



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.10.2002 Patentblatt 2002/42

(51) Int Cl.7: **F02G 1/04, F02G 1/055**

(21) Anmeldenummer: **02008529.6**

(22) Anmeldetag: **15.04.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Baumüller, Andreas**
72070 Unterjesingen (DE)
• **Laug, Andreas**
72770 Brommweiler (DE)

(30) Priorität: **14.04.2001 DE 10118546**

(74) Vertreter: **Hellwig, Tillmann, Dr.**
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker
Patentanwälte,
Postfach 103762
70032 Stuttgart (DE)

(71) Anmelder: **Solo Kleinmotoren GmbH**
71069 Sindelfingen (DE)

(54) **Wärmeerzeuger für einen Stirlingmotor**

(57) Es wird ein Brenner (28) mit einem Brennraum (30) für einen Stirlingmotor vorgeschlagen, welcher mit einer flammlosen Oxidation arbeitet, so dass die Bil-

dung von thermischen Stickoxiden unterdrückt wird. Dadurch kann der Anteil von Stickoxiden im Abgas auf Werte von etwa 10 mg/m³ gesenkt werden.

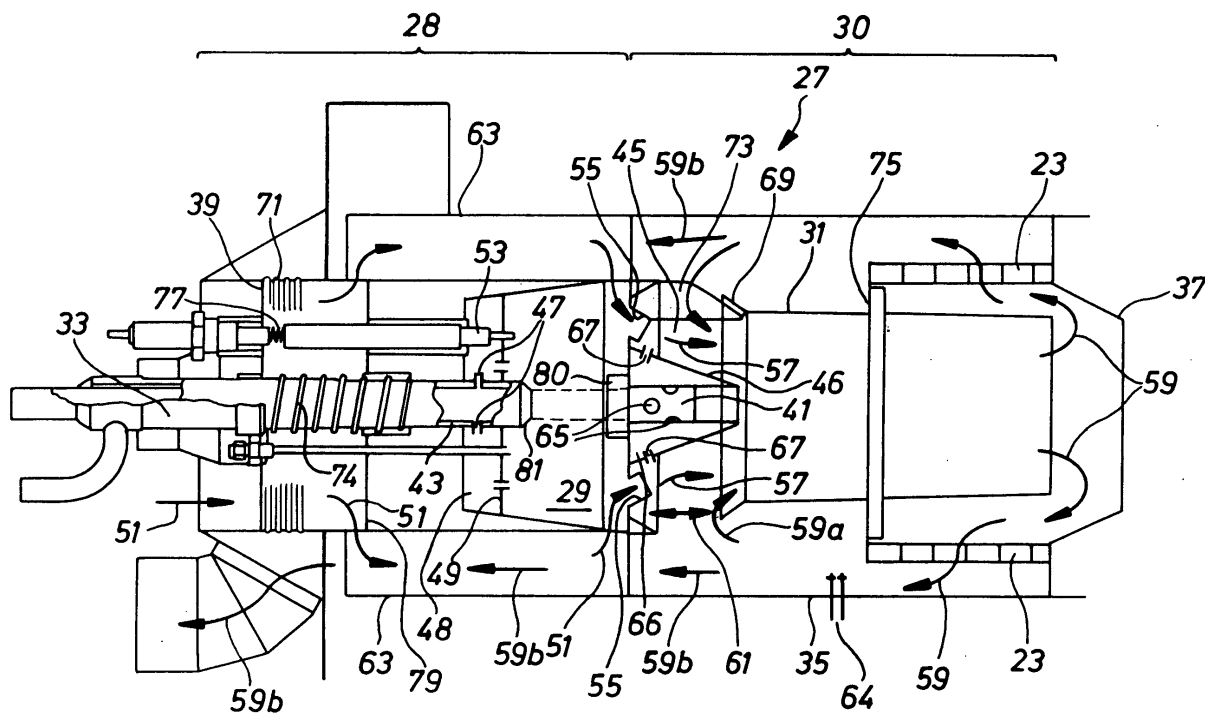


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wärmeerzeuger für einen Stirlingmotor mit einem Brenner, mit einer Brennkammer, mit einer Brennstoffzuführung, mit einer Verbrennungsluftzuführung und mit einem Erhitzer, wobei der Erhitzer und die Brennkammer mittels eines Mantelrohrs und eines Gehäuses gegen die Umgebung abgedichtet sind. Dieser aus dem Buch "Stirlingmaschinentechnik, C. F. Müller Verlag Heidelberg, ISBN 3-7880-7583-X" auf den Seiten 192 bis 194 beschriebene Wärmeerzeuger dient dazu, die zum Antrieb des Stirlingmotors erforderliche thermische Energie auf den Erhitzer zu übertragen. Dabei wird eine Rezirkulation der Rauchgase eingesetzt, um den Anteil der Stickoxide im Rauchgas zu verringern.

[0002] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Wärmeerzeuger für einen Stirlingmotor bereitzustellen, bei dem die Abgaswerte über einen weiten Lastbereich weiter verbessert sind und insbesondere die Stickoxide im Rauchgas weiter reduziert werden. Dadurch soll auf eine Rauchgasreinigung bspw. durch einen Katalysator, verzichtet werden können. Außerdem muss der Wärmeerzeuger sehr kompakt bauen.

[0003] Diese Aufgabe wird bei einem Wärmeerzeuger für einen Stirlingmotor mit einem Brenner, mit einer Brennkammer, mit einer Brennstoffzuführung, mit einer Verbrennungsluftzuführung und mit einem Erhitzer, wobei der Erhitzer und die Brennkammer mittels eines Mantelrohrs und eines Gehäuses gegen die Umgebung abgedichtet sind, dadurch gelöst, dass zwischen Brenner und Erhitzer ein Mischrohr angeordnet ist, dass zwischen auslassseitigem Ende des Brenners und brennerseitigem Ende des Mischrohrs ein Rezirkulationsspalt vorhanden ist, dass die Brennstoffzuführung eine erste Brennstofflanze aufweist, und dass die erste Brennstofflanze mindestens mittelbar in eine vom Rezirkulationsspalt, Brenner und Mischrohr begrenzte Vermischungszone mündet erfindungsgemäß gelöst durch einen Wärmeerzeuger für einen Stirlingmotor mit einer mindestens einen Auslass aufweisenden Brennkammer, mit einer Brennstoffzuführung, mit einer Verbrennungsluftzuführung, und mit einem Erhitzer, wobei der Erhitzer und die Brennkammer mittels eines Mantelrohrs und eines Gehäuses gegen die Umgebung abgedichtet sind und wobei zwischen Brennkammer und Erhitzer ein Mischrohr angeordnet ist und zwischen auslassseitigem Ende der Brennkammer und brennerseitigem Ende des Mischrohrs ein Rezirkulationsspalt vorhanden ist und wobei die Brennstoffzuführung eine erste Brennstofflanze aufweist, die in den vom Rezirkulationsspalt, Brennkammer und Mischrohr begrenzten Raum mündet.

[0004] Bei dem erfindungsgemäßen Wärmeerzeuger ist es möglich, eine überwiegend flammlose Oxidation des Brennstoffs herbeizuführen, die zu drastischen Absenkungen des Stickoxidanteils in den Rauchgasen führt. So ist es möglich gewesen, mit einem erfindungs-

gemäßen Wärmeerzeuger die Emissionen von NO_x auf 10 mg/m^3 , von CO auf 20 mg/m^3 und die Emissionen an Kohlenwasserstoffen oder Ruß unter die Nachweisgrenze zu drücken. Dies alles ist ohne Nachbehandlung der Rauchgase möglich, so dass der mit dem erfindungsgemäßen Wärmeerzeuger ausgerüstete Stirlingmotor wirtschaftlich und trotzdem umweltschonend betrieben werden kann. Der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger ermöglicht eine Leistungsmodulation von etwa 1:3,5.

[0005] Bei der erfindungsgemäßen überwiegend flammlosen Oxidation wird die Verbrennungsluft auf über 600°C aufgewärmt und eine große Menge Rauchgas rezirkuliert, so dass die auftretenden Temperaturen trotz der Luftvorwärmung deutlich geringer sind als bei einer Verbrennung mit Flammenbildung. Aus diesem Grund wird die Bildung von thermischen Stickoxiden unterdrückt.

[0006] Außerdem ist der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger einfach aufgebaut, so dass die Kosten zur Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers nur unwesentlich über denen eines Wärmeerzeugers nach dem Stand der Technik liegen.

[0007] Alternativ kann auch eine Brennstoffeinspeisung in die Frischluft oder eine Vorkammereinmischung vorgenommen werden.

[0008] In weiterer Ergänzung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Brennstoffzuführung eine zweite Brennstofflanze aufweist, dass die zweite Brennstofflanze in die Vorbrennkammer mündet, und dass in der Vorbrennkammer eine Zündeinrichtung vorgesehen ist, so dass eine automatische Inbetriebnahme des Wärmeerzeugers ohne Weiteres möglich ist. Dazu wird nur die zweite Brennstofflanze geöffnet und das in der Vorbrennkammer entstehende zündfähige Gemisch durch die Zündeinrichtung entzündet. Die darauf folgende Verbrennung mit Flammenbildung wird zum Aufheizen des Brenners, des Mischrohrs und des Erhitzers sowie des Luftvorwärmers verwandt. Sobald die Temperatur der rezirkulierten Rauchgase ausreichend hoch ist, um die Reaktion des Brennstoffs mit der Verbrennungsluft aufrechterhalten zu können, wird die erste Brennstofflanze geöffnet, so dass die flammlose Oxidation in dem Raum zwischen Brennstoffkammer und Mischrohr beginnen kann. Anschließend oder gleichzeitig an das Öffnen der ersten Brennstofflanze wird die zweite Brennstofflanze geschlossen, so dass keine Flammenbildung innerhalb des Brenners mehr vorhanden ist.

[0009] Zur weiteren Vereinfachung der Herstellung und zur Erzielung einer kompakten Bauweise kann vorgesehen sein, die erste Brennstofflanze und die zweite Brennstofflanze coaxial zueinander auszuführen.

[0010] Um die beim Betrieb und beim Anfahren des Wärmeerzeugers auftretenden Wärmespannungen konstruktiv in den Griff zu bekommen, ist bei verschiedenen erfindungsgemäßen Weiterbildungen vorgesehen, dass das Mischrohr an seinem Außendurchmesser einen Flansch aufweist, und dass es zwischen dem Er-

hitzer und dem Gehäuse des Brenners eingespannt ist, und/oder dass die Vorbrennkammer und das Mischrohr gegeneinander verspannt sind und/oder dass Brennkammermischrohr und Erhitzer gegen das Gehäuse verspannt sind. Dabei hat es sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn zwischen Brennkammer und Gehäuse ein Faltenbalg und/oder eine Feder vorgesehen sind, welche die Verspannung bewirken. Bei diesen Ausführungsbeispielen hat sich im Betrieb des Wärmeerzeugers gezeigt, dass keine unzulässigen thermischen Spannungen an der Brennkammer, dem Mischrohr und dem Erhitzer auftreten, und dass die Funktionsfähigkeit des Wärmeerzeugers auch nach einer großen Betriebsdauer uneingeschränkt vorhanden ist. Außerdem bewirkt die Verspannung des Erhitzers zwischen Flansch und Gehäuse, dass das Rauchgas vollständig durch den Erhitzer strömt und somit eine gute Wärmeübertragung erzielt wird. Schließlich wird bei korrekter Vorspannung die Zerstörung der wärmebelasteten Bauteile, wie z. B. den Erhitzer, durch Mikrorreibung verhindert.

[0011] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sehen vor, dass die Brennstoffzuführung mit einer Grundplatte des Gehäuses fest verbunden und in Richtung der Wärmedehnung relativ zur Brennkammer verschiebbar ist, so dass auch hier keine unzulässigen thermischen Spannungen auftreten können. Es ist selbstverständlich auch möglich, die Brennstoffzuführung fest mit der Brennkammer zu verbinden und in Richtung der Wärmedehnung relativ zur Grundplatte verschiebbar auszubilden.

[0012] Ebenfalls zur Vermeidung von unzulässigen thermischen Spannungen, Abrieb durch Mikrorreibung und Schwingungsschäden kann vorgesehen sein, die Zündeinrichtung federbelastet in Richtung der Wärmedehnung gegen die Vorbrennkammer zu pressen.

[0013] Bei Systemen, die vertikal angeordnet sind, kann die Kompensation der Wärmedehnungen auch mit Gewichten erfolgen. Diese Gewichte drücken sämtliche Einbauten gegen den unten liegenden Erhitzer.

[0014] Auch eine im Wärmeerzeuger ohnehin vorhandene Druckdifferenz kann zur Kompensation der Wärmedehnungen ausgenutzt werden. Dazu wird der Brenner in Längsrichtung verschiebbar in der Brennkammer -eingebaut. Durch die Druckdifferenz zwischen Lufteinlaß und Brennkammer wirkt der Brenner wie ein Kolben und presst die Einbauten gegen den Erhitzer. Dadurch wird bei dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel eine Anpresskraft von etwa 30N erreicht.

[0015] Zur Durchführung einer überwiegend flammlosen Oxidation und weiteren Erhöhung des Brennerwirkungsgrades kann ein Rekuperator oder ein Regenerator zur Vorwärmung der Verbrennungsluft mit den Rauchgasen vorgesehen sein.

[0016] Insbesondere ergibt sich eine platzsparende und effiziente Ausgestaltung des Rekuperators oder des Regenerators, wenn dieser konzentrisch zur Brennkammer angeordnet ist, der Rekuperator oder der Re-

generator sich von der Grundplatte bis zum Rezirkulationsspalt erstreckt und wenn der Rekuperator oder der Regenerator in radialer Richtung von einem inneren Hüllrohr und einem äußeren Hüllrohr begrenzt wird. Innerhalb des Rekuperators sind Trennwände vorgesehen, welche eine Vermischung der Rauchgase mit der Verbrennungsluft verhindern und trotzdem einen guten Wärmeübergang vom Rauchgas auf die Verbrennungsluft gewährleisten. Dabei sind an und für sich alle aus dem Stand der Technik bekannten Bauarten von Rekuperatoren beim erfindungsgemäßen Wärmeerzeuger einsetzbar.

[0017] Insbesondere hat es sich auch als vorteilhaft erwiesen, wenn der Rekuperator aus einem metallischen Werkstoff besteht.

[0018] Im praktischen Betrieb hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn das Mischrohr eine Länge von 2,5 x Durchmesser Mischrohr bis 8 x Durchmesser Mischrohr, insbesondere von 3,6 x Durchmesser Mischrohr und eine Querschnittsfläche von 70 mm²/kW_{th} bis 400 mm²/kW_{th}, insbesondere 160 mm²/kW_{th}, aufweist.

[0019] In weiterer Ergänzung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Rezirkulationsspalt eine Fläche von 200 mm²/kW_{th} bis 600 mm²/kW_{th}, insbesondere 275 mm²/kW_{th}, aufweist.

[0020] Diese Abmessungen haben sich bei einem einfach wirkenden 90°-V2-Stirlingmotor mit einem Arbeitsvolumen von 160 cm³ und einer Wellenleistung von 3 bis 10 kW bei n = 1.500/min als besonders günstig erwiesen. Die thermische Leistung des Brenners beträgt dabei 40 kW_{thermisch}. Für andere Leistungsklassen sind die Abmessungen entsprechend anzupassen.

[0021] Weitere Ausführungsformen der Erfindung sehen vor, dass die Verbrennungsluftzuführung über eine oder mehrere in die Vermischungszone gerichtete Düsen erfolgt, und/oder dass die erste Brennstofflanze Brennstoff über Öffnungen in die Vermischungszone einbringt. So dass eine gute Vermischung von Verbrennungsluft und Brennstoff vor der flammlosen Oxidation erfolgt, was zu einem verbesserten Betriebsverhalten führt. Insbesondere hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Öffnungen eine Querschnittsfläche von in der Summe 7,5 mm²/kW_{th} bis 30 mm²/kW_{th}, insbesondere 17 mm²/kW_{th}, aufweisen.

[0022] Weitere Verbesserungen hinsichtlich Betriebsverhalten und Einsatzbereich des Wärmeerzeugers ergeben sich, wenn die Düsen als Venturi- oder Laval-Düsen ausgebildet sind und die erste Brennstofflanze den Brennstoff in die Düsen einbringt.

[0023] In weiterer Ergänzung des erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers kann vorgesehen sein, dass die Düsen mit der Längsachse des Wärmeerzeugers einen Winkel zwischen 20° und 30°, insbesondere 25°, einschließen.

[0024] Das Betriebsverhalten des erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers in der Startphase ohne flammlo-

se Oxidation wird verbessert, wenn der Brennstoff aus der zweiten Brennstofflanze über eine Verteilkammer und eine Lochblende in die Vorbrennkammer strömen kann, und/oder die Düsen mit ihrem der Vermischungszone abgewandten Ende in die Vorbrennkammer ragen.

[0025] Der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger kann vorteilhafterweise mit einem Verfahren, welches aus folgenden Verfahrensschritten besteht, betrieben werden:

- Erfassen der Temperatur des Erhitzers,
- Erfassen des Drucks der vorgewärmten Verbrennungsluft, Regeln der Verbrennungsluftmenge in Abhängigkeit der Temperatur des Erhitzers und
- Regeln der Gasmenge in Abhängigkeit des Drucks der vorgewärmten Verbrennungsluft.

[0026] Durch dieses Verfahren ist es auf einfache Weise möglich, die Wärmeleistung des Wärmeerzeugers der nachgefragten Wärmeleistung modulierend anzupassen. Wenn am Erhitzer weniger Wärme abgenommen wird, steigt dessen Temperatur, so dass die Verbrennungsluftmenge reduziert werden kann. Infolgedessen sinkt auch der Druck der vorgewärmten Verbrennungsluft und die Gasmenge wird in Abhängigkeit des Drucks der vorgewärmten Verbrennungsluft heruntergeregelt. Bislang ist es lediglich bekannt, eine flammlose Oxidation bei konstanter Last durchzuführen und eine Leistungsanpassung durch eine taktende Betriebsweise des Wärmeerzeugers herzustellen. Wenn der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird, können die eingangs genannten Vorzüge hinsichtlich Emissions- und Verbrauchsverhalten auch bei unterschiedlichen Lastzuständen des Stirlingmotors nahezu unverändert aufrechterhalten werden.

[0027] Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Druck der Verbrennungsluft in der Vorbrennkammer oder im Brennraum erfasst wird.

[0028] Der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger kann auch modulierend betrieben werden, wenn die Temperatur des Erhitzers erfasst wird, der Druck der Verbrennungsluft in Strömungsrichtung nach einem Verbrennungsluftgebläse erfasst wird, die Verbrennungsluftmenge in Abhängigkeit der Temperatur des Erhitzers geregelt wird und die Gasmenge in Abhängigkeit des Drucks der Verbrennungsluft mit einem Gleichdruckregler geregelt wird. Dieses Verfahren lässt eine nahezu gleich gute Modulation der Leistung des Wärmeerzeugers zu.

[0029] In weiterer Ergänzung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Gasmenge durch einen Verhältnisdrukregler oder einen Gleichdruckregler geregelt wird, wobei es besonders vorteilhaft ist, wenn zusätzlich die Nullpunktverschiebung und/oder die Verstärkung des Verhältnisdrukreglers einstellbar sind.

[0030] Die Verbrennungsluftmenge kann durch Ändern der Drehzahl eines Gebläses oder durch Ändern

der Stellung einer Drosselklappe in der Verbrennungsluftzufuhr geregelt werden.

[0031] Zur Überwachung der überwiegend flammlosen Oxidation ist es von Vorteil, wenn die Temperatur durch mindestens einen Temperaturfühler, besonders bevorzugt durch zwei Temperaturfühler, überwacht wird.

[0032] Wenn der Druck in der Vorbrennkammer als Steuerdruck für die Gasregelung eingesetzt wird, ist es besonders vorteilhaft, wenn der Druck in der Vorbrennkammer durch eine Messung des Drucks in der zweiten Brennstofflanze erfasst wird, da in der Vorbrennkammer der gleiche Druck wie in der zweiten Brennstofflanze herrscht, die Temperaturen in der abgeschalteten zweiten Brennstofflanze jedoch deutlich niedriger als in der Vorbrennkammer sind.

[0033] Die Inbetriebnahme des erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers erfolgt dadurch, dass der Wärmeerzeuger durch die zweite Brennstofflanze auf Betriebstemperatur gebracht wird, wobei die Verbrennung in der zweiten Brennstofflanze durch einen an sich bekannten Feuerungsautomaten überwacht wird. Der Übergang auf die flammlose Oxidation erfolgt, sobald der Wärmeerzeuger seine Betriebstemperatur erreicht hat. Dann wird die zweite Brennstofflanze abgeschaltet und die erste Brennstofflanze eingeschaltet, so dass sich eine überwiegend flammlose Oxidation ausbilden kann.

[0034] Der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger kann vorteilhafterweise mit den in den Ansprüchen 27 bis 38 beanspruchten Verfahren betrieben werden.

[0035] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung dargestellt und beschrieben.

[0036] Es zeigen:

Figur 1 einen Querschnitt durch einen 90°-V2-Stirlingmotor, der mit einem erfindungsgemäßen Wärmeerzeuger ausgerüstet ist,

Figur 2 einen Teillängsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Wärmeerzeuger und

Fig. 3a-c ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers inklusive Gas und Verbrennungsluftversorgung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0037] Der Stirlingmotor weist ein Kurbelgehäuse 1 auf, in dem eine Kurbelwelle 3 drehbar gelagert ist. An einem Hubzapfen 5 der Kurbelwelle 3 sind ein erstes Pleuel 7 und ein zweites Pleuel 9 drehbar gelagert. Das erste Pleuel 7 ist über einen ersten Kreuzkopf 10 und eine erste Kolbenstange 11 mit einem Verdichtungskolben 12 verbunden. Das zweite Pleuel 9 ist über einen zweiten Kreuzkopf 13 und eine zweite Kolbenstange 14 mit einem Arbeitskolben 15 verbunden. Die konstruktive

Ausgestaltung von Verdichtungskolben 12 und Arbeitskolben 15 ist im Zusammenhang mit Fig. 1 nicht von Bedeutung und wird deshalb an dieser Stelle nicht näher erläutert. Der Verdichtungskolben 12 läuft in einem Verdichtungszyylinder 16, während der Arbeitskolben 15 in einem Arbeitszyylinder 17 läuft. Die Kurbelwelle 3 und der Hubzapfen 5 sind ölgeschmiert, während der Verdichtungskolben 12 und der Arbeitskolben 15 trocken im Verdichtungszyylinder 16 bzw. im Arbeitszyylinder 17 laufen.

[0038] Zwischen dem Verdichtungszyylinder 16 und dem Arbeitszyylinder 17 kann das Arbeitsgas hin- und hergeschoben werden. Dabei nimmt das in Fig. 1 nicht dargestellte Arbeitsgas beim Verschieben aus dem Verdichtungszyylinder 16 in den Arbeitszyylinder 17 Wärme aus einem Regenerator 21 auf und erwärmt sich dabei auf etwa 650° Celsius. Der Regenerator 21 besteht im Allgemeinen aus einem Paket von Drahtsieben, die in Fig. 1 nicht im Einzelnen dargestellt sind. Anschließend wird das Arbeitsgas in einem Erhitzer 23, der bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 aus berippten Röhrchen zusammengesetzt ist, auf etwa 650° Celsius erwärmt. Diese Erwärmung erfolgt durch Wärmeübertragung von einem in Fig. 1 nicht dargestellten Brenner über den Erhitzer 23 auf das Arbeitsgas. Gleichzeitig erfolgt eine annähernd isotherme Expansion des Arbeitsgases im Arbeitszyylinder 17, wodurch mechanische Arbeit vom Arbeitsgas auf den Arbeitskolben 15 übertragen wird. Anschließend wird das Arbeitsgas vom Arbeitszyylinder 17 in den Verdichtungszyylinder 16 zurückgeschoben, wobei das Arbeitsgas Wärme an den Regenerator 21 überträgt und anschließend von einem Arbeitsgaskühler 25 abgekühlt wird.

[0039] Als Wärmequelle kann bei einem Stirlingmotor prinzipiell jede Wärmequelle mit ausreichendem Temperaturniveau herangezogen werden, bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wird ein Brenner eingesetzt (nicht dargestellt), der einen gasförmigen oder flüssigen Brennstoff verbrennen kann. Der sogenannte Hochtemperaturbereich des Stirlingmotors ist durch eine Wärmedämmung 27 gegen Wärmeverluste geschützt.

[0040] In Fig. 2 ist ein erfindungsgemäßer Wärmeerzeuger mit einem Brenner 28 mit einer Vorbrennkammer 29 im Teillängsschnitt dargestellt. An den Brenner 28 schließt ein Brennraum 30 mit einem Mischrohr 31 und dem Erhitzer 23 an. Im Erhitzer 23 wird die Wärme der Rauchgase 59 auf das nicht dargestellte Arbeitsgas des Stirlingmotors übertragen. -Der Brennstoff wird über eine Brennstoffzufuhr 33 zugeführt. Nach außen werden Brenner 28 und Brennraum 30 von einem Mantelrohr 35 und einem nur teilweise dargestellten Gehäuse 37 mit einer Grundplatte 39 begrenzt. Der Brenner 28 ist längsverschiebbar an der Grundplatte 39 befestigt.

[0041] Die Brennstoffzufuhr 33 besteht aus einer ersten Brennstofflanze 41 und einer koaxial dazu angeordneten zweiten Brennstofflanze 43. Die erste Brennstofflanze 41 mündet außerhalb der Vorbrennkammer

29 in einer Vermischungszone 45, die einerseits von der Vorbrennkammer 29 und andererseits von einem Abdeckblech 46 begrenzt wird.

[0042] Die zweite Brennstofflanze 43 mündet über mehrere Auslassöffnungen 47 in einer Verteilkammer 48. Durch eine Lochblende 49 ist die Verteilkammer 48 von der eigentlichen Vorbrennkammer 29 abgetrennt. Die Verbrennungsluft, welche in Fig. 2 durch die Pfeile 51 angedeutet ist, strömt ebenfalls in die Vorbrennkammer 29. Der Brennstoff mischt sich nach dem Durchströmen der Lochblende 49 mit der Verbrennungsluft zu einem zündfähigen Gemisch. Durch eine Zündeinrichtung 53 kann dieses zündfähige Gemisch entzündet werden und verbrennt in der Vorbrennkammer 29 unter Bildung einer Flamme. Das Rauchgas strömt über Düsen 55 aus der Vorbrennkammer 29, wie dies durch Pfeile 57 angedeutet ist, in die Vermischungszone 45 und das Mischrohr 31. Nach dem Durchströmen des Mischrohrs 31 werden die Rauchgase, welche durch die mit dem Bezugszeichen 59 versehenen Pfeile angedeutet sind, durch den Erhitzer 23 geführt, nachdem sie zuvor vom Gehäuse 37 umgelenkt worden sind.

[0043] Wenn die Rauchgase 59 einen Rezirkulationspalt 61, der durch den axialen Abstand der Vorbrennkammer 29, bzw. des Brenners 28 und des brennerseitigen Endes 69 des Mischrohrs 31 gebildet wird, passieren, wird ein Teil der Rauchgase 59a in das Mischrohr 31 angesaugt und somit rezirkuliert. Der andere Teil der Rauchgase 59b strömt im Gegenstrom zu der Verbrennungsluft 51 durch einen Rekuperator 63.

[0044] Sobald das Rauchgas an den Messstellen 64 eine ausreichend hohe Temperatur hat, um eine stabile Reaktion zu ermöglichen, wird die erste Brennstofflanze 41 geöffnet, welche über Öffnungen 65, einen Sammelraum 66 und Öffnungen 67 in die Vermischungszone 45 zwischen Vorbrennkammer 29 und Mischrohr 31 mündet. Bei geeigneter Wahl des Verhältnisses von Verbrennungsluft 51, Rauchgasen 59a und dem in Fig. 2 nicht dargestellten Brennstoff, welcher durch die Öffnungen 67 in die Vermischungszone 45 austritt, findet vor allem innerhalb des Mischrohrs 31 eine flammlose Oxidation statt. Sobald diese flammlose Oxidation stabil abläuft, kann die zweite Brennstofflanze 43 geschlossen werden, so dass keine Flambildung in der Vorbrennkammer 29 mehr erfolgt. In diesem Normalbetriebszustand durchströmt die Verbrennungsluft 51 die Vorbrennkammer 29, ohne sich in dieser mit Brennstoff zu vermischen. Die Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsluft erfolgt erst in der Vermischungszone 45 sowie im Mischrohr 31.

[0045] Das Phänomen der flammlosen Oxidation ist an sich bekannt und wird bspw. im Industrieofenbau mit großem Erfolg angewandt. Eine Beschreibung der flammlosen Oxidation befindet sich in der EP 0 463 218 B1, auf die ausdrücklich Bezug genommen wird. Die in dieser Patentschrift gemachten Ausführungen gehören ebenfalls zu der Offenbarung des erfindungsgemäßen Brenners für Stirlingmotoren. Zur Ausbildung einer sta-

bilien flammlosen Oxidation hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Düsen 55 unter einem Winkel von etwa 20° bis 30° auf die Längsachse des Brenners gerichtet sind und die Öffnungen 67, durch die der Brennstoff in die Vermischungszone 45 eintritt, etwa rechtwinklig zu den Düsen 55 ausgerichtet sind. Außerdem hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn das Mischrohr 31 an seinem dem Brenner 28 zugewandten Ende 69 konisch ausgebildet ist.

[0046] Alternativ zu dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel können die Düsen 55 auch als Venturi- oder Laval-Düsen ausgebildet sein. Der am Ort der höchsten Luftgeschwindigkeit herrschende Druck ist geringer als der Gasdruck eines öffentlichen Gasnetz, der etwa 18 bis 22 mbar beträgt. Diese Druckdifferenz kann ausgenutzt werden, um das Gas einzumischen. Dazu werden die Öffnungen 67 so verlagert, dass sie direkt in den Düsen 55 am Ort der höchsten Luftgeschwindigkeit münden. Außerdem muss eine direkte Verbindung zwischen den Öffnungen 67 und den Öffnungen 65 der ersten Brennstofflanze 41 hergestellt werden. D. h. der Sammelraum 66 kann entfallen. Mit diesem Ausführungsbeispiel kann auch bei geringen Gasdrücken die volle Leistung des Wärmeerzeugers erreicht werden.

[0047] Um die thermischen Verspannungen, welche sich bei der Inbetriebnahme und dem Betrieb des Brenners ergeben, zu minimieren, sind Brenner 28, Mischrohr 31 und Erhitzer 23 gegen das Gehäuse 37 bzw. die Grundplatte 39 des Gehäuses verspannt. Dabei wird die Vorspannkraft von einem metallischen Faltenbalg 71, der sich einerseits gegen die Grundplatte 39 abstützt und andererseits mit der Vorbrennkammer 29 verbunden ist, aufgebracht. Die Vorspannung wird über am Umfang verteilte Distanzbleche 73, von denen in Fig. 2 nur eines dargestellt ist, auf das Mischrohr übertragen. Alternativ oder additiv kann die Vorspannkraft auch von einer Feder 74 aufgebracht werden. Zusätzlich wird der Brenner durch den Druckunterschied zwischen Umgebung und Brennerinnenraum verspannt.

[0048] Weitere erfindungsgemäße Varianten der Kompensation der Wärmedehnungen sind wie folgt aufgebaut:

1.) Die zweite Brennstofflanze 43 ist in einem Halteblech 79 eingeschraubt. Die zweite Brennstofflanze 43 zentriert die Feder 74. Die Feder 74 stützt sich auf dem Halteblech 79 ab und schiebt über den Rezipienten 63, an dem das Halteblech 79 befestigt ist, den gesamten Brenner 28 gegen die folgenden Einbauten.

2.) Die zweite Brennstofflanze weist eine Nut mit Sicherungsring auf (nicht dargestellt). Die Feder 74 wird zwischen Sicherungsring und Grundplatte 39 um die zweite Brennstofflanze herum eingebaut und schiebt diese in Richtung Brenner 30. Dazu wird der in Fig. 2 dargestellte Kegel 81 der zweiten

Brennstofflanze 43 so weit verlängert, bis er an dem Drehteil 80 anliegt. Dort werden nun zwei Aufgaben erfüllt: Zum einen wird die Federkraft eingeleitet und über das Abdeckblech 46 an die Einbauten weitergegeben und der Brenner 28 hinterhergezogen. Zum anderen wird der Sammelraum 66 über einen Kegelsitz abgedichtet. Diese Abdichtung des Sammelraums 66 ist von besonderer Bedeutung, wenn die Düsen 55 als Venturi- oder Laval-Düsen ausgebildet sind.

Die Distanzbleche 73 schließen den Kraftfluß und sind ihrerseits wieder an beiden Enden mit konischen Ringen (nicht dargestellt) verschweißt, die genau in den Brenner 28 und das Ende 69 des Mischrohrs 31 passen, so dass eine Selbstzentrierung erreicht wird.

Die Wärmedehnungen der Brennkammerinnenwand werden in ihr selbst durch Überlappungen aufgefangen. Kritische thermische Dehnungen entstehen bei der Erwärmung aller Teile, die zentral in der Brennkammer angeordnet sind: Die Endplatte 37, der Erhitzer 23, das Mischrohr 31 ab der Anlagfläche 75, der Zentrierring 73 und schließlich der Brenner 28 selbst. All diese Dehnungen summieren sich und werden durch eine Relativbewegung des Brenners 28 zum Brennraum 30 aufgefangen. Die Feder 74 oder der Faltenbalg 71 haben nun die Aufgabe sicherzustellen, dass zu jedem Zeitpunkt alle Einbauten fest aneinander anliegen. Der Brenner 28 kann sich zu diesem Zweck auch relativ zu der Grundplatte 39 bewegen. Zur Gasdichtigkeit sind an allen bewegten Stellen Dichtungen vorgesehen.

3.) Bei vertikal angeordneten Wärmeerzeugern kann die Kompensation der Wärmedehnungen auch durch die Gewichtskraft erfolgen. Dabei kann das Eigengewicht des Wärmeerzeugers und/oder Gewichte dazu benutzt werden, um sämtliche Einbauten gegen den unten liegenden Erhitzer zu drücken.

4.) Auch eine im Wärmeerzeuger ohnehin vorhandene Druckdifferenz kann zur Kompensation der Wärmedehnungen ausgenutzt werden: Dazu wird der Brenner in Längsrichtung verschiebbar in der Brennkammer -eingebaut. Durch die Druckdifferenz zwischen Lufteinlaß und Brennkammer wirkt der Brenner wie ein Kolben und presst die Einbauten gegen den Erhitzer. Dadurch wird bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel eine Anpresskraft von etwa 30N erreicht.

[0049] Am Mischrohr 31 ist ein Flansch 75 angeordnet, der erstens die Vorspannkraft vom Mischrohr über den Erhitzer 23 auf das Gehäuse 37 überträgt und andererseits das Rauchgas 59 zwingt, durch den Erhitzer 23 zu strömen. Die Zündeinrichtung 53 wird von einer Feder 77, die sich einenends an der Grundplatte 39 und

andererseits an einer Hülse der Zündeinrichtung 53 abstützt, gegen die Vorbrennkammer 29 gedrückt. Eine Wärmedämmung, welche in und um den Brenner angeordnet ist, ist in Fig. 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

[0050] Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn der Rezirkulationsspalt 61 zwischen 20 und 35 mm breit ist, die Länge des Mischrohrs etwa 350 mm beträgt und der Durchmesser des Mischrohrs 31 etwa 90 mm beträgt. Bei diesen Abmessungen und geometrischen Verhältnissen haben sich eine besonders stabile flammlose Oxidation und sehr günstige Abgaswerte eingestellt, wenn der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger an einem Stirlingmotor des Typs SOLO Stirling 161 eingesetzt wurde. Wenn der erfindungsgemäße Wärmeerzeuger bei anderen Stirlingmotoren eingesetzt werden soll, müssen die Abmessungen und Verhältnisse entsprechend übertragen werden.

[0051] Das Rauchgas 59 verlässt das Mischrohr 31 etwa mit einer Temperatur von etwa 1.200° C bis 1.400° C und kühlt sich durch Wärmeabgabe im Erhitzer 23 auf etwa 850° Celsius ab. Die Temperatur des Arbeitsgases im Erhitzer 23 beträgt im Mittel etwa 650° Celsius.

[0052] In den Fig. 3a, 3b und 3c ist jeweils ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers, der hier in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 83 bezeichnet wird, sowie dessen Gasversorgung, bestehend aus einer Startgasstrecke 85 und einer Hauptgasstrecke 87 dargestellt. Die Figuren 3a - c unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der Steuerdruckversorgungen des Druckreglers der Hauptgasrampe 87 dargestellt. Mit jeder der in den Fig. 3a, 3b und 3c dargestellten Steuerdruckversorgungen ist eine modulierende Betriebsweise des erfindungsgemäßen Wärmeerzeugers 83 möglich. Es gibt geringfügige Unterschiede hinsichtlich der Modulationsfähigkeit und sonstiger Betriebsparameter sowie der Kosten.

[0053] Zur Verdeutlichung der Übereinstimmungen des Wärmeerzeugers 83 aus Fig. 3 mit dem Wärmeerzeuger aus Fig. 2 wird darauf hingewiesen, dass die Startgasstrecke 85 in die zweite Brennstofflanze 43 mündet und die Hauptgasstrecke 87 in die erste Brennstofflanze 41 mündet. Das Rauchgas verlässt den Wärmeerzeuger 53 an der mit dem Pfeil 59 bezeichneten Stelle. Die Verbrennungsluft, welche in Fig. 3 durch den Pfeil 51 angedeutet wird, wird dem Wärmeerzeuger 83 durch ein Gebläse 89 zugeführt. Ein Steuergerät 91 dient zur Steuerung des Wärmeerzeugers 83 sowie zur Ansteuerung eines Überwachungsmoduls 93. Die Startgasstrecke 85 und die Hauptgasstrecke 87 werden vom Überwachungsmodul 93 angesteuert.

[0054] Wenn der Wärmeerzeuger 83 in Betrieb genommen werden soll, gibt das Steuergerät 91 ein entsprechendes Signal an das Überwachungsmodul 93 weiter, welches daraufhin die Startgasstrecke 85 einschaltet. Signalverbindungen sind in Fig. 3a - c durch gestrichelte Linien angedeutet. Die Startgasstrecke 85 besteht aus zwei in Reihe geschalteten Hauptventilen,

mit denen die Gaszufuhr zur zweiten Brennstofflanze 43 ein- oder ausgeschaltet werden kann. Anschließend ist ein Druckregler vorgesehen. Der Druckregler kann als Gleichdruckregler oder als Verhältnisdrukregler ausgeführt sein. Je nach Ausführung des Druckreglers kann eine einstellbare Drossel der Startgasstrecke vorhanden sein.

[0055] Der Druckregler der Startgasrampe 85 ist bei den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 3a - c über eine erste Steuerleitung 95 mit dem Ausgang des Gebläses 89 verbunden. Dies bedeutet, dass als Steuerdruck für den Druckregler der Startgasstrecke der Druck der Verbrennungsluft stromabwärts des Gebläses 89 herangezogen wird. Über einen in das Überwachungsmodul 93 integrierten konventionellen Feuerungsautomaten wird die zweite Brennstofflanze gezündet und die Verbrennung überwacht. Die Startgasrampe 85 kann auch als sog. Kompaktarmatur ausgeführt sein. Wenn der Wärmeerzeuger 83 seine Betriebstemperatur erreicht hat, was durch zwei Temperaturfühler, in Fig. 3 als 64₁ und 64₂ bezeichnet, erreicht hat, gibt das Überwachungsmodul 93, welches die Signale der Temperaturfühler 64₁ und 64₂ empfängt, die Hauptgasrampe 87 frei und schaltet die Startgasrampe 85 ab. Die Hauptgasrampe 87 ist gleich aufgebaut wie die Startgasrampe, sie besteht nämlich aus zwei Hauptventilen, einem Druckregler und optional einer Drossel. Der Druckregler kann, wie bei der Startgasrampe 85 auch, als Gleichdruckregler oder Verhältnisdrukregler ausgeführt sein.

[0056] In der Fig. 3a wird als Steuerdruck des Druckregelventils der Hauptgasrampe 87 der Druck in der Startgasrampe 85 stromabwärts der Hauptventile herangezogen. Wenn die Hauptgasrampe 87 in Betrieb ist, sind die Hauptventile der Startgasrampe 85 geschlossen, so dass stromabwärts der Hauptventile in der Startgasrampe 85 der gleiche Druck wie in der zweiten Brennstofflanze 43 und in der Vorbrennkammer 29 herrscht (Siehe dazu auch Fig. 2). Da die Temperaturen der Startgasrampe 85 dort wo der Steuerdruck für den Druckregler der Hauptgasrampe über eine zweite Steuerleitung 97 abgenommen wird, deutlich geringer als in der Vorbrennkammer 29 sind, ist die Erfassung des Drucks der Startgasrampe 85 einfacher und betriebssicherer als wenn der Druck direkt in der Vorbrennkammer 29 abgenommen würde.

[0057] In Fig. 3b ist eine Alternative dargestellt, bei der der Steuerdruck der Hauptgasrampe 87 über eine dritte Steuerleitung 99 und die erste Steuerleitung 95 stromabwärts des Gebläses 89 erfasst wird. Auch bei dieser Variante ist die zusätzlich benötigte dritte Steuerleitung 99 keinen hohen Temperaturen ausgesetzt. Trotzdem ist eine modulierende Betriebsweise ohne Weiteres möglich, wobei der Modulationsbereich gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3a etwas eingeschränkt ist.

[0058] In Fig. 3c ist eine dritte Alternative dargestellt, bei der eine vierte Steuerleitung 101 den Druck im Brennraum 30 (siehe dazu Fig. 2) des Wärmeerzeugers

83 erfasst. Dieser Druck dient als Steuerdruck der Hauptgasrampe 87. Auch bei dieser Ausführungsform ist eine modulierende Brennweise ohne Weiteres möglich.

[0059] Um die Leistung des Wärmeerzeugers 83 der am Erhitzer 23 (siehe Fig. 2) von dem nicht dargestellten Stirlingmotor nachgefragten Wärmeleistung anzupassen, ist am Erhitzer ein zweiter Temperaturfühler 103 angeordnet. Das Ausgangssignal des zweiten Temperaturfühlers 103 wird an das Steuergerät 91 weitergeleitet. Wenn die vom zweiten Temperaturfühler 103 erfasste Temperatur ansteigt, bedeutet dies, dass vom Erhitzer 23 weniger Wärme abgenommen wird, so dass das Steuergerät 91 die Drehzahl des Gebläses 89 reduzieren kann, so dass die Verbrennungsluftmenge verringert wird. Alternativ kann auch eine Drosselklappe etwas weiter geschlossen werden, um die vom Gebläse 89 in den Wärmeerzeuger 83 geförderte Luftmenge zu verringern. Die Drosselklappe ist in Fig. 3a, 3b und 3c nicht dargestellt. Aufgrund der verringerten Verbrennungsluftmenge ändert sich der Druck in der zweiten Brennstofflanze 23 bzw. der Vorbrennkammer 29 (siehe Fig. 3a). Außerdem ändert sich der Druck stromabwärts des Gebläses 89 und es ändert sich auch der Druck im Brennraum 30 des Wärmeerzeugers 83. Aufgrund dieser Druckänderungen, die, wie bereits oben beschrieben, als Steuerdruckänderungen des Druckreglers der Hauptgasstrecke 87 dienen können, wird die Gaszufuhr über die Hauptgasstrecke 87 der geänderten Verbrennungsluftmenge angepasst.

[0060] Je nach Auslegung des Druckreglers kann es hilfreich sein, stromabwärts des Druckreglers eine Drossel vorzusehen, um eine optimale Anpassung der Gasmenge an die Verbrennungsluftmenge in allen Betriebspunkten zu gewährleisten. Sobald das Überwachungsmodul 93 einen Fehler detektiert, werden die Hauptgasstrecke 87 und die Startgasstrecke 85 geschlossen, so dass kein unverbranntes Gas in die Umgebung gelangen kann und somit auch keine Explosionsgefahr besteht.

[0061] Alle in der Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen genannten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

1. Modulationsfähiger Wärmeerzeuger mit überwiegend flammloser Oxidation für einen Stirlingmotor, mit einem Brenner (28), mit einer Brennkammer (30), mit einer Brennstoffzuführung (33), mit einer Verbrennungsluftzuführung und mit einem Erhitzer (23), wobei der Erhitzer (23) und die Brennkammer (30) mittels eines Mantelrohrs (35) und eines Gehäuses (37) gegen die Umgebung abgedichtet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Brenner (28) und Erhitzer (23) ein Mischrohr (31) ange-

ordnet ist, dass zwischen auslassseitigem Ende des Brenners (28) und brennkammerseitigem Ende (69) des Mischrohrs (31) ein Rezirkulationsspalt (61) vorhanden ist, dass die Brennstoffzuführung (33) eine erste Brennstofflanze (41) aufweist, und dass die erste Brennstofflanze (41) mindestens mittelbar in eine vom Rezirkulationsspalt (61), Brenner (28) und Mischrohr (31) begrenzte Vermischungszone (45) mündet.

2. Wärmeerzeuger nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffzuführung (33) eine zweite Brennstofflanze (43) aufweist, dass die zweite Brennstofflanze (43) mindestens mittelbar in eine Vorbrennkammer (29) des Brenners (28) mündet, und dass in der Vorbrennkammer (29) eine Zündeinrichtung (53) vorgesehen ist.

3. Wärmeerzeuger nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Brennstofflanze (41) und die zweite Brennstofflanze (43) coaxial zueinander angeordnet sind.

4. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mischrohr (31) an seinem Außendurchmesser einen Flansch (75) aufweist, und dass der Erhitzer (23) zwischen dem Flansch (75) und dem Gehäuse (37) eingespannt ist.

5. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brenner (28) und das Mischrohr (31) gegeneinander verspannt sind.

6. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Brenner (28), Mischrohr (31) und Erhitzer (23) gegen das Gehäuse (37) verspannt sind.

7. Wärmeerzeuger nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Brenner (28) und Gehäuse (37) ein Faltenbalg (71) vorgesehen ist, und dass der Faltenbalg (71) die Verspannung bewirkt.

8. Wärmeerzeuger nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Brenner (28) und Gehäuse (37) eine Feder (74) vorgesehen ist, und dass die Feder (74) die Verspannung bewirkt.

9. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffzuführung (33) mit einer Grundplatte (39) des Gehäuses (37) fest verbunden und in Richtung der Wärmedehnung relativ zum Brenner (28) verschiebbar ist.

10. Wärmeerzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffzuführung (33) mit dem Brenner (28) fest verbunden und in Richtung der Wärmedehnung relativ zur Grundplatte (39) verschiebbar ist. 5
11. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündeinrichtung (53) federbelastet in Richtung der Wärmedehnung gegen den Brenner (28) oder eine am Brenner (28) angeordnete Hülse gepresst wird. 10
12. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Längsachse des Wärmeerzeugers vertikal angeordnet ist, und dass zur Kompensation der Wärmedehnungen die Gewichtskraft des Wärmeerzeugers ausgenutzt wird. 15
13. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brenner in Längsrichtung verschiebbar in der Brennkammer eingebaut wird. 20
14. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Rekuperator (63) oder ein Regenerator zur Vorwärmung der Verbrennungsluft (51) mit den Rauchgasen vorgesehen ist. 25
15. Wärmeerzeuger nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rekuperator (63) oder der Regenerator konzentrisch zum Brenner (28) angeordnet ist, dass der Rekuperator (63) sich von der Grundplatte (39) bis zum Rezirkulationspalt (61) erstreckt, und dass der Rekuperator (63) in radialer Richtung von einem inneren Hüllrohr und einem äußeren Hüllrohr begrenzt wird. 30
16. Wärmeerzeuger nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rekuperator (63) oder der Regenerator aus einem metallischem Werkstoff besteht. 35
17. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mischrohr (31) eine Länge von 2,5 x Durchmesser Mischrohr bis 8 x Durchmesser Mischrohr, insbesondere von 3,6 x Durchmesser Mischrohr aufweist. 40
18. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mischrohr (31) eine Querschnittsfläche von 970 mm²/kW_{th} bis 400 mm²/kW_{th}, insbesondere 160 mm²/kW_{th}, aufweist. 45
19. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rezirkulationspalt (61) eine Fläche von 200 mm²/kW_{th} bis 600 mm²/kW_{th}, insbesondere 275 mm²/kW_{th}, aufweist. 50
20. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungsluftzuführung über eine oder mehrere in die Vermischungszone (45) gerichtete Düsen (55) erfolgt. 55
21. Wärmeerzeuger nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Brennstofflanze (41) Brennstoff über Öffnungen (65, 67) in die Vermischungszone (45) einbringt.
22. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (65, 67) eine Querschnittsfläche von in der Summe 0,7 mm²/kW_{th} bis 3,5 mm²/kW_{th}, insbesondere 2,5 mm²/kW_{th}, aufweisen.
23. Wärmeerzeuger nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düsen (55) als Venturi- oder Laval-Düsen ausgebildet sind, und dass die erste Brennstofflanze (41) den Brennstoff in die Düsen (55) einbringt.
24. Wärmeerzeuger nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düsen (55) eine Querschnittsfläche von 7,5 mm²/kW_{therm} bis 30 mm²/kW_{therm}, insbesondere 17 mm²/kW_{therm}, aufweisen.
25. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düsen (55) mit der Längsachse des Wärmeerzeugers einen Winkel zwischen 20° und 30°, insbesondere 25°, einschließen.
26. Wärmeerzeuger nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff aus der zweiten Brennstofflanze über eine Verteilkammer und eine Lochblende in die Verbrennkammer strömen kann.
27. Wärmeerzeuger nach einem der Ansprüche 20 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düsen (55) mit ihrem der Vermischungszone (45) abgewandten Ende in die Verbrennkammer (29) ragen.
28. Verfahren zum Betreiben eines Wärmeerzeugers nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:
- Erfassen der Temperatur des Erhitzers (23),
 - Erfassen des Drucks der vorgewärmten Verbrennungsluft,

- Regeln der Verbrennungsluftmenge in Abhängigkeit der Temperatur des Erhitzers (23) und
 - Regeln der Gasmenge in Abhängigkeit des Drucks der vorgewärmten Verbrennungsluft.
29. Verfahren nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck der Verbrennungsluft in der Vorbrennkammer (29) oder im Brennraum (30) erfasst wird.
30. Verfahren zum Betreiben eines Wärmeerzeugers nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:
- Erfassen der Temperatur des Erhitzers (23),
 - Erfassen des Drucks der Verbrennungsluft in Strömungsrichtung nach einem Gebläse (),
 - Regeln der Verbrennungsluftmenge in Abhängigkeit der Temperatur des Erhitzers (23) und
 - Regeln der Gasmenge in Abhängigkeit des Drucks der Verbrennungsluft.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gasmenge durch einen Verhältnisdrukregler () oder einen Gleichdruckregler geregelt wird.
32. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nullpunktverschiebung und/oder die Verstärkung des Verhältnisdrukreglers () einstellbar sind.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 32, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungsluftmenge durch Ändern der Drehzahl eines Gebläses () geregelt wird.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 33, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennungsluftmenge durch Ändern der Stellung einer Drosselklappe in einer Verbrennungsluftzufuhr () geregelt wird.
35. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flammlose Oxidation im Mischrohr (31) durch mindestens einen Temperaturfühler (64) überwacht wird.
36. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 35, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck in der Vorbrennkammer (29) durch eine Messung des Drucks in der zweiten Brennstofflanze (43) erfasst wird.
37. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 36, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wärmeerzeuger durch die zweite Brennstofflanze (43) auf Betriebstemperatur gebracht wird.
38. Verfahren nach Anspruch 37, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennung in der zweiten Brennstofflanze (43) durch einen Feuerungsautomaten () überwacht wird.
39. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 38, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Brennstofflanze (43) abgeschaltet wird, und dass die erste Brennstofflanze (41) eingeschaltet wird, wenn der Wärmeerzeuger seine Betriebstemperatur erreicht hat.
40. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 39, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein redundant aufgebautes, insbesondere ein zwei Mikrocontroller aufweisendes Überwachungsmodul () die Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 27 bis 38 überwacht und beim Auftreten eines Fehlers ein entsprechendes Alarmsignal abgibt und/oder den Wärmeerzeuger abschaltet.
41. Steuergerät für einen Wärmeerzeuger, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Durchführung eines der Verfahren nach den Ansprüchen 28 bis 40 geeignet ist.

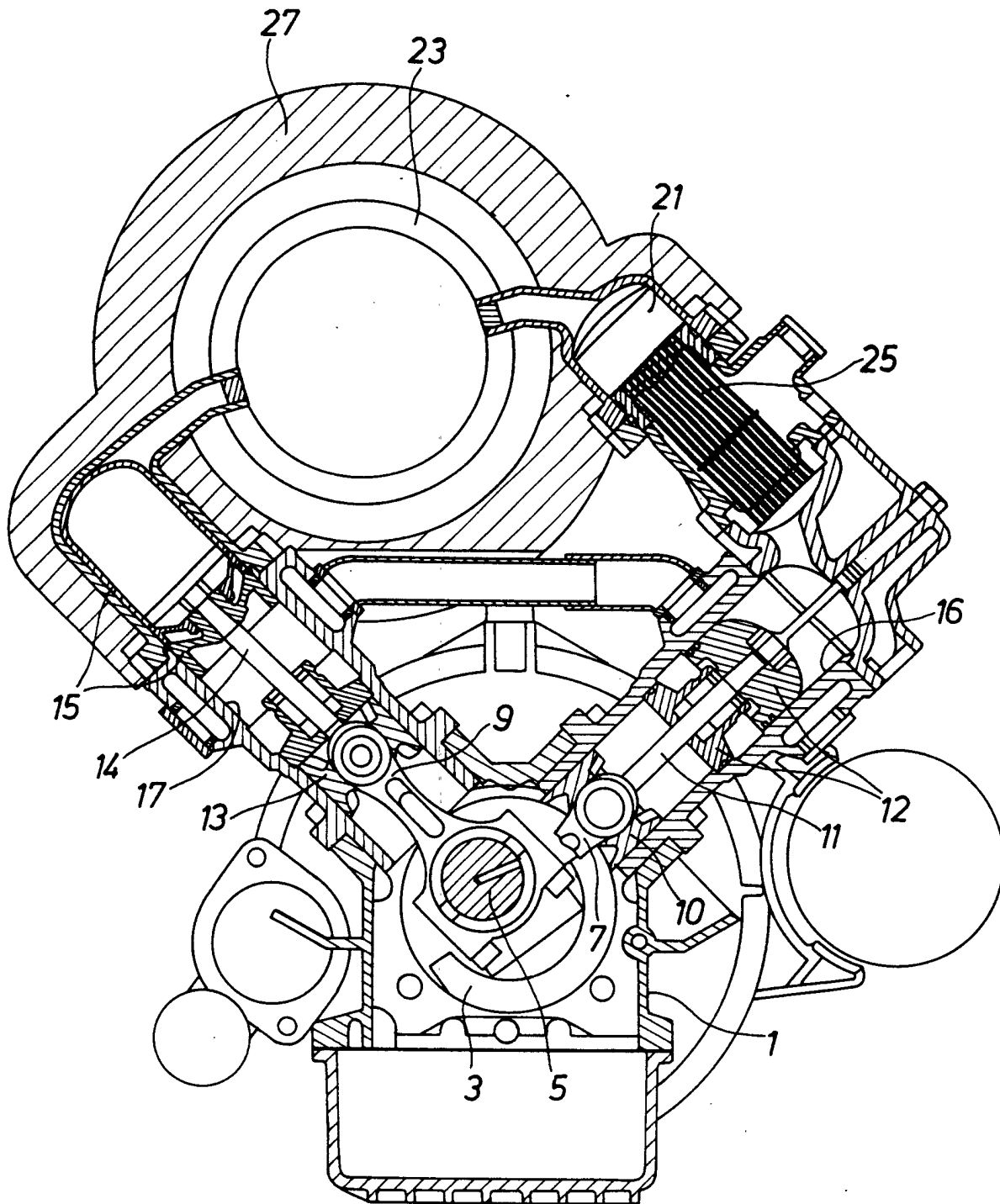


Fig. 1

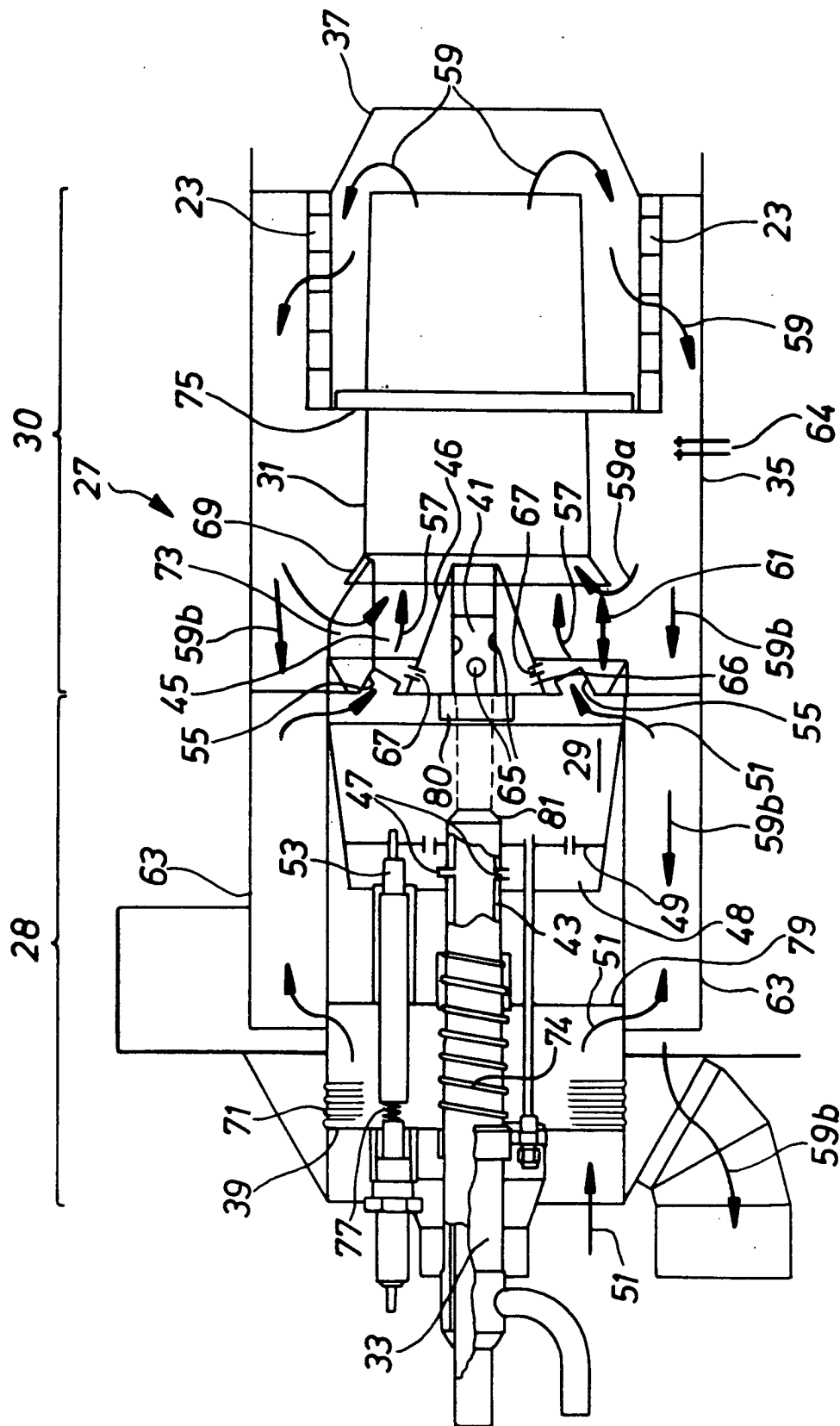


Fig. 2

Fig. 3_a

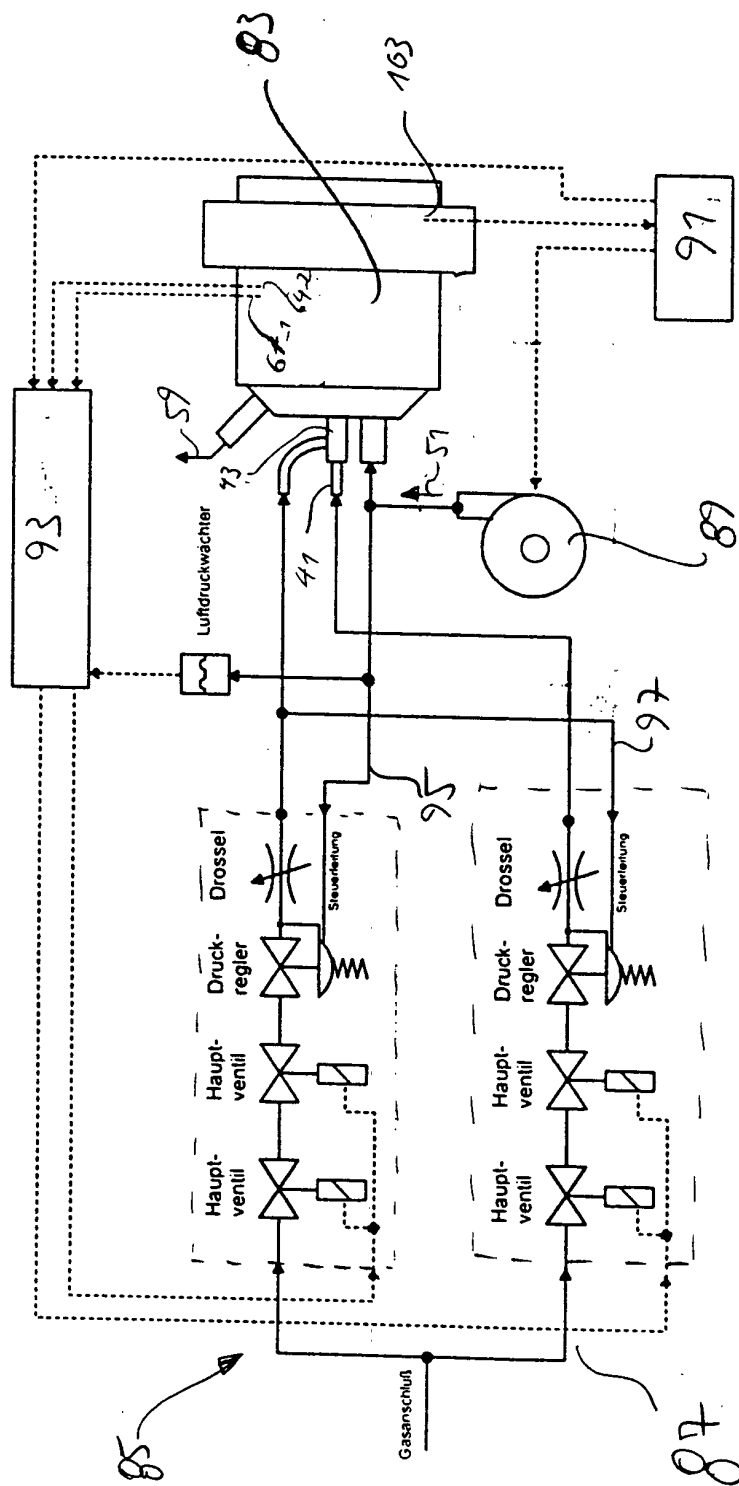


Fig. 3b

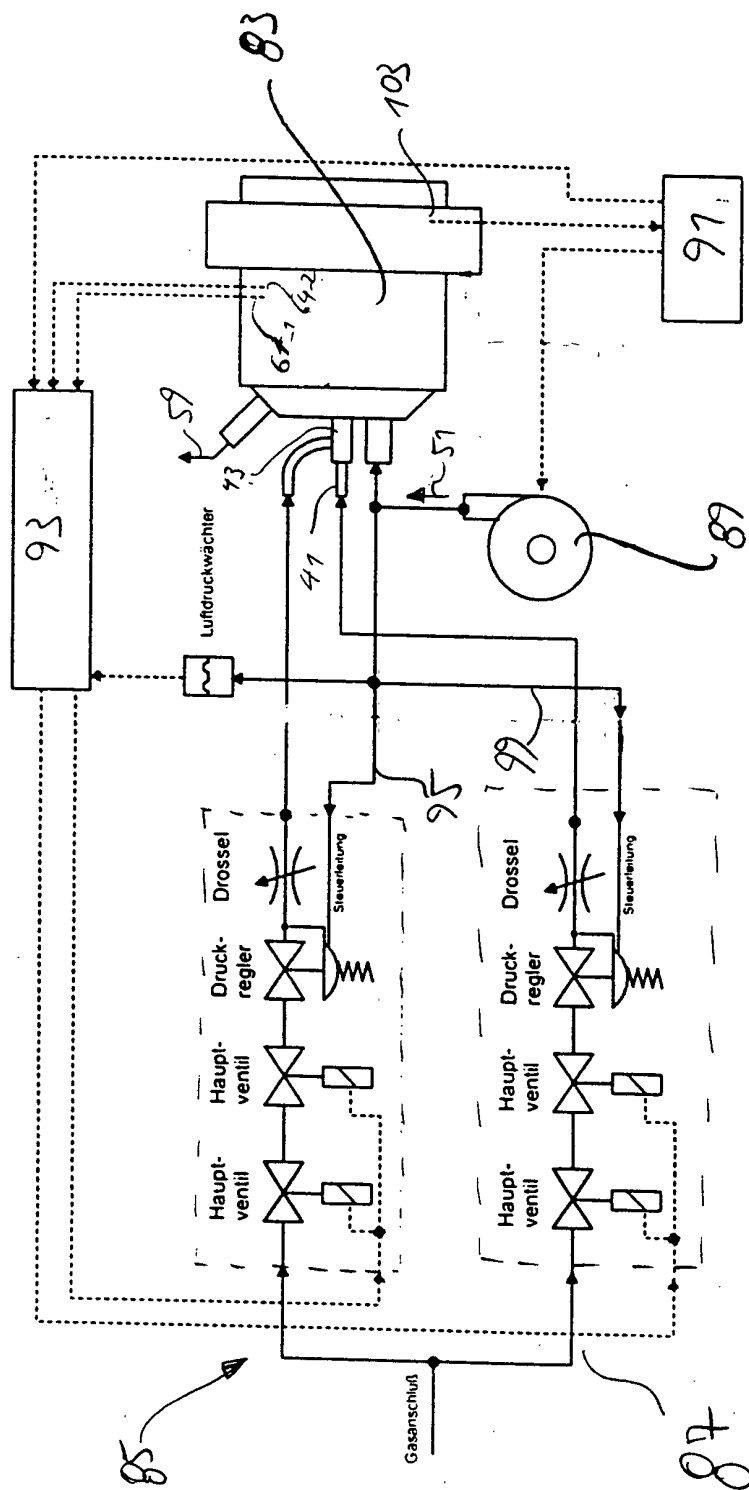


Fig. 3c

