



PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : F23C 11/00, F24H 1/40</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/01532</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. Januar 1995 (12.01.95)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP94/02156</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 1994 (01.07.94)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: P 43 22 109.2 2. Juli 1993 (02.07.93) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): APPLIKATIONS- UND TECHNIK ZENTRUM FÜR ENERGIEVERFAHRENS-, UMWELT UND STRÖMUNGSTECHNIK [DE/DE]; Kropfersrichterstrasse 6-8, D-92237 Sulzbach-Rosenberg (DE).</p> <p>(71)(72) Anmelder und Erfinder: DURST, Franz [DE/DE]; Eichenstrasse 12, D-91094 Langensendelbach (DE). TRIMIS, Dimosthenis [DE/DE]; Büchenbacher Anlage 7, D-91058 Erlangen (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DIMACZEK, Gerold [DE/DE]; Nürnbergerstrasse 23, D-91052 Erlangen (DE).</p> <p>(74) Anwälte: FEHNERS, Klaus usw.; Perhamerstrasse 31, D-80687 München (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	

(54) Title: **BURNER**

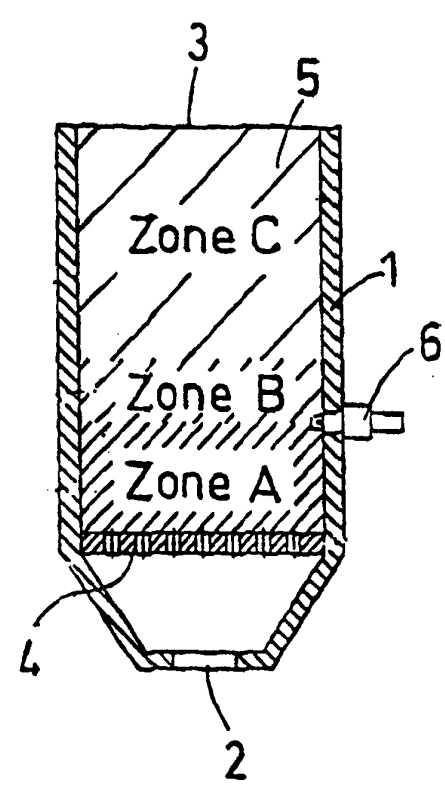
(54) Bezeichnung: **BRENNER**

(57) Abstract

Described is a burner with a housing (1) enclosing a combustion chamber and with an inlet (2) for a gas/air mixture used as fuel and an outlet (3) for the combustion gases. The combustion chamber is filled with a porous material (5) whose porosity varies along the length of the combustion chamber in such a way that the pore size increases in the direction of flow of the gas/air mixture, thus producing a critical Péclet number at a boundary surface or in a particular zone (B) of the porous material (5) for pore size and hence for flame development, a flame being able to exist at this critical Péclet number but being extinguished below it.

(57) Zusammenfassung

Es wird ein Brenner mit einem einen Brennraum einschließenden Gehäuse (1) beschrieben, der einen Einlaß (2) für ein Gas-/Luftgemisch als Brennstoff und einen Auslaß (3) für das Abgas aufweist, wobei der Brennraum mit einem porösen Material (5) gefüllt ist, dessen Porosität sich längs des Brennraums so ändert, daß die Porengröße in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisches zunimmt, so daß sich an einer Grenzfläche oder in einer bestimmten Zone (B) des porösen Materials (5) für die Porengröße und damit für die Flammentwicklung eine kritische Péclet-Zahl ergibt, bei der eine Flamme entstehen kann und unterhalb der eine Flamme unterdrückt wird.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

5

10

15

Brenner

20

Beschreibung:

Die Erfindung bezieht sich auf einen Brenner mit einem Gehäuse, das einen Brennraum mit einem Einlaß für ein Gas-/Luftgemisch als Brennstoff und einen Auslaß für das Abgas aufweist.

Brenner dieser Art arbeiten üblicherweise mit einer in dem Brennraum frei brennenden Flamme, die das Gas-/Luftgemisch verbrennt, wobei das heiße Abgas als Wärmequelle verwendet wird. Insbesondere wird das heiße Abgas zum Wärmetauschen an wasserführenden Rohren vorbeigeführt, um in diesen heißes Wasser oder Dampf zu erzeugen.

In solchen Brennern werden Schadstoffe wie NO_x oder CO gebildet. Diese giftigen und gesundheitsschädlichen Gase entstehen entweder bei hoher Flammtemperatur bzw. bei unvollständiger Verbrennung in unstabilen Flammen bzw. bei niedriger Flammtemperatur, die zwar reduziert werden könnte, dann aber entsteht eine un stabile Flamme .

Ferner ist auch eine unvollständige Verbrennung des Gas-/Luftgemisches zu erwarten, die den Wirkungsgrad herabsetzt.

Um diese Nachteile zu vermeiden wurden verschiedene Brennertypen entwickelt. Ein
5 Überblick ist in "Lean-Burn Premixed Combustion in Gas Turbine Combusters", A. Saul
und D. Altemark, Vulkan-Verlag, Essen, Band 40 (1991) Heft 7-8, S. 336-342 dargestellt.
Wesentliches Merkmal bei den dort beschriebenen Entwicklungen zur Reduzierung von
Schadstoffen ist vor allem eine niedrige Flammtemperatur, wobei verschiedene Maßnah-
men getroffen sind, die Brennstoffe möglichst vollständig zu verbrennen. Die wichtigsten
10 Maßnahmen zur Erzielung einer effizienteren Verbrennung sind die Überstöchiometrie
und die Katalyse. Beispielsweise ist in der genannten Druckschrift eine im Forschungs-
stadium befindliche Fett-Quensch-Mager-Verbrennungskammer von General Electric "LM
2500" angegeben, bei der in einer ersten Stufe ein brennstoffreiches Gemisch verbrannt
wird. In einem Zwischenbereich wird dem in der ersten Stufe teilweise verbrannten Gas
15 Luft zugeführt und in einer zweiten Stufe das dadurch entstehende Magergemisch ver-
brannt. Für diesen Brenner wird von den Autoren ein NO_x Gehalt von $< 190\text{mg/m}^3$ Gas
angegeben.

Die obengenannte Druckschrift beschreibt auch die Verbrennung mit Hilfe von Katalysa-
20 toren, mit denen eine vollständige Verbrennung bei geringer Temperatur erreicht werden
kann. Die Druckschrift gibt für die katalytische Verbrennung einen NO_x Gehalt von $< 20\text{mg/m}^3$
an. Die katalytische Verbrennung ist bei mehreren Forschungsstätten in Ent-
wicklung die aber bisher noch nicht über das Forschungsstadium hinaus fortgeschritten
ist. Nach Meinung der Autoren kann nicht erwartet werden, daß diese Art von Brennern
25 innerhalb der nächsten 5 Jahre kommerziell einsetzbar ist.

In der genannten Druckschrift werden Stabilitätsprobleme nicht detailliert diskutiert. Sie
werden aber um so wichtiger, je geringer die Flammtemperatur gewählt wird.

30 Eine Möglichkeit für die stabile Verbrennung bei niedrigen Temperaturen ist in "Neue
Gasbrenner- und -gerätetechnik", ein Beitrag der Gaswirtschaft zum Umweltschutz, Otto
Menzel, gwf Gas/Erdgas 130, 1989, Heft 7, S. 355-364 und in "Entwicklung eines
schadstoffarmen Vormischbrenners für den Einsatz in Haushalts- Gasheizkesseln mit zy-
lindrischer Brennkammer", H. Berg und Th. Jannemann, Gas Wärme International, Band
35 38 (1989), Heft 1, S. 28-34, Vulkan-Verlag, Essen angegeben. Der dort beschriebene
"Thermomax"-Brenner hat nur einen geringen NO_x Ausstoß. Die Flammstabilität wird bei

diesem Brenner durch eine wärmeabführende Brennerplatte erreicht, die im wesentlichen aus einem Lochblech mit kreisrunden Bohrungen besteht, durch welche das zu verbrennende Gas strömt. Die Flamme wird aufgrund der Wärmeabführung über das Lochblech praktisch an der Brennerplatte festgehalten, wodurch eine stabile Flamme entsteht.

5

Die Brennerplatte ist aber auch nicht ausreichend, um die Flammenstabilität bei allen Betriebsparametern zu gewährleisten. So wird angegeben, daß bei hohen Luftzahlen eine Gemischvorwärmung von rund 300°C vorgesehen sein sollte, da sich hierdurch die Verbrennungsgeschwindigkeit erhöht und damit die Abhebeneigung für die Flammen verringert wird.

10

Aus dem zitierten Stand der Technik wird deutlich, daß es möglich ist, eine Reduzierung von Schadstoffen durch niedrige Flammtemperatur zu erreichen, wobei aber die Stabilität der Flamme weiterhin ein wesentliches, ungelöstes Problem darstellt.

15

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, einen Brenner zu schaffen, bei dem die Flamme bei niedriger Temperatur und Schadstoffemission stabil brennt.

Ausgehend vom Stand der Technik wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Gehäuse ein poröses Material mit zusammenhängenden Hohlräumen enthält, dessen Porosität sich längs des Brennraumes so ändert, daß die Porengröße in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisch vom Einlaß zum Auslaß zunimmt, wobei sich in einer Zone oder an einer Grenzfläche des porösen Materials im Brennraum für die Porengröße eine kritische Péclet-Zahl für die Flammentwicklung ergibt, oberhalb der eine Flamme entstehen kann und unterhalb der die Flammentwicklung unterdrückt ist.

20

25

Nach diesem erfindungsgemäßen Vorschlag ist im Gegensatz zum Stand der Technik das Gehäuse mit einem porösen Material gefüllt, das die Eigenschaft besitzt, der Strömung des Gas-/Luftgemisches einen Widerstand entgegenzusetzen, so daß die zur Verbrennung anstehende Gasmenge gedrosselt wird. Außerdem wird auch durch die Wärmekapazität des porösen Materials im Brennraum die Verbrennungswärme besser aufgenommen und kann deshalb günstiger als beim Stand der Technik zur Weiterverwendung übertragen werden. Es entsteht durch das poröse Material zusätzlich eine Kühlung, die die Flammtemperatur verringert.

30

35

Bei einer bestimmten Porengröße sind die chemische Reaktion der Flamme und die thermische Relaxation gleich groß, so daß unterhalb dieser Porengröße keine Flamme entstehen kann, darüber jedoch eine freie Entflammung stattfindet. Diese Bedingung wird geeigneterweise mit Hilfe der Péclet-Zahl beschrieben, die das Verhältnis von Wärmestrom infolge Transport zu Wärmestrom infolge Leitung angibt. Entsprechend der Porosität, bei der eine Entflammung einsetzen kann, gibt es eine überkritische Péclet-Zahl für die Flamentwicklung. Da die Flamme nur in dem Bereich mit der kritischen Péclet-Zahl entstehen kann, wird eine selbststabilisierende Flammenfront im porösen Material erzeugt.

Die Verwendung eines porösen Materials im Brennraum bedingt auch eine hohe Wärmekapazität, wodurch eine im porösen Material lokal gespeicherte hohe Wärmeenergie und hohe Effizienzwerte in vorteilhafter Weise erreicht werden können. Weiter hat diese hohe Wärmekapazität auch den Vorteil, daß ein Wärmetauscher beispielsweise zur Erwärmung von Wasser, zur Erzeugung von Heißwasser oder Dampf im Brennraum integriert werden kann, wodurch eine wesentlich bessere Wärmeübertragung für den Wärmetausch erreicht wird als beim Stand der Technik. Die hohe Leistungsdichte ist auf eine höhere Verbrennungsgeschwindigkeit im porösen Medium und eine viel größere Flammenfrontoberfläche, die aufgrund der Porosität entsteht, zurückzuführen.

Das poröse Material hat auch den Vorteil, daß in der Strömung des Gas-/Luftgemisches eine hohe Turbulenz entsteht, wodurch bis zu 50 mal höhere als normale Verbrennungsgeschwindigkeiten erreicht werden können. Damit sind vor allem bessere Verbrennungsgrade verbunden und es werden höhere Leistungsdichten erreicht. An einem weiter unten beschriebenen Ausführungsbeispiel wurden Messungen durchgeführt, die zeigen, daß für die Wärmeausnutzung Effizienzen größer als 95% erreicht werden können.

Da das poröse Material selbst die Flamme kühlt, werden entsprechend niedrige Flammentemperaturen in Verbindung mit niedrigen Emissionswerten erreicht. Es ist daher keine Abkühlung nötig, wie sie im Stand der Technik entweder durch Überstöchiometrie oder Abgasrückführung vorgesehen ist.

Da das poröse Material dem Gasfluß selbst einen Widerstand entgegensetzt, arbeitet der erfindungsgemäße Brenner im wesentlichen unter einem weiten Druckbereich. Dadurch ist der Betrieb unter verschiedensten Drücken und sogar unter Hochdruck möglich. Für den erfindungsgemäßen Brenner ist also ein großer Anwendungsbereich gegeben.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist die kritische Péclet-Zahl 65 +/- 25 und insbesondere für Erdgas/Luftgemische 65.

5 Diese Zahl wurde aufgrund von Versuchen für verschiedene Gas/Luftgemische ermittelt. Es ergibt sich jedoch eine große Streuung je nach Art des Gases, wobei aber festgestellt wurde, daß bei Erdgas-/Luft-Gemischen unabhängig vom Mischungsverhältnis und von der Zusammensetzung des Erdgases die kritische Péclet-Zahl 65 beträgt. Diese Erkenntnis zeigt, daß die Péclet-Zahl der geeignete Parameter ist, um die Porosität des auszuwählenden Materials bei einem erfindungsgemäßen Brenner zu bestimmen. Die gegebene Lehre erlaubt dem Fachmann, ohne große Vorversuche, einen erfindungsgemäßen Brenner durch die Auslegung der Porosität des porösen Materials auf eine kritische Péclet-Zahl von 65 hinsichtlich der Betriebsart festzulegen.

15 Ein Brenner gemäß der erfindungsgemäßen Lehre kann einen kontinuierlichen Übergang von einer geringen Porosität zu einer hohen Porosität im Brennraum aufweisen, wobei dann die Flammentwicklung bei einer Porosität mit der kritischen Péclet-Zahl beginnt. Wie vorstehend schon diskutiert, kann die kritische Péclet-Zahl aber bei verschiedenen Gas/Luftgemischen auch variieren. Das hätte bei kontinuierlichem Verlauf der Porosität des porösen Materials im Mantel den Nachteil, daß sich die Flamme bei unterschiedlichen Bedingungen verschieben könnte. Um eine definierte Position für die Flammentwicklung zu schaffen, sind bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung im Mantel zwei in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisches hintereinander liegende Zonen unterschiedlicher Porengröße vorgesehen, wobei die dem Einlaß nachgeordnete erste Zone eine Péclet-Zahl für die Flammentwicklung hat, die kleiner als die kritische Péclet-Zahl ist, und die vom Einlaß weiter entfernte zweite Zone eine Péclet-Zahl hat, die größer als die kritische Péclet-Zahl ist.

25 Aufgrund dieser Maßnahmen ist die Flammentstehung auf die Fläche bzw. den Bereich zwischen den beiden Zonen festgelegt, und zwar im wesentlichen unabhängig von Betriebsparametern, die zu einer Variation der kritischen Péclet-Zahl führen könnten. Die genannte Maßnahme zur Festlegungen des Ortes der Flammentstehung erhöht also weiter die Stabilität und erlaubt es, einen Brenner zu bauen, der über einen weiten Einsatzbereich verwendbar ist.

35 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, daß die erste Zone eine Porengröße aufweist, die eine Péclet-Zahl ≤ 40 ergibt, und die zweite Zone eine Porengröße aufweist, die eine Péclet-Zahl ≥ 90 ergibt.

Aufgrund dieses Merkmals ist also der gesamte bekannte Variationsbereich von kritischen Péclet-Zahlen, die wie vorstehend schon erwähnt 65 +/- 25 betragen können, abgedeckt. Die angegebenen Werte für die Auslegung der Zonen für Péclet-Zahlen < 40 bzw. > 90 sind, wie später an dem Ausführungsbeispiel deutlich wird, einfach zu verwirklichen, und erlauben es, einen Brenner für einen großen Einsatzbereich verschiedenster Gas/Luftgemische auszulegen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist das poröse Material ein hitzebeständiger Schaumkunststoff, eine Keramik oder Metall bzw. eine Metalllegierung. Wie derartige poröse Materialien gefertigt werden können, ist aus dem Stand der Technik bekannt.

Die Hitzebeständigkeit muß aber für normale Haushaltsbrenner nicht besonders hoch sein, da die Flamme durch das poröse Material selbst gekühlt wird. Versuche haben gezeigt, daß bei erfindungsgemäßen Brennern mit einer Leistungsfähigkeit von 9KW die Temperaturen unterhalb von 1400° bleiben. Deshalb sieht eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung vor, daß das poröse Material bis 1500°C hitzebeständig ist.

Aufgrund dieses Merkmals stehen für einen erfindungsgemäßen Brenner eine Vielzahl von möglichen Materialien zur Verfügung, so daß die Materialauswahl nicht nur nach technischen Gesichtspunkten getroffen werden kann, sondern ein Brenner auch bezüglich eines kostengünstigen Aufbaus und eines geringen fertigungstechnischen Aufwands optimiert werden kann.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung besteht das poröse Material aus Füllkörpern, z.B. in Form von Schüttgut, welches ggfs., beispielsweise durch Sinterung, verfestigt sein kann.

Mit der angegebenen Art von Materialien läßt sich eine Porosität in einfacher Weise erzeugen. Das poröse Material kann aus locker geschichteten Körnern bestehen, es kann aber auch zu einer zusammenhängenden porösen Masse verfestigt sein.

Schüttgut hat vor allem den Vorteil, daß es leicht in das Gehäuse einfüllbar ist und fertigungstechnisch sehr einfach gehandhabt werden kann. Es ist aber auch bei der Brennerwartung, beispielsweise für eine Reinigung, einfach möglich, Schüttgut wieder aus dem Gehäuse zu entfernen.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung enthält das Schüttgut Metall, eine Metalllegierung oder Keramik, insbesondere Steatit, Stomalox oder Al_2O_3

5 Diese Materialien entsprechen in jeder Hinsicht den technischen Anforderungen für einen erfindungsgemäßen Brenner. Das genannte Schüttgut ist leicht erhältlich und liegt auch preislich in einem vertretbaren Bereich. Durch die Weiterbildung wird so ein kostengünstiger und fertigungstechnisch einfacher Aufbau eines erfindungsgemäßen Brenners ermöglicht.

10 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung besteht das Schüttgut in der Nähe des Auslasses aus Körnern kugelhähnlicher Form mit mittleren Durchmessern von 5mm und im nachfolgenden Bereich mit mittleren Durchmessern > 11mm, wenn der Durchmesser zur Erreichung der kritischen Péclet-Zahl zwischen 5 und 11mm liegt und insbesondere 9mm beträgt.

15 Wenn die Körner des Schüttgutes kugelförmig sind, läßt sich bei der Fertigung die Gleichmäßigkeit des Schüttgutes leicht kontrollieren. Insbesondere gilt das auch für die erreichbare Porosität, die dann nur durch den Durchmesser der kugelförmigen Körner und deren Anordnung in der Schüttung bestimmt ist. Es hat sich bei Stahl, Steatit, Stomalox oder Al_2O_3 und bei Verwendung von Erdgas/Luftgemischen gezeigt, daß die Péclet-Zahl von 65 bei Kugeln mit einem Durchmesser von 9mm und Péclet-Zahlen von 40 bzw. 90 bei Durchmessern von ungefähr 11 bzw. 5mm erreicht werden. Bei der Weiterbildung wird also die erforderliche Porosität mit einfachen Mitteln erzielt, vor allem da
20 Schüttgut der genannten Art und der entsprechenden Größe leicht verfügbar ist. Ohne großen Aufwand zu treiben, lassen sich so die erforderlichen Porositäten für einen erfindungsgemäßen Brenner verwirklichen.

25 Wie beim Stand der Technik schon erwähnt wurde, läßt sich vor allem die NO_x und CO-Emission durch Einsatz von Katalysatormaterialien verringern. Deswegen ist gemäß einer bevorzugten Weiterbildung vorgesehen, daß die Innenflächen der Hohlräume des porösen Materials bzw. die Oberflächen der Körner des Schüttguts mit einem Katalysatormaterial beschichtet sind.

30 Bei einem erfindungsgemäßen Brenner ist aufgrund der Porosität eine große Oberfläche zur Wechselwirkung mit dem Gas vorhanden. Dadurch ist zu erwarten, daß ein Katalysator wesentlich effektiver wirkt, als bei den aus dem Stand der Technik bekannten Konfigurationen. Außerdem läßt sich ein erfindungsgemäßer Brenner gemäß der Weiterbildung mit Katalysatoren wesentlich einfacher ausstatten, wodurch sehr schnell ein fertigungsreifer, serienmäßig verfügbarer Katalysatorbrenner möglich gemacht wird.
35

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung weist das Gehäuse zumindest teilweise eine Kühlungsvorrichtung auf.

Im Prinzip könnte man die Wärme, die in das Gehäuse abfließt, auch mit Isoliermaterial gegenüber der Außenwelt abschirmen, jedoch hat eine Kühlung den Vorteil, daß die Wärme von dem Kühlmittel aufgenommen und dann weiterverwendet werden kann. Aufgrund dessen kann die Effizienz eines erfindungsgemäßen Brenners weiter erhöht werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Kühlungsvorrichtung als eine das Gehäuse umgebende bzw. dieses bildende Kühlschlange ausgebildet, durch die ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, fließt. Weiter kann eine Überwachungseinrichtung vorgesehen sein, die bei Ausfall des Kühlmittels die Zufuhr von Brennstoff in den Brennraum verhindert.

Aufgrund dieser Merkmale ist die in der Kühlung aufgenommene Wärme weiterverwendbar, da das fließende Kühlmittel Wärme transportiert, die an einem anderen Ort entnommen werden kann. Bei Kühlmittelströmen kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß der Strom des Kühlmittels durch Leitungsbruch oder Verstopfung der Kühlschlange unterbrochen wird, wodurch sich die Außenwand des Brenners aufheizen könnte, was zu Brand oder Verbrennungen führen kann. Deswegen ist es zweckmäßig, eine Überwachungseinrichtung vorzusehen, die bei Ausfall des Kühlmittels die Zufuhr von Brennstoff in den Brennraum verhindert.

Aufgrund der Maßnahmen läßt sich also eine hohe Effizienz des Brenners bei gleichzeitiger Kühlung der Außenwand erzeugen, wobei eine große Sicherheit gewährleistet ist.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung ist in einem Bereich größerer Porenöffnungen des Materials eine Kühlungsvorrichtung zum Wärmetauschen vorgesehen.

Mit Hilfe dieser Kühlungsvorrichtung, die als Kühlschlange ausgebildet sein kann, wird die Wärme im Brenner z.B. als Heißwasser oder Dampf abgeführt und kann in weiteren Prozessen zur Heizung oder zum Betrieb von Turbinen weiterverwendet werden. Im Gegensatz zum Stand der Technik erfolgt die Wärmeübertragung hier nicht nur durch direkte Wechselwirkung des heißen Gases mit der Kühlungsvorrichtung, sondern zum größten Teil über das poröse Material, wodurch eine bessere Wärmeübertragung als beim Stand der Technik gewährleistet ist. Auch dieses Merkmal dient zur Erhöhung der Effizienz.

35

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist eine Kühlung des Gehäuses vorgesehen, die mit der Kühlvorrichtung zum Wärmetauschen in Reihe geschaltet ist.

Aufgrund dieser Maßnahme wird die Energie, die durch die Kühlung des Gehäuses im Kühlmittel aufgenommen wird, in denselben Kreis geführt, in dem die Wärme in dem Kühlmittel zum Wärmetauschen verwendet wird. Vorzugsweise wird das Kühlmittel dabei erst zur Kühlung des Gehäuses verwendet und anschließend in den Innenraum des Brenners geleitet, wo es mit dem porösen Material hoher Temperatur wechselwirkt. Bei der Weiterbildung wird so die gesamte vom Brenner erzeugte Wärme im Kühlmittel aufgenommen, wodurch die Effizienz weiter erhöht wird.

Je effektiver der Übergang der im Brenner erzeugten Wärme auf die Kühlvorrichtung innerhalb des Brenners ist, desto wirkungsvoller erfolgt die Wärmeübertragung. Außerdem bildet die Kühlvorrichtung im Brenner einen weiteren Strömungswiderstand, der bei der Auslegung des porösen Materials im Bereich der Kühlvorrichtung berücksichtigt werden kann. Die Kühlvorrichtung wirkt dann also ähnlich wie das poröse Material. Die Menge porösen Materials kann dann verringert werden, wobei auch eine wirkungsvollere Wärmeübertragung erreicht wird, wenn die Kühlvorrichtung gemäß einer Weiterbildung selbst so ausgebildet ist, daß diese zumindest teilweise als poröses Material wirkt und/oder poröses Material ersetzt.

Bei der Optimierung eines Brenners sollte auch der Abstand der Kühlvorrichtung von der Flamme möglichst günstig gewählt werden. Die höchste Temperatur erreicht man zwar in der Nähe der Flamme, es können jedoch auch für geringere Temperaturen geeignete Materialien zur Ausbildung der Kühlvorrichtung ausgewählt werden, wenn diese sich außerhalb des Flammbereichs befindet. Außerdem wird die Flamme durch die Kühlvorrichtung nicht zusätzlich gekühlt, wenn diese außerhalb des Flammbereichs liegt, was die Stabilität der Flamme zusätzlich erhöht. Deswegen sieht eine vorzugsweise Weiterbildung der Erfindung vor, daß der Abstand der Kühlvorrichtung von dem Bereich mit der kritischen Péclét-Zahl mindestens so groß ist, daß die Kühlvorrichtung mit der Flamme nicht in Berührung steht. Auf die Wärmeübertragung von Flamme zur Kühlvorrichtung hat das aufgrund der guten Wärmeleitung im porösen Material nur wenig Einfluß.

Um die Flamme durch die Kühlung des äußeren Gehäuses nicht zu beeinflussen, sieht eine vorzugsweise Weiterbildung der Erfindung vor, daß durch eine zusätzliche Vorrichtung, z.B. einen Einsatz im Brennerraum ein Spalt mit einer Abmessung größer als 1mm zwischen der Innenwand des Gehäuses und dem Einsatz, in dem sich das poröse

Material befindet, entsteht. Dadurch werden die CO-Emissionen, die durch unvollständige oder instabile Verbrennungen entstehen, weiter unterdrückt.

5 Versuche an Ausführungsbeispielen haben gezeigt, daß die höchste Effektivität dann erreicht wird, wenn die Porosität mit Schüttgut erzeugt wird und die Kühlvorrichtung in einem Abstand von 2 bis 4 Korngrößen der Schüttung von dem Grenzbereich mit der kritischen Péclet-Zahl 65 angeordnet ist. Allgemein ist gemäß einer Weiterbildung zu erwarten, daß sich die günstigsten Bedingungen dann ergeben, wenn die Kühlvorrichtung von der Zone mit der für die kritische Péclet-Zahl erforderlichen Porosität soweit entfernt ist,
10 daß sie nicht in den Flammenbereich eintaucht..

Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung ist am Brenner eine Zündvorrichtung so angeordnet, daß die Entflammung des Gas-/Luftgemisches in einem Bereich mit einer Porosität erfolgt, die die kritische Péclet-Zahl aufweist.

15 Im Prinzip könnte das Gas-/Luftgemisch an allen Stellen des Brenners entzündet werden, an denen ein brennfähiges Gas-/Luftgemisch vorhanden ist, beispielsweise vom Auslaß her. Gemäß der Weiterbildung erfolgt die Zündung aber in einem Bereich, in dem die Porosität die kritische Péclet-Zahl aufweist. Dadurch wird die Flamme genau in dem Bereich gezündet, indem sie auch im stabilen Zustand brennt. Aufgrund dessen wird eine hohe
20 Stabilität schon im Zeitpunkt der Entflammung bewirkt, da an anderen Stellen erst ein Rückschlagen der Flamme erfolgen müßte, das jedoch bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten des Brennstoffes gar nicht möglich ist. In diesem Fall könnte eine Zündung nur bei zwischenzeitlicher Reduzierung des Brennstoffflusses erfolgen. Das Merkmal der Weiterbildung reduziert also den apparativen Aufwand für einen
25 erfindungsgemäßen Brenner in hohem Maß, da eine Regelung des Zündvorganges unterbleiben kann.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist zwischen Einlaß und porösem Material eine Flammenfalle angeordnet.

30 Aufgrund des porösen Materials ist zwar kein Rückschlagen der Flamme zu erwarten, da die Péclet-Zahl im Einlaßbereich keine Ausbildung einer Flamme erlaubt. Dennoch ist vor allem aus Sicherheitsgründen eine Flammenfalle vorgesehen, die beispielsweise dann wichtig sein kann, wenn nach Reinigungsarbeiten das die hohe Porosität aufweisende Schüttgut versehentlich in den Einlaßbereich eingefüllt worden ist.

35

Die Flammenfalle sollte, da sie im Normalfall nicht benötigt wird, möglichst einfach ausgebildet sein. Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung ist die Flammenfalle eine Platte, die eine Vielzahl von Löchern mit einem Durchmesser kleiner als der für die jeweiligen Brennstoffe kritische "quenching" Durchmesser aufweist. Es hat sich gezeigt, daß diese Flammenfalle bei Erdgas/Luftgemischen wirksam ist. Ihr großer Vorteil liegt vor allem in der Einfachheit der Herstellung und in der sehr kostengünstigen Ausführung. Der Aufwand für die Flammenfalle wird daher gering gehalten und bleibt vertretbar, so daß eine zusätzliche Flammenfalle wirtschaftlich vertretbar eingesetzt werden kann, obwohl sie im Normalfall für den erfindungsgemäßen Brenner nicht notwendig ist.

Aufgrund der hohen Leistungsdichte und der großen Menge Materials zur Aufnahme von Wärme ist es auch einfach, den erfindungsgemäßen Brenner nach Art eines Brennwertkessels zu betreiben, da die Abgastemperatur bei diesen stark reduziert ist. Das dabei jedoch entstehende Kondensat muß abgeführt werden. Dies ist bei dem erfindungsgemäßen Brenner einfach zu bewerkstelligen, denn es wurden bei Versuchsmodellen festgestellt, daß diese in jeder Lage, sogar mit Flammentwicklung entgegen der Schwerkraft, betrieben werden können. Bei einem mit dem Auslaß nach unten angeordneten Brenner würde das Kondensat in einfacher Weise durch diesen abfließen können, so daß keine zusätzlichen Maßnahmen getroffen werden müssen. Deshalb sieht eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung vor, daß Einlaß, Auslaß und poröses Material so angeordnet sind, daß entstehendes Kondensat durch den Auslaß abfließen kann.

Weitere Maßnahmen und Vorteile der Erfindung ergeben sich auch aus den nachfolgend anhand der Zeichnungen beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform des Brenners mit drei Zonen;

Fig. 2 eine weitere Ausführungsform des Brenners mit zwei Zonen;

Fig. 3 ein Diagramm für Péclet-Zahlen in Abhängigkeit des Kugeldurchmessers bei einer Kugelschüttung,

Fig. 4 ein Diagramm für den Temperaturverlauf innerhalb des porösen Materials bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2,

Fig. 5 einen Schnitt durch einen als Wassererhitzer oder Dampferzeuger ausgelegten Brenner entsprechend der in Fig. 2 gezeigten, jedoch mit dem Auslaß nach unten angeordneten Ausführungsform und

5

Fig. 6 einen Schnitt durch einen mit einem Einsatz versehenen Brenner.

Die Flammentwicklung in porösem Material ist bereits durch mehrere Wissenschaftler untersucht und beschrieben worden, insbesondere durch V.S. Babkin, A.A. Korzhavin und V.A. Bunev in "Propagation of Premixed Gaseous Explosion Flames in Porous Media, Combustion and Flame", Volume 87, 1991, S. 182 bis 190. Von diesen Autoren wurde der folgende Ausbreitungsmechanismus für Flammen beschrieben.

10

Im porösen Material werden Turbulenzen im Brennstofffluß erzeugt. Eine positive Rückkopplung zwischen Flammenbeschleunigung und der Erzeugung von Turbulenzen wird durch lokale Unterdrückung von den chemischen Reaktionen aufgrund intensiven Wärmeaustauschs in der turbulenten Flammenzone gedämpft. Wenn die charakteristische Zeit des thermischen Ausgleichs kleiner wird als die chemische Konversion, wird die Flambildung verhindert. Da außerdem bei turbulenter Strömung die verschiedensten Geschwindigkeiten auftreten, werden die Anteile der Flamme mit maximalen Geschwindigkeiten unterdrückt, wodurch eine stabile Flammenausbreitung erzeugt wird.

15

20

Die Experimente der Autoren führten zu einer kritischen Péclet-Zahl von 65 +/- 25 für die Flammenfortpflanzung in porösem Material, wobei die Varianz im wesentlichen durch extrem unterschiedliche Gaszusammensetzungen gegeben ist. Bei Erdgas/Luftgemischen ist aber im wesentlichen eine Péclet-Zahl von 65 zu erwarten.

25

Die Péclet-Zahl läßt sich durch die folgende Gleichung errechnen:

30

$$P_e = (S_L d_m c_p \rho) / \lambda,$$

35

wobei S_L die laminare Flammgeschwindigkeit, d_m der äquivalente Durchmesser für den mittleren Hohlraum des porösen Materials, c_p die spezifische Wärme des Gasgemisches, ρ die Dichte des Gasgemisches und λ die Wärmeleitfähigkeit des Gasgemisches ist. Die Gleichung zeigt, daß die Bedingungen für die Flammentwicklung im wesentlichen von Gasparametern abhängen, und die Eigenschaften des porösen Materials nur über d_m in

die Gleichung eingehen. Die Pécelt-Zahl ist also im wesentlichen unabhängig von den Materialeigenschaften und nur abhängig von der Porosität. Es können also bei erfindungsgemäßen Brennern die verschiedensten Materialien bzw. geometrische Formen als poröses Material verwendet werden.

5

Im übrigen sind alle in die Gleichung eingehenden Werte meßbar, so daß mit Hilfe der angegebenen Gleichung eine technische Lehre gegeben ist, die sich auf die verschiedensten Gasgemische anwenden läßt.

10

Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung einen Brenner mit einem Gehäuse 1, welches einen Einlaß 2 für das Gas-/Luftgemisch und einen Auslaß 3 für die Abgase aufweist. In einem Abstand vom Einlaß 2 ist eine Flammenfalle 4 vorgesehen, welche den Innenraum des Gehäuses 1 unterteilt. Der zwischen dieser Flammenfalle 4 und dem Auslaß 3 gelegene Teil des Innenraumes des Gehäuses 1 ist mit einem porösen Material 5 ausgefüllt.

15

Weiter ist eine Zündvorrichtung 6 zur Zündung des Gasgemisches vorgesehen.

Das Gas-/Luftgemisch tritt durch den Einlaß 2 ein und die Abgase verlassen den Brenner durch den Auslaß 6. Das poröse Material 5 weist örtlich unterschiedliche Porositäten auf, und zwar entsprechend den unterschiedlich schraffierten Zonen A, B und C. In Zone A sind die Poren so klein, daß die sich daraus ergebende Pécelt-Zahl kleiner als die kritische Pécelt-Zahl (65 für Erdgas/Luftgemische) ist. Die kritische Pécelt-Zahl ist der Grenzwert, oberhalb dem eine Flamme entstehen kann bzw. unterhalb dem eine Flamme unterdrückt wird. In Zone C ist die Pécelt-Zahl wesentlich größer als die kritische Pécelt-Zahl, so daß sich dort eine Flamme entwickeln kann. Zone B stellt einen Übergangsbereich dar, innerhalb dem die Porosität die kritische Pécelt-Zahl erreicht.

20

25

Nach den dargestellten Erkenntnissen über die Flammentwicklung im porösen Material, kann die Flamme nur in Zone B entstehen, und zwar nur an den Stellen, an denen die Porosität die kritische Pécelt-Zahl erreicht. Das poröse Material kühlt dabei die Flamme, so daß nur wenig NO_x erzeugt wird. Die Innenflächen der Hohlräume des porösen Materials, insbesondere des der Zone B, können auch mit einem Katalysator beschichtet werden, wodurch eine weitere Verringerung des NO_x und CO -Anteils im Abgas erreicht wird.

30

35

Aufgrund der oben dargestellten physikalischen Gesetzmäßigkeiten für die Flammentwicklung in porösem Material wird sich die Flamme in der Zone B stabilisieren, und zwar an Orten, an denen das Gas-/Luftgemisch gerade die kritische Pécelt-Zahl erreicht. Dies

bedeutet aber auch, daß sich die Flammenansätze bei starken Änderungen der physikalischen Parameter innerhalb der Region B verschieben können, so daß eine örtliche Flammenstabilität prinzipiell nicht gegeben ist. Andererseits hat die durch die Zone B gegebene Übergangsschicht den Vorteil, daß sich die Flammenfront bei den kleinstmöglichen Hohlräumen stabilisiert, wodurch der bestmögliche Wärmeübergang von der Flamme zum porösen Material gewährleistet ist.

Wird jedoch auf eine örtlich stabile Flamme Wert gelegt, kann ein Brenner nach dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel verwendet werden. Bei diesem ist gegenüber dem in Fig. 1 beschriebenen die Zone B weggelassen worden, so daß nur die zwei Zonen A und C vorhanden sind. Hier stabilisiert sich die Flamme aufgrund der oben dargestellten Gesetzmäßigkeiten an der Grenzschicht zwischen Zone A und Zone C. Die Flamme ist also durch die Grenzfläche festgelegt und daher ortsstabil. Aufgrund der Varianz von +/- 25 der angegebenen Péclet-Zahl von 65 ist es vorteilhaft, in Zone A eine Porosität vorzusehen, deren Péclet-Zahl kleiner als 40 ist und in Zone C eine Porosität, die einer Péclet-Zahl von größer 90 entspricht. Dann bestimmt die Grenzschicht für einen großen Bereich von Gas-/Luftgemischen den Ort der Flammentwicklung, wodurch die Stabilität für einen großen Bereich von Gasparametern gewährleistet wird.

Für das poröse Material können unterschiedliche Materialien, z.B. Keramikwerkstoffe, verwendet werden. Es sind aber auch hitzebeständige Schaumkunststoffe möglich. Bei den folgenden Betrachtungen wird als poröses Material Schüttgut verwendet. Bei Schüttgut mit runden Körnern läßt sich der in die Gleichung für die Péclet-Zahl eingehende Parameter d_m für die Porosität aufgrund von geometrischen Überlegungen berechnen als $d_m = \delta / 2,77$, wobei δ der Durchmesser der kugelförmigen Körner des Schüttguts ist.

Entsprechend der oben angegebenen Gleichung wurden für Erdgas/Luftgemisch Péclet-Zahlen in Abhängigkeit vom Durchmesser δ berechnet, die in Fig. 3 dargestellt sind. Für die Berechnung wurde eine stöchiometrische laminare Flammengeschwindigkeit S_L von 0,4mm pro sec angenommen. Die Péclet-Zahl von 65 wird bei einem Kugelradius von 9mm erreicht, während die genannten Péclet-Zahlen von 40 bzw. 90 bei 6mm bzw. bei 12,5mm gegeben sind.

In einem Versuchsaufbau gemäß Fig. 2 wurden Körner mit Durchmessern von 5mm in Zone A und 11mm in Zone C verwendet. Dabei wurden unterschiedlichste Testmaterialien verwendet, z.B. Kugeln aus poliertem Stahl sowie Keramikkörner unterschiedlichster

Zusammensetzungen und Größen, wie Steatit, Stomalox oder Al_2O_3 . Es zeigte sich, daß die erfindungsgemäßen Vorteile bei allen Materialien erreicht wurden.

5 Der Temperaturverlauf in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisches in einem derartigen Versuchsbrenner ist in Fig. 4 für verschiedene Leistungen dargestellt, wobei der Mantel von außen gekühlt wurde. Es zeigte sich, daß selbst bei hohen Leistungen von 9kW die höchste Temperatur unter $1500^{\circ}C$ lag. Deshalb können alle Materialien verwendet werden, die bis $1500^{\circ}C$ temperaturstabil sind.

10 In Fig. 4 ist eine erste senkrechte Linie eingezeichnet, die die Grenzfläche zwischen der Zone A und der Zone C darstellt. Es ist deutlich erkennbar, daß die höchste Temperatur an der Grenzfläche bzw. bezüglich kurz hinter der Grenzfläche in der Zone C entsteht.

15 Weiter ist aus Fig. 4 erkennbar, daß die Temperaturen zum Auslaß 3 (zweite senkrechte Linie) hin stark abfallen. Es kann also mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Brenners eine Abgastemperatur unterhalb des Taupunkts erreicht werden, wodurch sich die Vorteile eines Brennwertkessels ergeben. Allerdings muß aber das dabei entstehende Kondensat abgeführt werden. Es hat sich gezeigt, daß der Brenner unabhängig von seiner Lage zum Schwerfeld der Erde stabil arbeitet, so daß er auch waagrecht oder mit dem Auslaß 3
20 nach unten betrieben werden kann. Bei dieser letzten Anordnung kann das Kondensat aus dem Brenner herausfließen.

25 Die niedrige Gastemperatur am Auslaß zeigt auch, daß die Wärme des verbrannten Gas-/Luftgemisch fast vollständig von dem porösen Material aufgenommen wird, wodurch der Bau eines Wärmetauschers mit großer Effizienz ermöglicht wird. Mit einem Brenner nach dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 ist es möglich, einen Wassererhitzer mit einer Leistung von 5kW eine Abgastemperatur von $60^{\circ}C$ und einem Wirkungsgrad von 95% zu bauen. Die baulichen Abmessungen des Brenners konnten dabei sehr klein gehalten werden, so betrug die Länge des Brenners nur 15cm und der Durchmesser 8cm. Die geringen Abmessungen sind vor allem auf die hohe Leistungsdichte zurückzuführen, die mit
30 Hilfe von porösem Material erreicht werden kann.

35 Fig. 4 zeigt auch, daß die höchsten Temperaturen kurz hinter der Grenzfläche zwischen Zone A und Zone C entstehen. Hieraus folgt, daß für die Erzeugung heißen Dampfes die Wärmeübertragung von der Flamme auf das zu erhitzende Wasser in der Nähe dieser Grenzfläche stattfinden sollte. Eine das zur Dampferzeugung vorgesehene Wasser füh-

rende Kühlvorrichtung sollte daher in dem Bereich des porösen Materials verlaufen, der ungefähr 3cm von der Grenzfläche entfernt ist.

5 Unabhängig hiervon ist es im allgemeinen zweckmäßig, die Kühlvorrichtung nicht zu nah an der Flamme anzuordnen, da die Flamme zur Erhaltung ihrer Stabilität nicht selbst abgekühlt werden soll. Deswegen ist es vorteilhaft, die Kühlvorrichtung in die Nähe der Grenzschicht zu verlegen, aber nicht in den Flambereich. Sollten Materialprobleme aufgrund der hohen Temperaturen bei der Ausführung der Kühlvorrichtung entstehen, sind größere Abstände vorzuziehen.

10

Fig. 5 zeigt den schematischen Aufbau eines zum Erhitzen von Wasser bzw. zum Erzeugen von Dampf geeigneten Brenners. Dieser umfaßt im wesentlichen wieder das Gehäuse 1, den Einlaß 2, den Auslaß 3, die Flammenfalle 4, die Zündeinrichtung 6 und das poröse Material 5. Der Brenner ist mit seinem Auslaß 3 nach unten angeordnet, so daß Kondensat leicht abfließen kann. Das poröse Material 5 ist nur schematisch durch gleichgroße Kugeln angedeutet. Dies entspricht nicht den realen Gegebenheiten, denn die Porosität des porösen Materials ändert sich ja entlang der Flußrichtung des Gas-/Luftgemisch, wobei die Kugeln im Einlaßbereich einen geringeren Durchmesser als im Auslaßbereich aufweisen.

20

Die Grenzfläche zwischen den oben beschriebenen Zonen A und C ist durch eine unterbrochene Linie 7 angedeutet. Wie vorstehend schon erläutert, entsteht die Flamme an dieser Grenzfläche 7 und überträgt ihre Wärme im wesentlichen in einem Bereich von wenigen cm in der Region C auf das poröse Material.

25

Zusätzlich ist eine das Gehäuse 1 umgehende bzw. dieses sogar bildende äußere Kühlvorrichtung 8 vorgesehen, die als um das Gehäuse 1 angeordnete Kühlschlange ausgebildet sein kann und die Wärmeabfuhr nach außen verhindert. Die Kühlschlange wird von Wasser durchflossen und ist mit einem Wasserwächter versehen, der bei Ausfall von Kühlmittel den Zustrom des Gas-/Luftgemisch in den Einlaß 2 unterbricht, so daß das Gehäuse 1 stets gekühlt wird, wenn der Brenner in Betrieb ist. So wird sichergestellt, daß sich die Außenwand nicht zu stark erwärmen kann, wodurch wiederum verhindert wird, daß man sich am Gehäuse verbrennen kann oder von diesem ein Brand ausgelöst wird. Die von der Gehäusewand durch die Kühlschlange abgeführte Wärme kann weiterverwendet werden, dadurch erhöht sich die Effizienz bei der Heißwasser- oder Dampferzeugung.

35

Weiter zeigt Fig. 5 die Anordnung einer inneren Kühlvorrichtung 9, die sich vom Auslaß 3 her bis kurz vor die Grenzfläche 7 in das poröse Material der Zone C erstreckt.

5 Die innere Kühlvorrichtung 9 ist nur schematisch angedeutet, in der Praxis kann sie z.B. die Form einer Spirale aufweisen, damit ein möglichst guter Wärmeübergang vom porösen Material 5 gewährleistet ist. Es sind aber auch kompliziertere Ausführungsformen für die Kühlvorrichtung 9 denkbar. So kann diese beispielsweise selbst das poröse Material bilden bzw. zur Porosität beitragen, wodurch ein noch besserer Wärmeübergang
10 möglich wird.

Die äußere Kühlvorrichtung 8 ist mit der inneren Kühlvorrichtung 9 in Reihe verbunden, wodurch das schon durch das Gehäuse 1 vorgewärmte Wasser in die innere Kühlvorrichtung 9 geführt wird und zur Erhitzung des Wassers bzw. für die Erzeugung von Dampf
15 mitverwendet wird.

Um zu vermeiden, daß die Flamme im Brennraum nicht durch zu starke Abkühlung durch die äußere Kühlvorrichtung 8 beeinflußt wird, ist, wie aus Fig. 6 ersichtlich, im Flammbereich des Brennraumes ein Einsatz 10, der aus einem geeigneten Material besteht,
20 vorgesehen, der das poröse Material 5 aufnimmt und die Innenwand des Gehäuses 1 gegen direkte Wärmebestrahlung abschirmt. Der Einsatz 10 kann auch so ausgebildet sein, daß er in einem Abstand von der Innenwand des Gehäuses 1 angeordnet ist, so daß sich zwischen der Innenwand und dem Einsatz 10 ein Spalt 11 bildet, der frei von dem brennbaren Gas-/Luftgemisch ist.

25 Durch diese Ausbildung des Brennraumes im Flammbereich werden die CO-Emissionen, die durch unvollständige oder instabile Verbrennung entstehen, weiter unterdrückt.

Die Flammenfalle 4 soll ein Rückschlagen der Flamme verhindern. Grundsätzlich ist sie bei dem erfindungsgemäßen Brenner nicht notwendig, da die Flamme wegen der geringen Péclet-Zahl in der Zone A nicht zum Einlaß 2 durchschlagen kann, sie ist also lediglich zur Erhöhung der Sicherheit vorgesehen. Die Flammenfalle besteht im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 aus einem 4mm dicken Stahlblech, in das eine Vielzahl von Löchern mit einem Durchmesser von 1mm gebohrt wurde, wobei die Dichte der Löcher kleiner als 20/cm² ist.
35

Die Zündeinrichtung 6 befindet sich in der Nähe der Grenzfläche 7, um eine besonders wirkungsvolle Zündung zu ermöglichen. Im Ausführungsbeispiel brennt die Flamme selbststabilisierend an der Grenzfläche 7.

5 Es wurden auch Versuche mit einer Zündung vom Auslaß 3 her durchgeführt. Diese Art der Zündung war jedoch nachteilig, da die Geschwindigkeit der Flammenfront der freien Flamme vergleichsweise gering zu der Flammengeschwindigkeit im porösen Material ist. Ein Rückschlagen der Flamme vom Auslaß 3 zur Grenzfläche 7 war nur möglich, wenn die mittlere Geschwindigkeit des Gas-/Luftgemisches am Auslaß 3 gering gehalten
10 wurde. Eine Zündung vom Auslaß 3 her würde also eine zusätzliche Regelung erfordern, bei der die Strömungsgeschwindigkeit des Gas-/Luftgemisches erst gedrosselt und dann nach Entflammung an der Grenzfläche 7 wieder erhöht wird. Hieraus ergibt sich der Vorteil einer Zündung in Nähe der Grenzfläche 7, die komplizierte Regelungs-Lösungen für das Gas-/Luftgemisch nicht erfordert.

15 Die vorbeschriebenen Ausführungsbeispiele zeigen den einfachen Aufbau des erfindungsgemäßen Brenners bei geringer Temperatur, guter Wärmeübertragung sowie einer stabilen Flamme. Bei unvollständiger Verbrennung ist es bei den erfindungsgemäßen Brennern auch möglich, diese überstöchiometrisch zu betreiben oder durch das Vorsehen
20 von Katalysatormaterial in dem porösen Material eine bessere Verbrennung durchzuführen, wobei der Schadstoffanteil im Abgas noch weiter reduziert wird.

25

30

35

Ansprüche

5

1. Brenner mit einem Gehäuse (1), das einen Brennraum mit einem Einlaß (2) für ein Gas-/Luftgemisch als Brennstoff und einen Auslaß (3), für das Abgas aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (1) ein poröses Material (5) mit zusammenhängenden Hohlräumen enthält, dessen Porosität sich längs des Brennraumes so ändert, daß die Porengröße in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisches vom Einlaß (2) zum Auslaß (3) zunimmt, wobei sich in einer Zone (B) oder an einer Grenzfläche (7) des porösen Materials (5) im Brennraum für die Porengröße eine kritische Péclet-Zahl für die Flammentwicklung ergibt, oberhalb der eine Flamme entstehen kann und unterhalb der die Flammentwicklung unterdrückt ist.

10

15

2. Brenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die kritische Péclet-Zahl 65 ± 25 und insbesondere für Erdgas/Luftgemische 65 beträgt.

20

3. Brenner nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Gehäuse (1) zwei in Flußrichtung des Gas-/Luftgemisches hintereinander liegende Zonen (A, C) unterschiedlicher Porengröße vorgesehen sind, wobei die dem Einlaß (2) nachgeordnete erste Zone (A) eine Péclet-Zahl aufweist, die kleiner als die kritische Péclet-Zahl ist, und die vom Einlaß (2) weiter entfernte zweite Zone (C) eine Péclet-Zahl aufweist, die größer als die kritische Péclet-Zahl ist.

25

4. Brenner nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Zone (A) eine Porengröße aufweist, die eine Péclet-Zahl ≤ 40 ergibt, und die zweite Zone (C) eine Porengröße aufweist, die eine Péclet-Zahl ≥ 90 ergibt.

30

5. Brenner nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das poröse Material hitzebeständiger Schwammkunststoff, Keramik oder Metall bzw. eine Metalllegierung ist.

35

6. Brenner nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das poröse Material bis zu einer Temperatur von 1500°C hitzebeständig ist.

7. Brenner nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das poröse Material Füllkörper sind, z.B. in Form von Schüttgut, welche gegebenenfalls, beispielsweise durch Sinterung, verfestigt sein kann.
- 5 8. Brenner nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Schüttgut Metall oder Keramik, insbesondere Steatit, Stomalox oder Al_2O_3 enthält.
- 10 9. Brenner nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Schüttgut in der Nähe des Einlasses (2) aus Körnern kugelförmiger Form mit mittleren Durchmessern von 5mm und im nachfolgenden Bereich mit mittleren Durchmessern ≥ 11 mm besteht, wenn bei atmosphärischem Druck der Durchmesser zur Erreichung der kritischen Péclet-Zahl zwischen 5 und 11mm liegt und insbesondere 9mm beträgt.
- 15 10. Brenner nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenflächen der Hohlräume des porösen Materials bzw. die Oberflächen der Körner des Schüttguts mit einem Katalysatormaterial beschichtet sind.
- 20 11. Brenner nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (1) zumindest teilweise eine Kühlvorrichtung (8) aufweist.
- 25 12. Brenner nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlvorrichtung (8) als eine das Gehäuse (1) umgebende bzw. dieses bildende Kühlschlange ausgebildet ist, durch welche ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, fließt.
- 30 13. Brenner nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Überwachungseinrichtung vorgesehen ist, die bei Ausfall des Kühlmittels die Zufuhr von Brennstoff in den Brennraum blockiert.
- 35 14. Brenner nach Anspruch 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Bereich größerer Porenöffnungen des Materials, eine Kühlvorrichtung (9) zum Wärmetauschen angeordnet ist.
15. Brenner nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlvorrichtung (8) des Gehäuses (1) mit der Kühlvorrichtung (9) zum Wärmetauschen in Reihe geschaltet ist.

16. Brenner nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlvorrichtung (9) selbst so ausgebildet ist, daß diese zumindest teilweise als poröses Material wirkt und/oder poröses Material ersetzt.
- 5 17. Brenner nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Kühlvorrichtung (9) von der Zone (B) oder der Grenzfläche (7) mit der kritischen Péclet-Zahl mindestens so groß ist, daß die Kühlvorrichtung (9) mit der Flamme nicht in Berührung kommt.
- 10 18. Brenner nach Anspruch 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenwand des Gehäuses (1) mindestens im Flambereich durch eine zusätzliche Vorrichtung (10), beispielsweise durch einen Einsatz aus geeignetem Material, gegen direkte Wärmebestrahlung abgeschirmt ist.
- 15 19. Brenner nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (10) in einem einen Spalt (11) freilassenden Abstand von der Innenwand des Gehäuses (1) angeordnet ist, der frei von dem Gas-/Luftgemisch ist.
- 20 20. Brenner nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlvorrichtung (9) von der Zone mit der für die kritische Péclet-Zahl erforderlichen Porosität soweit entfernt ist, daß sie nicht in den Flambereich eintaucht.
- 25 21. Brenner nach Anspruch 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zündvorrichtung (6) so angeordnet ist, daß die Entflammung des Gas-/Luftgemisches in einem Bereich mit einer Porosität erfolgt, die die kritische Péclet-Zahl aufweist.
22. Brenner nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Einlaß (2) und porösem Material (5) eine Flammenfalle (4) angeordnet ist.
- 30 23. Brenner nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Flammenfalle (4) eine Platte ist, die eine Vielzahl von Löchern mit einem Durchmesser kleiner als der für die jeweiligen Brennstoffgemische kritischen "quenching" Durchmesser aufweist.
- 35 24. Brenner nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß Einlaß (2), Auslaß (3) und poröses Material (5) so angeordnet sind, daß Kondensat durch den Auslaß (3) abfließen kann.

1/5

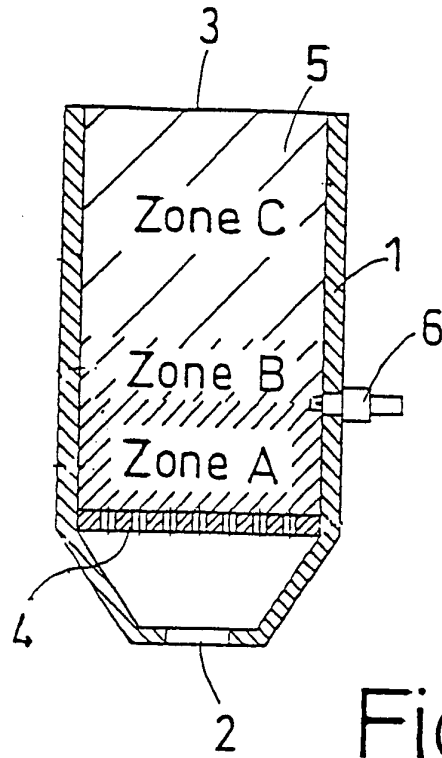


Fig.1

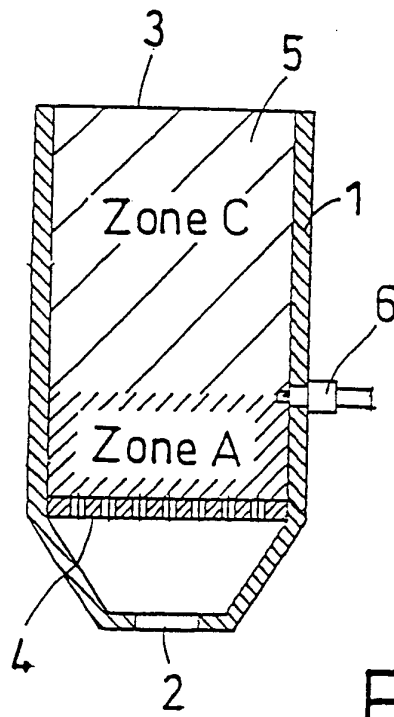
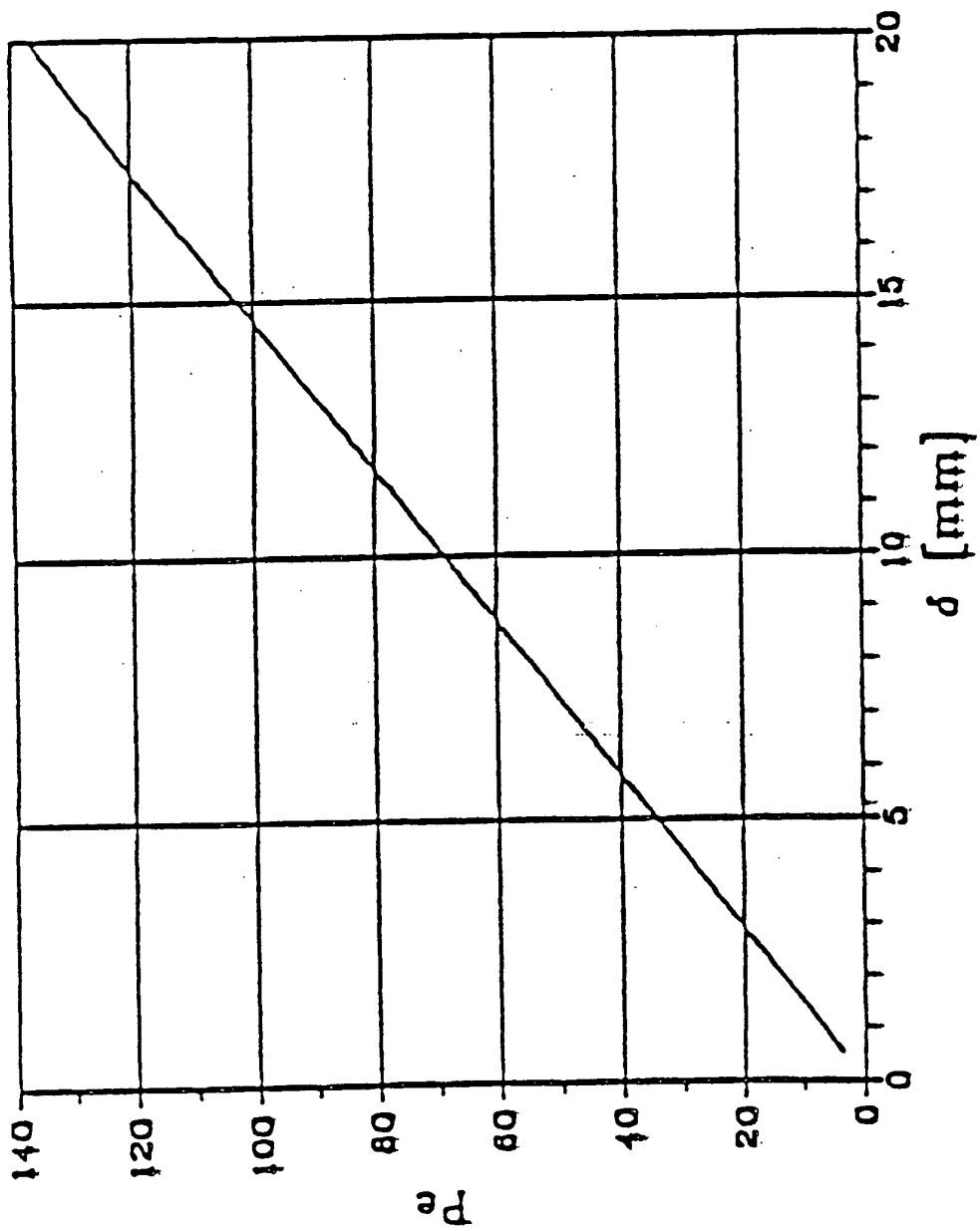


Fig.2

Fig. 3



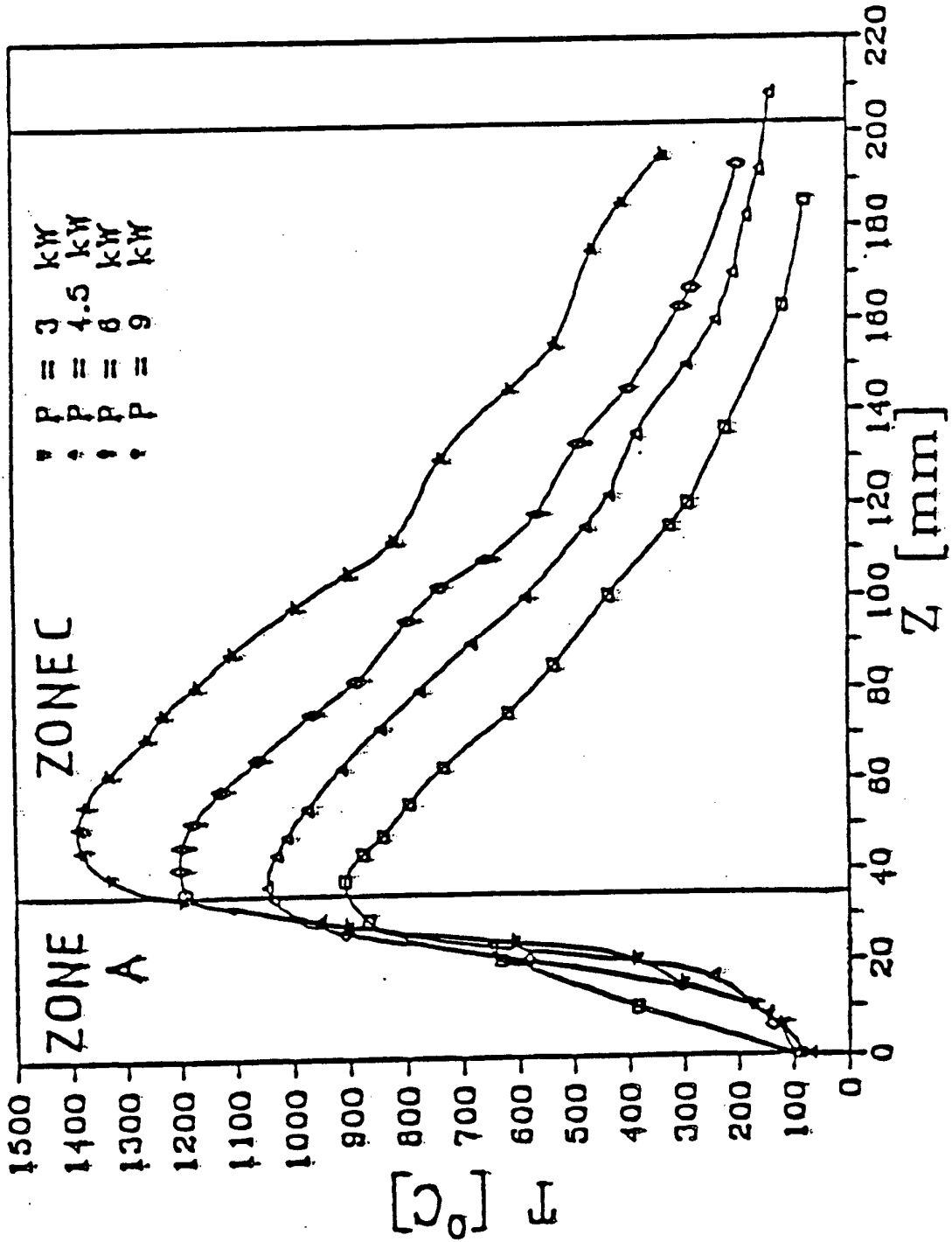


FIG. 4

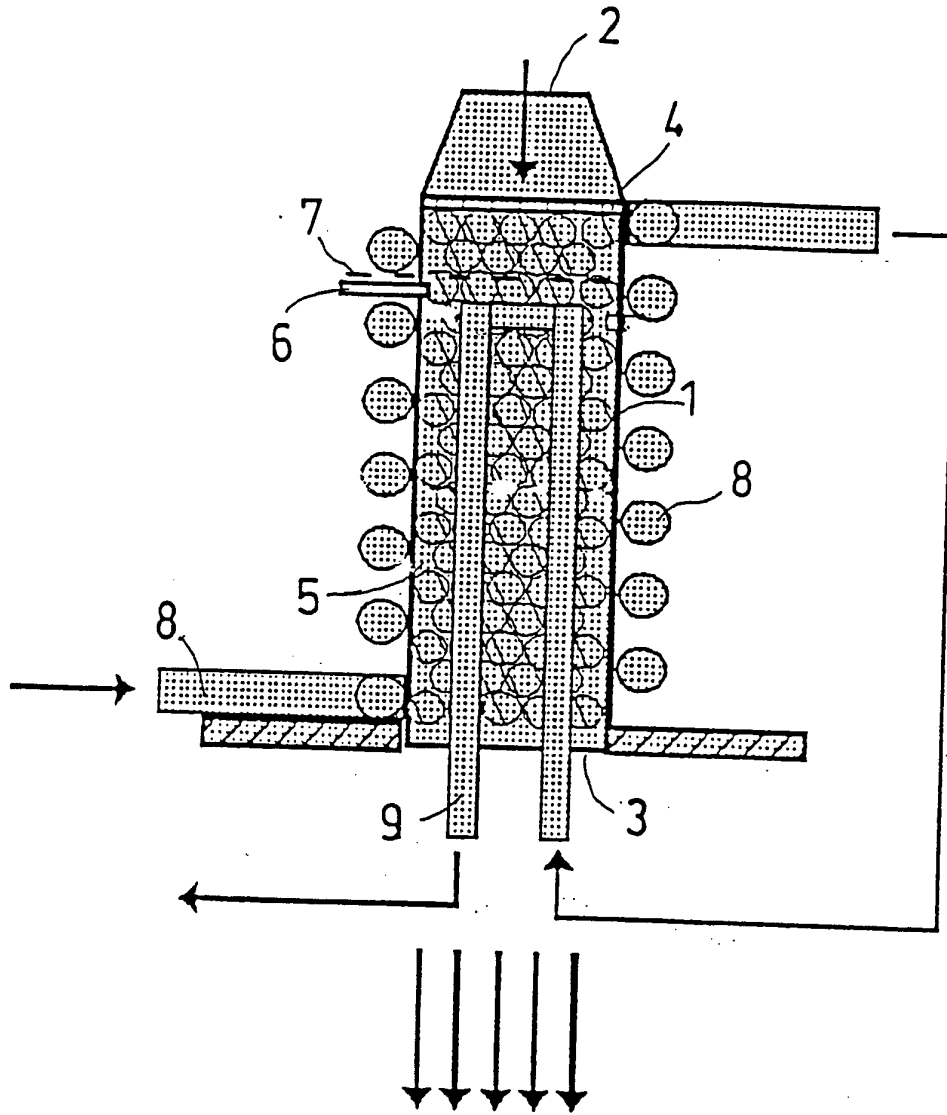


Fig.5

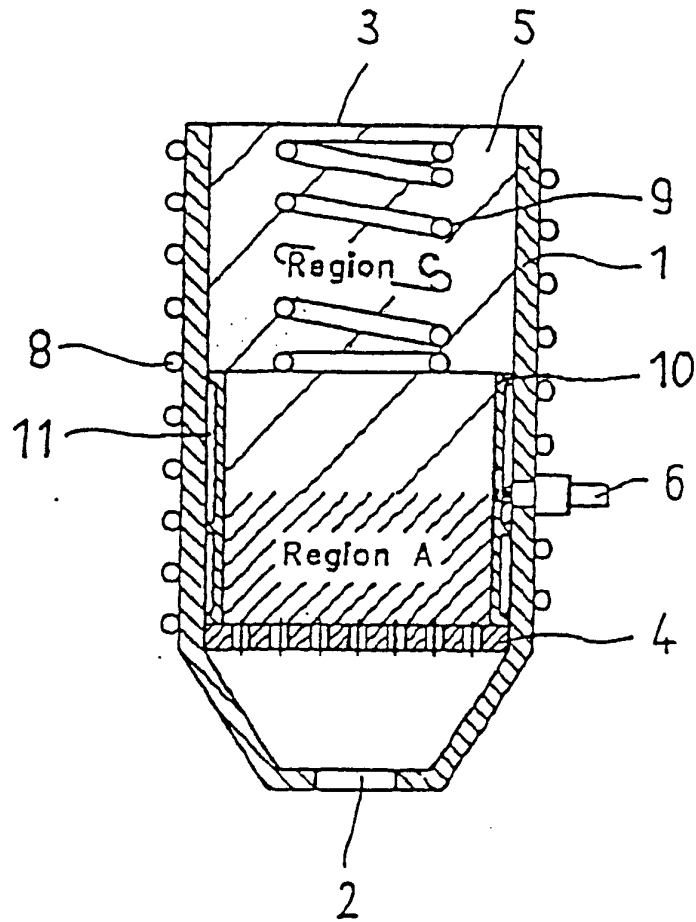


Fig. 6

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 F23C11/00 F24H1/40		
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) IPC 6 F23C F24H F22B		
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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP,A,0 256 322 (VIANI) 24 February 1988 see the whole document	1,3,5,6
A	---	7-10,13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 257 (M-256) (1402) 16 November 1983 & JP,A,58 140 511 (MATSUSHITA) 20 August 1983 see abstract	1,3,5,6
A	---	9-15
	EP,A,0 261 622 (CHOVATEL) 30 March 1988 see column 6, line 33 - column 8, line 21; figures 1,2	

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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	Date of mailing of the international search report	
9 November 1994	16. 11. 94	
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. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Coli, E	

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 8, no. 154 (M-310) (1591) 18 July 1984 & JP,A,59 049 403 (RIYOUZOU ECHIGO) 22 March 1984 see abstract ---	21
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 102 (M-576) (2549) 31 March 1987 & JP,A,61 250 409 (TOSHIBA) 7 November 1986 see abstract ---	
A	US,A,5 165 884 (MARTIN) 24 November 1992 -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 94/02156

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0256322	24-02-88	CA-A- 1327922 DE-A- 3783402 JP-A- 63041720 US-A- 4886017	22-03-94 18-02-93 23-02-88 12-12-89
EP-A-0261622	30-03-88	NONE	
US-A-5165884	24-11-92	AU-A- 1939892 EP-A- 0524736 FI-A- 940026 JP-T- 6506765 WO-A- 9301446 US-A- 5320518	07-01-93 27-01-93 25-02-94 28-07-94 21-01-93 14-06-94

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 6 F23C11/00 F24H1/40		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 F23C F24H F22B		
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)		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP,A,0 256 322 (VIANI) 24. Februar 1988 siehe das ganze Dokument	1,3,5,6
A	----	7-10,13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 257 (M-256) (1402) 16. November 1983 & JP,A,58 140 511 (MATSUSHITA) 20. August 1983 siehe Zusammenfassung	1,3,5,6
A	EP,A,0 261 622 (CHOVATEL) 30. März 1988 siehe Spalte 6, Zeile 33 - Spalte 8, Zeile 21; Abbildungen 1,2	9-15

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> 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 "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 9. November 1994		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 16. 11. 94
Name und Postanschrift der internationale Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 cpo nl, Fax: (+ 31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Coli, E

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 8, no. 154 (M-310) (1591) 18. Juli 1984 & JP,A,59 049 403 (RIYOUZOU ECHIGO) 22. März 1984 siehe Zusammenfassung ----	21
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 102 (M-576) (2549) 31. März 1987 & JP,A,61 250 409 (TOSHIBA) 7. November 1986 siehe Zusammenfassung ----	
A	US,A,5 165 884 (MARTIN) 24. November 1992 -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT I

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 94/02156

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0256322	24-02-88	CA-A- 1327922	22-03-94
		DE-A- 3783402	18-02-93
		JP-A- 63041720	23-02-88
		US-A- 4886017	12-12-89

EP-A-0261622	30-03-88	KEINE	

US-A-5165884	24-11-92	AU-A- 1939892	07-01-93
		EP-A- 0524736	27-01-93
		FI-A- 940026	25-02-94
		JP-T- 6506765	28-07-94
		WO-A- 9301446	21-01-93
		US-A- 5320518	14-06-94
