



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 42 44 016 A 1**

51 Int. Cl.⁵:
F 01 K 25/06

21 Aktenzeichen: P 42 44 016.5
22 Anmeldetag: 24. 12. 92
43 Offenlegungstag: 7. 7. 94

DE 42 44 016 A 1

71 Anmelder:
Ecenal Scientific Firm Ltd., Moskau/Moskva, RU

74 Vertreter:
Weisse, J., Dipl.-Phys.; Wolgast, R., Dipl.-Chem. Dr.,
Pat.-Anwälte, 42555 Velbert

72 Erfinder:
Serogodsky, Albert V., Prof. Dr., Moskau/Moskva,
RU

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mit einem Kreisprozess arbeitende Wärmekraftmaschine

57 Eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine enthält einen durch einen beweglichen Wandungsteil (50) abgeschlossenen Raum (46), in den ein Arbeitsmedium bei einer Kesseltemperatur eingeleitet wird. Das Volumen dieses Raumes wird in einer ersten Arbeitsphase mit relativ schneller Expansion von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung des Wandungsteils (50) bis zu einem äußeren Totpunkt vergrößert, im Bereich des äußeren Totpunktes für eine vorgegebene Zeit im wesentlichen konstant gehalten und in einer zweiten Arbeitsphase durch Einwärtsbewegung des Wandungsteils (50) mit einer relativ langsamen Kompression wieder auf das Ausgangsvolumen im inneren Totpunkt verkleinert. Durch einen Wärmeaustauscher (60) wird das Arbeitsmedium wieder auf Kesseltemperatur gebracht. Das Arbeitsmedium ist ein Zweistoffgemisch, dessen beide Komponenten folgende Bedingungen erfüllen: Die kritische Temperatur (T_{k1}) der einen Komponente liegt unterhalb der Kesseltemperatur und die kritische Temperatur (T_{k2}) der anderen Komponente liegt oberhalb der Kesseltemperatur. Die Zusammensetzung des Zweistoffgemisches liegt bei der Kesseltemperatur im Bereich der retrograden Kondensation. Die leichter flüchtige oder gasförmige Komponente ist in der Flüssigphase der schwerer flüchtigen Komponente löslich. In einem Diagramm, in welchem das spezifische Volumen als Ordinate über dem Verhältnis der Menge der leichter flüchtigen oder gasförmigen Komponente zur Gesamtmenge des ...

DE 42 44 016 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend

- a) einen durch einen beweglichen Wandungsteil abgeschlossenen Raum, in den ein Arbeitsmedium bei einer Kesseltemperatur eingeleitet wird und dessen Volumen
- in einer ersten Arbeitsphase mit relativ schneller Expansion von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung der Wandungsteile bis zu einem äußeren Totpunkt vergrößert wird,
 - im Bereich des äußeren Totpunktes für eine vorgegebene Zeit im wesentlichen konstant gehalten wird und
 - in einer zweiten Arbeitsphase durch Einwärtsbewegung der Wandungsteile mit einer relativ langsamen Kompression wieder auf das Ausgangsvolumen im inneren Totpunkt verkleinert wird, und
- b) Wärmeaustauschmittel, mittels derer das Arbeitsmedium durch Wärmezufuhr wieder in den Ausgangszustand auf Kesseltemperatur gebracht wird.

Zugrundeliegender Stand der Technik

Eine solche Wärmekraftmaschine ist bekannt durch die DE-A-41 01 500. Die DE-A-41 01 500 offenbart eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine mit einer Zylinderkammer, die durch einen Kolben begrenzt ist. In der Zylinderkammer ist eine Menge einer verdampfenden Flüssigkeit als Arbeitsmedium bei einer Ausgangstemperatur, nämlich einer Kesseltemperatur, vorgesehen. In einer ersten Arbeitsphase vergrößert sich das Volumen der Zylinderkammer von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung des Kolbens bis zu einem äußeren Totpunkt. Im unteren Totpunkt wird die Bewegung des Kolbens für eine vorgegebene Zeitspanne angehalten. Dadurch soll eine Kondensation des unterkühlten Dampfes der Flüssigkeit eingeleitet werden. Das soll einen plötzlichen Druckabfall bewirken. In einer zweiten Arbeitsphase wird dann der Kolben zum inneren Totpunkt bewegt. Das abgekühlte Kondensat wird mittels eines Wärmetauschers auf die Ausgangstemperatur erwärmt. Bei der DE-A-41 01 500 besteht das Arbeitsmedium nur aus einer Komponente.

Die DE-PS 1 55 744 beschreibt ein Verfahren zur Energieerzeugung mittels Verflüssigung von Dampfgemischen aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten. Dabei wird eine verdampfte Flüssigkeitsmenge durch ein- oder mehrmalige Expansionen und Kompressionen unter Arbeitsabgabe vollständig oder teilweise verflüssigt, hierauf unter Wärmezufuhr wieder verdampft und in den Arbeitsprozeß zurückgeführt.

Die Eigenschaften von Zweistoffgemischen sind beispielsweise beschrieben in einem Buch von Stephan und Mayinger "Thermodynamik Grundlagen und technische Anwendungen" 13. Auflage, Band 2, Springer-Verlag, Seiten 64 bis 73, insbesondere Seiten 69 und 73.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine der eingangs genannten Art zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß

(c) das Arbeitsmedium ein Zweistoffgemisch ist, dessen beide Komponenten folgende Bedingungen erfüllen:

- Die kritische Temperatur der einen Komponente liegt unterhalb der Kesseltemperatur und die kritische Temperatur der anderen Komponente liegt oberhalb der Kesseltemperatur.
- Die Zusammensetzung des Zweistoffgemisches liegt bei der Kesseltemperatur im Bereich der retrograden Kondensation.
- Die leichter flüchtige oder gasförmige Komponente ist in der Flüssigphase der schwerer flüchtigen Komponente löslich.
- In einem Diagramm, in welchem das spezifische Volumen als Ordinate über dem Verhältnis der Menge der leichter flüchtigen oder Gasförmigen Komponente zur Gesamtmenge des Zweistoffgemisches als Abszisse aufgetragen ist, weisen die Isobaren an der Phasengrenze einen Knick auf, bei welchem sich die Steigung jeder Isobare bei Verringerung des besagten Verhältnisses vergrößert.

Geht man von einem Punkt des Diagramms aus, welcher bei der Kesseltemperatur im Bereich der retrograden Kondensation liegt, dann führt eine Vergrößerung des Volumens und die damit verbundene Druckabsenkung zu einer Kondensation. Bei hinreichend schneller Vergrößerung des Volumens tritt jedoch eine Verzögerung der Kondensation ein. Dadurch, daß das Volumen nach Erreichen des äußeren Totpunktes im wesentlichen konstant gehalten wird, tritt dann die Kondensation ein. Durch die Kondensation wird ein Druckabfall bewirkt. Bei einer anschließenden Kompression verläuft die Zustandskurve im p-V-Diagramm unterhalb der Kurve bei der Expansion. Bei Erreichen des Anfangsdrucks wird durch Wärmezufuhr aus dem Kessel das Kondensat verdampft und in den Anfangszustand gebracht. Es ergibt sich im p-V-Diagramm eine im Uhrzeigersinn umrundete Fläche, also eine mechanische Arbeitsleistung.

Wesentlich für den beschriebenen Kreisprozeß ist, daß in einem Bereich des Phasendiagramms gearbeitet wird, in welchem die Taulinie einen "Bogen rückwärts" macht, in welchem also retrograde Kondensation stattfindet. Dadurch erfolgt bei einer Expansion eine Kondensatbildung. Bei geeigneter Wahl des Zweistoffgemisches kann aber die Expansion des Volumens so schnell erfolgen, daß die Kondensatbildung verzögert wird. Das ist ein instabiler Zustand. Im äußeren Totpunkt geht das System aus diesem instabilen Zustand in den Gleichgewichtszustand über. Durch die Abknickung der Isobaren an der Phasengrenze ist sichergestellt, daß dieser Übergang in den Gleichgewichtszustand mit einem Druckabfall verbunden ist.

Eine vorteilhafte Lösung ergibt sich, wenn das Zweistoffgemisch ein Gemisch von Stickstoff und Butan ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen

gen näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt in einem (bekanntem) Diagramm, in welchem die Abszisse von der Konzentration x der leichter flüchtigen Komponente in einem Zweistoffgemisch und die Ordinate vom Druck p gebildet ist, die Taulinien und Siedelinien für verschiedene Temperaturen T .

Fig. 2 zeigt in einem (ebenfalls bekannten) Diagramm, in welchem die Abszisse wieder von der Konzentration x der leichter flüchtigen Komponente in einem Zweistoffgemisch und die Ordinate von der Temperatur T gebildet ist, die Taulinien und Siedelinien für verschiedene Drücke.

Fig. 3 zeigt in einem p - x -Diagramm ähnlich Fig. 1 für ein Zweistoffgemisch aus Stickstoff und Butan den Verlauf der Taulinien und der Siedelinien für verschiedene Temperaturen zwischen 0°C und $104,5^\circ\text{C}$.

Fig. 4 zeigt in einem Diagramm, in welchem die Abszisse von der Konzentration der leichter flüchtigen Komponente in einem Zweistoffgemisch und die Ordinate von dem spezifischen Volumen gebildet ist, eine Schar von Isobaren und die Phasengrenze.

Fig. 5 zeigt schematisch eine Wärmekraftmaschine der hier vorliegenden Art in einer ersten Arbeitsphase.

Fig. 6 zeigt die Wärmekraftmaschine in ihrer äußeren Totpunktlage.

Fig. 7 zeigt die Wärmekraftmaschine in ihrer zweiten Arbeitsphase.

Fig. 8 zeigt den Verlauf einer kondensationsverzögerten Adiabate im Vergleich zu einer "Gleichgewichtsadiabate", bei der zu jedem Zeitpunkt die dem jeweiligen Druck entsprechende retrograde Kondensation stattfindet.

Fig. 9 zeigt ein p - V -Diagramm bei der Wärmekraftmaschine von Fig. 5 bis 7.

Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels

Physikalische Grundlagen

In Fig. 1 ist als Abszisse die Konzentration der flüchtigeren oder gasförmigen Komponente in einem Zweistoffgemisch dargestellt. Im Koordinatenursprung am linken Ende des Abszissen-Bereiches ist die Konzentration Null. Dann ist nur noch die schwererflüchtige Komponente vorhanden, d. h. das "Zweistoffgemisch" ist zu einem einheitlichen Stoff geworden. Am rechten Ende des Abszissen-Bereiches ist die Konzentration der leichter flüchtigen Komponente "1" oder "100%". Dann ist nur die leichter flüchtige oder gasförmige Komponente vorhanden. Als Ordinate ist in Fig. 1 der Druck aufgetragen. Das Diagramm zeigt für verschiedene Temperaturen die Taulinien und die Siedelinien. Es ist erkennbar, daß diese Linien bei Zweistoffgemischen getrennt sind. An dem linken und dem rechten Ende des Abszissen-Bereiches fallen die Taulinie und Siedelinie zusammen. Dort sind nur reine Stoffe vorhanden. Es ergibt sich bei Temperaturen unterhalb der kritischen Temperaturen T_{k1} und T_{k2} der leichterflüchtigen ersten bzw. der schwererflüchtigen zweiten Komponente ein linsenförmiges Diagramm mit der Taulinie 10 und der Siedelinie 12. Unterhalb der Taulinie ist das Zweistoffgemisch durchgehend dampfförmig, oberhalb der Siedelinie ist das Zweistoffgemisch flüssig. Wird bei einem vorgegebenen Mengenverhältnis der beiden Komponenten in dem Zweistoffgemisch ausgehend von einem Zustand

unterhalb der Taulinie bei konstanter Temperatur der Druck erhöht, wie durch Pfeil 14 dargestellt ist, dann werden bei Überschreiten der Taulinie 10 Tröpfchen gebildet. Zieht man von einem Punkt 16 zwischen Taulinie 10 und Siedelinie 12 eine horizontale Linie 18, dann liefert deren Schnittpunkt 20 mit der Siedelinie 12 die Konzentration der leichter flüchtigen ersten Komponente in den Tröpfchen. Der Schnittpunkt 22 der Linie 18 mit der Taulinie liefert die Konzentration der ersten Komponente in dem verbleibenden Gas. Die erstere Konzentration ist geringer als die dem Pfeil 14 entsprechende Ausgangskonzentration, die letztere Konzentration ist höher.

In den Tröpfchen kondensiert zunächst vorwiegend die schwerer flüchtige zweite Komponente, in der Gasphase verbleibt zunächst überwiegend die leichter flüchtige erste Komponente. Oberhalb der Siedelinie 12 ergibt sich wieder die Ausgangskonzentration, nun in der durchgehend flüssigen Phase. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei einer Verringerung des Drucks p ausgehend von einem durchgehend flüssigen Zustand des Zweistoffgemisches, wie das in Fig. 1 durch einen Pfeil 24 dargestellt ist. Dann beginnt das Zweistoffgemisch bei Erreichen der Siedelinie zu verdampfen. Dabei verdampft zunächst die leichter flüchtige Komponente. Es ergibt sich eine höhere Konzentration der leichter flüchtigen Komponente in der Dampfphase, während die Konzentration dieser ersten Komponente in der flüssigen Phase abnimmt. Unterhalb der Taulinie ist dann wieder das anfängliche Verhältnis der Komponenten, nun in der Gasphase wiederhergestellt.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich in dem Diagramm von Fig. 2, wenn bei einem vorgegebenen Druck die Temperatur erhöht oder erniedrigt wird.

Solange die Temperatur unterhalb der kritischen Temperaturen beider Komponenten T_{k1} bzw. T_{k2} bzw. der Druck unterhalb der kritischen Drücke p_{k1} bzw. p_{k2} liegt, ergeben sich im allgemeinen die "linsenförmigen" Verläufe von Taulinie 10 und Siedelinie 14. In dem x - T -Diagramm von Fig. 2 liegt die Taulinie 26 über der Siedelinie 28. Es können alle Konzentrationen x der ersten Komponente in dem Zweistoffgemisch gewählt werden.

Wenn jedoch in Fig. 1 die Temperatur größer als die kritische Temperatur T_{k1} der leichter flüchtigen, ersten Komponente des Zweistoffgemisches wird, dann wird aus dem "linsenförmigen" Diagramm von Taulinie und Siedelinie eine "tropfenförmige" Kurve, die sich nicht mehr über den gesamten Wertebereich der Abszisse x erstreckt. Bei höheren Konzentrationen ist bei diesen Temperaturen keine Kondensation mehr möglich.

Interessant ist aber, daß die mit einer ausgezogenen und einer strichpunktiierten Linie markierte Taulinie 30 in Fig. 1 in ihrem Endbereich 32 nach oben links "übergeschlagen" ist, also von rechts nach links bis zu einem kritischen Punkt 34 zurückläuft. Es gibt also einen von der Temperatur abhängigen Wertebereich 36, in welchem das Innere der tropfenförmigen Kurve "oben" und "unten" von der Taulinie begrenzt ist. "Oberhalb" der übergeschlagenen Taulinie ist bei der betrachteten Temperatur ebenfalls keine Kondensation des Zweistoffgemisches möglich. Das Zweistoffgemisch ist gasförmig.

Entspannt man dieses gasförmige Zweistoffgemisch ausgehend von dem kritischen Punkt 34 isotherm, so daß sich der Zustandspunkt längs des Pfeiles 36 bewegt, dann beginnt eine Kondensation. Die beiden Phasen spalten sich auf. Die Konzentration x der leichter flüchtigen, ersten Komponente in der flüssigen Phase nimmt

dabei ab, die Konzentration der ersten Komponente in der Gasphase nimmt zu. Das erfolgt in dem Bereich zwischen dem kritischen Punkt 34 und der horizontalen Linie 38, die durch den Punkt 40 mit vertikaler Tangente geht. In diesem Bereich erfolgt somit mit abnehmendem Druck eine zunehmende Kondensation. Man bezeichnet diese Erscheinung als retrograde Kondensation".

In diesem Gebiet wird bei der hier beschriebenen Wärmekraftmaschine gearbeitet. Die physikalischen Zusammenhänge sind in dem oben zitierten Buch von Stephan und Mayinger ausführlicher erläutert.

Ausführungsbeispiel

Fig. 5 bis 7 zeigen rein schematisch eine Wärmekraftmaschine. Die Wärmekraftmaschine arbeitet mit einem Zweistoffgemisch von Stickstoff N_2 und Butan C_4H_{10} . Die Wärmekraftmaschine weist einen Kessel 42 auf. Der Kessel 42 wird auf einer Temperatur von $104,5^\circ C$ gehalten. Der Kessel 42 ist über eine nicht näher dargestellte erste Ventilanordnung 44 mit einer Zylinderkammer 46 eines Zylinders 48 verbindbar. Die Zylinderkammer 46 wird von einem Kolben 50 abgeschlossen. Der Kolben 50 ist in dem Zylinder 48 zwischen einer inneren Totpunktstellung und einer äußeren Totpunktstellung beweglich geführt. Die innere Totpunktstellung ist in Fig. 5 gestrichelt eingezeichnet. Die äußere Totpunktstellung ist in Fig. 7 gestrichelt eingezeichnet. Der Kolben 50 ist über eine Kolben- oder Pleuelstange 52 und ein Ungleichförmigkeitsgetriebe 54 mit einem Schwungrad 56 gekoppelt. Die Zylinderkammer 46 ist über eine ebenfalls nicht näher dargestellte zweite Ventilanordnung 58 und einen im Kessel 42 angeordneten Wärmeaustauscher 60 mit dem Kesselinnenraum verbindbar.

Die beschriebene Wärmekraftmaschine arbeitet wie folgt:

Es wird eine bestimmte Menge des Zweistoffgemisches aus dem Kessel 42 über die erste Ventilanordnung 44 in die Zylinderkammer 46 eingeleitet. Die Konzentration der leichter flüchtigen Komponente N_2 in dem Zweistoffgemisch ist zu 0,26 gewählt. Das entspricht dem kritischen Punkt A (Fig. 3) dieses Zweistoffgemisches bei der Temperatur von $104,5^\circ C$. Das ist aus Fig. 3 ersichtlich. Fig. 3 zeigt für das Gemisch von Stickstoff und Butan die tropfenförmigen Kurven, die aus der Taulinie und der Siedelinie ähnlich wie in Fig. 1 gebildet sind. Das Zweistoffgemisch aus Stickstoff und Butan ist dabei dampfförmig.

Es wird jetzt dafür gesorgt, daß das Volumen der Zylinderkammer 46 schnell adiabatisch expandiert. Das ist die erste Arbeitsphase, die in Fig. 5 dargestellt ist. Dabei sinkt der Druck p ab. In dem Diagramm bewegt sich der Zustandspunkt in vereinfachter Darstellung längs der Bahn 62 zu einem Punkt B in Fig. 3. In diesem Punkt sollte sich nach dem Diagramm von Fig. 3 durch die oben geschilderte retrograde Kondensation ein Kondensat bilden. Die flüssige Phase entspricht dabei dem Punkt "C" in Fig. 3 mit einem geringeren Anteil der leichter flüchtigen Komponente des Zweistoffgemischs (Stickstoff). Die Gasphase entspricht dem Punkt D in Fig. 3 mit einem erhöhten Anteil der leichter flüchtigen Komponente. Durch die schnelle Expansion wird nun erreicht, daß während des Hubes des Kolbens 50 von dem inneren Totpunkt zum äußeren Totpunkt eine Verzögerung der Kondensation stattfindet. Das Zweistoffgemisch bleibt dampfförmig. Bei der Expansion leistet der Dampf mechanische Arbeit.

Das ist in Fig. 8 durch Kurve 64 dargestellt. Zum Vergleich ist in Fig. 8 als Kurve 66 diejenige Kurve gezeigt, die sich bei einer adiabatischen Expansion im Gleichgewichtszustand ergeben würde, also dann, wenn bei jeder Druckverminderung sofort die zugehörige Kondensation gemäß Fig. 3 stattfinden würde. Die Kurve 64 verläuft bei dem hier verwendeten Zweistoffgemisch von Stickstoff und Butan oberhalb der Kurve 64. Das ist aus der Darstellung von Fig. 4 verständlich:

Fig. 4 zeigt ein Diagramm, dessen Abszisse wieder die Konzentration von Stickstoff in dem Zweistoffgemisch und dessen Ordinate das spezifische Volumen ist, also der Kehrwert der Dichte. In diesem Diagramm ist eine Schar von Isobaren 68 dargestellt. Die Isobaren geben an, welches spezifische Volumen das Zweistoffgemisch hat bei einer Temperatur von $104,5^\circ C$, für einen bestimmten Druck und einen bestimmten Anteil von Stickstoff in dem Zweistoffgemisch. Eine Kurve 70 stellt die Phasengrenze dar. Es zeigt sich, daß die Isobaren 68 an der Phasengrenze 70 jeweils einen Knick zeigen. Die Steigung der Isobaren 68 wird an der Phasengrenze bei Verringerung des Stickstoff-Anteils, also der Abszisse x , vergrößert. Anders ausgedrückt: Wenn man längs einer Isobare 68 von rechts in dem Diagramm kommend an die Phasengrenze 70 gelangt, dann macht die Isobare 68 einen Knick "nach unten". Wenn das Zweistoffgemisch dabei in einem instabilen, gasförmigen Zustand verbleibt und nicht entsprechend den Punkten C und D teilweise kondensiert, dann verläuft die "instabile" Isobare 68 von z. B. 100 bar längs der gestrichelten Linie 72 statt längs der abgelenkten Linie 74. Einem durch die Linie 76 in Fig. 4 dargestellten Endvolumen 76 der Zylinderkammer 46 (Fig. 6) entspricht dann ein Druck von 100 bar.

Im äußeren Totpunkt wird die Bewegung des Kolbens 50 kurzzeitig angehalten. Das Zweistoffgemisch geht jetzt in seinen stabilen Zustand über. Es erfolgt eine Kondensation mit den Konzentrationen gemäß Punkt C und D für die gasförmige bzw. flüssige Phase. Dieser stabile Zustand entspricht aber, wie Fig. 4 zeigt, einem Druck von 80 bar entsprechend der Isobare 78. Das Zweistoffgemisch springt daher in dem p-V-Diagramm bei dem Endvolumen der Zylinderkammer 46 gemäß dem Kurvenstück 80 in diesen stabilen Zustand.

Die Kurve 64 in Fig. 8 wird dadurch erhalten, daß man für die Anfangskonzentration z. B. von 0,26 in dem Diagramm von Fig. 4 senkrecht nach oben geht und dabei die Schnittpunkte der vertikalen Linie mit den verschiedenen "instabilen" Isobaren 72 bestimmt. Diese Schnittpunkte liefern jeweils ein Wertepaar von p und V , das einen Punkt auf der Kurve 64 in dem p-V-Diagramm von Fig. 8 definiert. Tatsächlich ist mit der adiabatischen Expansion auch eine Abkühlung des Arbeitsmediums verbunden. Das Diagramm von Fig. 4 gilt für eine konstante Temperatur von $104,5^\circ C$. Man muß also, um den genauen Verlauf der Kurve 64 zu erhalten, jeweils in die entsprechenden Diagramme für die verschiedenen niedrigeren Temperaturen hineingehen. Hierdurch wird aber der beschriebene Effekt noch verstärkt, weil bei tieferen Temperaturen die Phasengrenze in dem Diagramm von Fig. 4 weiter nach rechts rückt. Dadurch vergrößert sich der Abstand zwischen Phasengrenze und Anfangskonzentration.

In der in Fig. 7 dargestellten zweiten Arbeitsphase wird das Kondensat-Dampf-Gemisch längs einer Kompressionskurve 82 wieder auf den Ausgangsdruck gebracht. Durch die Kondensation liegt der Endpunkt 84 bei einem geringeren Volumen als der Ausgangspunkt

86. Über die Ventilmittel 58 wird jetzt das als Arbeitsmittel dienende Zweistoffgemisch wieder in den Kessel 42 zurückgeführt. Dabei wird ihm über den Wärmeaustauscher 60 Wärme aus dem Kessel 42 zugeführt. Das Zweistoffgemisch wird wieder verdampft und auf die Kesseltemperatur gebracht. Das ist das waagerechte, bei konstantem Druck verlaufende Stück 88 des p-V-Diagramms. Dann ist der Ausgangszustand wieder erreicht.

Man erkennt, daß das p-V-Diagramm eine geschlossene Kurve ist, die eine Fläche umschließt und im Uhrzeigersinn durchlaufen wird. Die Wärmekraftmaschine leistet daher bei jedem Zyklus mechanische Arbeit.

Die beschriebene Funktion setzt eine ungleichförmige Bewegung des Kolbens 50 mit einem Stillstand im Bereich des unteren Totpunktes voraus. Eine solche Bewegungs-Charakteristik wird durch das Ungleichförmigkeits-Getriebe zwischen Kolbenstange 52 und Schwungrad 56 erreicht. Das Ungleichförmigkeits-Getriebe 54 kann so ausgelegt werden, daß bei der sich einstellenden, durch die Trägheit des Schwungrades 56 im wesentlichen gleichförmigen Drehung des Schwungrades 56 der Kolben 50 die gewünschte Bewegungs-Charakteristik zeigt.

Patentansprüche

1. Mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend

a) einen durch einen beweglichen Wandungsteil (50) abgeschlossenen Raum (46), in den ein Arbeitsmedium bei einer Kesseltemperatur eingeleitet wird und dessen Volumen

— in einer ersten Arbeitsphase mit relativ schneller Expansion von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung des Wandungsteils (50) bis zu einem äußeren Totpunkt vergrößert wird,

— im Bereich des äußeren Totpunktes für eine vorgegebene Zeit im wesentlichen konstant gehalten wird und

— in einer zweiten Arbeitsphase durch Einwärtsbewegung des Wandungsteils (50) mit einer relativ langsamen Kompression wieder auf das Ausgangsvolumen im inneren Totpunkt verkleinert wird,

b) Wärmeaustauschmittel (60), mittels derer das Arbeitsmedium durch Wärmezufuhr wieder in den Ausgangszustand auf Kesseltemperatur gebracht wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

c) das Arbeitsmedium ein Zweistoffgemisch ist, dessen beide Komponenten folgende Bedingungen erfüllen:

— Die kritische Temperatur (T_{k1}) der einen Komponente liegt unterhalb der Kesseltemperatur und die kritische Temperatur (T_{k2}) der anderen Komponente liegt oberhalb der Kesseltemperatur.

— Die Zusammensetzung des Zweistoffgemisches liegt bei der Kesseltemperatur im Bereich der retrograden Kondensation.

— Die leichter flüchtige oder gasförmige Komponente ist in der Flüssigphase der schwerer flüchtigen Komponente löslich.

— In einem Diagramm, in welchem das spezifische Volumen als Ordinate über

dem Verhältnis der Menge der leichter flüchtigen oder gasförmigen Komponente zur Gesamtmenge des Zweistoffgemisches als Abszisse aufgetragen ist, weisen die Isobaren (68, 78) an der Phasengrenze (70) einen Knick auf, bei welchem sich die Steigung jeder Isobare (68, 78) bei Verringerung des besagten Verhältnisses (x) vergrößert.

2. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Zweistoffgemisch ein Gemisch von Stickstoff und Butan ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

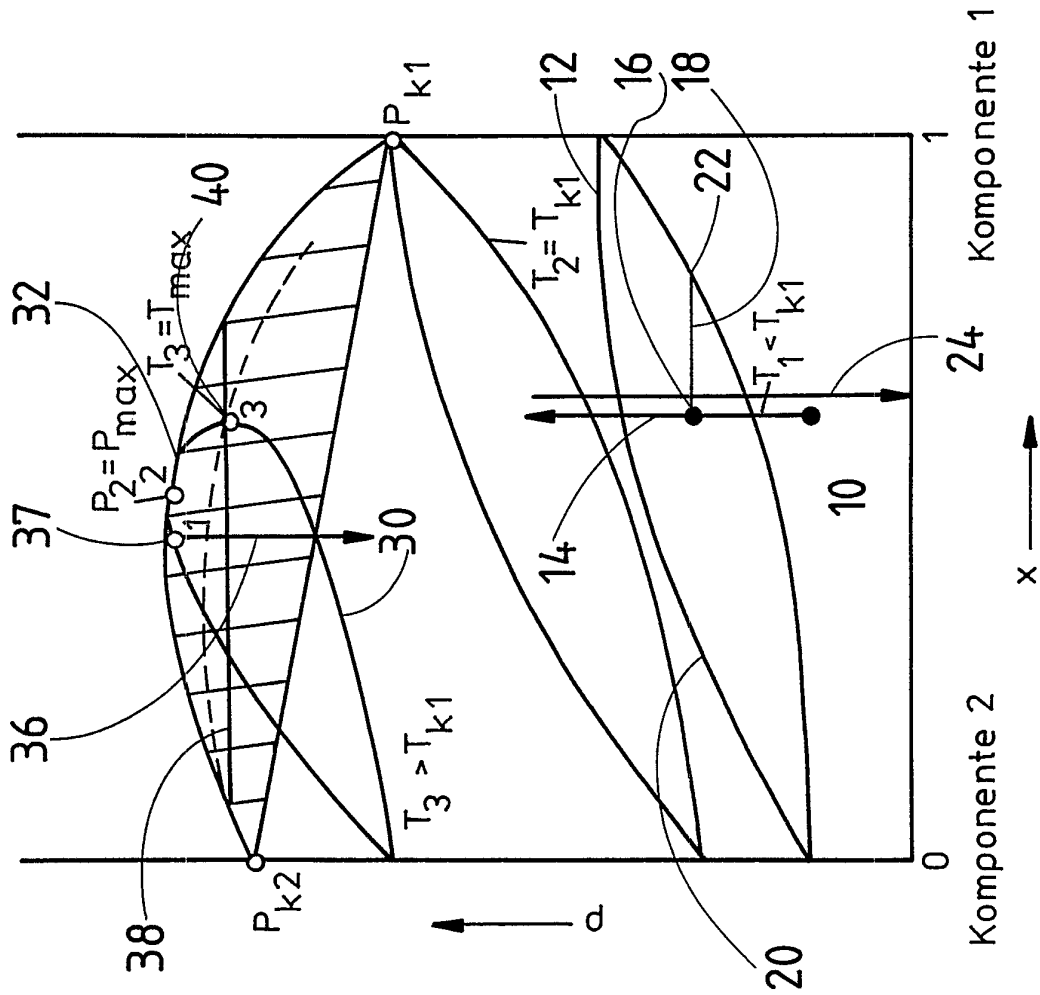


Fig.1

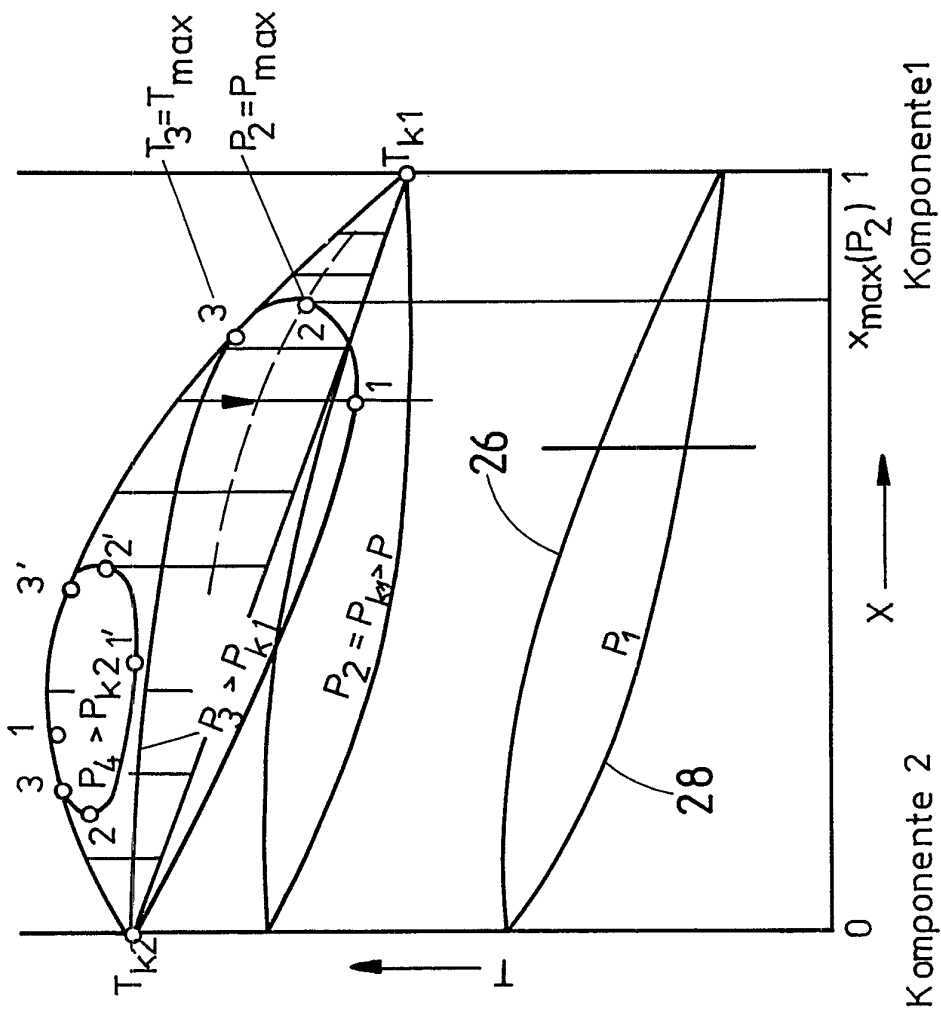


Fig. 2

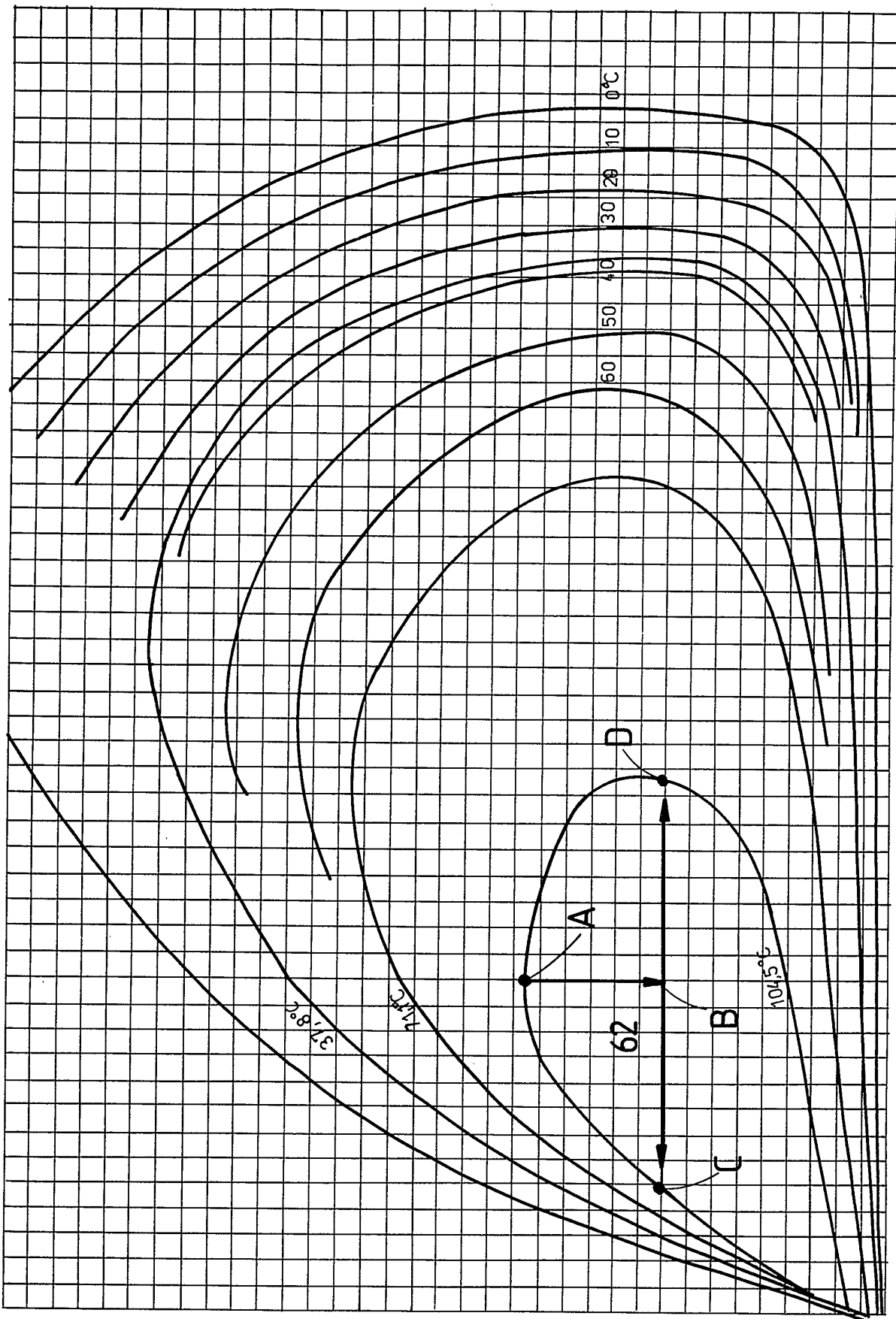


Fig. 3

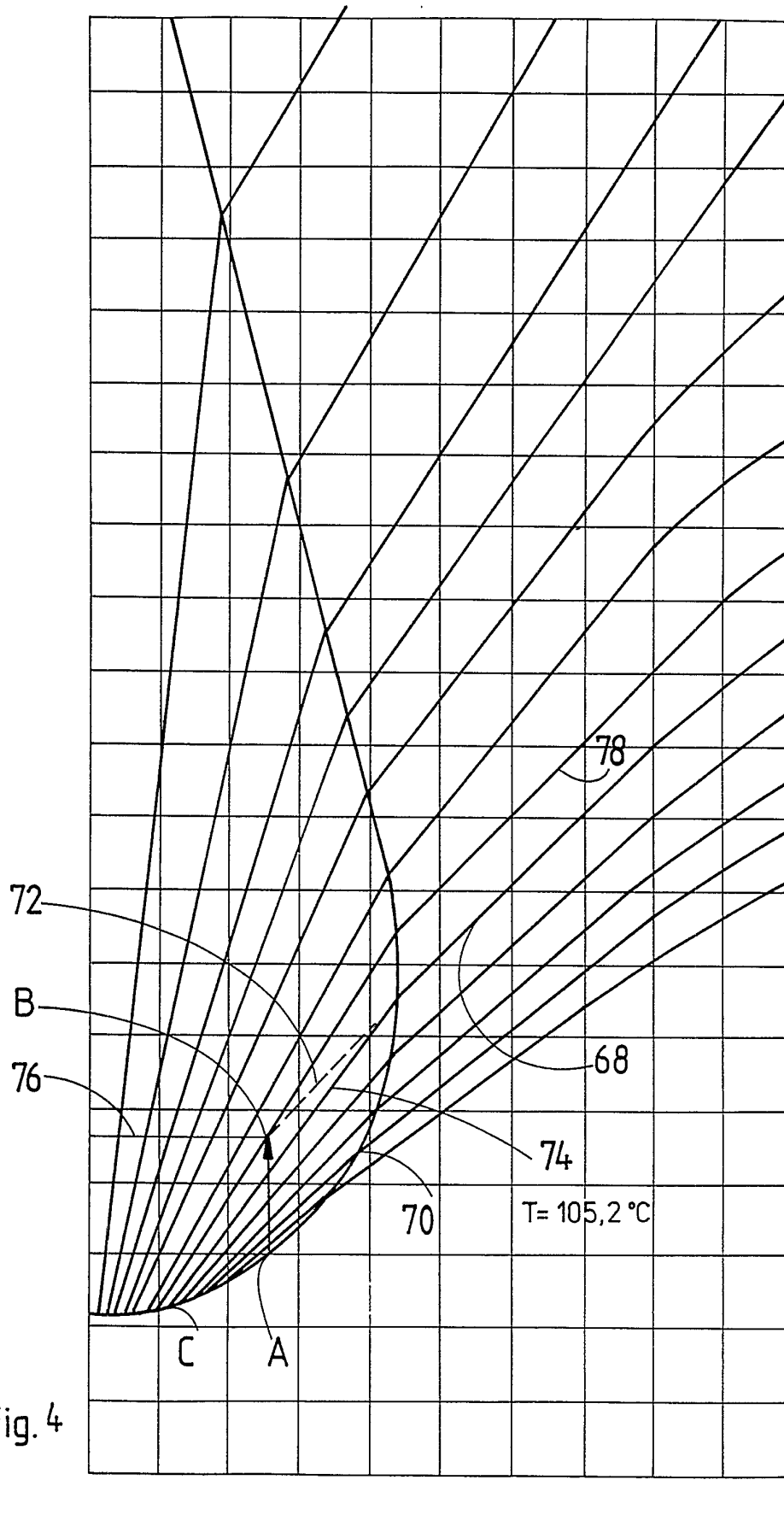


Fig. 4

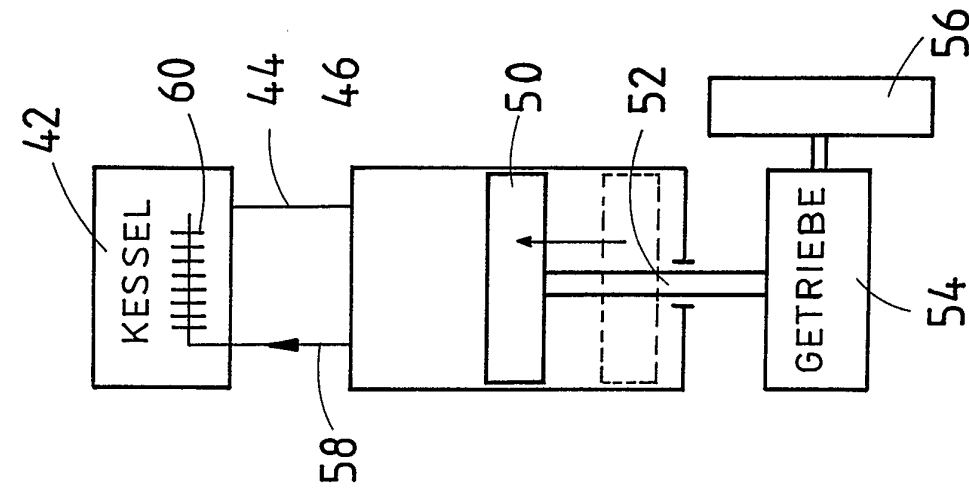


Fig. 5

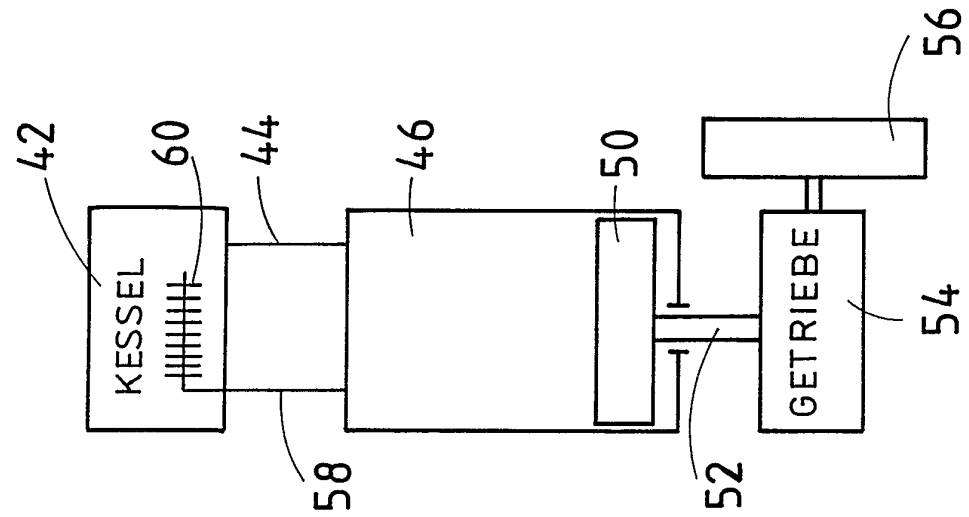


Fig. 6

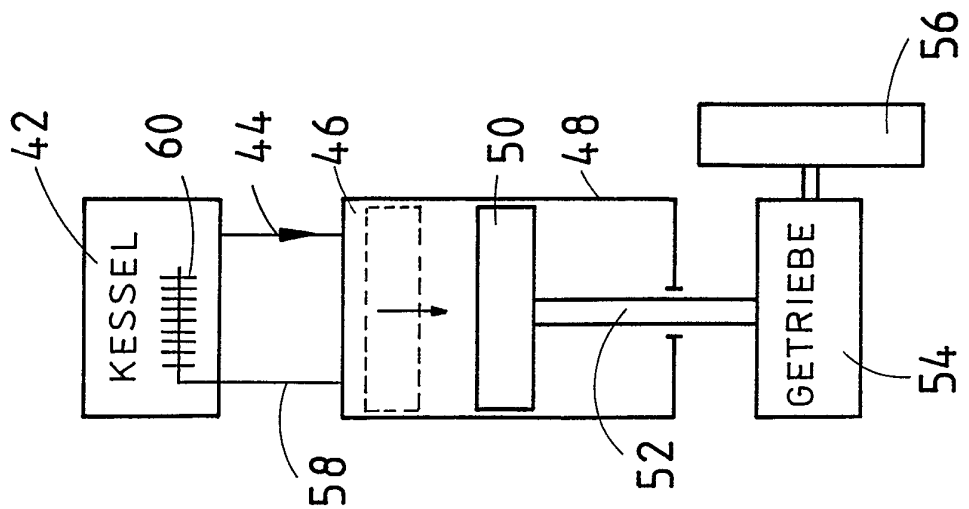


Fig. 7

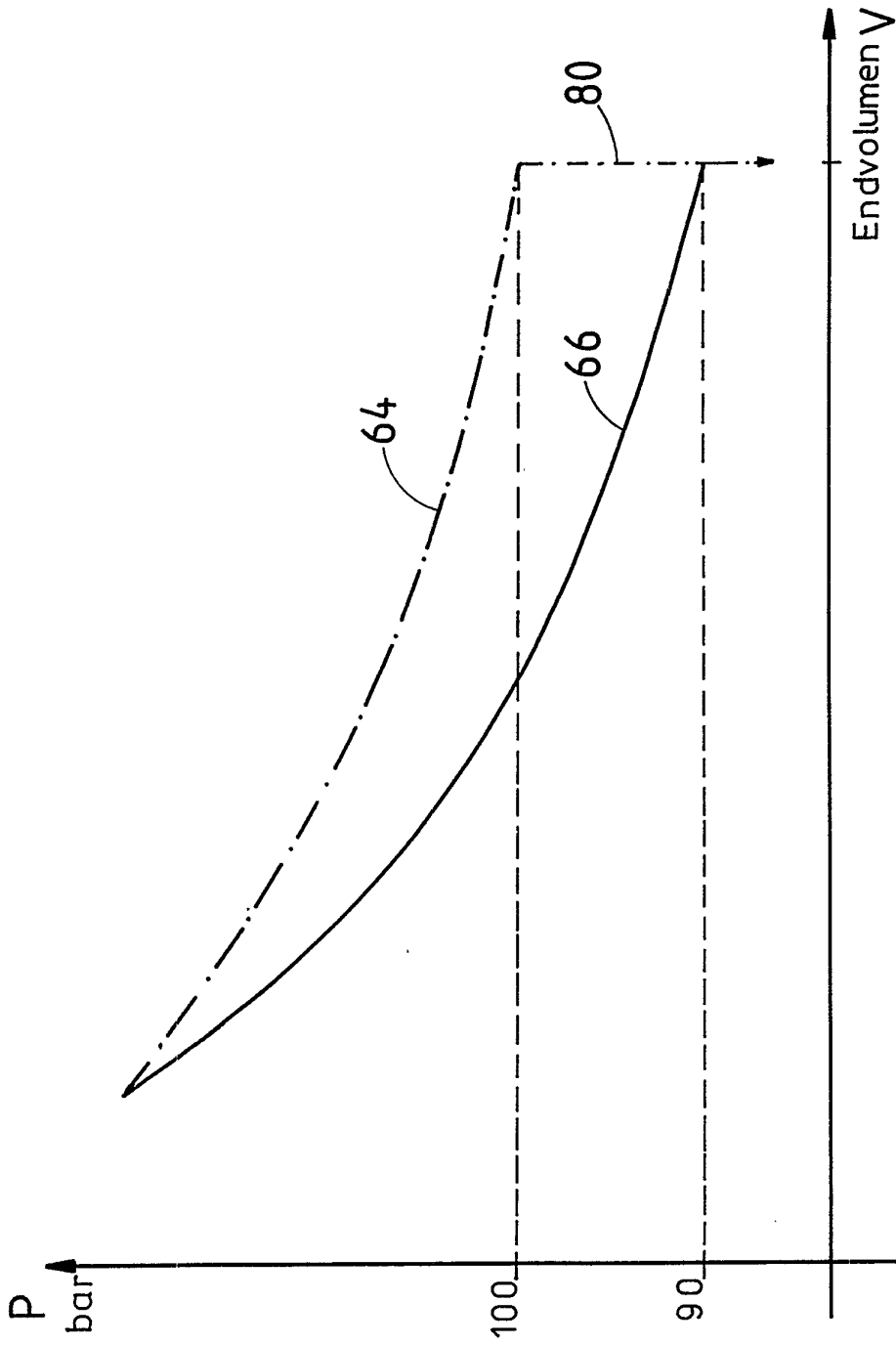


Fig. 8

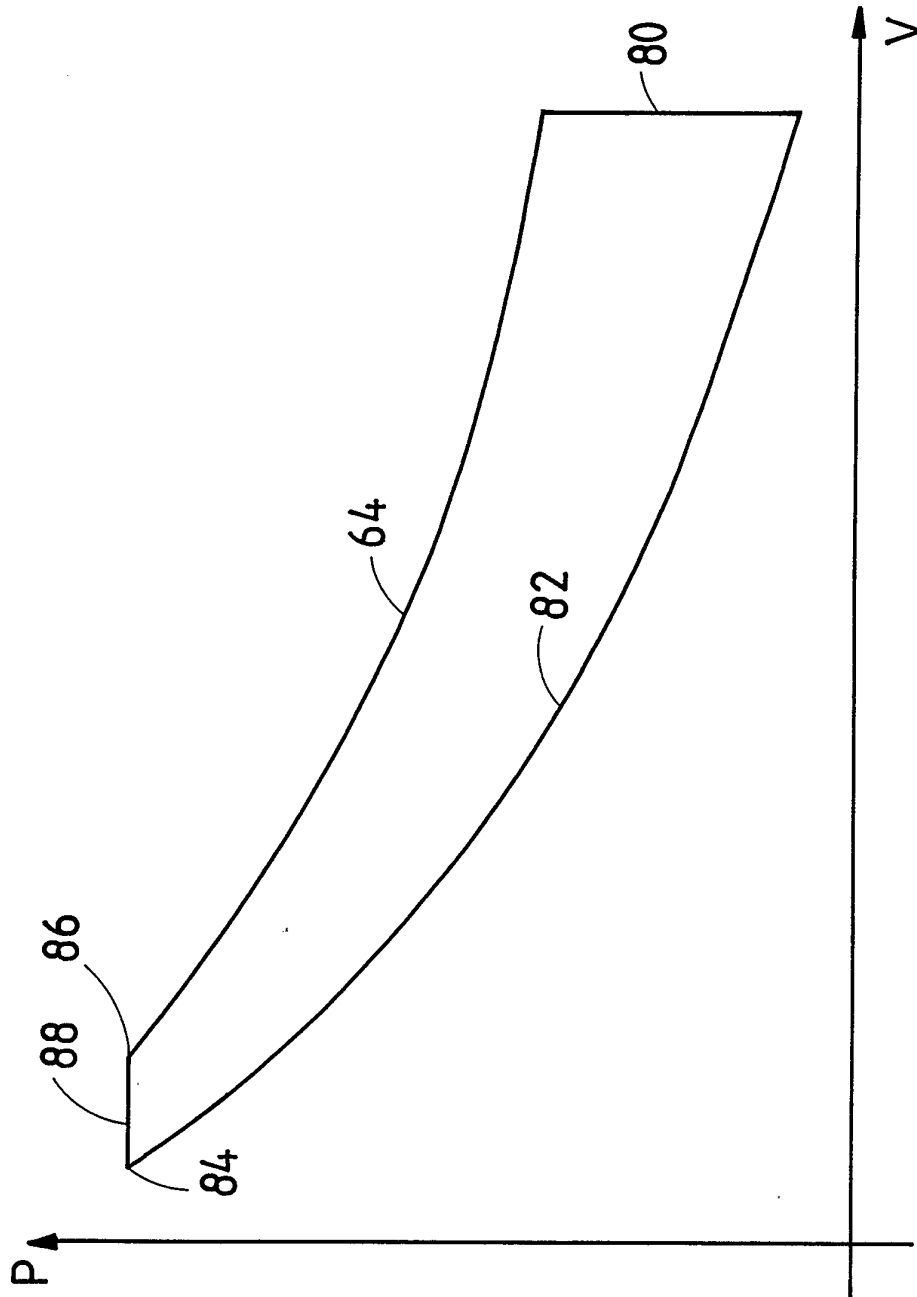


Fig. 9