



## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP F 02 G / 301 058 3

(22) 24.03.87

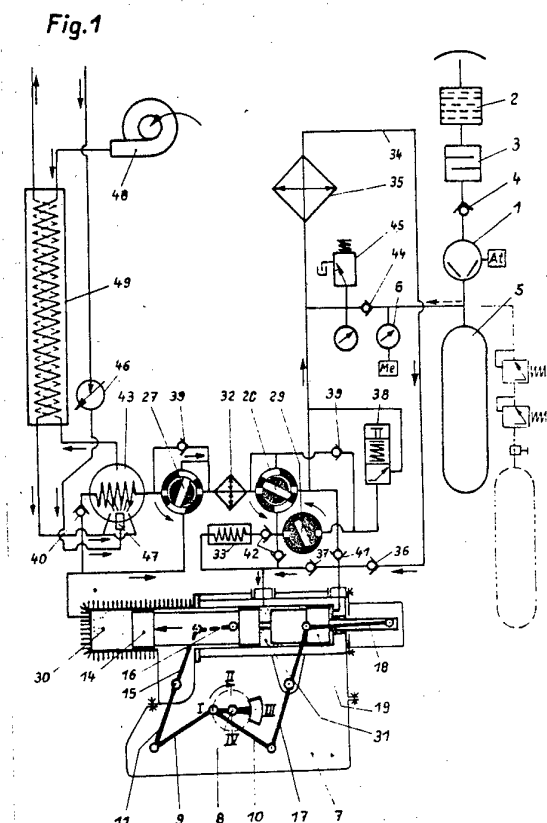
(44) 10.08.88

(71) VEB Verlade- und Transportanlagen Leipzig „Paul Fröhlich“, Lützowstraße 34, Leipzig, 7022, DD

(72) Ostermeyer, Heinz-Jürgen; Rieger, Florian, DD

(54) Heißgasmotor

(55) Heißgasmotor, Verdrängerkolben, Verdichterkolben  
 (57) Die Erfindung betrifft einen Heißgasmotor mit geschlossenem Arbeitskreislauf, insbesondere für den Fahrzeugbau, der wirtschaftlich und umweltfreundlich arbeitet. Durch eine günstige Gestaltung des Verdrängerkolbens als Doppelkolben, Lagerung des Kolbenpleuels innerhalb des Doppelkolbens, zweiteilige Ausführung des Verdichterkolbens mit zwischengefügter Kühlkammer, Zuschaltung eines Zwischenkühlers und besondere Ausbildung der Steuerkanäle und Anordnung von Überströmkanälen bei gleichzeitiger Verbesserung der Schmierölversorgung wird eine Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades erreicht. Fig. 1



## Patentansprüche:

1. Heißgasmotor mit geschlossenem Arbeitskreislauf, bestehend aus einem Verdrängerkolben, einem Verdichterkolben, Kolbenstangen, Kolben- und Pleuell, einer Pleuellwelle, einer Steuerwelle, Steuerkanälen, einem Heißgas- und einem Kaltgaskreislauf, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Verdrängerkolben (14) als Doppelkolben mit beiderseitig angeordneten wärmeisolierenden Scheiben ausgebildet ist, wobei im Inneren des Doppelkolbens auf der Kompressionsseite ein Pleuell (16) gelagert ist, das mit einem innerhalb des die Expansionskammer (30) enthaltenden Zylinderteils (13) gelagerten Übertragungshebel (15) in funktioneller Verbindung steht und der Verdichterkolben (19) aus zwei auf einer gemeinsamen Pleuellstange (20) befestigten Pleuellteilen (21; 22) besteht, zwischen denen eine Pleuellkammer (23) angeordnet ist.
2. Heißgasmotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Trennfuge der beiden Zylinderteile (13; 24) der Expansionskammer (30) und der Verdichterkammer (31) in der Art zwischen den Doppelkolben des Verdrängerkolbens (14) angeordnet ist, daß der auf der Verdichterseite befindliche Pleuell ausschließlich in dem gekühlten Zylinderteil (24) der Verdichterkammer (31) geführt ist.
3. Heißgasmotor nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Inneren des Verdrängerkolbens (14) zwischen den Pleuell beiderseits Ölzufuhrrohre (53; 55) vorgesehen sind und im Pleuell auf der Verdichterkammerseite mittig ein Ölzufuhrrohr (50) angeordnet ist, das in funktioneller Verbindung mit einem Ventil im Ölpufferraum innerhalb der Pleuellstange (20) des Verdichterkolbens (19) steht.
4. Heißgasmotor nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem den Regenerator (32) mit der Verdichterkammer (31) verbindenden Steuerkanal (28) und der Verdichterkammer (31) ein Zwischenkühler (33) und zwei Rückstromsperrventile (42) angeordnet sind.
5. Heißgasmotor nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Gehäuse der Steuerkanäle (27; 28) gegenüberliegende Überströmkanäle angeordnet sind.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Heißgasmotor mit geschlossenem Arbeitskreislauf, insbesondere für den Fahrzeugbau.

## Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Nach DD-WP 117 264 ist ein Stirling-Motor bekannt, bei dem sich die Bewegungen der Pleuellkolben und Verdrängerkolben stark überlagern, ohne ausreichende Ruhepausen, so daß ein schlechter Wirkungsgrad erzielt wird. Durch um 90° versetzte Führungsbahnen von Pleuellkolben und Verdrängerkolben ergeben sich größere Bauabmessungen und lange Verbindungsleitungen von der Kaltgas- zur Heißgasseite.

Die Ausführung des Stirling-Motors mit einem Pleuellgetriebe erfordert eine aufwendige Konstruktion und Herstellung; eine gleichmäßige symmetrische Belastung ist schwierig realisierbar durch exakte Ausführung des Pleuellübertriebes. Der thermische Wirkungsgrad der bekannten Antriebe wird auch dadurch nachteilig beeinflusst, daß die Heißgasseite im Zylinderkopfbereich angeordnet ist.

Im DD-WP 147 268 ist ein Heißgasmotor beschrieben, bei dem der als Doppelkolben mit gleichgroßen Pleuellflächen auf der Heißgas- und auf der Kaltgasseite ausgebildete Verdrängerkolben und der Pleuellkolben auf einer Achse liegen, aber getrennte Führungen aufweisen. Der Durchmesser der Führung des Verdrängerkolbens ist größer als der der Führung des Pleuellkolbens. Der Pleuell des Verdrängerkolbens ist kleiner als der Pleuell des Pleuellkolbens und der Antrieb des Verdrängerkolbens ist außermittig angeordnet. Der Antrieb des Verdrängerkolbens besteht aus einem zwischen dem Doppelkolben außermittig angeordneten Pleuellzapfen und einer daran angelenkten Pleuellstange, die über einen Gelenkpunkt einmal mit einem Pleuell und zum anderen mit einer in einem festen Anlenkpunkt gelagerten Pleuell verbunden ist. Der Antrieb des Pleuellkolbens besteht aus einem mittig angeordneten Pleuellbolzen und einer daran angelenkten Pleuellstange, die über einen Gelenkpunkt einmal mit einem Pleuell und zum anderen mit einer in einem festen Anlenkpunkt gelagerten Pleuell verbunden ist. Beide Antriebe stehen mit ihrem Pleuell über einen gemeinsamen Pleuellwellenbolzen mit einer außermittig der gemeinsamen Achse des Verdrängerkolbens und des Pleuellkolbens angeordneten Pleuellwelle, deren Pleuellachse sich stets innerhalb des von den Anlenkpunkten und Gelenkpunkten gebildeten variablen Vierecks befindet, in funktioneller Verbindung.

Es befinden sich der Heißgasbereich zwischen dem Verdrängerkolben und dem Pleuellkolben im Motorblock und der Kaltgasbereich am gegenüberliegenden Ende des Verdrängerkolbens im Zylinderkopf. Zwischen dem Heißgasbereich im Motorblock und einem Regenerator bzw. einem Gaserhitzer ist eine selbsttätige Steuereinheit angeordnet.

Ungünstig wirkt sich der Wärmeverlust infolge der großen Oberflächenwandung aus. Da keine Trennung des Heizkreislaufes vom Pleuellkreislauf erfolgt, steht nur eine kurze Abkühlzeit zur Verfügung, so daß ein kleines Wärmegefälle wirksam wird. Der Wirkungsgrad wird auch dadurch negativ beeinflusst, daß in der Pleuellkolbenruhestellung das Überschieben des heißen Arbeitsgases erfolgt und erst dann der Pleuelltakt eingeleitet wird. Die exzentrische Anlenkung des Pleuells ist bezüglich der Pleuellführung auch ungünstig.

Der im DD-WP 222931 beschriebene Heißgasmotor ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Verdrängerkolben und ein Verdichterkolben jeder Arbeitseinheit mit ihren Kolbenstangen jeweils über eine Übertragungs traverse, zwei Kolbenpleuel, einen im Kolbengehäuse schwenkbar gelagerten doppelarmigen Übertragungshebel und ein Kurbelpleuel mit der Kurbelwelle in funktioneller Verbindung stehen. Eine mit halber Kurbelwellendrehzahl angetriebene Steuerwelle weist drei Steuerkanäle auf. Einer ist zwischen einem Erhitzer und einem Regenerator, der zweite zwischen dem Regenerator und einem großen Kühlkreislauf und der dritte zwischen der Verdichtkammer und einem manuell steuerbaren Druckbegrenzungsventil, das dem großen Kühlkreislauf zugeordnet ist, angeordnet.

Die Verbindungslinie des unteren Gelenkpunktes des Übertragungshebels in seiner der Kurbelwellenmitte am nächsten liegenden Stellung bildet mit einer durch die Kurbelwellenmitte verlaufenden horizontalen Geraden einen Winkel von 45°. In der untersten Kurbelstellung stehen beide Übertragungshebel vertikal und damit parallel zur Kurbelkröpfung, wobei der Verdrängerkolben und der Verdichterkolben einer Arbeitseinheit den geringsten Abstand voneinander aufweisen.

Die Steuerkanäle bestehen aus beiderseitig abgedichteten Bohrungen, wobei der Durchmesser der Bohrung abhängig vom Durchmesser der Steuerwelle einen auf die Steuerwellenmitte bezogenen Öffnungswinkel von 22,5° aufweist.

Die beiden, den Verdrängerkolben und den Verdichterkolben aufnehmenden Zylinderteile sind mit ihren oberhalb der Kurbelwelle liegenden Flanschen und einem vom unteren Kurbelgehäuse hochgezogenen Flansch unter Zwischenführung einer wärmeisolierenden Dichtungsscheibe lösbar verbunden.

Die mit einer langen Kolbenstangenführung versehenen Zylinderdeckel und das wassergekühlte Zylinderteil des Verdichterkolbens weisen Anschlußstutzen für Arbeitsgaskanäle auf. Die Kolbenstangen weisen in ihrer Längsachse eine Bohrung auf, in der eine Hülse mit einem kleineren Außendurchmesser und dadurch einen Ringkanal bilden, angeordnet ist, an deren beiden Enden ein jeweils mit einer Ötringnut und Ölkänen versehener kleiner Kolben vorgesehen ist.

Ein Luftfilter, ein Luftentfeuchter, ein Rückschlagventil, ein Luftkompressor und ein Druckluftspeicher sind hintereinander angeordnet.

Das Zu- und Abschalten des Luftkompressors zur Konstanthaltung des Vorkompressionsdruckes ist elektronisch geregelt. Anstelle des Luftkompressors, des Luftfilters, des Luftentfeuchters, des Rückschlagventils und des Druckluftspeichers können ein Druckgasbehälter und ein Druckminderungsventil angeordnet sein, die in funktioneller Verbindung mit dem Kühlkreislauf stehen.

## Ziel der Erfindung

Mit dem Heißgasmotor soll infolge eines günstigen Temperaturgefälles ein hoher thermischer Wirkungsgrad erreicht werden bei gleichzeitiger Verbesserung der Schmierölaufuhr.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Heißgasmotor mit geschlossenem Arbeitskreislauf zu schaffen, der durch eine günstigere Gestaltung des Verdrängerkolbens und des Gehäuses der Antriebseinheit, bei gleichzeitiger Optimierung der einzelnen Arbeitsphasen und leichter Regulierbarkeit eine größere Leistungsfähigkeit gewährleistet.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß der Verdrängerkolben des Heißgasmotors als Doppelkolben mit beiderseitig angeordneten wärmeisolierenden Scheiben ausgebildet ist. Im Inneren des Doppelkolbens ist auf der Kompressionsseite ein Kolbenpleuel gelagert, das mit einem innerhalb des die Expansionskammer enthaltenden Zylinderteils gelagerten Übertragungshebel in funktioneller Verbindung steht. Der Verdichterkolben besteht aus zwei auf einer gemeinsamen Kolbenstange befestigten Kolbenteile, zwischen denen eine Kühlkammer angeordnet ist. Die Trennfuge der beiden Zylinderteile der Expansionskammer und der Verdichterkammer ist so angeordnet, daß der auf der Verdichterseite befindliche Kolben ausschließlich in dem gekühlten Zylinderteil der Verdichterkammer geführt ist. Im Inneren des Verdrängerkolbens sind zwischen den Kolben beiderseits Ölzuführrohre vorgesehen. Im Kolben auf der Verdichterkammerseite ist mittig ein Ölzuführrohr angeordnet, das in funktioneller Verbindung mit einem Ventil im Ölpufferraum innerhalb der Kolbenstange des Verdichterkolbens steht. Zwischen dem Steuerkanal, der den Regenerator mit der Verdichterkammer verbindet, und der Verdichterkammer sind ein Zwischenkühler und zwei Rückstromsperrventile angeordnet. In den Gehäusen der Steuerkanäle sind gegenüberliegende Überströmkanäle vorgesehen.

Die Kurbelwelle des Heißgasmotors wird durch einen Anlasser in Drehung und die Kolben über das kinematische System in Bewegung versetzt. Der als Doppelkolben ausgebildete Verdrängerkolben bewegt sich dabei in die Ausgangsstellung. Das in der Expansions- und in der Verdichterkammer vorhandene Arbeitsgas ist entspannt. Der Verdrängerkolben schiebt das in der Expansionskammer befindliche Arbeitsgas über den zugeordneten Steuerkanal, den Regenerator und einen weiteren Steuerkanal in den großen Kühlkreislauf. Infolge der gleichzeitigen Vergrößerung der Verdichterkammer sinkt der Druck darin unter den des Kühlkreislaufes und es strömt abgekühltes Arbeitsgas ein. Nun bewegt sich der Verdichterkolben in Richtung Verdrängerkolben und bei geschlossenen Steuerkanälen erfolgt die Verdichtung des eingeströmten Arbeitsgases. Gleichzeitig strömt gekühltes Arbeitsgas in die rückwärtige, sich vergrößernde Kühlkammer. Der Steuerkanal zum manuell steuerbaren Druckbegrenzungsventil ist nunmehr geöffnet und es kann das Verdichtungsverhältnis und damit die Leistung und Drehzahl des Heißgasmotors geregelt werden. Das gekühlte Arbeitsgas kann über die zugeordneten Rückstromsperrventile in den Regenerator und in den Erhitzer einströmen.

Nach Beendigung des Verdichtungs Vorganges beginnt der Überschiebevorgang des komprimierten Arbeitsgases über den Regenerator und den Erhitzer in die Expansionskammer. Beide Kolben bewegen sich in die Gegenrichtung, wobei sich der Verdrängerkolben schneller bewegt als der Verdichterkolben; dabei gelangt das in der Verdichterkammer befindliche komprimierte Arbeitsgas restlos in die Expansionskammer. Während dieses Bewegungsablaufes steigt die Temperatur und damit der Druck des eingeschlossenen Gases stark an. Entsprechend der Differenz der drei wirksamen Kolbenflächen, die unter gleichem Druck stehen, wird eine Nutzarbeit an die Kurbelwelle abgegeben. Das in der Kühlkammer befindliche Arbeitsgas wird wieder in den Kühlkreislauf hineingeschoen. Nun verringert sich die Geschwindigkeit des Verdrängerkolbens gegenüber dem Verdichterkolben, so daß die Verdichterkammer wieder größer wird und der Druck des Arbeitsgases abnimmt. Dabei gelangt ein

Teil des in der Expansionskammer befindlichen Arbeitsgases über den Regenerator und den Zwischenkühler abgekühlt in die Verdichterkammer. Dadurch wird ebenfalls Nutzarbeit vom Verdichterkolben an die Kurbelwelle abgegeben. Erst wenn er seine Endstellung erreicht hat, ist der Arbeitshub beendet und der Kreislauf beginnt erneut.

Durch die Gestaltung des Verdrängerkolbens als Doppelkolben mit doppelseitig angeordneten wärmeisolierenden Scheiben und der Ausbildung des aus vier Gußteilen bestehenden Gehäuses der Antriebseinheit in der Art, daß der auf der Verdichterseite befindliche Kolben des Verdrängerkolbens ständig in dem gekühlten Zylinderteil gleitet, wird ein wesentlich höherer thermischer Wirkungsgrad erreicht. Infolge der Lagerung des Kolbenpleuels und des Übertragungshebels innerhalb des Verdrängerkolbens wird eine bessere Abdichtung der kompletten Arbeitseinheit bei gleichzeitiger Verringerung des Bauvolumens erreicht. Die besondere Ausbildung der Steuerkanäle mit im Gehäuse angeordneten gegenüberliegenden Überströmkanälen ermöglicht die Expansionskammer und Verdichterkammer in zwei aufeinanderfolgenden Arbeitsphasen, in der Überschiebe- und Arbeitsphase, miteinander zu verbinden, wobei durch die Einbeziehung des Zwischenkühlers in der zweiten Phase eine weitere Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades erreicht wird.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:  
Fig. 1: das Prinzip des Heißgasmotors

Fig. 2: die Stellung des Verdränger- und Arbeitskolbens bei der Kurbelstellung I

Fig. 3: die Stellung des Verdränger- und Arbeitskolbens bei der Kurbelstellung II

Fig. 4: die Stellung des Verdränger- und Arbeitskolbens bei der Kurbelstellung III

Fig. 5: die Stellung des Verdränger- und Arbeitskolbens bei der Kurbelstellung IV

Fig. 6: einen Teilschnitt durch eine Antriebseinheit.

Ein Luftkompressor 1 steht mit einem Luftfilter 2, einem Luftentfeuchter 3, einem Rückschlagventil 4, einem Druckluftspeicher 5 und einem Manometer mit Schaltrelais 6 in funktioneller Verbindung. Es kann aber auch eine Druckgasflasche mit Druckminderventilen vorgesehen sein. In einem Kurbelgehäuse 7 ist eine Kurbelwelle 8 angeordnet, die Kurbelpleuel 9; 10 aufweist. Das Kurbelpleuel 9 ist mit einem doppelarmigen Übertragungshebel 11 gelenkig verbunden, der auf einem Lagerbolzen 12 verdrehsicher angeordnet ist.

Dieser Bolzen 9 ist am Zylinderteil 13 des als Doppelkolben ausgebildeten Verdrängerkolbens 14 gelagert. Mittig auf dem Bolzen 12 ist verdrehsicher ein Übertragungshebel 15 angeordnet, der mit einem Kolbenpleuel 16 in gelenkiger Verbindung steht, das mit seinem anderen Ende im Verdrängerkolben 14 gelagert ist. Das Kurbelpleuel 10 ist über einen im Kurbelgehäuse 7 gelagerten doppelarmigen Übertragungshebel 17 und ein Kolbenpleuel 18 mit einem Verdichterkolben 19 verbunden, der aus einer Kolbenstange 20, zwei Kolbenteilen 21; 22 und einer dazwischenliegenden Kühlkammer 23 besteht. Das zugehörige Zylinderteil 24 weist Hohlräume 25 für eine Kühlflüssigkeit auf und ist über ein wärmeisolierendes Dichtteil 26 mit dem Zylinderteil 13 verbunden. Über Steuerkanäle 27; 28; 29 sind eine Expansionskammer 30 und eine Verdichterkammer 31 verbunden, ein Regenerator 32 und ein Zwischenkühler 33 sind zwischengeschaltet.

Einem Kühlkreislauf 34 sind ein Kühler 35 und zwei Rückstromsperrventile 36; 37 zugeordnet. Weiterhin sind ein Druckbegrenzungsventil 38, Rückstromsperrventile 39; 40; 41; 42 und ein Erhitzer 43 vorgesehen. Der Druckluftspeicher 5 steht über ein Rückstromsperrventil 44 mit dem Kühlkreislauf 34 in Verbindung, dem ein Sicherheitsventil 45 zugeordnet ist.

Der offene Verbrennungskreislauf besteht aus einer Kraftstoffpumpe 46, einem Brenner 47, einem Gebläse 48 und einem Wärmetauscher 49.

Der Schmierölkreislauf wird durch eine im Kurbelgehäuse 7 angeordnete Ölpumpe bewirkt, die das Schmieröl durch die Kurbelwelle 8, das Kurbelpleuel 10, den einen Arm des doppelarmigen Übertragungshebels 17 und das Kolbenpleuel 18 in die Kolbenstange 20 des Verdichterkolbens 19 drückt. Hier findet eine Teilung des geförderten Schmieröles statt. Ein Teilstrom gelangt dosiert über Ölzufußrohr 50 auf die Verdichterseite des Verdrängerkolbens 14, über einen Ölkanal 51, eine Ölringnut 52 und ein Ölzufußrohr 53 in eine Ölringnut 54 auf die Expansionsseite des Verdrängerkolbens 14. Von hier gelangt das Schmieröl über ein Ölzufußrohr 55 in die Lagerstelle des Kolbenpleuels 16 auf der Verdichterseite des Verdrängerkolbens 14, dann im Kolbenpleuel 16 weiter zur Anschlußstelle des Übertragungshebels 15, in diesem zum Lagerbolzen 12, weiter in den Übertragungshebel 11 und in die Verlagerung mit dem Kurbelpleuel 9. Hier erfolgt der Austritt in die Ölwanne im Kurbelgehäuse 7.

Der andere Teilstrom gelangt in die innere Hülse 56 der Kolbenstange 20 und von dieser über eine Radialbohrung 57 in die Kühlkammer 23 und über einen Ölkanal 58 im Kolbenteil 22 des Verdichterkolbens 19 in eine Ölringnut 59, von dieser durch einen Ölkanal 60 in eine äußere Hülse 61 der Kolbenstange 20. Das Schmieröl gelangt dann über die Verlagerung in den zweiten Arm des doppelarmigen Übertragungshebels 17 in die Verlagerung mit dem Kurbelpleuel 10 und dann in die Ölwanne.

Im Schmierölkreislauf ist ein Sicherheitsventil angeordnet, damit der Öldruck auf die Arbeitsdrücke im Arbeitszylinder abgestimmt ist, so daß auch die Dichtungsfunktion des Schmieröls gewährleistet ist.

Die Wirkungsweise des Heißgasmotors ist wie folgt:

Beim Ingangsetzen des Heißgasmotors wird durch die Starterbatterie der Elektromotor des Luftkompressors 1 eingeschaltet, der das als Arbeitsgas dienende Medium Luft durch den Luftfilter 2, den Luftentfeuchter 3, der mit auswechselbaren Patronen oder Platten aus hygroskopischem Material versehen ist und durch das Rückschlagventil 4 in den Druckluftspeicher 5 transportiert.

Bei einem vorgeschriebenen Druck von beispielsweise 8 oder 10 atü wird durch das Manometer 6 mit Schaltrelais der Luftkompressor 1 abgeschaltet und der Anlasser des Heißgasmotors eingeschaltet, der die im Kurbelgehäuse 7 gelagerte Kurbelwelle 8 in Drehung versetzt. Diese versetzt über die Kurbelpleuel 9; 10, die in funktioneller Verbindung mit den Übertragungshebeln 11; 15; 17 stehen, über die beiderseitig zur Antriebseinheit angeordneten Kolbenpleuel 16; 18 sowie über die Kolbenstange 20 den Verdrängerkolben 14 und den Verdichterkolben 19 in translatorische Bewegungen.

Der Arbeitsgasaustausch wird durch eine Drehkanalsteuerung, eine mit beiderseitig abgedichteten Steuerkanälen 27; 28; 29 versehene Steuerwelle gesteuert, die von der Kurbelwelle 8 durch eine Kette mit der halben Umdrehungszahl wie die Kurbelwelle 8 angetrieben wird. Die Steuerkanäle 27;

28 weisen in ihren Gehäusen gegenüberliegende Überströmkanäle auf, die die Verbindung der Expansionskammer 30 mit der Verdichterkammer 31 während zweier aufeinanderfolgender Arbeitsphasen herstellen.

Es entstehen folgende Bewegungsabläufe und folgender Arbeitsgasausaustausch entsprechend der Kurbelstellungen I bis IV (Fig. 1):

Kurbelstellung I nach II (Fig. 2)

Der Arbeits- oder Expansionshub ist beendet, der Verdrängerkolben 14 und der Verdichterkolben 19 befinden sich in der Endstellung. Das in der Expansionskammer 30 und in der Verdichterkammer 31 vorhandene Arbeitsgas hat sich entspannt. Der Verdrängerkolben 14 bewegt sich in die Ausgangsstellung und schiebt das in der Expansionskammer 30 befindliche Arbeitsgas über den Steuerkanal 27, den Regenerator 32, der einen Teil der Restwärme des Arbeitsgases speichert, und den Steuerkanal 28 in den großen Kühlkreislauf 34, in dem das Arbeitsgas durch den Kühler 35 zurückgekühlt wird. Durch die daraus resultierende Vergrößerung der Verdichterkammer 31 sinkt der in ihr befindliche Druck unter den Druck des Kühlkreislaufes 34, so daß über die beiden Rückstromsperrventile 36; 37 abgekühltes Arbeitsgas nachströmen kann.

Kurbelstellungen II nach III (Fig. 3)

Der Ausstoß- und Nachladevorgang ist beendet. Der Verdrängerkolben 14 befindet sich kurz vor der Anfangsstellung. Der Verdichterkolben 19 bewegt sich zum Verdrängerkolben 14 hin und verdichtet das in der Verdichterkammer 31 nachgeströmte gekühlte Arbeitsgas. Dabei sind die Steuerkanäle 27; 28 geschlossen, während der Steuerkanal 29 sich öffnet und damit die Verbindung zu dem manuell steuerbaren Druckbegrenzungsventil 38 herstellt, durch das die Größe des Verdichtungsverhältnisses und damit die Leistung und Drehzahl des Heißgasmotors geregelt wird. Zum anderen kann das gekühlte Arbeitsgas über die beiden Rückstromsperrventile 39 in den Regenerator 32 und in den Erhitzer 43 einströmen, falls der hier herrschende Gasdruck niedriger als der Verdichtungsdruck ist. Ein Rückströmen und damit ein Druckausgleich zwischen dem Erhitzer 43 und dem Regenerator 32 mit dem Arbeitsgas in der Verdichterkammer 31 wird jedoch durch die Rückstromsperrventile 39 verhindert. Durch die Bewegung des Verdichterkolbens 19 vergrößert sich die rückwärtige Kühlkammer 23 und ermöglicht das Einströmen von gekühltem Arbeitsgas über das Rückstromsperrventil 37.

Kurbelstellung III nach IV (Fig. 4)

Der Verdichtungs Vorgang des gekühlten Arbeitsgases in der Verdichterkammer 31 durch den Verdichterkolben 19 ist beendet und der Überschiebevorgang des komprimierten Arbeitsgases über den Regenerator 32 und den Erhitzer 43 in die Expansionskammer 30 beginnt, indem die Steuerkanäle 27; 28 die Verbindung beider Kammern herstellen. Beide Kolben, der Verdrängerkolben 14 und der Verdichterkolben 19 bewegen sich in die Gegenrichtung, wobei der Verdrängerkolben 14 sich schneller bewegt als der Verdichterkolben 19, so daß auf der Hälfte des Gesamthubes beide Kolben die geringste Distanz zueinander aufweisen, d. h. daß das in der Verdichterkammer 31 befindliche komprimierte Arbeitsgas restlos über den Steuerkanal 28, den Regenerator 32, in dem Arbeitsgas gespeicherte Wärme aufnimmt, den Steuerkanal 27, den Erhitzer 43 und das Rücksperrventil 40 in die Expansionskammer 30 gelangt. Beim Überschieben des Gases steigt die Temperatur und damit der Druck des eingeschlossenen Gases stark an. Ein Druckausgleich zwischen der Verdichterkammer 31 und der Expansionskammer 30 erfolgt hier durch Überbrückung der Rückstromsperrventile 39. Dadurch wird entsprechend der Differenz der drei wirksamen, unter gleichem Druck stehenden Kolbenflächen eine Nutzarbeit an die Kurbelwelle 8 abgegeben. Durch das Zurückbewegen des Verdichterkolbens 19 wird das in der Kühlkammer 23 befindliche Arbeitsgas über das Rückstromsperrventil 41 in den großen Kühlkreislauf 34 hineingeschoben.

Kurbelstellung IV nach I (Fig. 5)

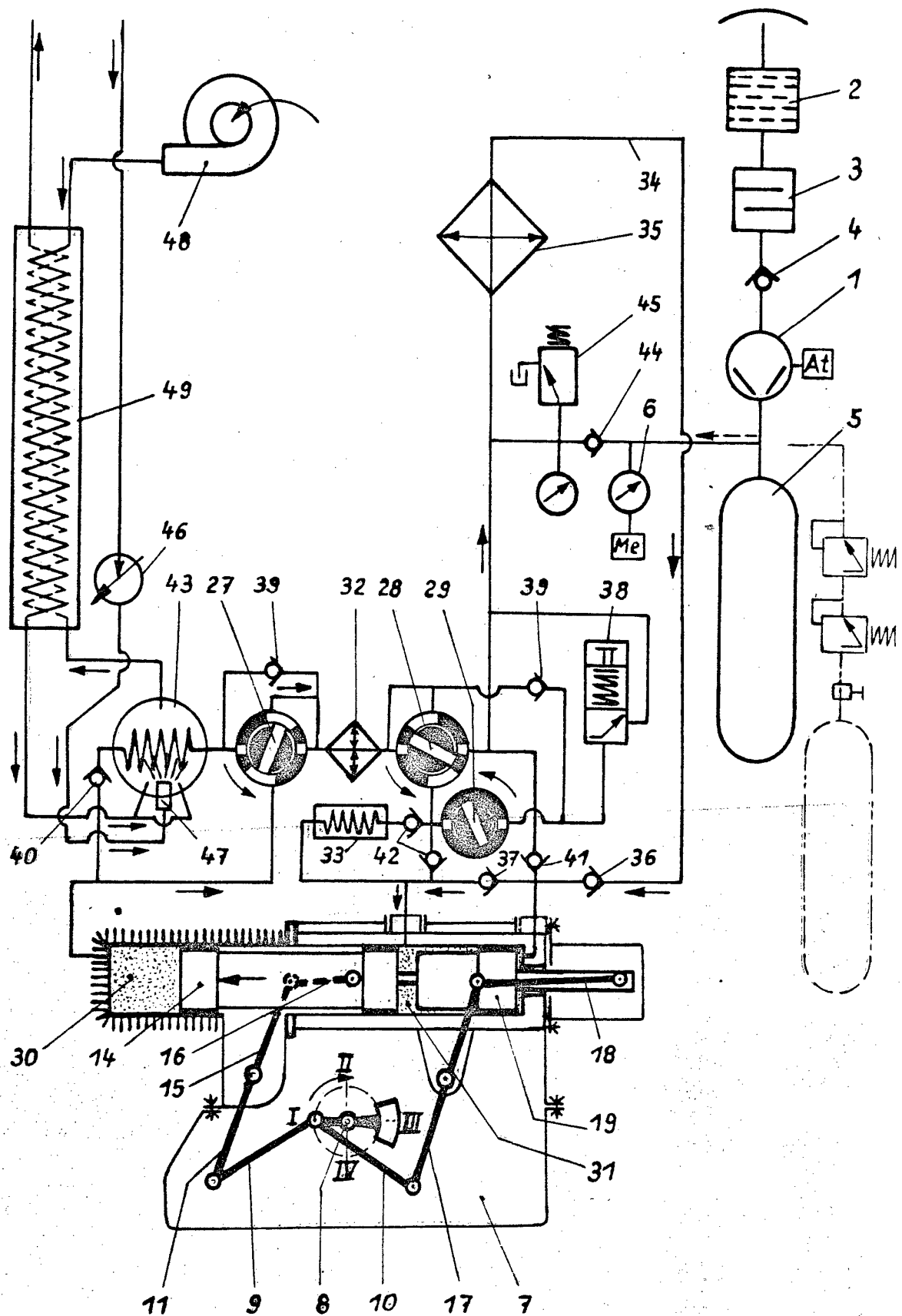
Der Überschiebevorgang des komprimierten Arbeitsgases über den Regenerator 32 in den Erhitzer 43 in die Expansionskammer 30 ist abgeschlossen. Der eigentliche Expansionsvorgang des erhitzten Arbeitsgases erfolgt, indem die Steuerkanäle 27; 28 die Verbindung zwischen der Expansionskammer 30 und der Verdichterkammer 31 über den Zwischenkühler 33 herstellen. Der Verdrängerkolben 14 wird dabei gegenüber dem Verdichterkolben 19 immer langsamer, so daß sich die Verdichterkammer 31 wieder vergrößert und damit der Druck des Arbeitsgases verringert. Dabei gelangt ein Teil des in der Expansionskammer 30 befindlichen Arbeitsgases über den Regenerator 32 und den Zwischenkühler 33 abgekühlt in die Verdichterkammer 31. Durch diesen Vorgang wird ebenfalls Nutzarbeit durch den Verdichterkolben 19 an die Kurbelwelle 8 abgegeben.

Ist der Verdichterkolben 19 in der Endstellung angekommen, ist der Arbeitshub beendet und der Kreislauf beginnt von neuem. Entsteht während des Arbeitsablaufes des Heißgasmotors im Kühlkreislauf 34 durch Undichtheit ein Druckabfall, so strömt über das Rückstromsperrventil 44 aus dem Druckluftspeicher 5 Arbeitsgas nach. Bei einem unzulässigen Druckabfall im Druckluftspeicher 5 wird durch das Manometer 6 mit Schaltrelais der Luftkompressor 3 eingeschaltet, der dann wieder selbsttätig durch das gleiche Schaltrelais abgeschaltet wird, wenn der normale Druck wiederhergestellt ist. Durch eine Störung dieser Automatik, bei der eine zu hohe Vorkompression des Arbeitsgases erreicht wird, oder eine andere Störung mit gleicher Folge, wird das Sicherheitsventil 45 im Kühlkreislauf 34 wirksam.

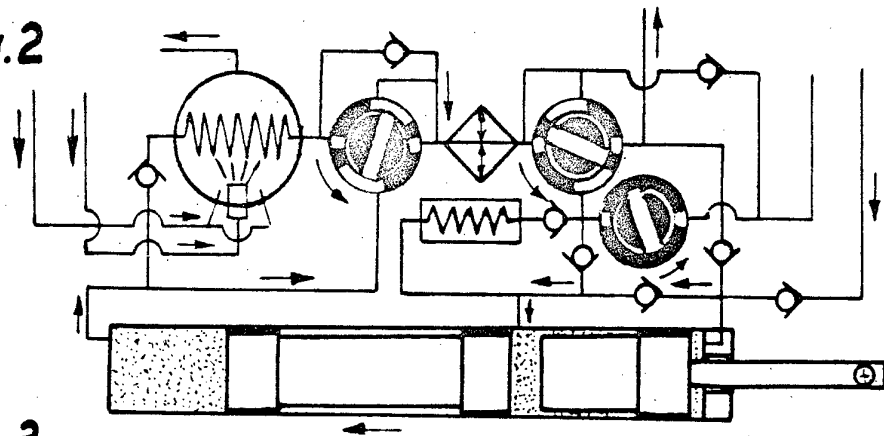
Der offene Verbrennungskreislauf wird gebildet durch die regelbare Kraftstoffpumpe 46, die den flüssigen Kraftstoff zu dem Brenner 47 mit induktiver Zündeinrichtung im Erhitzer 43 fördert. Die für die Verbrennung erforderliche Luft wird über das Gebläse 48 und den Wärmeaustauscher 49, in dem sich die Verbrennungsluft an den ebenfalls diesen Wärmeaustauscher 49 im Gegenstromprinzip passierenden Verbrennungsabgasen aufheizt, dem Brenner 47 zugeführt.

Die Regulierung des Heißgasmotors durch das manuell steuerbare Druckbegrenzungsventil 38, bei dem durch die Erhöhung der Federvorspannung im Ventil das Verdichtungsverhältnis des Heißgasmotors verändert wird. Gleichzeitig wird damit entsprechend die Kraftstoffzufuhr durch die Kraftstoffpumpe 46 und die Drehzahl des Gebläses 48 für die Verbrennungsluft verändert. Brennstoffzufuhr und Verbrennungsluftförderung werden dabei elektronisch so geregelt, daß stets ein gleiches Luftüberschußverhältnis für die Verbrennung vorhanden ist.

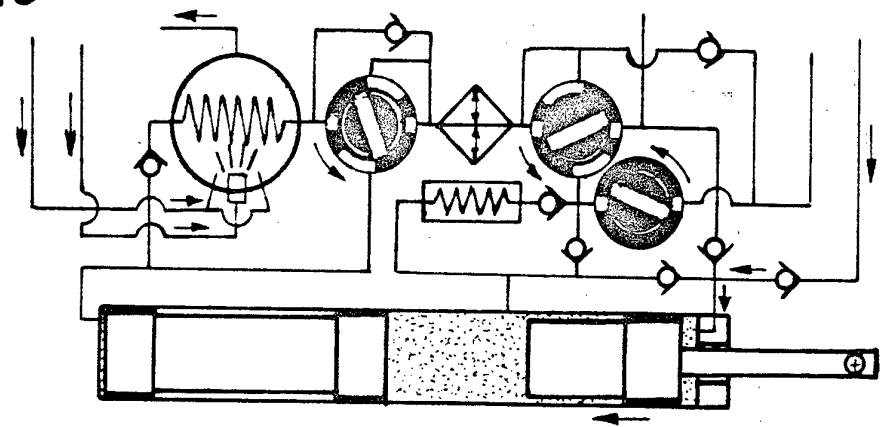
Fig.1



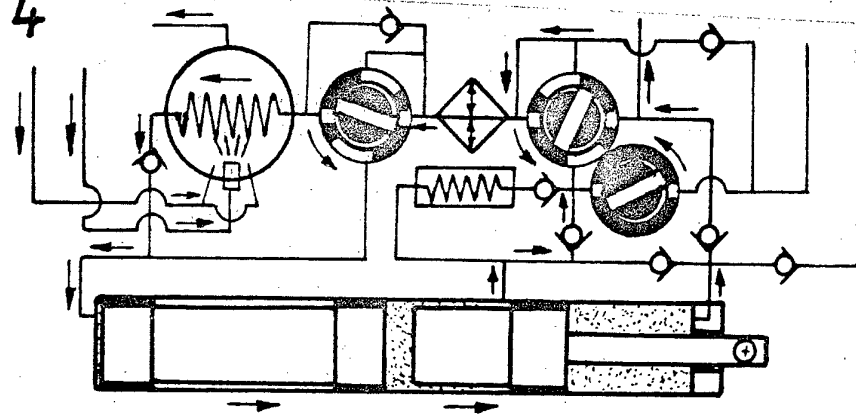
*Fig. 2*



*Fig. 3*



*Fig. 4*



*Fig. 5*

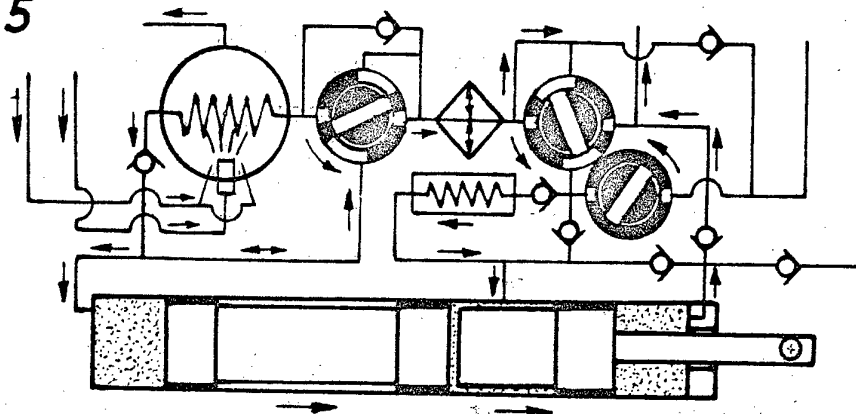


Fig. 6

