(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 816 759 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.01.2003 Patentblatt 2003/02

(51) Int Cl.[7]: **F23C 7/00**, F23D 11/40, F23D 17/00

(21) Anmeldenummer: **97810385.1**

(22) Anmeldetag: **18.06.1997**

(54) **Vormischbrenner und Verfahren zum Betrieb des Brenners**

Premix burner and method of operating the burner

Brûleur à prémélange et procédé de mise en oeuvre du brûleur

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **29.06.1996 DE 19626240**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.01.1998 Patentblatt 1998/02

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
- **Döbbeling, Klaus, Dr.**
  5200 Windisch (CH)
- **Knöpfel, Hans Peter**
  5627 Besenbüren (CH)
- **Griffin, Timothy, Dr.**
  5408 Ennetbaden (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 344 784
EP-A- 0 388 886
EP-A- 0 521 325
DE-A- 4 416 650
FR-A- 2 302 483

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 816 759 B1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Verbrennungstechnik. Sie betrifft einen Vormischbrenner der Doppelkegelbauart und ein Verfahren zum Betrieb des Brenners.

Stand der Technik

[0002] Aus EP 0 321 809 B1 und aus DE-A-4416650 ist der prinzipielle Aufbau eines Brenners der Doppelkegelbauart bekannt, auf den sich die Erfindung bezieht. Dieser Brenner besteht im wesentlichen aus hohlen, sich zu einem Körper ergänzenden Teilkegelkörpern, mit tangentialen Lufteintrittsschlitzen und Zuführungen für gasförmige und flüssige Brennstoffe, bei dem die Mittelachsen der hohlen Teilkegelkörper eine in Strömungsrichtung sich erweiternde Kegelneigung aufweisen und in Längsrichtung zueinander versetzt verlaufen. Im von den Teilkegelkörpern gebildeten kegelförmigen Innenraum ist am Brennerkopf eine Brennstoffdüse plaziert. Der gasförmige Brennstoff wird dem Verbrennungsluftstrom vorgängig seiner Einströmung in den Brennerinnenraum über entlang der Eintrittsschlitze angeordneten Gasinjektoren zugeführt. Die Bildung des Brennstoff/Luft-Gemisches geschieht somit direkt am Ende der tangentialen Lufteintrittsschlitze. Die Eintrittsebene der Verbrennungsluft und die Gaseintrittsebene (Belochungsebene) fallen bei diesem bekannten Stand der Technik zusammen.

[0003] Die Zunahme des Dralles entlang der Kegelachse, verbunden mit der plötzlichen Querschnittserweiterung am Brenneraustritt, führt dazu, dass sich stromab des Brenneraustrittes auf der Brennerachse eine Rückströmzone (innere Rezirkulationszone) bildet, die die Flamme stabilisiert. Erst im Staupunkt dieser inneren Rückströmzone wird die Zündung der Flamme eingeleitet.

[0004] In bestimmten Betriebszuständen, z.B. nahe der Löschgrenze oder bei magerem Betrieb der Vormischstufe, d.h. beim Übergang zum Kopfstufenbetrieb, bei dem zwecks Anfettung des Brennstoff/Luft-Gemisches zusätzlich Pilotgas in Achsnähe des Brenners eingedüst wird (interne Pilotisierung), neigt der Brenner zu Schwingungen. Das hat wiederum zur Folge, dass der betreibbare Bereich des Brenners, also sein Stabilitätsbereich eingeschränkt wird und der Brenner frühzeitig verlöscht.

[0005] Die Ursache für die Schwingungen und das Verlöschen bei vergleichsweise brennstoffreichen Bedingungen ist die unzureichende Flammenstabilisierung des Brenners. Der Brenner wird zwar durch die innere Rezirkulationszone stabilisiert, die im Kopfstufenbetrieb mit Zusatzbrennstoff versorgt wird. Die äussere Scherschicht des aus dem Brenner austretenden Brennstoff/Luft-Gemisches, die eine wesentlich grössere Kontaktfläche zwischen Frischgas und Abgas im Vergleich zur inneren Rezirkulationszone zur Verfügung stellt, wird jedoch bisher nicht zur Stabilisierung benutzt.

Darstellung der Erfindung

[0006] Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, den bekannten Brenner der Doppelkegelbauart mit einfachen konstruktiven Mitteln so zu verändern und ihn so zu betreiben, dass eine zusätzliche Stabilisierung der Flamme erfolgt, ohne dass es zu einer nennenswerten Erhöhung der Schadstoffemissionswerte kommt.

[0007] Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass bei einem Brenner gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 in der Brennersichel mindestens eine Bohrungen angeordnet ist, welche der Zufuhr von gasförmigem Brennstoff in die äussere Rezirkulationszone dient. Erfindungsgemäss wird dies bei einem Verfahren zum Betrieb des Brenners dadurch erreicht, dass ca. 3 bis 8% des gesamten gasförmigen Brennstoffes in die äussere Rezirkulationszone eingemischt werden.

[0008] Die Vorteile der Erfindung bestehen unter anderem darin, dass die Flammenstabilität verbessert wird, d.h. es treten geringere Druckpulsationen in der Flamme auf. Ausserdem zeichnet sich der erfindungsgemässe Brenner gegenüber dem bekannten Stand der Technik durch eine niedrigere magere Löschgrenze aus, so dass er einen erweiterten Betriebsbereich aufweist. Durch die Intensivierung der äusseren Reaktionsfront ergibt sich als weiterer Vorteil eine verkürzte Ausbrandlänge.

[0009] Es ist besonders zweckmässig, wenn die Bohrungen parallel zur Brennerachse ausgerichtet sind, weil diese Ausführung sehr einfach zu realisieren ist.

[0010] Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Bohrungen unter einem Winkel von ca. 45° zur Brennerachse schräg nach aussen angeordnet sind. Dann ist eine besonders intensive Mischung des Brennstoffes mit dem Abgas der äusseren Rezirkulationszone möglich. Gleiches wird in vorteilhafter Weise bewirkt, wenn die zusätzlichen Bohrungen in der Brennersichel derart angeordnet sind, dass sie eine Eindüsung des Brennstoffes in Gegendrallrichtung zur Drallrichtung des Abgases in der Rezirkulationszone bewirken.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0011] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand eines Brenners der Doppelkegelbauart, der z.B. zum Betrieb einer Gasturbine eingesetzt wird, dargestellt.

[0012] Es zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Darstellung des Doppelkegelbrenners;
- Fig. 2 einen Längsschnitt des Brenners mit der Brennkammer in schematischer Darstellung;

Fig. 3 einen Querschnitt des Brenners gemäss Fig. 1 entlang der Ebene III-III;

Fig. 4 einen Querschnitt des Brenners gemäss Fig. 1 entlang der Ebene IV-IV.

[0013] Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung der verschiedenen Medien ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

[0014] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispieles und der Fig. 1 bis 4 näher erläutert.

[0015] Fig. 1 zeigt in perspektivischer Darstellung den erfindungsgemässen Brenner. Zum besseren Verständnis ist es vorteilhaft, wenn gleichzeitig zu Fig. 1 die Schnitte in den Fig. 2 bis 4 herangezogen werden.

[0016] Der Brenner besteht aus zwei hohlen Teilkegelkörpern 1, 2, die versetzt zueinander aufeinander liegen. Die Versetzung der jeweiligen Mittelachsen 3, 4 der Teilkegelkörper 1, 2 zueinander schafft auf beiden Seiten in spiegelbildlicher Anordnung jeweils einen tangentialen Lufteintrittsschlitz 5, 6, durch welche die Verbrennungsluft 7 in den Innenraum 8 des Brenners gelangt. Die beiden Teilkegelkörper 1, 2 haben jeweils einen zylindrischen Anfangsteil 9, 10, die ebenfalls versetzt zueinander verlaufen, so dass auch in diesem Bereich die tangentiale Lufteintrittsschlitze 5, 6 vorhanden sind. In diesem zylindrischen Anfangsteil 9, 10 ist eine Düse 11 zur Zerstäubung des flüssigen Brennstoffes 12 untergebracht. Der Brenner kann auch ohne die zylindrischen Anfangsteile 9, 10 ausgeführt sein, so dass er rein kegelig ausgebildet ist. Dann ist die Brennstoffdüse 11 direkt in der Kegelspitze untergebracht. Die beiden Teilkegelkörper 1, 2 weisen je eine Brennstoffleitung 13, 14 auf, die mit Öffnungen 15 versehen sind, welche Brennstoffinjektoren darstellen. Durch die Brennstoffinjektoren 15 wird gasförmiger Brennstoff 16 der durch die tangentialen Lufteintrittsschlitze 5, 6 strömenden Verbrennungsluft 7 zugemischt.

[0017] Brennraumseitig 17 weist der Brenner eine als Verankerung für die Teilkegelkörper 1, 2 dienende Frontplatte 18 mit einer Anzahl Bohrungen 19 auf, durch welche Verdünnungs- bzw. Kühlluft 20 dem vorderen Teil des Brennraumes 17 bzw. dessen Wand zugeführt werden kann.

[0018] Wird zum Betrieb des Brenners flüssiger Brennstoff 12 verwendet, so strömt dieser durch die Düse 11 und wird in einem spitzen Winkel in den Brennerinnenraum 17 eingedüst, wobei sich ein homogener Brennstoffspray einstellt. Das kegelige Flüssigbrennstoffprofil 23 wird von einem tangential einströmenden rotierenden Verbrennungsluftstrom 7 umschlossen. In axialer Richtung wird die Konzentration des Flüssigbrennstoffes 12 fortlaufend durch die eingemischte Verbrennungsluft 7 verringert. Die optimale Brennstoffkonzentration über den Querschnitt wird erst im Bereich des Wirbelaufplatzens, d.h. im Bereich der inneren Rezirkulationszone 24 erreicht. Die Zündung erfolgt an der Spitze der inneren Rezirkulationszone 24. Diese wird im sogenannten Kopfstufenbetrieb (nicht dargestellt) mit Zusatzbrennstoff versorgt. Erst an dieser Stelle entsteht eine stabile Flammenfront 25. Die Flammenstabilisation ergibt sich durch Zunahme der Drallzahl in Strömungsrichtung entlang der Kegelachse. Ein Rückschlagen der Flamme in das Innere des Brenners tritt unter normalen Betriebsbedingungen nicht auf.

[0019] Wird gasförmiger Brennstoff 16 verbrannt, so geschieht die Gemischbildung mit der Verbrennungsluft 7 in den Lufteintrittsschlitzen 5, 6, also vor Eintritt in den Brennerinnenraum 8.

[0020] Erfindungsgemäss sind im Bereich der Brennersichel 26 eine Reihe von Bohrungen 27 angeordnet, die der Zufuhr und Einmischung von zusätzlichem gasförmigem Brennstoff 16 in die äussere Rezirkulationszone 28 dienen. Der zusätzliche gasförmige Brennstoff 16 kann im Extremfall auch nur über eine einzige in der Brennersichel 26 angeordnete Bohrung 27 in die äussere Rezirkulationszone 28 eingebracht werden.

[0021] Wie aus Fig. 2 hervorgeht, befindet sich diese äussere Rezirkulationszone 28 im äusseren Bereich des Brennraumes 17, nahe der Wand der Brennkammer 21.

[0022] Die Bohrungen 27 können in verschiedener Weise in der Brennersichel 26 angeordnet sein, beispielsweise parallel zur Brennerachse 22. In anderen Ausführungsbeispielen können sie auch unter einem Winkel zur Brennerachse 22 von etwa 45° schräg nach aussen angeordnet sein , so dass der zusätzliche gasförmige Brennstoff 16 in Richtung Brennkammerwand eingedüst wird. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Bohrungen 27 so angeordnet sind, dass der zusätzliche gasförmige Brennstoff 16 in Gegendrallrichtung zur Rezirkulationsströmung eingebracht wird, weil dann eine besonders intensive Mischung des Zusatzbrennstoffes mit dem rezirkulierendem Abgas erfolgt und die darauf beruhende Flammenstabilisierung besonders hoch ist.

[0023] Der Brenner ist erfindungsgemäss so zu betreiben, dass nur etwa 3 bis 8% des gesamten gasförmigen Brennstoffes durch die Öffnungen 27 in die äussere Rezirkulationszone 28 gelangen. Da an dieser Stelle bereits die Kühlluft 20 beigemischt ist und die rezirkulierenden Abgase bereits einen Teil ihrer fühlbaren Wärme an die Frontplatte 18 abgegeben haben, bewirkt diese zusätzliche Brennstoffzugabe keine nennenswerte Erhöhung der NOx-Emissionen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Eindüsungen genügend klein sind, um eine Stabilisierung an den Eintrittsstrahlen zu vermeiden. Nach der Brennstoffeinmischung erfolgt nach einer gewissen Zündverzugszeit Selbstzündung und zwar kurz vor oder direkt an der äusseren Scherschicht des austretenden Brennstoff/Luft-Gemisches.

[0024] Durch die Erfindung wird eine externe Zusatzstabilisierung (durch Minipiloten) realisiert, die u.a. zu

einer Erweiterung des Betriebsbereiches des Brenners und zu einer erhöhten Flammenstabilität führt.

[0025] Messungen an einem perfekt vorgemischten Versuchsbrenner haben gezeigt, dass eine Verschiebung der mageren Löschgrenze um ca. 100K zu kleineren Temperaturen hin mit einer sehr geringen Zunahme der Schadstoffemissionen (zusätzlich ca. 1,5 vppmd 15%O_2, d.h. Konzentration des NOx im trockenen Abgas) möglich ist.

[0026] In Fig. 4 ist in einem Querschnitt eine konkrete Ausführung der Erfindung dargestellt. Der Querschnitt zeigt den Bereich der Brenneraustrittssichel 26. In der Sichel 26 sind an 14 Positionen am Umfang mit einer Winkelteilung von etwa 10° Bohrungen 26 mit einem Durchmesser von 0,8mm angeordnet. Die Anzahl und Grösse der Bohrungen 26 wurde so gewählt, dass ca. 3% des gesamten Brennstoffmassenstromes dort austreten und in die in Fig. 4 nicht dargestellte äussere Rezirkulationszone 28 eingemischt werden.

[0027] Die erfindungsgemässe Lösung kann ebenso auch für Brenner verwendet werden, die aus mehr als zwei Teilkegelkörpern bestehen, z.B. für sogenannte Vierschlitzbrenner. Die Bohrungen 27 können ausserdem sowohl in ihrer Anzahl als auch in ihrer Position in der Brennersichel 26 variieren. Es ist lediglich darauf zu achten, dass der zusätzliche Brennstoffmassenstrom, der in die äussere Rezirkulationszone eingemischt wird, nicht mehr als ca. 8% des Gesamtbrennstoffes ausmacht.

Bezugszeichenliste

[0028]

1 Teilkegelkörper
2 Teilkegelkörper
3 Mittelachse von Pos. 1
4 Mittelachse von Pos. 2
5 tangentialer Lufteintrittsschlitz
6 tangentialer Lufteintrittsschlitz
7 Verbrennungsluft
8 Brennerinnenraum
9 zylindrischer Anfangsteil von Pos. 1
10 zylindrischer Anfangsteil von Pos. 2
11 Brennstoffdüse
12 flüssiger Brennstoff
13 Brennstoffleitung für Pos. 16
14 Brennstoffleitung für Pos. 16
15 Brennstoffinjektor für Pos. 16
16 gasförmiger Brennstoff
17 Brennraum
18 Frontplatte
19 Bohrung für Pos. 20
20 Verdünnungs- bzw. Kühlluft
21 Brennkammer
22 Brennerachse
23 Flüssigbrennstoffprofil
24 innere Rezirkulationszone
25 Flammenfront
26 Brennersichel
27 Bohrung
28 äussere Rezirkulationszone

Patentansprüche

1. Brenner zum Verbrennen von flüssigen (12) und gasförmigen Brennstoffen (16), bestehend aus mindestens zwei hohlen, sich zu einem Körper ergänzenden Teilkegelkörpern (1, 2), mit tangentialen Lufteintrittsschlitzen (5, 6) und mit Zuführungen (13, 14) für gasförmige Brennstoffe (16), bei welchem die Mittelachsen (3, 4) der hohlen Teilkegelkörper (1, 2) eine in Strömungsrichtung sich erweiternde Kegelneigung aufweisen und in Längsrichtung zueinander versetzt verlaufen, wobei im von den Teilkegelkörpern (1, 2) gebildeten kegelförmigen Innenraum (8) am Brennerkopf eine Brennstoffdüse (11) für den flüssigen Brennstoff (12) plaziert ist und die Zuführungen (13, 14) für den gasförmigen Brennstoff (16) mit Brennstoffinjektoren (15) versehen sind, und Lufteintrittsschlitze (5, 6) brennraumseitig durch eine Brennersichel (26) abgeschlossen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Brennersichel (26) mindestens eine Bohrung (27) angeordnet ist, welche zur Zufuhr von gasförmigem Brennstoff (16) vorgesehen ist.

2. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Bohrung (27) parallel zur Brennerachse (22) angeordnet ist.

3. Brenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Bohrung (27) unter einem Winkel zur Brennerachse (22), vorzugsweise von 45°, schräg nach aussen angeordnet ist.

4. Verfahren zum Betrieb eines Brenners nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei im Innenraum (8) des Brenners eine in Strömungsrichtung sich ausbreitende, die Wände des Innenraumes (8) nicht benetzende kegelförmige Flüssigbrennstoffsäule(23) gebildet wird, welche von einem tangential in den Brenner einströmenden rotierenden Verbrennungsluftstrom (7) umschlossen wird, und/oder dem Verbrennungsluftstrom (7) vor seiner Einströmung in den Innenraum (8) des Brenners gasförmiger Brennstoff(16) zugeführt wird, die Zündung des Gemisches erst am Ausgang des Brenners stattfindet, und im Bereich der Brennermündung durch eine innere Rezirkulationszone (24) die Flamme stabilisiert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** 3 bis 8% des Gesamtbrennstoffmassenstromes in eine äussere Rezirkulationszone (28) eingemischt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der in die äussere Rezirkulationszone (28) eingemischte Brennstoff (16) entgegen zur Drallrichtung der Rezirkulationsströmung eingedüst wird.

Claims

1. Burner for burning liquid (12) and gaseous fuels (16), comprising at least two hollow sectional cone bodies (1, 2) complementing one another to form one body, having tangential air-inlet slots (5, 6) and feeds (13, 14) for gaseous fuels (16), in which burner the centre axes (3, 4) of the hollow sectional cone bodies (1, 2) have a conicity widening in the direction of flow and run offset from one another in the longitudinal direction, a fuel nozzle (11) for the liquid fuel (12) being placed at the burner head in the conical interior space (8) formed by the sectional cone bodies (1, 2), and the feeds (13, 14) for the gaseous fuel (16) being provided with fuel injectors (15), and air-inlet slots (5, 6) being closed off on the combustion-chamber side by a burner sickle (26), **characterized in that** at least one bore (27) is arranged in the burner sickle (26), which bore (27) is provided for the feed of gaseous fuel (16).

2. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the at least one bore (27) is arranged parallel to the burner axis (22).

3. Burner according to Claim 1, **characterized in that** the at least one bore (27) is arranged so as to slope outwards at an angle to the burner axis (22), preferably at an angle of 45°.

4. Method of operating a burner according to one of Claims 1 to 3, a conical liquid fuel column (23) being formed in the interior space (8) of the burner, which liquid fuel column (23) spreads in the direction of flow, does not wet the walls of the interior space (8), is enclosed by a rotating combustion-air flow (7) flowing tangentially into the burner and/or is fed to the combustion-air flow (7) before it flows into the interior space (8) of the burner, the ignition of the mixture takes place only at the outlet of the burner, and the flame is stabilized in the region of the burner orifice by an inner recirculation zone (24), **characterized in that** 3 to 8 % of the total mass fuel flow is mixed into an outer recirculation zone (28).

5. Method according to Claim 4, **characterized in that** the fuel (16) mixed into an outer recirculation zone (28) is injected in the opposite direction to the swirl direction of the recirculation flow.

Revendications

1. Brûleur pour la combustion de combustibles liquides (12) et gazeux (16), se composant d'au moins deux corps coniques partiels creux (1, 2) se complétant en un corps, avec des fentes tangentielles d'entrée d'air (5, 6) et avec des arrivées (13, 14) pour des combustibles gazeux (16), dans lequel les axes centraux (3, 4) des corps coniques partiels creux (1, 2) présentent une conicité allant en s'évasant dans le sens de l'écoulement et sont orientés dans le sens longitudinal avec un décalage l'un par rapport à l'autre, dans lequel un injecteur de combustible (11) pour le combustible liquide (12) est placé sur la tête de brûleur dans l'espace intérieur conique (8) formé par les corps coniques partiels (1, 2) et les arrivées (13, 14) pour le combustible gazeux (16) sont pourvues d'injecteurs de combustible (15) et les fentes d'entrée d'air (5, 6) sont fermées du côté de la chambre de combustion par un croissant de brûleur (26), **caractérisé en ce qu'**au moins un trou (27) est disposé dans le croissant de brûleur (26), trou qui est prévu pour l'introduction de combustible gazeux (16).

2. Brûleur suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le au moins un trou (27) est disposé parallèlement à l'axe du brûleur (22).

3. Brûleur suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** le au moins un trou (27) est disposé en oblique vers l'extérieur, sous un angle, de préférence de 45°, par rapport à l'axe du brûleur (22).

4. Procédé pour la conduite d'un brûleur suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel une colonne conique de combustible liquide (23), ne mouillant pas les parois de l'espace intérieur (8) et s'évasant dans le sens de l'écoulement, est formée dans l'espace intérieur (8) du brûleur, et est entourée par un courant rotatif d'air de combustion (7) pénétrant tangentiellement dans le brûleur, et/ou un combustible gazeux (16) est ajouté au courant d'air de combustion (7) avant son entrée dans l'espace intérieur (8) du brûleur, l'allumage du mélange ne se produit qu'à la sortie du brûleur, et la flamme est stabilisée dans la région de l'embouchure du brûleur par une zone de recirculation interne (24), **caractérisé en ce que** 3 à 8 % du courant massique total de combustible sont mélangés dans une zone de recirculation externe (28).

5. Procédé suivant la revendication 4, **caractérisé en ce que** le combustible (16) mélangé dans la zone de recirculation externe (28) est injecté en opposition au sens du tourbillon de l'écoulement de recirculation.

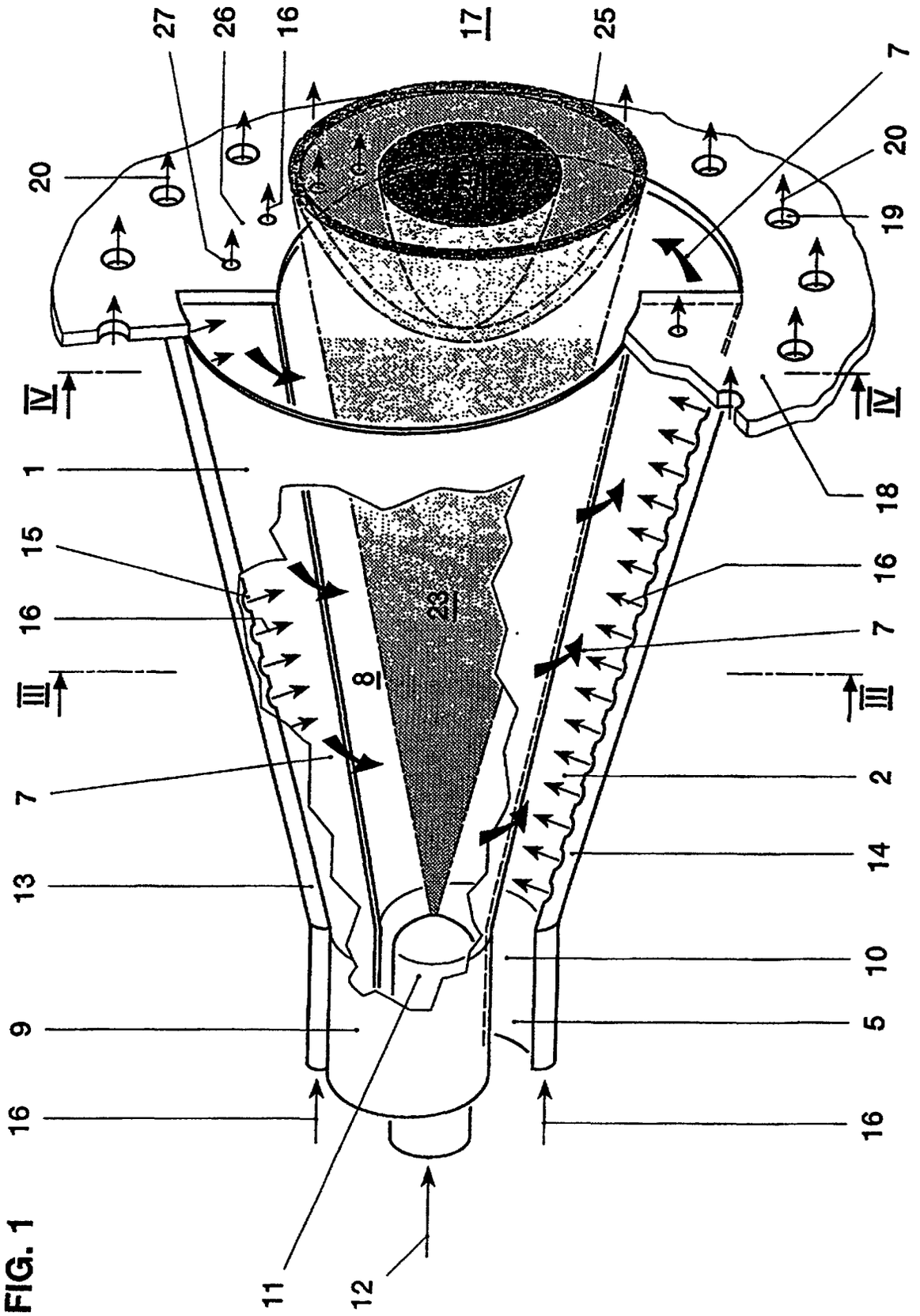

27
26
16
17
25
7
20
20
19
IV
IV
1
18
15
16
16
23
8
III
III
7
7
2
13
14
10
9
5
16
16
11
12

FIG. 1

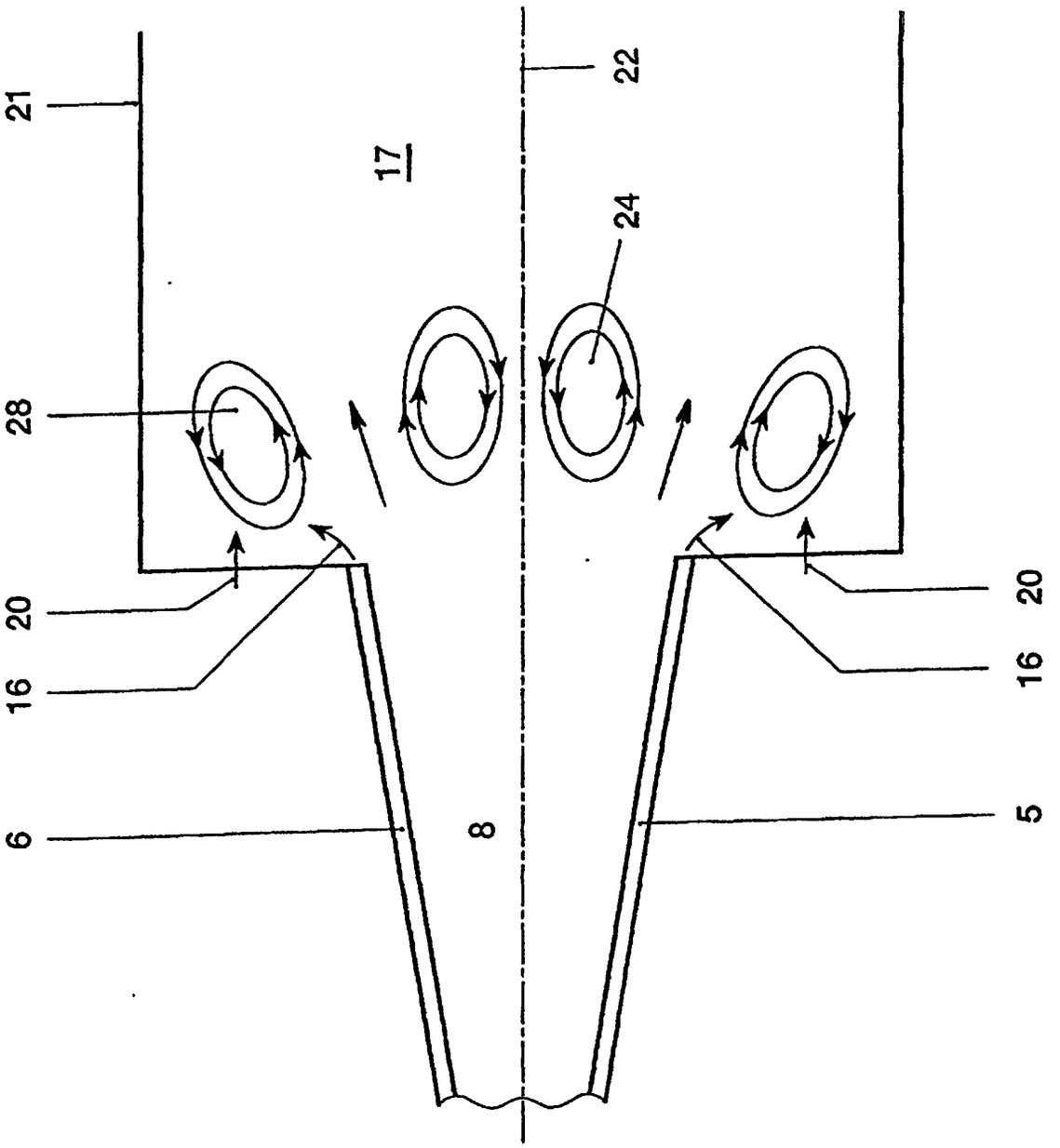


FIG. 2

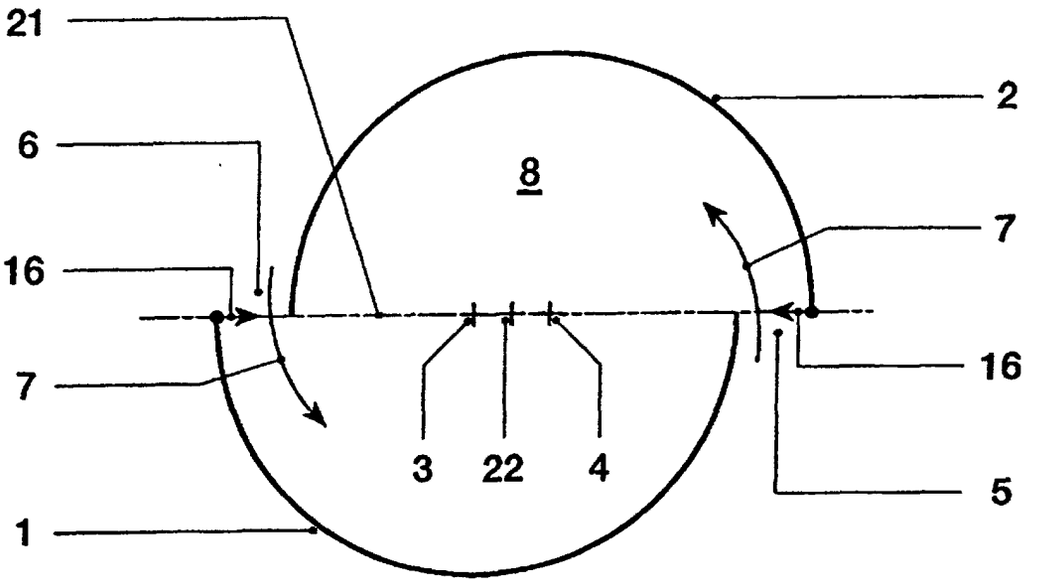


FIG. 3

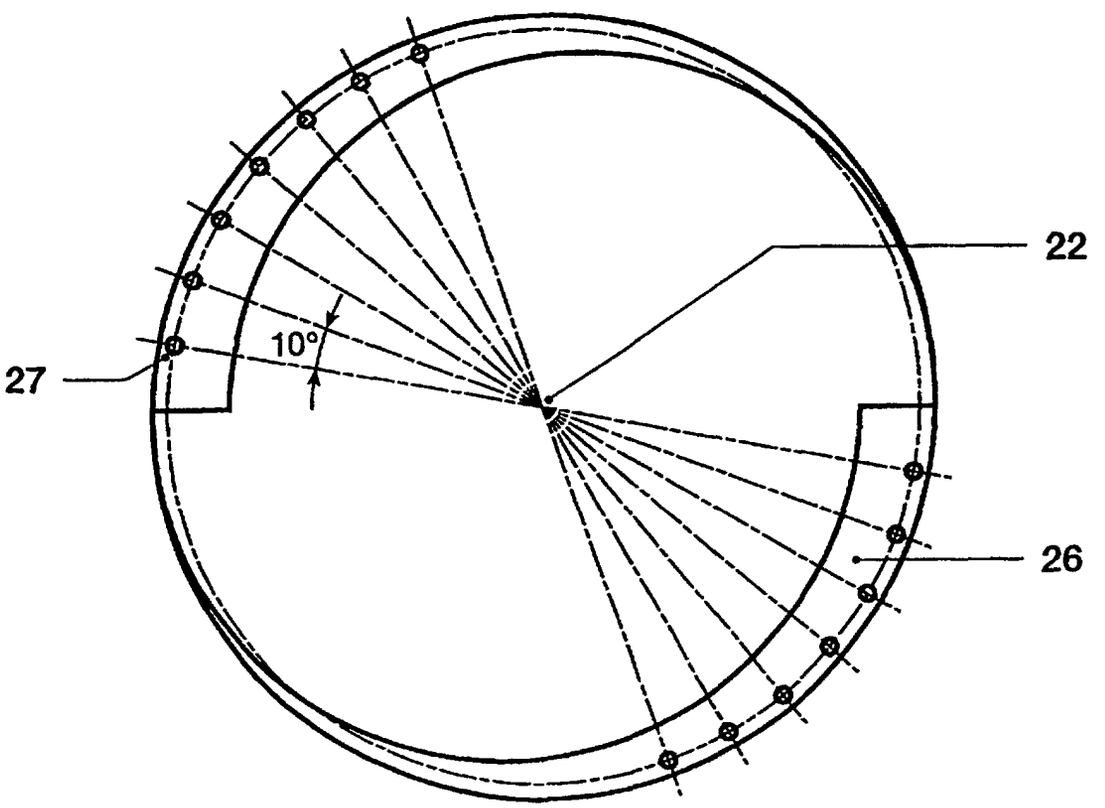


FIG. 4