



(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 549/2008

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **F02D 19/00**  
**F02D 41/14**

(22) Anmeldetag: 2008-04-07

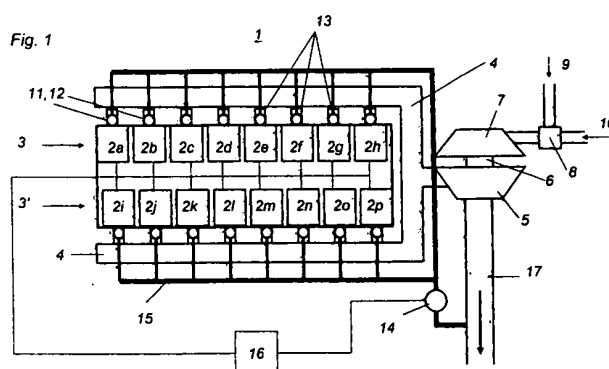
(43) Veröffentlicht am: 2009-06-15

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 200301904A EP 1561930A1

(73) Patentinhaber:  
GE JENBACHER GMBH & CO OHG  
A-6200 JENBACH (AT)

### (54) BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Brennkraftmaschine (1) umfassend zumindest zwei Brennräume (2a-2p) zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches, eine Abgassammelleitung (4), in der Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen (2a-2p) gesammelt werden, zumindest eine Messeinrichtung (14, 14') zur Bestimmung zumindest eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine (1), wobei die Messeinrichtung (14, 14') derart angeordnet ist, dass die von jedem Brennraum (2a-2p) abgegebenen Abgase mit der Messeinrichtung (14, 14') messbar sind.



Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine, insbesondere Gasmotor, umfassend zumindest zwei Brennräume zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches, eine Abgassammelleitung, in dem Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen gesammelt werden, zumindest eine Messeinrichtung zur Bestimmung zumindest eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine.

5 Brennkraftmaschinen, insbesondere Gasmotoren weisen meist mehrere Brennräume zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches auf. Bei herkömmlicher Zylinderbauweise der Brennkraftmaschine wird die Anzahl der Brennräume in der Zylinderzahl ausgedrückt. Große Gasmotoren, die das wichtigste Einsatzgebiet der Erfindung betreffen, werden meist mit zwölf, 10 sechzehn, zwanzig oder mehr Zylindern ausgestattet. Zur Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte wird bei den meisten Gasmotoren, insbesondere bei jenen über 500 kW Motorleistung, das Magerkonzept angewendet. Dabei wird das Luft-Treibstoff-Gemisch sehr stark abgemagert, d.h., dass der  $\lambda$ -Wert, der das Verhältnis von Luft zu Treibstoff angibt, hoch gewählt wird. Ein  $\lambda$ -Wert von 1 bedeutet ein stöchiometrisches Verhältnis von Luft bzw. eigentlich Sauerstoff zu 15 Treibstoff zur vollständigen Verbrennung des Treibstoffes, ein  $\lambda$ -Wert  $> 1$  bedeutet, dass mehr Luft vorhanden ist, als zur vollständigen Verbrennung des Treibstoffes notwendig wäre. Aufgrund der mit der mageren Betriebsweise ebenfalls stark abnehmenden Verbrennungstemperatur wird die  $\text{NO}_x$ -Bildung im Abgas weitgehend unterdrückt. Bei sehr magerer Gemischeinstellung bewegen sich die Brennkraftmaschinen in der Nähe der Aussetzergrenze, sodass oft nur 20 geringfügige  $\lambda$ -Abweichungen zu einer Überschreitung dieser Grenze und damit zu Betriebsstörungen führen können.

Bei Vielzylindermotoren können einzelne Zylinder ein etwas unterschiedliches Verbrennungsverhalten aufweisen, sodass die  $\text{NO}_x$ -Emission und die Magergrenzen jeweils unterschiedlich 25 sein können und in der Regel auch sind. Insbesondere wenn diese Unterschiede zu groß werden, sind damit erhebliche Nachteile im realen Motorbetrieb verbunden. Beispielsweise können einzelne Zylinder bereits klopfen, während andere an der Aussetzergrenze laufen.

Es sind Konzepte bekannt, wo durch Druckindizierung jedes Zylinders die Verbrennungsverläufe 30 gemessen und analysiert werden und darauf Regel- und Steueralgorithmen aufgesetzt werden, um beispielsweise die Verbrennungen der Zylinder einander anzugleichen. Die JP 2003-201904 A zeigt eine Brennkraftmaschine, umfassend vier Brennräume zur Verbrennung eines Luft-Brennstoffgemisches, eine Abgassammelleitung, in der Abgase aus den vier Brennräumen gesammelt werden und vier Sensoren zur Bestimmung zumindest eines Stoffes 35 im Abgas der Brennkraftmaschine, wobei eine Regeleinrichtung in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer bestimmten  $\text{CO}$ -Konzentration am Abgas-Umluftventil eingreift und die rückgeführte Abgasmenge in den Einlasstrakt regelt. Diese Konzepte sind jedoch relativ aufwändig und die Standzeiten der Drucksensoren sind noch nicht ausreichend abgesichert. Die EP 1 561 930 A1 offenbart eine Brennkraftmaschine mit Regeleinrichtung, bei der zum Erreichen eines vorgebbaren  $\text{NO}_x$ -Wertes der  $\lambda$ -Wert oder ein Ersatzparameter für  $\lambda$  in Abhängigkeit 40 der zugeführten Brennstoffmenge oder der Brennstoffenergie pro Zeit geregelt wird.

Ausgehend vom Stand der Technik ist man vor die Aufgabe gestellt eine Brennkraftmaschine bereit zu stellen, bei der diese Probleme vermindert sind. Insbesondere soll eine Brennkraftmaschine bereit gestellt werden, bei der die geforderten  $\text{NO}_x$  Werte eingehalten werden können 45 und bei der die einzelnen Zylinder nicht Klopfen bzw. sich nicht an der Aussetzergrenze befinden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

50 Bei einer Brennkraftmaschine umfassend zumindest zwei Brennräume zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches eine Abgassammelleitung, in der Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen gesammelt werden, zumindest eine Messeinrichtung zur Bestimmung zumindest eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine, welche derart angeordnet ist, dass die von 55 jedem Brennraum abgegebenen Abgase mit der Messeinrichtung messbar sind und eine

Regeleinrichtung und/oder eine Steuereinrichtung, welche in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Stoffes oder von der Menge eines Stoffes im Abgas des jeweiligen Brennraums, wenigstens einen Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum, regelt und/oder steuert, ist vorgesehen, dass das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum bei Abwei-

5 chen von einem Sollwert auf den Sollwert angleicht.

Bei einer Brennkraftmaschine umfassend zumindest zwei Brennräume zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches, eine Abgassammelleitung, in der Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen gesammelt werden, zumindest eine Messeinrichtung zur Bestimmung zumindest

10 eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine, ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung derart angeordnet ist, dass die von verschiedenen Brennräumen abgegebenen Abgase selektiv mit einer gemeinsamen Messeinrichtung messbar sind.

Während beim Stand der Technik Abgaswerte immer nur entweder in der Abgassammelleitung gemessen und somit nur die Summe der Abgase bzw. ein Mittelwert eines Abgaswertes aller Brennräume, oder die Abgase jedes einzelnen Zylinders einzeln mit einer eigenen Messeinrichtung analysiert werden, ist erfindungsgemäß vorgesehen, die Abgase jedes einzelnen Brenn-

15 raums bzw. jedes Zylinders mit einer gemeinsamen Messeinrichtung und dennoch selektiver zu analysieren bzw. das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum selektiv zu regeln bzw. steuern. Damit kann auf das Brennverhalten des jeweiligen Brennraumes zurückgeschlossen und bei Abweichungen vom Idealzustand eine entsprechende Maßnahme getroffen werden. Im einfachsten Fall könnte man den Zylinder einfach nur abschalten, was aber nicht wünschenswert ist, da so Leistung verloren geht. Im Idealfall wird man daher einen Regeleingriff oder einen Eingriff an der Steuerung am jeweiligen Zylinder bzw. Brennraum vornehmen und bestimmte

20 Betriebsparameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens nachjustieren. Beispielsweise könnte die zugeführte Brennstoffmenge verändert werden. Je nach Betriebsweise des Motors können unterschiedliche Maßnahmen vorteilhaft sein. Bei Gemischau aufgeladenen Gasmotoren, d.h. bei solchen Brennkraftmaschinen wo ein Treibstoff/Luftgemisch in einer Verdichtungseinrichtung verdichtet und dann dem Brennraum zugeführt wird, ist idealerweise vorgesehen den Zündzeitpunkt nachzujustieren. Bei Motoren mit Port-Injektor, bei denen der Treibstoff direkt im Bereich des Einlasses eingeblasen wird und beispielsweise verdichtete Luft zugeführt wird, kann es vorteilhaft sein, den  $\lambda$ -Wert durch Veränderung der mittels des Port-Injektors eingeleiteten Treibstoffmenge zu verändern. Bei gemischten Konzepten, d.h. solchen, wo eine gemisch-

30 aufgeladene Betriebsweise mit einem Port-Injektor kombiniert wird, können  $\lambda$ -Wert und / oder Zündzeitpunkt verändert werden. Im Prinzip kann jeder Parameter, der geeignet ist, das Brennverhalten zu optimieren, eingestellt werden.

Die Zielsetzung des vorgeschlagenen Verfahrens und der vorgeschlagenen Brennkraftmaschine ist im bevorzugten Fall die Gleichstellung der Zylinder einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Gasmotors in magerer Betriebsweise. Im bevorzugten Fall ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung einen  $\text{NO}_x$ -Sensor umfasst, und dass die Messeinrichtung die  $\text{NO}_x$  Konzentration bzw. den  $\text{NO}_x$  Gehalt im Abgas ermittelt, da der  $\text{NO}_x$  Emissionswert eines Zylinders sehr genaue Rückschlüsse auf das Brennverhalten im Brennraum des jeweiligen Zylinders zulässt. Die Gleichstellung der einzelnen Zylinder erfolgt somit hinsichtlich des  $\text{NO}_x$ -Emissions-

45 Verhaltens.

Im einfachsten Fall reicht es aus, wenn die Messeinrichtung das Vorhandensein eines Stoffes detektiert bzw. die Empfindlichkeit der Messung entsprechend eingestellt ist, dass eine Detekti-

50 on erst bei einem Schwellenwert erfolgt, d.h., es erfolgt nur eine qualitative oder semiquantitative Messung.

Im bevorzugten Fall ist vorgesehen, dass die Messeinrichtung den zumindest einen Stoff quantitativ erfasst, sodass ein tatsächlicher Wert (bspw.  $\text{NO}_x$  Gehalt) ermittelt wird, der eine ideale Regelung der einzelnen Zylinder zulässt. Vorzugsweise ist daher vorgesehen, dass eine Re-

55 geleinrichtung und/oder eine Steuereinrichtung, welche in Abhängigkeit vom Vorhandensein

eines Stoffes oder von der Menge eines Stoffes im Abgas des jeweiligen Brennraums, wenigstens einen Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum, regelt und/oder steuert.

Bei einer solchen Brennkraftmaschine mit Regeleinrichtung und / oder Steuereinrichtung kann im bevorzugten Fall vorgesehen sein, dass die Menge des zumindest einen erfassten Stoffes aus den von jedem Brennraum abgegebenen Abgasen mit der Messeinrichtung gemessen bzw. analysiert wird und aus diesen Werten ein Mittelwert der Stoffmenge über alle Brennräume gebildet wird, d.h., es wird z.B. die mittlere Konzentration an  $\text{NO}_x$  bestimmt. Dieser Wert wird als Sollwert für die Regelung genommen. Anschließend wird jeder einzelne Brennraum auf diesen Sollwert nachgeführt, indem ein Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens geregelt wird. Praktisch bedeutet dies im Wesentlichen, dass - ausgehend von einem gemessenen Mittelwert einer Stoffmenge die Standardabweichung für diesen Mittelwert minimiert wird, indem auf diesen Mittelwert nachgeführt wird. Wie bereits angedeutet ist bevorzugt vorgesehen, dass der wenigstens ein Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum der Zündzeitpunkt ist. In der Praxis kann bei dieser Vorgehensweise darauf verzichtet werden, die Absolutmenge eines Stoffes zu bestimmen, es reichen im Prinzip relative Werte, d.h. Differenzen, aus und man bedient sich nur der Abweichungen vom entsprechenden Mittelwert. Um Drifterscheinungen zu erkennen, ist allerdings die Bestimmung der Absolutwerte des jeweiligen Stoffes vorteilhaft.

In einer alternativen Variante wäre es auch denkbar, dass die Regeleinrichtung und/oder Steuereinrichtung das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum bei Abweichen von einem Sollwert, auf das Brennverhalten jener Brennräume angleicht, welche vom Sollwert nicht abweichen. In einer weiteren Alternative könnte vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung und/oder Steuereinrichtung das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum bei Abweichen von einem Sollwert auf den Sollwert angleicht. Beispielsweise könnte man, um den jeweiligen Brennraum zu analysieren, diesen an den Randbereich der Klopf- oder Aussetzergrenze führen, um den optimalen Betriebsbereich des Brennraumes zu ermitteln.

Die Messung der entsprechenden Emission, insbesondere  $\text{NO}_x$ -Emission der einzelnen Zylinder erfolgt in der Art und Weise, dass im Bereich des Abgasauslasses jedes Brennraumes eine Entnahmevorrichtung vorgesehen ist, über die ein Teil des Abgases entnehmbar ist. Zum Beispiel können an den Auslasskanälen der Zylinder Abgasentnahmesonden angebracht sein, über die ein geringer Teil des Abgases, beispielsweise durch Magnetventile geschaltet, in eine Messgassammelleitung geleitet wird, die mit einer entsprechenden Messeinrichtung (beispielsweise  $\text{NO}_x$ -Messsonde) verbunden ist. Daher ist bevorzugt vorgesehen, dass die Entnahmevorrichtung wenigstens ein Ventil umfasst und weiters ist bevorzugt vorgesehen, dass die Entnahmevorrichtung an jedem Brennraum mit der Messeinrichtung verbunden ist.

Weiters kann vorgesehen sein, dass von der Entnahmevorrichtung eine Gasleitung zur Messeinrichtung führt. Im Idealfall ist weiters eine gemeinsame Gasleitung für die Abgase aller Zylinder bzw. Brennräume vorgesehen. Dies ist vorteilhaft gegenüber der einfachsten Ausführung der Erfindung bei der an jedem Abgasauslass eines Brennraumes eine Messeinrichtung eingerichtet ist. Da dies aber einerseits kostenintensiv ist und andererseits den Nachteil hat, dass verschiedene Messeinrichtungen meist nie zu denselben Messergebnissen kommen, da sie eine gewisse Messstreuung zeigen, werden die Abgase jedes Brennraumes mit nur einer oder einer geringen Zahl an Messeinrichtungen analysiert. Eine gemeinsame Gasleitung in der selektiv durch Betätigung der einzelnen Ventile immer nur das Abgas eines Brennraumes zur Messeinrichtung geführt wird, hat den Vorteil, dass nur eine Messeinrichtung benötigt wird und in bestimmten Abständen die Abgaswerte einzelner Brennräume ermittelbar sind. Weitere Messeinrichtungen sind im Idealfall nur zu Redundanz Zwecken oder zu Eichzwecken bzw. zum Überprüfen einer Messeinrichtung vorgesehen.

Weitere Vorteile und Details der Erfindung sowie zusätzliche Aspekte ergeben sich aus den

folgenden Figuren und Figurenbeschreibungen.

Es zeigen die Fig. 1 bis 6 in schematisierter Darstellung sechs Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Brennkraftmaschinen.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine 1 in der Form eines gemischaufgeladenen Gasmotors in magerer Betriebsweise mit sechzehn Brennräumen 2a bis 2p bzw. sechzehn Zylindern 2a bis 2p (allgemein werden die Brennräume im folgenden nur mehr mit 2 bezeichnet, wenn nicht auf einen speziellen Zylinder bzw. Brennraum Bezug genommen werden soll). Die Brennräume 2 bzw. Zylinder 2 sind jeweils in Form der Zylinderköpfe angedeutet, die eine obere Zylinderreihe 3 und eine untere Zylinderreihe 3' bilden. In den einzelnen Brennräumen 2 wird jeweils ein Luft/Brennstoffgemisch verbrannt. Wie beim Stand der Technik auch, wird das verbrannte Gemisch im Bereich des Abgasauslasses jedes Zylinders 2 in einer Abgassammelleitung 4 gesammelt. In der Fig. 1 sind die Abgasauslässe durch die Entnahmeverrichtung mit den Bezugszeichen 11 verdeckt, die weiter unten beschrieben werden. Die obere Zylinderreihe 3 hat die Abgasauslässe in der Bildebene nach oben orientiert, die untere Zylinderreihe 3' nach unten. Die Abgassammelleitung 4 führt die Abgase zu einer Abgasturbine 5, die über eine Welle 6 eine Verdichtungseinrichtung 7 antreibt. In der Verdichtungseinrichtung 7 wird ein Treibstoff-Luftgemisch verdichtet. Das Treibstoff-Luftgemisch wird in einem Gasmischer 8 aus Luftzufuhr 9 und Treibstoffzufuhr 10 (eigentlich Treibgaszufuhr) hergestellt. Von der Verdichtungseinrichtung 7 wird das Treibstoff-Luftgemisch zu den Zylindern 2 bzw. Brennräumen 2 geführt, wo dieses beispielsweise ottomotorisch mittels einer Zündeinrichtung (in der Fig. 1 nicht gezeigt) gezündet wird, wodurch es zur Verbrennung kommt.

Beim Stand der Technik ist in der Regel vorgesehen, dass in der Abgassammelleitung 4, meist kurz vor oder kurz nach der Abgasturbine 5 eine Messeinrichtung vorhanden ist, die das Abgasgemisch aller Brennräume 2 analysiert, d.h., den Mittelwert der Abgase  $(2a-2p)/16$  bzw. allgemein  $c = \sum_n c(X) / n$ , wobei  $c(X)_n$  die Konzentration des Stoffes X (insbesondere  $NO_x$ ) im Zylinder 2 bedeutet. Eine solche Messeinrichtung kann bei den erfindungsgemäßen Brennkraftmaschinen 1 zwar auch vorgesehen sein, erfindungsgemäß wird aber nunmehr vor der Abgassammelleitung 4 vorzugsweise direkt am Abgasauslass der einzelnen Brennräume 2a bis 2p mittels einer Entnahmeverrichtung 11 eine geringe Menge Abgas aus dem jeweiligen Brennraum 2a bis 2p entnommen und der Messeinrichtung 14 zugeführt.

Zwischen den Abgasauslässen der einzelnen Brennräume 2 bzw. Zylinder 2 und der gemeinsamen Abgassammelleitung 4 befinden sich im gezeigten Beispiel Übertritts- oder Verbindungsstutzen 13 wo die Entnahmeverrichtungen 11 vorgesehen sind. Ebenfalls an den Übertritts- oder Verbindungsstutzen 13 sind Schalteinrichtungen (z.B. Schaltventile) angeordnet. Das über die Entnahmeverrichtung 11 entnommene Messgas aus den Zylindern 2 bzw. Brennräumen 2 wird über eine gemeinsame Messgassammelleitung 15 zur Messeinrichtung 14, die im vorliegenden Fall eine  $NO_x$ -Messeinrichtung (bzw.  $NO_x$ -Sonde) ist, geführt und von dort anschließend in die Abgasleitung 17 der Brennkraftmaschine 1 nach der Abgasturbine 5 eingeleitet. Zur Abgleichung der einzelnen Zylinder 2 wird an einer Entnahmeverrichtung 11 z.B. am Zylinder 2a Messgas entnommen indem die Schalteinrichtung 12 am Zylinder 2a geöffnet wird. In diesem Zeitpunkt wird den übrigen Zylindern 2b bis 2p kein Messgas entnommen, indem die Schalteinrichtungen 12 an den Zylindern 2b bis 2p geschlossen sind. Die Messeinrichtung 14 bestimmt so selektiv zumindest einen Stoff im Abgas von Zylinder 2a. Über eine Regeleinrichtung 16 oder eine Steuereinrichtung kann am Zylinder 2a ein Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens geregelt oder gesteuert werden, falls der Stoff einen bestimmten vorgebbaren Grenzwert, der im einfachsten Fall der Mittelwert über alle Brennräume 2a bis 2p ist, nicht einhält. Nachdem der Zylinder 2a analysiert wurde, kann nunmehr ein zweiter Zylinder 2b analysiert werden. Zu diesem Zweck wird am Zylinder 2b Messgas entnommen indem die Schalteinrichtung 12 am Zylinder 2b geöffnet wird. Zu diesem Zeitpunkt wird den übrigen Zylindern 2a sowie 2c bis 2p kein Messgas entnommen, indem die Schalteinrichtungen 12 an diesen Zylindern 2a, 2c-2p geschlossen sind. Auf diese Weise können der Reihe nach alle Zylinder 2a-2p

analysiert und anschließend nachgeführt bzw. gleichgestellt werden. Bei Gasmotoren erfolgt eine derartige Gleichstellung günstigerweise im Abstand von zumindest 100 Betriebsstunden.

In Fig. 2 ist eine Variante gezeigt, die sich von der Variante der Fig. 1 nur darin unterscheidet, dass zwei Messeinrichtungen 14, 14' vorgesehen sind, die über Schalteinrichtungen 18, 19 zuschaltbar sind. Eine solche Ausführung zeichnet sich durch eine höhere Betriebssicherheit aus, die durch Redundanz der Messeinrichtungen 14, 14' erreicht wird. Zusätzlich haben zwei oder mehr Messeinrichtungen 14, 14' den Vorteil, dass bei Austausch einer Messeinrichtung 14 durch eine neue Messeinrichtung 14" die in der Brennkraftmaschine verbleibende Messeinrichtung 14' zur Eichung der neuen Messeinrichtung 14" verwendet werden kann, da Messeinrichtungen 14, 14' in der Regel eine Messstrebweite aufweisen, die so zu Beginn der Inbetriebnahme einer neuen Messeinrichtung 14" ermittelt werden kann.

Die Ausführungsvariante der Fig. 3 zeigt, dass zusätzlich zum Messgas von den einzelnen Zylindern 2a bis 2p die Gesamtabgaswerte, insbesondere die NO<sub>x</sub>-Werte der Brennkraftmaschine 1 gemessen werden, indem eine Gasentnahmevorrichtung 22 in der Abgassammelleitung 4 vorgesehen ist. Zur Abgasanalyse werden zwei unabhängige Messeinrichtungen 14, 14' eingesetzt. Die Entnahme des Messgases aus der Abgassammelleitung 4 erfolgt vorzugsweise vor der Abgasturbine 5, da dort etwa derselbe Druck vorhanden ist, wie bei der Entnahmestelle für die Zylinderabgasmenge und damit definierte Volumenströme eingestellt werden können. Es sind beispielsweise folgende Messaufgaben erfüllbar:

- Schalteinrichtung 19 offen, Schalteinrichtung 20 geschlossen: Messung der Abgaswerte des gesammelten Motorabgases über Sensor 14'.
- Schalteinrichtung 18 offen, Schalteinrichtung 20 geschlossen bei Messprozedur für Zylindervergleichstellung über Messeinrichtung 14. Die Beschreibung der einzelnen Verfahrensschritte ist analog zu Fig. 1.
- Schalteinrichtung 18 geschlossen, Schalteinrichtungen 19 und 20 offen: Messeinrichtungen 14 und 14' messen das gleiche Messgas, sodass eine gegenseitige Kontrolle der Messeinrichtungen 14 und 14' möglich ist.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 mit zwei unabhängigen Messeinrichtungen 14, 14' und insgesamt vier Schalteinrichtungen 18, 19, 20, 21 vor den Messeinrichtungen 14, 14' können vorteilhafterweise alle Funktionen ausgeführt werden, die einen praktischen Nutzen haben. Dabei ist von Vorteil, wenn das Messgas für die Abgasmessung des Gesamtmotors vor der Abgasturbine 5 entnommen wird, und damit mit gleichem Druck zur Verfügung steht wie das Messgas von den einzelnen Zylindern 2a bis 2p. Jede Schalteinrichtung 14, 14' kann hier unabhängig von der anderen Messeinrichtung 14', 14 für jede Messfunktion verwendet werden. Beide Messeinrichtungen 14, 14' können entweder für die Gleichstellungsprozedur oder für die permanente Messung für eine closed-loop-Abgasemissions-Regelung vorzugsweise closed-loop-NO<sub>x</sub>-Regelung eingesetzt werden, und es können die Schalteinrichtungen 18, 19, 20, 21 so geschaltet werden, dass zu beiden Messeinrichtungen 14, 14' dasselbe Messgas geleitet wird.

Das Abgas aus dem Abgasauslass des Zylinders 2a wird getrennt vom Abgas der übrigen Zylinder 2b bis 2p zu Messeinrichtung 14 geleitet, wo die Abgaswerte, vorzugsweise NO<sub>x</sub>-Konzentration bestimmt wird. Prinzipiell ist es natürlich möglich, für jeden Zylinder 2a bis 2p eine eigene Messeinrichtung 14 vorzusehen, allerdings ist dies aus mehreren Gründen nicht notwendig bzw. sinnvoll. Zum einen ist die Gleichstellung der Zylinder 2a bis 2p untereinander nur in größeren Laufzeitintervallen der Brennkraftmaschine 1 erforderlich (beispielsweise etwa alle 100 bis 500 Betriebsstunden), die Messprozedur selbst dauert nur etwa eine Stunde, sodass es sinnvoll ist, eine Messeinrichtung 14 für mehrere oder alle Zylinder zu nutzen. Weiters weisen die Messeinrichtungen 14, 14' Messwertstreuungen auf, die einer genauen Gleichstel-

lung entgegenstehen, wenn für jeden Zylinder 2a bis 2p eine eigene Messeinrichtung 14 verwendet wird. Letztlich sind es auch Kostengründe, die es vorteilhaft machen, mehrere oder am Besten für alle Zylinder 2a bis 2p einen gleichen oder aus Redundanzgründen zwei gleiche Messeinrichtung 14, 14' zu verwenden. In diesem Fall werden die Abgase der einzelnen Zylinder 2a bis 2p über z.B. Magnetventile 12 getrennt und nacheinander auf die gemeinsame Messgasleitung 15 zur Messeinrichtung 14 geschaltet. Nach der Messung des Zylinderabgases wird der Messwert in der Regeleinrichtung 16 bzw. Steuereinrichtung des Motormanagementsystems im Datenspeicher abgelegt und weiter verarbeitet. Wenn die Abgase aller Zylinder 2a-2p gemessen sind, erfolgt die Verarbeitung der Daten. Dabei werden die erforderlichen Regeleinrichtungen bzw. Eingriffe der Steuereinrichtung errechnet und die Korrekturmaßnahmen eingeleitet. Bevorzugterweise erfolgt die Gleichstellung der Zylinder 2a bis 2p durch Veränderung bzw. Anpassung der Zündzeitpunkte der einzelnen Zylinder 2a bis 2p. Es hat sich nämlich im Versuch und in der Praxis gezeigt, dass dadurch eine Gleichstellung der NO<sub>x</sub>-Emission der Zylinder 2a-2p gleichzeitig optimale Bedingungen für den Wirkungsgrad und die Leistung der Brennkraftmaschine gegeben sind. Insbesondere sind dann auch die Abstände der einzelnen Zylinder 2a-2p zur Klopff- und Aussetzergrenze hinreichend gut gleichgestellt.

In Fig. 5 ist eine Variante dargestellt, die im Wesentlichen der Variante der Fig. 1 entspricht, die aber genauso gut wie eine der anderen Varianten ausgebildet sein könnte. Im Unterschied zur Variante der Fig. 1 wurden bei diesem Beispiel die Schalteinrichtungen 12 in Distanz zu den Abgasauslässen der einzelnen Brennräume 2a bis 2p angebracht, da so die entsprechenden Schalteinrichtungen 12 einer geringeren thermischen Belastung unterliegen.

Die Ausführungsvariante der Fig. 6 zeigt nur mehr einen Ausschnitt aus einer Brennkraftmaschine, wo im Gegensatz zu den in den Varianten der Fig. 1 bis 5 vorgesehenen Schalteinrichtungen 12 an jedem Brennraum 2a bis 2p nur mehr eine Umschalteinrichtung 23 vorgesehen ist, über die das Abgas jedes eines einzelnen Zylinders 2a Messeinrichtung 14 zuschaltbar ist, während die Abgase der übrigen Zylinder 2b bis 2g weggeschaltet sind. Durch Betätigung der Umschalteinrichtung 23 kann z.B. ein anderer Zylinder 2b zugeschaltet werden, während die übrigen Zylinder 2a, 2c bis 2g weggeschaltet sind. Im bevorzugten Fall ist die Umschalteinrichtung 23 derart ausgebildet, dass selektiv ein Brennraum 2a zuschaltbar ist, während die übrigen Brennräume 2b bis 2g abschaltbar sind. Im einfachsten Fall ist die Umschalteinrichtung 23 ein Schaltventil. Bevorzugterweise hat die Umschalteinrichtung 23 wenigstens soviele Schaltzustände, wie Brennräume vorhanden sind.

Die Gleichstellung der Zylinder 2a-2p sollte günstigerweise während eine gleichbleibenden Motorlast im Bereich der Motorvollast erfolgen. Bei Motorvollast treten nämlich die Unterschiede der Zylinder 2a bis 2p am signifikantesten hervor. Die über die NO<sub>x</sub>-Sensoren gemessenen Emissionswerte werden im Auswerteprozess mit der aktuellen Motorleistung bzw. verschiedenen Randbedingungen in Bezug gesetzt. Sollte während einer Messprozedur eine starke Lastreduktion oder eine Motoreinstellung erfolgen, so wird der Messvorgang abgebrochen und erst wieder aufgenommen, wenn die Bedingungen für den Start der Prozedur wieder gegeben sind. Es genügt dann, wenn der zuletzt gemessene Zylinder 2a noch einmal gemessen wird und dann mit den restlichen fortgefahren wird. Nachdem das Proben-Abgas die Messeinrichtung 14 passiert hat, wird es in den Abgasstrang der Brennkraftmaschine 1 nach der Abgasturbine 5 (aber vor einem allfälligen Abgaskatalysator bzw. einer allfälligen Abgasnachbehandlungseinrichtung) eingeleitet.

Die Unterschiede der Zylinder 2a bis 2p in der Abgasemission und im Besonderen in der NO<sub>x</sub>-Emission resultieren aus unterschiedlichen Verbrennungsabläufen und Verbrennungsbedingungen. Die Gründe dafür können vielfältig sein, oft sind es z.B. unterschiedliche Toleranzlagen der Bauteile, Unterschiede in Temperatur, Druck und  $\lambda$ -Werte an den Ansaugstutzen der Zylinder 2 etc. Diese Ursachen ändern sich über die Betriebszeit in der Regel nicht oder nicht wesentlich. Eine Ursache für Unterschiede können aber auch Brennraumablagerungen sein, die sich von Zylinder 2a zu Zylinder 2b unterschiedlich über die Zeit verändern können. Die Zylinder

derunterschiede ändern sich über die Zeit nur sehr langsam, sodass Korrekturen und Anpassungen nur relativ selten erforderlich sind. Unter den Annahmen, dass eine Messprozedur etwa ein bis zwei Stunden in Anspruch nimmt und alle 100 Betriebsstunden einmal durchgeführt wird, ergibt sich für eine Motorlaufzeit von 30000 Betriebsstunden eine Einsatzzeit für die Messeinrichtung 14 von insgesamt einigen 100 Stunden. NO<sub>x</sub>-Sensoren wurden bisher bereits über mehrere 1000 Einsatzstunden getestet, ohne dass eine signifikante Veränderung in der Messgenauigkeit beobachtet werden konnte. Aufgrund der insgesamt nur geringen Einsatzzeit der Messeinrichtung 14, kann das vorgestellte Verfahren auch bei Brennkraftmaschinen 1 eingesetzt werden, die mit problemstoffbelasteten Treibgasen betrieben werden, wo im Abgas Spuren von chemischen Verbindungen mit Schädigungspotenzial für Sensorkomponenten enthalten sind, beispielsweise Biogas.

Die gesamte Einrichtung für das vorgeschlagene Verfahren ist für die gesamte Lebensdauer der Motoranlage ausgelegt und benötigt einen nur minimalen Wartungs- und Instandhaltungsaufwand.

Durch die vermehrte Anwendung von Sensoren, insbesondere NO<sub>x</sub>-Sensoren werden kostengünstige Fertigungsverfahren anwendbar, sodass für die nächste Zukunft noch deutliche Verbiligungen erwartet werden. Da die für die Gleichstellungsverfahren erforderlichen Probegasmenge vergleichsweise sehr gering sind und sich im Promille-Bereich des gesamten Abgases bewegen, sind die entsprechenden Bauteile und Ventile klein und die Leitungen 15 mit sehr geringem Querschnitt ausgeführt (beispielsweise Durchmesser 5 mm). Aus diesem Grund sowie weil Schalteinrichtungen 12, 18, 19, 20, 21 auf Basis von Magnetventilen auf ausgereiftem Stand der Technik basieren und in großen Stückzahlen hergestellt werden, ist die gesamte Vorrichtung sehr kostengünstig.

Neben der Funktion der Zylindergleichstellung, kann bei der Verwendung von zumindest einem NO<sub>x</sub>-Sensor, welcher für diese Gleichstellung der Zylinder 2a-2p vorgesehen ist, auch die NO<sub>x</sub>-Emission des gesamten Motors gemessen bzw. bestimmt werden. Für die Erkennung von langsamen Drifterscheinungen, wie sie durch Ablagerungen auftreten können, genügt es, eine Mittelwertbildung der gemessenen NO<sub>x</sub>-Werte aus der Gleichstellprozedur vorzunehmen und die Veränderung dieser Mittelwerte über die Laufzeit der Brennkraftmaschine 1 zu erfassen und für Driftkompensationsmaßnahmen zu verwerten.

Für eine ständige NO<sub>x</sub>-Regelung der Brennkraftmaschine 1 in Form einer „closed-loop-Regelung“ ist eine permanente NO<sub>x</sub>-Messung erforderlich. Die erfolgt sinnvollerweise über separaten einen NO<sub>x</sub>-Sensor, der ständig mit dem Abgasstrom der Brennkraftmaschine (z.B. nach Austritt aus der Abgasturbine 5) in Kontakt ist.

Der oder die NO<sub>x</sub>-Sensoren, die für die Zylindergleichstellung verwendet werden, können aber auch dazu genutzt werden, den (separaten) NO<sub>x</sub>-Sensor für die closed-loop-Regelung zu überwachen bzw. zu kalibrieren. Dazu werden die Sensoren über eine geeignete Leitungsführung in Serie oder parallel geschaltet, sodass mit demselben „Probegas“ beaufschlagt werden. Aus der gegebenen oder fehlenden Übereinstimmung der Messwerte kann auf die Funktion der Sensoren rückgeschlossen werden.

Abgase von Brennkraftmaschinen 1 enthalten Wasserdampf, der bei Temperaturen unterhalb des Taupunktes (bei Magermotoren ca. 60 - 70 °C) auskondensiert. Da das Messgas von der Entnahme bei den Zylinderköpfen bis zur Messeinrichtung 14 abkühlt, ist es vorteilhaft, durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, dass in den Leitungen bei den Messeinrichtungen 14 kein Kondensat anfällt. Dies ist insofern günstig, da die Leitungen nur für relativ kurze Zeit vom heißen Messgas durchströmt werden und daher auskühlen bzw. im Normalfall kalt sind.

Um das Ausfällen von Kondensaten zu vermeiden, könnte beispielsweise die gesamte Einrichtung beheizt und isoliert ausgeführt sein. Eine andere Möglichkeit besteht beispielsweise darin,



die Leitungen auch außerhalb der Messzyklen mit geringen Mengen Abgas durchströmen zu lassen, um, in Kombination mit entsprechender Isolierung, die Leitungen auf Temperatur zu halten. Wiederum eine andere Möglichkeit besteht darin, vor der oder den Messeinrichtung(en) 14 Kondensatabscheider einzusetzen.

Zur Überprüfung der Funktion der NOx-Sensoren kann es sinnvoll sein, der Messprozedur einen Kalibriervorgang vor- oder nachzuschalten. Beispielsweise kann durch Einleitung von Luft in die Messgasleitung ein Nullabgleich erfolgen, oder es kann durch Einleitung eines Kalibrier-gases eine Kalibrierung der Messeinrichtungen 14, 14' erfolgen.

Ein potenzielles Problem für die korrekte Durchführung der Gleichstellungsverfahren könnte darin bestehen, dass eines oder mehrere der Schalteinrichtungen 12, 18, 19, 20, 21 im geschlossenen Zustand nicht ausreichend dicht sind und dadurch die Messwerte verfälscht werden. Um die Einrichtung auf dieses Problem hin zu überwachen, kann beispielsweise eine zusätzliche Schalteinrichtung beispielsweise in Form eines Magnetventils vor der Messeinrichtung 14 eingesetzt werden, welche außerhalb der Messprozedur so wie alle anderen Schalteinrichtungen geschlossen ist. Sobald eines der Schalteinrichtungen der Zylinderentnahmesonden undicht wird, steigt der Druck in der Leitung zur zusätzlichen Schalteinrichtung vor der Messeinrichtung. Dies kann durch Einsetzen eines Drucksensors in der Leitung erkannt werden.

## Patentansprüche:

### 1. Brennkraftmaschine (1) umfassend

- zumindest zwei Brennräume (2a-2p) zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches
- eine Abgassammelleitung (4), in der Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen (2a-2p) gesammelt werden,

zumindest eine Messeinrichtung (14, 14') zur Bestimmung zumindest eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine (1), welche derart angeordnet ist, dass die von jedem Brennraum (2a-2p) abgegebenen Abgase mit der Messeinrichtung (14, 14') messbar sind und eine Regeleinrichtung (16) und/oder eine Steuereinrichtung, welche in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Stoffes oder von der Menge eines Stoffes im Abgas des jeweiligen Brennraums (2a-2p), wenigstens einen Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum (2a-2p), regelt und/oder steuert,

*dadurch gekennzeichnet*, dass die Regeleinrichtung (16) und/oder Steuereinrichtung das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum (2a-2p) bei Abweichen von einem Sollwert auf den Sollwert angleicht.

### 2. Brennkraftmaschine (1) umfassend

- zumindest zwei Brennräume (2a-2p) zur Verbrennung eines Luft/Brennstoffgemisches
- eine Abgassammelleitung (4), in der Abgase aus den zumindest zwei Brennräumen (2a-2p) gesammelt werden,
- zumindest eine Messeinrichtung (14, 14') zur Bestimmung zumindest eines Stoffes im Abgas der Brennkraftmaschine (1),

*dadurch gekennzeichnet*, dass die Messeinrichtung (14, 14') derart angeordnet ist, dass die von verschiedenen Brennräumen (2a-2p) abgegebenen Abgase selektiv mit einer gemeinsamen Messeinrichtung (14, 14') messbar sind.

### 3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, *gekennzeichnet durch* eine Regeleinrichtung (16) und/oder eine Steuereinrichtung, welche in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Stoffes oder von der Menge eines Stoffes im Abgas des jeweiligen Brennraums (2a-2p), wenigstens einen Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum (2a-2p), regelt und/oder steuert.

### 4. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die

Regeleinrichtung (16) und/oder Steuereinrichtung den Mittelwert der Stoffmenge aller Brennräume (2a-2p) bildet und das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum (2a-2p) bei Abweichen von diesem Mittelwert auf diesen Mittelwert nachführt.

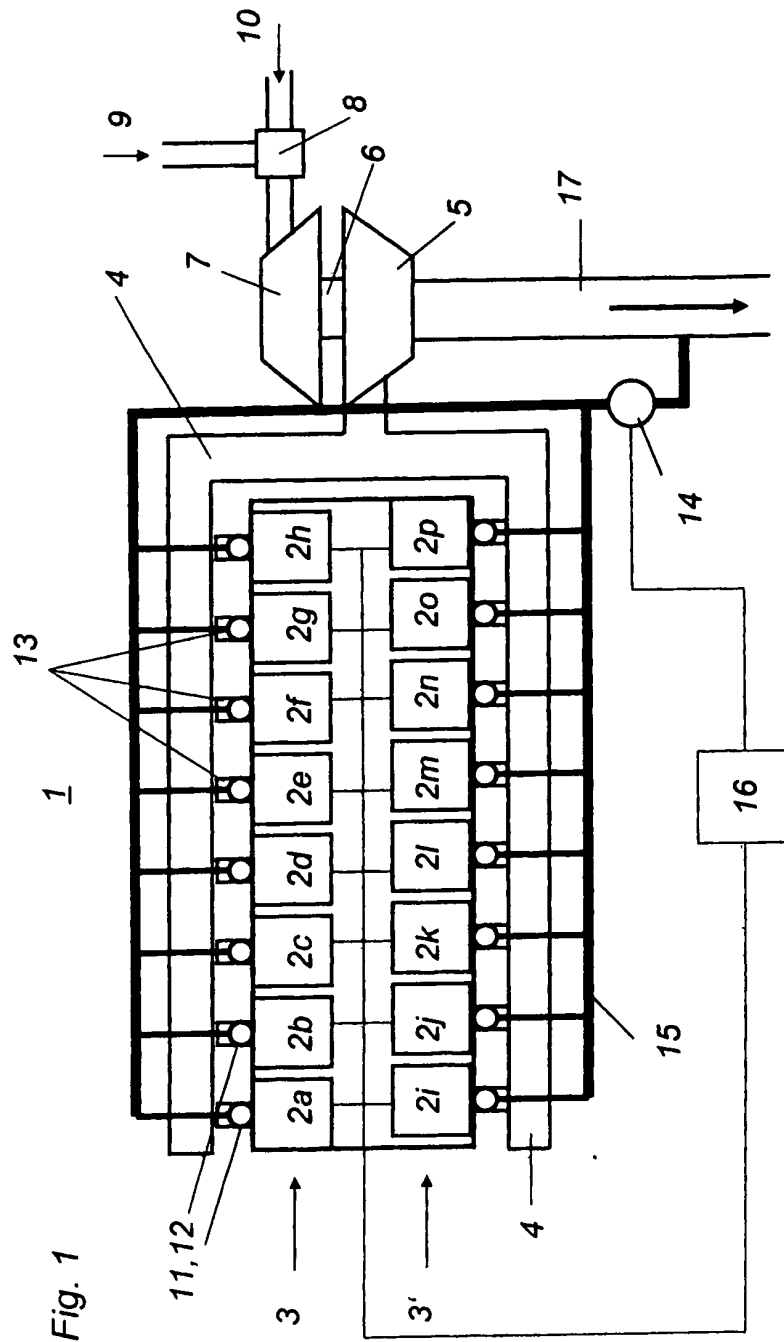
- 5 5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Regeleinrichtung (16) und/oder Steuereinrichtung das Brennverhalten im jeweiligen Brennraum (2a-2p) bei Abweichen von einem Sollwert auf den Sollwert angleicht.
- 10 6. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 3 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass der wenigstens ein Parameter zur Beeinflussung des Brennverhaltens im jeweiligen Brennraum (2a-2p) der Zündzeitpunkt ist.
- 15 7. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messeinrichtung (14, 14') den zumindest einen Stoff quantitativ erfasst.
8. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messeinrichtung (14, 14') einen NO<sub>x</sub>-Sensor umfasst, und die Messeinrichtung (14, 14') die NO<sub>x</sub> Konzentration im Abgas ermittelt.
- 20 9. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass im Bereich des Abgasauslasses jedes Brennraumes (2a-2p) eine Entnahmevorrichtung (11, 12) vorgesehen ist, über die ein Teil des Abgases entnehmbar ist.
- 25 10. Brennkraftmaschine nach Anspruch 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Entnahmevorrichtung (11, 12) wenigstens eine Schalteinrichtung (12), vorzugsweise Ventil umfasst.
11. Brennkraftmaschine nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Entnahmevorrichtung (11, 12) an jedem Brennraum (2a-2p) mit der Messeinrichtung (14, 14') verbunden ist.
- 30 12. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 9 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass von der Entnahmevorrichtung (11, 12) eine Messgassammelleitung (15) zur Messeinrichtung (14, 14') führt.
- 35 13. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 oder 3 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass alle Entnahmevorrichtungen (11, 12) in einer gemeinsamen Messgasleitung (15) münden.
- 40 14. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, zumindest eine zweite Messeinrichtungen (14') vorgesehen ist.

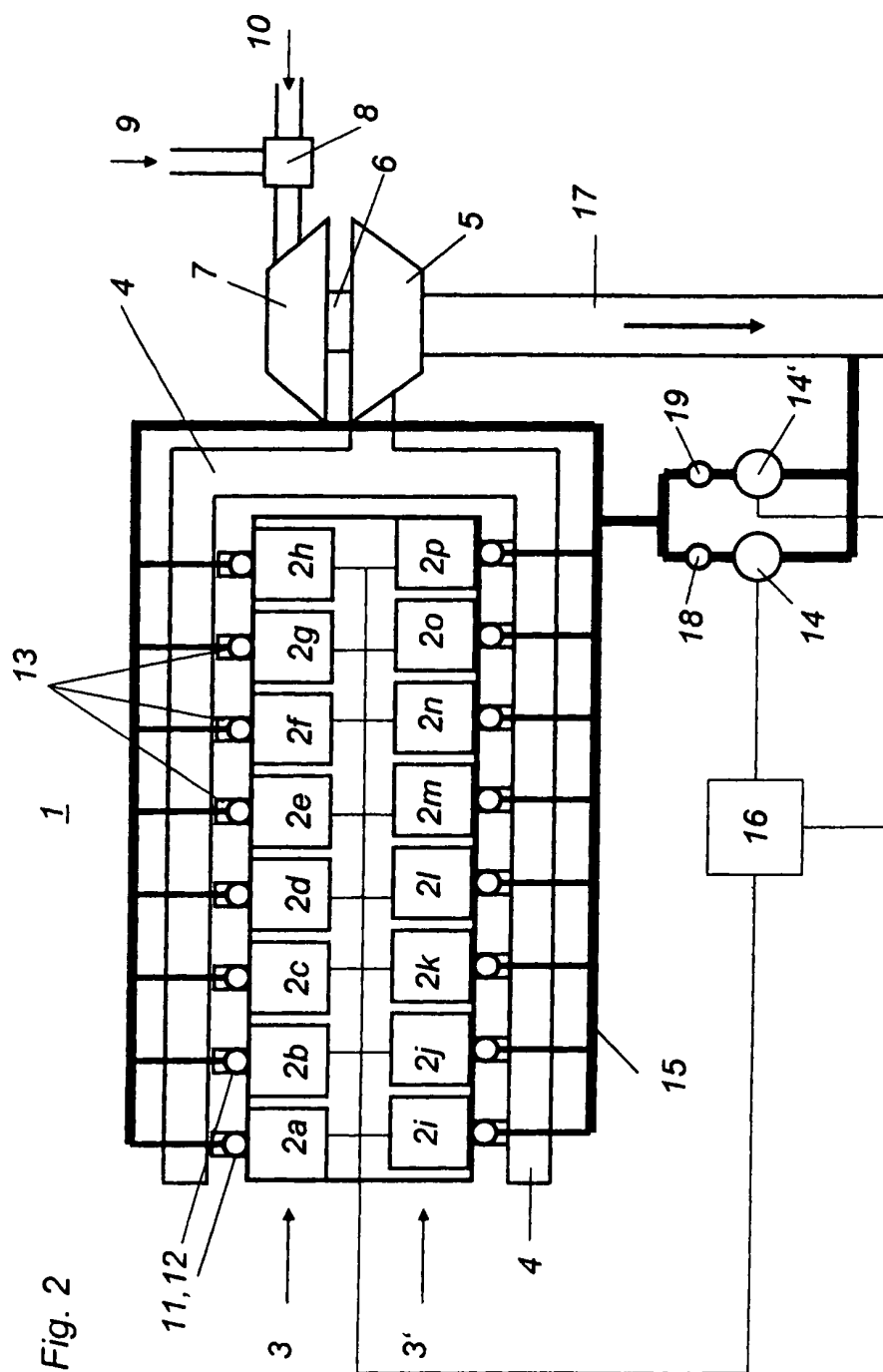
## Hiezu 6 Blatt Zeichnungen

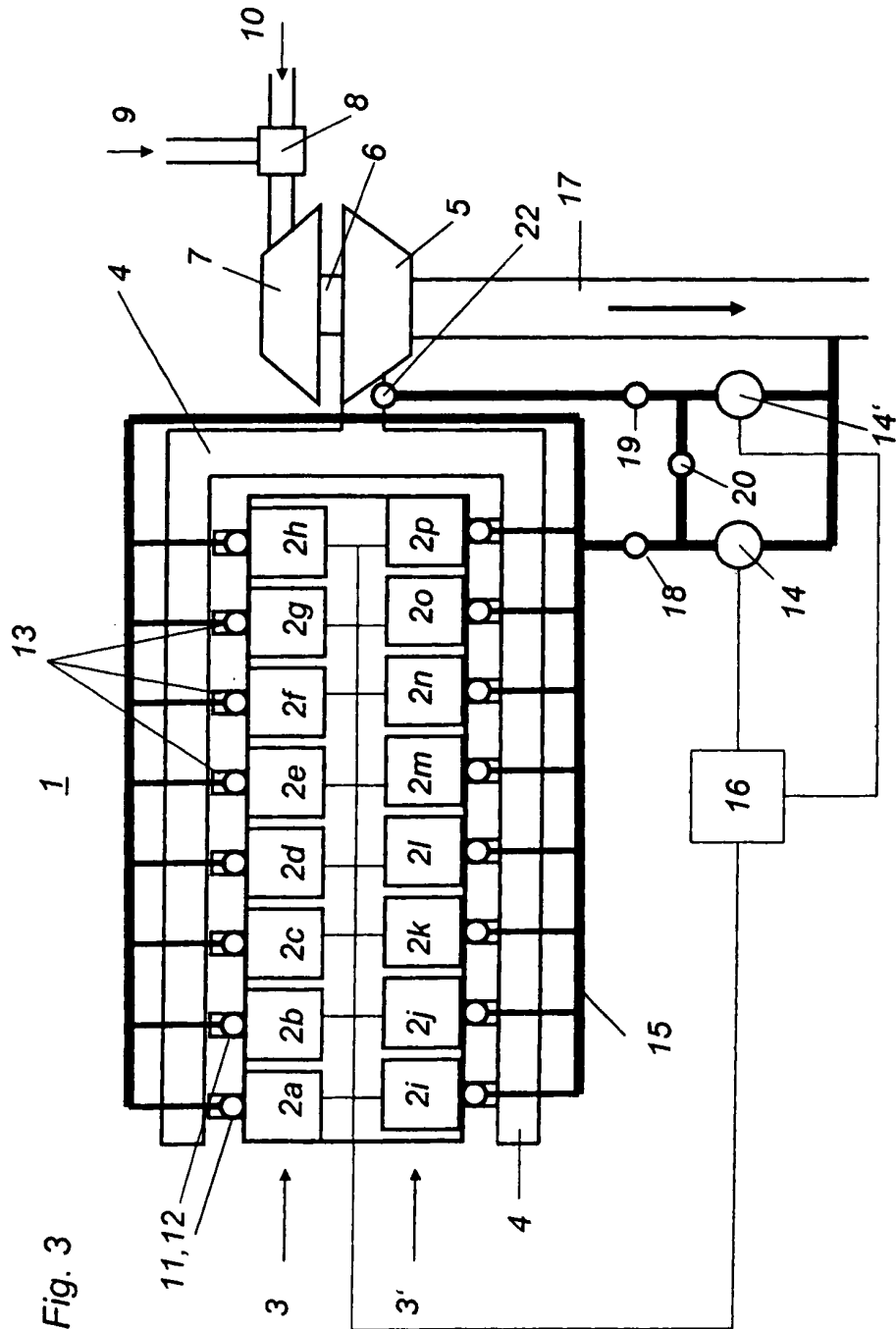
45

50

55







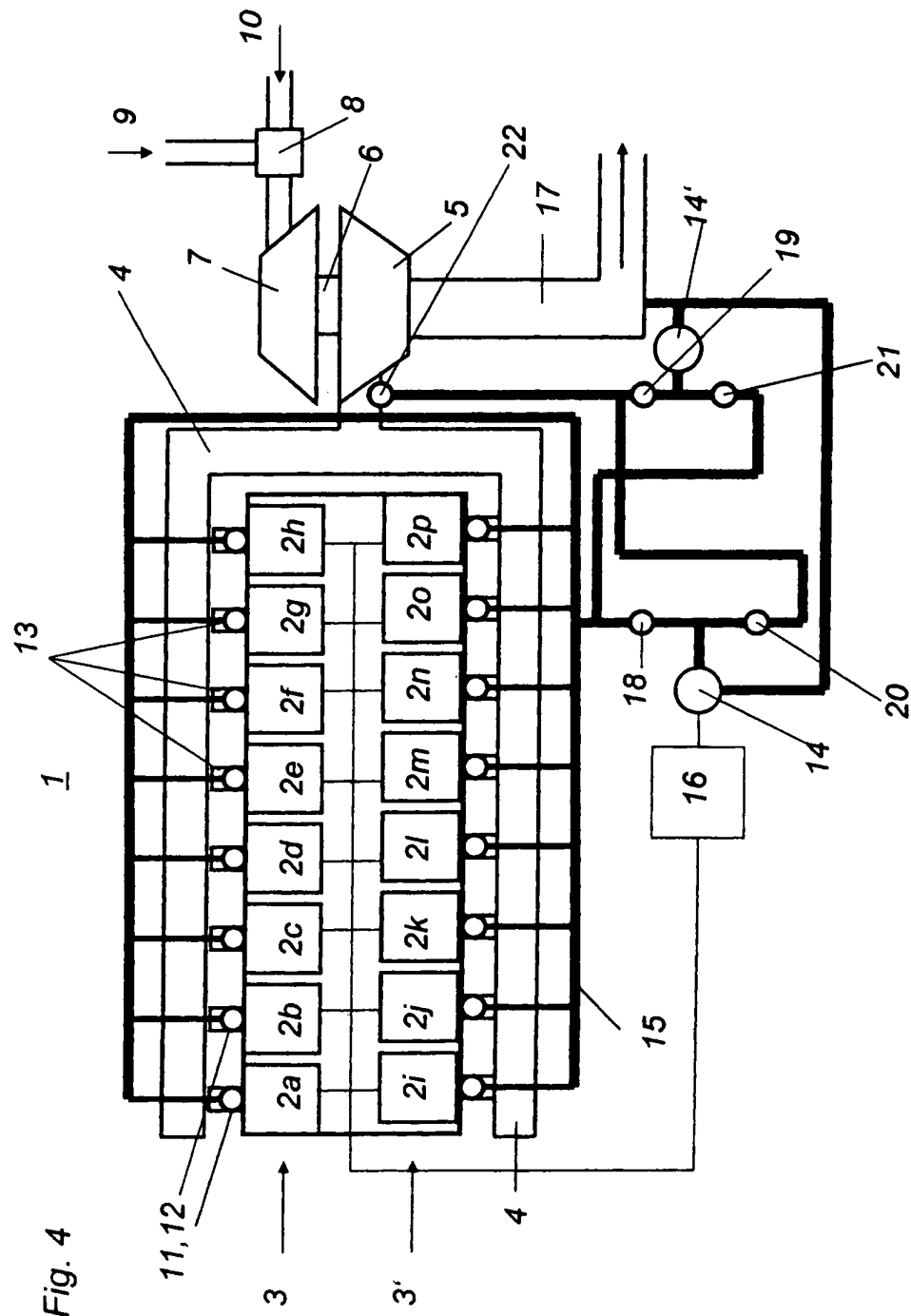
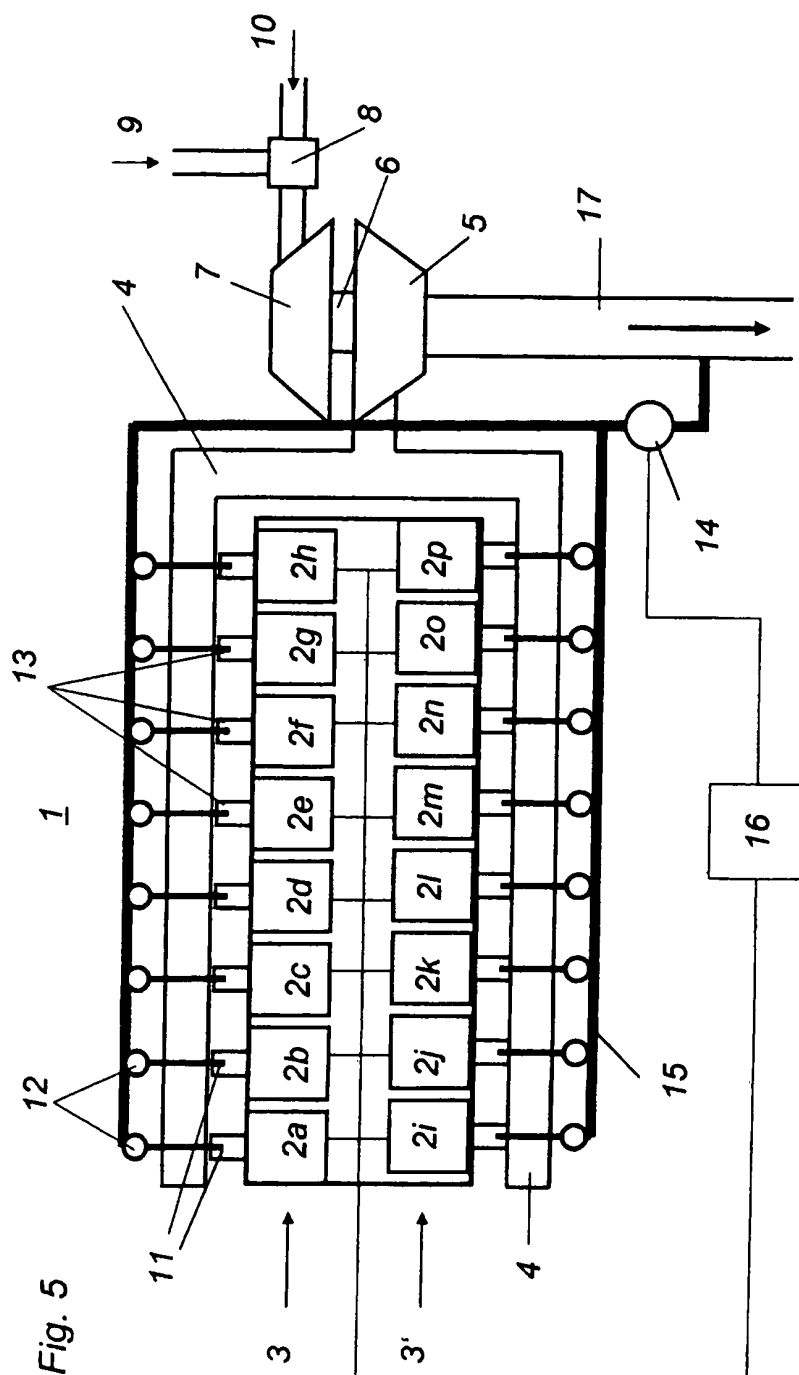


Fig. 4



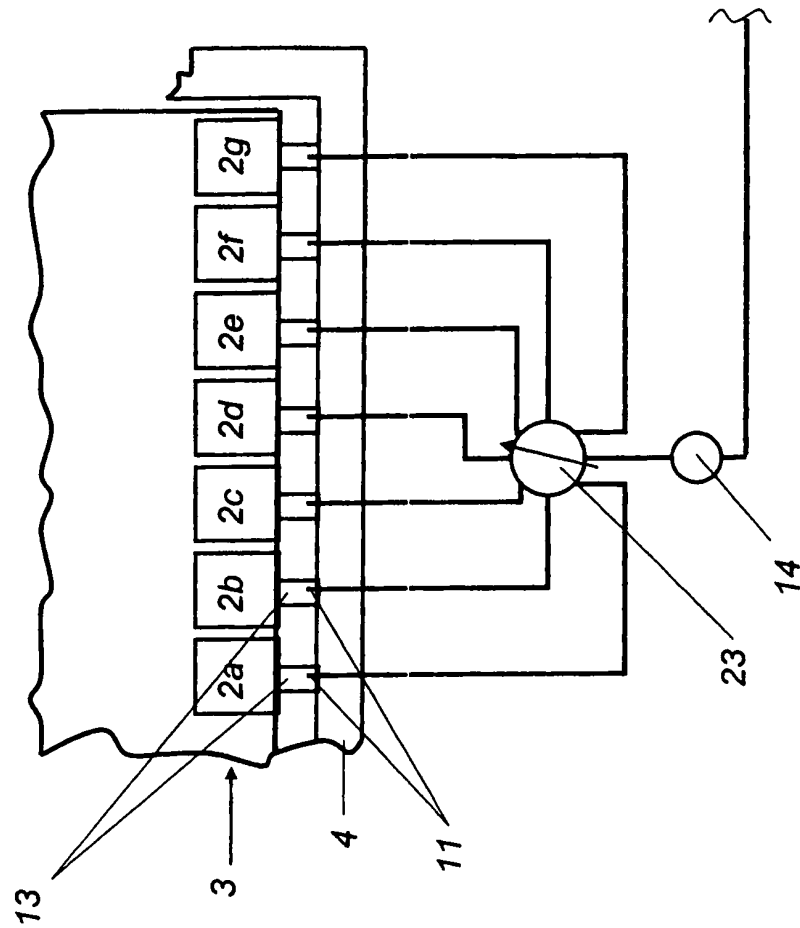


Fig. 6