druck erfolgt vorzugsweise mittels selektiven Laserschmelzens. Eine
20 Herstellung mittels 3D-Druck ermöglicht eine flexible Art der Fertigung und eine flexible Materialanpassung des Düsenclusters, des Brenners und/oder des Mischers. Insbesondere werden beliebige Geometrien ermöglicht. Weiterhin ist eine additive Fertigung mittels 3D Druck vorteilhafterweise besonders kostengünstig.

25

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Düsencluster einstückig hergestellt. Alternativ dazu kann der Düsencluster zweistückig oder mehrstückig hergestellt werden. In diesem Fall werden die verschiedenen

Stücke des Düsenclusters in einem nachgelagerten Herstellungsschritt zusammengefügt.

5 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Düsencluster zweistückig aus einer ersten Einheit und einer zweiten Einheit hergestellt. Die zweite Einheit wird in einem nachgelagerten Herstellungsschritt auf die erste Einheit aufgesteckt. Alternativ kann die erste Einheit auf die zweite Einheit aufgesteckt werden. Weiterhin können die erste und die zweite Einheit zusammengesteckt werden.

10

Der erfindungsgemäße Gedanke erstreckt sich insbesondere auch auf ein Speicherprodukt, aufweisend ein ablauffähiges Programm und/oder computerlesbare Steuerbefehle zur Ansteuerung eines 3D-Druckers, um einen erfindungsgemäßen Düsencluster herzustellen. Das Speicherprodukt kann
15 beispielsweise ein USB-Stick oder eine CD oder DVD sein. Insbesondere weist das Speicherprodukt das ablauffähige Programm auf und/oder es weist die computerlesbaren Steuerbefehle als nicht-flüchtig gespeicherte Datenfolge auf. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass das Speicherprodukt als eine über das Internet zugängliche Festplatte, als ein Server und/oder als eine Internet-
20 Cloud ausgebildet ist, auf der bzw. auf dem ein ablauffähiges Programm und/oder computerlesbare Steuerbefehle zur Ansteuerung eines 3D-Druckers bereitgestellt werden, um ein Düsencluster nach einem der vorstehend beschriebenen Beispiele herzustellen.

25 Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

- Fig. 1A eine Draufsicht auf einen ersten erfindungsgemäßen
Düsencluster,
- 5
Fig. 1B eine vergrößerte Darstellung des Details A aus Fig. 1A,
- Fig. 1C eine schematische Schnittdarstellung des ersten
erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- 10
Fig. 1D eine vergrößerte Darstellung des Details B aus Fig. 1C,
- Fig. 1E eine perspektivische Ansicht des ersten erfindungsgemäßen
Düsenclusters,
- 15
Fig. 2A eine Draufsicht auf einen zweiten erfindungsgemäßen
Düsencluster,
- Fig. 2B eine vergrößerte Darstellung des Details N aus Fig. 2A,
- 20
Fig. 2C eine schematische Schnittdarstellung des zweiten
erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 2D eine vergrößerte Darstellung des Details C aus Fig. 2C,

- Fig. 2E eine perspektivische Ansicht des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- 5 Fig. 2F eine perspektivische Schnittdarstellung des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 3A eine Seitenansicht eines dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- 10 Fig. 3B eine vergrößerte Darstellung des Details D aus Fig. 3A,
- Fig. 3C eine schematische Schnittdarstellung des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- 15 Fig. 3D eine vergrößerte Darstellung des Details F aus Fig. 3C,
- Fig. 3E eine perspektivische Ansicht des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- 20 Fig. 3F eine perspektivische Schnittdarstellung des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 4A eine Draufsicht auf einen vierten erfindungsgemäßen Düsencluster,

- Fig. 4B eine vergrößerte Darstellung des Details H aus Fig. 4A,
- 5 Fig. 4C eine schematische Schnittdarstellung des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 4D eine vergrößerte Darstellung des Details J aus Fig. 4C,
- 10 Fig. 4E eine perspektivische Ansicht des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 4F eine perspektivische Schnittdarstellung des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters
- 15 Fig. 5A eine perspektivische Ansicht des fünften erfindungsgemäßen Düsenclusters,
- Fig. 5B eine vergrößerte Draufsicht auf den fünften erfindungsgemäßen Düsencluster,
- 20 Fig. 5C eine schematische Schnittdarstellung des fünften erfindungsgemäßen Düsenclusters entlang der Schnittlinie A-A, und

Fig. 5D die schematische Schnittdarstellung aus Fig. 5C als Explosionszeichnung.

Die Figuren 1A bis 1E zeigen einen ersten erfindungsgemäßen Düsencluster.

Fig. 1A zeigt dabei eine Draufsicht auf den ersten erfindungsgemäßen Düsen-

5 cluster. Fig. 1B zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details A aus Fig. 1A.

Der erste erfindungsgemäße Düsencluster weist eine Vielzahl von Paaren aus jeweils genau einer ersten 1 und genau einer zweiten Gasauslassöffnung 3 auf.

Der erste erfindungsgemäße Düsencluster weist beispielsweise 121 solcher

Paare auf. Bei jedem Paar ist die zweite Gasauslassöffnung 3 konzentrisch um

10 die erste Gasauslassöffnung 1 herum angeordnet. Die zweite Gasauslass-

öffnung 3 ist dabei jeweils von der ersten Gasauslassöffnung 1 durch eine

ringförmige Zwischenwand getrennt. Die ringförmige Zwischenwand gehört

einer ersten Verbindungsleitung 2 an. Die zweite Gasauslassöffnung 3 ist

jeweils von einer zweiten Verbindungsleitung 4 umgeben. Im gezeigten Beispiel

15 des ersten erfindungsgemäßen Düsenclusters sind die ersten 1 und die zweiten Gasauslassöffnungen 3 jeweils in der gleichen Ebene angeordnet.

Die ersten Gasauslassöffnungen 1 des ersten erfindungsgemäßen Düsen-

clusters bilden im Querschnitt jeweils eine Kreisscheibe. Der Durchmesser der

20 ersten Gasauslassöffnungen 1 beträgt beispielsweise jeweils 0,6 mm. Die

ringförmige Zwischenwand weist eine kreisringförmige Querschnittsform auf.

Die Ringbreite der ringförmigen Zwischenwand, das heißt die Wandstärke der

ringförmigen Zwischenwand beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm. Die zweiten

Gasauslassöffnungen 3 bilden jeweils einen Ringspalt. Der Ringspalt hat im

25 gezeigten Beispiel einen kreisringförmigen Querschnitt. Die Spaltbreite des

Ringspalts beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm.

Fig. 1C zeigt eine schematische Schnittdarstellung des ersten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Fig. 1D zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details B aus Fig. 1C. Ein erster Gaseinlass 7 zum Zuführen eines gasförmigen Brennstoffs ist mit einer ersten Verteilkammer 5 verbunden. Im gezeigten

5 Beispiel erfolgt dabei ein direktes Einspeisen des gasförmigen Brennstoffs vom ersten Gaseinlass 7 in die erste Verteilkammer 5. Der erste Gaseinlass 7 mündet also direkt in die erste Verteilkammer 5. Alternativ kann ein indirektes Einspeisen des gasförmigen Brennstoffs vom ersten Gaseinlass 7 in die erste Verteilkammer 5 vorgesehen sein. Dazu kann eine durchlöcherter trichterförmige

10 Verteilerplatte unter Ausbildung eines trichterförmigen ersten Verteilkanals vorgesehen sein. Das Vorsehen der durchlöcherter trichterförmigen Verteilerplatte bewirkt vorteilhafterweise eine bessere Verteilung des gasförmigen Brennstoffs. Die erste Verteilkammer 5 ist für jedes Paar über die erste Verbindungsleitung 2 mit der ersten Gasauslassöffnung 1 verbunden. Der

15 gasförmige Brennstoff durchläuft also den ersten Gaseinlass 7, die erste Verteilkammer 5, die erste Verbindungsleitung 2 und die erste Gasauslassöffnung 1 in der genannten Reihenfolge. Die ersten Gasauslassöffnungen 1 sind also insbesondere durch den ersten Gaseinlass 7 und durch die erste Verteilkammer 5 gespeist. Der gasförmige Brennstoff ist

20 beispielsweise Wasserstoff.

Ein zweiter Gaseinlass 8 zum Zuführen eines Oxidationsmittels mündet über einen trichterförmigen zweiten Kanal 8a in eine zweite Verteilkammer 6. Die zweite Verteilkammer 6 ist von der ersten Verteilkammer 5 getrennt und in Gasströmungsrichtung von der ersten Verteilkammer 5 beabstandet. Die zweite

25 Verteilkammer 6 ist dabei zwischen der ersten Verteilkammer 5 und den Gasauslassöffnungen 1, 3 angeordnet. Die zweite Verteilkammer 6 ist für jedes Paar über die jeweilige zweite Verbindungsleitung 4 mit der jeweiligen zweiten

Gasauslassöffnung 3 verbunden. Dabei durchgreift die erste Verbindungsleitung 2 jeweils die zweite Verteilkammer 6 und die zweite Verbindungsleitung 4. Zusätzlich kann die zweite Verteilkammer 6 durch Stützelemente teilweise durchdrungen sein. Solche Stützelemente sorgen für eine bessere Stabilität.

- 5 Die erste 2 und zweite Verbindungsleitung 4 sind jeweils paarweise angeordnet und weisen jeweils einen zueinander coaxialen Verlauf auf. Das Oxidationsmittel durchläuft also den zweiten Gaseinlass 8, den trichterförmigen zweiten Verteilkanal 8a, die zweite Verteilkammer 6, die zweite Verbindungsleitung 4 und die zweite Gasauslassöffnung 3 in der genannten Reihenfolge.
- 10 Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind also insbesondere durch den zweiten Gaseinlass 8 und durch die zweite Verteilkammer 6 gespeist. Das Oxidationsmittel ist beispielsweise Luft oder reiner Sauerstoff.

- Fig. 1E zeigt eine perspektivische Ansicht des ersten erfindungsgemäßen
- 15 Düsenclusters. Der erste erfindungsgemäße Düsencluster kann insbesondere als Brenner verwendet werden. Dabei werden an jedem Paar aus erster 1 und zweiter Gasauslassöffnung 3 der gasförmige Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und das Oxidationsmittel, insbesondere Luft, gleichmäßig durchmischt. Dabei entsteht vorteilhafterweise ein mageres Gemisch, das mit
- 20 niedrigem NO_x -Anteil verbrannt werden kann. Dabei weist der erste erfindungsgemäße Düsencluster 121 freie Flammen auf.

- Die Figuren 2A bis 2F zeigen einen zweiten erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 2A zeigt dabei eine Draufsicht auf den zweiten erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 2B zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details N aus Fig. 2A.
- 25 Der zweite erfindungsgemäße Düsencluster weist eine Vielzahl von Paaren aus jeweils genau einer ersten 1 und zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 auf. Die zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind jeweils durch zwei Stege 4a

voneinander getrennt. Die zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 können jeweils auch als eine einzige zweite Gasauslassöffnung 3 aufgefasst werden, die durch die zwei Stege 4a in zwei Teilbereiche unterteilt ist. Der zweite erfindungsgemäße Düsencluster weist beispielsweise 127 Paare aus jeweils genau einer
5 ersten 1 und zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 auf.

Bei jedem Paar sind die zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 teilweise umlaufend um die erste Gasauslassöffnung 1 angeordnet. Die zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind wieder jeweils von der ersten Gasauslass-
10 öffnung 1 durch die eine ringförmige Zwischenwand bildende erste Verbindungsleitung 2 getrennt.

Wie am besten in den Figuren 2C und 2D zu sehen ist, sind die zwei zweiten Gasauslassöffnungen 3 jeweils von einer äußeren Lochplatte 4b begrenzt. Im
15 Beispiel des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters wird für jedes Paar die zweite Verbindungsleitung 4 also lediglich durch die äußere Lochplatte 4b und die Stege 4a gebildet. Wie auch in den Figuren 2C und 2D zu sehen ist, sind im Beispiel des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters die ersten 1 und die zweiten Gasauslassöffnungen 3 jeweils in einer unterschiedlichen Ebene
20 angeordnet. Dabei stehen die ersten Gasauslassöffnungen 1 jeweils 10 mm aus den jeweiligen zweiten Gasauslassöffnungen 3 hervor.

Die ersten Gasauslassöffnungen 1 des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters bilden im Querschnitt wiederum jeweils eine Kreisscheibe. Der
25 Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen 1 beträgt beispielsweise jeweils 0,6 mm. Die erste Verbindungsleitung 2 weist eine kreisringförmige Querschnittsform auf. Die Ringbreite der ersten Verbindungsleitung 2, das heißt die Wandstärke der ringförmigen Zwischenwand beträgt beispielsweise jeweils

0,5 mm. Die erste Verbindungsleitung 2 steht beispielsweise jeweils 10 mm aus der äußeren Lochplatte 4b bzw. aus der jeweiligen zweiten Gasauslassöffnung 3 hervor. Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 erstrecken sich jeweils über einen Teilbereich eines Ringspalts. Der Ringspalt hat einen kreisringförmigen Querschnitt und ist durch die zwei Stege 4a unterbrochen. Die Spaltbreite des Ringspalts beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm, die Breite und die Länge jedes Stegs 4a beträgt beispielsweise auch jeweils 0,5 mm.

Fig. 2C zeigt eine schematische Schnittdarstellung des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Fig. 2D zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details C aus Fig. 2C. Der erste Gaseinlass 7 zum Zuführen eines gasförmigen Brennstoffs und der zweite Gaseinlass 8 zum Zuführen eines Oxidationsmittels sind im Beispiel des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters an einander gegenüberliegenden Seiten angeordnet. Der erste Gaseinlass 7 ist mit der ersten Verteilkammer 5 verbunden. Im gezeigten Beispiel erfolgt dabei ein direktes Einspeisen des gasförmigen Brennstoffs vom ersten Gaseinlass 7 in eine einen langgezogenen einheitlichen Raum bildende erste Verteilkammer 5. Abweichend davon kann die erste Verteilkammer 5 durch Stützelemente teilweise durchdrungen sein. Solche Stützelemente sorgen für eine bessere Stabilität. Die erste Verteilkammer 5 ist für jedes Paar über die erste Verbindungsleitung 2 mit der ersten Gasauslassöffnung 1 verbunden. Der gasförmige Brennstoff durchläuft also den ersten Gaseinlass 7, die erste Verteilkammer 5, die erste Verbindungsleitung 2 und die erste Gasauslassöffnung 1 in der genannten Reihenfolge. Die ersten Gasauslassöffnungen 1 sind also insbesondere durch den ersten Gaseinlass 7 und durch die erste Verteilkammer 5 gespeist. Der gasförmige Brennstoff ist beispielsweise Wasserstoff oder Synthesegas (kurz: Syngas).

Der zweite Gaseinlass 8 zum Zuführen eines Oxidationsmittels mündet in die zweite Verteilkammer 6. Die zweite Verteilkammer 6 ist von der ersten Verteilkammer 5 getrennt und in Gasströmungsrichtung von der ersten Verteilkammer 5 beabstandet. Die zweite Verteilkammer 6 ist dabei zwischen der
5 ersten Verteilkammer 5 und den zweiten Gasauslassöffnungen 3 angeordnet. Die zweite Verteilkammer 6 ist lediglich durch die äußere Lochplatte 4b mit ihren Stegen 4a in Gasströmungsrichtung begrenzt. Dabei sieht die äußere Lochplatte 4b mit ihren Stegen 4a für jedes Paar zwei zweite Gasauslassöffnungen 3 vor. Die äußere Lochplatte 4b kann zusätzlich durch Stützelemente
10 zur Bereitstellung einer besseren Stabilität abgestützt sein. Diese Stützelemente können also die zweite Verteilkammer 6 teilweise durchdringen.

Die erste Verbindungsleitung 2 durchgreift jeweils die zweite Verteilkammer 6 und die äußere Lochplatte 4b. Das Oxidationsmittel durchläuft also den zweiten
15 Gaseinlass 8, die zweite Verteilkammer 6, die durch die äußere Lochplatte 4b mit ihren Stegen 4a gebildete zweite Verbindungsleitung 4 und die zweite Gasauslassöffnung 3 in der genannten Reihenfolge. Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind also wiederum insbesondere durch den zweiten Gaseinlass 8 und durch die zweite Verteilkammer 6 gespeist. Das Oxidationsmittel ist
20 beispielsweise Luft.

Fig. 2E zeigt eine perspektivische Ansicht des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Fig. 2F zeigt eine perspektivische Schnittdarstellung des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters.

25

Der zweite erfindungsgemäße Düsencluster kann vorzugsweise als Brenner verwendet werden. Dazu kann zusätzlich eine keramische Struktur auf den Düsencluster aufgesetzt werden. Die keramische Struktur kann als thermischer

Schutz verwendet werden. Die ersten Verbindungsleitungen durchgreifen die keramische Struktur vorzugsweise teilweise. Die ersten Gasauslassöffnungen sind vorzugsweise an einer äußeren Oberfläche der keramischen Struktur angeordnet. Die zweiten Gasauslassöffnungen sind vorzugsweise

5 stromaufwärts von der keramischen Struktur in Gasströmungsrichtung (bzw. entgegengesetzt der Gasströmungsrichtung) angeordnet und liegen dabei vorzugsweise unmittelbar an die keramische Struktur an.

Zusätzlich kann auf den zweiten erfindungsgemäßen Düsencluster und die

10 keramische Struktur eine poröse Struktur zur Durchführung einer Verbrennung innerhalb der porösen Struktur aufgesetzt werden. Die Verbrennung erfolgt vorzugsweise flammlos. Die Verbrennung wird vorteilhafterweise innerhalb der porösen Struktur stabilisiert. Vorteilhafterweise erfolgt ein hoher Anteil der Wärmeübertragung durch Strahlung. Die poröse Struktur kann beispielsweise

15 ein Si-SiC-Schaum sein. Durch eine Kombination des zweiten erfindungsgemäßen Düsenclusters mit der keramischen Struktur und der porösen Struktur kann vorteilhafterweise ein Porenbrenner realisiert werden.

Die Figuren 3A bis 3F zeigen einen dritten erfindungsgemäßen Düsencluster.

20 Fig. 3A zeigt dabei eine Seitenansicht des dritten erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 3B zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details D aus Fig. 3A.

Der dritte erfindungsgemäße Düsencluster weist eine langgestreckte pyramidale Geometrie mit beispielsweise sechs Seitenflächen auf. Jede dieser

25 Seitenflächen weist eine Vielzahl von Paaren aus jeweils genau einer ersten 1 und genau einer zweiten Gasauslassöffnung 3 auf. Beispielsweise weist jede Seitenfläche etwa 100 solcher Paaren auf. Der dritte erfindungsgemäße Düsencluster weist also insgesamt im gezeigten Beispiel etwa 600 Paare auf. Die

ersten Gasauslassöffnungen 1 des ersten erfindungsgemäßen Düsenclusters bilden im Querschnitt jeweils ein Quadrat. Dessen Kantenlänge beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm. Der hydraulische Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen 1 beträgt somit jeweils etwa 0,5 mm. Bei jedem Paar ist die zweite Gasauslassöffnung 3 konzentrisch und im Wesentlichen symmetrisch um die erste Gasauslassöffnung 1 herum angeordnet. Die zweite Gasauslassöffnung 3 ist dabei jeweils von der ersten Gasauslassöffnung 1 durch eine ringförmige Zwischenwand getrennt. Die ringförmige Zwischenwand gehört der ersten Verbindungsleitung 2 an. Die erste Verbindungsleitung 2 weist eine ringförmige Querschnittsform mit einem sechseckigen Außenumfang und einem der ersten Gasauslassöffnung 1 entsprechenden quadratischen Inneren auf. Die Ringbreite der ersten Verbindungsleitung 2, das heißt die Wandstärke der ringförmigen Zwischenwand beträgt beispielsweise jeweils etwa 0,5 mm. Die zweite Gasauslassöffnung 3 ist jeweils von einer äußeren Lochplatte 4b begrenzt. Im Beispiel des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters wird für jedes Paar die zweite Verbindungsleitung 4 also lediglich durch die äußere Lochplatte 4b gebildet. Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 bilden also jeweils einen Ringspalt. Der Ringspalt hat im gezeigten Beispiel jeweils einen Querschnitt mit quadratischer äußerer und sechseckiger innerer Begrenzung. Die Spaltbreite des Ringspalts beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm. Im gezeigten Beispiel des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters ist die erste Gasauslassöffnung 1 jeweils in der gleichen Ebene wie die zweite Gasauslassöffnung 3 angeordnet.

25 Fig. 3C zeigt eine schematische Schnittdarstellung des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Fig. 3D zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details F aus Fig. 3C. Die ersten Gasauslassöffnungen 1 sind wiederum durch den ersten Gaseinlass 7 und durch die erste Verteilkammer 5 gespeist. Der erste

Gaseinlass 7 ist dazu mit der ersten Verteilkammer 5 verbunden. Im gezeigten Beispiel erfolgt dabei ein direktes Einspeisen des gasförmigen Brennstoffs vom ersten Gaseinlass 7 in die einen langgestreckten im Wesentlichen kegelförmig oder pyramidal zulaufenden Raum bildende erste Verteilkammer 5. Die erste

5 Verteilkammer 5 kann durch Stützelemente teilweise durchdrungen sein. Solche Stützelemente sorgen für eine bessere Stabilität. Die erste Verteilkammer 5 ist seitlich umlaufend von einer plattenförmigen Umwandung begrenzt, welche aus inneren Lochplatten 2b gebildet ist. Im gezeigten Beispiel ist die erste Verteilkammer 5 durch sechs innere Lochplatten 2b begrenzt. Jede

10 innere Lochplatte 2b weist eine Vielzahl von Zuführungsöffnungen 2a auf. Jede Zuführungsöffnung 2a kommuniziert mit einer ersten Verbindungsleitung 2. Die erste Verteilkammer 5 ist also für jedes Paar über die jeweilige Zuführungsöffnung 2a und über die jeweilige erste Verbindungsleitung 2 mit der jeweiligen ersten Gasauslassöffnung 1 verbunden. Der gasförmige Brennstoff durchläuft

15 also den ersten Gaseinlass 7, die erste Verteilkammer 5, die Zuführungsöffnung 2a, die erste Verbindungsleitung 2 und die erste Gasauslassöffnung 1 in der genannten Reihenfolge. Der gasförmige Brennstoff ist beispielsweise Wasserstoff.

20 Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind wiederum durch den zweiten Gaseinlass 8 und durch die zweite Verteilkammer 6 gespeist. Der zweite Gaseinlass 8 mündet zum Zuführen eines Oxidationsmittels in die zweite Verteilkammer 6. Die zweite Verteilkammer 6 ist von der ersten Verteilkammer 5 getrennt und in Gasströmungsrichtung von der ersten Verteilkammer 5

25 beabstandet. Die zweite Verteilkammer 6 ist zwischen der ersten Verteilkammer 5 und den Gasauslassöffnungen 1, 3 angeordnet. Dabei umgibt die zweite Verteilkammer 6 radial die erste Verteilkammer 5. Die zweite Verteilkammer 6 ist radial außen lediglich durch eine durch die äußeren Lochplatten 4b gebildete

seitliche Umkleidung in Gasströmungsrichtung begrenzt. Im gezeigten Beispiel ist die zweite Verteilkammer 6 radial außen durch sechs umlaufend angeordnete äußeren Lochplatten 4b begrenzt. Dabei sehen die äußeren Lochplatte 4b für jedes Paar genau eine zweite Gasauslassöffnung 3 vor. Die
5 äußeren Lochplatten 4b können zusätzlich durch Stützelemente zur Bereitstellung einer besseren Stabilität abgestützt sein. Diese Stützelemente können also die zweite Verteilkammer 6 teilweise durchdringen. Radial innen ist die zweite Verteilkammer 6 durch die inneren Lochplatten 2b begrenzt. Im gezeigten Beispiel ist die zweite Verteilkammer 6 radial innen durch sechs
10 innere Lochplatten 2b begrenzt. Die inneren Lochplatten 2b sind in Bezug auf die zweite Verteilkammer 6 gasundurchlässig.

Die erste Verbindungsleitung 2 durchgreift jeweils die zweite Verteilkammer 6 und die äußere Lochplatte 4b. Das Oxidationsmittel durchläuft also den zweiten
15 Gaseinlass 8, die zweite Verteilkammer 6, die durch die äußere Lochplatte 4b gebildete zweite Verbindungsleitung 4 und die zweite Gasauslassöffnung 3 in der genannten Reihenfolge. Das Oxidationsmittel ist beispielsweise Luft.

Fig. 3E zeigt eine perspektivische Ansicht des dritten erfindungsgemäßen
20 Düsenclusters. Fig. 3F zeigt eine perspektivische Schnittdarstellung des dritten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Der dritte erfindungsgemäße Düsencluster kann insbesondere als Brenner verwendet werden. Dabei werden an jedem Paar aus erster 1 und zweiter Gasauslassöffnung 3 der gasförmige Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und das Oxidationsmittel, insbesondere Luft,
25 gleichmäßig durchmischt. Dabei entsteht vorteilhafterweise ein mageres Gemisch, das mit niedrigem NO_x -Anteil verbrannt werden kann. Dabei weist der dritte erfindungsgemäße Düsencluster etwa 600 freie Flammen auf.

Die Figuren 4A bis 4F zeigen einen vierten erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 4A zeigt dabei eine Draufsicht auf den vierten erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 4B zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details H aus Fig. 4A.

5 Der vierte erfindungsgemäße Düsencluster weist eine Vielzahl von Paaren aus jeweils genau einer ersten 1 und genau einer zweiten Gasauslassöffnung 3 auf. Der erste erfindungsgemäße Düsencluster weist beispielsweise 256 solcher Paare auf. Die Paare sind dabei schachbrettartig auf einem quadratischen Feld angeordnet. Bei jedem Paar ist die zweite Gasauslassöffnung 3 konzentrisch
10 um die erste Gasauslassöffnung 1 herum angeordnet. Die zweite Gasauslassöffnung 3 ist dabei jeweils von der ersten Gasauslassöffnung 1 durch eine ringförmige Zwischenwand getrennt. Die ringförmige Zwischenwand gehört einer ersten Verbindungsleitung 2 an. Die zweite Gasauslassöffnung 3 ist jeweils von einer zweiten Verbindungsleitung 4 umgeben. Wie auch in den
15 Figuren 4C und 4D zu sehen ist, sind im Beispiel des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters die ersten 1 und die zweiten Gasauslassöffnungen 3 jeweils in einer unterschiedlichen Ebene angeordnet. Dabei stehen die ersten Gasauslassöffnungen 1 jeweils 5 mm aus den jeweiligen zweiten Gasauslassöffnungen 3 hervor.

20

Die ersten Gasauslassöffnungen 1 des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters bilden im Querschnitt jeweils eine Kreisscheibe. Der Durchmesser der ersten Gasauslassöffnungen 1 beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm. Die erste Verbindungsleitung 2 weist eine kreisringförmige Querschnittsform auf. Die
25 Ringbreite der ersten Verbindungsleitung 2, das heißt die Wandstärke der ringförmigen Zwischenwand beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm. Die erste Verbindungsleitung 2 steht beispielsweise jeweils 5 mm aus der jeweiligen zweiten Gasauslassöffnung 3 hervor. Die zweiten Gasauslassöffnungen 3

bilden jeweils einen Ringspalt. Der Ringspalt hat im gezeigten Beispiel einen kreisringförmigen Querschnitt. Die Spaltbreite des Ringspalts beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm.

- 5 Fig. 4C zeigt eine schematische Schnittdarstellung des vierten erfindungs-
gemäßen Düsenclusters. Fig. 4D zeigt eine vergrößerte Darstellung des Details
J aus Fig. 4C. Ein erster Gaseinlass 7 zum Zuführen eines gasförmigen
Brennstoffs ist über eine erste Verteilleitung 7a unmittelbar mit den ersten
Gasauslassöffnungen 1 verbunden. Die erste Verteilleitung 7a weist eine
10 vielfache Verästelung auf. Im gezeigten Beispiel weist die erste Verteilleitung 7a
vier Gabelungsebenen auf. In jeder Gabelungsebene vervierfacht sich dabei die
Anzahl der Äste der ersten Verteilleitung 7a. In Gasströmungsrichtung
stromabwärts der vierten Gabelungsebene geht die erste Verteilleitung 7a in die
ersten Verbindungsleitungen 2 über. Die ersten Verbindungsleitungen 2
15 gehören dabei der ersten Verteilleitung 7a an. Im gezeigten Beispiel umfasst
die erste Verteilleitung 7a genau 256 erste Verbindungsleitungen 2.

Im gezeigten Beispiel ist keine zweite Verteilleitung vorgesehen. Die zweiten
Gasauslassöffnungen 3 sind stattdessen durch den zweiten Gaseinlass 8 und
20 durch eine zweite Verteilkammer 6 gespeist. Der zweite Gaseinlass 8 mündet
zum Zuführen eines Oxidationsmittels in die zweite Verteilkammer 6. Die zweite
Verteilkammer 6 nimmt dabei den die erste Verteilleitung 7a umgebenden
Raum ein. Anders ausgedrückt durchgreift die erste Verteilleitung 7a die zweite
Verteilkammer 6. Die zweite Verteilkammer 6 ist seitlich durch ein Gehäuse 6a
25 begrenzt. Die zweite Verteilkammer 6 ist für jedes Paar über die jeweilige
zweite Verbindungsleitung 4 mit der jeweiligen zweiten Gasauslassöffnung 3
verbunden. Dabei durchgreift die erste Verteilleitung 7a mit ihrer ersten
Verbindungsleitung 2 die zweite Verbindungsleitung 4. Zusätzlich kann die

zweite Verteilkammer 6 durch Stützelemente teilweise durchdrungen sein. Solche Stützelemente sorgen für eine bessere Stabilität. Die erste 2 und zweite Verbindungsleitung 4 sind jeweils paarweise angeordnet und weisen jeweils zueinander im Wesentlichen einen coaxialen Verlauf auf. Das Oxidationsmittel
5 durchläuft also den zweiten Gaseinlass 8, die zweite Verteilkammer 6, die zweite Verbindungsleitung 4 und die zweite Gasauslassöffnung 3 in der genannten Reihenfolge. Das Oxidationsmittel ist beispielsweise Luft.

Fig. 4E zeigt eine perspektivische Ansicht des vierten erfindungsgemäßen
10 Düsenclusters. Fig. 4F zeigt eine perspektivische Schnittdarstellung des vierten erfindungsgemäßen Düsenclusters. Der vierte erfindungsgemäße Düsencluster kann insbesondere als Brenner verwendet werden. Durch die vielfach verästelte erste Verteilleitung wird der gasförmige Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, besonders gut verteilt. An jedem Paar aus erster 1 und zweiter
15 Gasauslassöffnung 3 werden der gasförmige Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und das Oxidationsmittel, insbesondere Luft, besonders gleichmäßig durchmischt. Dabei entsteht vorteilhafterweise ein mageres Gemisch, das mit niedrigem NO_x-Anteil verbrannt werden kann. Dabei weist der vierte erfindungsgemäße Düsencluster 256 freie Flammen auf.

20 Die Figuren 5A bis 5D zeigen einen fünften erfindungsgemäßen Düsencluster. Fig. 5A zeigt dabei eine perspektivische Ansicht des fünften erfindungsgemäßen Düsenclusters in einem auseinandergenommenen Zustand, das heißt als Explosionsansicht. Fig. 5B zeigt eine vergrößerte Draufsicht auf den fünften
25 erfindungsgemäßen Düsencluster im zusammengesetzten Zustand.

Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster ist zweistückig aus einer ersten Einheit 11 und einer zweiten Einheit 12 ausgebildet. Die erste Einheit 11 wird

mit einem gasförmigen Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, betrieben. Die die zweite Einheit 12 wird mit einem Oxidationsmittel, insbesondere Luft, betrieben. Die erste Einheit 11 weist die ersten Gasauslassöffnungen 1, die ersten Verbindungsleitungen 2, die ersten Verteilkammern 5 (siehe Fig. 5C) und
5 den ersten Gaseinlass 7 auf. Die zweite Einheit 12 weist die zweiten Gasauslassöffnungen 3, die zweiten Verbindungsleitungen 4, die zweiten Verteilkammern 6 (siehe Fig. 5C) und den zweiten Gaseinlass 8 auf.

Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster weist sechs Paaren aus jeweils drei
10 ersten 1 und zwei zweiten 3 Gasauslassöffnungen auf. Bei jedem Paar sind die beiden zweiten Gasauslassöffnungen 3 teilweise umlaufend um die drei ersten Gasauslassöffnungen 1 angeordnet. Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster weist also insgesamt achtzehn erste 1 und zwölf zweite 3 Gasauslassöffnungen auf.

15 Die ersten Gasauslassöffnungen 1 sind beim fünften erfindungsgemäßen Düsencluster jeweils durch eine ringförmige Zwischenwand von den beiden paarweise korrespondierenden zweiten Gasauslassöffnungen 3 beabstandet. Die ringförmige Zwischenwand wird von der ersten Einheit 11 gebildet. Die
20 ringförmige Zwischenwand weist einen langgezogenen hexagonalen Querschnitt auf. Die ersten Gasauslassöffnungen 1 weisen entsprechend jeweils auch einen langgezogenen hexagonalen Querschnitt auf. Die zweiten Gasauslassöffnungen 3 weisen jeweils einen langgezogenen rechteckigen Querschnitt auf. Die ersten 1 und die zweiten Gasauslassöffnungen 3 sind
25 jeweils als sogenannte Schlitzdüsen ausgeführt.

Die ersten 1 und die zweiten Gasauslassöffnungen 3 weisen beispielsweise jeweils eine Schlitzbreite von 0,5 mm auf. Die Wandstärke der ringförmigen Zwischenwand beträgt beispielsweise jeweils 0,5 mm.

- 5 Die ersten Verbindungsleitungen 2 und die die zweiten Verbindungsleitungen 4 sind jeweils sowohl durch die von der ersten Einheit 11 gebildete ringförmige Zwischenwand als auch durch eine weitere von der zweiten Einheit 12 gebildete Zwischenwand beabstandet.
- 10 Fig. 5C zeigt eine schematische Schnittdarstellung des fünften erfindungsgemäßen Düsenclusters entlang der in Fig. 5B gezeigten Schnittlinie A-A. Fig. 5D zeigt dazu die schematische Schnittdarstellung im auseinanderge-
- 15 nommenen Zustand, das heißt als Explosionsansicht. Wie am besten in Fig. 5D zu erkennen ist, weist die zweite Einheit 12 zusätzlich Ausnehmungen 13 auf, welche die zweite Einheit 12 vollständig durchgreifen. Die Ausnehmungen 13 korrespondieren jeweils zu den ersten Verbindungsleitungen 2 der ersten Einheit 11 bzw. zu den die ersten Verbindungsleitungen 2 umgebenden ringförmigen Zwischenwände. Die zweite Einheit 12 ist mit ihren Ausnehmungen 13 auf die ersten Verbindungsleitungen 2 der ersten Einheit 11
- 20 bzw. auf die ringförmigen Zwischenwände aufsteckbar. Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster wird durch Aufstecken der zweiten Einheit 12 auf die erste Einheit 11 in seinen Betriebszustand gebracht.

- Wie am besten in Fig. 5A zu erkennen ist, weist die erste Einheit 11 zusätzlich
- 25 Stege 14 zwischen den ersten Verbindungsleitungen 2 bzw. zwischen den die ersten Verbindungsleitungen 2 umgebenden ringförmigen Zwischenwände auf. Die Stege 14 erhöhen die Stabilität der ersten Einheit 11. Die Ausnehmungen 13 der zweiten Einheit 12 sind so ausgestaltet, dass die zweite Einheit 12 ist mit

ihren Ausnehmungen 13 sowohl auf die ersten Verbindungsleitungen 2 der ersten Einheit 11 bzw. die ringförmigen Zwischenwände als auch auf die Stege 14 aufsteckbar ist.

- 5 Wie am besten in Fig. 5C zu erkennen ist, verläuft die zweite Verbindungsleitung 4 mit einem Winkel zur jeweils korrespondierenden ersten Verbindungsleitung 2. Die zweite Verbindungsleitung 4 läuft dabei in Gasströmungsrichtung schräg auf die korrespondierende erste Verbindungsleitung 2 zu.

10

Der Winkel liegt im konkreten Beispiel bei 30°. Die zweite Verbindungsleitung 4 geht diesen Winkel entlang ihres gesamten Verlaufs zur ersten Verbindungsleitung 2 ein.

- 15 Wie am besten in Fig. 5C zu erkennen ist, stehen die ersten Gasauslassöffnungen 1 leicht bezüglich den zweiten Gasauslassöffnungen 3 hervor. Mit anderen Worten ausgedrückt sind die ersten Gasauslassöffnungen 1 in Gasströmungsrichtung weiter stromabwärts angeordnet als die zweiten Gasauslassöffnungen 3. Die ersten Gasauslassöffnungen 1 sind dabei in einer
20 ersten Ebene und die zweiten Gasauslassöffnungen in einer von der ersten Ebene verschiedenen zweiten Ebene angeordnet. Die ersten Ebene befindet sich im konkreten Beispiel 2 mm weiter stromabwärts als die zweiten Ebene.

- 25 In entsprechender Weise ragen die erste Verbindungsleitungen 2 bzw. die die ersten Verbindungsleitungen 2 umgebenden ringförmigen Zwischenwände im zusammengesetzten Zustand des fünften erfindungsgemäßen Düsencluster leicht aus den Ausnehmungen 13 der zweiten Einheit 12 hervor.

Der erste Gaseinlass 7 zum Zuführen des gasförmigen Brennstoffs, im konkreten Beispiel mit Wasserstoff, ist in der ersten Einheit 11 über eine erste Verteilleitung 7a mit den ersten Verteilkammern 5 verbunden. Die erste Verteilleitung 7a weist eine vielfache Verästelung auf. Im gezeigten Beispiel weist die erste Verteilleitung 7a zwei Gabelungsebenen auf. In der ersten Gabelungsebene verdreifacht sich dabei die Anzahl der Äste der ersten Verteilleitung 7a. In der zweiten Gabelungsebene verdoppelt sich nochmals die Anzahl der Äste. Im gezeigten Beispiel umfasst die erste Verteilleitung 7a genau sechs Äste, welche jeweils in eine der sechs ersten Verteilkammern 5 münden.

Der zweite Gaseinlass 8 zum Zuführen des Oxidationsmittels, im konkreten Beispiel Luft, ist in der zweiten Einheit 12 über eine zweite Verteilleitung 8b mit den zweiten Verteilkammern 6 verbunden. Die zweite Verteilleitung 8b weist eine Verästelung mit einer Gabelungsebene auf. In der Gabelungsebene vervierfacht sich dabei die Anzahl der Äste der zweiten Verteilleitung 8b. Die vier Äste münden in die zweiten Verteilkammern 6.

Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster weist vorzugsweise eine größere Anzahl von ersten 1 und/oder zweiten Gasauslassöffnungen 3 als in dem in den Figuren 5A bis 5D gezeigten Beispiel auf. Entsprechend ist auch die Anzahl der ersten 2 und/oder zweiten Verbindungsleitungen 4, der ersten 5 und/oder zweiten Verteilkammern 6, der Gabelungsebenen und/oder der Äste vorzugsweise höher.

25

Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster weist mehrere Vorteile auf. Er ist besonders einfach und günstig durch die jeweilige Herstellung der ersten 11 und der zweiten Einheit 12 durch additive Fertigung mittels 3D-Druck

aufbaubar. Die erste 11 und die zweite Einheit 12 können zur Fertigstellung des fünften erfindungsgemäßen Düsenclusters einfach zusammengesteckt werden. Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster kann zur Wartung und/oder Inspektion einfach in die erste Einheit 11 und die zweite Einheit 12 getrennt
5 werden. Durch die zweistückige Ausbildung ist also die Wartung und/oder Inspektion des Düsenclusters erleichtert. Insbesondere ist eine Prüfung der ersten 11 und/oder zweiten Einheit 12 auf Dichtigkeit dadurch vereinfacht. Insbesondere kann die mit dem gasförmigen Brennstoff, im konkreten Beispiel mit Wasserstoff, betriebene erste Einheit 11 einfacher und besser auf
10 Dichtigkeit geprüft werden. Dadurch kann vorteilhafterweise der Gefahr einer ungewollten Mischung zwischen Wasserstoff und Luft vorgebeugt werden.

Durch das Vorsehen des Winkels der zweiten Verbindungsleitung 4 zur jeweils korrespondierenden ersten Verbindungsleitung 2 resultiert ein entsprechender
15 Winkel zwischen dem aus der zweiten Gasauslassöffnung 3 ausströmenden Gas, im konkreten Beispiel Luft, und dem aus der ersten Gasauslassöffnung ausströmenden Gas, im konkreten Beispiel Wasserstoff. Dadurch kann eine bessere Mischung von Wasserstoff und Luft erreicht werden. Dadurch werden vorteilhafterweise die Verbrennungseigenschaften und die Emissionswerte
20 verbessert.

Beim ersten bis fünften erfindungsgemäßen Düsencluster kommt die Mischung erst beim Austritt der Gase aus der ersten 1 und zweiten Gasauslassöffnung 3 zustande. Daher besteht vorteilhafterweise keine Gefahr eines
25 Flammenrückschlags. Die erfindungsgemäßen Düsencluster sind also besonders sicher. Weiterhin ist der Verbrennungsbereich jeder einzelnen Flamme durch die Strömung der Luft aus den zweiten Gasauslassöffnungen 3 ummantelt. Dies führt zu einem Kühlungseffekt. Die Düsen aus erster 1 und

zweiter Gasauslassöffnung 3 bleiben daher selbst bei Bedingungen nahe einer stöchiometrischen Verbrennung kühl. Daher kann vorteilhafterweise auf eine Kühlung bzw. auf teure Hochtemperaturmaterialien für die Düsen verzichtet werden. Weiterhin kann der Brenner wegen der geringen Temperaturen an den
5 Düsen bei nahezu beliebigen Mischungsverhältnissen und Strömungsgeschwindigkeiten betrieben werden. Die erfindungsgemäßen Düsencluster bieten also einen großen Betriebsbereich als Brenner, sind also besonders flexibel und variabel. Weiterhin werden die benötigte Mischlänge und das Flammvolumen, in dem eine stöchiometrische Verbrennung stattfinden
10 kann durch die geringen Abmessungen der einzelnen Düsen verringert. Dadurch können die NO_x-Abgase vorteilhafterweise erheblich reduziert werden.

Aufgrund des vielfachen Vorsehens gleicher Düsen sind die Verbrennungsparameter, wie Mischverhältnis, Geschwindigkeiten und Volumenstrom
15 vorteilhafterweise für einzelne Düsen gleich. Die Verbrennung an einzelnen Düsen ist vorteilhafterweise nicht von deren umgebenden Düsen abhängig. Daher ist eine Vergrößerung eines bestehenden Düsenclusters um weitere Düsen, ein sogenanntes Upscaling, unproblematisch. Weiterhin ist die Steuerung der Verbrennungsparameter der Gesamtheit der Düsen
20 vorteilhafterweise bereits durch die Steuerung der Verbrennungsparameter einer einzelnen Düse möglich.

Der erste bis fünfte erfindungsgemäße Düsencluster werden vorzugsweise durch additive Fertigung mittels 3D-Druck hergestellt. Dadurch fallen
25 vorteilhafterweise besonders geringe Herstellungskosten an. Vorzugsweise werden der erste bis vierte erfindungsgemäße Düsencluster dabei jeweils einstückig hergestellt. Der fünfte erfindungsgemäße Düsencluster wird zweistückig hergestellt.

Bezugszeichenliste

5	1	erste Gasauslassöffnung
	2	erste Verbindungsleitung
	2a	Zuführungsöffnung
	2b	innere Lochplatte
	3	zweite Gasauslassöffnung
10	4	zweite Verbindungsleitung
	4a	Steg
	4b	äußere Lochplatte
	5	erste Verteilkammer
	6	zweite Verteilkammer
15	6a	Gehäuse
	7	erster Gaseinlass
	7a	erste Verteilleitung
	8	zweiter Gaseinlass
	8a	trichterförmiger zweiter Kanal
20	8b	zweite Verteilleitung
	11	erste Einheit
	12	zweite Einheit
	13	Ausnehmungen
25	14	Stege

5

10 Ansprüche

1. Düsencluster umfassend eine Vielzahl von Paaren aus jeweils einer ersten (1) und einer zweiten Gasauslassöffnung (3), wobei bei jedem Paar die
15 zweite Gasauslassöffnung (3) um die erste Gasauslassöffnung (1) zumindest teilweise umlaufend angeordnet ist.
2. Düsencluster nach Anspruch 1, wobei bei jedem Paar die zweite Gas-
20 auslassöffnung (3) konzentrisch und/oder symmetrisch, insbesondere achsen-, punkt- und/oder spiegelsymmetrisch, um die erste Gasauslassöffnung (1) herum angeordnet ist.
3. Düsencluster nach Anspruch 1 oder 2, umfassend 10 bis 10.000 Paare
25 aus jeweils einer ersten (1) und einer zweiten Gasauslassöffnung (3), vorzugsweise 50 bis 2.000 Paare aus jeweils einer ersten (1) und einer zweiten Gasauslassöffnung (3), besonders bevorzugt 100 bis 1.000 Paare aus jeweils einer ersten (1) und einer zweiten Gasauslassöffnung (3).

4. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten Gasauslassöffnungen (1) einen hydraulischen Durchmesser im Bereich von 0,1 mm bis 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 0,3 mm bis 3 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 mm bis 1,0 mm aufweisen.

5

5. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten Gasauslassöffnungen (1) jeweils durch eine ringförmige Zwischenwand von den paarweise korrespondierenden zweiten Gasauslassöffnungen (3) beabstandet sind, wobei die ringförmige Zwischenwand vorzugsweise eine
10 Ringbreite von 0,2 mm bis 1 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,4 mm bis 0,7 mm, insbesondere im Bereich von 0,5 mm bis 0,6 mm aufweist.

6. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweiten Gasauslassöffnungen (3) jeweils einen Spalt, vorzugsweise einen
15 Ringspalt, bilden, wobei die zweiten Gasauslassöffnungen (3) vorzugsweise eine Spaltbreite im Bereich von 0,3 mm bis 3 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 0,4 mm bis 2 mm, insbesondere im Bereich von 0,5 mm bis 1 mm aufweisen.

20 7. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten Gasauslassöffnungen (1) durch eine erste Verteilkammer (5) gespeist angeordnet sind, und/oder die zweiten Gasauslassöffnungen (3) durch eine zweite Verteilkammer (6) gespeist angeordnet sind, wobei die erste (5) und die
25 zweite Verteilkammer (6) in Gasströmungsrichtung voneinander beabstandet sind.

8. Düsencluster nach Anspruch 7, wobei die zweite Verteilkammer (6) in Gasströmungsrichtung zwischen der ersten Verteilkammer (5) und den ersten (1) und/oder zweiten Gasauslassöffnungen (3) angeordnet ist.
- 5 9. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für jedes Paar eine erste Verbindungsleitung (2) der ersten Gasauslassöffnung (1) zugeordnet ist, so dass die erste Gasauslassöffnung (1) durch die erste Verbindungsleitung (2) mit der ersten Verteilkammer (5) verbunden ist.
- 10 10. Düsencluster nach Anspruch 9, wobei die erste Verbindungsleitung (2) derart angeordnet ist, dass sie die zweite Verteilkammer (6) durchgreift.
11. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für jedes Paar eine zweite Verbindungsleitung (4) der zweiten Gasauslassöffnung (3) zugeordnet ist, so dass die zweite Gasauslassöffnung (3) durch die zweite Verbindungsleitung (4) mit der zweiten Verteilkammer (6) verbunden ist.
- 15 12. Düsencluster nach Anspruch 11, wobei für jedes Paar die erste Verbindungsleitung (2) die korrespondierende zweite Verbindungsleitung (4) durchgreift.
- 20 13. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste (1) und die zweite Gasauslassöffnung (3) eines Paares in der gleichen Ebene angeordnet sind.
- 25 14. Düsencluster nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die erste Gasauslassöffnung (1) in Gasströmungsrichtung weiter stromabwärts angeordnet ist als die zweite Gasauslassöffnung (3).

15. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Düsencluster einen ersten Gaseinlass (7) und/oder einen zweiten Gaseinlass (8) umfasst, wobei der erste Gaseinlass (7) über eine erste Verteilleitung (7a) mittelbar oder unmittelbar mit den ersten Gasauslassöffnungen (1) verbunden ist, und/oder wobei der zweite Gaseinlass (8) über eine zweite Verteilleitung mittelbar oder unmittelbar mit den zweiten Gasauslassöffnungen (3) verbunden ist.
- 10 16. Düsencluster nach Anspruch 15, wobei die erste Verteilleitung (7a) über die erste Verteilkammer (5) mit den ersten Gasauslassöffnungen (1) verbunden ist, und/oder wobei die zweite Verteilleitung über die zweite Verteilkammer (6) mit den zweiten Gasauslassöffnungen (3) verbunden ist.
- 15 17. Düsencluster nach Anspruch 15 oder 16, wobei die erste Verteilleitung (7a) derart mit Verästelungen ausgestaltet ist, dass die erste Verteilleitung (7a) mit der ersten Gasauslassöffnung (1) eines jeden Paares unmittelbar verbunden ist, und/oder wobei die zweite Verteilleitung mit Verästelungen ausgestaltet ist, so dass die zweite Verteilleitung mit der zweiten
- 20 Gasauslassöffnung (3) eines jeden Paares unmittelbar verbunden ist.
18. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Düsencluster aus Metall, vorzugsweise aus Stahl, insbesondere aus Edelstahl, und/oder aus Keramik gebildet ist.
- 25 19. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Düsencluster einstückig ausgebildet ist.

20. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Düsencluster zweistückig aus einer ersten Einheit (11) und einer zweiten Einheit (12) ausgebildet ist.
- 5 21. Düsencluster nach Anspruch 20, wobei die erste Einheit (11) die erste Gasauslassöffnung (1), die erste Verbindungsleitung (2), die erste Verteilkammer (5) und/oder den ersten Gaseinlass (7) umfasst.
22. Düsencluster nach Anspruch 20 oder 21, wobei die zweite Einheit (12)
10 die zweite Gasauslassöffnung (3), die zweite Verbindungsleitung (4), die zweite Verteilkammer (6) und/oder den zweiten Gaseinlass (8) umfasst.
23. Düsencluster nach einem der Ansprüche 20 bis 22, wobei die zweite
15 Einheit (12) auf die erste Einheit (11) aufgesteckt ist.
24. Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die
zweite Verbindungsleitung (4) zumindest abschnittsweise einen Winkel zur
korrespondierenden ersten Verbindungsleitung (2) eingeht, wobei der Winkel
vorzugsweise zwischen 5° und 50° liegt, besonders bevorzugt zwischen 10°
20 und 30° liegt.
25. Brenner umfassend mindestens einen Düsencluster nach einem der
vorhergehenden Ansprüche.
- 25 26. Brenner nach Anspruch 25, wobei die erste Gasauslassöffnung (1) für
einen gasförmigen Brennstoff vorgesehen ist, vorzugsweise für Wasserstoff
und/oder Prozessgas und/oder Erdgas.

27. Brenner nach einem der Ansprüche 25 oder 26, wobei die zweite Gasauslassöffnung (3) für ein Oxidationsmittel vorgesehen ist, vorzugsweise für Luft, sauerstoffangereicherte Luft und/oder Sauerstoff.
- 5 28. Brenner nach einem der Ansprüche 25 bis 27, zusätzlich umfassend eine auf den Düsencluster aufgesetzte keramische Struktur, wobei die ersten Verbindungsleitungen (2) die keramische Struktur zumindest teilweise durchdringen.
- 10 29. Brenner nach Anspruch 28, zusätzlich umfassend eine auf die keramische Struktur aufgesetzte poröse Struktur zur Durchführung einer Verbrennung innerhalb der porösen Struktur.
- 15 30. Gasturbine umfassend einen oder mehrere Brenner nach einem der Ansprüche 25 bis 29.
31. Mischer umfassend mindestens einen Düsencluster nach einem der Ansprüche 1 bis 24.
- 20 32. Verfahren zur Herstellung eines Düsenclusters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Düsencluster durch additive Fertigung mittels 3D Druck hergestellt wird.
- 25 33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei der Düsencluster einstückig hergestellt wird.

34. Verfahren nach Anspruch 32, wobei der Düsencluster zweistückig aus einer ersten Einheit (11) und einer zweiten Einheit (12) hergestellt wird, und wobei die zweite Einheit (12) auf die erste Einheit (11) aufgesteckt wird.
- 5 35. Speicherprodukt aufweisend ein ablauffähiges Programm und/oder computerlesbare Steuerbefehle zur Ansteuerung eines 3D-Druckers, um einen Düsencluster nach einem der vorhergehenden Ansprüche herzustellen.

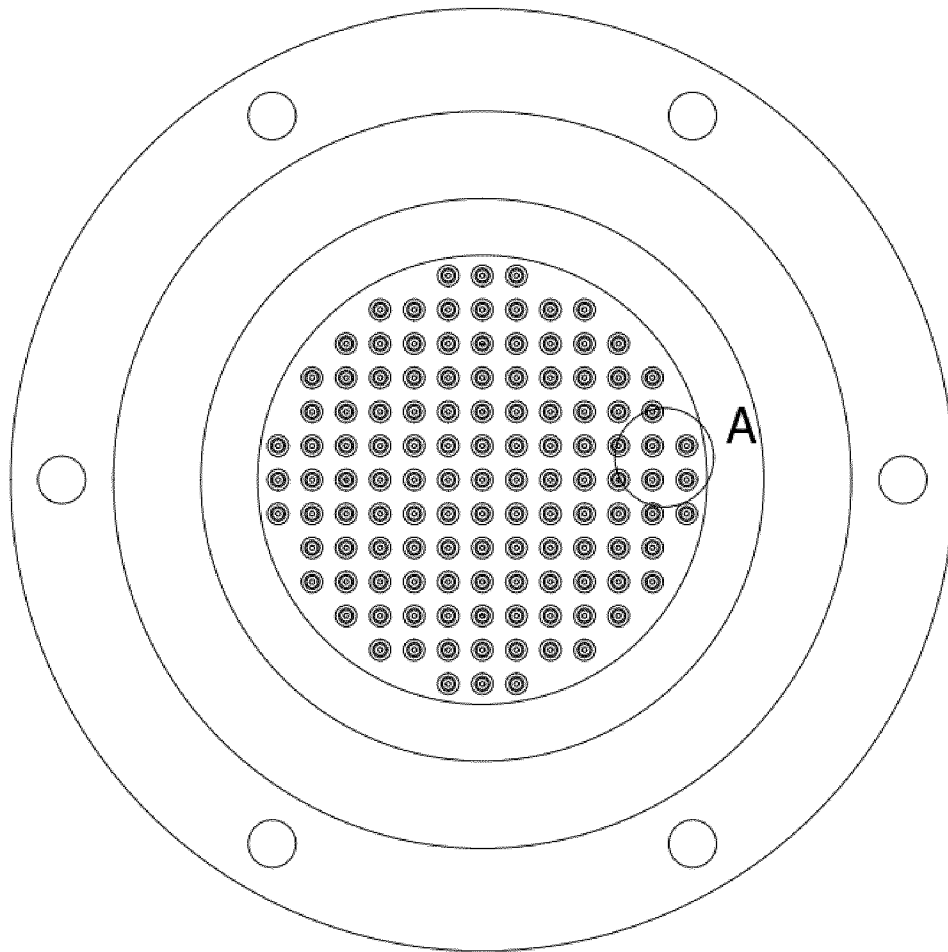


Fig. 1A

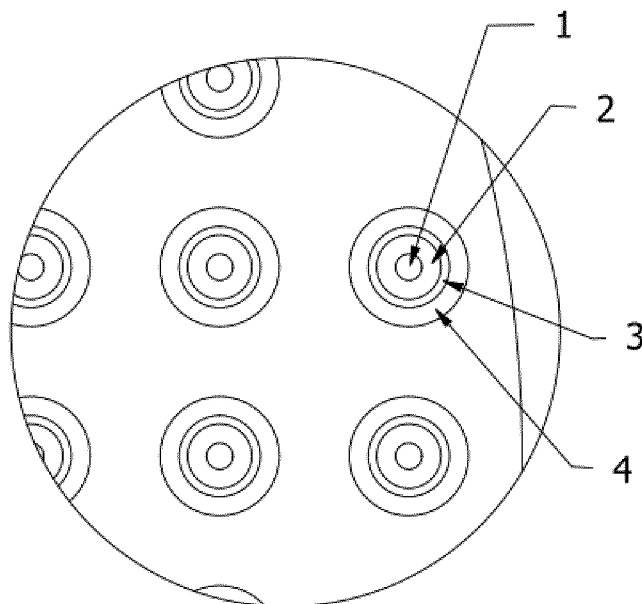


Fig. 1B

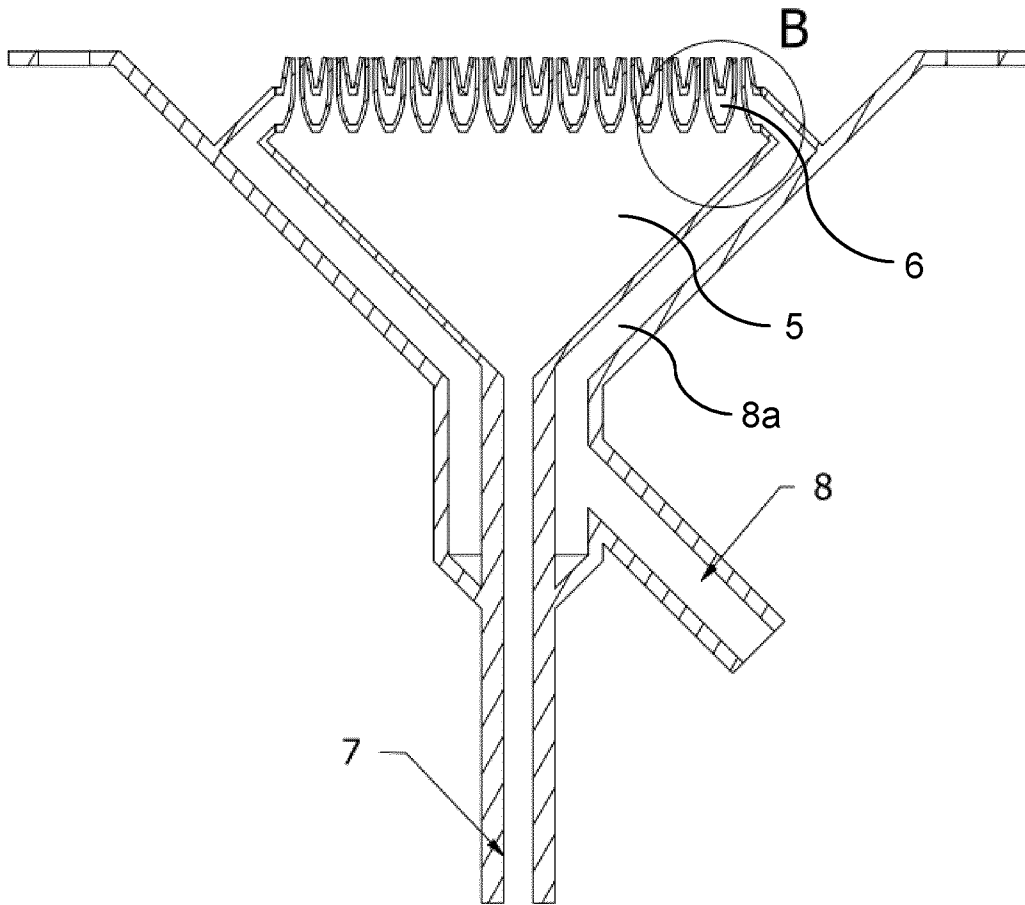


Fig. 1C

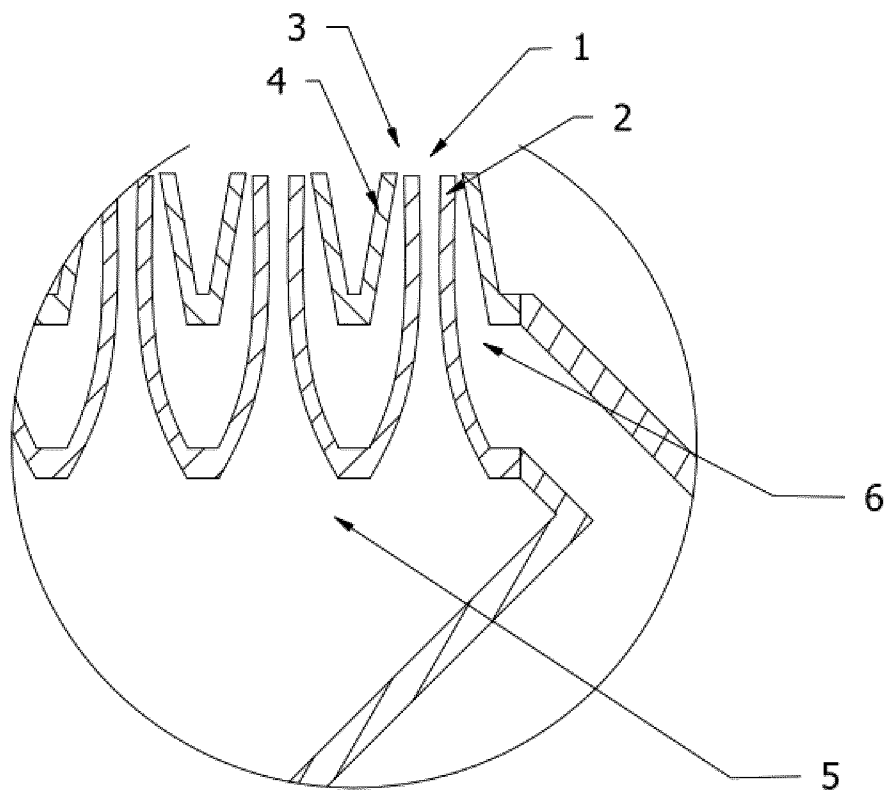


Fig. 1D

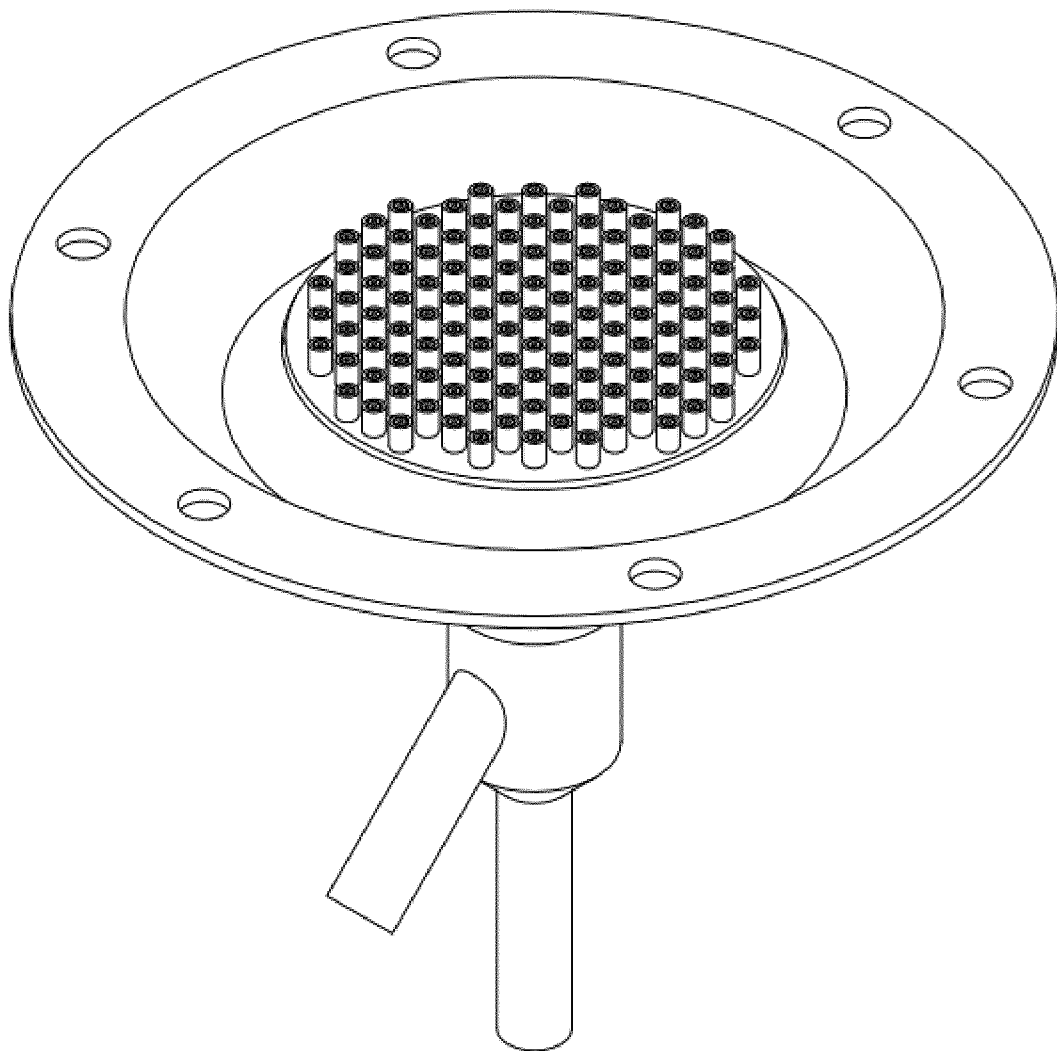


Fig. 1E

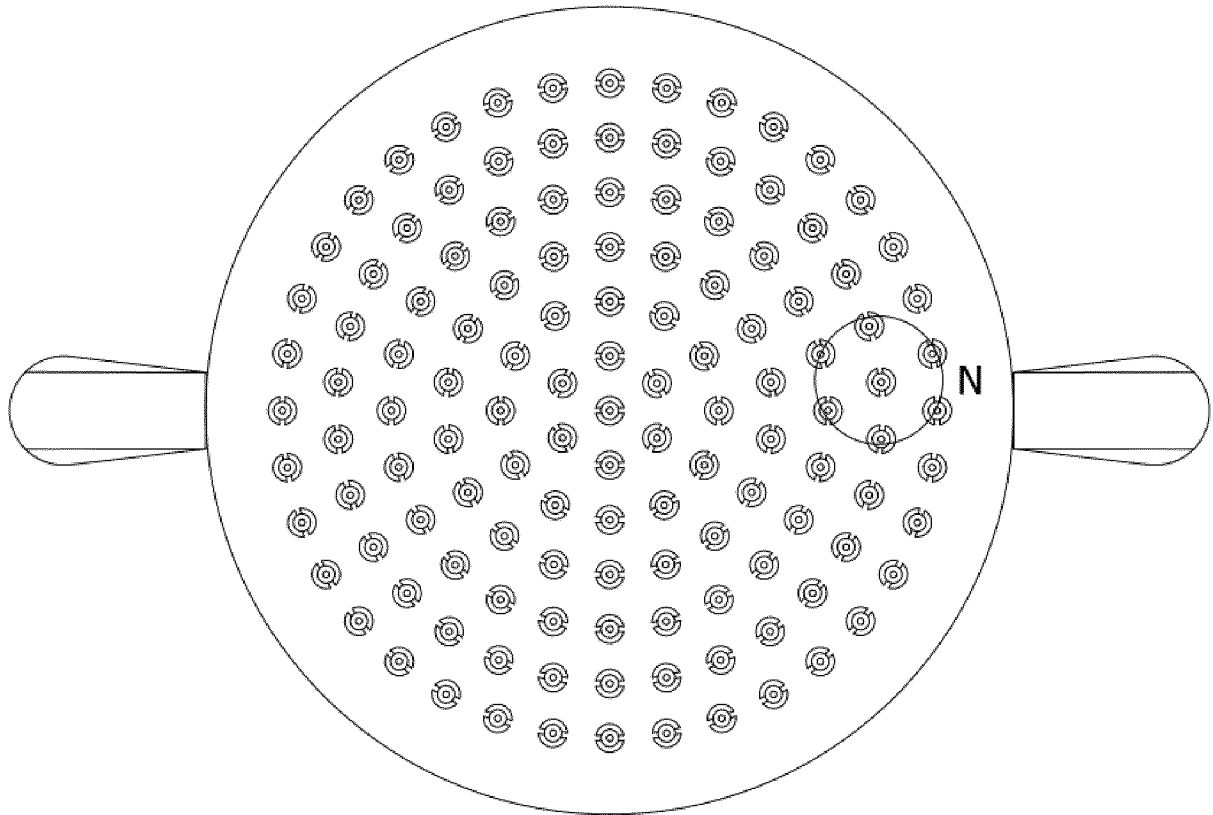


Fig. 2A

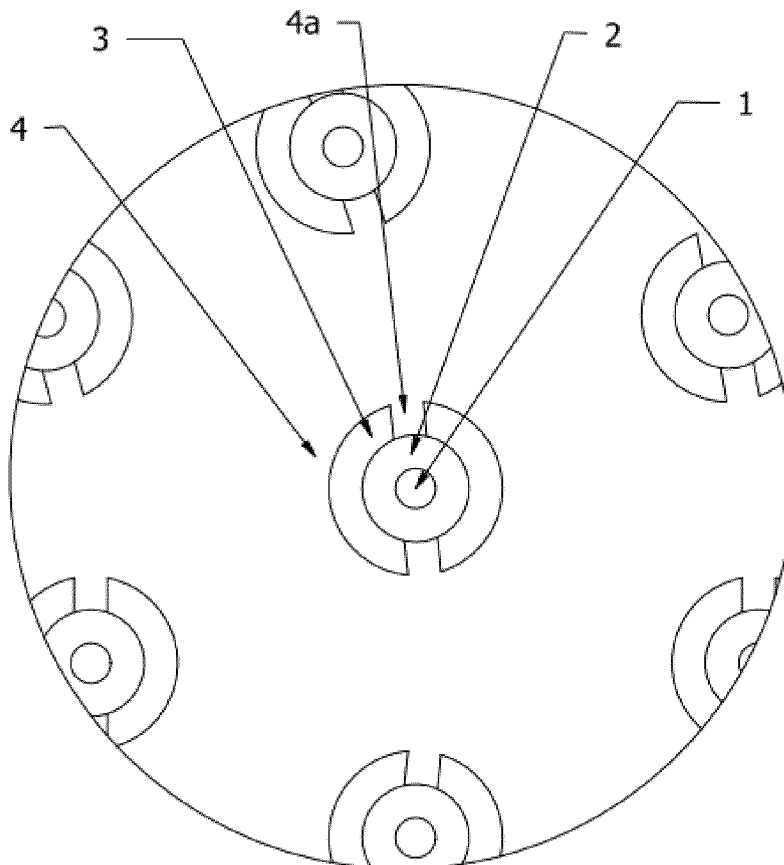


Fig. 2B

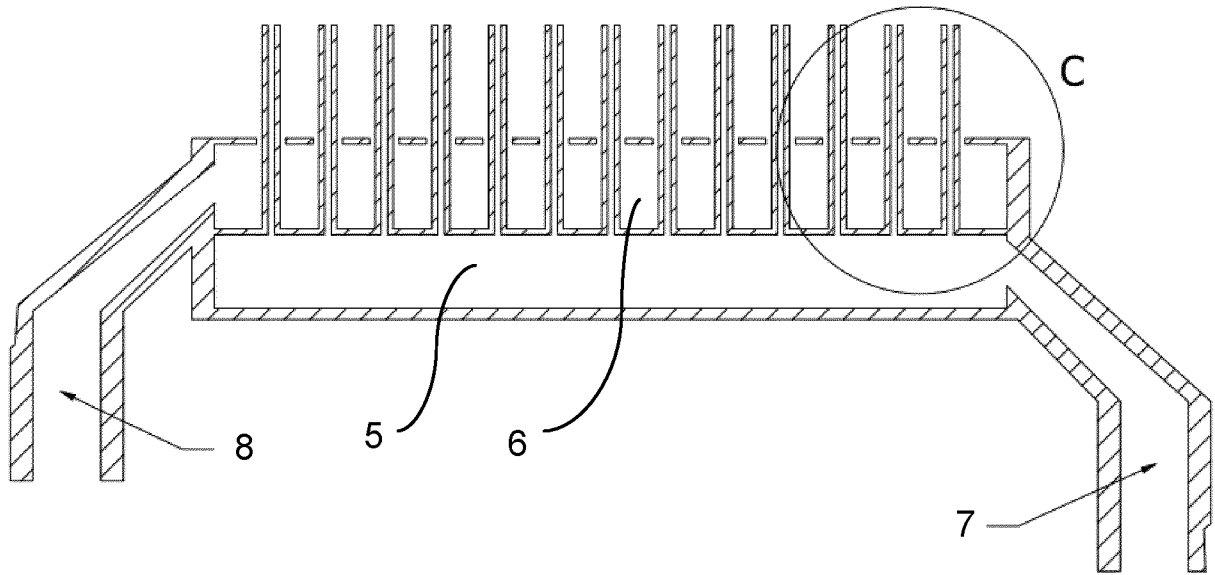


Fig. 2C

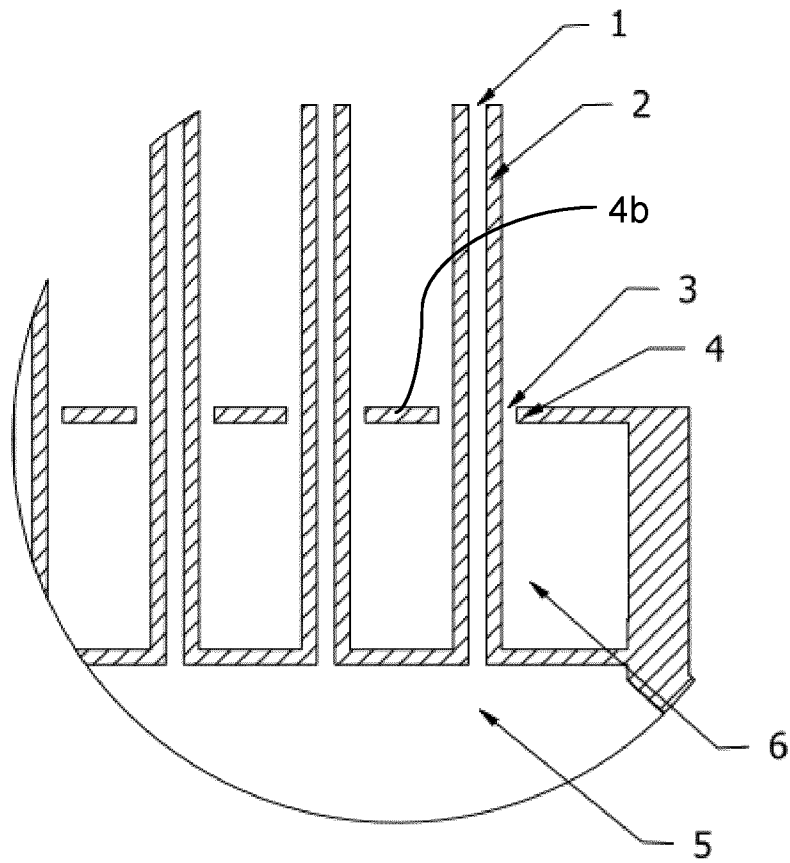


Fig. 2D

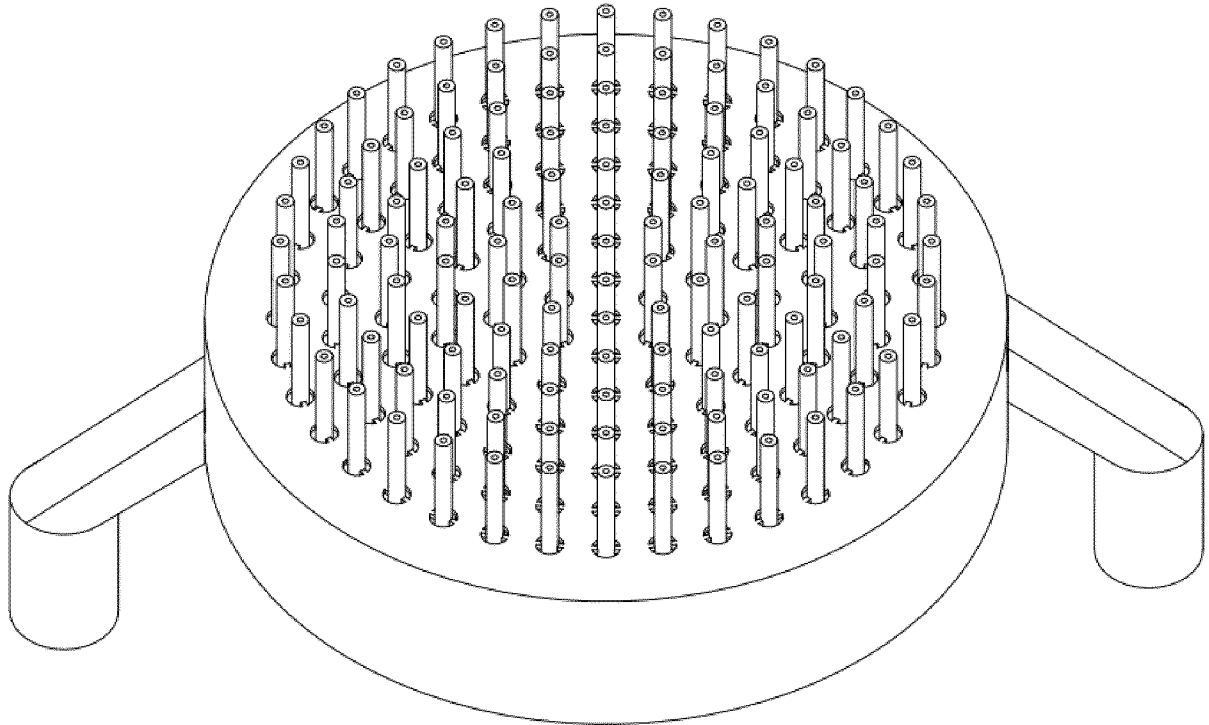


Fig. 2E

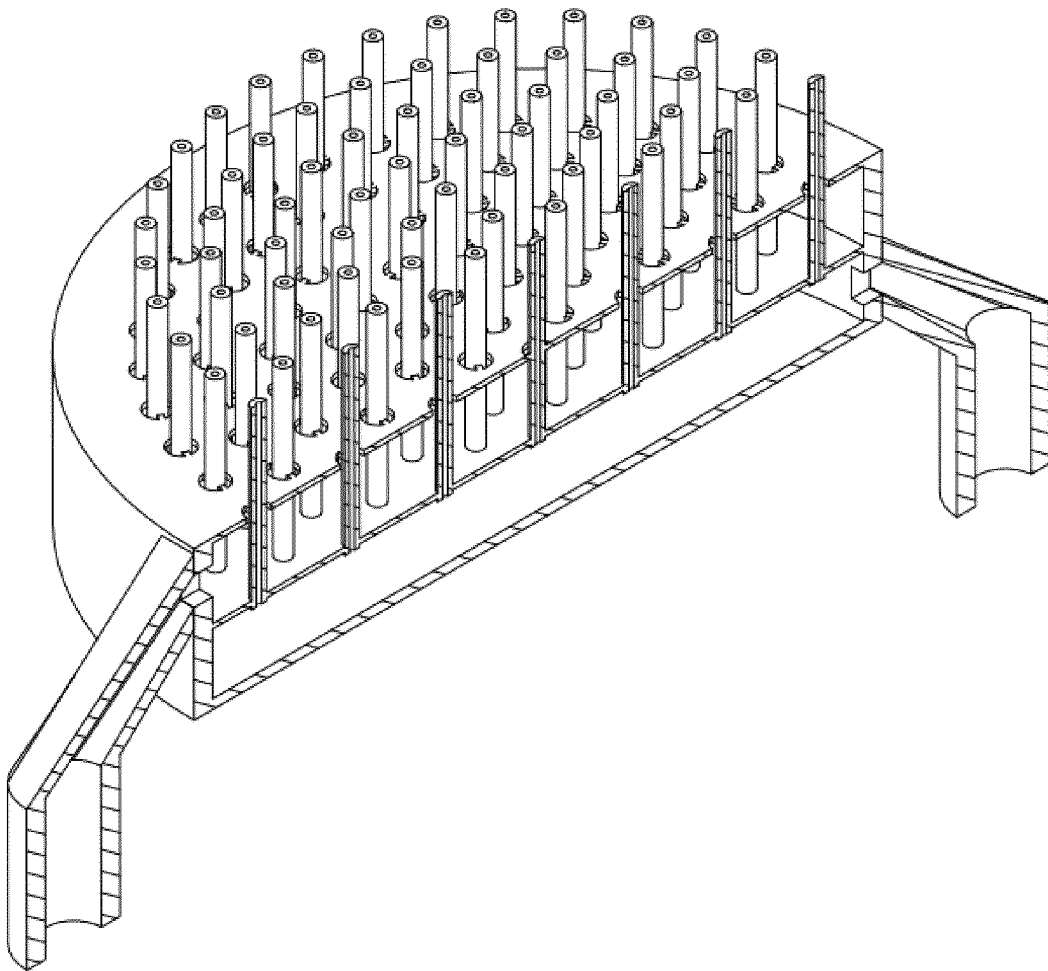


Fig. 2F

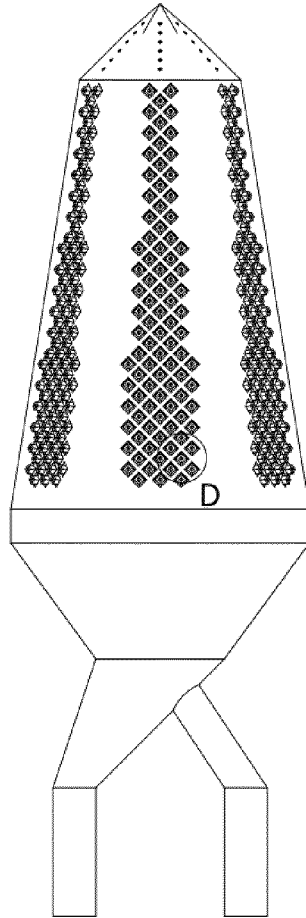


Fig. 3A

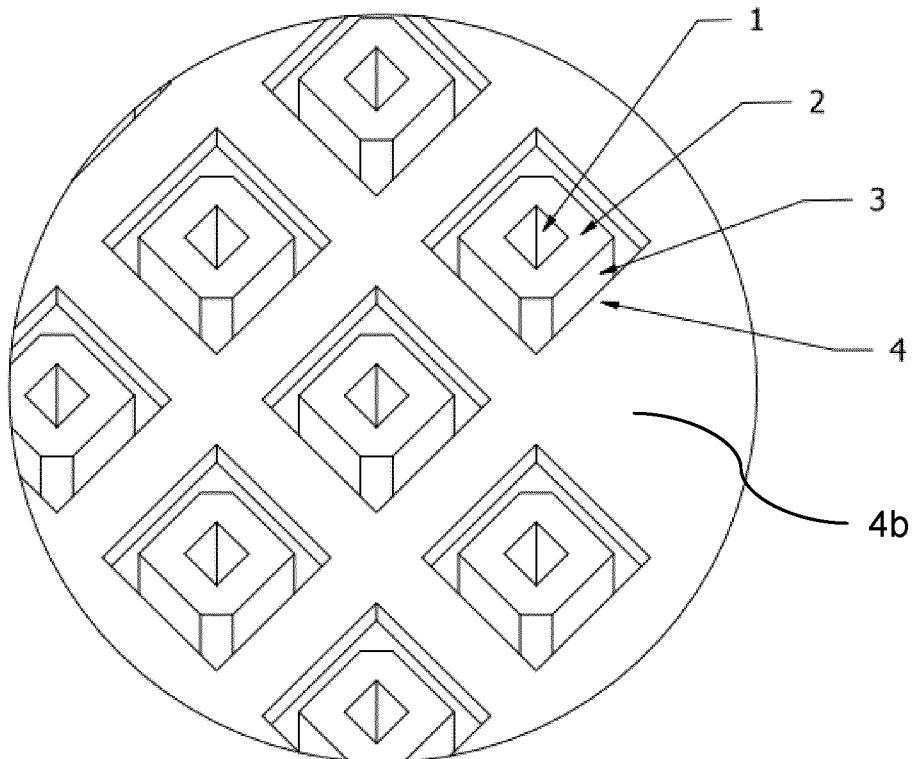


Fig. 3B

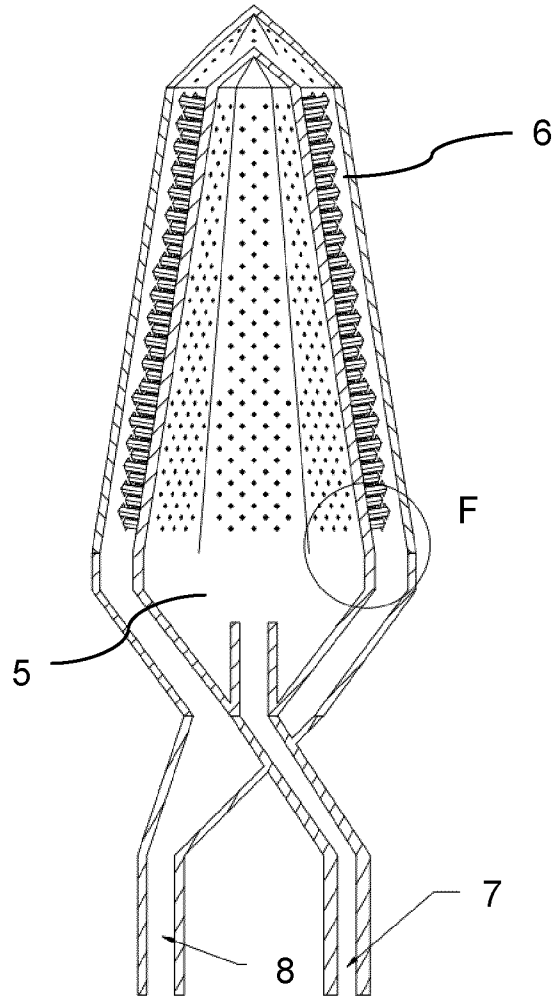


Fig. 3C

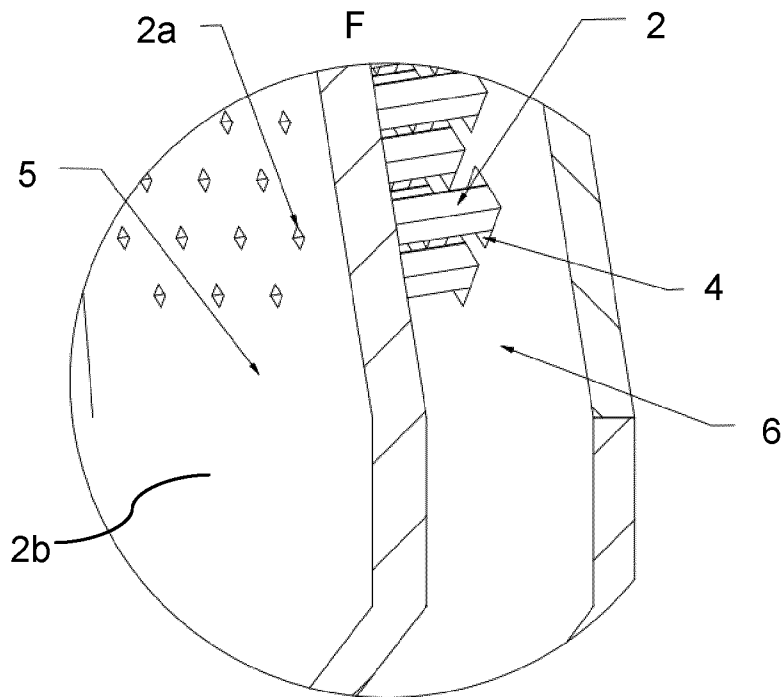


Fig. 3D

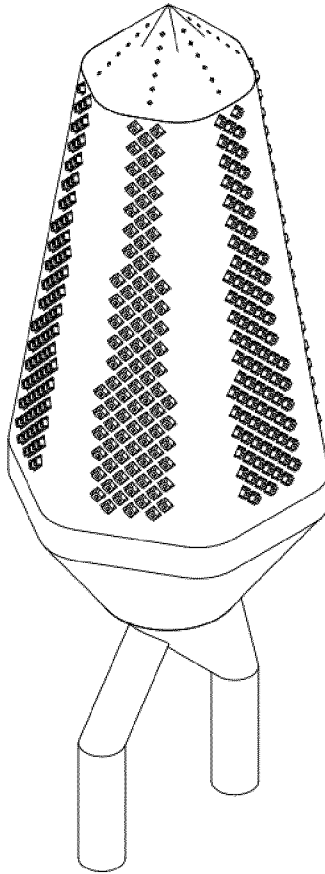


Fig. 3E

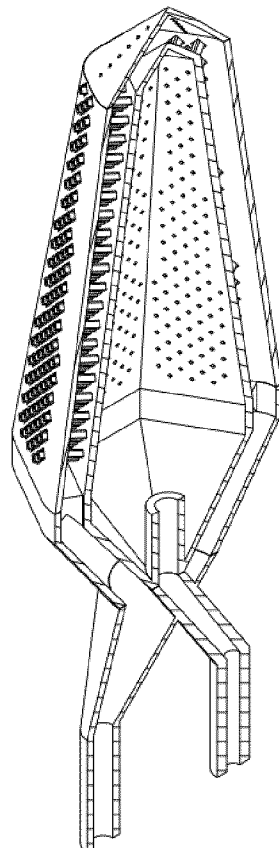


Fig. 3F

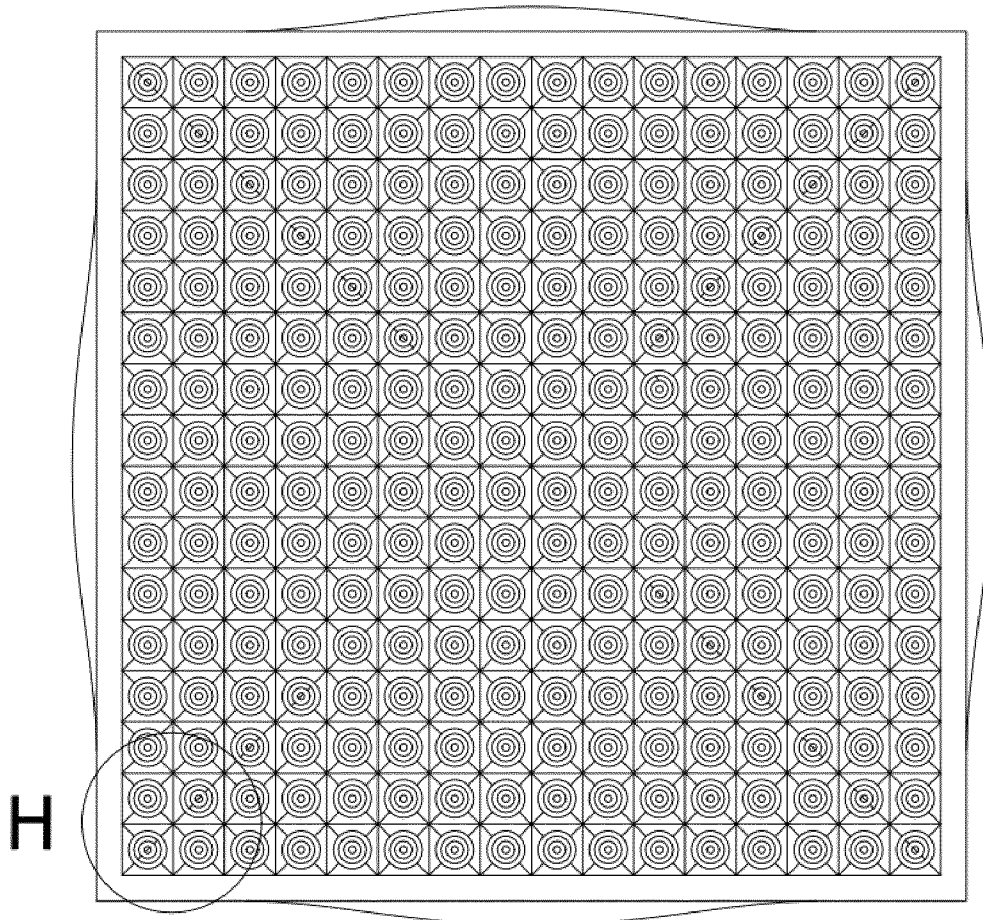


Fig. 4A

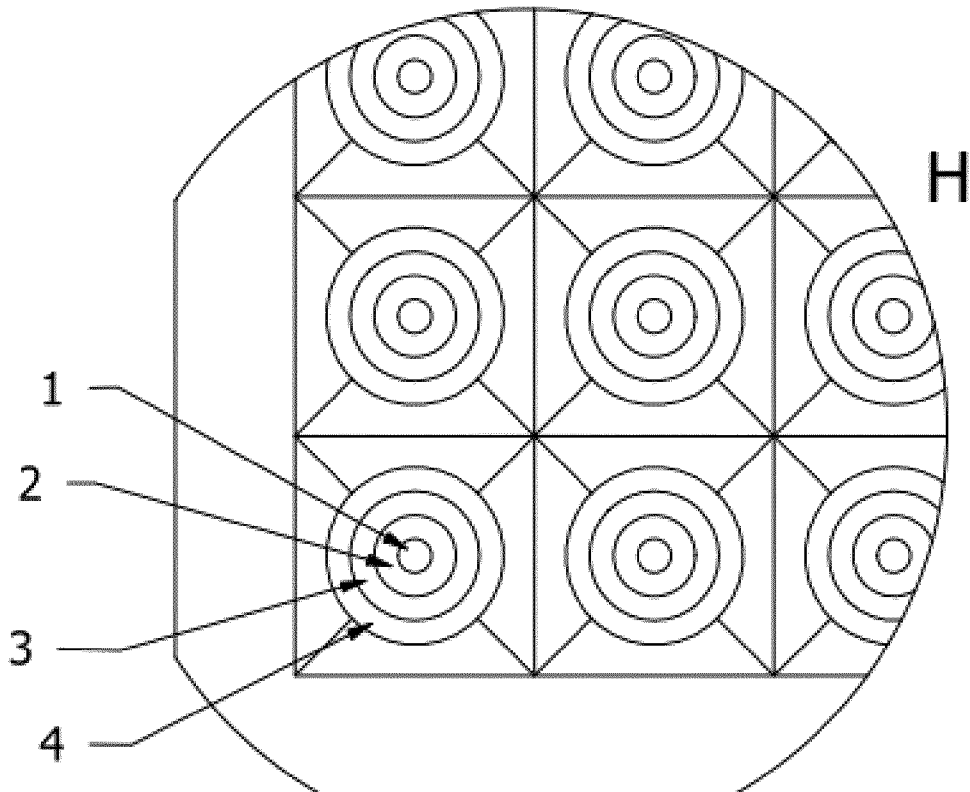


Fig. 4B

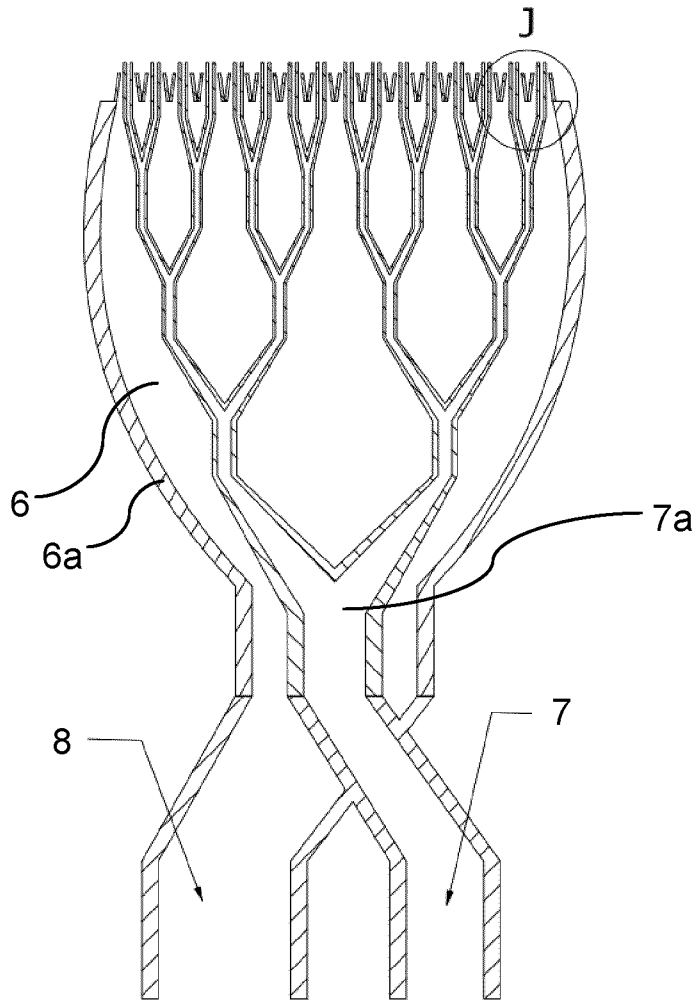


Fig. 4C

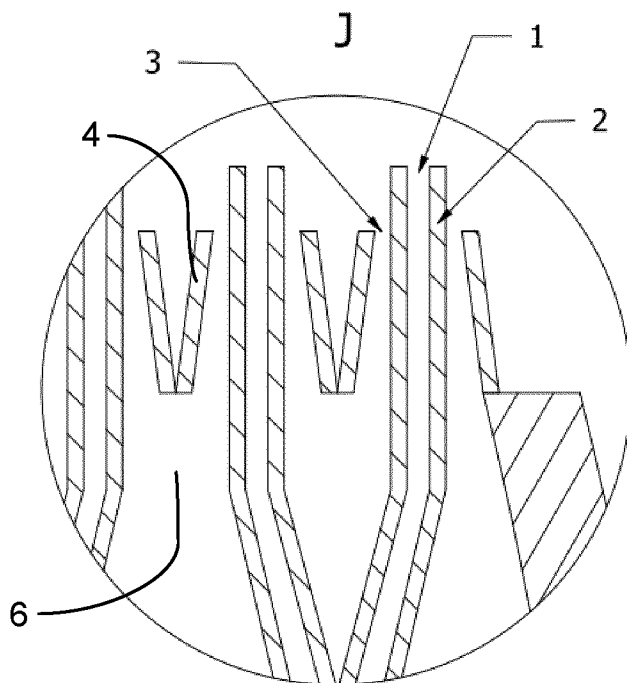


Fig. 4D

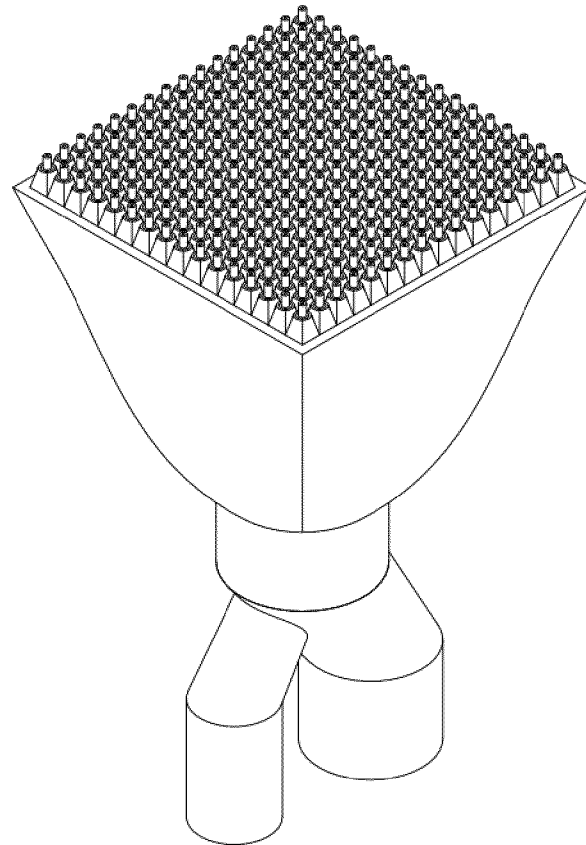


Fig. 4E

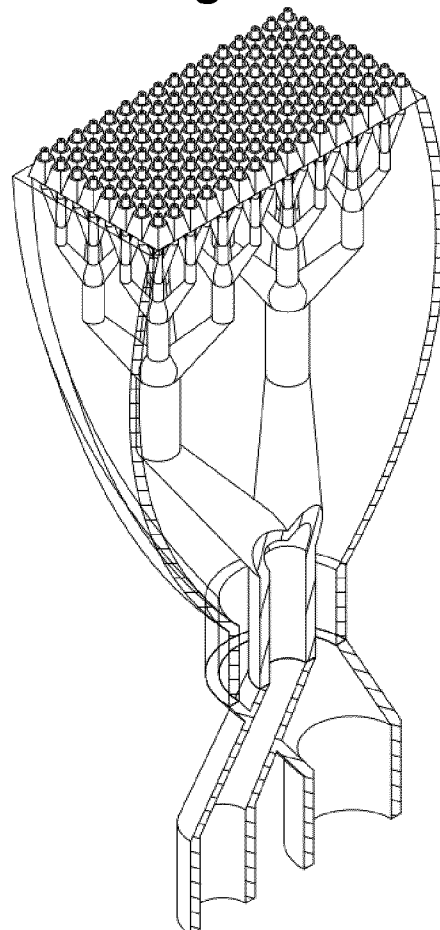


Fig. 4F

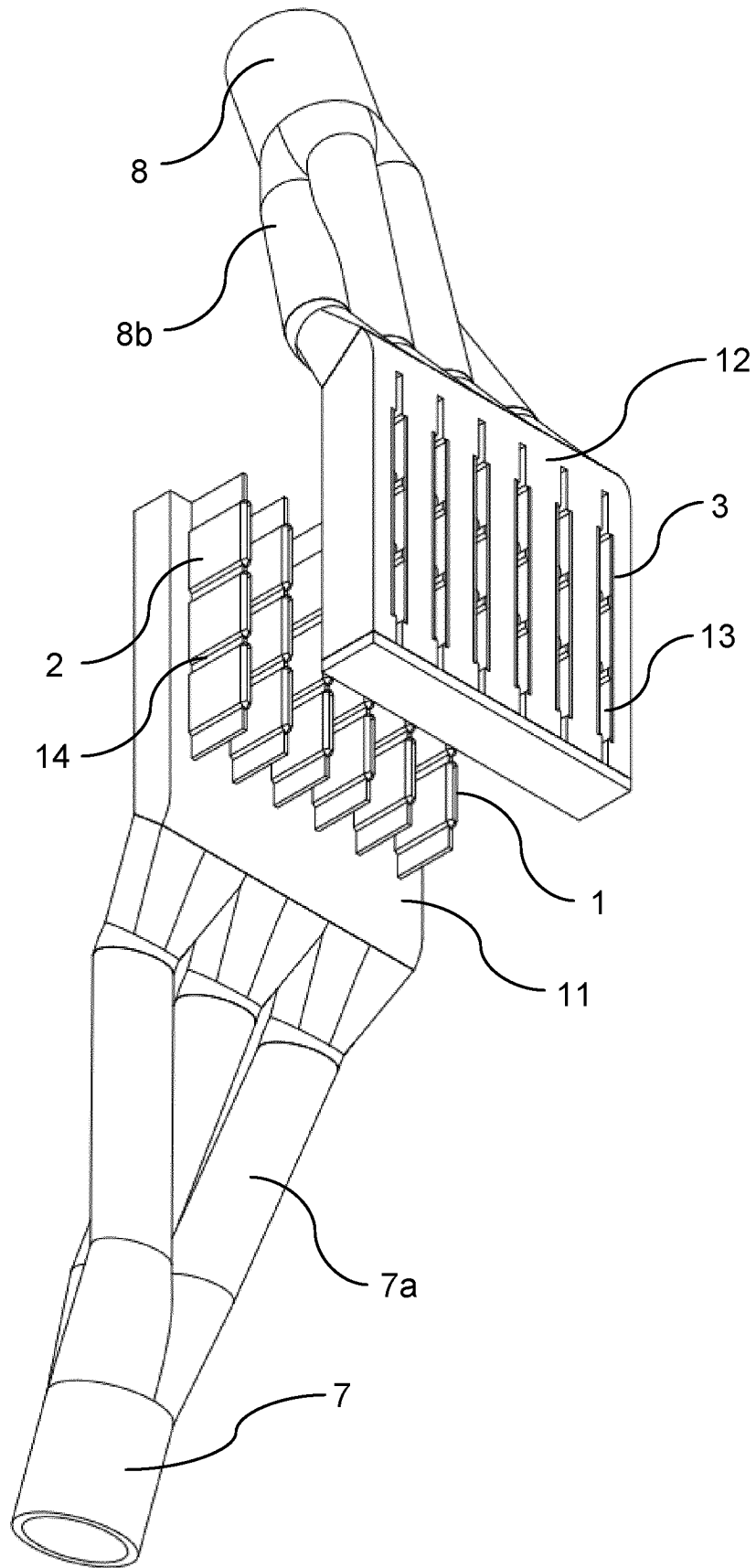


Fig. 5A

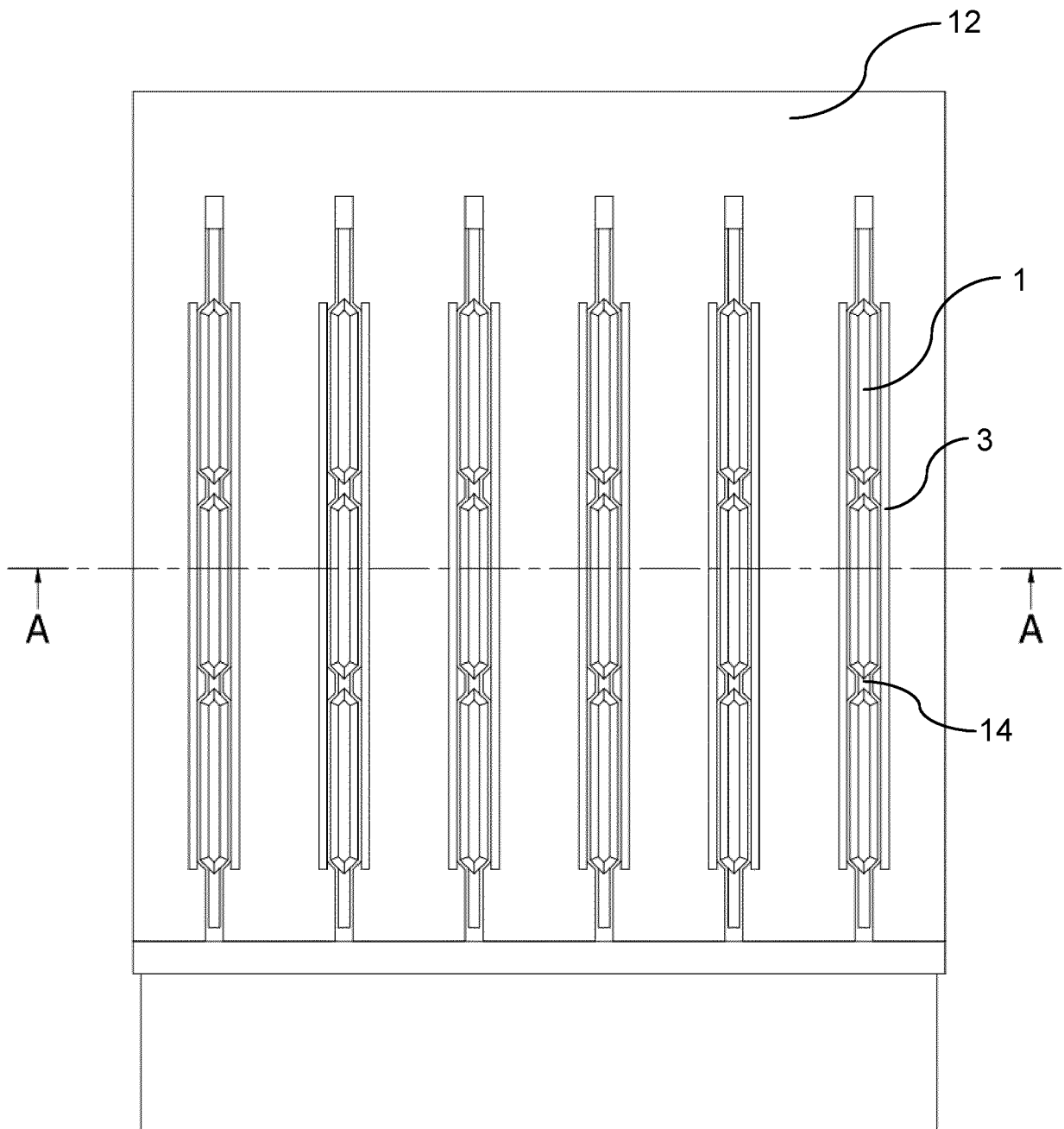
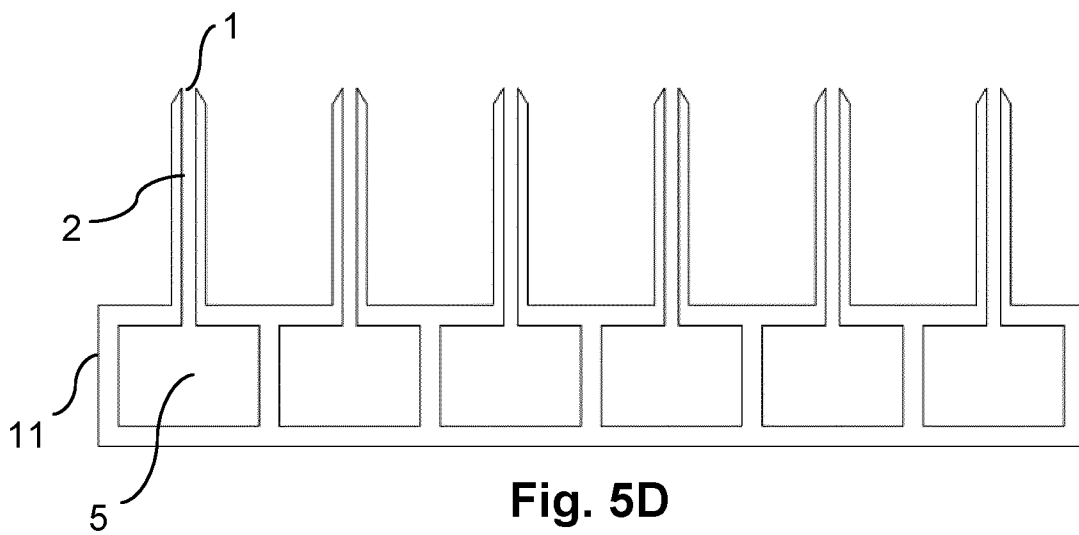
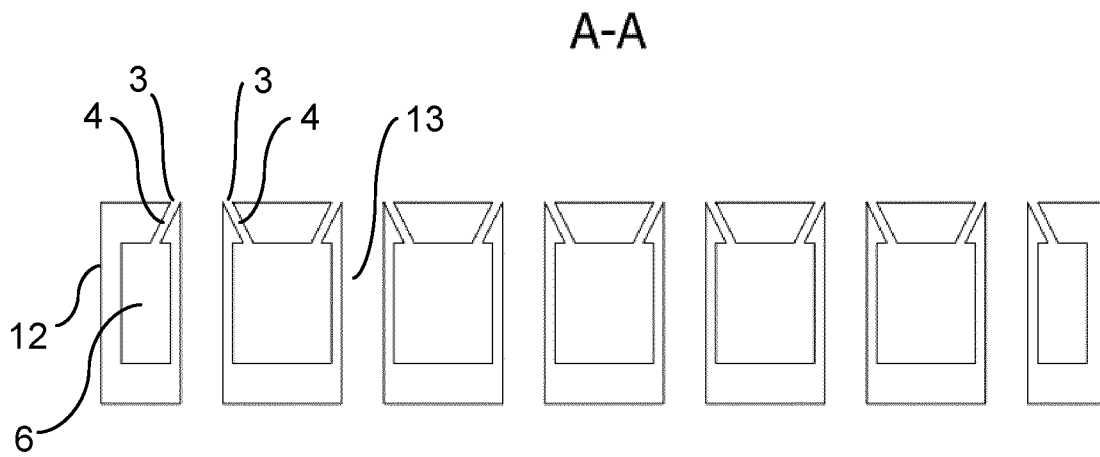
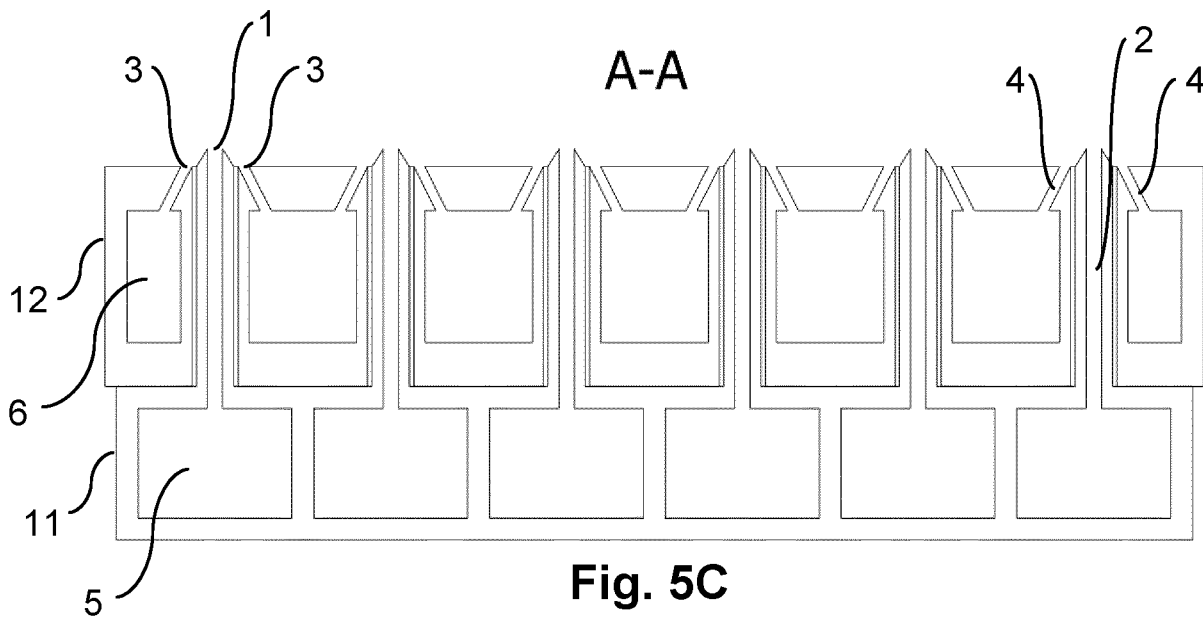


Fig. 5B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/070339

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F23R 3/36</i> (2006.01)i; <i>F23R 3/28</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F23R Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102018113824 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 20 December 2018 (2018-12-20)	1-3,5-13,15,16,18, 19,24-27,30-33,35
Y	paragraph [0049] - paragraph [0063]; figures 3-7,8	17
Y	US 2018087701 A1 (ADRIANY KYLE [US] ET AL) 29 March 2018 (2018-03-29) paragraph [0048] - paragraph [0051]; figures	17
X	US 4100733 A (STRIEBEL EDMUND EMIL ET AL) 18 July 1978 (1978-07-18) column 3, line 21 - line 41; figures	1-3,5-12,14-16, 20-23,25-27,30,31
X	US 4967561 A (BRUEHWILER EDUARD [CH] ET AL) 06 November 1990 (1990-11-06) column 3, line 22 - column 4, line 15; figures 1,2	1-3,5-12,14, 25-27,30,31
X	US 5339635 A (IWAI YASUO [JP] ET AL) 23 August 1994 (1994-08-23) column 3, line 31 - line 64; figures 1-3 column 5, line 40 - line 44; figure 7 column 5, line 45 - line 68; figure 8	1-13,15,25-27,30,31
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 October 2021		Date of mailing of the international search report 26 October 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Mootz, Frank Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/070339

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102018113824	A1	20 December 2018	CN	109114592	A	01 January 2019
				DE	102018113824	A1	20 December 2018
				US	2018363551	A1	20 December 2018
US	2018087701	A1	29 March 2018	AU	2017322485	A1	04 April 2019
				CA	3035670	A1	15 March 2018
				EP	3509842	A1	17 July 2019
				JP	2019534779	A	05 December 2019
				KR	20190045244	A	02 May 2019
				NZ	751641	A	31 January 2020
				SG	11201901767U	A	28 March 2019
				US	2018087701	A1	29 March 2018
				US	2020041122	A1	06 February 2020
				WO	2018049239	A1	15 March 2018
US	4100733	A	18 July 1978	NONE			
US	4967561	A	06 November 1990	EP	0095788	A1	07 December 1983
				JP	H0356369	B2	28 August 1991
				JP	S58219329	A	20 December 1983
				US	4967561	A	06 November 1990
US	5339635	A	23 August 1994	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F23R3/36 F23R3/28
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F23R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2018 113824 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 20. Dezember 2018 (2018-12-20)	1-3, 5-13,15, 16,18, 19, 24-27, 30-33,35
Y	Absatz [0049] - Absatz [0063]; Abbildungen 3-7,8	17
Y	US 2018/087701 A1 (ADRIANY KYLE [US] ET AL) 29. März 2018 (2018-03-29) Absatz [0048] - Absatz [0051]; Abbildungen ----- -/-	17



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Oktober 2021

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/10/2021

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Mootz, Frank

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>US 4 100 733 A (STRIEBEL EDMUND EMIL ET AL) 18. Juli 1978 (1978-07-18)</p> <p>Spalte 3, Zeile 21 - Zeile 41; Abbildungen -----</p>	<p>1-3, 5-12, 14-16, 20-23, 25-27, 30,31</p>
X	<p>US 4 967 561 A (BRUEHWILER EDUARD [CH] ET AL) 6. November 1990 (1990-11-06)</p> <p>Spalte 3, Zeile 22 - Spalte 4, Zeile 15; Abbildungen 1,2 -----</p>	<p>1-3, 5-12,14, 25-27, 30,31</p>
X	<p>US 5 339 635 A (IWAI YASUO [JP] ET AL) 23. August 1994 (1994-08-23)</p> <p>Spalte 3, Zeile 31 - Zeile 64; Abbildungen 1-3 Spalte 5, Zeile 40 - Zeile 44; Abbildung 7 Spalte 5, Zeile 45 - Zeile 68; Abbildung 8 -----</p>	<p>1-13,15, 25-27, 30,31</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/070339

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018113824 A1	20-12-2018	CN 109114592 A	01-01-2019
		DE 102018113824 A1	20-12-2018
		US 2018363551 A1	20-12-2018

US 2018087701 A1	29-03-2018	AU 2017322485 A1	04-04-2019
		CA 3035670 A1	15-03-2018
		EP 3509842 A1	17-07-2019
		JP 2019534779 A	05-12-2019
		KR 20190045244 A	02-05-2019
		NZ 751641 A	31-01-2020
		SG 11201901767U A	28-03-2019
		US 2018087701 A1	29-03-2018
		US 2020041122 A1	06-02-2020
		WO 2018049239 A1	15-03-2018

US 4100733 A	18-07-1978	KEINE	

US 4967561 A	06-11-1990	EP 0095788 A1	07-12-1983
		JP H0356369 B2	28-08-1991
		JP S58219329 A	20-12-1983
		US 4967561 A	06-11-1990

US 5339635 A	23-08-1994	KEINE	
