



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 1 817 526 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
20.03.2019 Patentblatt 2019/12

(51) Int Cl.:
F23C 99/00 (2006.01) **F23D 17/00 (2006.01)**
F23R 3/28 (2006.01) **F23C 13/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **05821548.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2005/055985

(22) Anmeldetag: **15.11.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/058843 (08.06.2006 Gazette 2006/23)

**(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VERBRENNUNG VON WASSERSTOFF IN EINEM
VORMISCHBRENNER**

METHOD AND DEVICE FOR BURNING HYDROGEN IN A PREMIX BURNER

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE COMBUSTION D'HYDROGÈNE DANS UN BRÛLEUR A
PRÉMELANGE

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

(30) Priorität: **30.11.2004 CH 197104**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.08.2007 Patentblatt 2007/33

(73) Patentinhaber: **Ansaldo Energia Switzerland AG
5401 Baden (CH)**

(72) Erfinder:
• **CARRONI, Richard**
CH-5443 Niederrohrdorf (CH)
• **GRIFFIN, Timothy**
CH-5408 Ennetbaden (CH)

(74) Vertreter: **Bernotti, Andrea et al**
Studio Torta S.p.A.
Via Viotti, 9
10121 Torino (IT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 610 722 **EP-B- 0 908 671**
DE-A1- 4 409 918

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff mit einem Brenner, der einen Drallerzeuger vorsieht, in den Flüssigbrennstoff, bspw. Erdöl, zentral längs einer Brennerachse unter Ausbildung einer sich kegelförmig ausbildenden Flüssigbrennstoffsäule einspeisbar ist, die von einem tangential in den Drallerzeuger einströmenden rotierenden Verbrennungsluftstrom umschlossen und durchmischt wird. In den durch tangentiale Lufteintrittsschlitzte in den Drallerzeuger eintretenden Verbrennungsluftstrom sind zudem Mittel zur Einspeisung gasförmigen Brennstoffs, bspw. Erdgas, vorgesehen.

Stand der Technik

[0002] Motiviert durch das nahezu weltweite Bestreben hinsichtlich der Reduzierung des Austusses von Treibhausgasen in die Atmosphäre, nicht zuletzt festgelegt im sogenannten Kioto-Protokoll, soll die im Jahre 2010 zu erwartende Emission von Treibhausgasen auf den gleichen Stand reduziert werden wie im Jahre 1990. Zur Umsetzung dieses Vorhabens bedarf es großer Anstrengungen, insbesondere den Beitrag an anthropogen-bedingten CO₂-Freisetzung zu reduzieren. Etwa ein Drittel des durch den Menschen in die Atmosphäre freigesetzten CO₂ ist auf die Energieerzeugung zurückzuführen, bei der zumeist fossile Brennstoffe in Kraftwerksanlagen zur Stromerzeugung verbrannt werden. Insbesondere durch den Einsatz moderner Technologien sowie durch zusätzliche politische Rahmenbedingungen kann auf dem Energie erzeugenden Sektor ein erhebliches Einsparungspotential zur Vermeidung eines weiter zunehmenden CO₂-Austusses gesehen werden.

[0003] Eine an sich bekannte und technisch beherrschbare Möglichkeit die CO₂-Emission in Verbrennungskraftwerken zu reduzieren, besteht im Entzug von Kohlenstoff aus dem zur Verbrennung gelangenden Brennstoffen noch vor Einleiten des Brennstoffes in die Brennkammer. Dies setzt entsprechende Brennstoffvorbehandlungen voraus, wie beispielsweise die teilweise Oxidation des Brennstoffes mit Sauerstoff und/oder eine Vorbehandlung des Brennstoffes mit Wasserdampf. Derartig vorbehandelte Brennstoffe weisen zumeist einen grossen Anteil von H₂ und CO auf, und verfügen je nach Mischungsverhältnissen über Heizwerte, die in der Regel unter jenen von natürlichem Erdgas liegen. In Abhängigkeit ihres Heizwertes werden derartig synthetisch hergestellten Gase als Mbtu- oder Lbtu-Gase bezeichnet, die sich nicht ohne weiteres für den Einsatz in herkömmlichen, für die Verbrennung von Naturgasen wie Erdgas konzipierte Brennern eignen, wie sie beispielsweise der EP 0 321 809 B1, EP 0 780 629 A2, WO 93/17279 sowie

der EP 1 070 915 A1 entnehmbar sind. In allen vorstehenden Druckschriften sind Brenner vom Typ der Brennstoffvormischung beschrieben, bei denen jeweils eine sich in Strömungsrichtung konisch erweiternde Drallströmung aus Verbrennungsluft und beigemischtem Brennstoff erzeugt wird, die in Strömungsrichtung nach Austritt aus dem Brenner möglichst nach Erreichen eines homogenen Luft-Brennstoff-Gemisches durch den zunehmenden Drall instabil wird und in eine ringförmige Drallströmung mit Rückströmung im Kern übergeht.

[0004] Je nach Brennerkonzept sowie in Abhängigkeit der Brennerleistung wird der sich im inneren des Vormischbrenners ausbildenden Drallströmung flüssiger und/oder gasförmiger Brennstoff zur Ausbildung eines möglichst homogenen Brennstoff-Luftgemisches eingespeist. Gilt es jedoch, wie vorstehend erwähnt, zu Zwecken einer reduzierten Schadstoff-, insbesondere CO₂-Emission synthetisch aufbereitete, gasförmige Brennstoffe alternativ zu oder in Kombination mit der Verbrennung herkömmlicher Brennstoffarten einzusetzen, so ergeben sich besondere Anforderungen an die konstruktive Auslegung herkömmlicher Vormischbrenner-systeme. So erfordern Synthesegas zur Einspeisung in Brennersysteme einen vielfachen Brennstoff-Volumenstrom gegenüber vergleichbaren mit Erdgas betriebenen Brennern, so dass sich deutlich unterschiedliche Strömungsimpulsverhältnisse ergeben. Aufgrund des hohen Anteils an Wasserstoff im Synthesegas und der damit verbundenen niedrigen Zündtemperatur und hohen Flammengeschwindigkeit des Wasserstoffes, besteht eine hohe Reaktionsneigung des Brennstoffes, die zu einer erhöhten Rückzündgefahr führt. Um dies zu vermeiden, gilt es die mittlere Verweilzeit von zündfähigem Brennstoff-Luftgemisch innerhalb des Brenners möglichst zu reduzieren.

[0005] In der EP 0 908 671 B1, die als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird, ist ein Verfahren sowie ein Brenner zur Verbrennung von gasförmigen, flüssigen sowie von mittel- oder niederkalorischen Brennstoffen beschrieben. In diesem Fall wird ein Doppelkegelbrenner mit nach geschalteter Mischstrecke gemäß der EP 0 780 629 A2 eingesetzt, in dessen den Drallraum begrenzenden Drallschalen Zuführleitungen zur axialen und/oder koaxialen Eindüsing von mittel- oder niederkalorischen Brennstoff in das Innere des Drallerzeugers vorgesehen sind. Ein schematischer Aufbau einer derartigen Vormischbrenneranordnung ist in den Figuren 2 und 3 dargestellt. Figur 2 zeigt einen Längsschnitt, Figur 3 einen Querschnitt durch die Vormischbrenneranordnung, die einen sich konisch erweiternden Drallerzeuger 1 vorsieht, der von Drallschalen 2 begrenzt ist. Axial sowie koaxial um die Mittenachse A des Drallerzeugers 1 sind Mittel zur Einspeisung von Brennstoff vorgesehen. So gelangt Flüssigbrennstoff B_L durch eine längs der Brennerachse A am Ort des kleinsten Innendurchmessers des Drallerzeugers 1 positionierte Einspritzdüse 3 in den Drallraum. Längs tangentialer Lufteintrittsschlitzte 4, über die Verbrennungsluft L mit tangentialer Strö-

mungsrichtung in den Drallraum eintritt, wird gasförmiger Brennstoff B_G , vorzugsweise in Form von Erdgas der Verbrennungsluft beigemischt. Zusätzlich sind Eindüsevorrichtungen 5 vorgesehen, die koaxial um die Brennerachse A angeordnet sind und der zusätzlichen Einspeisung von mittelkalorischen Brennstoff B_M dienen.

[0006] Das sich innerhalb des Drallerzeugers 1 ausbildende Brennstoff-Luftgemisch gelangt in Form einer Drallströmung durch ein Übergangsstück 6, das die Drallströmung stabilisierende Strömungsmittel 7 vorsieht, in ein Mischrohr 8, in dem eine vollständig homogene Durchmischung des sich ausbildenden Brennstoff-Luftgemisches erfolgt, bevor das zündfähige Brennstoff-Luftgemisch innerhalb einer sich stromab an das Mischrohr 8 anschliessenden Brennkammer (nicht dargestellt) geziündet wird. Figur 3 zeigt einen Querschnitt durch den Drallerzeuger 1 im Bereich der die Drallschalen 2 durchsetzenden Eindüsevorrichtungen 5. In der Querschnittsdarstellung sind die Lufteintrittsschlitz 4 besser sichtbar, durch die Luft L in das Innere des Drallerzeugers 1 eindringt. Zusammen mit der Verbrennungsluft L wird am Ort der Lufteintrittsschlitz 4 gasförmiger Brennstoff B_G über entsprechende Zuleitungen beigemischt. Zentrisch zur Brennerachse A ist eine Einspritzdüse für den Austrag von Flüssigbrennstoff in das Innere des Drallerzeugers 1 vorgesehen.

[0007] Zwar ist die Verbrennung von mittelkalorischen Brennstoffen, deren Heizwerte typischerweise zwischen 5 MJ/kg und 15 MJ/kg liegen, mit den vorstehend beschriebenen Brennerkonzept in hybrider Betriebsweise allein oder in Kombination mit der Verbrennung von Flüssigbrennstoff und Erdgas möglich, doch haben umfangreiche Verbrennungsversuche ergeben, dass im Bestreben möglichst Kohlenstoff-freie Brennstoffe einzusetzen, die überdies über einen möglichst grossen Wasserstoffanteil verfügen, vorzugsweise vollständig aus Wasserstoff bestehen, sich der Einsatz des vorstehend beschriebenen Vormischbrenners nicht eignet. Da wasserstoffreiche Brennstoffe mit einem Wasserstoffanteil von größer 50 Prozent über eine derart hohe Reaktivität sowie eine sehr viel höhere Flammengeschwindigkeit, die typischerweise doppelt so gross ist, wie jene von mit mittelkalorischen Synthesegasen betriebene Flammen, verfügen und darüber hinaus einen sehr viel geringeren Volumen spezifischen Wärmeheizwert (MJ/m^3) aufweisen, bedarf es einer sehr viel grösseren Menge an Wasserstoff, die den Brenner zum Erreichen einer gewünschten Verbrennungswärme zugeführt werden muss. Insbesondere bei Verwendung von ausschliesslich aus Wasserstoff bestehendem Brennstoff zeigten Hochdruckversuche an einem gattungsgemässen Vormischbrenner zum Betreiben einer Gasturbinenanlage, zu deren Betrieb es hohe Feuerungstemperaturen bedarf, dass bereits im Drallraum bzw. längs der Mischstrecke des Brenners Zünderscheinungen auftreten, die auf eine unzureichende Mischung des axialwärts mit grossem Volumenstrom in den Brenner eingespeisten Wasserstoffes zurückzuführen sind. Selbst in Fällen, in denen keine Rück-

zünderscheinungen auftreten, sorgt eine unzureichende Vermischung von Wasserstoff und Verbrennungsluft für eine Difusions-ähnliche Verbrennung, die letztlich zu erhöhten Stickoxyd-Emissionen führt.

5

Darstellung der Erfindung

[0008] Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen Vormischbrenner anzugeben, bei dem die obigen Nachteile nicht auftreten und der insbesondere beim Betrieb mit einem Wasserstoff enthaltenden gasförmigen Brennstoff, der einem Wasserstoffanteil von wenigstens 50 Prozent hat, eine verbesserte Durchmischung mit der Brennluft gewährleistet und zugleich für stabile Strömungsverhältnisse sorgt.

[0009] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 17 ist ein entsprechender Vormischbrenner. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung insbesondere unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0010] Trotz der im Vorfeld an einem herkömmlichen Vormischbrenner nach Bauart der EP 0 908 671 B1 gewonnenen Versuchsergebnisse, wie eingangs erwähnt, rückt das lösungsgemäss Brennerkonzept von dem Prinzip der axialen und/oder koaxialen Brennstoffeinspeisung zur Brennerachse von Wasserstoff enthaltenen, vorzugsweise aus Wasserstoff bestehenden Brennstoff in den Drallraum nicht ab. Von entscheidender Bedeutung ist die Art und Weise in welcher Form und mit welchem Durchmischungsgrad der Wasserstoff enthaltende bzw. vollständig aus Wasserstoff bestehende Brennstoff in den Brenner eingespeist wird. Zur vereinfachten Erfindungsbeschreibung ist im Weiteren ausschliesslich von Wasserstoff oder Wasserstoffbrennstoff die Rede, womit gemeint ist, dass der Brennstoff einen Wasserstoffanteil von wenigstens 50 Prozent, vorzugsweise vollständig, d.h. 100 Prozent aus Wasserstoff besteht.

[0011] Um eine wunschgemäss saubere und sichere Wasserstoffverbrennung zu gewährleisten, gilt es, die axiale und/oder koaxiale zur Brennerachse orientierte Wasserstoffeinspeisung derart vorzunehmen, dass einerseits die Einspeisungsgeschwindigkeit von Wasserstoff deutlich erhöht und andererseits die Durchmischungsrate zwischen Wasserstoff und Verbrennungsluft signifikant erhöht wird. Diese Massnahmen führen zu einer deutlich verbesserten Homogenität im durchmischten Brennstoff-Luftgemisch noch vor Erreichen der Flammenfront stromab des Brenners.

[0012] Das lösungsgemäss Verfahren zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff mit einem Brenner der einen Drallerzeuger vorsieht, in den flüssiger Brennstoff zentral längs einer Brennerachse unter Ausbildung einer sich kegelförmig ausbildenden Flüssig-

brennstoffsäule einspeisbar ist, die von einem tangential in den Drallerzeuger einströmenden rotierenden Verbrennungsluftstrom umschlossen und durchmischt wird, sieht eine axial und/oder koaxial zur Brennerachse orientierte Einspeisung des Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoffes innerhalb des Drallerzeugers unter Ausbildung einer Brennstoffströmung mit einer weitgehend räumlich begrenzten Strömungsform und mit einem Strömungsimpuls vor, die innerhalb des Brenners erhalten bleibt und erst im Bereich des Brenneraustrettes in eine turbulente Strömungsform aufplatzt und im Rahmen einer sich ausbildenden Rückströmzone zur Zündung gelangt.

[0013] Die hierfür erforderliche Anordnung und Dimensionierung der Mittel zur Einspeisung des Wasserstoffes in den Drallerzeuger des Brenners sind in einer Art zu wählen und im Brenner zu integrieren, so dass die für die Verbrennung von flüssigem Brennstoff sowie Erdgas optimierte Bauf orm des Brenners nicht oder nur geringfügig beeinträchtigt wird. Dies bedeutet, dass die Form, Anordnung und Dimension des Drallerzeugers, Übergangsstücks und Mischrohrs, wie sie beispielsweise aus der Figur 2 entnehmbar sind, weitgehend unverändert verbleiben, mit Ausnahme der durch die Drallschalen in das Innere des Drallerzeugers einmündenden Mittel zur Einspeisung von Wasserstoff oder Brennstoffen, die überwiegend Wasserstoff enthalten.

[0014] Die Wasserstoffeinspeisung erfolgt derart, dass möglichst unmittelbar nach Austritt des Wasserstoffes aus den Zuführleitungen eine effiziente Durchmischung des Wasserstoffes mit der Verbrennungsluft stattfindet, um lokale Wasserstoffkonzentrationen innerhalb des Brenners zu vermeiden, die ursächlich sind für Frühzünderscheinungen im Wege der Selbstzündung. Darüber hinaus ist Sorge dafür zu tragen, dass die mittlere Wasserstoffverweilzeit innerhalb des Brenners möglichst minimiert wird. Dies setzt voraus, dass die axiale Durchströmungsgeschwindigkeit des sich innerhalb des Brenners ausbildenden Wasserstoff-Luftgemisches sehr hoch ist.

[0015] Zur Realisierung einer derartigen Wasserstoff-Luftdurchmischung innerhalb des Brenners gilt es eine Vielzahl einzelner Wasserstoffströmungen in zirkulärer Verteilung um die Brennerachse verteilt in den Drallraum des Drallerzeugers einzuspeisen. Die Strömungseinspeisung des Wasserstoffes erfolgt einerseits unter Massgabe einer effektiven Durchmischung mit Verbrennungszuluft, andererseits gilt es, die sich längs des Brenners ausbildende Strömungsstruktur bis zum Brenneraustritt, d.h. im Falle des Vorsehens eines Mischrohrs, bis zum stromabwärtigen Ende des Mischrohrs weitgehend aufrecht zu erhalten, d.h. der Strömungsimpuls der sich längs des Brenners ausbildenden Wasserstoff-Luftgemischströmung ist gerade so einzustellen, dass die sich ausbildende Wasserstoff-Luftströmung am Brenneraustritt aufplatzt und im Rahmen der sich ausbildenden Rückströmzone zur Zündung und letztlich zur Verbrennung gelangt. Ein entsprechend an die Strömungsver-

hältnisse sowie der Brennerlänge angepasster Strömungsimpuls ist Voraussetzung für die Vermeidung von innerhalb des Brenners auftretenden Selbstzündungserscheinungen, von Flammenrücksschlägen sowie auch massgeblich für die Schadstoffemission verantwortlich.

[0016] Zur weiteren Beschreibung des lösungsgemässen Verfahrens sowie einer lösungsgemäss ausgebildeten Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden Brennstoff mit einem Brenner, sei auf die nachfolgenden Ausführungen bezugnehmend auf konkrete Ausführungsbeispiele verwiesen.

15 Kurze Beschreibung der Erfindung

[0017] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf 20 die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- | | | |
|----|------------|--|
| 25 | Fig. 1 | Schematisierter Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung mit unterschiedlich ausgebildeten Strömungsstrukturen zur Einspeisung von Wasserstoff in den Brenner, |
| 30 | Fig. 2 | Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung gemäss Stand der Technik, |
| 35 | Fig. 3 | Querschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung gemäss Stand der Technik, |
| 40 | Fig. 4a-c | Teilquerschnittsdarstellungen durch eine Drallschale mit unterschiedlichen Konfigurationen zur Wasserstoffeinspeisung, |
| 45 | Fig. 5-8 | Detailquerschnitte durch eine Drallschale mit unterschiedlich ausgebildeten Mitteln zur Einspeisung von Wasserstoff, |
| 50 | Fig. 9 | Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung mit radia ler Wasserstoffeinspeisung längs des Mischrohrs, sowie |
| 55 | Fig. 10a,b | Längsschnitt mit Detaildarstellung durch einen Vormischbrenner mit Wasserstoffzuleitung mit integrierten katalytischem Reaktor. |

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0018] Anhand des in Figur 1 dargestellten Längsschnittes durch einen Vormischbrenner mit Drallerzeuger 1, einem Übergangsstück 6 sowie nachfolgendem Mischrohr 8 sollen die sich innerhalb des Brenners ausbildenden idealen Strömungsverhältnisse näher erläu-

tert werden, unter denen Wasserstoff oder Wasserstoff enthaltender Brennstoff in das Innere des Brenners einzuspeisen sind. Zur Wasserstofffeinspeisung sind eine Vielzahl von Zuführleitungen 5 vorgesehen, von denen in Figur 1 lediglich zwei dargestellt sind, die koaxial um die Brennerachse A angeordnet sind. Nur aus Gründen der Vollständigkeit wird auf die weiteren Mittel zur Wasserstofffeinspeisung kurz Bezug genommen, die im Übrigen bereits unter Bezugnahme auf Figur 2 beschrieben sind. So ist es möglich, durch eine mittig angeordnete Brennstoffdüse 3 Flüssigbrennstoff, vorzugsweise Erdöl B_L einzudüsen, ebenso erlauben Brennstoffleitungen, die längs der Lufteintrittsschlitz 4 vorgesehen sind, die Einspeisung von gasförmigem Brennstoff B_G , wie beispielsweise Erdgas. Je nach Betriebsweise und Verfügbarkeit der diversen Brennstoffarten ist es möglich, den Vormischbrenner kombiniert oder einzeln mit den jeweiligen Brennstoffen zu versorgen und entsprechend zu betreiben.

[0019] Bezuglich des in Rede stehenden Betriebes des Vormischbrenners mittels Wasserstoff gilt es, durch die einzelnen Zuführleitungen 5 jeweils eine Wasserstoffströmung 9 in das Innere des Brenners 1 einzutragen, die über einen Strömungsimpuls verfügt, bei dem die Strömungsstruktur innerhalb des Brenners weitgehend erhalten bleibt, wobei zugleich für eine möglichst effiziente Durchmischung der Wasserstoffströmung mit der Verbrennungsluft gesorgt ist. Erst unmittelbar bei Austritt der Wasserstoffströmung aus dem Brenner platzt die Strömungsform auf, so dass das sich längs der Strömung 9 ausgebildete Wasserstoff-Luftgemisch dissipiert und vollständig innerhalb der Brennkammer verbrannt wird.

[0020] Dieser Strömungsfall ist in Figur 1 im Fallbeispiel b dargestellt. Sieht die Wasserstoffströmung 9 hin gegen einen grösseren Strömungsimpuls vor, d.h. wird die Wasserstoffströmung u.a. mit grösserer Strömungsgeschwindigkeit aus den Zuführleitungen 5 in den Brennerraum eingetragen, so bleibt die Strömungsform auch noch nach Austritt aus dem Brenner, d.h. innerhalb der Brennkammer erhalten, wie dies im Fallbeispiel a dargestellt ist. In diesem Fall tritt eine Verbrennung im Wege der Diffusion ein, die zu erhöhten Stickoxidemissionen führt. Ist hingegen der Strömungsimpuls zu gering, so platzt die Wasserstoffströmung 9 noch innerhalb des Brenners auf, wie dies im Fallbeispiel c dargestellt ist. In diesem Fall treten bevorzugt Selbstzündungen innerhalb des Brenners auf, zumal die Verweilzeit von Wasserstoff innerhalb des Brenners sehr hoch ist. Darüber hinaus führt ein zu geringer Strömungsimpuls zu einer verminderten Durchmischung der Wasserstoffströmung mit der Verbrennungsluft aufgrund einer nur geringen lateralen Strömungspenetration.

[0021] Neben der vorstehend beschriebenen Wahl eines in Strömungsrichtung orientierten Strömungsimpulses der in den Brenner eingetragenen Wasserstoffströmung, gilt es ebenso eine möglichst räumlich homogen um die Brennerachse verteilte Wasserstoff-Luftgemisch-

bildung herzustellen. Hierzu sind in den, den Drallraum des Drallerzeugers 1 begrenzenden Drallschalen 2, Zuführleitungen 5 für die Wasserstofffeinspeisung vorgesehen, gemäß Bildbeschreibungen in den Figuren 4a bis c.

- 5 5 Grundsätzlich gilt es, die Leitungsdurchmesser der Zuführleitungen 5 kleiner auszubilden als im Falle der bis anhin bekannten Einspeisung von niedrig- oder mittelkalorischen Brennstoffen. In den Figuren 4a bis c ist jeweils eine Teilquerschnittsdarstellung durch eine Drallschale 2 dargestellt, in der unterschiedliche Anordnungen von Zuführleitungen 5, durch die Wasserstoff in den Drallraum eingespeist wird, vorgesehen sind. In Figur 4a sind vier Zuführleitungen 5 vorgesehen, die bezogen zur Brennerachse A sowohl in radialer als auch in zirkularer 10 Anordnung unterschiedlich positioniert sind. Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4b sieht mehrere im Leitungsquerschnitt kleiner dimensionierte Zuführleitungen 5 vor, die um die Brennerachse A jeweils weitgehend konzentrisch angeordnet sind. Das Ausführungsbeispiel 15 gemäß Figur 4c sieht die Wahl unterschiedlich gross dimensionierter Zuführleitungen 5 vor, wobei die radial aussenliegenden Zuführleitungen 5 einen grösseren Leitungsquerschnitt aufweisen, als die Innen liegenden. Dies hat zur Folge, dass der Wasserstoffströmungsfluss 20 mit zunehmendem Abstand zur Brennerachse A zunimmt.

[0022] Selbstverständlich sind auch weitere Ausbildungs- und Anordnungsmöglichkeiten von Zuführleitungen 5 innerhalb der jeweiligen Drallschale 2 möglich.

- 30 **[0023]** Zum Ausbringen der Wasserstoffströmung aus den jeweiligen Zuführleitungen 5 sind vorzugsweise geeignete Düsen vorzusehen, die einfachsten Fall als einfache Lochdüsen oder in Form geeigneter Venturi-Düsen oder ähnliche Düsenanordnungen ausgebildet sind. So 35 ist es möglich, durch geeignete Düsenwahl die Strömungsform der sich im Brenner ausbildenden Wasserstoffströmung zu beeinflussen, beispielsweise zur Ausbildung einer Strömung mit elliptischen, rechteckigen oder dreiecksförmigen Strömungsquerschnitt. In Abhängigkeit der gewählten Strömungsform kann die Durchmischungseffizienz der Wasserstoffströmung mit der die Wasserstoffströmung umgebenden Verbrennungsluft beeinflusst und verbessert werden.

- 40 **[0024]** Eine weitere alternative Massnahme zur Verbesserung der Durchmischung der Wasserstoffströmung mit der Verbrennungsluft ist in Figur 5 dargestellt, die ebenso einen Teilquerschnitt durch eine Drallschale 2 darstellt, in der repräsentativ für eine Vielzahl weiterer Zuführleitungen eine Zuführleitung 5 vorgesehen ist. Die 45 Zuführleitung 5 weist eine Radialkomponente r_c auf und/oder eine Tangentialkomponente t_c . Im Falle einer zur Brennerachse A orientierten Radialkomponente r_c ist die Zuführleitung 5 der Brennerachse A zugewandt geneigt, so dass der aus der Zuführleitung 5 austretende 50 Brennstoffstrahl unter einem vorgebbaren Radialwinkel gegenüber der Brennerachse A geneigt ist. Ebenso ist es möglich, die Radialkomponente r_c entgegengesetzt zur Brennerachse A einzustellen, wobei in diesem Fall 55

der aus der Zuführleitung 5 aus tretende Wasserstoffstrahl von der Brennerachse A abgeneigt orientiert ist. In diesem Fall gilt es den Neigungswinkel derart zu wählen, so dass keine Benetzung der Wasserstoffströmung mit der Brennerwand, insbesondere im Bereich des Mischrohres auftritt. Gleichsam der vorstehend beschriebenen Radialkomponente ist es möglich, alternativ oder in Kombination die Zuführleitung 5 in Umfangsrichtung der Drallschale 2 um die Brennerachse A um einen sogenannten Tangentialwinkel zu neigen. Die Orientierung der Tangentialneigung ist vorzugsweise derart vorzunehmen, dass die aus der Zuführleitung 5 austretende Wasserstoffströmung in der gleichen Drallrichtung um die Brennerachse A ausströmt, mit der auch die Verbrennungsluft durch die Lufeintrittsschlitzte 4 in den Drallerzeuger 1 einströmt. Die Einstellung der Tangentialkomponente t_c bzw. des Tangentialwinkels sind zudem auch derart zu wählen, so dass die aus den Zuleitungen austretenden Wasserstoffströmungen nicht unmittelbar an benachbart liegenden Komponentenwänden auftreffen. Darüber hinaus gilt es die mittlere Verweilzeit der in den Brenner ausgetragenen Wasserstoffströmung nicht über Gebühr zu verlängern. Ebenso ist es denkbar, die Tangentialkomponenten entgegengesetzt zur Drallrichtung der Verbrennungsluft innerhalb des Brenners zu orientieren, so dass die Wasserstoffströmung in Form eines Gegenwirbels in den Drallerzeuger eingespeist wird. Auch auf diese Weise kann der Durchmischungsgrad von Wasserstoff und Verbrennungsluft erheblich gesteigert werden.

[0025] Eine weitere alternative Massnahme zur Erhöhung der Durchmischung von Wasserstoff mit Verbrennungsluft sieht die Einprägung eines Eigendralls E längs der Wasserstoffströmung vor. In Figur 6 ist repräsentativ für weitere Zuführleitungen eine Zuführleitung 5 dargestellt, aus der eine Wasserstoffströmung austritt, die einen im Uhrzeigersinn orientierten Eigendrall E (siehe Pfeildarstellung) vorsieht. Selbstverständlich ist es möglich, die Orientierung des Eigendralls E entgegen des Uhrzeigersinnes einzurichten. Beispielsweise dienen zur Generierung eines Eigendralls helikal innerhalb der Zuführleitung 5 verlaufende nutartige Konturen, wie sie beispielsweise in einem Gewehrlauf vorgesehen sind. Auch können im Bereich des Strömungsaustrettes der Zuführleitung 5 entsprechende, dem Eigendrall in die Strömung einprägende Strömungsleitbleche vorgesehen werden. Durch die Einprägung eines Eigendralles in die Wasserstoffströmung kann in vorteilhafter Weise der laterale Durchmischungseffekt mit der umgebenden Verbrennungsluft deutlich verbessert werden, ohne dabei die zu minimierende mittlere Verweilzeit von Wasserstoff innerhalb des Brenners zu vergrößern. Anhand von einer Vielzahl von Versuchen hat sich herausgestellt, dass der Eigendrall mit einer Drallzahl Ω von sehr viel kleiner 1, vorzugsweise kleiner 0,5 einzustellen ist, wobei Ω das Verhältnis aus dem axialen Fluss des tangentialen Strömungsmomentes und dem axialen Fluss des axialen Strömungsmomentes ist. In diesem Fall werden Wirbel-

zusammenbrüche weitgehend vermieden.

[0026] In Figur 7a, b ist eine weitere alternative Massnahme zur Verbesserung der Durchmischungseigenschaften einer Wasserstoffströmung mit der umgebenden Verbrennungsluft gezeigt. In diesem Fall ist die Zuleitung 5 als Ringleitung 11 ausgebildet, bzw. weist am Leitungsaustritt eine ringförmige Austrittsgeometrie auf, durch die die Wasserstoffströmung in den Drallerzeuger eintritt. Durch die sich ringförmig ausbildende Wasserstoffströmung wird deren Oberfläche vergrößert, verglichen zu einer Standardströmung wie sie aus einer einfachen Einlochöffnung zu erzeugen ist, und vermag sich aufgrund dessen mit der umgebenden Verbrennungsluft effizienter zu durchmischen.

[0027] An dieser Stelle sei angemerkt, dass die ringförmige Wasserstoffströmung zur weiteren Verbesserung der Durchmischungsverhältnisse mit den bereits vorstehend beschriebenen Massnahmen zur Verbesserung der Durchmischung zwischen Wasserstoffströmung und Verbrennungsluft beliebig kombiniert werden kann.

[0028] In Figur 7b ist ein Längsschnitt durch den Austrittsbereich einer Zuführleitung 5 dargestellt, in dem ein keilförmiger Verdrängungskörper 10 eingebracht ist, durch den die aus der Zuführleitung 5 austretende Wasserstoffströmung mit einer vorgebbaren Divergenz austritt.

[0029] In dem Ausführungsbeispiel gemäss Figur 8a sei angenommen, dass der ringförmig dunkel schraffierte Bereich 11 der Zuführleitung 5 jener Bereich ist, aus dem Wasserstoff austritt. Der helle, mittige Kreisbereich entspricht einer Luftzuführleitung, aus der Luft ausgetragen wird, die von der ringförmigen Wasserstoffströmung umgeben ist. In dem Ausführungsbeispiel gemäss Figur 8b ist der umgekehrte Fall dargestellt. Hierbei tritt aus dem innenliegenden hellen Strömungsbereich Wasserstoff in Form einer Wasserstoffströmung aus, die von einer zirkulären, ringförmigen Luftströmung 11 umgeben wird. Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, dass die Strömungsgeschwindigkeit, mit der jeweils die Luftströmung aus den jeweiligen Strömungsbereichen der Zuführleitung 5 austritt, grösser zu wählen ist als jene Geschwindigkeit, mit der die Verbrennungsluft den Brenner axial durchströmt. Durch diese Massnahme kann die mittlere Verweildauer des Wasserstoffes innerhalb des Brenners erheblich reduziert und zum anderen die Durchmischungsrate verbessert werden.

[0030] Eine den Durchmischungsgrad noch weiter verbessende Massnahme sieht anstelle einer einheitlichen Ringströmung die Anordnung einer Vielzahl längs einer Ringform angeordneter kleiner Strömungskanäle vor, durch die Luft ausströmt und eine Ringströmung ausbildet, die eine mittig zur Ringform sich ausbildende Wasserstoffströmung zirkulär umgibt.

[0031] Allen vorstehend genannten Möglichkeiten der Einspeisung einer Wasserstoffströmung in das Innere eines Vormischbrenners ist gemeinsam, dass die in das Innere des Brenners ausgetragene Wasserstoffströ-

mung nicht mit den Wänden von Brennerkomponenten in Berührung kommt, zumal die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb wandnaher Grenzschichten deutlich abnimmt, wodurch die mittlere Verweilzeit von Wasserstoff innerhalb des Brenners ansteigt sowie die Gefahr von Selbstzündungen und Rückzündungen in gleicher Weise vergrößert wird.

[0032] Eine bevorzugte Anwendung der vorstehend beschriebenen Massnahmen zur Versorgung eines Vormischbrenners mit Wasserstoff als Brennstoff sieht die Befeuerung von Brennkammern zum Antrieb von Gasturbinenanlagen vor. Eine durchaus übliche Kombination von Gasturbinenanlagen mit einer sogenannten integrierten Gassynthetisierung, (IGCC-, Integrated Gasification Combined Cycle) weist üblicherweise den Brennstoff dekarbonisierende Einheiten auf, durch die Wasserstoff angereicherte Brennstoffe gewonnen werden können, die den lösungsgemäßen Vormischbrenner zuführbar sind. Im Rahmen der Dekarbonisierung fallen ebenso grosse Mengen an Stickstoff unter hohen Prozessdrücken, typischerweise um 30 bar an, der überdies Temperaturen von etwa 150°C und darunter aufweist. Der gewonnene Stickstoff kann dem Wasserstoffbrennstoff beigemischt werden, um auf diese Weise die mit der hohen Reaktivität des Wasserstoffes verbundene Gefahren zu mildern. Hierzu sind bereits geringste Mengen an beizumischenden Stickstoff ausreichend, um die hohe Reaktivität sowie Flammengeschwindigkeit von Wasserstoff merklich zu reduzieren. In einer derartigen Betriebsweise hat es sich ferner als vorteilhaft erwiesen, ein durch Stickstoff angereichertes Wasserstoffbrennstoffgemisch 12 zusätzlich im Bereich des Mischrohres 8 radial zur Brennerachse A einzuspeisen, wie dies insbesondere aus der schematisierten Längsschnittdarstellung durch einen entsprechend ausgebildeten Vormischbrenner in Figur 9 hervorgeht, auf deren bereits eingeführte Bezugszeichen zur Vermeidung von Wiederholungen nicht weiter eingegangen wird. Durch die Beimischung von Stickstoff innerhalb des Wasserstoffbrennstoffes erhöht sich der Strömungsimpuls, wodurch eine genügend ausreichende Penetration der in den Mischbereich radial eingespeisten Stickstoff-Wasserstoffströmung 12 erreicht wird, die sich mit der Verbrennungsluft vollständig zu durchmischen vermag, noch bevor die Strömung die Brennkammer erreicht. Zudem wird die Reaktivität des Wasserstoffes durch die N₂-Beimischung merklich reduziert. Alternativ oder in Kombination zur vorstehenden Massnahme zur Reduzierung der H₂-Reaktivität bietet es sich an, Stickstoff der durch die tangentialen Lufteintrittsschlitzte in den Brenner eintretenden Verbrennungsluft beizumischen. Hierdurch wird der Sauerstoffanteil reduziert und auf diese Weise die Reaktivität des Wasserstoffs beeinflusst. Ferner ist es denkbar anstelle der Luftzufuhr in den in den Figuren 8 a und b beschriebenen Ausführungsbeispielen N₂ zuzuführen.

[0033] Eine weitere, alternative Massnahme die hohe Reaktivität und Flammengeschwindigkeit von Wasserstoff zu verringern, sieht den Einsatz von katalytischen

Reaktoren vor, wie dies im Einzelnen aus dem Ausführungsbeispiel in Figur 10 hervorgeht. Längs wenigstens einer Zuführleitung 5, durch die Wasserstoff zur Verbrennung innerhalb des Vormischbrenners zugeführt wird, ist

5 ein katalytischer Reaktor 13 gemäß Bildbeschreibung in Figur 10b integriert. Wasserstoff H₂ wird gemeinsam mit Luft L längs der Zuführleitung 5 einer Mischereinheit 14 zugeführt, die die einströmende Luft L mit dem Wasserstoff H₂ durchmischt, bevor die Mischung in den katalytischen Reaktor 13 einströmt. Im Wege der teilweise stattfindenden Oxidation des Wasserstoffes wird Wasser H₂O gebildet, das gemeinsam mit dem in der Luft enthaltenden Stickstoff N₂ sowie dem nicht oxidierten Wasserstoff H₂ aus dem katalytischen Reaktor 13 austritt und
10 über einen Wirbelgenerator 15 in das Innere des Drallerzeugers 1 gelangt. Durch den im Wege der Katalyse erzeugten Wasserdampf sowie durch die Beimischung mit N₂ wird die Reaktionskinetik von Wasserstoff entscheidend beeinflusst, wodurch die Rückzündungsgefahr erheblich herabgesetzt wird. Ferner weist der aus dem katalytischen Reaktor 13 in das Innere des Drallerzeugers 1 eintretende Brennstoffstrom verbesserte Mischungseigenschaften mit der Verbrennungsluft innerhalb des Brenners auf. Somit lassen sich brennstofffreie und brennstoffarme Verbrennungssysteme bzw. Zustände leichter kontrollieren und handhaben.

[0034] Das vorstehende Brennerkonzept ermöglicht die Verbrennung von Wasserstoff und lässt sich bei bereits bestehenden Vormischbrennersystemen in einfacher Weise adaptieren, ohne dabei das an den Brennerbetrieb mit herkömmlichen flüssigen und/oder gasförmigen Brennstoffen optimiert angepasste Brennerdesign zu verändern. Neben dem Design sowie Anordnung der axial und/oder koaxial um die Brennerachse angeordneten Zuführleitungen zur Einspeisung von Wasserstoff oder Wasserstoff enthaltenden Brennstoffen ist die Wahl der Länge der Mischstrecke ein wesentlicher Designparameter. Typischerweise weisen Mischrohre eine Länge auf, die zwischen dem ein- und zweifachen des maximalen Brennerdurchmessers liegen. Je nach Betriebsweise des Vormischbrenners kann eine entsprechend optimiert auf die Brennstoffart abgestimmte Länge des Mischrohres gewählt werden.

45 Bezugszeichenliste

[0035]

- | | |
|----|------------------------------------|
| 1 | Drallerzeuger |
| 50 | 2 Drallschale |
| | 3 Einspritzdüse |
| | 4 Lufteintrittsschlitz |
| | 5 Zuführleitung |
| | 6 Übergangsstück |
| | 7 Leitbleche |
| | 8 Mischrohr |
| | 9 Wasserstoffströmung |
| 55 | 10 keilförmiger Verdrängungskörper |

- 11 Ringbereich
 12 Stickstoff-Wasserstoffbrennstoffgemisch
 13 katalytischer Reaktor
 14 Mischereinheit
 15 Wirbelgenerator

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden gasförmigen Brennstoff, der einen Wasserstoffanteil von mindestens 50 Prozent hat, mit einem Brenner, der einen Drallerzeuger (1) vorsieht, in den flüssiger Brennstoff zentral längs einer Brennerachse (A) unter Ausbildung einer sich kegelförmig ausbildenden Flüssigbrennstoffsäule einspeisbar ist, die von einem tangential in den Drallerzeuger (1) einströmenden rotierenden Verbrennungsluftstrom umschlossen und durchmischt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoff enthaltende gasförmige Brennstoff innerhalb des Drallerzeugers (1) weitgehend axial und/oder koaxial zur Brennerachse (A) unter Ausbildung einer Brennstoffströmung mit einer weitgehend räumlich begrenzten Strömungsform (9) und mit einem Strömungsimpuls derart eingespeist wird, dass die Strömungsform der Brennstoffströmung innerhalb des Brenners erhalten bleibt und im Bereich des Brenneraustrettes aufplatzt und im Rahmen einer sich ausbildenden Rückströmzone zur Zündung gelangt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoff enthaltende Brennstoff in Form einer Vielzahl einzelner Brennstoffströmungen (9) in zirkulärer Verteilung um und/oder in den rotierenden Verbrennungsluftstrom eingespeist wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoff enthaltende Brennstoff in Form einer Vielzahl einzelner Brennstoffströmungen (9) in radialer Verteilung relativ zu dem rotierenden Verbrennungsluftstrom in den Drallerzeuger (1) eingespeist wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine radial äußere Brennstoffströmung mit einem größeren Brennstofffluss in den Drallerzeuger (1) eingespeist wird als eine radial innen liegende Brennstoffströmung (9).
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffströmung (9) unmittelbar stromauf zum Brenneraustritt aufplatzt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffströmung (9) einen kreisförmigen, elliptischen, ringförmigen, nahezu rechteckigen oder nahezu dreieckigen Strömungsquerschnitt aufweist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoff enthaltende Brennstoff mit einem Strömungsimpuls in den Drallerzeuger (1) eingespeist wird, der weitgehend an den Strömungsimpuls des sich längs des Drallerzeugers (1) ausbreitenden, rotierenden Verbrennungsluftstroms angepasst ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung (9) unter einem zur Brennerachse (A) zu- oder abgewandten Radialwinkel geneigt eingespeist wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung (9) unter einem Tangentialwinkel in oder entgegen der Rotationsrichtung des in den Drallerzeuger (1) einströmenden Verbrennungsluftstroms eingespeist wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung mit einem Eigendrall (E) um ihre Strömungsrichtung ausgetragen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffströmung (9) einen ringförmigen Strömungsquerschnitt aufweist, der einen innen liegenden Luftstrom mit gleicher Strömungsrichtung zur Brennstoffströmung umschließt, oder dass die Brennstoffströmung (9) einen kreisrunden Strömungsquerschnitt aufweist, der von einem ringförmigen Luftstrom umschlossen wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Luftstrom eine höhere Strömungsgeschwindigkeit aufweist als der in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Verbrennungsluftstrom.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wasserstoff enthaltende Brennstoff vor Eintritt in den Drallerzeuger (1) teilweise katalytisch oxidiert wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff N₂ beigemischt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Verbrennungsluftstrom N₂ beigemischt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus Wasserstoff bestehende Brennstoffströmung (9) einen ringförmigen Strömungsquerschnitt aufweist, der eine innen liegenden N₂-Strömung mit gleicher Strömungsrichtung zur Brennstoffströmung umschließt, oder dass die aus Wasserstoff bestehende Brennstoffströmung (9) einen kreisrunden Strömungsquerschnitt aufweist, der von einer ringförmigen N₂-Strömung umschlossen wird. 5

17. Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden Brennstoff, der einen Wasserstoffanteil von mindestens 50 Prozent hat, mit einem Brenner, der einen Drallerzeuger (1) sowie Mittel zur Brennstoffeinspeisung sowie Mittel zur Einspeisung von Verbrennungsluft (L) in den Drallerzeuger (1) vorsieht, wobei ein erstes Mittel zur Flüssiggrennstofffeinspeisung längs einer Brennerachse (A), ein zweites Mittel längs tangential vom Drallerzeuger (1) eingegrenzten Lufteintrittsschlitz (4) und ein drittes Mittel, durch das axial und/oder koaxial zur Brennerachse (A) Brennstoff in das Innere des Drallerzeugers (1) einspeisbar ist, vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das dritte Mittel zur räumlich homogenen Durchmischung des Wasserstoff enthaltenden Brennstoffs mit der Luft ausgestaltet ist; 15

wobei der Drallerzeuger (1) aus einzelnen Drallschalen (2) zusammengesetzt ist, die gegenseitig die tangential zum Drallerzeuger (1) verlaufenden Lufteintrittsschlitz (4) begrenzen, 20

wobei das dritte Mittel jeweils als Brennstoffleitung (5) ausgebildet ist, die an einer Drallschale (2) befestigt ist, 25

wobei pro Drallschale (2) mehrere derartige Brennstoffleitungen (5) befestigt sind, und wobei die pro Drallschale (2) vorgesehenen Brennstoffleitungen (5) in Gruppen oder einzeln mit unterschiedlichen radialen Abständen zur Brennerachse (A) angeordnet sind, wobei jene Brennstoffleitungen (5) mit einem größeren radialen Abstand einen größeren Leitungsdurchmesser aufweisen als die zur Brennerachse (A) näher liegenden Brennstoffleitungen (5). 30

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine am Drallerzeuger (1) befestigte Brennstoffleitung (5) unter einem Radialwinkel relativ zur Brennerachse (A) geneigt ist, unter dem sich eine durch die Brennstoffleitung (5) eingespeiste Brennstoffströmung (9) zur Brennerachse (A) zu- oder abgewandt ausbreitet. 35

19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18. 40

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeweils die als dritttes Mittel ausgebildete Brennstoffleitung (5) eine Drallstruktur vorsieht, die der aus der Brennstoffleitung (5) austretende Brennstoffströmung (9) einen Eigendrall (E) einprägt. 45

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** stromab des Drallerzeugers (1) ein Mischrohr (8) vorgesehen ist, dessen stromabwärtiges Ende dem Brenneraustritt entspricht. 50

Claims

1. Method for burning gaseous hydrogen-containing fuel which has a hydrogen content of at least 50%, using a burner provided with a swirl generator (1) into which liquid fuel can be fed centrally along a burner axis (A), forming a conical liquid fuel column which is surrounded by and mixed with a rotating flow of combustion air flowing tangentially into the swirl generator (1), **characterised in that** the gaseous hydrogen-containing fuel is fed into the swirl generator (1) largely axially and/or coaxially to the burner axis (A), forming a fuel flow with a largely spatially defined flow form (9) and with a flow pulse such that the flow form of the fuel mixture is maintained inside the burner and widens out in the region of the burner outlet and comes to ignition within the limits of a formed backflow zone. 55

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel in the form of a plurality of individual fuel flows (9) is introduced in a circular distribution about and/or into the rotating combustion air flow. 60

3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel in the form of a plurality of individual fuel flows (9) is fed into the swirl generator (1) in a radial distribution relative to the rotating combustion air flow. 65

4. Method according to claim 3, **characterised in that** a radially outer fuel flow is fed into the swirl generator (1) with a greater fuel flow than a radially inner fuel flow (9). 70

Claims

1. Method for burning gaseous hydrogen-containing fuel which has a hydrogen content of at least 50%, using a burner provided with a swirl generator (1) into which liquid fuel can be fed centrally along a burner axis (A), forming a conical liquid fuel column which is surrounded by and mixed with a rotating flow of combustion air flowing tangentially into the swirl generator (1), **characterised in that** the gaseous hydrogen-containing fuel is fed into the swirl generator (1) largely axially and/or coaxially to the burner axis (A), forming a fuel flow with a largely spatially defined flow form (9) and with a flow pulse such that the flow form of the fuel mixture is maintained inside the burner and widens out in the region of the burner outlet and comes to ignition within the limits of a formed backflow zone.
 2. Method according to claim 1, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel in the form of a plurality of individual fuel flows (9) is introduced in a circular distribution about and/or into the rotating combustion air flow.
 3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel in the form of a plurality of individual fuel flows (9) is fed into the swirl generator (1) in a radial distribution relative to the rotating combustion air flow.
 4. Method according to claim 3, **characterised in that** a radially outer fuel flow is fed into the swirl generator (1) with a greater fuel flow than a radially inner fuel flow (9).

5. Method according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the fuel flow (9) widens out directly upstream of the burner outlet.
6. Method according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** the fuel flow (9) has a circular, elliptical, annular, almost rectangular or almost triangular flow cross-section. 5
7. Method according to any of claims 1 to 6, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel is fed into the swirl generator (1) with a flow pulse which is largely adapted to the flow pulse of the rotating combustion air flow which spreads out along the swirl generator (1). 10
8. Method according to any of claims 1 to 7, **characterised in that** the fuel flow (9) fed into the swirl generator (1) is introduced at a radial angle tilted towards or away from the burner axis (A). 20
9. Method according to any of claims 1 to 8, **characterised in that** the fuel flow (9) fed into the swirl generator (1) is introduced at a tangential angle in or against the rotation direction of the flow of combustion air flowing into the swirl generator (1). 25
10. Method according to any of claims 1 to 9, **characterised in that** the fuel flow fed into the swirl generator (1) is discharged with an inherent swirl (E) about its flow direction. 30
11. Method according to any of claims 1 to 5 or 7 to 10, **characterised in that** the fuel flow (9) has an annular flow cross-section which surrounds an inner air flow having the same flow direction as the fuel flow, or that the fuel flow (9) has a circular flow cross-section which is surrounded by an annular air flow.
12. Method according to claim 11, **characterised in that** the air flow has a higher flow speed than the combustion air flow fed into the swirl generator (1). 40
13. Method according to any of claims 1 to 12, **characterised in that** the hydrogen-containing fuel is partially catalytically oxidised before entering swirl generator (1). 45
14. Method according to any of claims 1 to 13, **characterised in that** N₂ is mixed into the gaseous fuel consisting of hydrogen. 50
15. Method according to any of claims 1 to 14, **characterised in that** N₂ is mixed into the combustion air flow. 55
16. Method according to any of claims 1 to 11, **characterised in that** the fuel flow (9) consisting of hydro-
- gen has an annular flow cross-section which surrounds an inner N₂ flow having the same flow direction as the fuel flow, or the fuel flow (9) consisting of hydrogen has a circular flow cross-section which is surrounded by an annular N₂ flow.
17. Device for burning hydrogen-containing fuel which has a hydrogen content of at least 50%, using a burner provided with a swirl generator (1) and means for introducing fuel and means for introducing combustion air (L) into the swirl generator (1), with a first means for introducing liquid fuel along a burner axis (A), a second means along air inlet slots (4) tangentially delimited by the swirl generator (1), and a third means through which fuel can be fed into the interior of the swirl generator (1) axially and/or coaxially to the burner axis (A), **characterised in that** the third means is configured for spatially homogenous mixing of the hydrogen-containing fuel with the air; wherein the swirl generator (1) is composed of individual swirl shells (2) which mutually delimit the air inlet slots (4) running tangentially to the swirl generator (1), wherein the third means is configured as a fuel line (5) attached to one swirl shell (2), wherein several such fuel lines (5) are attached to each swirl shell (2), and wherein the fuel lines (5) provided for each swirl shell (2) are arranged in groups or individually with different radial distances from the burner axis (A), wherein the fuel lines (5) with a greater radial distance have a larger line diameter than the fuel lines (5) lying closer to the burner axis (A).
18. Device according to claim 17, **characterised in that** a fuel line (5) attached to the swirl generator (1) is angled at a radial angle relative to the burner axis (A) at which a fuel flow (A) fed through the fuel line (5) spreads out towards or away from the burner axis (A).
19. Device according to claim 17 or 18, **characterised in that** a fuel line (5) attached to the swirl generator (1) is arranged at a tangential angle at which a fuel flow (9) fed through the fuel line (5) spreads out in or against a rotation direction imposed by the swirl generator (1) on the combustion air flowing into the swirl generator (1).
20. Device according to any of claims 17 to 19, **characterised in that** each fuel line (5) formed as the third means has a swirl structure which imposes an inherent swirl (E) on the fuel flow (9) emerging from the fuel line (5).
21. Device according to any of claims 17 to 20, **characterised in that** a mixer pipe (8) is provided downstream of the swirl generator (1), the downstream

end of which pipe corresponds to the burner outlet.

Revendications

1. Procédé de combustion d'un carburant gazeux contenant de l'hydrogène, qui présente une part d'hydrogène d'au moins 50 %, avec un brûleur, qui prévoit un générateur de turbulences (1), dans lequel un carburant liquide peut être introduit de manière centrée le long d'un axe de brûleur (A) en formant une colonne de carburant liquide de forme conique, qui est entourée et mélangée par un flux d'air de combustion rotatif entrant tangentielle dans le générateur de turbulences (1), **caractérisé en ce que** le carburant gazeux contenant de l'hydrogène est introduit à l'intérieur du générateur de turbulences (1) de manière largement axiale et/ou coaxiale par rapport à l'axe de brûleur (A) en formant un écoulement de carburant avec une forme d'écoulement (9) largement limitée dans l'espace et avec une impulsion d'écoulement, de façon à ce que la forme d'écoulement du carburant reste inchangée à l'intérieur du brûleur, éclate au niveau de la sortie du brûleur et arrive à l'allumage au niveau d'une zone de retour en formation.
5
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le carburant contenant de l'hydrogène est introduit sous la forme d'une pluralité de différents écoulements de carburant (9) répartis de manière circulaire autour du et/ou dans le flux d'air de combustion.
10
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le carburant contenant de l'hydrogène est introduit sous la forme d'une pluralité de différents écoulements de carburant (9) répartis de manière radiale par rapport au flux d'air de combustion rotatif dans le générateur de turbulences (1).
15
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'un** écoulement de carburant radial externe est introduit dans le générateur de turbulences (1) avec un débit de carburant supérieur à celui d'un écoulement de carburant radial interne (9).
20
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) éclate immédiatement en amont de la sortie du brûleur.
25
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) présente une section d'écoulement circulaire, elliptique, annulaire, presque rectangulaire ou presque triangulaire.
30
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le carburant contenant de l'hydrogène est introduit dans le générateur de turbulences (1) avec une impulsion d'écoulement, qui est largement adaptée à l'impulsion d'écoulement du flux d'air de combustion rotatif s'étendant le long du générateur de turbulences (1).
35
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) introduit dans le générateur de turbulences (1) est introduit de manière inclinée avec un angle radial orienté vers ou opposé à l'axe de brûleur (A).
40
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) introduit dans le générateur de turbulences (1) est introduit avec un angle tangentiel dans la direction de rotation du flux d'air de combustion entrant dans le générateur de turbulences (1) ou dans la direction opposée à celle-ci.
45
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) introduit dans le générateur de turbulences (1) est évacué avec une turbulence propre (E) autour de sa direction d'écoulement.
50
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5 ou 7 à 10, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant (9) présente une section d'écoulement annulaire qui entoure un flux d'air interne avec la même direction d'écoulement que l'écoulement de carburant, ou **en ce que** l'écoulement de carburant (9) présente une section d'écoulement circulaire qui est entourée d'un flux d'air annulaire.
55
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le flux d'air présente une vitesse d'écoulement supérieure à celle du flux d'air de combustion introduit dans le générateur de turbulences (1).
60
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le carburant contenant de l'hydrogène est partiellement oxydé de manière catalytique avant l'entrée dans le générateur de turbulences (1).
65
14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** du N₂ est ajouté au carburant gazeux constitué d'hydrogène.
70
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** du N₂ est ajouté au flux d'air de combustion.
75

- 16.** Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** l'écoulement de carburant constitué d'hydrogène (9) présente une section d'écoulement annulaire qui entoure un écoulement de N₂ interne avec la même direction d'écoulement que l'écoulement de carburant, ou **en ce que** l'écoulement de carburant constitué d'hydrogène (9) présente une section d'écoulement qui est entourée par un écoulement de N₂ annulaire. 5
- 17.** Dispositif de combustion d'un carburant contenant de l'hydrogène, qui présente une part d'hydrogène d'au moins 50 %, avec un brûleur, qui prévoit un générateur de turbulences (1) ainsi que des moyens pour l'introduction de carburant ainsi que des moyens pour l'introduction d'air de combustion (L) dans le générateur de turbulences (1), un premier moyen pour l'introduction de carburant liquide le long d'un axe de brûleur (A), un deuxième moyen le long de fentes d'entrée d'air (4) limitées tangentiellement par le générateur de turbulences (1) et un troisième moyen, permettant l'introduction, de manière axiale et/ou coaxiale par rapport à l'axe du brûleur (A), de carburant à l'intérieur du générateur de turbulences (1) étant prévus, **caractérisé en ce que** le troisième moyen est conçu pour le mélange homogène dans l'espace du carburant contenant de l'hydrogène avec l'air ; 20
le générateur de turbulences (1) étant constitué de différentes coques de turbulences (2) qui délimitent entre elles les fentes d'entrée d'air (4) s'étendant tangentiellement par rapport au générateur de turbulences (1),
le troisième moyen étant conçu comme une conduite de carburant (5) qui est fixée à une coque de turbulences (2),
plusieurs conduites de carburant (5) étant fixées à chaque coque de turbulences (2), et les conduites de carburant (5) prévues pour chaque coque de turbulences (2) étant disposées par groupes ou individuellement avec des distances radiales différentes par rapport à l'axe du brûleur (A), les conduites de carburant (5) avec la distance radiale la plus grande présentant un diamètre de conduite plus grand que les conduites de carburant (5) les plus proches de l'axe du brûleur (A). 25
30
35
40
45
- 18.** Dispositif selon la revendication 17, **caractérisé en ce qu'** une conduite de carburant (5) fixée au générateur de turbulences (1) est inclinée par rapport à l'axe du brûleur (A) avec un angle radial avec lequel un écoulement de carburant (9) introduit à travers la conduite de carburant (5) s'élargit de manière orientée vers ou opposée à l'axe du brûleur (A). 50
55
- 19.** Dispositif selon la revendication 17 ou 18, **caractérisé en ce qu'** une conduite de carburant (5)
- fixée au générateur de turbulences (1) est montée avec un angle tangentiel avec lequel un écoulement de carburant (9) introduit à travers la conduite de carburant (5) s'élargit dans une direction de rotation, imposée par le générateur de turbulences (1), de l'air de combustion entrant dans le générateur de turbulences (1) ou dans une direction opposée à celle-ci.
- 20.** Dispositif selon l'une des revendications 17 à 19, **caractérisé en ce que** la conduite de carburant (5) conçue comme un troisième moyen prévoit une structure de turbulences qui impose une turbulence propre (E) à l'écoulement de carburant (9) sortant de la conduite de carburant (5).
- 21.** Dispositif selon l'une des revendications 17 à 20, **caractérisé en ce que**, en aval du générateur de turbulences (1), est prévu un tube de mélange (8) dont l'extrémité côté aval correspond à la sortie du brûleur.

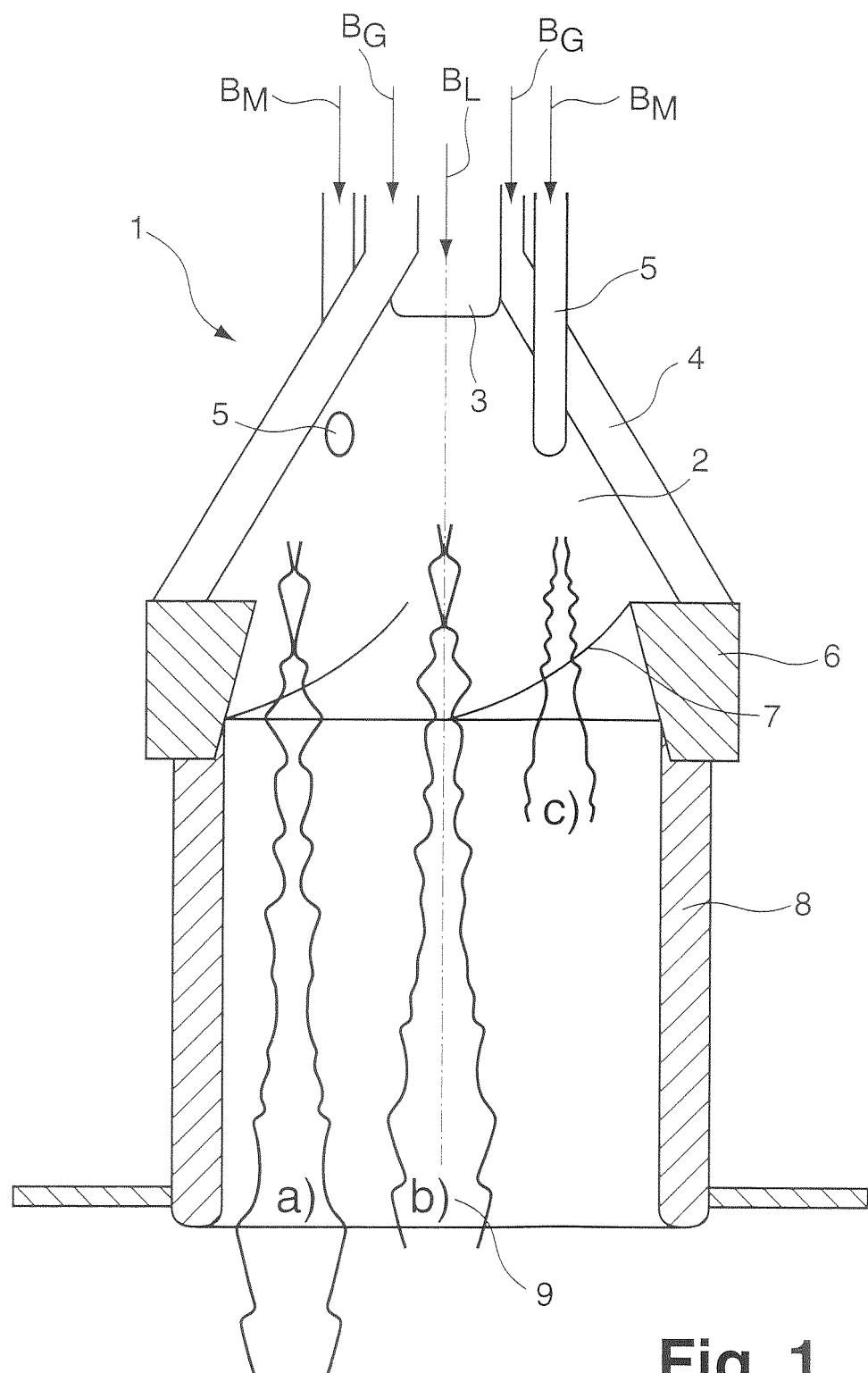


Fig. 1

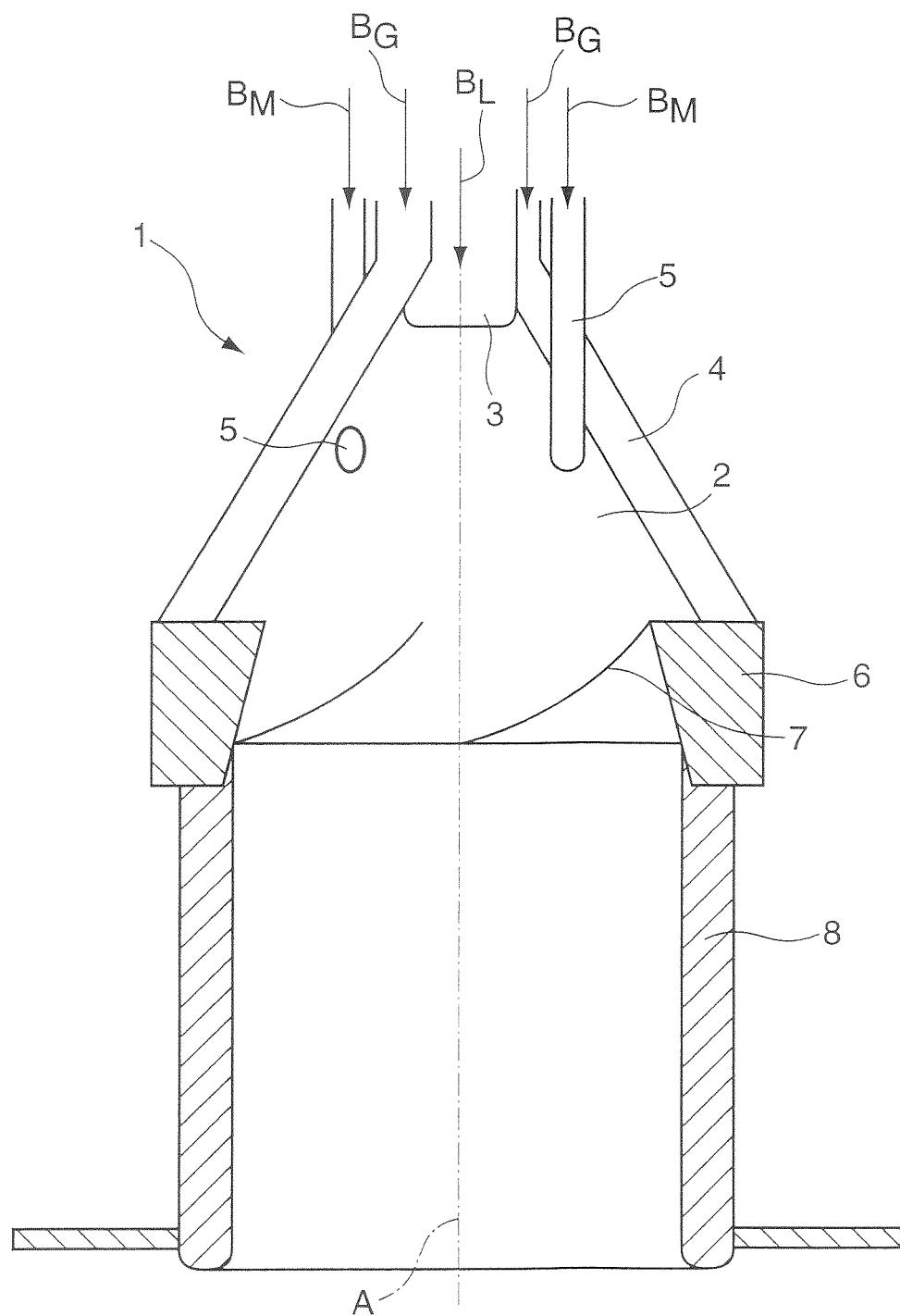


Fig. 2

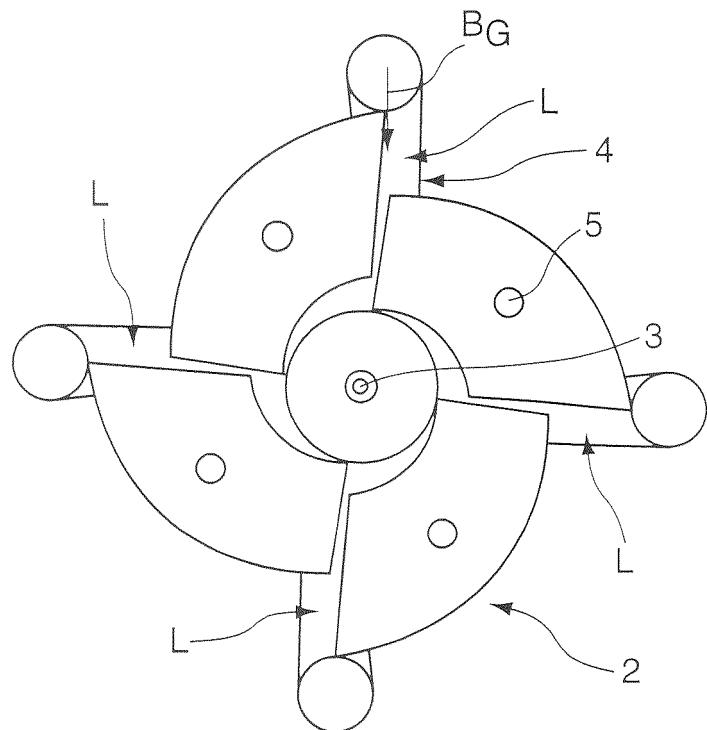


Fig. 3

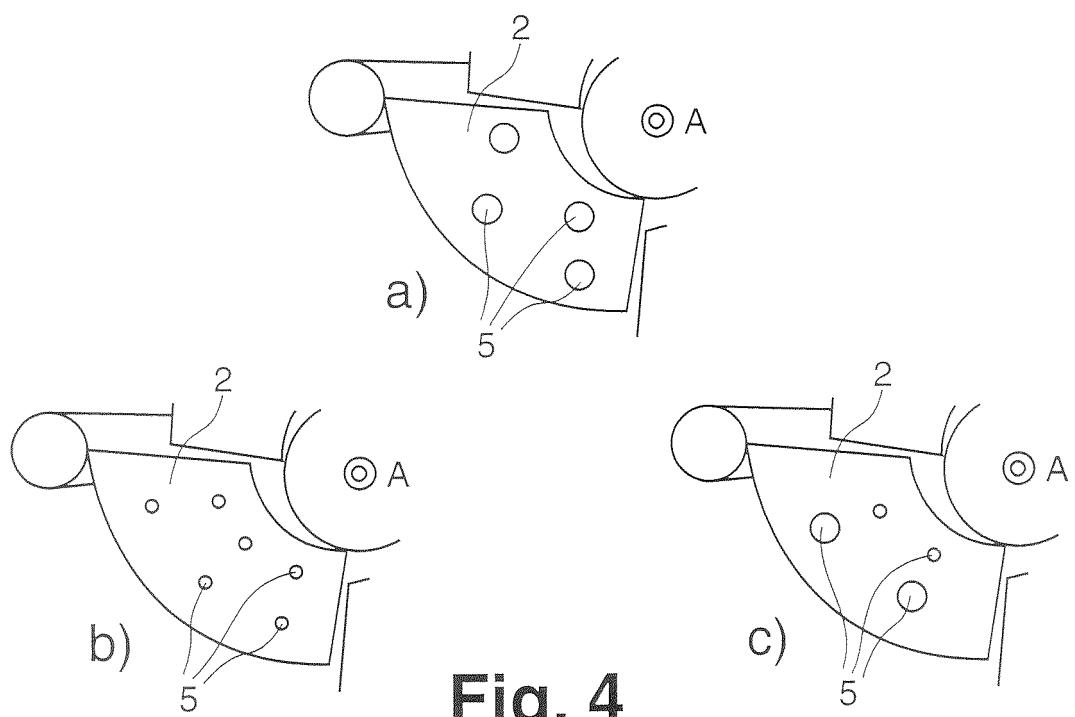


Fig. 4

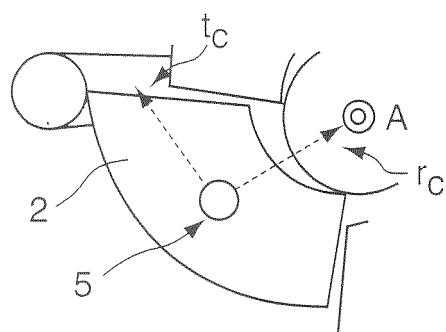


Fig. 5

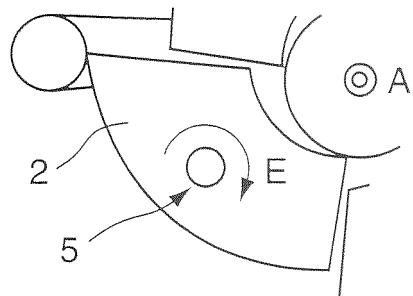


Fig. 6

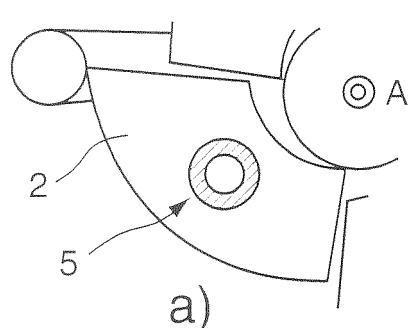


Fig. 7

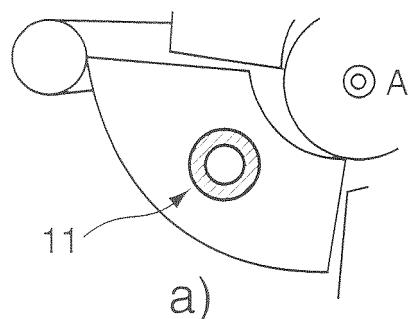
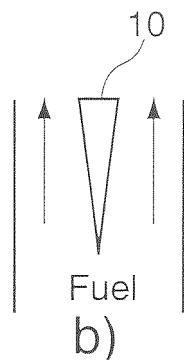
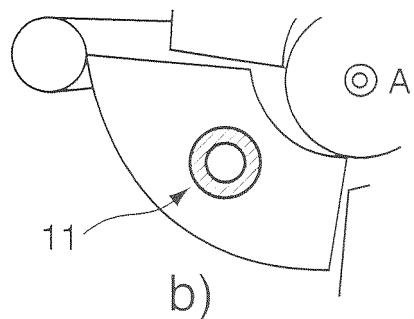


Fig. 8



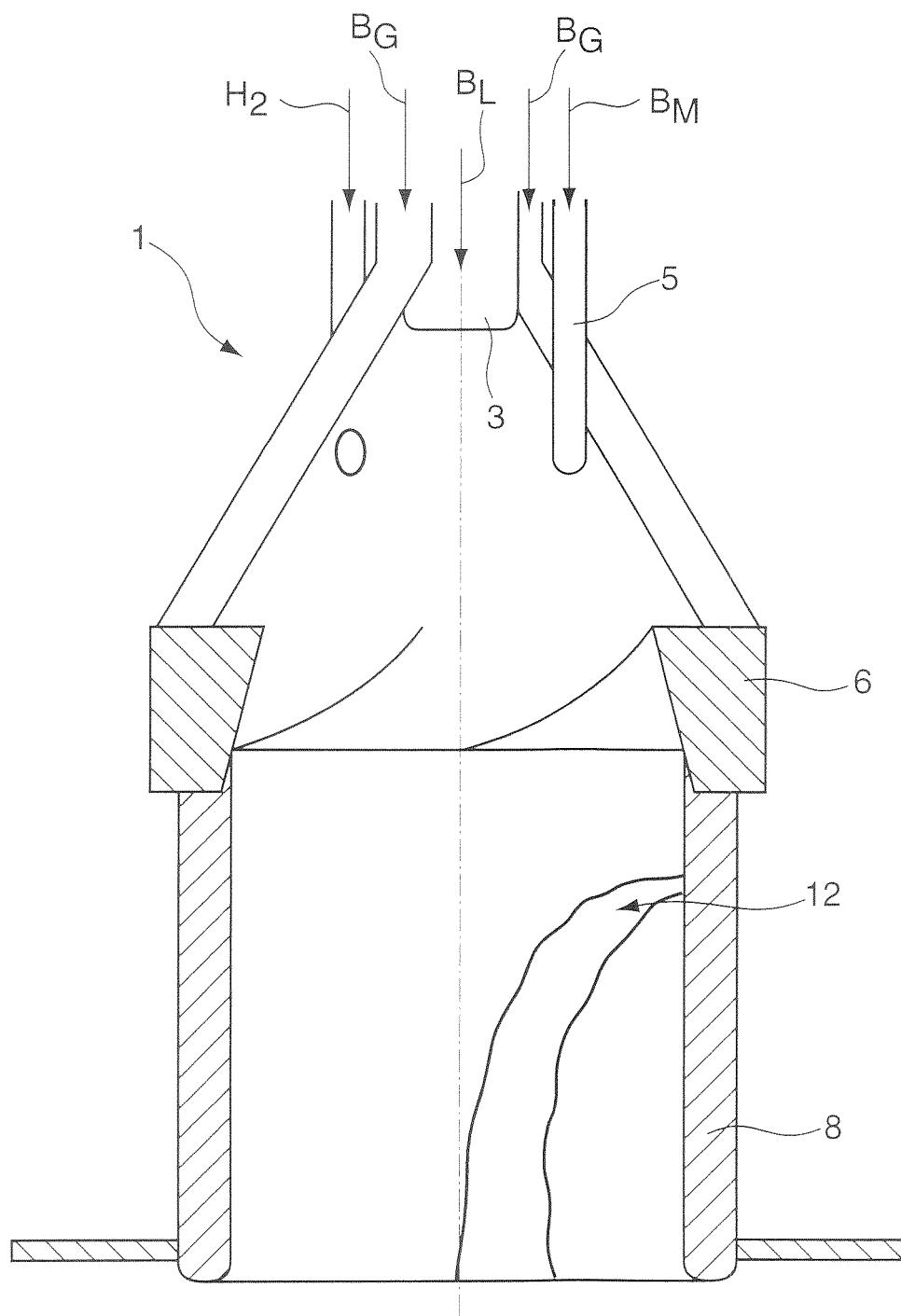
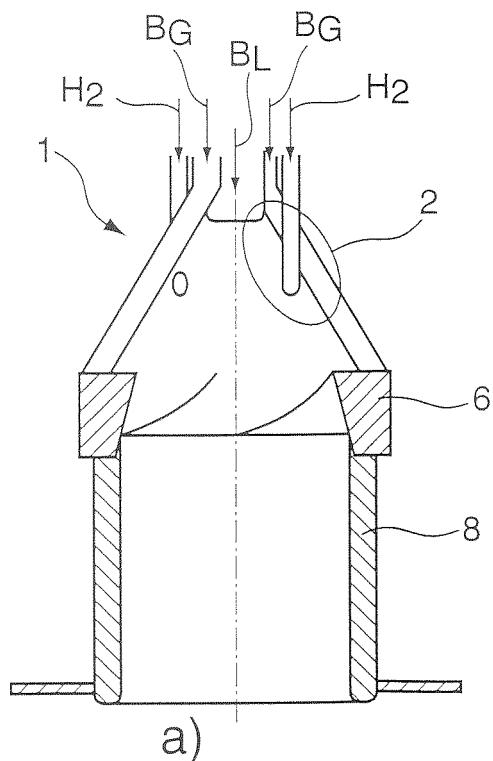
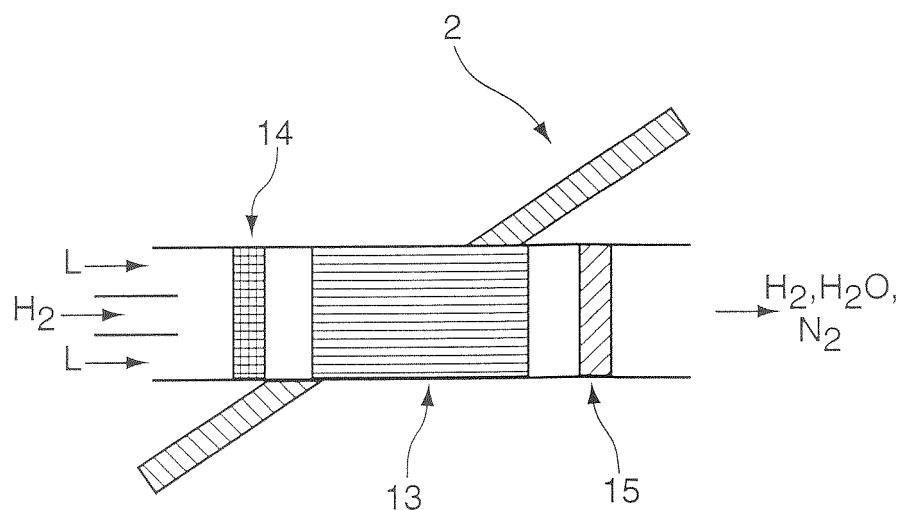


Fig. 9



a)



b)

Fig. 10

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0321809 B1 [0003]
- EP 0780629 A2 [0003] [0005]
- WO 9317279 A [0003]
- EP 1070915 A1 [0003]
- EP 0908671 B1 [0005] [0010]