



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 32 282 T2** 2007.07.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 957 246 B1**

(51) Int Cl.⁸: **F02B 19/12** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 32 282.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 401 167.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **12.05.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.11.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.07.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.07.2007**

(30) Unionspriorität:

13237198 **14.05.1998** **JP**

22841698 **12.08.1998** **JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, IT, LI, NL

(73) Patentinhaber:

Niigata Power Systems Co.Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:

Goto, c/o Niigata Engineering Co., Satoru, Ohta-ku, Tokyo, JP; Nishi, c/o Niigata Engineering Co., Yoshifumi, Ohta-ku, Tokyo, JP; Nakayama, c/o Niigata Engineering Co., Sadao, Ohta-ku, Tokyo, JP; Sakagami, Niigata Engineering Co., Takeyuki, Ohta-ku, Tokyo, JP

(74) Vertreter:

Weickmann & Weickmann, 81679 München

(54) Bezeichnung: **Magermotor**

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

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Magerverbrennungsgasmotor, der hauptsächlich als Antriebsquelle für eine stationäre elektrische Stromerzeugungsanlage oder für den industriellen oder kommerziellen Gebrauch nutzbar ist. Diese Anmeldung beruht auf den in Japan eingereichten Patentanmeldungen Nr. Hei 10-132371 und Nr. Hei 10-228416, deren Inhalte hier unter Bezugnahme aufgenommen werden.

Relevante Technik

[0002] In den letzten Jahren wurde Magerverbrennungsgasmotoren wegen deren geringen Verschmutzungseigenschaften mehr Aufmerksamkeit gezollt. Der hauptsächliche Trend für herkömmliche Magerverbrennungsgasmotoren ist es, die Form des Vorkammer-Modells zu nehmen, das Zündkerzen als Zündquelle verwendet; jedoch sind Dual-Kraftstoffmotoren bekannt, die auch wie die Vorgenannten funktionieren. Der letztere Motorentyp vollzieht die Verbrennung von Gasbrennstoff mittels Einspritzung eines Pilotkraftstoffs (Flüssigkeit) direkt in die Hauptbrennkammer in der Menge von angenähert 5–15% des gesamten Heizwerts und nutzt diesen Pilotkraftstoff als Zündquelle. Genauer gesagt, es wird eine kleine Menge von Pilotkraftstoff von dem Hauptkraftstoffeinspritzventil eines Standarddieselmotors eingespritzt, um die vorgenannte Zündung zu erreichen. Dies wird auch durch die Einspritzung von 100% Flüssigkraftstoff von dem Hauptkraftstoffeinspritzventil erreicht, um von einem Gasbetrieb zu einem Dieselpetrieb umzuschalten.

[0003] Wenn jedoch ein Magergemisch mittels eines herkömmlichen, mit einer Zündkerze ausgestatteten, Vorkammer-Gasmotors verbrannt wird, kommt es zu einer Fluktuation der Verbrennung mit Fehlzündung, so lange nicht eine starke Zündenergie erzeugt wird. Wenn man darüber hinaus diesen Prozess mit jenem vergleicht, der mit dem Dieselmotor mit identischer Zylinderbohrung durchgeführt wird, ist der vorgenannte Prozess vom Standpunkt der geringen Verschmutzung mit einer NOx Konzentration von angenähert ein-Zehntel des letzteren vorteilhaft; jedoch ist der vorgenannte Prozess vom Standpunkt, dass er einen niedrigen thermischen Motorwirkungsgrad erzielt, nachteilig.

[0004] Um im Bezug auf die Verbesserung der Verbrennungsfluktuation innerhalb der Vorkammer eine zuverlässige Verbrennung sicherzustellen, sind zahlreiche Untersuchungen und Messungen durchgeführt worden, um die Zündkerzenposition innerhalb

der Vorkammer zu optimieren und um eine gleichmäßige Verteilung des Kraftstoffluftgemischs innerhalb der vorgenannten Vorkammer zu erzeugen. Da jedoch keine der obigen die Zündenergie erhöht, gibt es Grenzen in Bezug auf die Verbesserung des thermischen Motorwirkungsgrads und der Verbrennungsfluktuation.

[0005] Andererseits gibt es im Falle eines Gasmodusbetriebs herkömmlicher Dual-Kraftstoffmotoren Nachteile darin, dass die Abgasmenge der NOx Konzentration und Russ und Staub bei zunehmendem Pilotkraftstoff, um die thermische Wirkung des Motors zu verbessern und die Verbrennungsfluktuation zu unterdrücken, zunimmt, so dass die vorteilhaften verschmutzungsarmen Eigenschaften (niedriges CO₂) des Gasmotors nicht erzielt werden können. Unter dessen ist es in dem Falle, die Pilotkraftstoffmenge zu reduzieren, bei der Anlassdrehzahl (angenähert 150 ~ 200 UpM) während des Startens des Motors nicht möglich, den Anstieg des Kraftstoffpumpenauswurfdrucks ausreichend anzuheben, und der Druck ist nicht in der Lage, den Einspritzventilöffnungsdruck zu überschreiten, so dass eine Kraftstoffeinspritzung nicht möglich ist.

[0006] Demzufolge ist ein anderer Mechanismus erforderlich, um den Gasmotor, der den Pilotkraftstoff als die Zündquelle verwendet, zu starten.

[0007] Das US Patent 5,222,993 offenbart einen Magerverbrennungsgasmotor mit einer Vorkammer, die mit sowohl einer Zündkerze als auch einem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattet ist.

[0008] Die DE 40 42 325 A1 und die DE 196 21 297 C1 offenbaren weitere Magerverbrennungsgasmotoren mit Vorkammern, die mit einem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattet sind.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Dementsprechend sieht die vorliegende Erfindung einen Magerverbrennungsgasmotor vor, wie er im beigefügten Anspruch 1 aufgeführt ist.

[0010] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den Magergasmotor mittels Funkenzündung von einer Zündkerze zu starten. Alternativ kann gemäß dem Magerverbrennungsgasmotor der vorliegenden Erfindung die Verbrennung des Kraftstoffluftgemischs innerhalb der Hauptbrennkammer mittels einer mit einer Zündkerze ausgestatteten Vorkammer und einer mit einem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestatteten Vorkammer als Zündquellen durchgeführt werden, indem die mit einer Zündkerze ausgestattete Vorkammer und die mit einem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammer angenähert gleichzeitig, etwas vor- oder etwas nacheinander während des selben Verbrennungszyklus betätigt

werden.

[0011] Zusätzlich kann die vorgenannte Zündkerze innerhalb einer mit einer Zündkerze ausgestatteten Vorkammer, die in dem Zylinderkopf vorgesehen ist, positioniert sein.

[0012] Ferner kann in dem Magerverbrennungsmotor gemäß der vorliegenden Erfindung eine extrem kompakte Pumpe im Vergleich zu Pumpen, die in herkömmlichen Dieselmotoren verwendet werden, als Kraftstoffeinspritzpumpe verwendet werden, die an das Pilotkraftstoffeinspritzventil der mit dem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestatteten Vorkammer angeschlossen ist, da die Pilotölmenge außerordentlich klein ist. Daher kann die Kraftstoffeinspritzpumpe in einem Deckel der Kurbelgehäusenockenkammer ohne umfangreiche Umkonstruktion installiert werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0013] **Fig. 1** ist ein Diagramm, das eine Querschnittseitenansicht der wesentlichen Komponenten eines Gasmotors gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0014] **Fig. 2** ist ein Draufsichtdiagramm, das den installierten Zustand einer Kraftstoffeinspritzpumpe in dem Gasmotor gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0015] **Fig. 3** zeigt eine Ansicht entlang dem Pfeil III-III von **Fig. 2**.

[0016] **Fig. 4** ist ein Kenndiagramm zur Erläuterung der Leistung des Gasmotors gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0017] **Fig. 5A** ist ein Kenndiagramm zur Erläuterung der Leistung des Motors gemäß der vorliegenden Erfindung und vergleicht die Rate der Wärmefreisetzung des Modells mit einzelner Brennkammer und eines Modells mit Vorkammer.

[0018] **Fig. 5B** ist ein Draufsichtdiagramm, das die Zündkerzenanordnung in dem in **Fig. 5A** gezeigten Motor zeigt.

[0019] **Fig. 6** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Brenngasdrucksteuersystems in dem Motor der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0020] **Fig. 7** ist ein Diagramm, das ein Beispiel des Motorstopps während des Motorstarts zeigt.

[0021] **Fig. 8** ist ein Diagramm, das eine Querschnittseitenansicht der wesentlichen Komponenten eines Gasmotors gemäß einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0022] **Fig. 9** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Brenngasdrucksteuersystems in dem Motor der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0023] **Fig. 10** ist ein Blockdiagramm, das das Betriebssteuerungssystem des Motors der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0024] **Fig. 11** ist ein Diagramm, das die Brenngasdruckbedingungen zum Starten des Motors zeigt.

[0025] **Fig. 12A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Zustands zeigt, worin der Motor gestartet wird, gemäß dem Motor der vorliegenden Erfindung.

[0026] **Fig. 12B** ist ein Diagramm, das ein anderes Beispiel des Zustands zeigt, in dem der Motor gestartet wird, gemäß dem Motor der vorliegenden Erfindung.

[0027] **Fig. 13** ist ein Diagramm, das die Zylinderabgastemperatur während Lastbetriebs gemäß dem Motor der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0028] **Fig. 14** ist ein Diagramm, das die Rate der Wärmefreisetzung während des Lastbetriebs zeigt.

[0029] Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführung. Im folgenden werden die Ausführungen der vorliegenden Erfindung im Detail in Bezug auf die Figuren erläutert.

Erste Ausführung

[0030] **Fig. 1** ist eine Querschnittseitenansicht, die den Zylinderkopfabschnitt eines Gasmotors gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigt. In der Figur sind ein Zylinder **2**, eine Zylinderlaufbuchse **2a**, ein Kolben **3**, ein Zylinderkopf **4** und eine Hauptbrennkammer **1** vorgesehen. Die Hauptbrennkammer **1** ist von dem Kolben **3**, der Zylinderlaufbuchse **2a** und dem Zylinderkopf **4** umgeben. Eine mit einer Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** ist in der Mitte des Zylinderkopfs **4** ausgebildet, und eine mit einem Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammer **30** ist an jeder Seite davon vorgesehen.

[0031] Die mit einer Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** (nachfolgend einfach als "mit Zündkerze ausgestattete Vorkammer" bezeichnet) ist aufgebaut, in dem der Zylinderkopf **4** mit einem Vorkammerkörper **14** und einer Vorkammerbasis **13** kombiniert wird. Ein Brenngas (Pilotgas) wird der Vorkammer **12**, die in dem Vorkammerkörper **14** aufgenommen ist, über eine Kraftstoffeinspritzöffnung **15** direkt zugeführt. Die Hauptbrennkammer **1** und die Vorkammer **12** stehen über eine Mehrzahl von Verbindungsdurchgängen **17** in Verbindung, die am Unterende der Vorkammer **12** als Strahldüse vorgese-

hen sind. Zusätzlich ist die Vorkammerbasis **13** mit einer Zündkerze **11** ausgestattet, die als Zündquelle für das Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Vorkammer **12** dient. Um darüber hinaus das NO_x des Abgases auf einen extrem niedrigen Wert zu senken, muss der Volumenanteil (der Prozentsatz vom gesamten Brennkammervolumen am oberen Totpunkt während der Kompression) der Vorkammer **12** auf angenähert einige wenige Prozent gesteuert werden.

[0032] Im Hinblick auf die Vorkammereinheit **30**, die mit dem Kraftstoffeinspritzventil ausgestattet ist (nachfolgend einfach als "mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammer" genannt) ist das Pilotkraftstoffeinspritzventil **32**, das das Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Vorkammer **13** mittels der Einspritzung eines Pilotkraftstoffs zündet, so installiert, dass es zur Innenseite der Vorkammer **31** weist. Zusätzlich stehen die Hauptverbrennungskammer **1** und die Vorkammer **31** mittels eines einzigen oder einer Mehrzahl von Verbindungsdurchgängen **33** miteinander in Verbindung, die am Unterende der Vorkammer vorgesehen sind.

[0033] Falls der Motor gestartet wird, wird die mit Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** als die Hauptzündquelle verwendet. In anderen Worten, es wird kein Dieselstart durchgeführt, und daher ist es möglich, die mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30** zu verringern. Ferner ist durch die Begrenzung der Pilotölmenge auf angenähert 0,2 ~ 5% des gesamten Heizwerts möglich, den Volumenprozentsatz der Vorkammer **31** auf angenähert 1 ~ 3% des gesamten Brennkammervolumens zu verringern. Demzufolge kann eine mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30** an jeder Seite des Zylinderkopfs **4** angeordnet werden. Dieser Aspekt unterscheidet sich stark von den 20 ~ 30% Volumenprozentsatz, das von den Vorkammern eines herkömmlichen Vorkammerdieselmotors belegt wird.

[0034] Zusätzlich ist, wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt, die Kraftstoffeinspritzpumpe, die an das Pilotkraftstoffeinspritzventil **32** angeschlossen ist, im Deckel der Kurbelgehäusenockenkammer installiert. In den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind ein Kurbelgehäuse **50**, eine Nockenwelle **51**, eine Kurbelgehäusedeckfläche **52**, ein Nockenwellendeckel **53**, ein Nockenoberflächeninspektionsfenster **54** sowie eine Kraftstoffeinspritzpumpe **60** vorgesehen, wobei die Kraftstoffeinspritzpumpe **60** in dem Nockenwellendeckel **52** vorgesehen ist. Gemäß der vorliegenden Ausführung kann eine extrem kompakte Kraftstoffeinspritzpumpe **60** installiert werden, wenn man dies mit Pumpen vergleicht, die in herkömmlichen Dieselmotoren verwendet werden, da die Pilotölmenge eine extrem kleine Menge von angenähert 0,2 ~ 5% in Bezug auf die Nenn-Einspritzmenge ist, wenn man einen Dieselmotor annimmt. In dieser Konstruktion kann die Kraft-

stoffeinspritzpumpe **60** installiert werden, ohne irgendeine besondere Modifikation des Kurbelgehäuses vorzunehmen.

[0035] Im folgenden wird jeder der verschiedenen Betriebsmodi, die der vorgenannte Magerverbrennungsgasmotor ausführen kann, erläutert.

[0036] Es gibt vier mögliche Betriebsmodi:
 (1) den Funkenzündungs-Vorkammer-Gasmotor;
 (2) ein Pilotzündungs-Gasmotor;
 (3) ein Dualzündungs-Gasmotor, nämlich Funkenzündung und Pilotzündung.

[0037] Die vorgenannten Betriebsmodi können optional gewählt werden. Es existieren eine Mehrzahl von Zündquellen und Prozessen. Jedoch sind die vorgenannten Parallelprozesse, um hierdurch die Zuverlässigkeit der Zündquelle zu erhöhen.

(1) Betriebsmodus für Funkenzündung:

[0038] Gemäß diesem Betriebsmodus wird nur Gasbrennstoff (Gas) als Kraftstoff verwendet, und die mit Zündkerze ausgestattete Vorkammer wird als Zündquelle für das Kraftstoffluftgemisch verwendet, das Luft und den Gasbrennstoff innerhalb der Hauptbrennkammer umfasst.

[0039] Genauer gesagt, wird von der zweiten Hälfte des Auslassprozesses bis zur ersten Hälfte des Ansaugprozesses ein Pilotgas von der Kraftstoffeinspritzöffnung **15** der mit Zündkerze ausgestatteten Vorkammereinheit **10** der Vorkammer **12** zugeführt. Dieses Pilotgas wird mittels der Druckdifferenz zwischen dem Druck in der Pilotgasleitung (in der Figur nicht gezeigt) und dem Druck innerhalb der Hauptbrennkammer **1** zugeführt; die Menge des Pilotgases wird durch Ändern der vorgenannten Druckdifferenz eingestellt.

[0040] Zusätzlich wird während des Ansaugtakts das Magergemisch, das das Brenngas und die Luft enthält, der Hauptbrennkammer **1** zugeführt. Dieses Magergemisch innerhalb der Hauptbrennkammer **1** wird durch den Verdichtungstakt mittels des Kolbens **3** verdichtet. In Folge dessen fließt ein Teil des Magergemischs durch den Verbindungsdurchgang **17** in die Vorkammer **12**. Hierbei werden das Brenngas innerhalb der Vorkammer **12** und das Magergemisch vermischt, so dass das mittlere Überschussluftverhältnis angenähert 1,0 erreicht. An dieser Stelle wird eine Funkenentladung in dem Spalt zwischen den Zündkerzen **11** erzeugt, und das Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Vorkammer **12** wird Funkenzündet. Die in der Vorkammer **12** verbrannte brennende Flamme pflanzt sich dann über den Verbindungsdurchgang **17** zur Hauptbrennkammer **1** fort, um hierdurch die Zündquelle für das Kraftstoffluftgemisch in der Hauptbrennkammer **1** zu bilden. In Folge

dessen wird das gesamte Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Hauptbrennkammer **1** verbrannt.

(2) Betriebsmodus für die Zündung mittels Pilotkraftstoffeinspritzung:

[0041] Gemäß diesem Betriebsmodus wird Gas als der Hauptbrennstoff verwendet, und als Hilfsbrennstoff wird eine kleine Menge von Flüssigkraftstoff als der Pilotkraftstoff verwendet. Während des Ansaugtakts wird das Magergemisch, das das Brenngas und Luft umfasst, der Hauptbrennkammer **1** zugeführt. Dieses Magergemisch innerhalb der Hauptbrennkammer **1** wird in dem Verdichtungsprozess mittels des Kolbens **3** verdichtet. In Folge dessen fließt ein Teil des Magergemischs über den Verbindungsdurchgang **33** in die Vorkammer **31**. An dieser Stelle wird unmittelbar vor dem oberen Totpunkt, wo der Kurbelwinkel angenähert $10 \sim 30^\circ$ wird, eine kleine Ölkraftstoffmenge (Pilotöl) von dem Pilotkraftstoffeinspritzventil **32** in die Vorkammer **31** eingespritzt. Wenn dies stattfindet, wird der eingespritzte Kraftstoff gezündet und dient dann als Zündquelle für die Zündverbrennung des Kraftstoffluftgemischs. Die Flamme von der Verbrennung in der Vorkammer **31** pflanzt sich dann in die Hauptverbrennungskammer **1** über den Verbindungsdurchgang **33** fort, um hierdurch die Zündquelle für das Kraftstoffluftgemisch in der Hauptbrennkammer **1** zu bilden. Auf diese Weise wird das gesamte Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Hauptbrennkammer **1** verbrannt.

[0042] In [Fig. 4](#) werden, unter Verwendung des vorgenannten Motors, die Ergebnisse (Relationen zwischen dem thermischen Bremswirkungsgrad und NO_x, und Rauchindex) bei der Durchführung von Leistungsexperimenten bei Änderung der Pilotkraftstoffölmenge anhand jedes Kraftstoffmodelltyps verglichen und gezeigt (Dual-Kraftstoffmotor, Dieselmotor, Vorkammer-Funkenzündungsgasmotor). Wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich, werden gemäß dem vorgenannten Motor der vorliegenden Erfindung sogar in dem Fall der Pilotkraftstoffeinspritzung die Abgaseigenschaften (das NO_x und Rauchindex) auf einem Niveau, das angenähert jenes von Funkenzündungsgasmotoren entspricht, erreicht, zusammen mit dem thermischen Wirkungsgrad, der höher ist als der der Funkenzündung und auf dem gleichen Niveau liegt wie dem eines Dieselmotors.

[0043] Ferner wird im Falle der Pilotkraftstoffeinspritzung ein Pilotgas für die mit Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** unnötig. Weil darüber hinaus die Pilotölmenge auf angenähert 0,2 ~ 5% der gesamten Wärmemenge begrenzt werden kann, gibt es keine nachteiligen Auswirkungen auf die Steuerung sogar dann, wenn eine kontinuierliche Einspritzung durchgeführt wird. Demzufolge ist es möglich, die Zahnstange der Kraftstoffeinspritzpumpe zu fixieren, wodurch komplizierte Koppelmechanismen un-

nötig werden. Schließlich wird die Regelung (Drehzahlregelung) während des Motorbetriebs durch Einstellung der Brenngasmenge mittels des Motorfliehkraftreglers durchgeführt.

(3) Hybridzündungs-Gasmotor-Betriebsmodus:

[0044] Gemäß diesem Betriebsmodus wird in dem gleichen Verbrennungszyklus das Kraftstoffluftgemisch innerhalb der Hauptbrennkammer **1** verbrannt, in dem eine zentrale mit Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** und die an jeder Seite davon angeordneten mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestatteten Vorkammereinheiten **30** als Zündquellen angenähert gleichzeitig oder abwechselnd vor- oder nacheinander betrieben werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Verbrennung des Kraftstoffluftgemischs mittels einer Mehrpunktzündung zu fördern. Ferner ist es durch optimale Einstellung **(1)** der Funkenzünddauer dieser Zündquellen, **(2)** der Dauer der Pilotkraftstoffeinspritzung und **(3)** der Einspritzmenge möglich, die Brennfähigkeit des Kraftstoffluftgemischs zu verbessern und auch in folge der verkürzten Verbrennungsdauer thermischen Wirkungsgrad zu verbessern. Diese Effekte der Verkürzung der Verbrennungsdauer mittels der Mehrpunktzündung im Falle des Betriebs des Hybridzündungs-Gasmotormodus kommen auch hinzu.

[0045] [Fig. 5A](#) ist ein Diagramm, das die experimentellen Ergebnisse zeigt, die man erhält, wenn man die Wärmefreisetzungsrate von einem Einzelbrennkammerverfahren (Verfahren, das nur eine Hauptbrennkammer ohne Vorkammer beinhaltet) und einem Vorkammerverfahren (d. h. im Falle des vorliegenden Beispiels) vergleicht. In [Fig. 5A](#) sind sowohl ein Vorkammerverfahren PCC als auch ein Einzelbrennkammerverfahren OC gezeigt. Im Falle eines OC wird ein weiterer Vergleich durchgeführt, der den Fall einer Zündkerze (OC (1 Zündkerze)) und zwei Zündkerzen (OC(2 Zündkerzen)) vergleicht. Während des Experiments waren die ersten und zweiten Zündkerzen A, B jeweils zentral und zur Seite hin angeordnet, wie in [Fig. 5B](#) gezeigt. Im Fall einer einzigen Zündkerze wurde nur die zentrale Zündkerze A verwendet, während im Falle der zwei Zündkerzen beide Zündkerzen A und B angewendet wurden.

[0046] Die in [Fig. 5](#) gezeigten Muster der Wärmefreisetzungsrate zeigen, dass die Mehrpunktzündung (d. h. im Falle von 2 Zündkerzen) sowie die aus starker Zündung erzeugte Energie (d. h. im Fall der Verwendung einer Vorkammer PCC als Zündquelle) wirksam sind, eine rasche Verbrennung zu erreichen. In anderen Worten, wenn zwei Zündkerzen verwendet werden (in der Figur mit den abwechselnd lang und kurz gestrichelten Linien dargestellt) ist nach dem oberen Totpunkt die Wärmefreisetzungsrate in der Zeit, in der sich der Kurbelwinkel 40° annähert, abge-

schlossen, was eine kürzere Verbrennungsdauer repräsentiert, im Vergleich zu jener, die man mit einer einzigen Zündkerze hält (in der Figur mit der gestrichelten Linie angegeben). Zusätzlich ist gemäß dem Vorkammerverfahren (in der Figur mit der durchgehenden Linie angegeben), die eine noch stärkere Zündenergie besitzt, nach dem oberen Totpunkt die Wärmefreisetzung in der Zeit abgeschlossen, in der sich der Kurbelwinkel 30° annähert, was eine noch kürzere Zünddauer repräsentiert. Demzufolge ist, wie aus der vorliegenden Ausführung ersichtlich, möglich, eine rasche Verbrennung durch Anordnung mehrerer Zündquellen zu erreichen, z.B. durch Anordnung von drei Vorkammern, die eine starke Zündenergie besitzen. Zusätzlich trägt eine kurze Verbrennungsdauer zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads bei, und daher wird auch der thermische Wirkungsgrad verbessert.

[0047] Wenn man übrigens die Zündenergien vergleicht, so werden im Falle der Verwendung nur einer Zündkerze angenähert 0,1 J erzeugt; jedoch wird im Falle der Piloteinspritzung, wenn das Öl in dem Pilotkraftstoff 1% des gesamten Heizwerts beträgt, die erzeugte Energie angenähert 600J. Dies zeigt an, dass die Mehrpunktzündung, die durch die mit Zündkerze ausgestattete Vorkammer **10** und die mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammern **30** wesentlich zu Verbesserung der Verbrennung beitragen.

[0048] In Wirklichkeit ist es nach dem Start des Motors durch Funkenzündung gewünscht, während Belastung gemeinsam die Funkenzündung und die Piloteinspritzzündung zu verwenden. Dementsprechend ist es möglich, das NOx niedrig zu halten, was den Vorteil der geringen Verschmutzung des Gasmotors nutzt, um einen hohen thermischen Wirkungsgrad des Motors zu erreichen. Jedoch gibt es keine Probleme mit dem Betrieb, selbst wenn während Belastung die Funkenzündung gestoppt wird.

[0049] Ferner ist in der vorliegenden Ausführung einer Anordnung beschrieben, worin die mit Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheit **10** zentral angeordnet ist, während die mit Kraftstoffeinspritzventil ausgestatteten Vorkammereinheiten **30** an jeder Seite davon angeordnet sind. Jedoch ist es auch möglich, die mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30** zentral anzuordnen, und mit Zündkerze ausgestattete Vorkammereinheiten **10** an jeder Seite davon anzuordnen.

[0050] Jedoch gibt es in dem Motor gemäß der vorgenannten Ausführung Fälle, worin eine Fehlzündung auftreten könnte. Dies beruht auf der Tatsache, dass der Flammkern, der mittels Funken gebildet wird, die über dem Rand zwischen den Zündkerzen **11** fliegen, gelöscht werden könnte und das Magergemisch, das von der Hauptbrennkammer **1** in die

Vorkammer **12** eindringt, während des Verdichtungsakts direkt auf die Zündkerzen **11** mit einer Geschwindigkeit von angenähert 100 m/s trifft. Um dieses Problem zu lösen, muss die Konzentration des Kraftstoffluftgemischs in der Nähe der Zündkerzen **11** eng reguliert werden. Jedoch kann eine Ungleichmäßigkeit der Kraftstoffluftgemischkonzentration in Folge des Eindringens des Magergemischs in die Vorkammer **12** von der Hauptbrennkammer **1** nicht vermieden werden, und daher bleiben die Schwierigkeiten mit der Zündung noch immer so wie zuvor.

[0051] [Fig. 6](#) zeigt ein Beispiel eines Steuermechanismus zum Regulieren der Brenngasmenge. Gemäß dieser Struktur steht ein Hauptbrenngasrohr **42**, das mit zwei Gasdruckregelventilen **40**, **41** ausgestattet ist, über ein Ausgleichsventil **43** mit der Hauptbrennkammer **1** in Verbindung; das Hauptrohr **70** für Pilotgas, das über Druckregler **45**, **46** und **47** und Rückschlagventile **48** und **49** reguliert ist, steht über ein Rückschlagventil **71** mit der Vorkammer **12** in Verbindung. Zusätzlich wird Luft in die Hauptbrennkammer **1** von einem Ladeluftverteiler **44** zugeführt. Ein Ladeluftdruck in dem Ladeluftverteiler **44** wird in die Druckregler **45**, **46** und **47** geladen, um eine Steuerfunktion zu bedienen. Darüber hinaus wird das Gasdruckregelventil **41** mittels des Fliehkraftreglers **72** geregelt.

[0052] Wenn in dem Mechanismus, der die vorgenannte Struktur besitzt, die Brenngasmenge (d. h. die Pilotgasmenge), die der Vorkammer **12** direkt zugeführt wird, ungenügend ist, könnte der Motor aufgrund einer Fehlzündung stehen bleiben, die auch während des Anstiegs der Motordrehzahl auftreten könnte, wie in [Fig. 7](#) gezeigt. Ein Beispiel des Motorstopps ist in [Fig. 7](#) gezeigt, worin bei angenähert 500 UpM, der Motor in Folge der Zunahme der Luftkraftstoffgemischkonzentration in der Nähe der Zündkerzen **11** stehen bleibt, was zu einer Fehlzündung an dem Einstrom einer großen Pilotgasmenge in die Vorkammer führt (d. h. ΔP , das die Druckdifferenz zwischen dem Druck des Pilotgashauptrohrs **70** und dem Druck des Ladeluftverteilers **44** in der in [Fig. 6](#) gezeigten Struktur repräsentiert, ist hoch).

[0053] Um daher diesen Motorstop aus einer Fehlzündung heraus zu verhindern und ein glattes Starten des Motors sicher zu stellen, haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung den unten beschriebenen Motor in der zweiten Ausführung vorgeschlagen.

Zweite Ausführung

[0054] Die zweite Ausführung der vorliegenden Erfindung ist in den [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) gezeigt. In diesen Figuren sind die Elemente, die die gleichen Strukturen wie die in den [Fig. 1](#) ~ [Fig. 6](#) gezeigten haben, mit den gleichen Zahlen bezeichnet, und ihre Erläuterungen sind weggelassen.

[0055] In [Fig. 8](#) ist in der Mitte des Zylinderkopfs **4** eine Zündkerze **11** an der Oberfläche der Hauptbrennkammer **1** angeordnet, wobei eine mit einem Pilotkraftstoffeinspritzventil **32** ausgestattete Vorkammer **31** jeweils an jeder Seite davon angeordnet ist. Zusätzlich erfolgt die Regulierung der Brenngasmenge mittels eines in [Fig. 9](#) vereinfachten Mechanismus. Im Vergleich zu dem Motor der ersten Ausführung unterscheidet sich der Motor der vorliegenden Ausführung darin, dass er eine Zündkerze **11** aufweist, die in der Mitte des Zylinderblocks **4** angeordnet ist, bei Abwesenheit von Hilfsgeräten (z.B. Vorkammerbasis **13**, Vorkammerkörper **14**, Kraftstoffeinspritzöffnung **15** und Verbindungsdurchgänge **17**), und im Fehlen eines Pilotgaszufuhrsystems (Druckregler **45**, **46** und **47**; Rückschlagventile **48**, **49** und **71**, und Pilotgashauptrohr **70**), das unnötig geworden ist.

[0056] Ferner ist in der vorliegenden Ausführung eine Anordnung beschrieben, in der die Zündkerze **10** zentral angeordnet ist, wobei die mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestatteten Vorkammereinheiten **30** an jeder Seite davon angeordnet sind. Jedoch ist es auch möglich, die mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30** zentral anzuordnen und an der Seite davon eine Zündkerze **11** anzuordnen.

[0057] [Fig. 10](#) zeigt einen Betriebssteuerungsmechanismus zum Regeln des Motors der vorliegenden Erfindung. In [Fig. 10](#) sind eine Zündkerzenvorrichtung, die eine Zündkerze **11** verwendet, und eine mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30**, die Pilotöl verwendet, gemeinsam in der Zündquelle **100** verwendet. Gemäß dem Brenngassteuersystem **80** wird die Brenngasmenge durch Regulierung des Gasdruckregelventils **83** mittels des Motordrehzahlfliehkraftreglers **81** über einen Aktuator **82** eingestellt. Zusätzlich ist gemäß dem Verteilerdrucksteuerungssystem **90** ein Abgasturbolader **93** zwischen dem Luftzufuhrsystem und dem Auspuffsystem **92** vorgesehen. In diesem System wird die Regulierung des Verteilerdruckregelventils **94**, das in dem Luftzufuhrsystem **91** parallel zum Abgasturbolader **93** vorgesehen ist, mittels einer Luftkraftstoffverhältnisregelvorrichtung **95** über einen Aktuator **96** durchgeführt.

[0058] Im Falle dieses Motors wird der Motor mittels der Zündkerze **11** gestartet. In anderen Worten, es gibt keinen Dieselstart, und daher ist es in der gleichen Weise wie beim Motor der ersten Ausführung möglich, eine kompakte mit Pilotkraftstoffeinspritzventil ausgestattete Vorkammereinheit **30** bereitzustellen. Zusätzlich arbeitet das Pilotkraftstoffeinspritzsystem ab dem Start des Motors. Jedoch ist in Wirklichkeit der Start der Einspritzung von der Pilotölmenge abhängig, d. h. der Ventileinstellung der Zahnstange der Kraftstoffeinspritzpumpe, und kann

z.B. ab dem Punkt beginnen, wenn die Motordrehzahl $900 \sim 1000$ UpM erreicht, für den Fall, dass der Pilotölprozentatz 1% des gesamten Heizwerts beträgt. In diesem Fall beeinträchtigt dies die Regelung selbst während der kontinuierlichen Einspritzung nicht, da der Pilotölanteil angenähert $0,2 \sim 5\%$ des gesamten Heizwerts beträgt. Demzufolge ist es wegen der Einspritzmenge möglich, die Verzahnung der vorgenannten Kraftstoffeinspritzpumpe zu fixieren, ohne komplizierte Koppelmechanismen zu verwenden.

[0059] Bei dem Motor, der die vorgenannte Struktur besitzt, wird beim Start des Motors Kraftstoffluftgemisch, das das Brenngas und die in die Hauptbrennkammer **1** geförderte Luft umfasst, mittels Funkenzündung von der Zündkerze **11** fehlerlos gezündet. In Folge dessen startet der Motor glattgängig ohne Stopp des Motors während des Starts. Hierbei ist das Pilotkraftstoffeinspritzsystem in Betrieb, aber weil der Motor eine vorbestimmte Motordrehzahl nicht erreicht hat, zündet sie weder noch fungiert sie als Zündquelle.

[0060] Wenn anschließend der Motor eine vorbestimmte Motordrehzahl erreicht, die im Bezug auf eine eingestellte Pilotölmenge gesetzt ist (d. h. gemäß der Zahnstange der Kraftstoffeinspritzpumpe) beginnt die Zündung mittels der Pilotkraftstoffeinspritzung gemäß dem gleichen Prozess wie in dem Pilotenspritzbetriebsmodus **(2)** der ersten Ausführung. Dann erfolgt die Zündung auf der Basis der Pilotkraftstoffeinspritzung fehlerlos, und sobald der vorgenannte Vorgang in der Lage ist, als Zündquelle zu dienen, kann die Funkenentladung folgenlos gestoppt werden. Zusätzlich resultiert die Fortsetzung der vorgenannten Funkenentladung in der Förderung der Verbrennung mittels Mehrpunktzündung wie im Falle der ersten Ausführung.

[0061] [Fig. 11](#) ist ein Diagramm, das man durch Auswertung des richtigen Brenngasdrucks beim Start des Motors gemäß der vorliegenden Ausführung erhält. Wie aus [Fig. 11](#) klar ersichtlich, zeigt, im Gegensatz zum richtigen Brenngasdruck von $0,05 \sim 0,15$ kgf/cm³ beim Start des Motors in dem Vorkammermodell, der richtige Brenngasdruckpegel gemäß der Formel der vorliegenden Erfindung einen höheren Pegel und einen breiteren Bereich von $0,1 \sim 0,3$ kgf/cm². Demzufolge ist es gemäß der vorliegenden Erfindung, im Vergleich zum Vorkammermodell, möglich, den Motorstart mit einer einfachen Vorrichtung zu steuern, da eine strikte Steuerung unter Verwendung einer Drucksteuervorrichtung ungünstig ist. Da ferner die Kraftstoffluftgemischkonzentration innerhalb der Hauptbrennkammer **1** aufgrund des Strömungsturbulenzeffekts der gesamten Brennkammer, der während des Ansaugverdichtungsakts erzeugt wird, angenähert gleichmäßig ist, wird die Zündung mittels der Zündkerze **11** viel leichter.

[0062] [Fig. 12A](#) und [Fig. 12B](#) zeigen Untersuchungsbeispiele der Motorstartcharakteristiken mittels eines Einzylindermotors mit einer Zylinderbohrung von 260 mm. Wie aus diesen Figuren ersichtlich, ist es möglich, den Motor auch dann zu starten, wenn der Gasdruck innerhalb des Brenngashauptrohrs **42** im Moment des Motorstartbetriebs rasch auf $0,48 \text{ kgf/cm}^2$ ansteigt (siehe [Fig. 12B](#)); ähnlich ist es möglich, den Motor auch dann zu starten, wenn die Brenngaszufuhr bei einem niedrigen Gasdruck von $0,01 \text{ kgf/cm}^2$ verzögert ist (siehe [Fig. 12A](#)). Diese Ergebnisse zeigen an, dass es während des Übergangszustands der Brenngasdruckeinstellung möglich ist, den Motor zu starten, auch wenn sich der vorgenannte Zustand ein wenig von dem in [Fig. 11](#) gezeigten richtigen Bereich unterscheidet, so dass winzige Brenngasdruckeinstellungen, wie etwa jene, die zum Starten des Vorkammermodells erforderlich sind, unnötig sind.

[0063] Ein Beispiel der Verbesserung der Brennfähigkeit mittels Mehrpunktzündung mittels fortgesetzter Funkenzündung von der Zündkerze **11** nach Lastbetrieb ist in [Fig. 13](#) gezeigt. [Fig. 13](#) zeigt die Änderung der Abgastemperatur am Zylinderausgang bei niedriger Last von angenähert 25% der Betriebslastkapazität (BMEP $3,75 \text{ kgf/cm}^2$) in den jeweiligen Fällen der Fortsetzung und des Stops der Funkenzündung. Im Falle von [Fig. 3](#) fällt die Abgastemperatur aufgrund der Funkenzündung um angenähert 15°C . Dies resultiert aus der Minderung der thermischen Belastung des Auslassventils, was wiederum die Haltbarkeit des Ventils erhöht. Der Grund für den vorgenannten Abfall der Abgastemperatur wird nachfolgend im näheren Detail erläutert. Wenn man, wie in [Fig. 14](#) ersichtlich, die Wärmefreisetzungsrate bei jedem Kurbelwinkel vergleicht, besteht ein Abfall des Wärmeerzeugungsfaktors über $30 \sim 50^\circ$ nach dem oberen Totpunkt (Arbeitstakt), wenn die Funkenzündung fortgesetzt wird. Im Ergebnis nimmt in Antwort auf die Temperaturabfall von der vorgenannten Expansion der Anteil des Abgastemperaturabfall um den Betrag der verlorenen Wärmeerzeugung zu, was zu einer Minderung der Abgastemperatur am Zylinderauslass führt.

Patentansprüche

1. Magerverbrennungsgasmotor, der eine Antriebsleistung mittels Zufuhr und Verbrennung von Gasbrennstoff in einer Hauptbrennkammer (**1**) erhält, wobei der Motor umfasst:
eine Hauptbrennkammer (**1**), die von einem Kolben (**3**), einem Zylinder (**2**) und einem Zylinderkopf (**4**) umgeben ist; und
ein Paar von Vorkammern (**30**), deren jede mit einem jeweiligen Pilotkraftstoffeinspritzventil (**32**) ausgestattet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass eine Zündkerze (**11**) in der Mitte des Zylinderkopfs (**4**) angeordnet ist und

jede der Vorkammern (**30**) an einer jeweiligen Seite des Zylinderkopfs (**4**) angeordnet ist.

2. Magerverbrennungsgasmotor, der eine Antriebsleistung mittels Zufuhr und Verbrennung von Gasbrennstoff in einer Hauptbrennkammer (**1**) erhält, wobei der Motor umfasst:
eine Hauptbrennkammer (**1**), die von einem Kolben (**3**), einem Zylinder (**2**) und einem Zylinderkopf (**4**) umgeben ist; und
eine Vorkammer (**30**), in der ein Pilotkraftstoffeinspritzventil (**32**) vorgesehen ist,
dadurch gekennzeichnet, dass der Motor ferner ein Paar von Zündkerzen (**11**) aufweist, worin die Vorkammer (**30**) in der Mitte des Zylinderkopfs (**4**) angeordnet ist und jede der Zündkerzen (**11**) an einer jeweiligen Seite des Zylinderkopfs (**4**) angeordnet ist.

3. Magerverbrennungsgasmotor nach Anspruch 1 oder 2, worin die Zündkerze (**11**) innerhalb einer im Zylinderkopf (**4**) vorgesehenen mit Zündkerze ausgestatteten Vorkammer (**11**) angeordnet ist.

4. Magerverbrennungsgasmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, der ferner eine Kraftstoffeinspritzpumpe (**60**) aufweist, die an das Pilotkraftstoffeinspritzventil (**32**) angeschlossen ist, worin die Kraftstoffeinspritzpumpe in einem Deckel einer Kurbelgehäusenockenkammer installiert ist.

5. Magerverbrennungsgasmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin der Motor mittels Funkenzündung von der Zündkerze (**11**) gestartet wird.

6. Magerverbrennungsgasmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin die Verbrennung des Kraftstoffluftgemischs innerhalb der Hauptbrennkammer (**1**) unter Verwendung der Zündkerze (**11**) und der Vorkammer (**30**) als Zündquellen durchgeführt wird, indem die Zündkerze (**11**) und das Pilotkraftstoffeinspritzventil (**2**) angenähert gleichzeitig, etwas vordere oder etwas nacheinander, während des selben Verbrennungszyklus betrieben werden.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

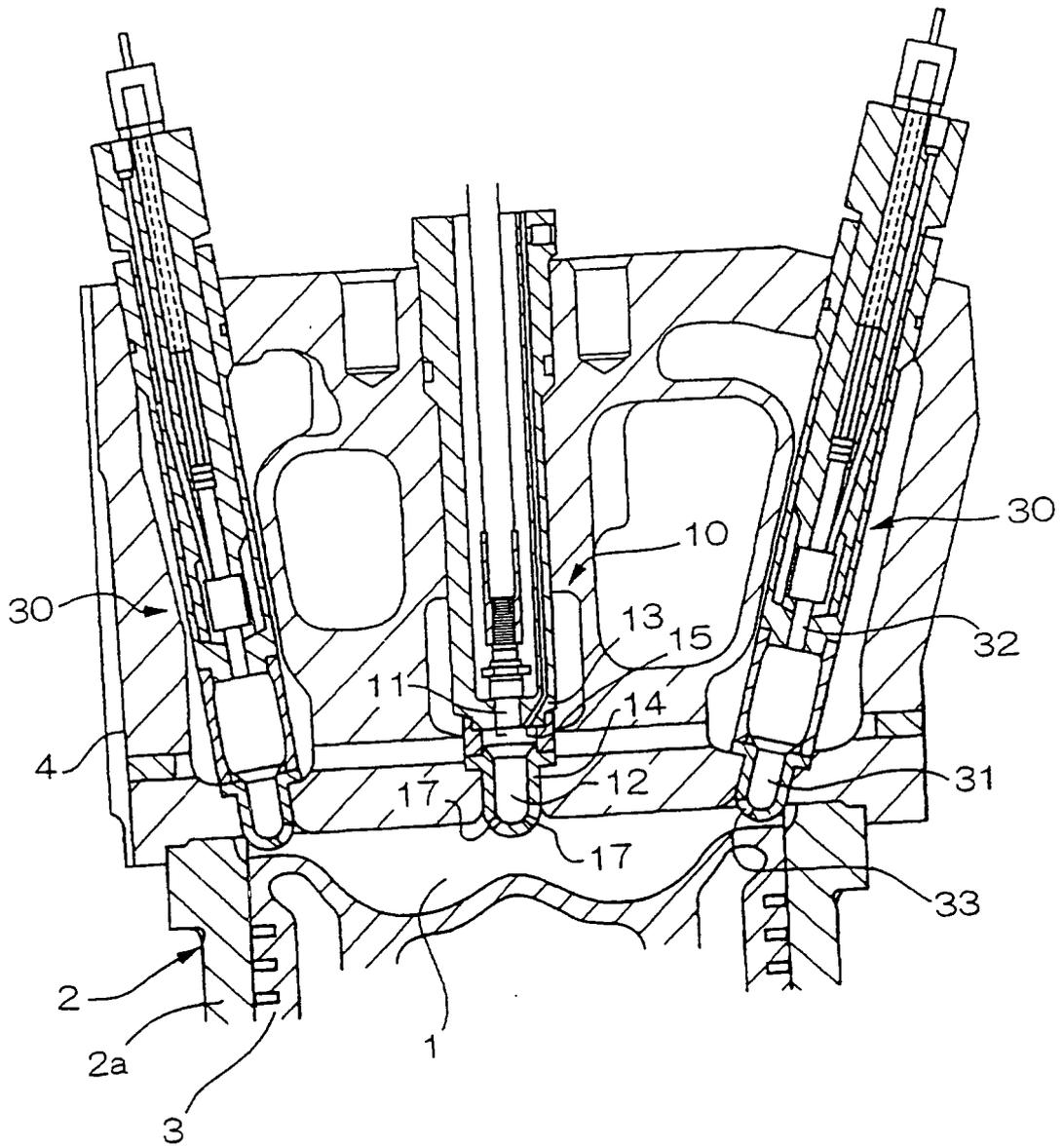


FIG. 2

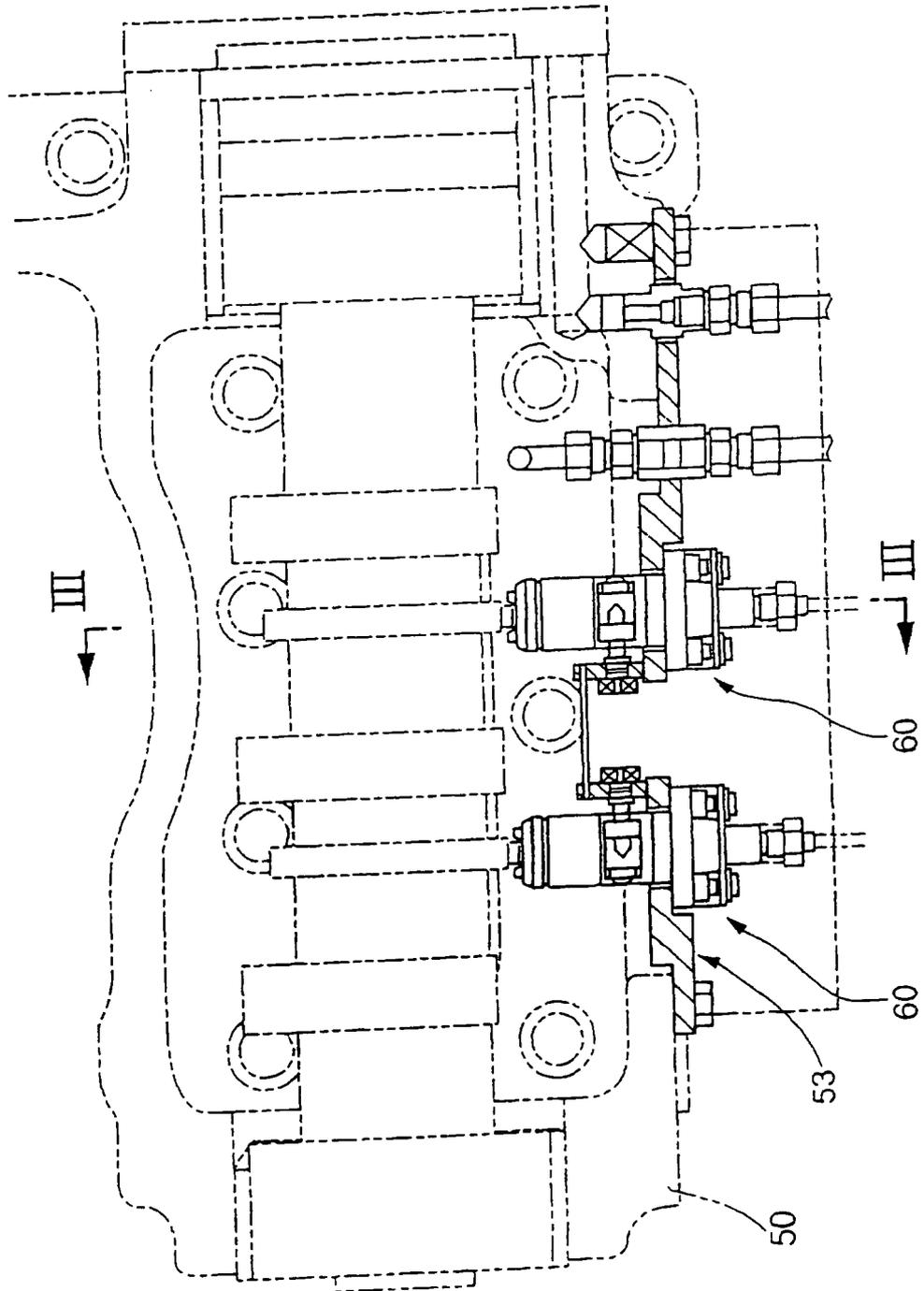


FIG. 3

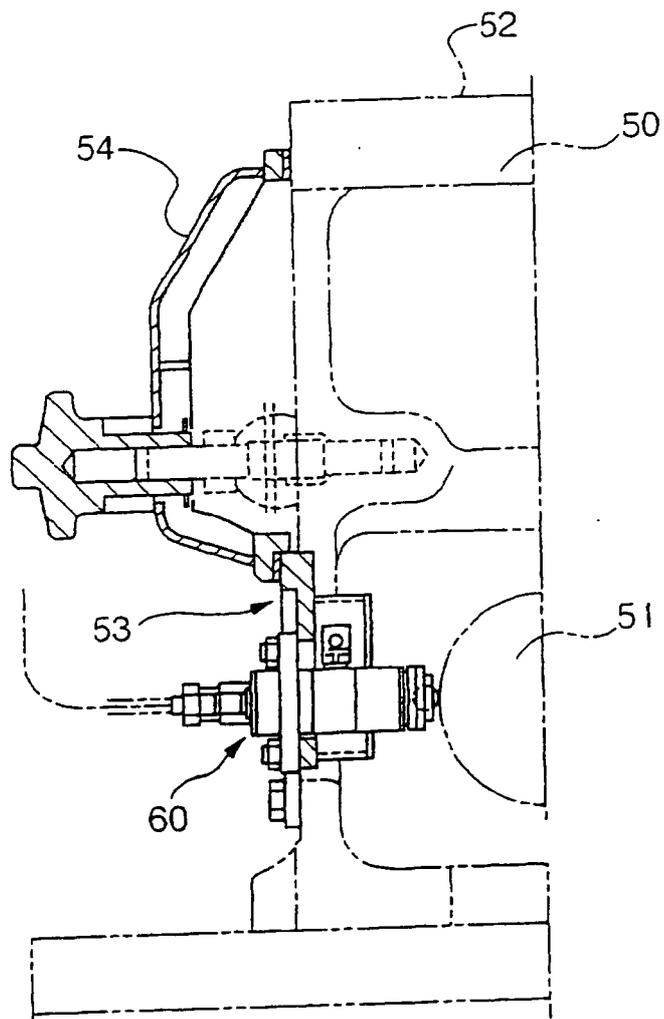


FIG. 4

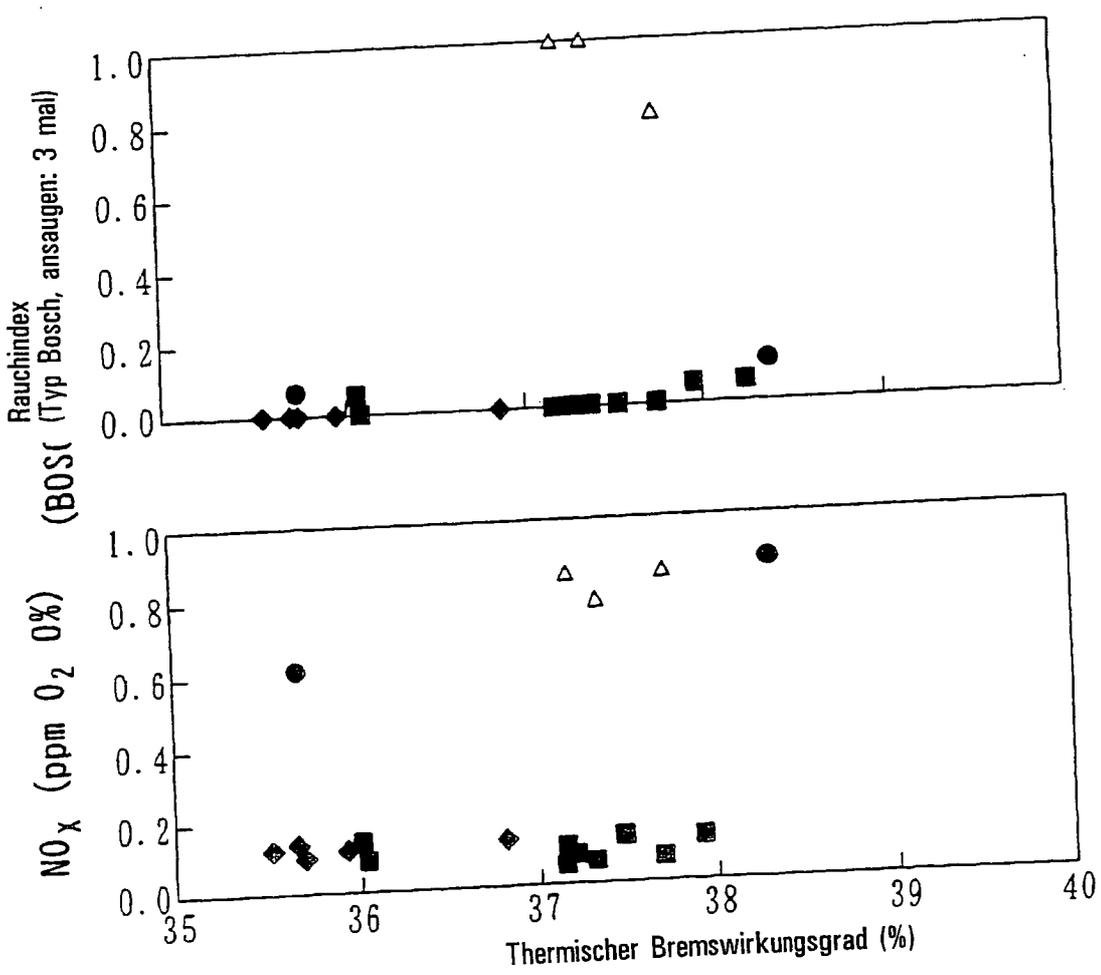
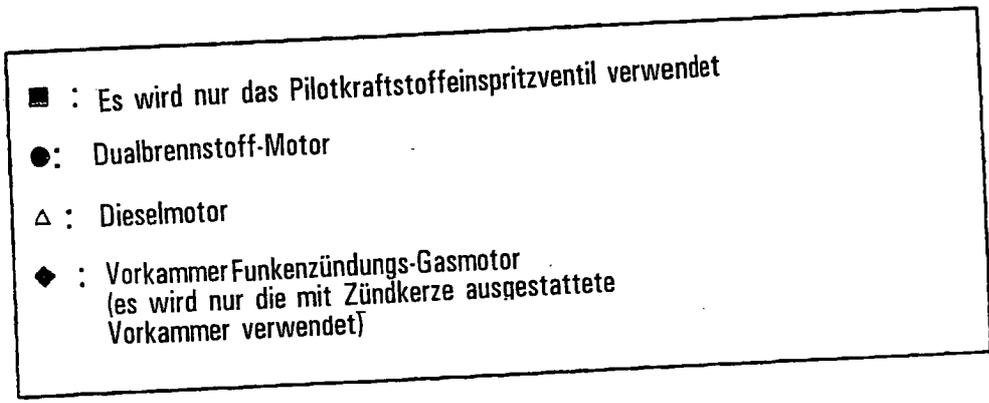


FIG. 5A

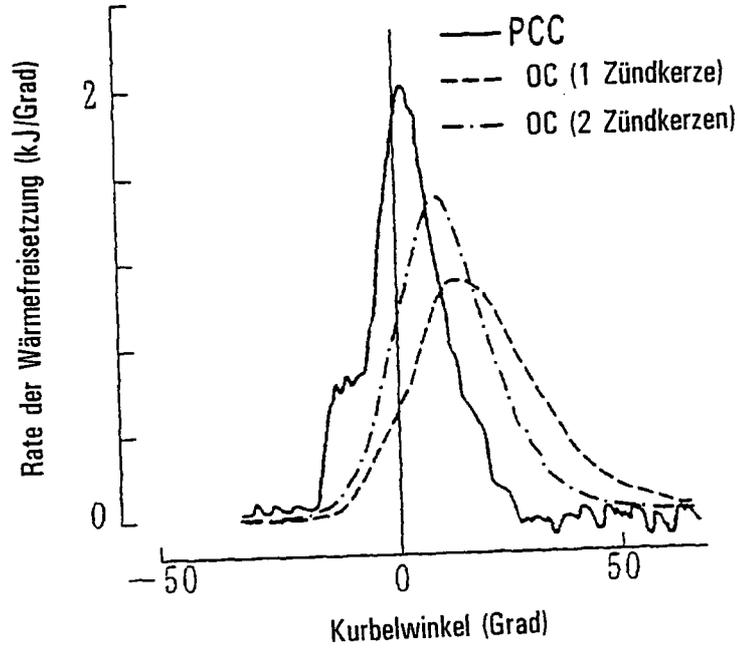


FIG. 5B

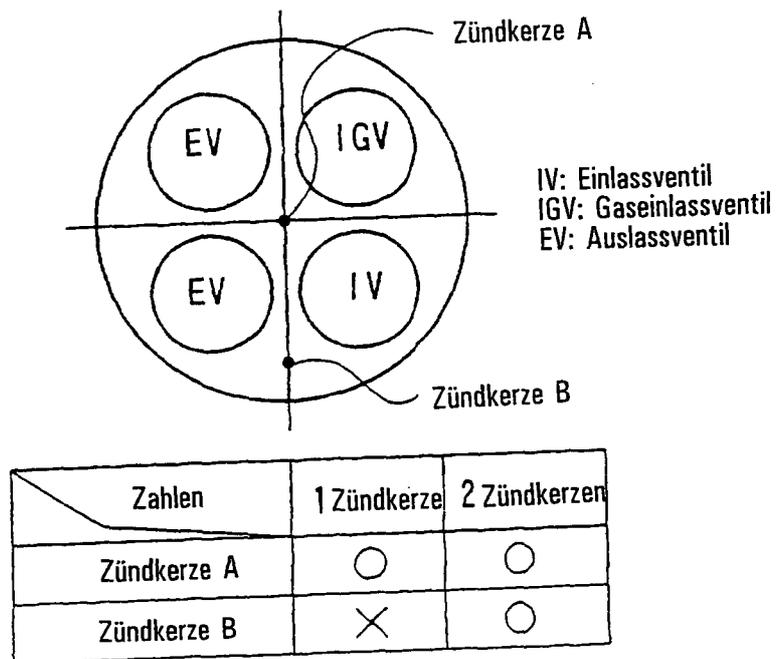


FIG. 6

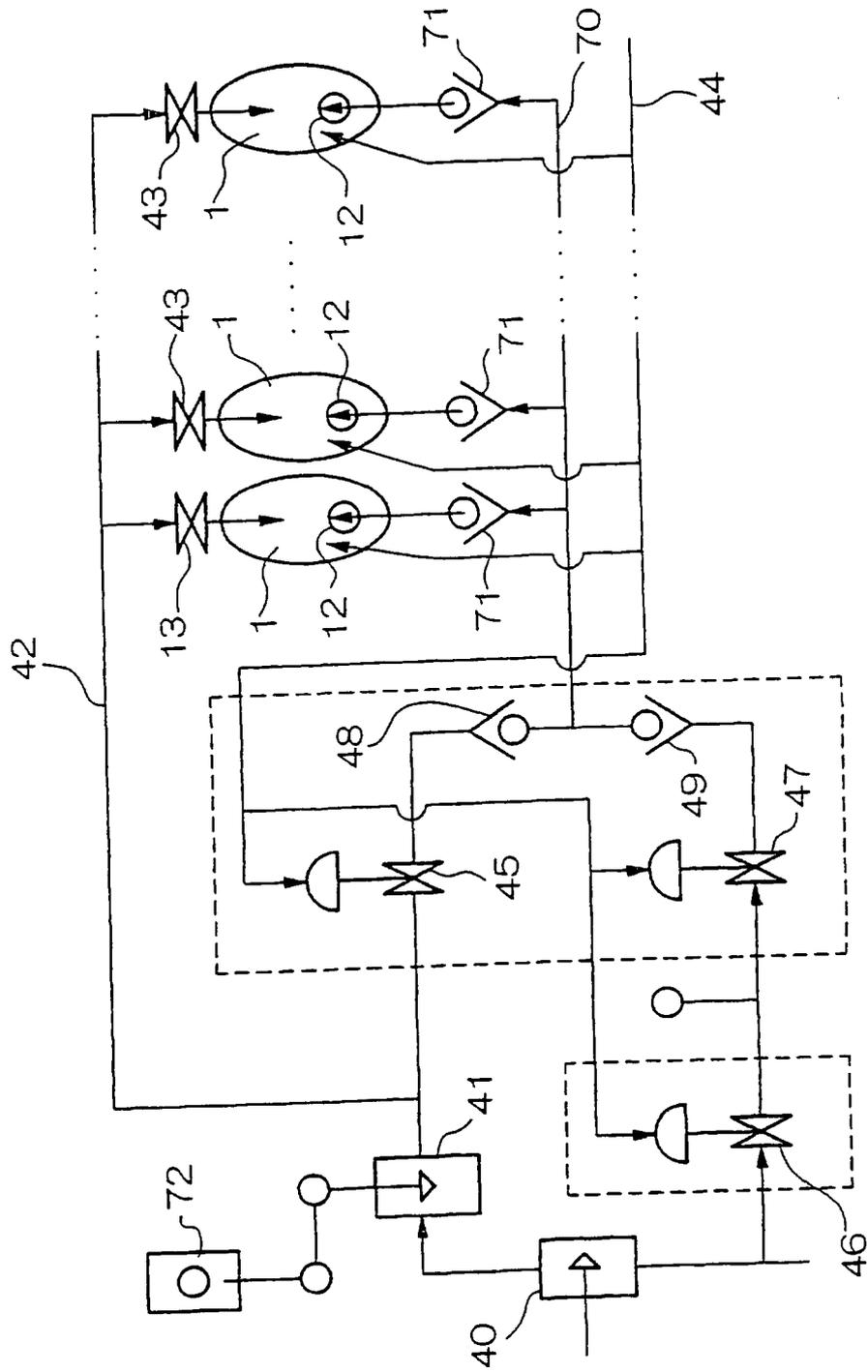


FIG. 7

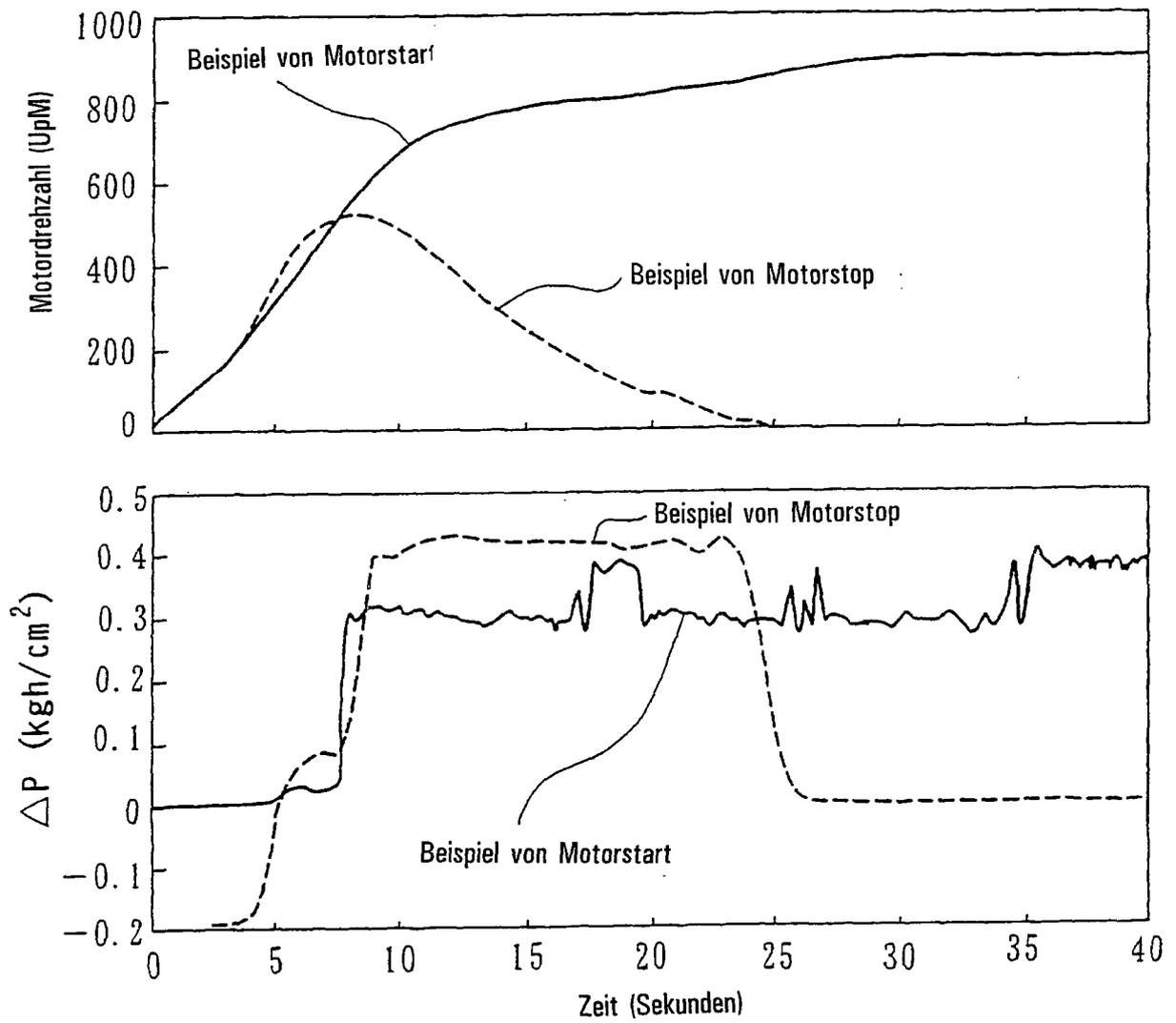


FIG. 8

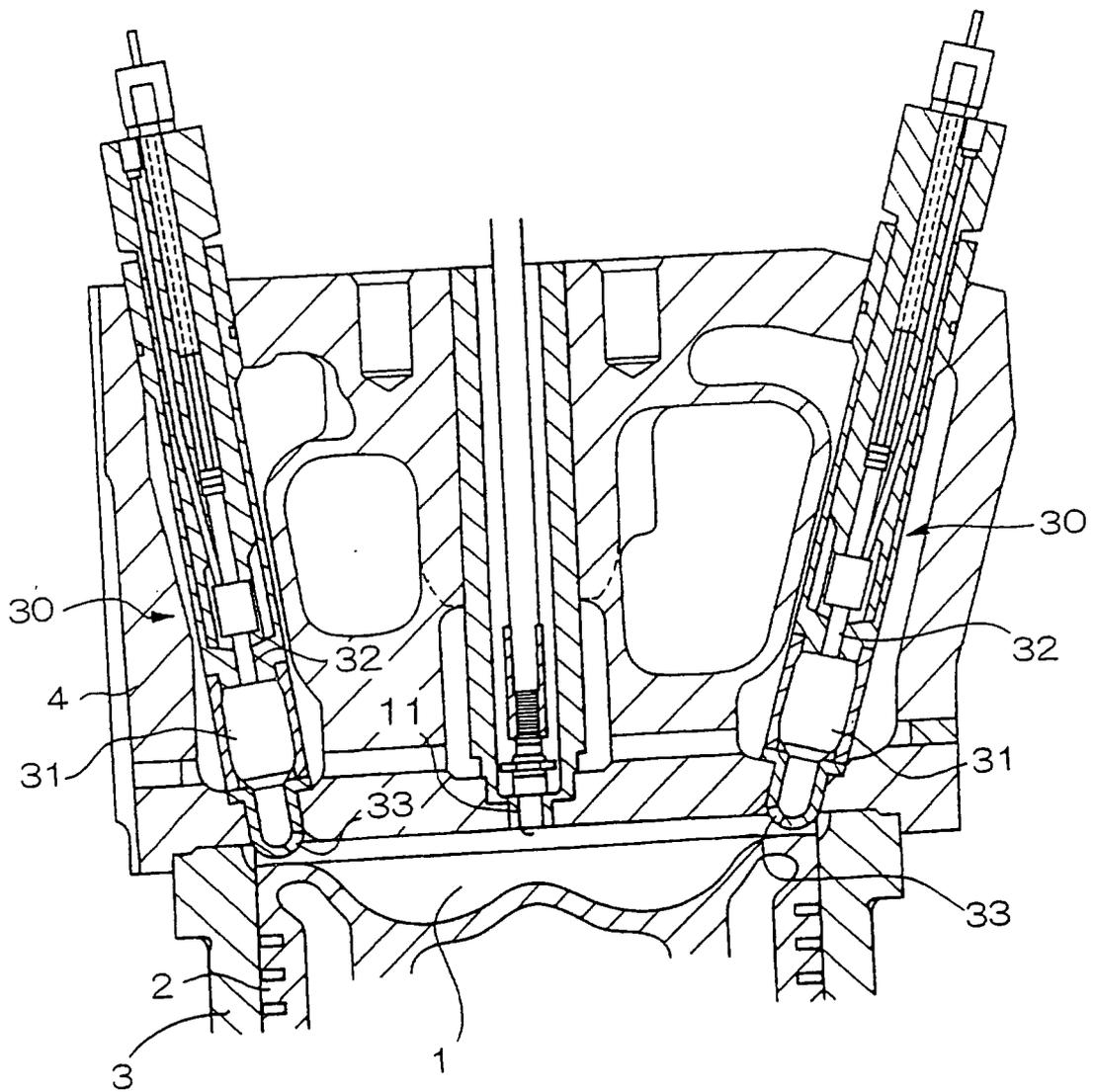


FIG. 9

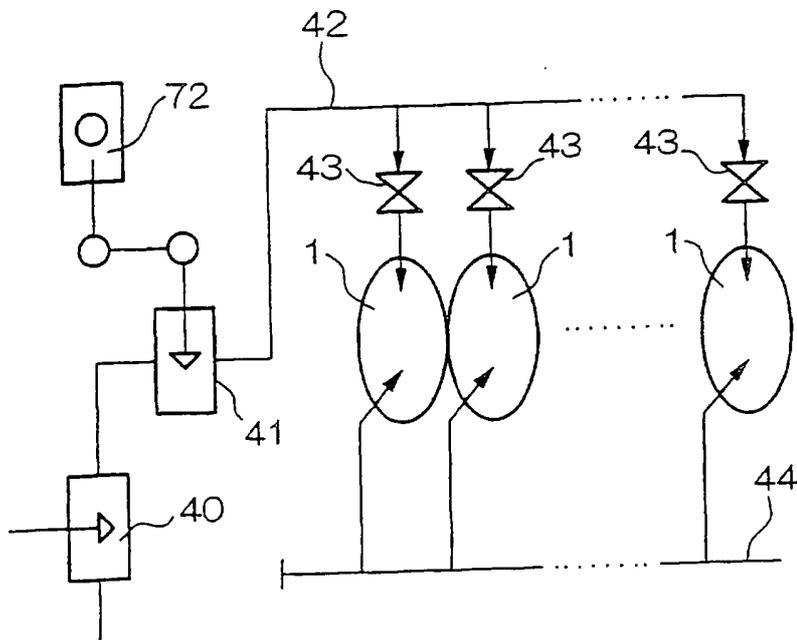


FIG. 10

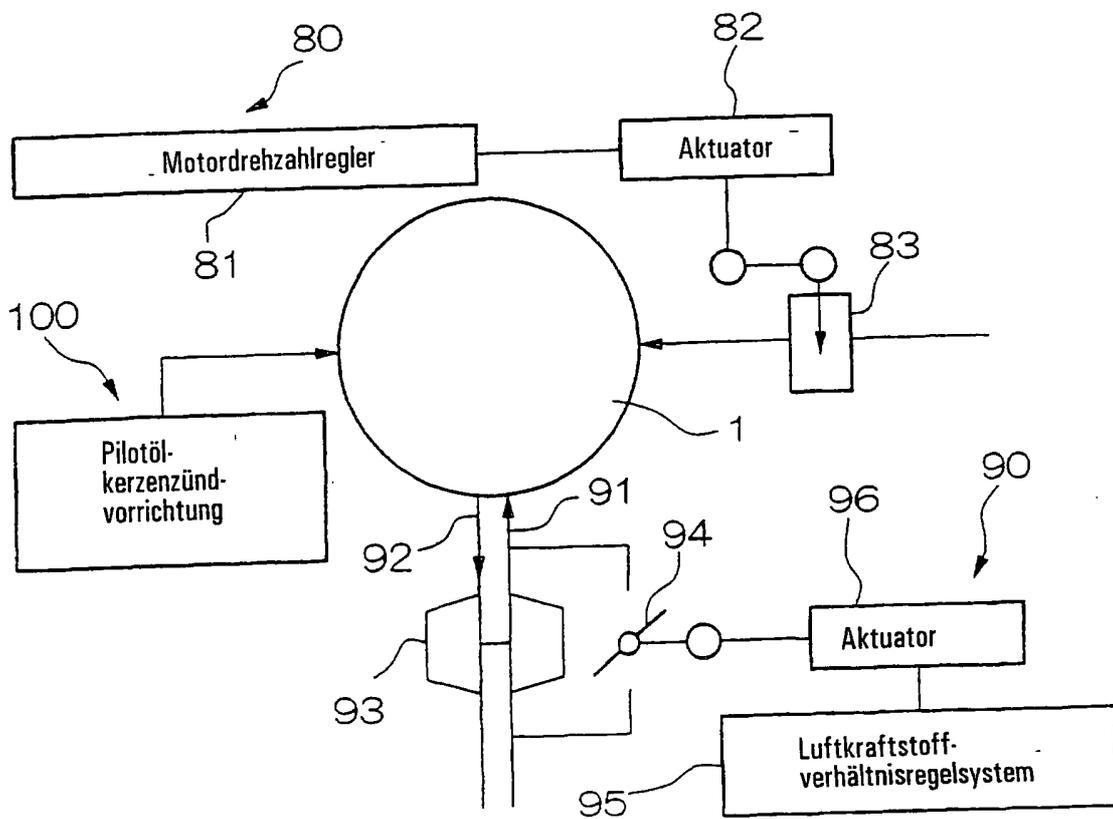


FIG. 11

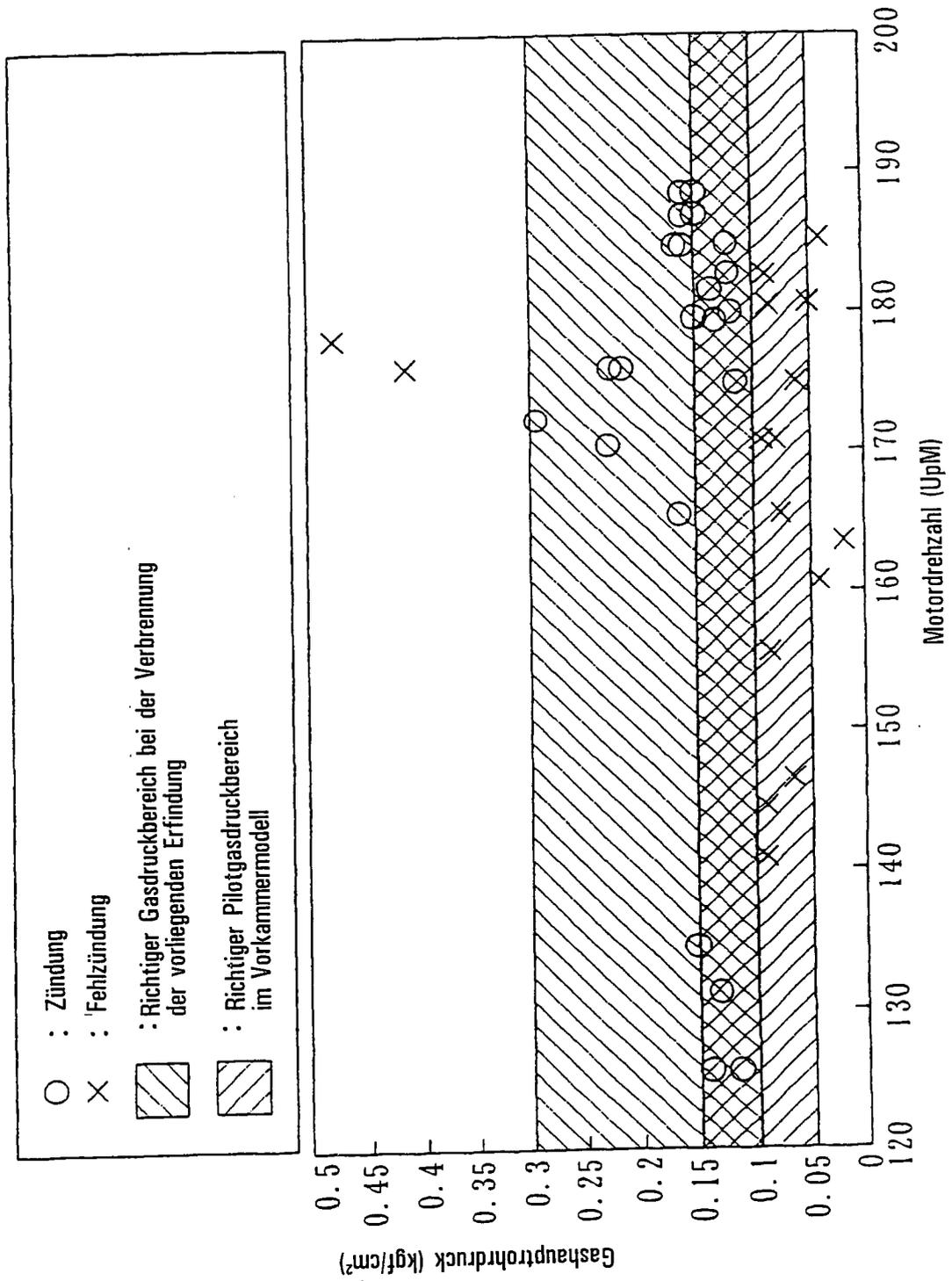


FIG. 12A

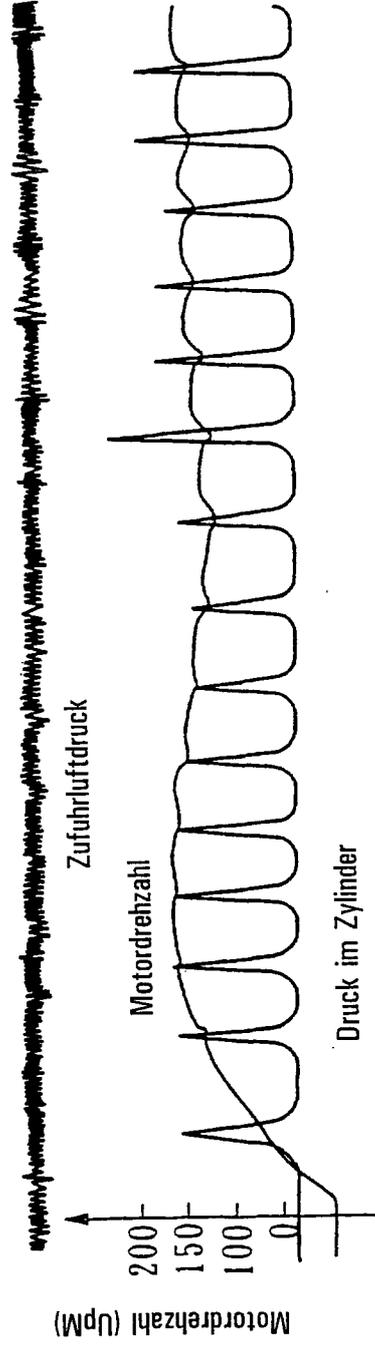
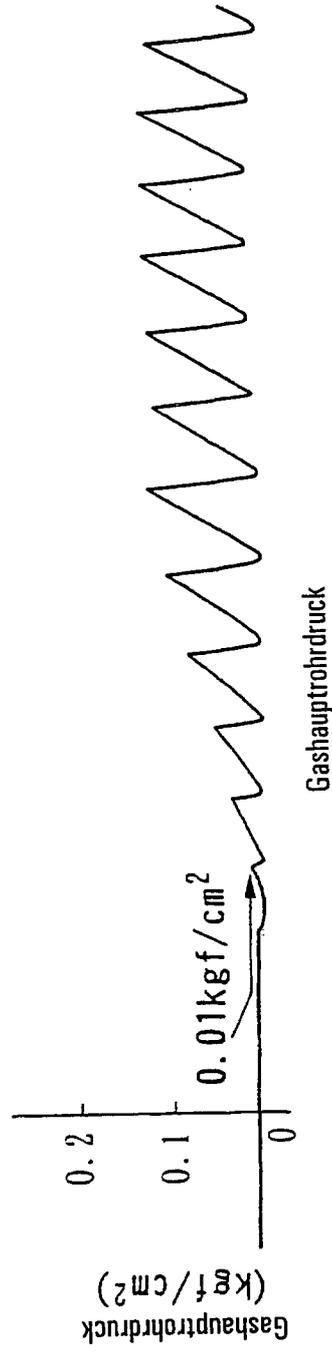


FIG. 12B

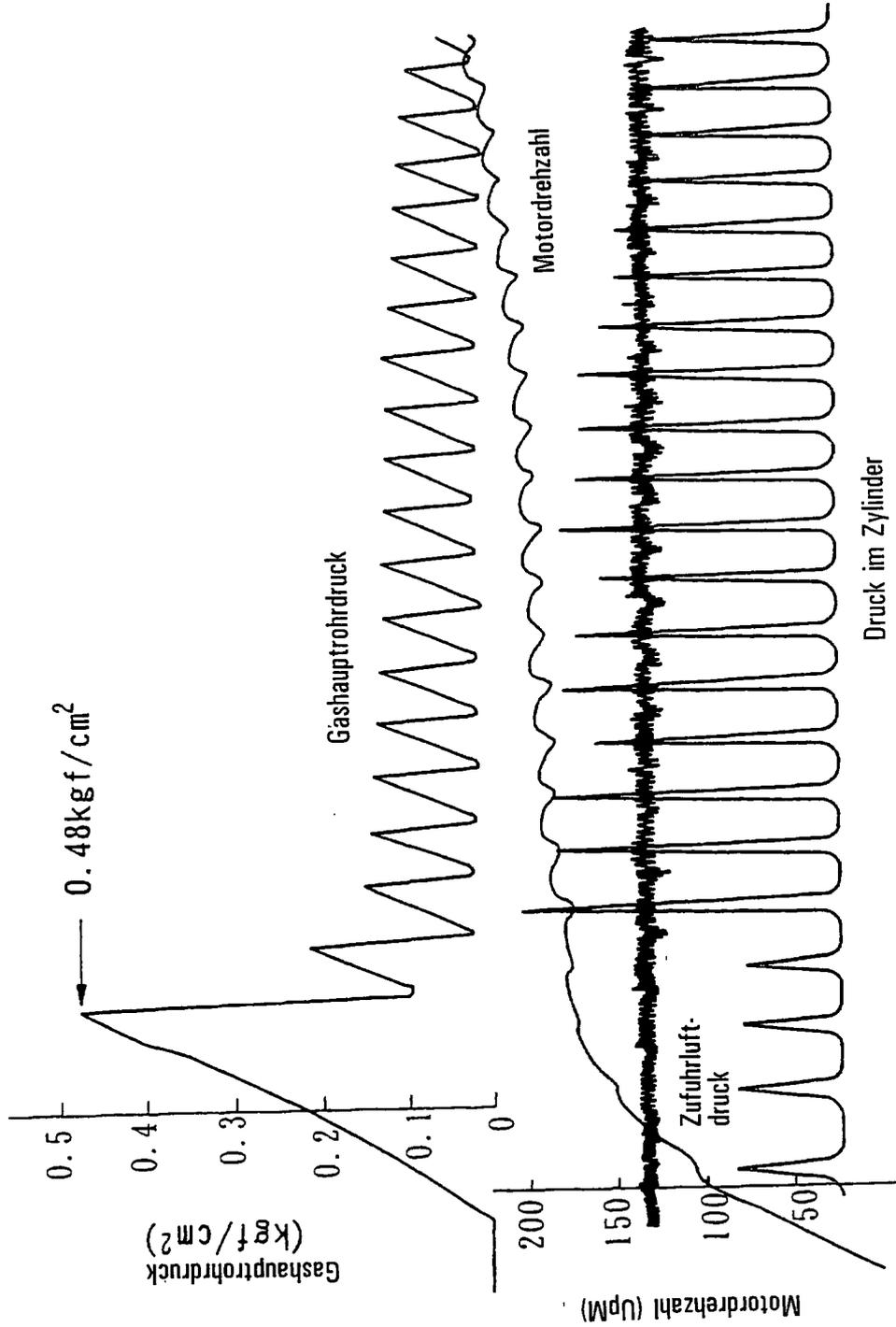


FIG. 13

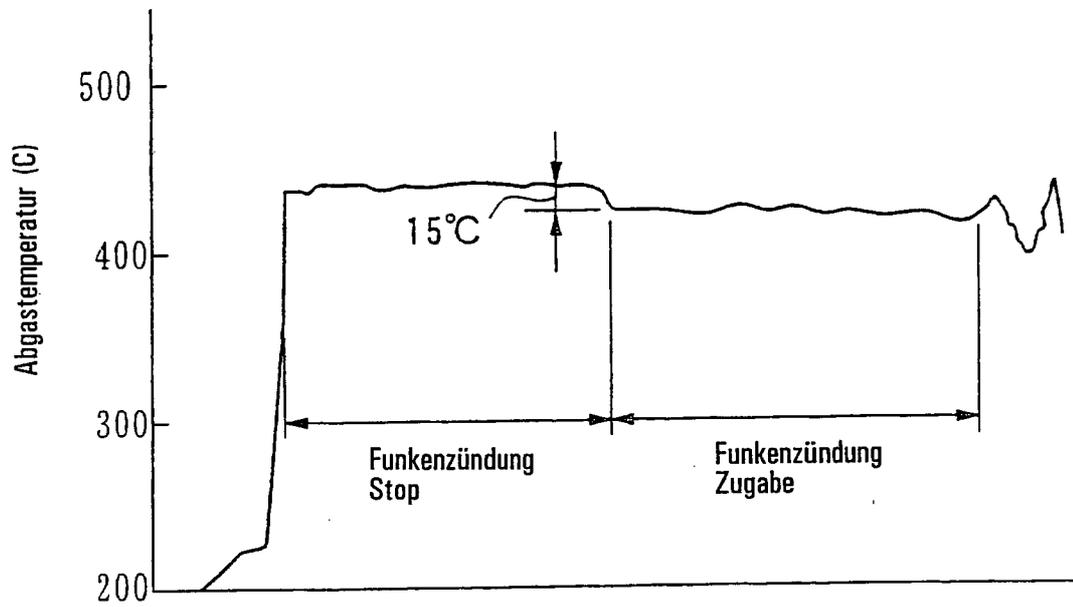


FIG. 14

