

(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
8. Juni 2006 (08.06.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/058843 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F23C 99/00 (2006.01) F23D 14/02 (2006.01)

F23D 17/00 (2006.01) F23C 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/055985

(22) Internationales Anmeldedatum:

15. November 2005 (15.11.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

1971/04 30. November 2004 (30.11.2004) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD** [CH/CH]; Brown
Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **CARRONI, Richard**

[AT/CH]; Rigistrasse 30, CH-5443 Niederrohrdorf
(CH). **GRIFFIN, Timothy** [US/CH]; Bachtalstrasse 15,
CH-5408 Ennetbaden (CH).

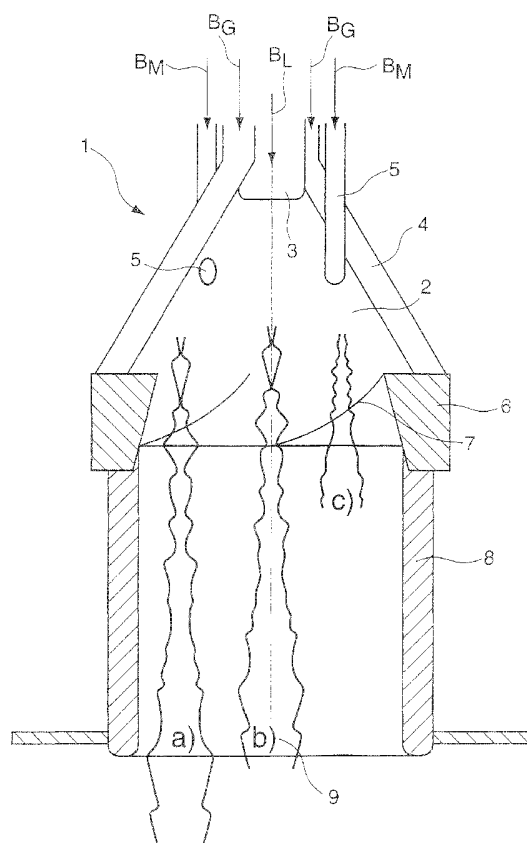
(74) Gemeinsamer Vertreter: **ALSTOM TECHNOLOGY
LTD**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str.
7/699/5, CH-5401 Baden (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR BURNING HYDROGEN IN A PREMIX BURNER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VERBRENNUNG VON WASSERSTOFF IN EINEM VOR-
MISCHBRENNER



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for burning gaseous fuel containing hydrogen or consisting of hydrogen, 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 that is surrounded by, and mixed with, a rotating combustion air flow tangentially flowing into the swirl generator (1). The invention is characterised in that the gaseous fuel containing hydrogen or consisting of hydrogen 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) which is maintained inside the burner and opens up in the region of the burner outlet.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff 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. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Wasserstoff enthaltende oder aus Wasserstoff bestehende 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) eingespeist wird, die innerhalb des Brenners erhalten bleibt und im Bereich des Brenneraustrittes aufplatzt.

WO 2006/058843 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verfahren und Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff in einem Vormischbrenner

Technisches Gebiet

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 tangentialen Lufteintrittsschlitze in den Drallerzeuger eintretenden Verbrennungsluftstrom sind zudem Mittel zur Einspeisung gasförmigen Brennstoffs, bspw. Erdgas, vorgesehen.

Stand der Technik

Motiviert durch das nahezu weltweite Bestreben hinsichtlich der Reduzierung des Austosses 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-Freisetzungen 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-Austosses gesehen werden.

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 beigemischem 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.

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 Vormischbrennersysteme. So erfordern Synthesegase 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 Flammgeschwindigkeit 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.

In der EP 0 908 671 B1 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 coaxialen Eindüsung 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 coaxial 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 Lufteintrittsschlitze 4, über die Verbrennungsluft L mit tangentialer Strömungsrichtung in den Drallraum eintritt, wird gasförmiger Brennstoff B_G , vorzugsweise in Form von Erdgas der Verbrennungsluft beigemischt. Zusätzlich sind Eindüsungsvorrichtungen 5 vorgesehen, die coaxial um die Brennerachse A angeordnet sind und der zusätzlichen Einspeisung von mittelkalorischen Brennstoff B_M dienen.

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) gezündet wird. Figur 3 zeigt einen Querschnitt durch den Drallerzeuger 1 im Bereich der die Drallschalen 2 durchsetzenden Eindüsungsvorrichtungen 5. In der Querschnittsdarstellung sind die Lufteintrittsschlitze 4 besser sichtbar, durch die Luft L in das Innere des Drallerzeugers 1 eindringt. Zusammen mit der Verbrennungsluft L wird am Ort der Lufteintrittsschlitze 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.

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

Darstellung der Erfindung

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 Brennstoff mit einem Wasserstoffanteil von wenigstens 50 Prozent oder mit einem ausschließlich aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff eine verbesserte Durchmischung mit der Brennluft gewährleistet und zugleich für stabile Strömungsverhältnisse sorgt.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 18 ist ein entsprechender Vormischbrenner. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung insbesondere unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

Trotz der im Vorfeld an einem herkömmlichen Vormischbrenner nach Bauart der EP 0 908 671 B1 gewonnenen Versuchsergebnisse, wie eingangs erwähnt, rückt das lösungsgemässe Brennerkonzept von dem Prinzip der axialen und/oder coaxialen Brennstoffeinspeisung zur Brennerachse von Wasserstoff enthaltenden, 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.

Um eine wunschgemässe 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.

Das lösungsgemässe 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 Flüssigbrennstoffsäule 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 vor, die innerhalb des Brenners erhalten bleibt und erst im Bereich des Brenneraustrittes in eine turbulente Strömungsform aufplatzt.

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 Bauform 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.

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 Selbstentzündung. 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.

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 Mischrohres, bis zum stromabwärtigen Ende des Mischrohres 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 Strömungsverhältnisse sowie der Brennerlänge angepasster Strömungsimpuls ist Voraussetzung für die Vermeidung von innerhalb des Brenners auftretenden Selbstentzündungserscheinungen, von

Flammenrückschlägen sowie auch massgeblich für die Schadstoffemission verantwortlich.

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 beziehend auf konkrete Ausführungsbeispiele verwiesen.

Kurze Beschreibung der Erfindung

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

- Fig. 1 Schematisierter Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung mit unterschiedlich ausgebildeten Strömungsstrukturen zur Einspeisung von Wasserstoff in den Brenner,
- Fig. 2 Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung gemäss Stand der Technik,
- Fig. 3 Querschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung gemäss Stand der Technik,
- Fig. 4a-c Teilquerschnittsdarstellungen durch eine Drallschale mit unterschiedlichen Konfigurationen zur Wasserstoffeinspeisung,
- Fig. 5-8 Detailquerschnitte durch eine Drallschale mit unterschiedlich ausgebildeten Mitteln zur Einspeisung von Wasserstoff,
- Fig. 9 Längsschnitt durch eine Vormischbrenneranordnung mit radialer Wasserstoffeinspeisung längs des Mischrohres, sowie

Fig. 10a,b Längsschnitt mit Detaildarstellung durch einen Vormischbrenner mit Wasserstoffzuleitung mit integrierten katalytischem Reaktor.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

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 erläutert werden, unter denen Wasserstoff oder Wasserstoff enthaltender Brennstoff in das Innere des Brenners einzuspeisen sind. Zur Wasserstoffeinspeisung sind eine Vielzahl von Zuführleitungen 5 vorgesehen, von denen in Figur 1 lediglich zwei dargestellt sind, die coaxial um die Brennerachse A angeordnet sind. Nur aus Gründen der Vollständigkeit wird auf die weiteren Mittel zur Brennstoffeinspeisung 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 Lufteintrittsschlitze 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.

Bezüglich 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.

Dieser Strömungsfall ist in Figur 1 im Fallbeispiel b dargestellt. Sieht die Wasserstoffströmung 9 hingegen 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.

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-Luftgemischbildung herzustellen. Hierzu sind in den, den Drallraum des Drallerzeugers 1 begrenzenden Drallschalen 2, Zuführleitungen 5 für die Wasserstoffeinspeisung vorgesehen, gemäß Bilddarstellungen in den Figuren 4a bis c. 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 4 a 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 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 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 mit zunehmendem Abstand zur Brennerachse A zunimmt.

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

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 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.

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 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 Brennstoffstrahl unter einem vorgebbaren Radialwinkel α gegenüber der Brennerachse A geneigt ist. Ebenso ist es möglich, die Radialkomponente r_c entgegengesetzt zur Brennerachse A einzustellen, wobei in diesem Fall 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 Lufteintrittsschlitze 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 auftreten. 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.

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 Strömungsaustrittes 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 Wirbelzusammenbrüche weitgehend vermieden.

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.

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.

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.

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 zirkularen, 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.

Eine den Durchmischungsgrad noch weiter verbessernde 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.

Allen vorstehend genannten Möglichkeiten der Einspeisung einer Wasserstoffströmung in das Innere eines Vormischbrenners ist gemeinsam, dass die in das Innere des Brenners ausgetragene Wasserstoffströmung 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.

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 Gassynthesierung, (IGCC-, Integrated Gasifikation Combined Cycle)

weist übliche 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 Prozessdrucken, 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 Lufteintrittsschlitze 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.

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 ein katalytischer Reaktor 13 gemäß Bilddarstellung in Figur 10b integriert. Wasserstoff H_2 wird gemeinsam mit Luft L längs der Zuführleitung 5 einer Mischereinheit 14 zugeführt, die die einströmende Luft L mit dem Wasserstoff H_2 durchmischt, bevor die Mischung in den katalytischen Reaktor 13 einströmt. Im Wege der teilweise stattfindenden Oxidation des Wasserstoffes wird Wasser H_2O gebildet, das gemeinsam mit dem in der Luft enthaltenden Stickstoff N_2 sowie dem nicht oxidierten Wasserstoff H_2 aus dem katalytischen Reaktor 13 austritt und über einen Wirbelgenerator 15 in das Innere des Drallerzeugers 11 gelangt. Durch den im Wege der Katalysation erzeugten Wasserdampf sowie durch die Beimischung mit N_2 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 brennstoffreiche und brennstoffarme Verbrennungssysteme bzw. Zustände leichter kontrollieren und handhaben.

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.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|---|
| 1 | Drallerzeuger |
| 2 | Drallschale |
| 3 | Einspritzdüse |
| 4 | Luft Eintrittsschlitz |
| 5 | Zuführleitung |
| 6 | Übergangsstück |
| 7 | Leitbleche |
| 8 | Mischrohr |
| 9 | Wasserstoffströmung |
| 10 | keilförmiger Verdrängungskörper |
| 11 | Ringbereich |
| 12 | Stickstoff-Wasserstoffbrennstoffgemisch |
| 13 | katalytischer Reaktor |
| 14 | Mischereinheit |
| 15 | Wirbelgenerator |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff 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 oder aus Wasserstoff bestehende 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) eingespeist wird, die innerhalb des Brenners erhalten bleibt und im Bereich des Brenneraustrittes aufplatzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch **gekennzeichnet**, dass der Wasserstoff enthaltende oder aus Wasserstoff bestehende 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 oder aus Wasserstoff bestehende 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 oder aus Wasserstoff bestehende 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 der Wasserstoff enthaltende Brennstoff wenigstens einen Wasserstoffanteil von 50 % aufweist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung (9) unter einem zur Brennerachse (A) zu- oder abgewandten Radialwinkel α geneigt eingespeist wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung (9) unter einem Tangentialwinkel β in oder entgegen der Rotationsrichtung des in den Drallerzeuger (1) einströmenden Verbrennungsluftstroms eingespeist wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass die in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Brennstoffströmung mit einem Eigendrall (E) um ihre Strömungsrichtung ausgetragen wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 7 bis 11, 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.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Luftstrom eine höhere Strömungsgeschwindigkeit aufweist als der in den Drallerzeuger (1) eingespeiste Verbrennungsluftstrom.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Wasserstoff enthaltende oder aus Wasserstoff bestehende Brennstoff vor Eintritt in den Drallerzeuger (1) teilweise katalytisch oxidiert wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch **gekennzeichnet**, dass dem aus Wasserstoff bestehenden gasförmigen Brennstoff N_2 beigemischt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch **gekennzeichnet**, dass dem Verbrennungsluftstrom N_2 beigemischt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass die aus Wasserstoff bestehende Brennstoffströmung (9) einen ringförmigen Strömungsquerschnitt aufweist, der eine innen liegenden N_2 -Strömung mit gleicher Strömungsrichtung zur Brennstoffströmung umschließt, oder dass die aus Wasserstoff bestehende Brennstoffströmung (9) einen kreisrunden Strömungsquerschnitt aufweist, der von einer ringförmigen N_2 -Strömung umschlossen wird.
18. Vorrichtung zur Verbrennung von Wasserstoff enthaltenden oder aus Wasserstoff bestehenden Brennstoff 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 Flüssigbrennstoffeinspeisung längs einer Brennerachse (A), ein zweites Mittel längs tangential vom Drallerzeuger (1) eingegrenzten Lufteintrittsschlitzen (4) und ein drittes Mittel, durch das axial und/oder coaxial zur Brennerachse (A) Brennstoff in das Innere des Drallerzeugers (1) einspeisbar ist, vorgesehen sind, dadurch **gekennzeichnet**, dass durch das dritte Mittel der Wasserstoff enthaltende oder aus Wasserstoff bestehende Brennstoff einbringbar ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Drallerzeuger (1) aus einzelnen Drallschalen (2) zusammengesetzt ist, die gegenseitig die tangential zum Drallerzeuger (1) verlaufenden Lufteintrittsschlitze (4) begrenzen, dass das dritte Mittel jeweils als Brennstoffleitung (5) ausgebildet ist, die an einer Drallschale (2) befestigt ist, dass pro Drallschale (2) mehrere derartige Brennstoffleitungen (5) befestigt sind, und dass 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

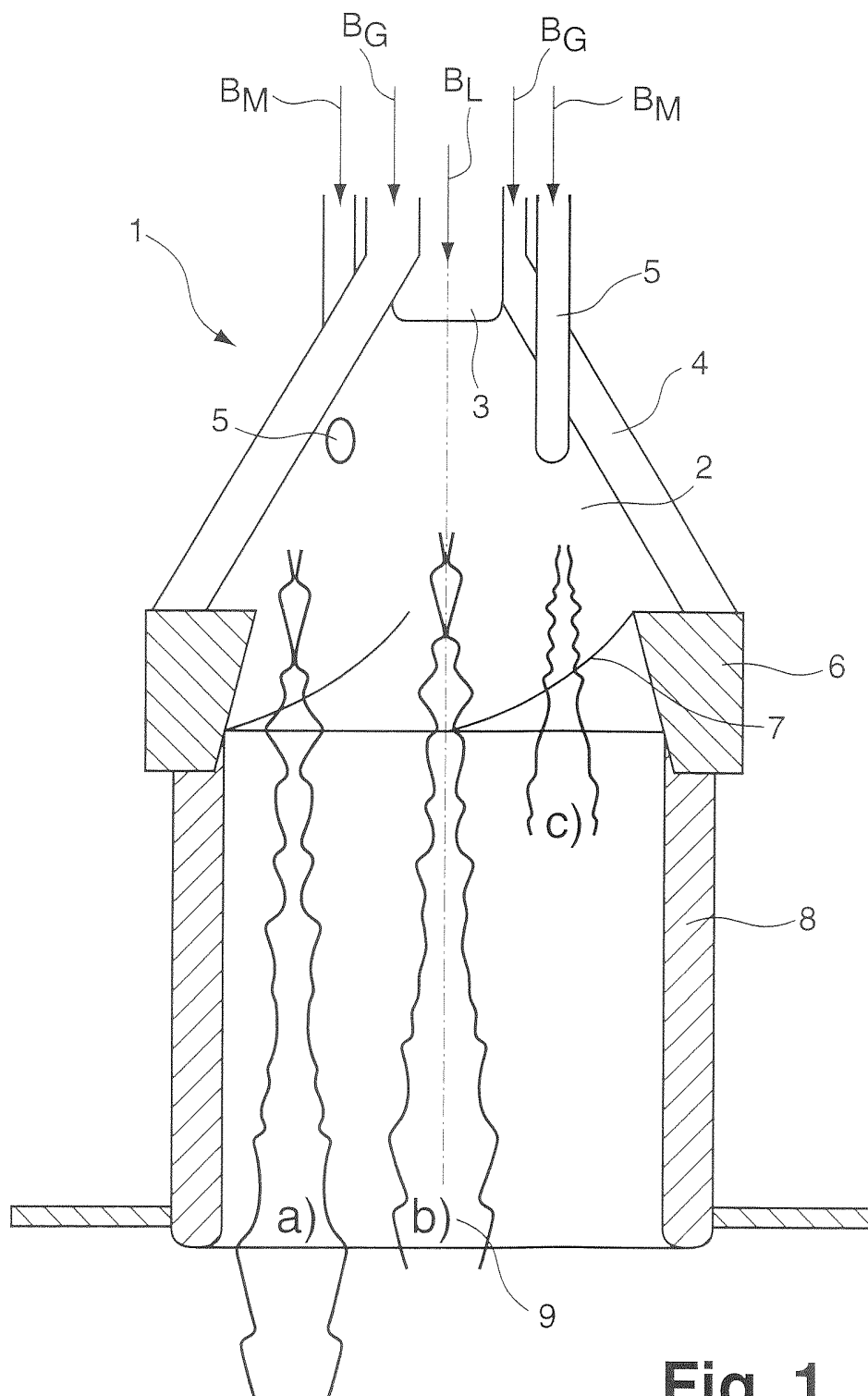
größeren Leitungsdurchmesser aufweisen als die zur Brennerachse (A) näher liegenden Brennstoffleitungen (5).

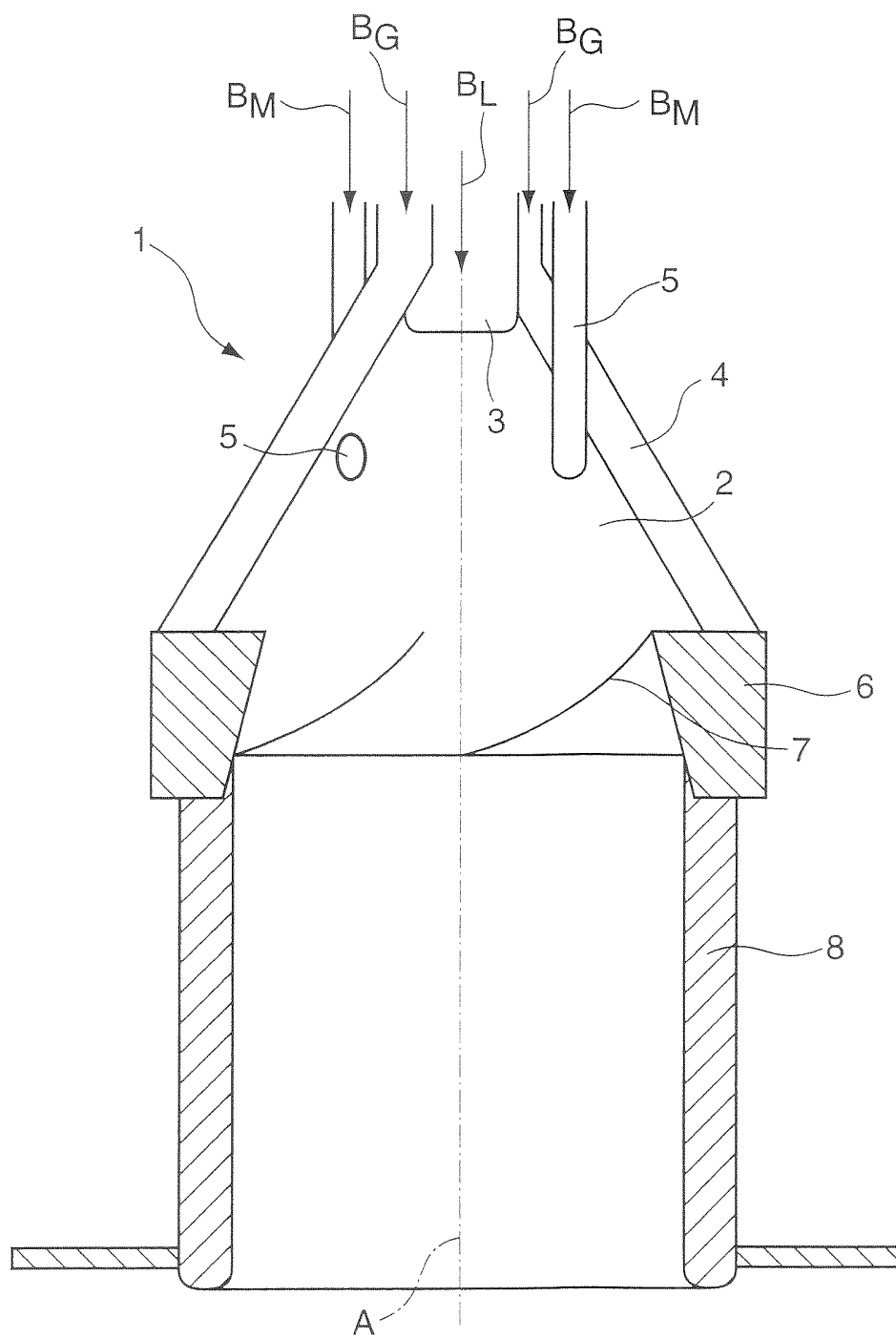
20. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch **gekennzeichnet**, dass die am Drallerzeuger (1) befestigte Brennstoffleitung (5) unter einem Radialwinkel α relativ zur Brennerachse (A) geneigt ist, unter dem sich eine durch die Brennstoffleitung (5) eingespeiste Brennstoffströmung (9) zur Brennerachse (A) zu- oder abgewandt ausbreitet.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch **gekennzeichnet**, dass die am Drallerzeuger (1) befestigte Brennstoffleitung (5) unter einem Tangentialwinkel β angebracht ist, unter dem sich eine durch die Brennstoffleitung (5) eingespeiste Brennstoffströmung (9) in oder entgegen einer durch den Drallerzeuger (1) aufgezwungene Rotationsrichtung der in den Drallerzeuger (1) einströmenden Verbrennungsluft ausbreitet.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch **gekennzeichnet**, dass jeweils die als drittes Mittel ausgebildete Brennstoffleitung (5) eine Drallstruktur vorsieht, die der aus der Brennstoffleitung (5) austretende Brennstoffströmung (9) einen Eigendrall (E) einprägt.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch **gekennzeichnet**, dass stromab des Drallerzeugers (1) ein Mischrohr (8) vorgesehen ist, dessen stromabwärtiges Ende dem Brenneraustritt entspricht.

**Fig. 1**

**Fig. 2**

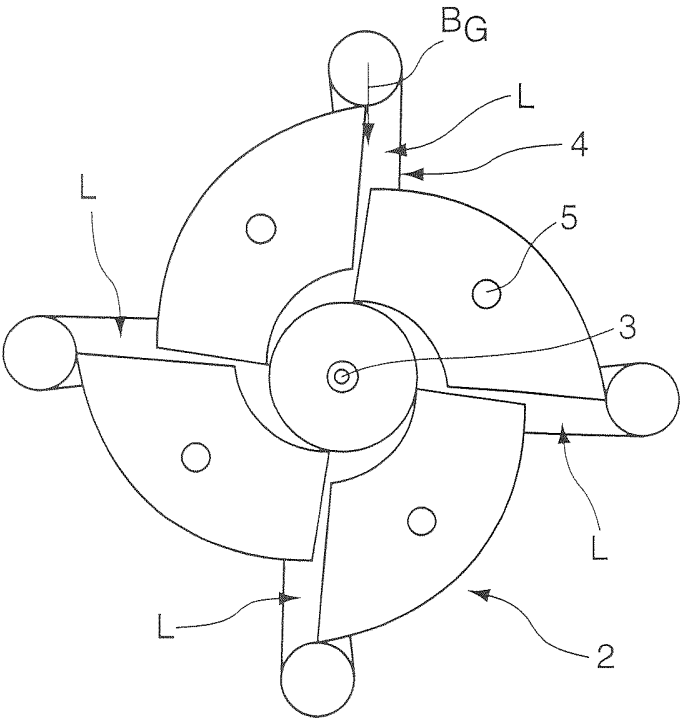


Fig. 3

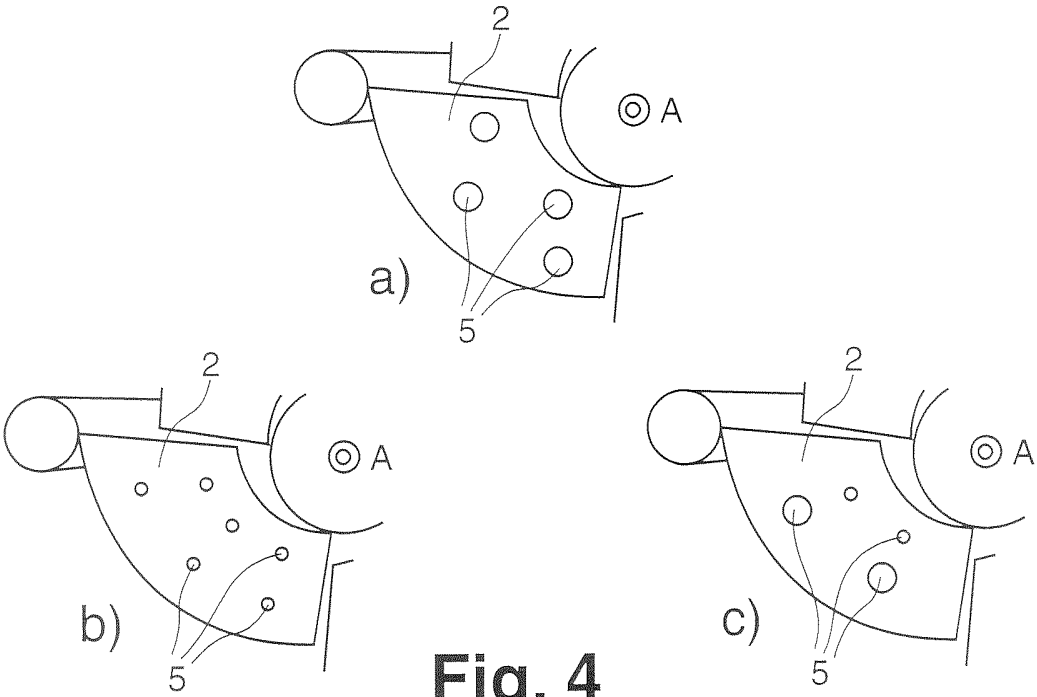


Fig. 4

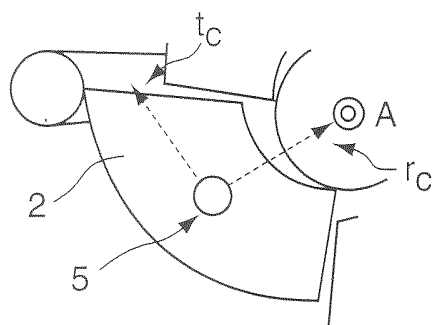


Fig. 5

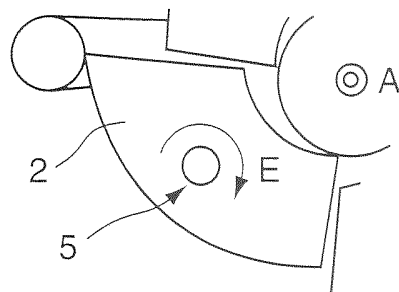
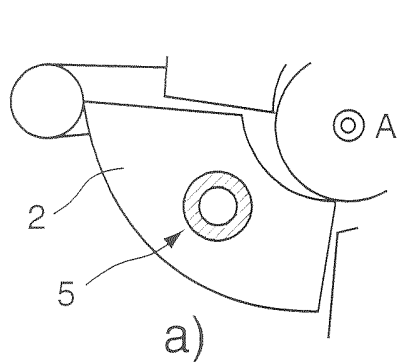
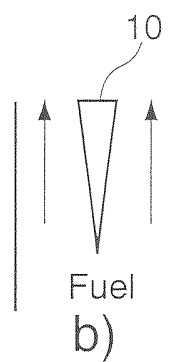


Fig. 6

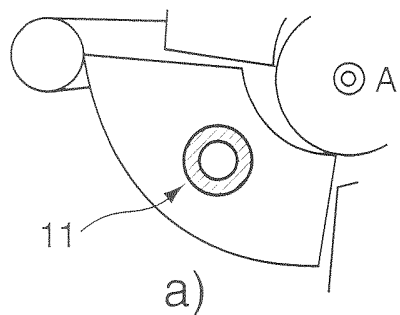


a)

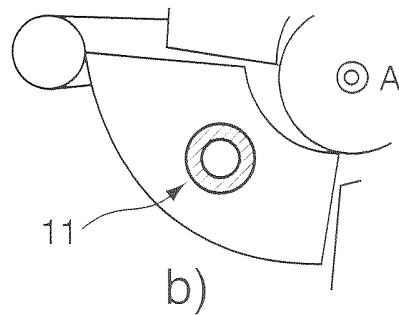


b)

Fig. 7

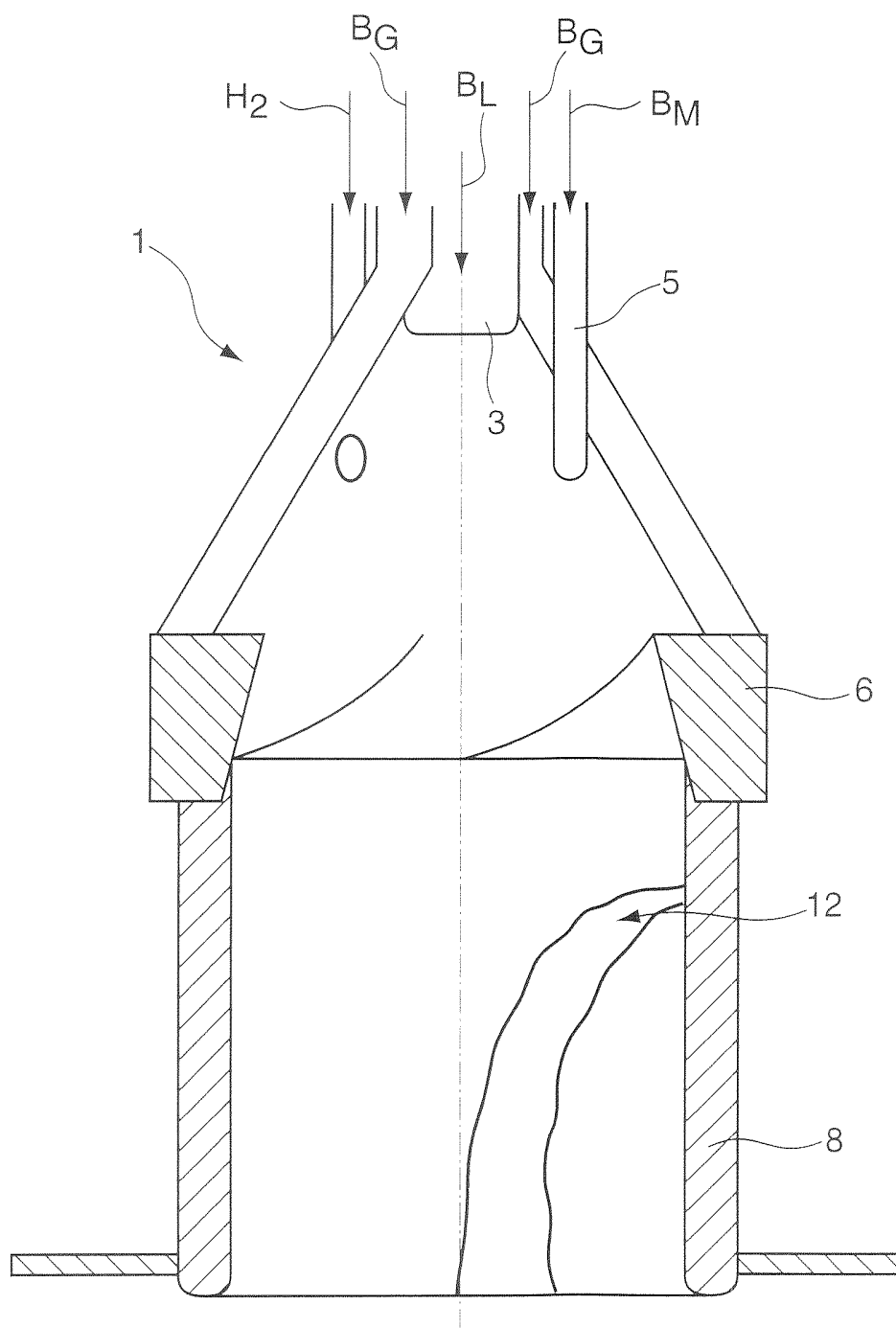


a)



b)

Fig. 8

**Fig. 9**

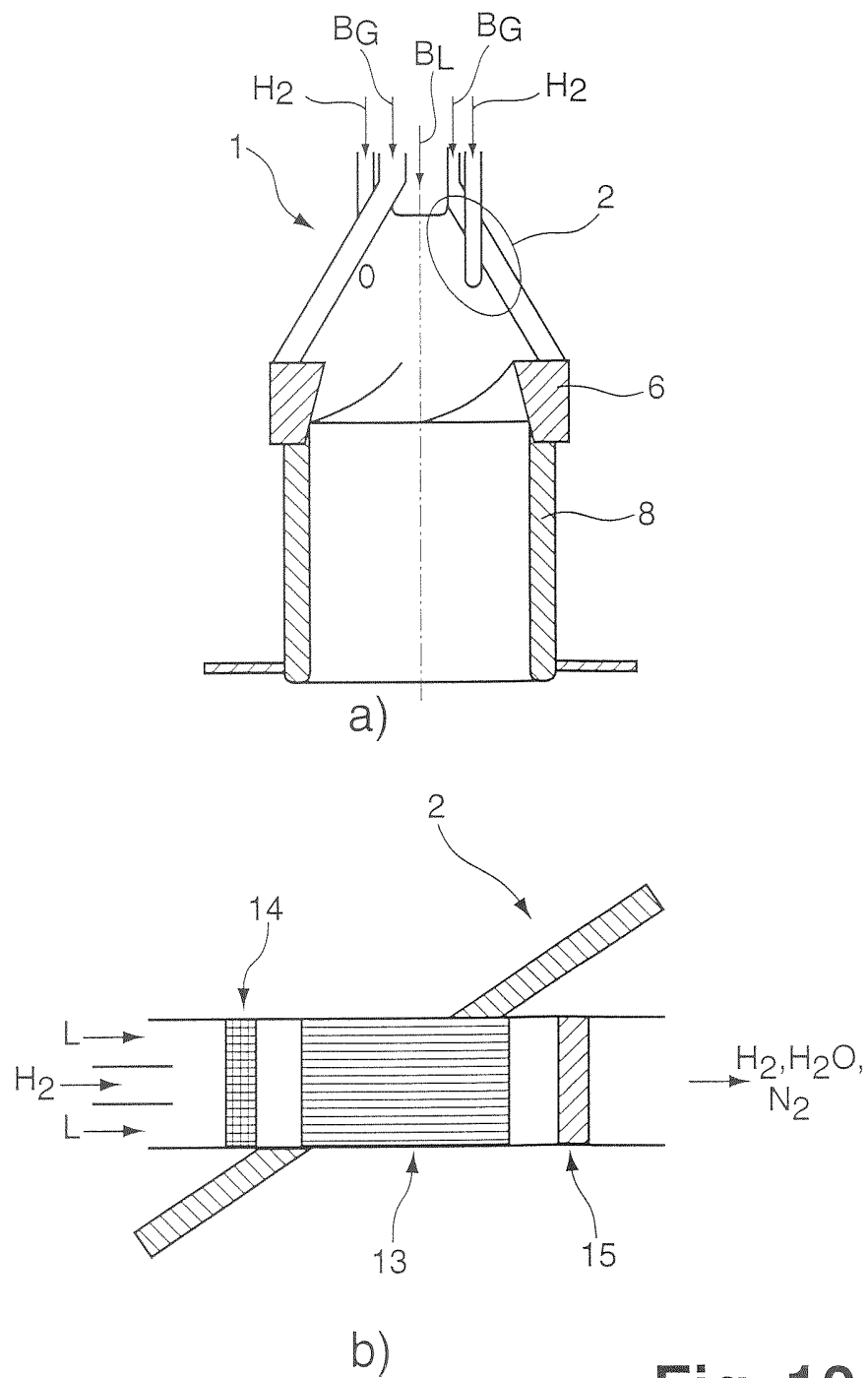


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2005/055985

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F23C99/00 F23D17/00 F23D14/02 F23C7/00

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)

F23C F23D

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 practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 908 671 B (ABB RESEARCH LTD; ALSTOM LTD) 14 May 2003 (2003-05-14) cited in the application	18
A	the whole document	1
A	EP 0 610 722 A (ABB RESEARCH LTD) 17 August 1994 (1994-08-17) the whole document	1,18
A	DE 44 09 918 A1 (ABB MANAGEMENT AG, BADEN, AARGAU, CH) 28 September 1995 (1995-09-28) the whole document	1,18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ 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 document 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

27 April 2006

Date of mailing of the international search report

04.05.2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Coli, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2005/055985

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0908671	B	14-05-2003	CN 1214430 A 21-04-1999
			DE 59710093 D1 18-06-2003
			EP 0908671 A1 14-04-1999
			JP 11190504 A 13-07-1999
EP 0610722	A	17-08-1994	DE 4304213 A1 18-08-1994
			JP 3512455 B2 29-03-2004
			JP 6241423 A 30-08-1994
			US 5375995 A 27-12-1994
DE 4409918	A1	28-09-1995	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/055985

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F23C99/00 F23D17/00 F23D14/02 F23C7/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F23C F23D

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 908 671 B (ABB RESEARCH LTD; ALSTOM LTD) 14. Mai 2003 (2003-05-14) in der Anmeldung erwähnt	18
A	das ganze Dokument	1
A	EP 0 610 722 A (ABB RESEARCH LTD) 17. August 1994 (1994-08-17) das ganze Dokument	1,18
A	DE 44 09 918 A1 (ABB MANAGEMENT AG, BADEN, AARGAU, CH) 28. September 1995 (1995-09-28) das ganze Dokument	1,18

☐ 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" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"I" 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 angegeben)

"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 erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

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

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04.05.2006

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.O. 5018 Patentkan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 000 nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Coli, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/055985

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0908671	B	14-05-2003	CN 1214430 A 21-04-1999
			DE 59710093 D1 18-06-2003
			EP 0908671 A1 14-04-1999
			JP 11190504 A 13-07-1999
EP 0610722	A	17-08-1994	DE 4304213 A1 18-08-1994
			JP 3512455 B2 29-03-2004
			JP 6241423 A 30-08-1994
			US 5375995 A 27-12-1994
DE 4409918	A1	28-09-1995	KEINE