



(11) **EP 2 299 097 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**23.03.2011 Patentblatt 2011/12**

(51) Int Cl.:  
**F02G 1/043<sup>(2006.01)</sup> F02G 1/055<sup>(2006.01)</sup>**  
**F02G 1/06<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **10007462.4**

(22) Anmeldetag: **27.01.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR**  
**HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI**  
**SK TR**

(30) Priorität: **27.01.2005 DE 102005003896**  
**22.03.2005 DE 102005013287**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)  
nach Art. 76 EPÜ:  
**06703820.8 / 1 841 964**

(71) Anmelder: **Maschinenwerk Misselhorn MWM**  
**GmbH**  
**80336 München (DE)**

(72) Erfinder: **Misselhorn, Jürgen**  
**70794 Filderstadt (DE)**

(74) Vertreter: **Wagner, Karl H.**  
**Wagner & Geyer**  
**Gewürzmühlstrasse 5**  
**80538 Munich (DE)**

Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 19-07-2010 als  
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten  
Anmeldung eingereicht worden.

(54) **Kraftwerk mit Wärmeauskopplung**

(57) Durch den Einsatz des offenbaren Wärmeprozesses wird ein hoher Wirkungsgrad auch bei niedrigen Prozesstemperaturen erreicht. In dem Wärmeprozess laufen in einem Kreisprozess vier Zustandsänderungen eines eingeschlossenen Arbeitsstoffes zwischen zwei

Temperaturebenen in folgender Reihenfolge ab: isochorische Wärmezufuhr, isothermische Expansion, isochorische Wärmeabfuhr, isothermische Kompression.

**EP 2 299 097 A2**

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Bei dieser Erfindung handelt es sich um eine Kraftanlage mit Wärmeauskoppelung, bei der mehrere der nachfolgend beschriebenen Wärmekraftmaschinen, wie sie im folgenden und an Hand der Figuren 1-18 beschrieben werden, in Reihe hintereinander eingesetzt werden, um die zur Verfügung stehende Wärme entweder größtenteils zur Stromerzeugung oder größtenteils zu anderen Zwecken, wie z.B. Heizung, oder gleichzeitig für beides in beliebigem Verhältnis zueinander zu nutzen.

**[0002]** Die, bei der vorliegenden Erfindung eingesetzte Wärmekraftmaschine, ist eine solche mit externer Wärmequelle, die nach dem Prinzip des Stirlingkreisprozesses, in Kombination mit einem Clausius-Rankine ähnlichen Kreisprozess arbeitet.

Der einzelne Kreisprozess besteht aus sechs Zustandsänderungen:

zwei Isobaren, zwei Isochoren, zwei Isothermen.

In dieser Wärmekraftmaschine finden mehrere des oben beschriebenen Kreisprozesses gleichzeitig, aber zeitlich versetzt, statt. Die Zustandsänderungen Expansion und Kompression der einzelnen Kreisprozesse, wirken auf einen gemeinsamen Arbeitszylinder.

**[0003]** Mit den zunehmenden Kosten für Primärenergie aus fossilen Brennstoffen wächst der Bedarf an Lösungen, die zur effektiveren Nutzung der Primärenergie beitragen. Durch die Erwärmung der Atmosphäre besteht der Zwang fossile Brennstoffe zu vermeiden und vermehrt regenerierbare Energie zu verwenden. Die am häufigsten eingesetzten Wärmekraftmaschinen Diesel- und OttoMotoren werden im Straßen-, Schiffs- und Luftverkehr eingesetzt, und belasten die Umwelt stark durch ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Aus wirtschaftlichen Gründen verbrauchen diese Motoren in der Regel Brennstoffe fossilen Ursprungs, wie Benzin, Dieselöl, Kerosin oder Erdgas. Es wird verstärkt geforscht um diese fossilen Brennstoffe durch regenerierbare Brennstoffe ersetzen zu können. Vor allem werden Lösungen gesucht um Brennstoffe z. B. Wasserstoff, Rapsöl, Biogas oder sonstige regenerierbare Energien aus Biomasse (z. B. mit Hilfe des Fischer-Tropsch-Verfahrens) einsetzen zu können.

**[0004]** Dampf- und Gasturbinen, Blockheizkraftwerke und Stromaggregate mit Diesel oder Ottomotoren sind die zur Zeit vorwiegend zur Stromerzeugung eingesetzten Wärmekraftmaschinen. Die genannten Stromerzeuger, bis auf die Dampferzeugung für Dampfturbinen, können nur im geringen Maße mit regenerativen Brennstoffen betrieben werden.

**[0005]** Alle diese Wärmekraftmaschinen haben eines gemeinsam, sie können nur einen relativ geringen Teil der eingesetzten Energie, ca. 30- 40 %, in mechanische Arbeit und somit auch in Strom umsetzen. Die restlichen 60- 70% der Primärenergie gehen als Wärmeenergie

verloren, wenn sie nicht als Heizwärme genutzt werden können.

**[0006]** Um bei nicht bestehendem Heizbedarf diese überschüssige Energie zu nutzen, wurden verschiedene Wärmekraftmaschinen entwickelt, die auch bei niederen Temperaturen mit einem hinnehmbaren Wirkungsgrad arbeiten. Zu diesen Entwicklungen zählt auch der "Organic Rankine Cycle" (ORC), bei dem anstelle des Wassers und Wasserdampfes organische Verbindungen als Arbeitsstoff genutzt werden, deren Verdampfungstemperaturen und Dampfdrücke einen Betrieb bei niederen Temperaturen zulassen. In der jüngsten Vergangenheit sind einige ORC-Anlagen in Betrieb genommen worden. Mit den ORC-Anlagen kann auch regenerierbare Energie, wie zum Beispiel Erdwärme aus geothermischen Quellen, in Arbeit umgesetzt werden.

**[0007]** Um fossile Brennstoffe zu sparen, wird in verstärktem Maße mit dem Stirlingmotor experimentiert, da es bei dieser Wärmekraftmaschine unerheblich ist, welcher Brennstoff benutzt wird. Die Wärmeenergie findet unabhängig von der Krafterzeugung statt. Der Stirlingmotor wird schon durch mehrere Firmen in verschiedenen Ausführungen serienmäßig hergestellt. Er wird unter Anderem in Klein-Blockheizkraftwerken (BHKW) eingesetzt.

**[0008]** Der Wunsch Sonnenenergie in Strom umzusetzen hat der Entwicklung von Stirlingmotoren wichtige Impulse gegeben.

**[0009]** In der Stirling-Wärmekraftanlage wird eine eingeschlossene Gasmasse periodisch erwärmt und abgekühlt, die dadurch hervorgerufenen Druckänderungen werden durch einen Arbeitskolben in mechanische Arbeit umgesetzt. Der thermodynamische Prozess besteht idealisiert aus vier Zustandsänderungen: Kompression bei konstanter Temperatur (isotherme), Wärmezufuhr bei konstantem Volumen (Isochore), Expansion bei konstanter Temperatur (Isotherme) und Wärmeabfuhr bei konstantem Volumen (Isochore). Das Arbeitsgas wird bei hohen Drücken zwischen einem warmen und einem kalten Raum hin und her geschoben. Zwischen diese Räume ist zur Verbesserung des Wirkungsgrades ein Regenerator geschaltet, an den das zur kalten Seite strömende Gas Wärme abgibt und beim Rückströmen Wärme aufnimmt.

Als Niedertemperatur-Wärmekraftanlage ist die Stirlinganlage wirtschaftlich kaum nutzbar, da der thermodynamische Nutzungsgrad sehr gering ist. Die zur Verfügung stehende Leistung wird durch die mechanischen Verluste größtenteils intern verbraucht.

**[0010]** Der Stirlingmotor als Heißgasmotor und die Dampfkraftanlagen (einschl. ORC-Anlagen) nach dem Clausius-Rankine-Vergleichsprozess sind die einzigen, serienmäßig eingesetzten Wärmekraftmaschinen mit externer Wärmeenergie.

**[0011]** Beim Clausius-Rankine Prozess wird Wasser, oder ein anderer Stoff unter hohem Druck, verdampft (Isobare). Der Dampf entspannt sich isentropisch über eine Turbine in eine niedere Druckebene und wird bei

gleich bleibendem Druck (isobarisch) wieder verflüssigt. Das Kondensat wird mittels Pumpen (isentropisch) wieder auf die hohe Druckstufe gepumpt. Hier beginnt der Prozess wieder von vorne.

**[0012]** Der Clausius Rankine-Prozess besteht aus 2 Isobaren und 2 Isentropen.

**[0013]** Zum Stand der Technik sei auf die Druckschriften US 4,138,847 "Heat Recuperative Engine" und DE 26 49 941 A1 "Stirlingmaschine und Verfahren zum Betreiben derselben" hingewiesen, aus denen eine Wärmekraftmaschine mit Wärmeüberträgern bekannt ist, wobei ein Arbeitsgas jeweils eine isochore Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr, sowie eine isotherme Expansion und Kompression als Zustandsänderung zwischen zwei Temperaturebenen verrichtet. Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde die bei vielen Prozessen anfallende Abwärme zu nutzen und zwar durch eine bessere Ausnutzung der isochorischen Zustandsänderungen, um gleichzeitig einen geringeren konstruktiven Aufwand zu erzielen.

**[0014]** Die gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzte Wärmekraftmaschine weist auch im Niedertemperaturbereich einen relativ hohen Wirkungsgrad auf. Mit dieser Wärmekraftmaschine soll unter anderem ein Teil der Abwärme aus Industrie oder Kraftanlagen, die durch Fortblasen von warmer oder heißer Abluft verloren gehen würde, zurück gewonnen werden.

In gleicher Weise kann ein Teil der Abwärme aus Flüssigkeiten, die über Rückkühlanlagen oder dergleichen an die Umwelt abgegeben würden, zurück gewonnen werden.

Vor allem soll ein Teil der Wärme, welche üblicher Weise bisher wegen des niedrigen Temperaturniveaus nicht wirtschaftlich genutzt werden kann, mittels dieser Wärmekraftmaschine in Strom umgesetzt werden.

**[0015]** Das Grundprinzip dieser Wärmekraftmaschine basiert auf zwei Kreisprozessen (dem Stirling- und dem Clausius-Rankine-Kreisprozess) welche gleichzeitig ablaufen und sich gegenseitig ergänzen. Der Clausius-Rankine-Kreisprozess findet praktisch innerhalb des Stirling-Kreisprozesses in solch eine Weise statt, dass die Isentropen des Clausius-Rankine-Prozesses in den Isothermen des Stirling-Kreislaufes aufgehen. Der Clausius-Rankine - Kreisprozess besteht in diesem Fall aus zwei Isobaren und zwei Isothermen, wobei diese Isothermen Bestandteil beider Kreisprozesse sind. (vergl. Fig. 16 bis 18 in der Zeichnung)

**[0016]** Um die Möglichkeit zu schaffen, dass Verdampfung und Verflüssigung stattfinden können, wird ein Arbeitsstoff gewählt, dessen Siedepunkt sich bei entsprechend gewähltem Druck, zwischen den beiden für den Betrieb der Wärmekraftmaschine erforderlichen Temperaturebenen befindet.

**[0017]** Die zum Einsatz kommenden Wärmeüberträger (geschlossener Behälter mit großer Wärmeübertragungsfläche) werden zweigeteilt. Die beiden Hälften werden mittels einer Isolierschicht so miteinander verbunden, dass der Wärmefluss über deren Hülle von der einen

Hälfte in die andere minimiert wird. Der Arbeitsstoff kann als Flüssigkeit oder Gas jedoch ungehindert von einer Hälfte in die andere fließen bzw. strömen.

**[0018]** In einem Arbeitszylinder mit einem Freikolben werden die Zustandsänderungen des Arbeitsstoffes in Arbeit umgesetzt. Über Verbindungsrohre mit integrierten Ventilen werden die Wärmeüberträger mit dem Arbeitszylinder verbunden, über welche ein Austausch des Arbeitsstoffes zwischen Wärmeüberträger und Arbeitszylinder erfolgen kann. Wegen des freilaufenden Kolbens, (d. h. der Kolben ist nicht über einen Pleuel mit einer Kurbelwelle oder dergleichen verbunden) können auf beiden Seiten des Kolbens Wärmeüberträger mit dem Zylinder verbunden werden.

**[0019]** Da bei dieser Wärmekraftmaschine mehrere Kreisprozesse gleichzeitig ablaufen, sind mehrere Wärmeüberträger erforderlich. Die Mindestanzahl ist 3 bei einseitigem Anschluss an den Arbeitszylinder. Mindestens 6 Wärmeüberträger sind erforderlich bei beidseitigem Anschluss an den Arbeitszylinder, 3 auf jeder Seite. Die Anzahl der Wärmeüberträger ist nicht begrenzt. An jeder Seite des Arbeitszylinders darf nur eine ungerade Anzahl von Wärmeüberträgern angeschlossen sein. Die Anzahl beider Seiten muss sich entsprechen.

**[0020]** In jedem Verbindungsrohr befindet sich ein Ventil, welches über eine Ventilsteuerung (z.B. Nockenscheibe oder mittels elektrischem Antrieb) während eines bestimmten Zeitraumes geöffnet wird. Im Verlauf des Kreisprozesses erfolgt das Öffnen und Schließen des Ventils zweimal, einmal für die Kompression und einmal für die Expansion.

**[0021]** Die Wärmeüberträger sind sternförmig um den Arbeitszylinder angeordnet und starr mit diesem verbunden. Sie bilden zusammen mit dem Arbeitszylinder einen Rotor, der sich ständig um die eigene Längsachse dreht. Bei einer vollständigen Umdrehung ist in jedem Wärmeüberträger ein kompletter Kreisprozess abgelaufen.

**[0022]** Der Kolben im Arbeitszylinder ist freilaufend. Die Kreisprozesse wirken von beiden Seiten auf den Kolben. Während eine Kompression auf der einen Seite, findet gleichzeitig eine Expansion auf der anderen Seite statt.

**[0023]** Die sechs Zustandsänderungen verlaufen in folgender Reihenfolge (vgl. Fig. 17, P-v-Diagramm oder Fig. 18, t-s-Diagramm).

#### 1. Isochorische Wärmeentnahme

**[0024]** Der Arbeitsstoff wird bei konstantem Volumen in einem Wärmeüberträger gekühlt. Der Wärmeüberträger selbst besteht aus 2 Hälften, die in der Mitte mittels Isolierschicht thermisch entkoppelt sind. Nur eine Hälfte des Wärmeüberträgers wird auf Kondensationstemperatur des Arbeitsstoffes herabgekühlt.

#### 2. Isobarische Kondensation

**[0025]** Ist die Kondensationstemperatur erreicht, ver-

flüssigt sich der Arbeitsstoff bei konstantem Druck und Temperatur. Das Ventil zwischen Arbeitszylinder und Wärmeüberträger öffnet sich und weiterer Dampf des Arbeitsstoffes strömt, bedingt durch die Kompression, in den Wärmeüberträger ein, teils durch den Unterdruck in selbigem Wärmeüberträger, teils durch externen Druck auf den Kolben im Arbeitszylinder. Wegen der fortlaufenden Kühlung wird weiterer Dampf des Arbeitsstoffes verflüssigt.

### 3. Isotherme Kompression

**[0026]** Während das Arbeitsgas aus dem Arbeitszylinder in den Wärmeüberträger einströmt, wird dem Wärmeüberträger Wärme entzogen. Der Dampf des Arbeitsstoffes kondensiert nicht vollständig, wird aber verdichtet bei gleichzeitiger Wärmeentnahme. Das Ventil schließt.

### 4. Isochorische Wärmezuführung

**[0027]** Im Wärmeüberträger befindet sich jetzt durch die isothermische Kompression eine größere Masse des Arbeitsstoffes. Während der fortlaufenden Drehung läuft das Kondensat des Arbeitsstoffes von der gekühlten Hälfte in die andere Hälfte des Wärmeüberträgers und wird hier durch das Heizmedium auf die obere Temperaturebene aufgeheizt. Diese Temperatur ist höher als der Siedepunkt des Arbeitsstoffes. Ein Teil des Arbeitsstoffes verdampft. Um gleichzeitige Kondensation im gekühlten Teil des Wärmeüberträgers zu vermeiden, wird die Verbindungsöffnung zwischen beiden Hälften mechanisch geschlossen oder der gekühlte Teil des Wärmeüberträgers wird über ein Regenerationsverfahren aufgeheizt.

### 5. Isobarische Verdampfung

**[0028]** Durch das Heizen des Wärmeüberträgers auf die obere Temperaturebene verdampft der Arbeitsstoff. Das Kondensat des Arbeitsstoffes verdampft solange, bis der Druck innerhalb des Wärmeüberträgers den Dampfdruck des Arbeitsstoffes bei dieser Temperatur erreicht hat. Das Ventil wird wieder geöffnet. Wegen des Druckes strömt der Arbeitsstoff aus dem Wärmeüberträger in den Arbeitszylinder, während dem Wärmeüberträger weitere Wärme zugeführt wird. Durch den abfallenden Druck und fortlaufende Wärmezufuhr verdampft ein weiterer Teil des Kondensates bei gleichbleibendem Dampfdruck.

### 6. Isothermische Expansion

**[0029]** Nachdem der restliche Teil des Kondensates verdampft ist, entspannt sich der Dampf des Arbeitsstoffes weiter in den Arbeitszylinder bei gleichzeitiger Wärmezufuhr. Das Ventil schließt.

**[0030]** Es sind mehrere Wärmeüberträger jeweils über ein Verbindungsrohr (4) mit dem Arbeitszylinder verbun-

den. In jedem Wärmeüberträger findet der gleiche Prozess statt. Die einzelnen Prozesse (als Stirling-Vergleichsprozess dargestellt) der verschiedenen Wärmeüberträger finden zeitlich versetzt statt. In Fig. 13A, 13B und 13C ist dieser Ablauf der verschiedenen Prozesse und deren Beziehung zueinander schematisch dargestellt.

**[0031]** In Fig. 12 ist ein mögliches Model dieser Wärmekraftmaschine, in dem sowohl der Stirling- als auch der Clausius-Rankine-Kreislauf realisiert werden können, schematisch dargestellt.

**[0032]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Wärmekraftmaschine, aber insbesondere auf eine unter Bezugnahme auf Figuren 19 bis 21 beschriebene Kraftanlage mit Wärmeauskoppelung.

### Stand der Technik

**[0033]** Zur besseren Nutzung von Energie werden Wärmekraftkoppelungen in sehr vielen großen und kleinen Kraftwerken eingesetzt. In Heizkraftwerken welche nach dem Clausius-Rankine-Kreislauf betrieben werden, wird der Dampf nach verlassen der Turbinen zuerst über Wärmetauscher teilweise oder ganz kondensiert, der restliche Dampf wird dann im Kühlturm, Luftkondensatoren oder in anderen Prozessen kondensiert. Die über die Wärmetauscher zurück gewonnene Wärme steht dann für Heizungszwecke in Fernheizungen oder anderen Anwendungen zur Verfügung.

**[0034]** Bei Organic-Rankine-Cycle-Anlagen wird ein Teil der Wärme, welche aus Verbrennungsprozessen erzeugt wird, in einen Thermoölkreislauf abgezweigt, mit dem wiederum der organische Arbeitsstoff in der Organic-Rankine-Cycle-Anlagen verdampft wird, um dort in einem Clausius-Rankine-Kreislauf eine Turbine und Stromgenerator anzutreiben. Die bei der Kondensation des Arbeitsstoffes anfallende Wärme wird zur Aufheizung des Heizungswasser-Rücklaufes benutzt oder über einen Luftkondensator an die Atmosphäre abgegeben.

**[0035]** In Blockheizkraftwerken mit Verbrennungsmotoren wird die Abwärme aus Kühlwasser, Ölkühler und von den Verbrennungsgasen für Heizungszwecke oder andere Zwecke genutzt.

**[0036]** Zum Stand der Technik sei auch auf Heizungsanlagen hingewiesen bei denen mittels Stirlingmotoren ein Teil der erzeugten Heizungswärme in Strom umgewandelt wird.

**[0037]** Werden die oben beschriebenen Anlagen wärmeorientiert gefahren, d.h. nur dem Wärmebedarf entsprechend gefahren, kann ein hoher Jahreswirkungsgrad aber ein geringerer Jahresnutzungsgrad erreicht werden. Wird die Kraftwärmekopplungsanlage (KWK-Anlage) stromorientiert gefahren, fallen, in der Zeit, bei der die Restwärme nicht vollkommen genutzt werden kann und über Kühltürme oder Luftkühler an die Atmosphäre abgegeben werden muss, Verluste an. Diese Verluste verringern den Jahreswirkungs- und -nutzungsgrad.

**[0038]** Mit der vorliegenden Erfindung kann die Kraftwärmekopplungsanlage über das ganze Jahr mit Volllast betrieben werden, weil mit fast gleichem Wirkungsgrad Strom oder Wärme oder beides zusammen erzeugt werden kann. Hierdurch wird ein viel höherer Jahreswirkungs- und -nutzungsgrad erreicht. Strom kann mit dieser Erfindung auch aus anfallender Prozessabwärme ausgekoppelt werden.

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0039]** In der Zeichnung zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung des Grundmoduls der Wärmekraftmaschine, in der die wesentlichen Komponenten und deren Beziehung zueinander aufgezeigt werden, um die Realisierung des Stirlingkreislaufes darzustellen.
- Fig. 2 Einzelheiten der Ventilsteuerung 5 und 6.
- Fig. 3 das Grundmodul der Fig. 1, ergänzt durch elektrische Spule 8 und Magnet 7 zur direkten Stromerzeugung.
- Fig. 4 das Grundmodul der Fig. 1, ergänzt mit einem Druckausgleichsbehälter 9, für einen unbestimmten Betriebsdruck des Arbeitsgases.
- Fig. 5 eine andere Ausführungsform des Grundmoduls, wobei der Wärmeüberträger 1, Verbindungsrohre 4, Ventile 5 und Ventilsteuerung 6 beidseitig des Arbeitszylinders 2 angeordnet sind.
- Fig. 6 eine schematische Darstellung wie in Fig. 5, mit Darstellung des Medienflusses, der gleichzeitig durch gegenüberliegende Wärmeüberträger 1 strömt.
- Fig. 7 eine schematische Darstellung, bei der an bestimmten Wärmeüberträgern 1 mehrere Module, bestehend aus Verbindungsrohren 4, Ventilen 5, Arbeitszylinder 2 und Arbeitskolben 3 angeschlossen sind.
- Fig. 8 ein schematisches Modell des Grundmoduls in einer Ausführung bei der die Wärmeüberträger 1 sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet sind und somit einen Rotor bilden. Zusammen drehen sie um die gemeinsame Längsachse. In der Darstellung sind die Anordnung und Funktion der Verbindungsrohre 4, die Ventile 5 sowie die Ventilsteuerung 6 hervorgehoben. Die Heiz- und Kühlstrecken der Wärmeüberträger 1 sind

ausgewiesen.

Fig. 9A

"Symbolbeschreibung" und die dazu gehörenden Fig. 9B "Darstellung Takt 1 bis Takt 4" und 9C "Darstellung Takt 5 bis Takt 6". eine Darstellung des Prozessablaufes auf der Basis des in Fig. 8 dargestellten Modells. Die jeweilige Kolbenbewegung, die Ventilstellung und der Fortschritt des einzelnen Wärmeüberträgers im Stirling-Vergleichsprozess, sind schematisch dargestellt.

Fig. 10

ein schematisches Modell des Grundmoduls in einer Ausführung bei der jeweils 3 Stück Wärmeüberträger 1 an beiden Seiten des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind. Auch in diesem Modell sind die Wärmeüberträger 1 sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet und bilden somit einen Rotor. Zusammen drehen sie sich um die gemeinsame Längsachse. Die Heiz- und Kühlstrecken der Wärmeüberträger 1 sind ausgewiesen.

Fig. 11

Modell wie in Fig. 10 dargestellt, ergänzt mit einem Regenerator bestehend aus Umluftgebläse 10 bzw. Umwälzpumpe 10 mit Umluftleitungen 11 bzw. Umwälzleitungen 11 (bei Flüssigkeiten).

Fig. 12

eine schematische Darstellung des Rotors mit dem kombinierten Stirling-Clausius-Rankine-Kreisprozess, mit 10 Stück Wärmeüberträgern 1, die sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet sind. Die Hälfte der Wärmeüberträger 1 ist an der Vorderseite und die andere Hälfte auf der Rückseite am Arbeitszylinder 2 angeschlossen. Die Heiz-, Kühl- und Regenerationsstrecken (Umluft) sind ausgewiesen.

Fig. 13A

"Symbolbeschreibung" und die dazu gehörenden Fig. 13B "Darstellung Takt 1 bis Takt 4" und 13C "Darstellung Takt 5 bis Takt 7" eine Darstellung der ersten 7 Takte von 10 Takten des Prozessablaufes auf Basis des in Fig. 6 dargestellten Modells, jedoch mit jeweils 5 Stück Wärmeüberträgern 1 auf jeder Seite des Arbeitszylinders 2.

Fig. 14A

"Symbolbeschreibung" und die dazu gehörenden Fig. 14B "Darstellung Takt 1 bis Takt 4" und 14C "Darstellung Takt 5 bis Takt 7" eine schematische Darstellung des Prozessablaufes, bei dem alle Wärmeüberträger 1 sternförmig um die Mittelachse angeordnet sind, aber abwechselnd an der einen oder anderen Seite des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind.

- Fig. 15 eine schematische Darstellung des Grundmoduls, mit Wärmeüberträger 1 in Form eines Strahlungsabsorbers, wobei eine mögliche Konstruktion des Beschattungselementes und der Einhausung der bestrahlten Absorberfläche schematisch dargestellt ist.
- Fig. 16. Druck-Enthalpie-Diagramm mit  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ , Frijen R12 als Arbeitsstoff.
- Fig. 17 P-v-Diagramm bezogen auf in Fig. 16 dargestelltem P-h-Diagramm.
- Fig. 18 t-s-Diagramm bezogen auf in Fig. 16 dargestelltem P-h-Diagramm.
- Fig. 19 möglicher Aufbau einer erfindungsgemäßen Wärmekraftkopplungsanlage, schematisch dargestellt.
- Fig. 20 nachfolgend detailliert beschriebene und in den Figuren 1 bis 18 dargestellte Wärmekraftmaschine schematisch dargestellt
- Fig. 21 Diagram, in dem der ungefähre Temperaturverlauf des Kühl- und Heizmediums annähernd dargestellt ist

Begriffsbestimmung:

**[0040]** In der nachfolgenden Beschreibung wird das Medium mit der tieferen Temperatur als "Kühlmedium" und das mit der höheren Temperatur als "Heizmedium" bezeichnet.

**[0041]** Der Begriff "heizen" wird in der nachfolgenden Beschreibung sowohl für die Vorgänge "wärmen" als auch "heizen" eingesetzt.

Beschreibung des Kreislaufes nach dem "Stirling"- Vergleichsprozess

**[0042]** Der thermodynamische Prozess besteht aus 4 Zustandsänderungen, welche ähnlich dem Stirling-Vergleichsprozess ablaufen.

**[0043]** Das in einem geschlossenen Raum mit großer Wärmeaustauschfläche (nachfolgend Wärmeüberträger 1 genannt) befindliche Arbeitsgas, wird periodisch durch ein den geschlossenen Raum umströmendes Medium (Flüssigkeit oder Gas) aufgeheizt oder gekühlt. Auch eine Erwärmung des Arbeitsgases durch Strahlungsenergie (z.B. Solarenergie) ist möglich. Die durch Erwärmung bzw. Kühlung hervorgerufenen Druckänderungen werden auf einen Arbeitskolben 3 übertragen, nachdem ein Ventil 5 zwischen geschlossenem Wärmeüberträger 1 und Hubraum des Arbeitszylinders 2 geöffnet wird.

**[0044]** Die vier Zustandsänderungen des Arbeitgases sind:

1. Wärmezufuhr bei konstantem Volumen (Isochore) - Ventil 5 ist geschlossen.
2. Expansion bei konstanter Temperatur (Isotherme) (mit Wärmezufuhr) - Ventil 5 ist geöffnet.
3. Wärmeentzug bei konstantem Volumen (Isochore) - Ventil 5 ist geschlossen.
4. Kompression bei konstanter Temperatur (Isotherme) (mit Wärmeentzug) - Ventil 5 ist geöffnet.

**[0045]** Der Hauptunterschied zwischen dem Stirlingmotor und dieser Wärmekraftmaschine besteht darin, dass der dem Expansionshub des Kolbens 3 folgende Kompressionshub nicht aus ein- und demselben Wärmeüberträger 1 erfolgt. Es sind mindestens drei Wärmeüberträger 1 erforderlich, die abwechselnd und periodisch gewärmt oder gekühlt werden.

**[0046]** In jedem einzelnen Wärmeüberträger 1 zusammen mit dem gemeinsamen Arbeitszylinder 2 und Kolben 3 findet, zeitlich versetzt zu allen anderen Wärmeüberträgern 1, ein eigener Kreisprozess statt. Die einzelnen Stirlingkreisprozesse sind so aufeinander abgestimmt, dass im gemeinsamen Arbeitszylinder 2 nach einer isothermen Expansion aus einem Wärmeüberträger 1, eine isotherme Kompression eines anderen Wärmeüberträgers 1 folgt. Nach dieser Kompression folgt wieder eine isothermische Expansion eines weiteren Wärmeüberträgers 1 usw.

**[0047]** Wie bei einem Stirlingmotor findet keine innere Verbrennung statt. Wärme und Kraft werden getrennt erzeugt. Diese Wärmekraftmaschine kann folglich auch mit einer eigenen, externen Wärmequelle betrieben werden und somit eine autarke Anlage darstellen. Als Primärenergie kann alles was Wärme erzeugt genutzt werden.

**[0048]** Da Kompression und Expansion hauptsächlich außerhalb des Hubraumes stattfinden, ist kein Schwungrad oder dergleichen erforderlich. Ein mit Reibungsverlusten behaftetes mechanisches Gestänge, welches den Wirkungsgrad der Maschine beeinträchtigt, ist nicht erforderlich. Entgegen herkömmlichen Wärmekraftmaschinen kann die Bewegung des Kolbens 3 direkt in elektrische Energie umgesetzt werden. Hierfür sind elektrische Wicklungen um einen Arbeitszylinder 2 aus Nichtmetall und ein magnetisierter Kolben 3 erforderlich.

Anlagenaufbau des Grundmoduls

**[0049]** Schematisch ist die Wärmekraftmaschine in Fig. 1, 2 und 8 dargestellt.

**[0050]** Im Wesentlichen besteht die dargestellte Wärmekraftmaschine aus:

1. Wärmeüberträgern 1A, 1B und 1C, die sternförmig in Form eines Rotors um einen Arbeitszylinder 2 angeordnet sind und sich mit diesem um seine Längsachse drehen. Auf die Wärmeüberträger 1A, 1B, 1C usw. wird insgesamt mit 1 Bezug genommen. Durch die Drehbewegung werden die Wärmeüberträger 1 jeweils zur Hälfte einer Umdrehung durch den Kühl-

medium-Strom (Kühlstrecke) und zur Hälfte durch den Heizmedium-Strom (Heizstrecke) geführt, so dass sie abwechselnd mit Kühl- und Heizmedium umströmt werden.

Wärmeüberträger 1 sind geschlossene Räume mit einer Verbindung zu dem Arbeitszylinder 2. Die Wärmeüberträger 1 befinden sich in einem Rohr, das die Wärmeüberträger 1 außen herum umgibt und so eine äußere Hülle 13 (Fig. 10) bildet. Ebenso ist innen zwischen Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 ein Rohr vorgesehen, das eine innere Hülle 14 bildet. Diese Hüllen 13 und 14 sind so lang wie die Wärmeüberträger 1. Sie bilden einen kreisringförmigen Kanal, in dem sich die Wärmeüberträger 1 befinden. Zwischen den einzelnen Wärmeüberträgern 1 sind Trennsteg 15 vorgesehen, die von der äußeren bis zur inneren Hülle reichen. Somit befindet sich jeder Wärmeüberträger 1 in einem Kanal, durch den das Heiz- und Kühlmedium hindurch geführt wird und somit den einzelnen Wärmeüberträger 1 umspült.

Jeder Wärmeüberträger 1 ist, bis auf eine Öffnung innen, geschlossen. Die Öffnung ist mit einem Verbindungsrohr 4 und über ein Ventil 5 mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden, durch welches das eingeschlossene Arbeitsgas aus- und einströmen kann. Die Wärmeüberträger 1 sind aus einem Material mit sehr guter Wärmeleitfähigkeit (z. B. Ag, Cu oder Al) hergestellt.

2. In einem Arbeitszylinder 2 kann sich ein Kolben 3 frei hin und her bewegen. Für einen guten Wirkungsgrad ist auf der Innenseite eine Oberfläche mit niedriger Wärmekapazität und schlechter Wärmeleitfähigkeit sowie guter Gleiteigenschaft (z. B. Teflon) erforderlich. (Es soll möglichst wenig Wärme vom Arbeitsgas auf den Arbeitszylinder 2 oder umgekehrt übertragen werden).

Um den Arbeitszylinder 2 ist eine elektrische Spule 8 zur Stromerzeugung gelegt. Der Arbeitszylinder 2 ist aus einem nicht metallischen Material (Glas, Keramik, Kunststoff oder Ähnlichem) hergestellt.

An einer oder an beiden Seiten sind Öffnungen, an denen die Verbindungsrohre 4 mit dem Hohlraum des Arbeitszylinders 2 verbunden sind.

3. Ein Kolben 3 frei laufend ohne Pleuel oder sonstige mechanische Verbindung. Er kann sich frei im Arbeitszylinder 2 hin und her bewegen. Ähnlich wie bei einem Benzinmotor ist der Kolben 3 gegenüber den Arbeitszylinderwänden 2 abgedichtet.

Um den Wirkungsgrad zu verbessern sind Flächen des Kolbens 3, die mit dem Arbeitsgas in Berührung kommen, mit einer Oberfläche niedriger Wärmekapazität und schlechter Wärmeleitfähigkeit zu versehen.

Es ist vorteilhaft die Masse des Kolbens 3 so gering wie möglich zu halten, um Beschleunigungsarbeit

zu minimieren.

Um direkt aus der Kolbenbewegung elektrischen Strom erzeugen zu können, muss der Kolben 3 magnetisiert sein. Diese Magnetisierung ist unter Ziffer 7 beschrieben.

4. Verbindungen insbesondere Verbindungsrohre 4A, 4B und 4C sind Verbindungen welche die einzelnen Wärmeüberträger 1A, 1B und 1C und Arbeitszylinder 2 räumlich verbinden. Auf Verbindungen 4A, 4B, 4C usw. wird insgesamt mit 4 Bezug genommen. Diese Verbindungsrohre 4 werden, um unnötigen Totraum zu vermeiden, so kurz wie möglich gehalten. Soweit möglich haben die Verbindungsrohre 4 eine geringe Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit. Dort, wo diese Verbindungsrohre 4 nicht von Kühl-/Heizmedium umströmt werden, sind sie gegen Wärmeaustausch mit der Umwelt isoliert. In diesen Verbindungsrohren 4 sind Steuerventile 5 eingebaut, soweit sie nicht im Arbeitszylinder 2 integriert sind.

5. Steuerventile 5, bestehend aus einzelnen Ventilen 5, die sich jeweils im Verbindungsrohr 4 zwischen Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 befinden und den eigentlichen Prozess steuern. Der Einsatz dieser Ventile 5, nicht aber ihre Ausführung, ist ein wesentliches Merkmal dieser Wärmekraftmaschine. Für jeden Wärmeüberträger 1A, 1B und 1C ist ein Ventil 5A, 5B und 5C vorgesehen. Auf Ventile 5A, 5B, 5C usw. wird insgesamt mit 5 Bezug genommen. Die Ventile 5 werden abwechselnd geöffnet und geschlossen, um den in den einzelnen Wärmeüberträgern 1 eingeschlossenen Raum mit dem Arbeitszylinder 2 zu verbinden oder zu trennen. Der Raum in jedem Wärmeüberträger 1 ist bei geöffnetem Ventil 5 direkt mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden. Die Ventile 5 sind dichtschießend und sind für die maximale Druckdifferenz zwischen Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 ausgelegt.

6. Eine Ventilsteuerung 6 wird zum Öffnen und Schließen der Ventile 5, im richtigen Moment, vorgesehen. Die Ventilsteuerung 6 kann mechanisch (z.B. mit einer Nockenwelle/ -scheibe) oder elektrisch/elektronisch erfolgen.

Die Ventile 5 werden im gleichen Rhythmus, wie das Erwärmen und Kühlen der Wärmeüberträger 1 erfolgt, geöffnet und geschlossen. Am Ende eines Heiz- oder Kühlvorganges an einem Wärmeüberträger 1 öffnet das dem Wärmeüberträger 1 zugeordnete Ventil 5 und löst damit die Expansion bzw. Kompression aus. Das Ventil 5 schließt nach erfolgter Expansion bzw. Kompression, aber bevor der Wärmeüberträger 1 vom Heizauf das Kühlmedium, oder umgekehrt, wechselt.

7. Eine Magnetisierung des Arbeitskolbens 3 mit

Permanentmagneten 7 oder mit erregter Spule. Der Erregerstrom wird mittels Schleifkontakten vom Zylinder 2 an den Kolben 3 übertragen.

8. Eine elektrische Spule 8, welche um den Arbeitszylinder 2 gelegt ist, in der, durch die Bewegung des magnetisierten Kolbens 3, Strom erzeugt wird.

9. Ein Druckausgleichsbehälter 9, welcher nur bei solchen Arbeitzylindern 2 angewendet wird, an denen nur auf einer Seite Wärmeüberträger 1 angeschlossen sind. Ein druckbeständiger Behälter in dem sich Arbeitsgas befindet und der dem Druckausgleich dient, wenn der Ruhedruck in den Wärmeüberträgern 1 vom atmosphärischen Druck abweicht.

10. Ein Umluftgebläse 10 oder eine Umwälzpumpe 10, welche zum Umwälzen des Mediums von den aufgeheizten Wärmeüberträgern 1, unmittelbar nach dem Expansionsvorgang (nach Schließen des Ventils 5) zu den gekühlten Wärmeüberträgern 1 am Ende des Kompressionsvorganges (nach Schließen des Ventils 5) eingesetzt wird. Mit dieser Umwälzung wird ein Teil der Wärme, die in den Wärmeüberträgerhüllen gespeichert ist, ausgetauscht, um die gekühlten Wärmeüberträger 1 aufzuheizen und die beheizten abzukühlen. Durch diesen Regenerationsprozess steht mehr Wärme aus dem Heizmedium zur Aufheizung des Arbeitsgases zur Verfügung.

11. Umlenkleitungen 11, um das Heiz-/Kühlmedium von den aufgeheizten Wärmeüberträgern 1 zu den gekühlten Wärmeüberträgern 1 und von dort zum Gebläse/Pumpe 10 und zurück zu den geheizten Wärmeüberträgern 1 zu lenken. (vergleiche Fig. 11)

12. Eine isolierte Trennung, welche sich zwischen dem warmen und dem kalten Bereich befindet (vergleiche Fig. 12), und welche rohrartig ausgebildet ist, um das Heizmedium vom Kühlmedium innerhalb des Rotors zu trennen.

13. Eine äußere Hülle 13 um die Wärmeüberträger 1, als Bestandteil der Kanäle mit denen das Heiz-/Kühlmedium um die Wärmeüberträger 1 gelenkt wird, die Wärmeüberträger 1 umhüllt. Zusammen mit der Innenhülle 14 und dem Trennsteg 15 bildet die äußere Hülle 13 einen Kanal um jeden einzelnen Wärmeüberträger 1.

14. Eine innere Hülle 14 um eine rohrförmige Abgrenzung des Medienkanals zum Arbeitszylinder 2 herzustellen. Die Innenhülle bildet zusammen mit der Außenhülle 13 und dem Trennsteg 15 einen Kanal um jeden einzelnen Wärmeüberträger 1.

15. Die Trennstege 15 sind Abgrenzungen zwischen

den einzelnen Wärmeüberträgern 1. Zusammen mit der Innenhülle 14 und Außenhülle 13 lenken sie das Heiz-/Kühlmedium während der Rotation um die jeweiligen Wärmeüberträger 1.

#### Beschreibung des Prozessablaufes am Grundmodul:

**[0051]** Der Prozessablauf wird anhand eines Modells, mit warmer Luft als Energiequelle, dargestellt. Dieses Modell ist schematisch in Fig. 8 dargestellt. Der Prozessablauf ist schematisch in Fig. 9A, 9B und 9C dargestellt.

**[0052]** Das Modell besteht aus 3 Wärmeüberträgern 1, die sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet sind. Der Winkel zwischen den benachbarten Wärmeüberträgern 1 beträgt jeweils  $120^\circ$ . Die Wärmeüberträger 1 sind starr mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden und rotieren mit diesem, sowie mit der äußeren Hülle 13 und inneren Hülle 14, um dessen Längsachse.

Die Wärmeüberträger 1 bewegen sich abwechselnd in einem mit Heiz- oder Kühlmedium durchströmten Bereich, in Fig. 8 als Heiz- und Kühlstrecke bezeichnet. Kühl- und Heizmedium führende Leitungen sind am Eintritt und Austritt der Wärmeüberträger 1 angeschlossen. Jede der beiden Medienarten belegt die Hälfte des kreisringförmigen Kanals, in dem sich die Wärmeüberträger 1 befinden.

**[0053]** Die Ventilsteuerung 6 ist in diesem Modell als Nockenscheibe dargestellt und ist so angeordnet, dass die Stößel der Ventile 5 bei der Rotation den Konturen der Nockenscheibe 6 folgen. Die Nockenscheibe selbst ist feststehend. Die Nockenscheibe hat zwei gegenüberliegende Nocken. Sie sind so angeordnet, dass die Ventile 5 dann geöffnet werden, wenn der dazu gehörende Wärmeüberträger 1 ca.  $2/3$  der jeweiligen Kühl- oder Warmstrecke zurückgelegt hat. Das Ventil 5 schließt kurz bevor der Wärmeüberträger 1 vom Kühlmedium in das Heizmedium (oder anders herum) übertritt.

Der Prozessablauf in den einzelnen Wärmeüberträgern 1 verläuft wie in Fig. 9A bis 9C schematisch dargestellt. In diesem Modell wird davon ausgegangen, dass die Rotation der Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 durch einen externen Antrieb erfolgt.

#### Takt 1:

**[0054]** Der Wärmeüberträger 1A ist bereits mit Warmluft durchströmt und das eingeschlossene Arbeitsgas ist bereits erwärmt. Durch die Erwärmung und das begrenzte Volumen hat sich der Druck im Wärmeüberträger 1A bei gleichem Volumen (Isochore) erhöht. Durch die Rotation über den Nockenteller 6, öffnet sich das Ventil 5A und das unter Druck stehende Arbeitsgas expandiert in den Arbeitszylinder 2 und verrichtet mit dem Kolben 3 Arbeit. Während der Expansion wird der Wärmeüberträger 1A immer noch mit Warmluft umströmt. Es findet somit eine isotherme Expansion statt.

Takt 2:

**[0055]** Während der Kolben 3 sich vom Ventil 5A weg bewegt, rotieren Arbeitszylinder 2 und Wärmeüberträger 1 weiter und Ventil 5A schließt. Gleichzeitig öffnet sich ein anderes Ventil 5B, welches den Luftraum im Arbeitszylinder 2 mit dem des Wärmeüberträgers 1 B verbindet. Dieser wurde zuvor mit Kühlmedium umströmt. Im betroffenen Wärmeüberträger 1 B wurde das eingeschlossene Gas, bei konstantem Volumen, abgekühlt und es entstand dadurch ein Unterdruck. Beim Öffnen des Ventils 5B komprimiert sich die Luft aus dem Arbeitszylinder 2, in den Wärmeüberträger 1 B und der Kolben 3 bewegt sich durch die Druckdifferenz zurück zum Ventil 5. Da während dieses Kompressionsvorganges der Wärmeüberträger 1B noch ständig mit Kühlmedium durchströmt und dem Arbeitsgas bei der Komprimierung Wärme entzogen wird, handelt es sich um eine isotherme Kompression. Wärmeüberträger 1A wird zu diesem Zeitpunkt schon teilweise mit kalter Luft durchströmt.

Takt 3:

**[0056]** Durch die Rotation wurde der dritte Wärmeüberträger 1C, in der Zeit während sich der Kolben 3 hin und zurück bewegte, mit Heizmedium durchströmt. Bei gleich bleibendem Volumen erhöhte sich der Druck des Arbeitsmediums im Wärmeüberträger 1C. Mit Öffnung des Ventils 5C, expandiert das Arbeitsgas isothermisch aus Wärmeüberträger 1C in den Arbeitszylinder 2 und schiebt den Kolben 3 wieder vom Ventil 5 weg.

Takt 4:

**[0057]** Während sich der Kolben 3 weg bewegt, wurde durch die Rotation der Wärmeüberträger 1A dieses mal mit Kühlmedium durchströmt. Da das Ventil 5A geschlossen ist, wurde dem Arbeitsgas im geschlossenen Raum Wärme entzogen (Isochore). Hierdurch entstand ein Unterdruck des Arbeitsgases im Wärmeüberträger 1A. Nach weiterer Rotation öffnet sich das Ventil 5A und der Kolben 3 wird durch den Unterdruck wieder zurückgeholt.

Takt 5:

**[0058]** Die, durch das Heizmedium dem Arbeitsgas im Wärmeüberträger 1 B, zugeführte Wärme hat bei konstantem Volumen im Wärmeüberträger 1 B einen Überdruck erzeugt, der sich beim Öffnen des Ventils 5B in den Arbeitszylinder 2 entspannen kann. Durch diese (isothermische) Expansion wird der Kolben 3 wieder weggedrückt.

Takt 6:

**[0059]** Die, durch den dieses mal kalten Luftstrom dem Arbeitsgas im Wärmeüberträger 1C, abgeführte Wärme

hat bei konstantem Volumen im Wärmeüberträger 1C einen Unterdruck erzeugt. Beim Öffnen des Ventils 5C wird sich das Arbeitsgas aus dem Arbeitszylinder 2 in den Wärmeüberträger 1C komprimieren. Durch diese (isothermische) Kompression wird der Kolben 3 wieder zurückgeholt.

**[0060]** Nach Abschluss von Takt 6 wiederholt sich der Vorgang ab Takt 1.

Für jede vollständige Umdrehung des Rotors muss jeder Wärmeüberträger 1 zweimal über die Ventile 5 mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden sein, d.h. einmal für die Expansion und einmal für die Kompression.

**[0061]** Durch den externen Antrieb des Rotors ist eine Drehzahlregelung möglich, um die Leistung der einzelnen Kreisprozesse zu optimieren, z. B. bei veränderten Parametern des Heiz- oder Kühlmediums.

Erste Variante des Grundmoduls

(Siehe Fig.3)

**[0062]** Wärmekraftmaschine, wie für das Grundmodul beschrieben, bei welcher der Arbeitszylinder 2 aus einem nicht metallischen Material (Glas, Keramik, Kunststoff oder Ähnlichem) hergestellt ist. Um den Arbeitszylinder 2 ist eine Spule 8 mit Drahtwicklungen zur Stromerzeugung gelegt.

**[0063]** Der frei bewegliche Kolben 3 ist magnetisiert durch Permanentmagnete 7, oder mittels Erregerstrom. Durch die Hin- und Herbewegung des Kolbens 3 wird in der Spule 8 um den Arbeitszylinder 2 Strom erzeugt.

Zweite Variante des Grundmoduls

(Siehe Fig. 4)

**[0064]** Ist der Arbeitszylinder 2 zur Atmosphäre hin offen, kann eine einseitige Belastung des Kolbens 3 durch das Arbeitsgas entstehen, sobald der Ruhedruck des Arbeitsgases vom atmosphärischen Druck abweicht. Dieses schränkt die Wahl des Arbeitsgases erheblich ein. Sollte es erforderlich sein mit Drücken arbeiten zu müssen, die vom atmosphärischen Druck abweichen, wird an der offenen Seite des Kolbens 3 ein Druckausgleichsbehälter 9 angeschlossen, der den erforderlichen Gegendruck aufbringt.

Dritte Variante des Grundmoduls

(Siehe Fig. 5 und Fig. 13)

**[0065]** Es bietet sich an, anstelle des vorher beschriebenen Druckausgleichsbehälters 9, auf beiden Seiten des Arbeitszylinders 2 Wärmeüberträger 1, Verbindungsrohre 4 und Ventile 5 symmetrisch aufzubauen. Hierbei ist die Abfolge der Ventile 5 auf den beiden Seiten des Arbeitskolbens 3 so auf einander abgestimmt, dass gleichzeitig auf einer Seite des Kolbens 3 eine Expansion, auf der

anderen Seite eine Kompression stattfindet.

In der Fig. 13 ist der Prozessablauf für ein solches Doppelaggregat dargestellt, allerdings mit 5 Wärmeüberträgern auf jeder Seite des Arbeitszylinders 2.

#### Vierte Variante des Grundmoduls

(Siehe Fig. 6, und Fig. 13)

**[0066]** Diese Variante entspricht im wesentlichen der Dritten Variante mit dem Unterschied, dass die Wärmeüberträger 1, welche an der Rückseite des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind, sich direkt hinter denen befinden, die an der Vorderseite angeschlossen sind, so dass das Heiz-/Kühlmedium nach dem Passieren der Wärmeüberträger 1 der vorderen Seite, diejenigen auf der Rückseite ebenfalls passiert. Dabei wird das Heiz- und Kühlmedium immer gleichzeitig durch die direkt hintereinander liegenden Wärmeüberträger 1 geführt. (Fig. 13)

#### Fünfte Variante des Grundmoduls

(Siehe Fig. 10 und 14)

**[0067]** Bezüglich der Arbeitszylinder 2 und Kolben 3, einschließlich der Anschlüsse der Wärmeüberträger 1, entspricht diese Variante denen der dritten und vierten. Bei dieser Variante sind alle Wärmeüberträger 1 sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet. Auf jeder Seite des Arbeitszylinders 2 ist eine Ventilsteuerung 6 erforderlich. Die Wärmeüberträger 1 sind abwechselnd mal auf der vorderen, mal auf der hinteren Seite des Arbeitszylinders 2 angeschlossen. Wenn die Hälfte der Summe aller Wärmeüberträger 1 einer ungeraden Zahl entspricht, werden bei jedem Drehwinkel des Rotors immer ein Wärmeüberträger 1 mit der einen Seite des Arbeitszylinders 2 und ein anderer Wärmeüberträger 1 mit der gegenüberliegenden Seite mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden sein. Wie aus Fig. 14 hervorgeht, werden die Ventile 5 auch immer Wärmeüberträger 1 mit unterschiedlichen Zuständen des Arbeitsgases mit dem Arbeitszylinder 2 verbinden. Der Prozessablauf erfolgt wie in Fig. 14 dargestellt.

#### Sechste Variante des Grundmoduls (siehe Fig. 11)

**[0068]** Den Wärmeüberträger 1 selbst, die eigentliche Umhüllung des Arbeitsgases, abwechselnd aufzuheizen und abzukühlen, erfordert einen erheblich höheren Energieaufwand, als den, der erforderlich ist, das Arbeitsgas aufzuheizen oder abzukühlen. Deshalb geht sehr viel der Energie verloren, die eigentlich zurück gewonnen werden sollte. Um diesen Verlust zu reduzieren wird bei einem Modul, wie in der fünften Variante beschrieben, ein Regenerator vorgesehen. Der Regenerator ist ein Umwälzungssystem welches, durch Umwälzen des Kühl-/Heizmediums, die Wärme der aufgeheizten Wär-

meüberträger 1 nutzt, um die gekühlten Wärmeüberträger 1 aufzuwärmen und gleichzeitig mit der, durch die gekühlten Wärmeüberträgern 1 abgekühlte, Luft selbst gekühlt zu werden.

5 Der Regenerator besteht aus einem Ventilator bei gasförmigen Heiz/Kühlmedien, oder aus einer Pumpe 10 bei flüssigen Medien und Umlenkkanälen bzw. Rohren 11, die das Medium von einem Segment des Rotors direkt nach der Heizstrecke, zu einem anderen Segment des Rotors direkt nach der Kühlstrecke und wieder zurück führen.

#### Siebte Variante des Grundmoduls mit Strahlungsenergie als Primärenergie

15 (Siehe Fig. 15)

**[0069]** Das Prinzip des Grundmoduls wird beibehalten. Anstelle der Kanäle für Heiz- und Kühlmedien sind die Wärmeüberträger 1 als Strahlungsabsorber ausgebildet. Arbeitszylinder 2, Kolben 3 und Ventile 5 behalten ihre Funktion, wie für das Grundmodul beschrieben.

Die Wärmeüberträger 1 (als Absorber) werden so ausgerichtet, dass die zur Verfügung stehende Strahlungswärme optimal absorbiert werden kann. Sie haben eine flache Form und sind mit einer absorbierenden Oberfläche beschichtet. Da die aufgenommene Wärme wieder an die Umgebung abgegeben werden muss, bietet sich eine Konstruktion an, die eine optimierte Konvektion zulässt.

25 Ähnlich wie beim Grundmodul wird nur die halbe Absorberfläche der Wärmeüberträger 1 einer Strahlung ausgesetzt. Die andere Hälfte wird beschattet. Die Hälfte der Wärmeüberträger 1, welche der Strahlung ausgesetzt ist, soll möglichst viel der Wärme aufnehmen und deshalb vor Verlust durch Konvektion geschützt werden. Die Wärmeüberträger 1 mit Arbeitszylinder 2, Verbindungsrohren 4 und Ventilen 5 rotieren um die Längsachse des Arbeitszylinders 2 wie im Grundmodul beschrieben. Dadurch werden die Wärmeüberträger 1 abwechselnd durch die Strahlung aufgeheizt und, durch Abgabe der Wärme an die Umgebung, wieder abgekühlt.

Die Ventile 5, wie im Grundmodul beschrieben, werden so betrieben, dass abwechselnd ein gekühlter und erwärmter Wärmeüberträger 1 mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden werden, um durch Expansion oder Kompression Arbeit zu verrichten.

#### Achte Variante des Grundmoduls mit Strahlungsenergie als Primärenergie

50 (Siehe Fig. 14 und 15)

**[0070]** Wärmekraftmaschine wie in Variante Sieben beschrieben nur, dass jeweils die Hälfte der Wärmeüberträger 1 auf der einen, die andere Hälfte auf der anderen Seiten des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind. Die Wärmeüberträger 1 befinden sich alle auf der gleichen

Seite des Arbeitszylinders 2 und sind sternförmig in Form einer Scheibe angeordnet. Der Prozessablauf entspricht dem, der in der Variante Fünf beschrieben und in Fig. 14 dargestellt ist.

#### Neunte Variante des Grundmoduls

##### Der Clausius-Rankine-Kreisprozess

**[0071]** Wegen der im Vergleich zum Arbeitsstoff erheblich größeren Energiemenge, die erforderlich ist die Arbeitsstoffumhüllung aufzuheizen oder abzukühlen, wird Verdampfungswärme, die ein Vielfaches der Wärmekapazität des Arbeitsstoffes darstellt, genutzt. Den Arbeitsstoff an der Wärmetauscherwand zu kondensieren bzw. zu verdampfen, erfordert einen erheblich größeren Energiefluss, als den Arbeitsstoff zu heizen bzw. zu kühlen.

Es besteht die Möglichkeit das Kondensat, welches ein wesentlich kleineres spezifisches Volumen hat als das gasförmige Aggregat, von der kalten Zone in die warme zu fördern. (Wie beim Clausius-Rankine-Prozess, bei dem das Kondensat in die Hochdruckzone gepumpt wird.)

Im Hochdruckbereich wird die Volumenvergrößerung durch die Verdampfung genutzt um Arbeit zu verrichten. Um den Clausius-Rankine-Prozess in den bereits beschriebenen Stirling-Kreislauf zu integrieren, müssen einige Änderungen an den Wärmeüberträgern 1 vorgenommen werden.

Jeder einzelne Wärmeüberträger 1 wird in zwei Hälften geteilt (siehe Fig. 12). Die beiden Hälften werden in der Mitte mit einer zwischengelegten Isolierschicht verbunden. Die Isolierschicht bildet eine thermische Entkopplung der beiden Hälften, damit die Wärme nicht über die Metall-Wand des Wärmeüberträgers von der einen Hälfte, zur anderen übertragen wird.

Die Wärmeüberträger 1 werden, wie in der Sechsten Variante beschrieben, sternförmig um den Arbeitszylinder 2 angeordnet und abwechselnd an der Vorder- und Rückseite des Arbeitszylinders 2 angeschlossen.

Auch in dieser Variante rotieren die Wärmeüberträger 1 zusammen mit dem Arbeitszylinder 2 um die Längsachse und bilden somit einen s.g. Rotor. Genau wie in der sechsten Variante beschrieben, wird auf jeder Seite abwechselnd eine Kompression und eine Expansion mittels Ventilsteuerung 6 ausgelöst. Ebenso wird, wenn auf der Vorderseite eine Kompression, auf der Rückseite eine Expansion oder umgekehrt, stattfinden.

Die in dieser Variante eingesetzten, geteilten Wärmeüberträger 1 werden so eingebaut, dass die äußere Hälfte der einzelnen Wärmeüberträger 1 dem kalten Medienstrom, die innere (dem Arbeitszylinder 2 zugewandte) Hälfte dem warmen Medienstrom ausgesetzt werden.

In den Räumen zwischen den Wärmeüberträgern 1 befindet sich eine zylindrische Trennung 12, mit welcher das Heizmedium vom Kühlmedium, innerhalb des Rotors getrennt wird, eingefügt. Außen um die Wärmeträger 1

herum sowie innen (zwischen Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2) befinden sich ebenfalls konzentrisch angeordnete Rohre (13 und 14), die zusammen mit der Trennung zwischen den Wärmeüberträgern 1, zwei kreisringförmige Kanäle bilden, in denen sich jeweils der "gekühlte" bzw. "geheizte" Teil des Wärmeüberträgers befindet. Auf der Zeichnung sind diese Rohre als äußere 13 und innere 14 Hüllen bezeichnet.

**[0072]** Jeder einzelne Wärmeüberträger 1 ist außerdem mittels eines Trennsteges 15, welcher sich von der äußeren Hülle 13 zur inneren Hülle 14 erstreckt, von den benachbarten Wärmeüberträgern 1 getrennt. Mittels dieser Trennstege 15 wird das Heiz- und Kühlmedium innerhalb des Rotors kanalisiert. In jedem Segment zwischen zwei Trennstegen 15 befindet sich nur ein einziger Wärmeüberträger 1.

**[0073]** Auf beiden Stirnseiten des Rotors sind die Heiz- bzw. Kühlmedien fördernden Leitungen angeschlossen. Die Heizmedium-Leitungen sind an den oberen Halbkreis des inneren kreisringförmigen Kanals angeschlossen, die Kühlmedium-Leitungen sind an den unteren Halbkreis des äußeren kreisringförmigen Kanals angeschlossen. Nur die Hälfte der jeweiligen Kreisringe wird mit Heiz- bzw. Kühlmedium durchströmt, da die Aufheizung und Abkühlung abwechselnd stattfinden.

**[0074]** Die Kühlstrecke beginnt nach Schließen des Ventils 5 am Ende eines Expansionsvorganges innerhalb der Heizstrecke. Die Heizstrecke beginnt nach Schließen des Ventils 5 am Ende des Kompressionsvorganges innerhalb der Kühlstrecke.

**[0075]** Der Arbeitsstoff im geschlossenen Wärmeüberträger 1 wird, bei einer Oberfläche deren Temperatur unterhalb des Taupunktes des Arbeitsstoffes liegt, solange an dieser Oberfläche kondensieren, bis der Druck innerhalb des geschlossenen Wärmeüberträgers 1 dem, des Dampfdruckes des Arbeitsstoffes entspricht. Im vorliegenden Fall wird die gesamte Hülle der "gekühlten" Wärmeüberträgerhälfte diese Temperatur besitzen, weil das Kühlmedium dieser Hälfte des Wärmeüberträgers 1 ständig die Kondensationswärme entzieht.

**[0076]** Da die geheizte Hälfte des Wärmeüberträgers 1 mit der gekühlten Hälfte kommunizierend verbunden ist, würde das Kondensat in diesem Teil verdampfen, soweit es dorthin fließen könnte. Da aber der (vorher) beheizte Teil des Wärmeüberträgers 1 sich während des Kühlprozesses oberhalb der gekühlten Hälfte befindet ist es physikalisch nicht möglich.

Anders verhält es sich im beheizten Teil des Wärmeüberträgers 1. Wenn der Arbeitsstoff, bei stetiger Wärmezufuhr verdampft, wird bei kommunizierender Verbindung zum (vorher) gekühlten Teil, der Dampf wieder kondensieren. Dieser Vorgang wird so lange stattfinden, bis die Wärmeüberträgerhülle (jetzt ohne Wärmeentzug) die Dampfdrucktemperatur des Arbeitstoffes erreicht hat. Um dieses zu verhindern werden hier drei Möglichkeiten in Betracht gezogen:

1. Die Verbindungsöffnung(en) zwischen geheizter

und gekühlter Hälfte wird (werden) mechanisch geschlossen.

2. Es erfolgt eine Art Regeneration, ähnlich wie vorher in der "Sechsten Variante" beschrieben, bei der Kühl/Heizmedium zwischen dem beheizten Segment des inneren Kreisringes, welches direkt nach Schließung des "Expansionsventils" 5 folgt, mit dem gekühlten Segment, welches direkt dem "Kompressionsventil" 5 folgt mittels Ventilator 10 oder Pumpe 10, ausgetauscht wird. Hierdurch kann die Wärme aus dem geheizten Teil der Wärmeüberträgerhülle genutzt werden, die gekühlte Wärmeüberträgerhülle zu erwärmen. Je nach Zweckmäßigkeit dieser Regeneration kann die Menge des kondensierenden Arbeitsstoffes reduziert werden.

3. Eine Kombination der beiden vorgenannten Methoden.

**[0077]** Unter Berücksichtigung der beschriebenen Konstruktionsmerkmale lässt sich nun der Clausius-Rankine-Kreisprozess erklären. Vergleiche hierzu Fig. 12 "Konstruktionsmerkmale der "Stirling-Clausius-Rankine-Wärmekraftmaschine" und Fig. 16 bis 18 "Thermodynamische Vergleichsprozesse der Stirling-Clausius-Rankine-Wärmekraftmaschine". Als Arbeitstoff wurde für dieses Beispiel Dichlordifluormetan ( $\text{Cl}_2\text{F}_2\text{CH}$ ), Frigen R12 eingesetzt. Die Bezugstemperaturen für dieses Beispiel wurden  $60^\circ\text{C}$  als oberes Temperaturniveau und  $20^\circ\text{C}$  als unteres Temperaturniveau gewählt.

**[0078]** Durch die Drehung des Rotors befindet sich die äußere, die gekühlte Hälfte eines Wärmeüberträgers 1, mal unter der beheizten Hälfte mal darüber. Es ist daher sinnvoll die Kühlstrecke so zu wählen, dass sich die gekühlte Hälfte der Wärmeüberträger 1 während des Kühlvorganges unten befindet. Das entstehende Kondensat sammelt sich dann im unteren und somit im äußeren Bereich des Wärmeüberträgers 1. Auf Grund der Rotation, bewegt sich die gekühlte über der beheizten Hälfte. Ab einer bestimmten Stellung wird das Kondensat von der gekühlten in die beheizte Hälfte fließen. (Dieser Vorgang ersetzt die Speisepumpe im klassischen Clausius-Rankine-Prozess.) Nun befindet sich die größte Masse des Arbeitsstoffes auf der beheizten Seite des Wärmeüberträgers 1. Der Verdampfungsprozess setzt ein. Um gleichzeitige Kondensation auf der gekühlten Hälfte zu vermeiden, werden die Verbindungsöffnungen zwischen den beheizten und gekühlten Hälften mechanisch geschlossen.

**[0079]** Um die Abfolge des Kreisprozesses darzustellen, wird, unter Hinzuziehung der Fig. 12 der Zeichnung, zunächst mit dem isochorischen Kühlprozess begonnen. Der, in Betracht kommende, Wärmeüberträger 1 befindet sich in der Kühlstrecke direkt nach Schließung des Expansionsventils 5. Dem Wärmeüberträger 1 wird auf dieser Strecke ständig Wärme entzogen. Der Arbeitstoff

kondensiert so lange, bis der Dampfdruck (des Arbeitsstoffes) bei Kühlmediumtemperatur erreicht ist. Da das Ventil 5 während dieses Vorganges geschlossen ist, bleibt das Gesamtvolumen innerhalb des Wärmeüberträgers 1 konstant.

**[0080]** Durch die Rotation wird der Punkt, bei dem das Ventil 5 zum Arbeitszylinder 2 geöffnet wird, erreicht. Das Ventil 5 öffnet und verbindet nun den Raum im Wärmeüberträger 1 mit dem, des Arbeitszylinders 2. Das Arbeitsgas strömt, wegen des Unterdruckes im Wärmeüberträger 1 und wegen des gleichzeitig stattfindenden Expansionsvorganges auf der anderen Seite des Arbeitskolbens 3, aus dem Arbeitszylinder 2 in den Wärmeüberträger 1 hinein. Während dieses Vorganges und in der Zeit nach Schließung des (Kompressions-) Ventils 5 kondensiert der Arbeitsstoff wieder so lange, bis der, der Temperatur entsprechende, Dampfdruck erreicht ist. (Fig. 17. Punkt 2 bis Punkt 3) Während der Kompression des Arbeitsgases wird dem Wärmeüberträger 1, durch das Kühlmedium, ständig Wärme entzogen. Es findet also eine isothermische Kompression statt. (Fig. 17 Punkt 3 bis Punkt 4) Diese Zustandsänderung gehört sowohl zu dem vorher beschriebenen Stirlingkreisprozess als auch zu dem hier beschriebenen Clausius-Rankine-Kreisprozess. Durch die isothermische und nicht isentropische Kompression des Arbeitsgases weicht der hier beschriebene Clausius-Rankine-Kreisprozess vom klassischen ab

**[0081]** Bei geschlossenem Ventil 5 wird nun dem Wärmeüberträger 1 ständig Wärme zugeführt (Fig. 17. Punkt 4 bis Punkt 5).

**[0082]** Durch die Drehung des Rotors wird der Punkt erreicht, bei dem sich die gekühlte Hälfte des Wärmeüberträgers 1 über die beheizte Hälfte bewegt und wobei das Kondensat des Arbeitsstoffes in die beheizte Hälfte fließt. Die Verbindungsöffnungen zwischen gekühlter und beheizter Hälfte werden mechanisch geschlossen. Während in der beheizten Hälfte, durch das Heizmedium, ständig Wärme zugeführt wird, verdampft das Kondensat. Die Verdampfung findet so lange statt bis der Dampfdruck des Arbeitsmediums, nun beim oberen Temperaturniveau erreicht ist. (Fig. 17. Punkt 5 bis Punkt 5').

**[0083]** Bei weiterer Drehung wird der Punkt erreicht bei der das Ventil 5 zum Arbeitszylinder 2, zum zweiten male während des Kreisprozesses, geöffnet wird. Das Ventil 5 öffnet und verbindet nun den Raum im Wärmeüberträger 1 mit dem Raum des Arbeitszylinders 2. Der Überdruck im Wärmeüberträger 1 und die gleichzeitig auf der anderen Seite des Arbeitskolbens 3 stattfindende Kompression, drängen den gasförmigen Arbeitsstoff aus dem Wärmeüberträger 1 in den Arbeitszylinder 2. Während dieses Expansionsvorganges wird dem Wärmeüberträger 1, vom Heizmedium ständig Wärme zugeführt. Es findet zunächst eine Fortsetzung des Verdampfungsprozesses danach eine isothermische Expansion statt. Diese Zustandsänderung gehört sowohl dem vorher beschriebenen Stirling-Kreisprozess als auch dem hier beschriebenen Clausius-Rankine-Kreisprozess an.

Durch die isothermische und nicht isentropische Expansion des Arbeitsgases weicht auch hier der beschriebene Clausius-Rankine-Kreisprozess vom klassischen ab.

**[0084]** Die Verbindung zwischen der beheizten und der gekühlten Hälfte wird wieder mechanisch geöffnet.

**[0085]** Nach Schließung des Ventils 5 beginnt der Prozess erneut.

#### Zehnte Variante des Grundmoduls

**[0086]** Wärmekraftmaschine wie in der neunten Variante beschrieben mit dem Unterschied, dass der beheizbare Teil des Wärmeübertragers 1 nicht als Wärmetauscher, sondern als Absorber für Strahlungsenergie konstruiert ist. Der gekühlte Teil kann für jede Form der Wärmeübertragung, z. B. für freie Konvektion, Wasserkühlung, Wärmetauscher für gasförmige oder flüssige Kühlmedien u.s.w. konstruiert sein. Arbeitszylinder 2, Kolben 3, Verbindungsrohre 4, Ventil 5, Ventilsteuerungen 6 etc. haben die gleiche Funktion wie in der neunten Variante beschrieben, sie rotieren zusammen mit den Wärmeüberträgern 1 um eine gemeinsame Achse. In dieser Variante werden die Verbindungen zwischen dem beheizten und dem gekühlten Teil der Wärmeüberträger 1 während des Heizvorganges geschlossen.

**[0087]** Entsprechend der Beschreibung der Variante Sieben ist die, der Strahlung ausgesetzte, absorbierende Fläche des Wärmeübertragers 1 vor Konvektionsverlusten geschützt. Hierfür ist eine Glasabdeckung 19 auf der Vorderseite und eine Einhausung (20 bis 22), mit reflektierender Fläche zum Absorber dahinter, vorgesehen. Der gekühlte Teil des Wärmeübertragers 1 wird analog, wie in der Variante Sieben beschrieben, gegen die Strahlungsenergie beschattet.

#### Elfte Variante

**[0088]** In dieser Variante wird ein Rotor mit Wärmeüberträgern 1, Verbindungsrohren 4, Ventilen 5 und Ventilsteuerung 6 wie in der Neunten Variante beschrieben eingesetzt jedoch ohne Arbeitszylinder 2 und Kolben 3. Es werden somit auch nicht zwei Ventilsteuerungen 6, (die auf beiden Seiten des Arbeitszylinders 2 angeordnet sind) erfolgen sondern Kompression und Expansion aller Wärmeüberträger 1 finden an der gleichen Ventilsteuerung 6 statt.

Anstelle des Arbeitskolbens 3 wird eine Rotationskraftmaschine verwendet, wie z. B. eine Rotationskolbenmaschine, umgekehrter Schraubenverdichter, umgekehrter Vielzellenverdichter, Turbine oder dergleichen, über die das expandierende Arbeitsgas sich entspannen kann. Da bei dem beschriebenen Rotor, bestehend aus Wärmetauscher 1, Verbindungsrohren 4, Arbeitszylinder 2 usw., die Ventile 5 für die Expansion immer an der gleichen Stelle öffnen, kann mit einer geeigneten Ventilkonstruktion das expandierende Arbeitsgas in eine feststehende Leitung eingeführt werden. Diese leitet das Ar-

beitsgas in die Hochdruckseite der Rotationskraftmaschine ein. Analog kann für die Kompression eine Leitung von der Niederdruckseite der Rotationskraftmaschine bis zu der Stelle, an der die Ventile 5 für den Kompressionsvorgang öffnen, das Arbeitsgas wieder zu den Wärmeüberträgern 1 zurückführen.

Bei einer solchen Maschine ist eine drehende Welle vorhanden, mit der ein Stromgenerator oder eine andere Maschine angetrieben werden kann.

Die Drehbewegung kann auch genutzt werden um den Wärmeüberträger-Rotor anzutreiben. Durch sorgfältige Abstimmung der Drehgeschwindigkeiten von Rotor und Rotationsmaschine wird sichergestellt, dass die richtige Menge Arbeitsgas bei der Rotationskraftmaschine ansteht.

Bei dieser Variante findet eine isotropische Expansion statt, dadurch weist sie gegenüber den anderen Varianten einen geringeren thermodynamischen Wirkungsgrad auf.

#### Abweichungen dieser Wärmekraftmaschine vom Stand der Technik

**[0089]** Die Wärmekraftmaschine dieser Wärmekraftmaschine wird mit einer externen Wärmequelle betrieben, daher unterscheidet sie sich von allen Wärmekraftmaschinen mit interner Verbrennung.

**[0090]** In einer Variante dieser Wärmekraftmaschine wird der Stirlingkreisprozess mit einem Clausius-Rankine-Kreisprozess verbunden, woraus 6 Zustandsänderungen entstehen. Dadurch unterscheidet sich diese Wärmekraftmaschine von herkömmlichen Maschinen, die entweder nur mit einem Stirling-Kreisprozess oder nur mit einem Clausius-Rankine-Kreisprozess laufen.

**[0091]** Der wesentlichste Unterschied zu den herkömmlichen Techniken besteht in dem Zusammenspiel verschiedener Kreisprozesse auf einem gemeinsamen Arbeitszylinder 2. Bei einem vollständigen Prozessablauf dieser Wärmekraftmaschine hat das Arbeitsgas bzw. Arbeitsstoff in jedem einzelnen Wärmeüberträger 1 einen vollständigen Stirlingkreisprozess mit vier Zustandsänderungen bzw. einen vollständigen Stirling-Clausius-Rankine-Keisprozess mit 6 Zustandsänderungen durchlaufen d. h. jedes Ventil 5 zwischen den einzelnen Wärmeüberträgern 1 und gemeinsamen Arbeitszylinder 2 hat sich zweimal geöffnet und geschlossen. Das bedeutet für jeden Wärmeüberträger 1 jeweils eine Expansion und eine Kompression.

**[0092]** Es handelt sich um eine Wärmekraftmaschine, die im Vergleich zu anderen Wärmekraftmaschinen, durch wenige bewegliche Teile und mit wenig Todraum, sehr geringe interne Verluste aufweist. Bei den sich bewegenden Teilen handelt es sich um einen frei beweglichen Arbeitskolben 3 in einem Arbeitszylinder 2 und einen rotierenden Rotor bestehend aus: Wärmeüberträger 1, Verbindungsrohren 4, Ventilen 5, inneren 14 und äußeren 13 Hüllen und Trennstege 15.

**[0093]** Durch den Einsatz von Ventilen 5 unterscheidet

sich diese Wärmekraftmaschine von der klassischen Stirlingmaschine. Die Zustandsänderungen können daher fast vollständig ausgenutzt werden. Durch sorgfältige Auslegung der Komponenten kann der tatsächliche Wirkungsgrad sehr nah an den theoretisch möglichen herangeführt werden. Das Ventil 5 wird erst dann geöffnet, wenn der Aufwärmungs- bzw. Abkühlungsprozess abgeschlossen ist. Über den kürzesten Weg kann das Arbeitsgas in den Arbeitszylinder 2 expandieren bzw. aus dem Arbeitszylinder 2 komprimieren.

**[0094]** Ein Unterschied dieser Wärmekraftmaschine zu den herkömmlichen Wärmekraftanlagen liegt in der Tatsache, dass sich in herkömmlichen Anlagen das Arbeitsgas oder Arbeitsstoff, z. B. in Dampfkraftanlagen, vom warmen Wärmeüberträger 1 zum kalten Wärmeüberträger 1 und wieder zurück bewegt, bei dieser Wärmekraftmaschine jedoch der größte Teil des Arbeitsgases im gleichen Wärmeüberträger 1 verbleibt um dort abwechselnd gewärmt oder gekühlt zu werden.

**[0095]** Der Kolben 3 dieser Freikolbenmaschine ist durch Permanentmagnete 7 oder Erregerstrom magnetisiert und läuft in einem nichtmetallischen Arbeitszylinder 2, um den eine elektrische Spule 8 montiert ist. Hiermit wird die mechanische Arbeit ohne Umwege direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Neben den Reibungsverlusten des Freikolbens 3 treten, bei Stromerzeugung, keine weiteren mechanischen Verluste auf.

**[0096]** Organische Verbindungen wie z. B. Ammoniak und Frigene, welche in Wärmekraftmaschinen wie z. B. ORC-Anlagen genutzt werden, können auch bei dieser Wärmekraftmaschine in gleicher Weise durch Aggregatzustandsänderungen sinnvoll genutzt werden. Diese Wärmekraftmaschine weicht von der herkömmlichen ORC-Anlage dadurch ab, dass Kondensation und Verdampfung abwechselnd an gleicher Stelle, innerhalb eines Wärmeüberträgers 1, stattfinden.

**[0097]** Obwohl sich die Erfindung auch auf eine Wärmekraftmaschine der oben beschriebenen Art bezieht, richtet sich die Erfindung insbesondere auf eine im folgenden beschriebene Kraftanlage mit Wärmeauskopplung.

**[0098]** Ein möglicher Aufbau einer erfindungsgemäßen Wärmekraftkopplungsanlage ist in Fig. 19 der Zeichnung dargestellt. Hier werden eine geeignete Anzahl Wärmekraftmaschinen A, z.B. A1, A2, A3,...An, in Reihe angeordnet. Die zur Verbrennung vorgesehene Luft 22 wird als Kühlmedium den gekühlten Teil der einzelnen Wärmekraftmaschinen A1, A2, A3,... An nacheinander durchströmen und nach Verlassen der letzten Wärmekraftmaschine An einem Verbrennungsprozess in der Brennkammer 25 als Verbrennungsluft zugeführt.

**[0099]** Die Verbrennungsgase 30 aus dem Verbrennungsprozess in der Brennkammer 25 durchströmt den beheizten Teil der einzelnen Wärmekraftmaschinen An...A2, A1 in entgegengesetzter Richtung und in umgekehrter Reihenfolge wie das Kühlmedium 22 wobei eine ähnliche Temperaturdifferenz aber mit jeweilig anderem Temperaturniveau bei jeder Wärmekraftmaschi-

ne A vorkommt, wie annäherungsweise im Diagramm Fig. 21 der Zeichnung dargestellt ist. Der Arbeitsstoff in jeder Wärmekraftmaschine A wird so ausgewählt, dass er an die jeweilig dort vorkommenden Temperaturen angepasst ist.

**[0100]** Der Brennstoff wird in einem Brennstoffbehälter 26 aufbewahrt. Der Brennstoffbehälter 26 kann für feste Stoffe (z. B. Holzschnipsel) als Trichter oder für Flüssigkeiten oder Gase als Tank ausgeführt sein. Der Brennstoff wird mittels einer Fördereinrichtung 27 (als Zellen-schleuse oder Schnecke bei festen Stoffen oder Pumpe bei Flüssigkeiten) in die Brennkammer 25 eingeführt. Für feste Stoffe ist ein Verbrennungsrost 28 vorzusehen welcher so ausgeführt ist, dass der Brennstoff sich möglichst optimal über die Oberfläche verteilt.

**[0101]** Die Kühl- und Verbrennungsluft 22 kann reine Umgebungsluft sein aber auch gekühlte Luft oder aus andern Prozessen austretende Luft, welche zum Verbrennen des eingesetzten Brennstoffes geeignet sein. Sie wird mit einem Gebläse 21 durch die Wärmetauscher 1 der einzelnen Wärmekraftmaschinen A bis in die Verbrennungskammer 25 gefördert.

**[0102]** Beim Durchströmen durch jeden Wärmetauscher 1 der einzelnen Wärmekraftmaschinen A nimmt die Temperatur der Luft, wegen der Wärmeaufnahme von den Wärmetauschern 1, zu.

**[0103]** Die aufgewärmte Luft wird nach Verlassen des Wärmetauschers 1 der letzten Wärmekraftmaschine An als Verbrennungsluft genutzt. Hierbei wird, durch den Einsatz von Regelklappen 23, ein Teil der Kühlluft durch die Brennkammer 25 und ein Teil an der Brennkammer 25 vorbei geleitet. Nach der Verbrennung werden die beiden Luftströme wieder zusammengeführt und vermischt. Die Klappen 23 werden über einem Temperaturreglerkreis, bestehend aus einem Temperatursfühler 31, Regler und Stellmotor 24, so geregelt, dass eine konstante Temperatur der Verbrennungsgase 30 erreicht wird. Diese Verbrennungsgase 30 werden nachfolgend als Heißgase bezeichnet.

**[0104]** Die Heißgase 30 werden in den Wärmetauschern 1 der Wärmekraftmaschine An, durch welche die Kühlluft 22 zuletzt durchgeführt wurde, eingeleitet. Weiter durchströmen die Heißgase alle anderen Wärmekraftmaschinen A in umgekehrter Reihenfolge und Richtung wie die Kühlluft. Durch Abgabe der Wärme an die Wärmetauscher 1 nimmt die Temperatur in jedem Wärmetauscher 1 ab. Da die Temperatur in entgegengesetzter Richtung abnimmt wie die Kühlluft zunimmt werden in jeder Wärmekraftmaschine A, mehr oder weniger, gleiche Temperaturdifferenzen vorkommen welche zur Umsetzung der Wärme in Arbeit erforderlich sind.

**[0105]** Die Austrittstemperatur der Heißgase ist abhängig von der gewählten Anzahl von Wärmekraftmaschinen A, den Arbeitsstoffen, besonders in den letzten Stufen und der Konstruktion der Wärmekraftmaschinen A. Sie kann ähnlich wie bei einem Brennkessel bei ca. 50°C liegen. Dieses bedeutet, dass die Verdampfungswärme des Wassers in den Verbrennungsgasen

30 ebenfalls zur Stromerzeugung beiträgt. Der obere Heizwert des Brennstoffes wird genutzt. Auch die Verdampfungswärme die verbraucht wird um das Wasser bei feuchten Brennstoffen zu Verdampfen geht nicht verloren.

**[0106]** Für das anfallende Kondensat auch aus den Wärmekraftmaschinen A wird eine Neutralisation 39 vorgesehen.

**[0107]** Um die Restwärme der Heißgase nach dem Verlassen der letzten Wärmekraftmaschine A1 für Heizungszwecke nutzen zu können wird sie durch die Primärseite eines Wärmetauschers 35 geführt. Durch die Sekundärseite des Wärmetauschers wird Heizungswasser für Fernwärme 36 zirkuliert. Wird mehr Wärme für Heizungszwecke benötigt als die Restwärme in den Heißgasen 30 nach der letzten Wärmekraftmaschine An, kann die letzte Wärmekraftmaschine A1 angehalten werden, sodass die Wärme ungenutzt durchtreten kann. Reicht dieses nicht für den Wärmebedarf aus, so kann die zweitletzte Wärmekraftmaschine A2 angehalten werden. Dieses kann solange fortgesetzt werden bis die Wärmekraftmaschine An angehalten wird und die gesamte Wärme nur für Heizungszwecke genutzt wird.

**[0108]** Besonders in den ersten von den Heißgasen durchströmten Wärmekraftmaschinen A kann der Dampfdruck des dort befindlichen Arbeitsstoffes bei zu hohen Temperaturen so hoch ansteigen, dass es die Konstruktion der Wärmetauscher 1 schädigen kann, deshalb werden bei Anhalten der Wärmekraftmaschine A die Heißgase nicht durch die Wärmetauscher der Wärmekraftmaschine geführt sondern durch Umschaltklappen mit Antrieb 34 an diesen vorbei und direkt in den Wärmetauscher 35 gelenkt. Es befindet sich Umschaltklappen mit Antrieb 34 vor jeder Wärmekraftmaschine A, womit die Heißgase an den nachfolgenden Wärmekraftmaschinen A vorbeigeleitet werden kann um die Wärme für andere Zwecke verwenden zu können.

**[0109]** Die Heißgase werden letztendlich einem Kamin 38 zugeführt. Soweit erforderlich kann auch eine Rauchgasreinigung 37 zwischen der Kraftwärmekopplungsanlage und Kamin 38 vorgesehen werden.

**[0110]** Die einzelnen Wärmekraftmaschinen A - vergleiche Fig. 20 - sind mit einem magnetisierten Kolen 3 ausgestattet und deren Zylinder 2 ist mit einer elektrischen Spule 8 derart umschlossen, dass mit dem Kolben 3 ein elektrischer Strom durch Induktion erzeugt wird. Dadurch produziert jede Maschine A eine Art Wechselstrom jeweils mit unterschiedlichen Frequenzen. Dieser Strom wird über Gleichrichter 40 in Gleichstrom umgewandelt und in Akkumulatoren 42 gespeichert während gleichzeitig der Gleichstrom auch über einen Wechselrichter 43 in Wechselstrom mit Netzfrequenz umgeformt wird. Für jede Maschine A ist eine eigene Stromableitung 41 vorgesehen.

**[0111]** Da die oben beschriebene Wärmekraftmaschine A in mehreren Varianten aufgeführt ist können bei dieser Art Kraftwärmekopplung auch verschiedene Varianten der Wärmekraftmaschine A zur Anwendung kom-

men. Es wäre z. B. vorteilhaft, wenn bei noch sehr hohen Temperaturen Wärmekraftmaschinen, welche entsprechend dem Stirlingkreisprozess betrieben werden, und bei niederen Temperaturen Wärmekraftmaschinen welche mit kombiniertem Stirling-Clausius-Rankine-Kreisprozess betrieben werden, eingesetzt werden.

**[0112]** Unter den folgenden Punkten werden einige grundlegende und bevorzugte Ausführungen der Wärmekraftmaschine und der Kraftanlage zusammenfassend dargestellt:

1. Wärmekraftmaschine, die durch vier Zustandsänderungen, nämlich

- 1) isochorische Wärmezufuhr,
- 2) isothermische Expansion,
- 3) isochorische Wärmeabfuhr,
- 4) isothermische Kompression

eines eingeschlossenen Arbeitsgases zwischen zwei Temperaturebenen Arbeit verrichtet, und folgendes aufweist: mindestens drei Wärmeüberträger 1A, 1B und 1C, die jeweils nur eine Verbindung insbesondere ein Verbindungsrohr 4A, 4B, und 4C zu einem Arbeitszylinder 2 aufweisen und wobei die Verbindungen jeweils mit einem Ventil 5A, 5B oder 5C ausgestattet sind und wobei die Wärmeüberträger 1A, 1B und 1C abwechselnd von einem Heizmedium und Kühlmedium umströmt werden.

2. Wärmekraftmaschine nach Punkt 1, wobei die Wärmeüberträger 1A, 1B und 1C, die Verbindungsrohre 4A, 4B, und 4C und der Arbeitszylinder 2 mit einem Arbeitsgas gefüllt sind und im Arbeitszylinder 2 sich ein frei beweglicher Kolben 3 befindet, der durch die Expansion und Kompression des Arbeitsgases Arbeit verrichtet.

3. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 bis 3 wobei das Arbeitsgas in einem ersten der Wärmeüberträger 1A von einer externen Quelle auf die obere Temperaturebene aufgewärmt wird und durch Öffnen des zugehörigen ersten Ventils 5A das Gas bei anhaltender Wärmezufuhr in den Arbeitszylinder 2 expandieren kann und dort Arbeit verrichtet, wobei nach Abschluss des Expansionsvorganges selbiges Ventil 5A wieder schließt und nachfolgend der erste Wärmeüberträger 1A bei geschlossenem Ventil 5A von der externen Quelle auf die untere Temperaturebene abgekühlt wird.

4. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 bis 3 wobei das Arbeitsgas in einem anderen zweiten Wärmeüberträger 1 B zeitlich versetzt gegenüber dem ersten Wärmeüberträger auf die untere Temperaturebene abgekühlt wird und nach Öffnen diesem Wärmeüberträger 1 B zugeordneten 2. Ventils 5B, komprimiert wird, bei gleichzeitiger Wärmeab-

fuhr, wobei das vorher expandierte Arbeitsgas aus dem Arbeitszylinder 2 in den zweiten Wärmeüberträger 1B strömt und dabei wiederum Arbeit am Arbeitskolben 3 verrichtet, wobei bei Abschluss des Kompressionsvorganges im Wärmeüberträger 1 B das diesem Wärmeüberträger 1 B zugeordnete zweite Ventil 5B schließt, und bei geschlossenem zweiten Ventil 5B der Wärmeüberträger 1 B im weiteren Verlauf auf die obere Temperaturebene aufgewärmt wird.

5. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 bis 4, wobei das Arbeitsgas in einem weiteren dritten Wärmeüberträger 1C von der externen Quelle auf die obere Temperaturebene zeitlich versetzt angehoben wird und nach Öffnen dem Wärmeüberträger 1C zugeordneten dritten Ventils 5C, expandiert, bei gleichzeitiger Wärmezufuhr, wobei das vorher komprimierte Arbeitsgas aus dem dritten Wärmeüberträger 1C in den Arbeitszylinder 2 fließt und Arbeit verrichtet und nachfolgend der dritte Wärmeüberträger 1C bei geschlossenem dritten Ventil 5C von der externen Quelle auf die untere Temperaturebene abgekühlt wird.

6. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 - 5, wobei das eingeschlossene Arbeitsgas im ersten Wärmeüberträger 1A inzwischen auf die niedere Temperaturebene abgekühlt ist und beim Öffnen des ersten Ventils, welches dem ersten Wärmeüberträger 1A zugeordnet ist, 5A sich komprimiert und während des Kompressionsvorganges vom ersten Wärmeüberträger 1A Wärme abgeführt wird, wobei im Arbeitszylinder 2 durch die Kompression Arbeit verrichtet wird, und nach Schließen des ersten Ventils 5A der erste Wärmeüberträger 1A wieder aufgewärmt wird, wobei in gleicher Weise beim Öffnen des entsprechenden zweiten Ventils 5B, aus dem inzwischen aufgewärmten zweiten Wärmeüberträger 1 B eine Expansion des Arbeitsgases gefolgt von einer Kompression im inzwischen gekühlten dritten Wärmeüberträger 1C erfolgt.

7. Wärmekraftmaschine nach Punkt 1, wobei zum Aufwärmen und Abkühlen des Arbeitsmediums für das bestimmte Heiz- oder Kühlmedium geeignete Wärmeüberträger 1 eingesetzt werden.

8. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 bis 7, wobei die Ventile 5A, 5B und 5C über eine Nockenwelle 6, einen elektrischen Antrieb oder eine ähnliche Ventilsteuerung 6 in bestimmter Reihenfolge und bestimmtem Rhythmus geöffnet und geschlossen werden.

9. Wärmekraftmaschine nach einem der Punkte 2 bis 8, wobei jedoch zur Übertragung der Arbeit, der Arbeitskolben 3 mit permanent oder erregten Ma-

gneten 7 magnetisiert ist und der Arbeitszylinder 2 in einer solchen Weise mit einer elektrischen Spule 8 umschlossen wird, dass durch die Bewegungen des Arbeitskolbens 3 Strom erzeugt wird, d.h. die Arbeit des Kolbens 3 wird direkt in elektrischen Strom umgesetzt.

10. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 1 bis 9, wobei ein Druckausgleichsbehälter 9 am Arbeitszylinder 2 angeschlossen ist, und zwar auf der gegenüberliegenden Seite zu Anschlüssen der Arbeitszylinder.

11. Wärmekraftmaschine nach Punkt 10, wobei der Druckausgleichsbehälter 9 mit dem gleichen Arbeitsgas gefüllt ist wie die Wärmeüberträger 1.

12. Wärmekraftmaschine nach Punkt 10, wobei der Druck im Ausgleichsbehälter 9 dem Ruhedruck in den Wärmeüberträgern 1A, 1B, 1C angeglichen wird.

13. Wärmekraftmaschine nach Punkt 10, wobei die Wärmekraftmaschine bei jedem geeigneten Druck des Arbeitsgases, unabhängig vom atmosphärischen Druck, betrieben werden kann.

14. Wärmekraftmaschine nach Punkt 1 mit einer beliebigen ungeraden Anzahl von Wärmeüberträgern, die mit Verbindungsrohren 4 nebst Ventilen 5, an denselben Arbeitszylinder 2 angeschlossen sind.

15. Wärmekraftmaschine nach einem oder mehreren der Punkte 1 bis 14, wobei mit gleicher ungerader Anzahl von Wärmeüberträgern 1, Ventilen 5 und Verbindungen bzw. Verbindungsrohren 4 an beiden Seiten des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind, und wobei die Periode eines Kreislaufes auf beiden Arbeitszylinderseiten identisch ist und die beiderseits angeordneten Ventile 5 so gesteuert werden, dass eine Kompression auf der einen Seite und zur gleichen Zeit eine Expansion auf der anderen Seite erfolgt.

16. Wärmekraftmaschine nach Punkt 15 mit einer beliebigen ungeraden Anzahl von Wärmeüberträgern 1, Verbindungen insbesondere Verbindungsrohren 4 und dazu gehörenden Ventilen 5, die an beiden Seiten an denselben Arbeitszylinder 2 angeschlossen sind.

17. Wärmekraftmaschine nach Punkt 1 bei der jedoch das Heiz- und Kühlmedium die dem Arbeitszylinder 2 genau gegenüberliegenden Wärmeüberträger 1 gleichzeitig durchströmt.

18. Wärmekraftmaschine nach einem der Punkte 1 bis 16, wobei eine Anordnung aus mehreren Arbeits-

zylindern 2, Kolben 3, Verbindungen 4, Ventilen 5 und Ventilsteuerungen 6 besteht, die alle parallel an eine beliebige Anzahl gemeinsamer Wärmeüberträger 1 geschaltet sind.

19. Wärmekraftmaschine nach Punkt 15, wobei ein Arbeitsgas eingesetzt wird, dessen Siedepunkt bei entsprechend gewähltem Druck zwischen dem unteren und oberen Temperaturniveau liegt, damit eine Kondensation während der isochorischen Wärmeentnahme und Kompression und eine Verdampfung während der isochorischen Wärmezuführung und Expansion, stattfindet.

20. Wärmekraftmaschine nach Punkt 15 bei der die Wärmeüberträger 1 alle sternförmig um die Längsachse des Arbeitszylinders 2 angeordnet sind und die Verbindungsrohre 4 abwechselnd an beiden Seiten des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind, wobei die Wärmeüberträger 1 starr mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden sind und sich mit demselben um die gemeinsame Längsachse drehen, sodass die einzelnen Wärmeüberträger 1 während einer Hälfte der Umdrehung durch das Kühlmedium und während der anderen Hälfte der Umdrehung durch das Heizmedium geführt werden.

21. Wärmekraftmaschine nach Punkt 20 wobei die Wärmeüberträger 1 als Strahlungsabsorber flach ausgebildet sind und die Form eines Scheibensegmentes haben und kranzförmig so um die Längsachse des Arbeitszylinders 2 ausgerichtet sind, dass eine Scheibe entsteht, wobei sie mit einer strahlungsabsorbierenden Oberfläche ausgestattet sind und wobei sie auch für Kühlung durch Konvektion ausgebildet sind, da die aufgenommene Wärme wieder an die Umgebung abgegeben werden muss, wobei Wärmeüberträger 1, Verbindungsrohre 4 und Ventile 5 starr mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden sind und sich mit demselben um die gemeinsame Mittelachse drehen.

22. Wärmekraftmaschine nach Punkt 21, wobei die Hälfte der Wärmeüberträger 1 der Strahlung ausgesetzt werden, während die andere Hälfte der Wärmeüberträger 1 beschattet wird.

23. Wärmekraftmaschine nach Punkt 21, wobei die Beschattung aus verschiedenen Schichten aufgebaut ist, und die der Strahlungsquelle zugewandte Seite eine reflektierende Oberfläche 23 z.B. Spiegel erhält, wobei danach eine Isolierschicht 21 und auf der Rückseite eine Schicht 24 mit grauer oder dunkler Oberfläche folgt, welche die Abstrahlung der Wärmeüberträger 1 nach Beschattung absorbiert und zu der Abführung der Wärme durch Konvektion beiträgt.

24. Wärmekraftmaschine nach Punkt 21, wobei die Wärmeüberträger 1, welche der Strahlung ausgesetzt sind, durch eine Einhausung vor Verlust durch Konvektion und Strahlung geschützt sind, und wobei die Einhausung von vorne der Strahlungsquelle zugewandten Seite mit einem Glas 19, seitlich und hinten mit einer mehrschichtigen Abdeckung 20 bis 22 ausgeführt ist, wobei ferner die innere, den Wärmeüberträgern 1 zugewandte Schicht 22 dieser Abdeckung gewellt und reflektierend ist, während die mittlere 21 Schicht eine Isolierschicht und die nach außen gewandte Schicht 20 eine Wetterschutzschicht ist.

25. Wärmekraftmaschine nach Punkt 21, wobei die Wärmeüberträger 1 um den Mittelpunkt des Absorberkranzes rotieren, und jeder Wärmeüberträger 1 dabei abwechselnd die Beschattung und Einhausung passiert, wobei sie dadurch abwechselnd durch die Strahlung aufgeheizt und, während der Beschattung, durch Abgabe der Wärme an die Umgebung wieder abgekühlt werden.

26. Wärmekraftmaschine nach Punkt 21, wobei die Ventile 5 so gesteuert werden, dass abwechselnd ein gekühlter und erwärmter Wärmeüberträger 1 mit dem Arbeitszylinder 2 verbunden werden, um durch Expansion oder Kompression Arbeit zu verrichten.

27. Wärmekraftmaschine nach Punkt 15 und Punkt 21 mit ungerader Anzahl Wärmeüberträgern 1, die jeweils abwechselnd auf der einen und anderen Seite des Arbeitszylinders 2 angeschlossen sind.

28. Wärmekraftmaschine mit externer Wärmequelle und mindestens 3 Wärmeüberträgern 1 mit eingeschlossenem Arbeitsgas, welche abwechselnd gekühlt und beheizt werden, wobei die thermodynamischen Zustandsänderungen in jedem Wärmeüberträger 1 in Zusammenhang mit einem Arbeitszylinder 2 und Ventilsteuerung 5 und 6 a) isochorische Wärmezufuhr, b) isothermische Expansion, c) isochorische Wärmeabfuhr und d) isothermische Kompression sind, und wobei die nacheinander folgenden Zustandsänderungen: Expansion und Kompression nicht mit ein demselben Arbeitsgas stattfinden, und wobei nach der Expansion aus einem gewärmten Wärmeüberträger 1 in den Arbeitszylinder 2 eine Kompression in einem anderen gekühlten Wärmeüberträger 1 folgt, und Expansion und Kompression mittels Ventilen zwischen einzelnen Wärmeüberträgern 1 und Arbeitszylinder 2 in Abhängigkeit vom Heiz-/Kühlvorgang ausgelöst werden.

29. Wärmekraftmaschine mit mindestens 3 oder mehr geschlossenen Wärmeüberträgern 1, die zusammen mit einem gemeinsamen Zylinder 2 und Arbeitskolben 3 Arbeit verrichten, wobei in jedem Wär-

meüberträger 1 mit Arbeitszylinder 2 und Arbeitskolben 3, ein eigener Stirlingkreisprozess, zeitlich versetzt gegenüber dem anderen Wärmeüberträger 1, stattfindet.

30. Wärmekraftmaschine nach Punkt 28, wobei die einzelnen Kreisprozesse durch den Einsatz von Ventilen 5 voneinander getrennt werden.

31. Wärmekraftmaschine nach Punkt 28 bei der der Wärmeüberträger 1 einen geschlossenen Raum bildet in dem sich ein Arbeitsstoff befindet, der weiterhin für einen optimierten Wärmeaustausch zwischen Arbeitsstoff und Umgebung konstruiert ist, wobei ein Teil des Wärmeüberträgers 1 von dem anderen Teil thermisch, durch eine dazwischen eingebaute Isolierschicht 25, entkoppelt ist, wobei ein Teil gekühlt und der andere beheizt wird, wobei eine mechanische Schließvorrichtung 26 zwischen dem gekühlten und beheizten Teil eingebaut ist, um den eingeschlossenen Raum des Wärmeüberträgers 1 bei Bedarf in zwei Räume zu unterteilen, wobei eine Anschlussöffnung in der Wand des gewärmten Teiles des Wärmeüberträgers 1 existiert, durch welche der Arbeitsstoff ein- und ausströmen kann.

32. Wärmekraftmaschine nach Punkt 31 bei der eine beliebige Anzahl Wärmeüberträger 1 sternförmig und symmetrisch um einen Arbeitszylinder 2 angeordnet und starr mit ihm verbunden sind, wobei die Anschlussöffnungen der Wärmeüberträger 1 mit dem Arbeitszylinder 2 über Verbindungen bzw. Verbindungsrohre 4 verbunden sind, damit ein Austausch des Arbeitsgases zwischen beiden möglich ist, wobei eine Hälfte der Wärmeüberträger 1 an der Stirnseite des Arbeitszylinders 2, die andere Hälfte an der anderen, der Stirnseite gegenüberliegenden Seite angeschlossen sind, wobei immer abwechselnd ein Wärmeüberträger 1 an der einen der nächsten an der anderen Seite angeschlossen ist, wobei sich Ventile 5 in den Verbindungen 4 zwischen Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 befinden, die über eine Ventilsteuerung 6 nach Punkt 2 geöffnet und geschlossen werden, während sich Arbeitszylinder 2, Wärmeüberträger 1, Verbindungsrohre 4 und Ventile um die Längsachse des Arbeitszylinders 2 als Rotor drehen.

33. Wärmekraftmaschine nach Punkt 32, wobei ein Arbeitsgas eingesetzt wird, dessen Siedepunkt bei entsprechend gewähltem Druck zwischen dem unteren und oberen Temperaturniveau liegt, damit eine Kondensation während der isochorischen Wärmeentnahme und Kompression und eine Verdampfung während der isochorischen Wärmezuführung und Expansion stattfindet.

34. Wärmekraftmaschine mit Wärmeüberträgern 1

nach Punkt 32, wobei der gekühlte Teil der Wärmeüberträger 1 sich auf der Außenseite während der beheizte Teil sich auf der Innenseite zum Arbeitszylinder 2 hin befindet, wobei der gekühlte Teil über die Hälfte des Umfanges mit einem Kühlmedium gekühlt und der beheizte Teil über die gegenüberliegende Hälfte des Umfanges beheizt wird, während der Rotor bestehend aus Wärmeüberträger 1, Arbeitszylinder 2 mit Kolben 3, Verbindungsrohren 4 und Ventilen 5 rotiert.

35. Wärmekraftmaschine nach Punkt 32 bei der das Ventil 5 zwischen jedem Wärmeüberträger 1 und Arbeitszylinder 2 während einer Umdrehung des Rotors zweimal geöffnet und geschlossen wird, und zwar einmal während des Kühlvorganges und einmal während des Heizvorganges.

36. Wärmekraftmaschine nach Punkt 32 bei der die Verbindungen zwischen den gekühlten und beheizten Teilen der Wärmeüberträger 1 mit einer Schließvorrichtung 26 während des Heizvorganges geschlossen werden.

37. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 31 bis 36 bei der mittels Umwälzung des Heiz- und Kühlmediums die innere Wärme des Materials des beheizten Teils der Wärmeüberträger 1 innerhalb eines Segmentes kurz nach Abschluss des Heizvorganges genutzt wird, um den gekühlten Teil der Wärmeüberträger 1 innerhalb eines Segmentes kurz nach Abschluss des Kühlvorganges aufzuwärmen, um eine Kondensation im gekühlten Teil während der Beheizung des beheizten Teiles zu minimieren.

38. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 31 bis 37, jedoch ohne Arbeitszylinder 2 und Kolben 3, wobei die Ventile 5 aller Wärmeüberträger 1 von einer einzigen Ventilsteuerung 6 angesteuert werden, wobei die Wärmeüberträger 1 beim Öffnen der ihnen zugeordneten Ventile 5 mit einer Rotationskraftmaschine verbunden sind, welche die Druckdifferenz zwischen zwei Druckebenen eines Gases nutzt um Arbeit zu verrichten, wobei die Verbindung in der die Expansion stattfindet mit der Hochdruckseite und die Verbindung in der die Kompression stattfinden mit der Niederdruckseite der Rotationskraftmaschine verbunden ist, wobei ein Teil der Rotationsenergie der Rotationskraftmaschine über ein Getriebe als Antrieb dieser Wärmekraftmaschine genutzt werden kann.

39. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 31 bis 37, wobei die beheizten Teile der Wärmeüberträger 1 als Strahlungsabsorber ausgebildet sind, wobei die beheizten Teile der Wärmeüberträger 1 flach sind und die Form eines Scheibensegmentes haben, und kranzförmig so um einen Mittelpunkt ausgerich-

tet, dass eine Scheibe gebildet wird, wobei sie mit einer strahlungsabsorbierenden Oberfläche ausgestattet sind, wobei diese Strahlungsabsorber gegen Verluste durch Konvektion und Abstrahlung mittels geeignete Maßnahmen gemäß Anspruch 24 geschützt sind.

40. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 31 bis 36 mit mindestens drei oder mehr geschlossenen Wärmeüberträgern 1, die zusammen mit einem gemeinsamen Arbeitszylinder 2 und Arbeitskolben 3 Arbeit verrichten, wobei in jedem Wärmeüberträger 1 mit Arbeitszylinder 2 und Arbeitskolben 3 ein eigener Stirlingkreisprozess, kombiniert mit einem Clausius-Rankine-ähnlichem Kreisprozess, zeitlich versetzt gegenüber den anderen Wärmeüberträgern 1, stattfindet.

41. Wärmekraftmaschine nach den Punkten 31 bis 36 deren Wirkungsweise auf folgenden Zustandsänderungen in einem Kreisprozess beruht: 1. isochorischer Wärmeentzug, 2. isobarische Verflüssigung, 3. isothermischer Kompression, 4. isochorische Wärmezuführung, 5. isobarische Verdampfung und 6. isothermische Expansion.

42. Kraftanlage mit Wärmeauskopplung bei der eine beliebige Anzahl Wärmekraftmaschinen A gemäß den obigen Punkten in Reihe hintereinander geschaltet sind, wobei das Heizmedium 30, welches aus Verbrennungsgasen 30 eines Verbrennungsprozesses besteht, die einzelnen Wärmekraftmaschinen A kaskadenartig nacheinander durchströmt, wobei die Temperatur des Heizmediums 30 beim Durchströmen der Wärmeüberträger 1 der Wärmekraftmaschinen A<sub>n</sub> bis A<sub>1</sub> abnimmt und wobei das Kühlmedium 22, welches aus Umgebungsluft oder sonstiger Luft besteht, dieselben Wärmekraftmaschinen A<sub>1</sub> bis A<sub>n</sub> in entgegengesetzter Richtung und in umgekehrter Reihenfolge kaskadenartig durchströmt, wobei die Kühlmediumtemperatur beim Durchströmen der Wärmeüberträger 1 der Wärmekraftmaschinen A zunimmt, wobei eine Temperaturdifferenz zwischen dem Heiz und Kühlmedium mehr oder weniger erhalten bleibt und jede Wärmekraftmaschine A Arbeit verrichtet und durch sie elektrischen Strom erzeugt, wobei das Kühlmedium nach Austreten aus der letzten Wärmekraftmaschine A der Kaskade als Verbrennungsluft 30 in einem Verbrennungsprozess verwendet wird und wobei das Heizmedium 30 nach Austritt aus der letzten Wärmekraftmaschine A<sub>n</sub> in der Kaskade für Heizungszwecke oder sonstige Wärmeverbraucher genutzt wird.

43. Kraftwärmekopplungsanlage, nach Punkt 42, jedoch ohne Verbrennungsprozess, bei der die Abwärme aus anderen Prozessen benutzt wird.

44. Kraftwärmekopplungsanlage nach Punkt 42 bei der verschiedene Varianten der unter den Punkten 1 bis 41 beschriebenen Wärmekraftmaschine A eingesetzt werden.

45. Kraftanlage mit Wärmeauskopplung bei welcher der Strom mit einer beliebigen Anzahl, der oben beschriebenen und in den Figuren 1 bis 18 dargestellten Wärmekraftmaschinen A erzeugt wird, wobei die Wärmekraftmaschinen A in Reihe geschaltet sind und mit dem Kühlmedium 22 und Heizmedium 30 im Gegenstromprinzip durchströmt werden, wobei das aufgewärmte Kühlmedium 22 nach Austreten aus der letzten Wärmekraftmaschine als Verbrennungsluft genutzt wird, und wobei das aus der in der Gegenrichtung letzten Wärmekraftmaschine A austretende Heizmedium 30 weiter für Heizungszwecke oder andere Wärmeverbraucher genutzt werden kann.

### Patentansprüche

1. Wärmeprozess, in welchem in einem Kreisprozess vier Zustandsänderungen eines eingeschlossenen Arbeitsstoffes zwischen zwei Temperaturebenen in folgender Reihenfolge ablaufen:

isochorische Wärmezufuhr,  
isothermische Expansion,  
isochorische Wärmeabfuhr,  
isothermische Kompression.

2. Wärmeprozess, in welchem in einem Kreisprozess vier Zustandsänderungen eines eingeschlossenen Arbeitsstoffes zwischen zwei Temperaturebenen in folgender Reihenfolge ablaufen:

isochorische Wärmezufuhr,  
isotropische Expansion,  
isochorische Wärmeabfuhr,  
isothermische Kompression.

3. Wärmeprozess nach Anspruch 1 oder 2, der weiter nach der isochorischen Wärmezufuhr eine isobarische Verdampfung des Arbeitsstoffes aufweist; und nach der isochorischen Wärmeabfuhr eine isobarische Verflüssigung des Arbeitsstoffes aufweist.

4. Wärmeprozess nach Anspruch 3, wobei nach der isobarischen Verflüssigung ein Fördern des Arbeitsstoffes durch eine Pumpe oder durch hintereinander liegende Ventile erfolgt.

5. Wärmeprozess nach Anspruch 1, wobei die isothermische Expansion in einem Arbeitszylinder erfolgt.

6. Wärmeprozess nach Anspruch 2, wobei die isotro-

rische Expansion in einer Rotationskraftmaschine erfolgt.

7. Wärmeprozess, der das gleichzeitige und zeitlich versetzte Ausführen einer Vielzahl von Wärmeprozessen nach einem der Ansprüche 1 bis 6 aufweist, wobei der gesamte Arbeitsstoff auf die Vielzahl von Wärmeprozessen aufgeteilt ist 5
  
8. Wärmeprozess nach Anspruch 7, wobei ein Teil des gesamten Arbeitsstoffes, der an einem ersten Wärmeprozess beteiligt ist, während des Verlaufes des ersten Wärmeprozess in einen zweiten Wärmeprozess überführt wird. 10
  
9. Wärmekraftmaschine mit einem nach außen abgeschlossenen Innenraum, in dem eine Gesamtmenge an Arbeitsstoff enthalten ist, wobei in der Wärmekraftmaschine eine Vielzahl von Wärmeprozessen nach einem der Ansprüche 1 bis 6 gleichzeitig und zeitlich versetzt zueinander abläuft. 15
  
10. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 9, wobei bei der Vielzahl von Wärmeprozessen jeweils ein Teil des gesamten Arbeitsstoffes an einem Wärmeprozess beteiligt ist. 20
  
11. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 10, wobei der Teil des gesamten Arbeitsstoffes, der an einem ersten Wärmeprozess beteiligt ist, während des Verlaufes des ersten Wärmeprozess in einen zweiten Wärmeprozess überführt wird. 25

35

40

45

50

55

Fig. 1

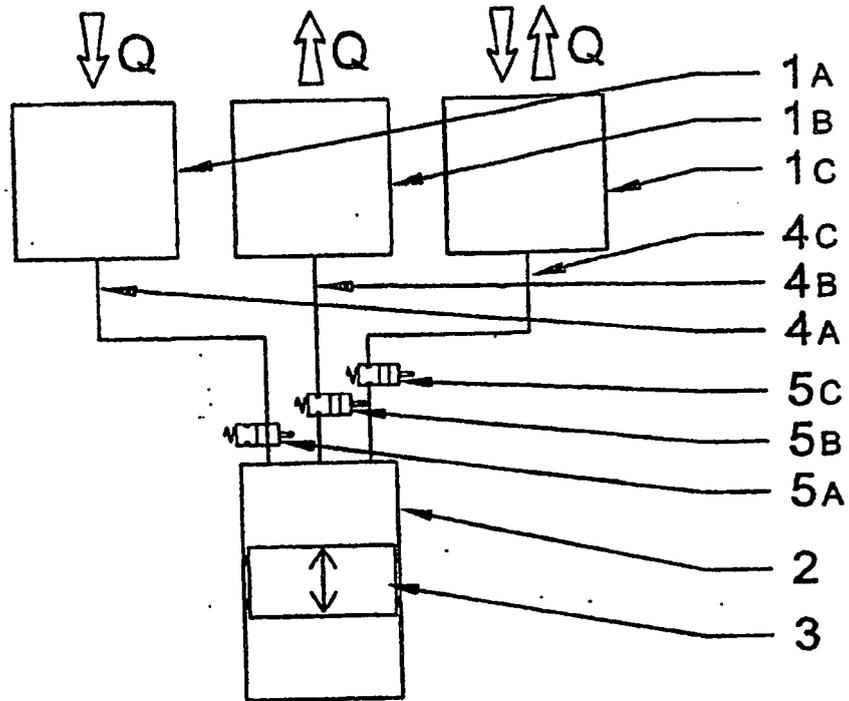


Fig. 2

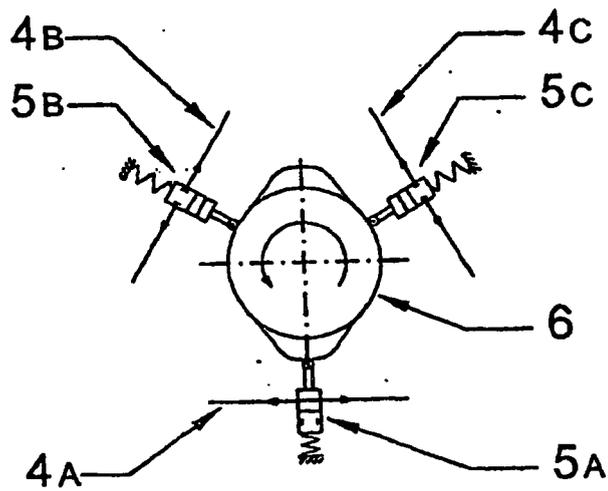


Fig. 3

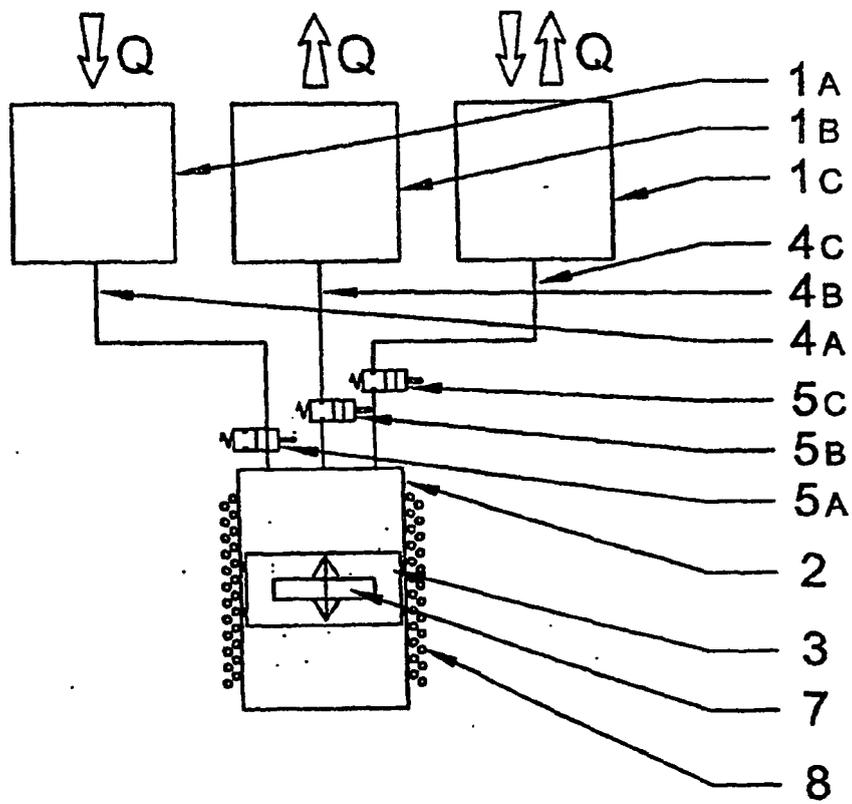


Fig. 4

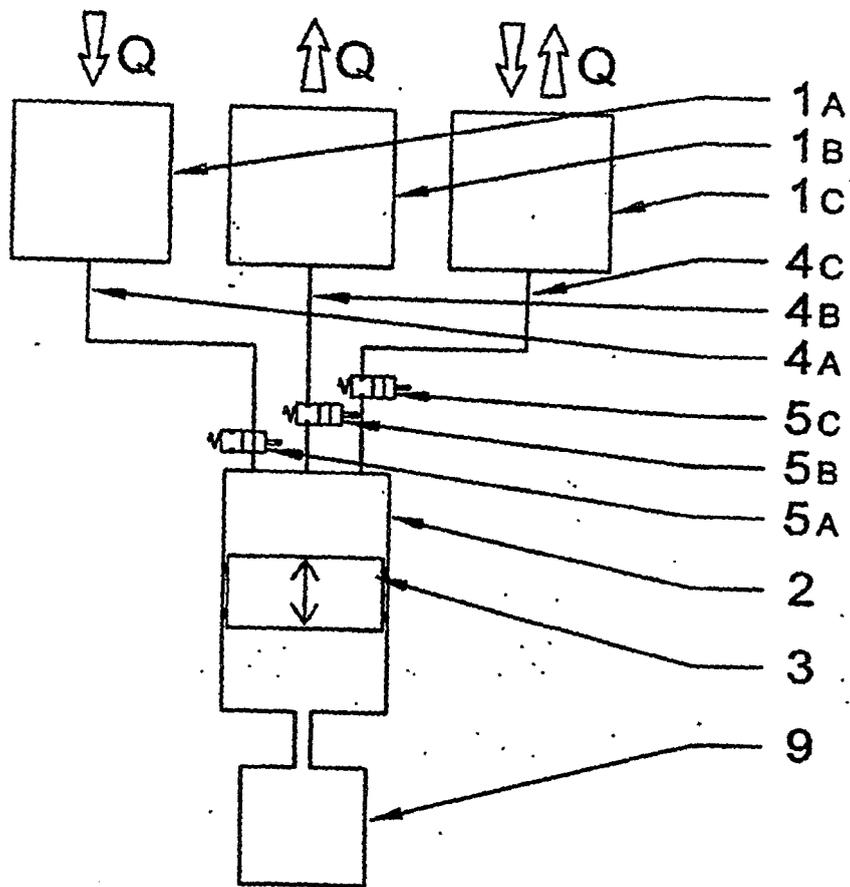


Fig. 5

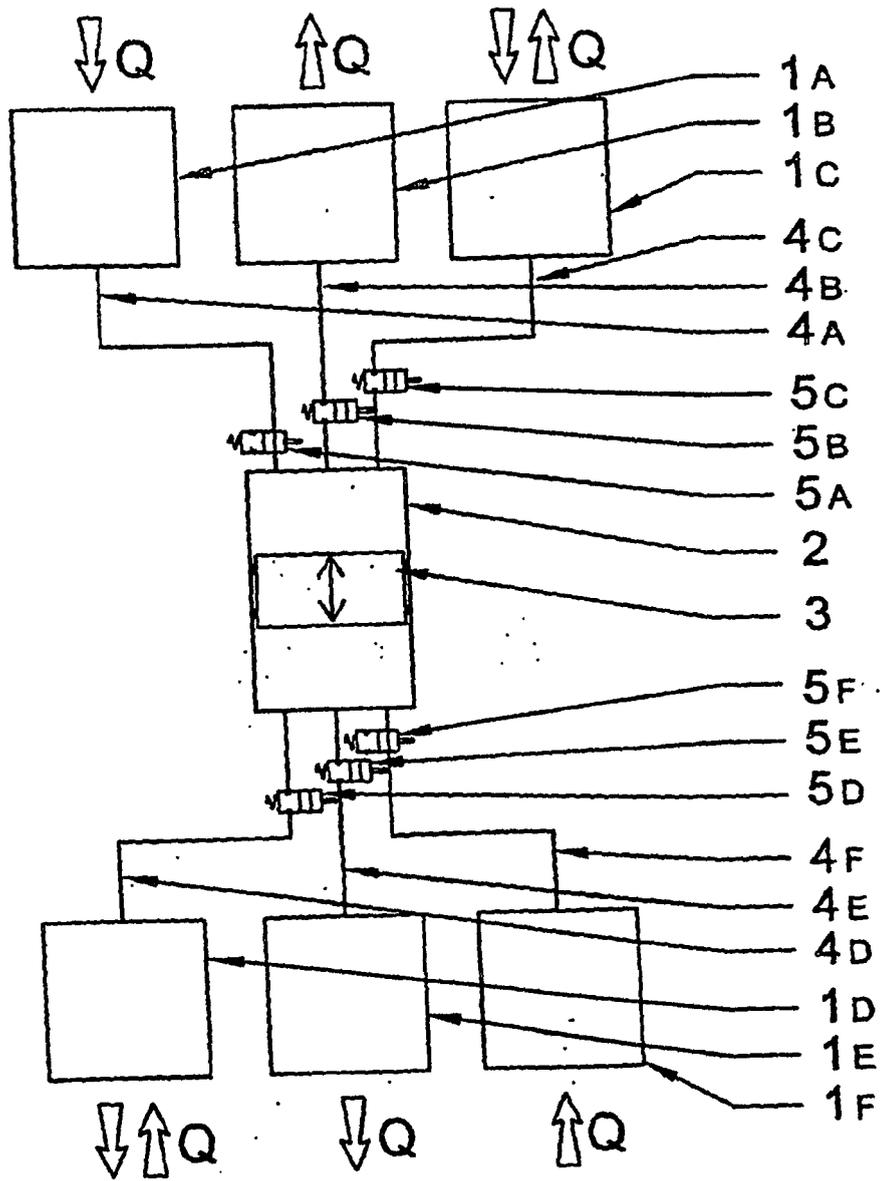
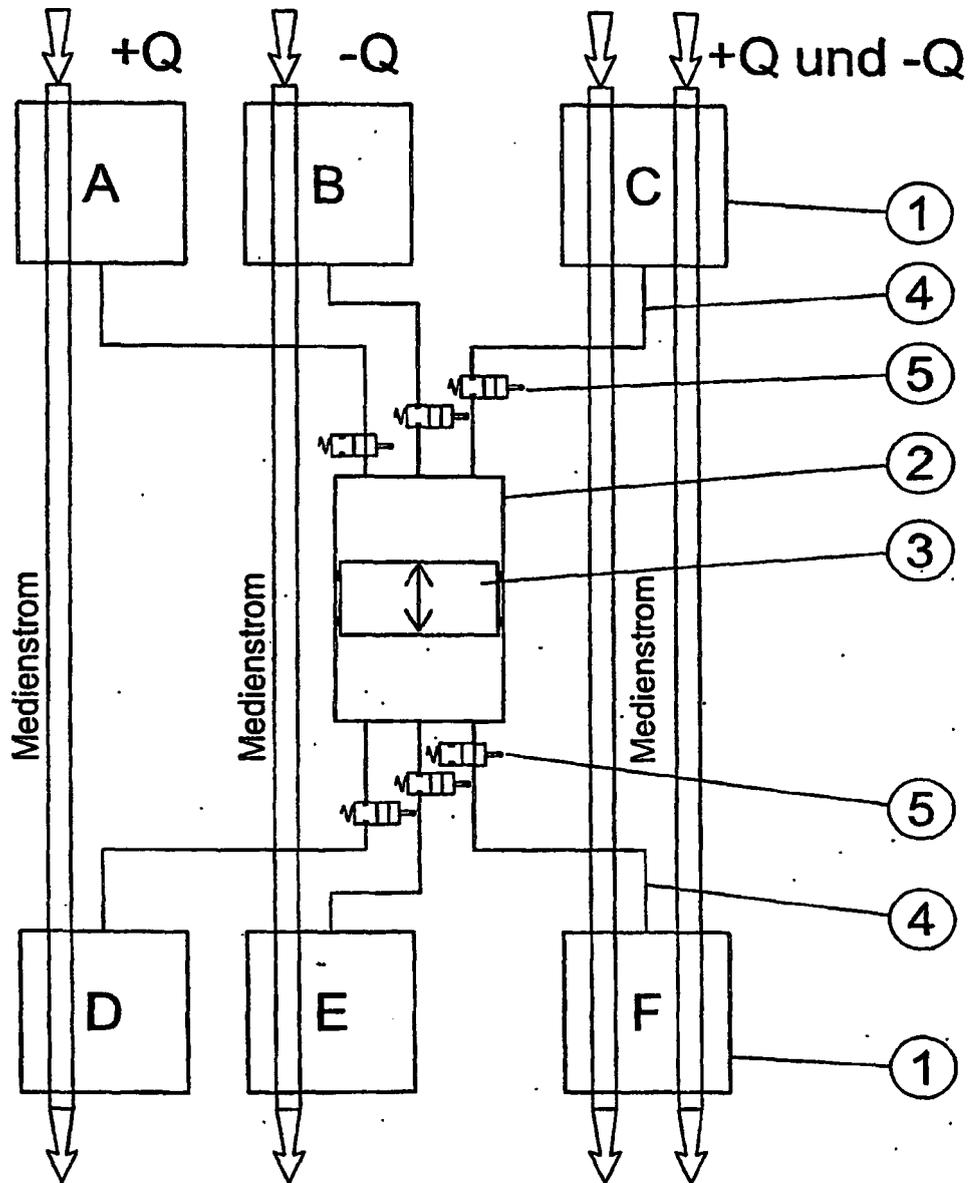


Fig. 6



1. Wärmeübertrager
2. Arbeitszylinder
3. Kolben
4. Verbindungsrohr
5. Ventile

Fig. 7

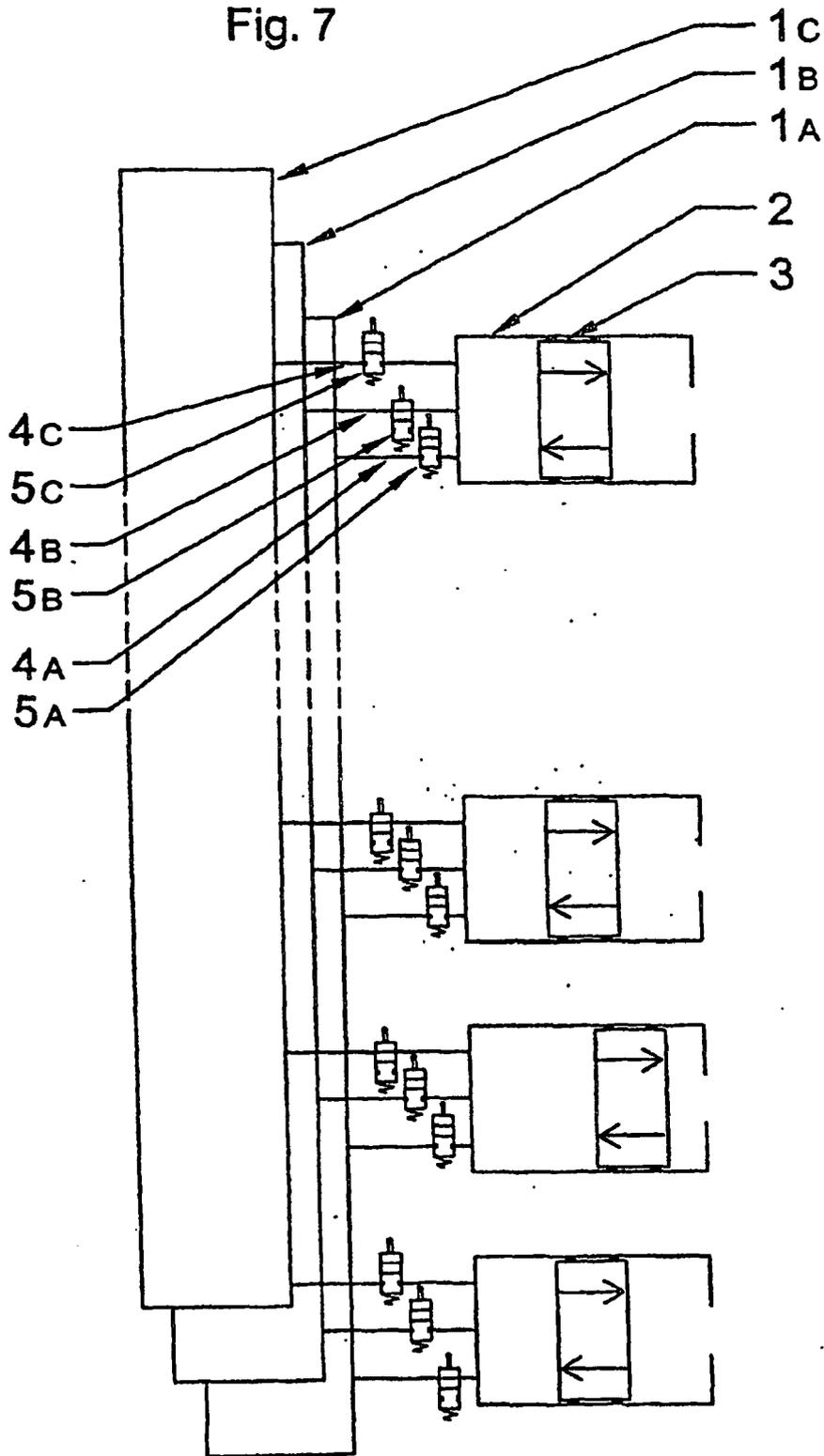




Fig. 9A

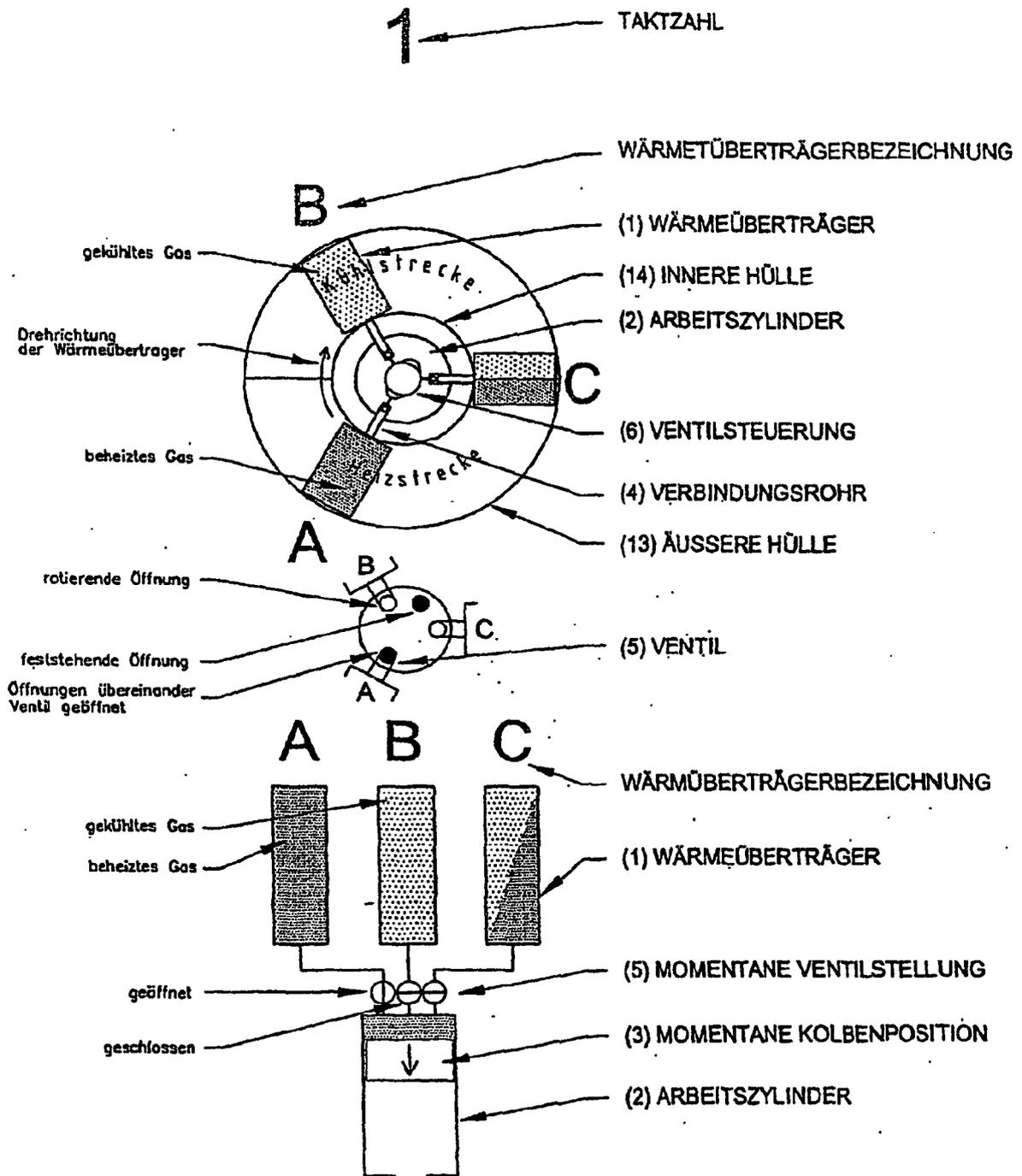


Fig. 9B

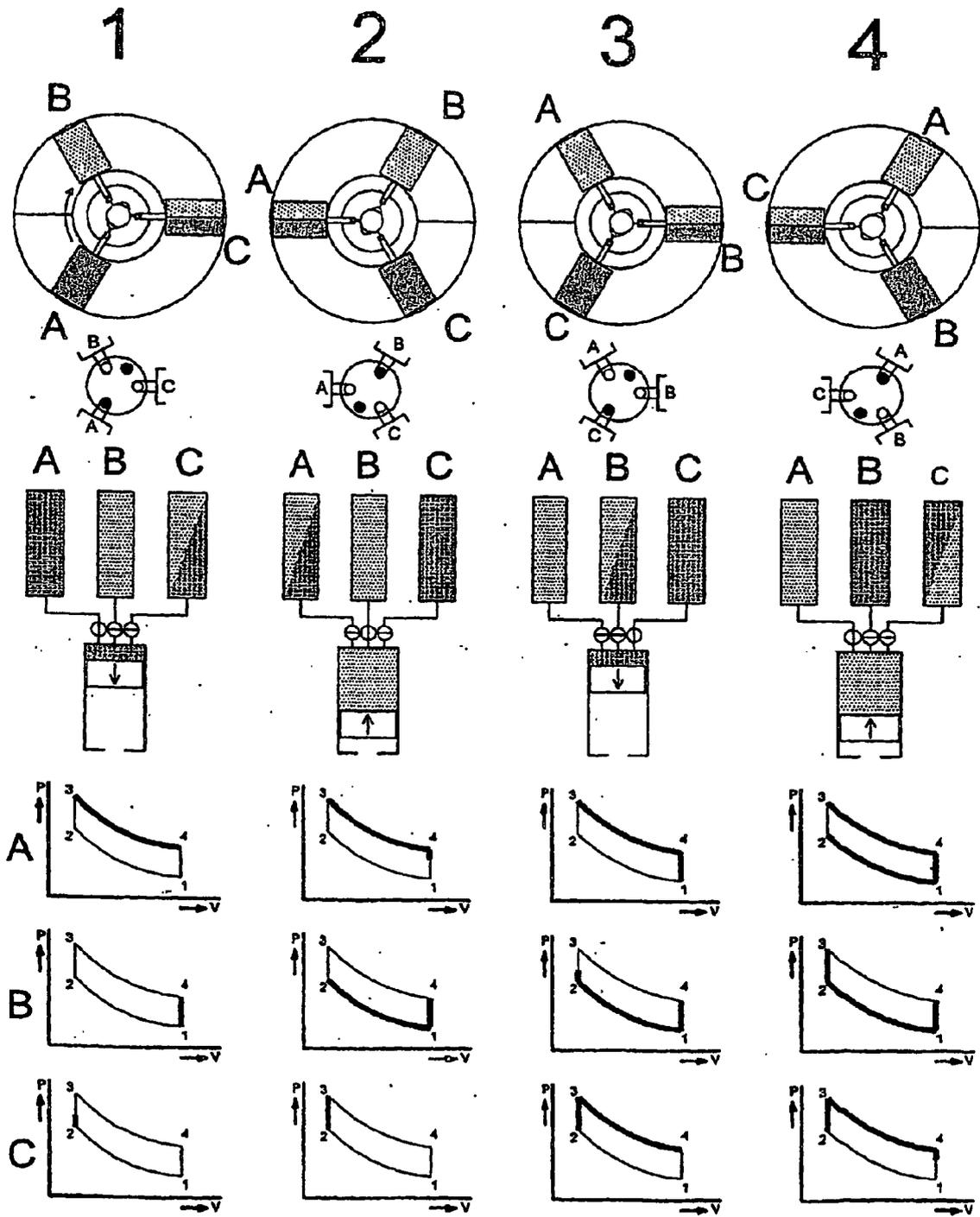


Fig. 9C

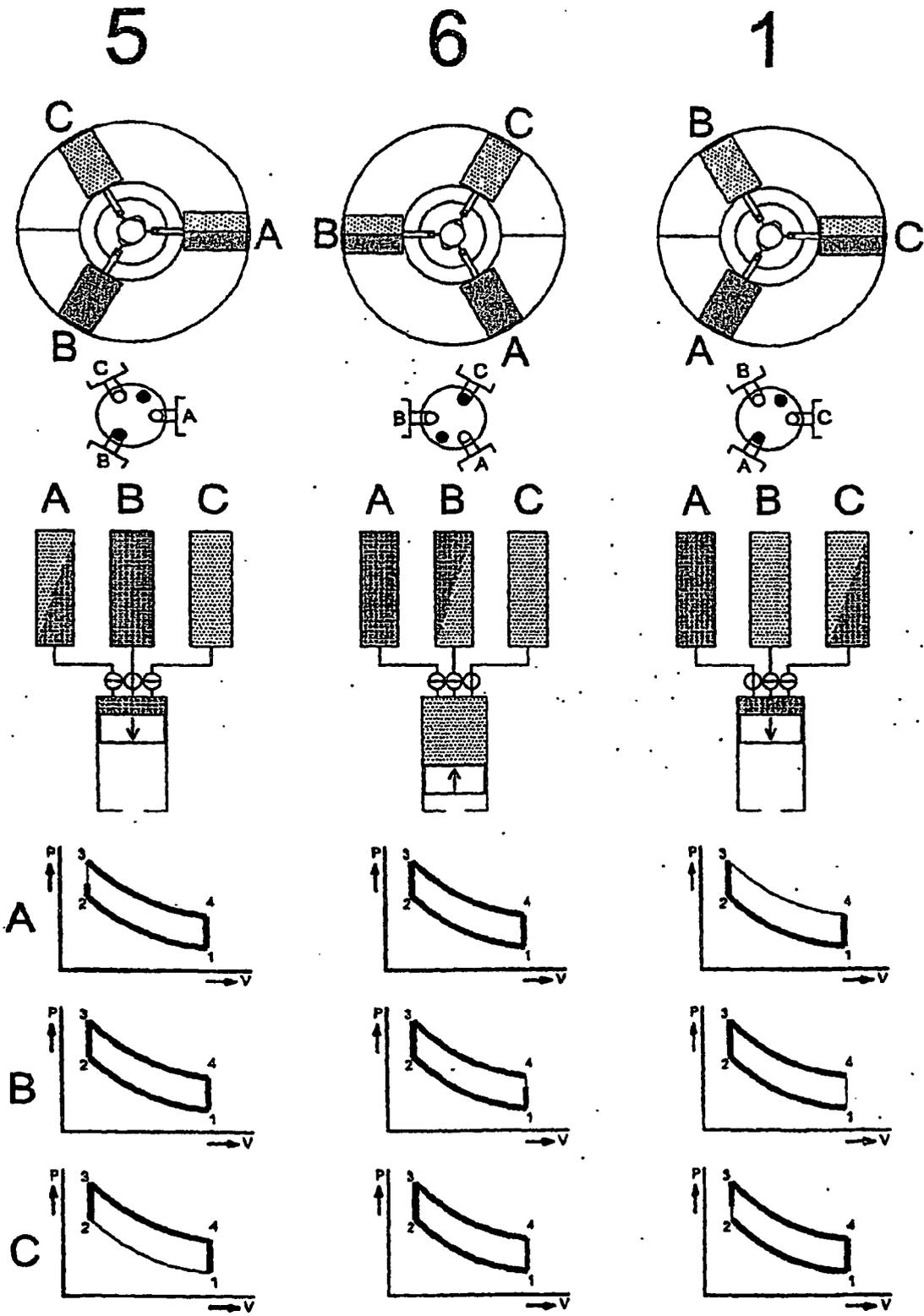


Fig. 10

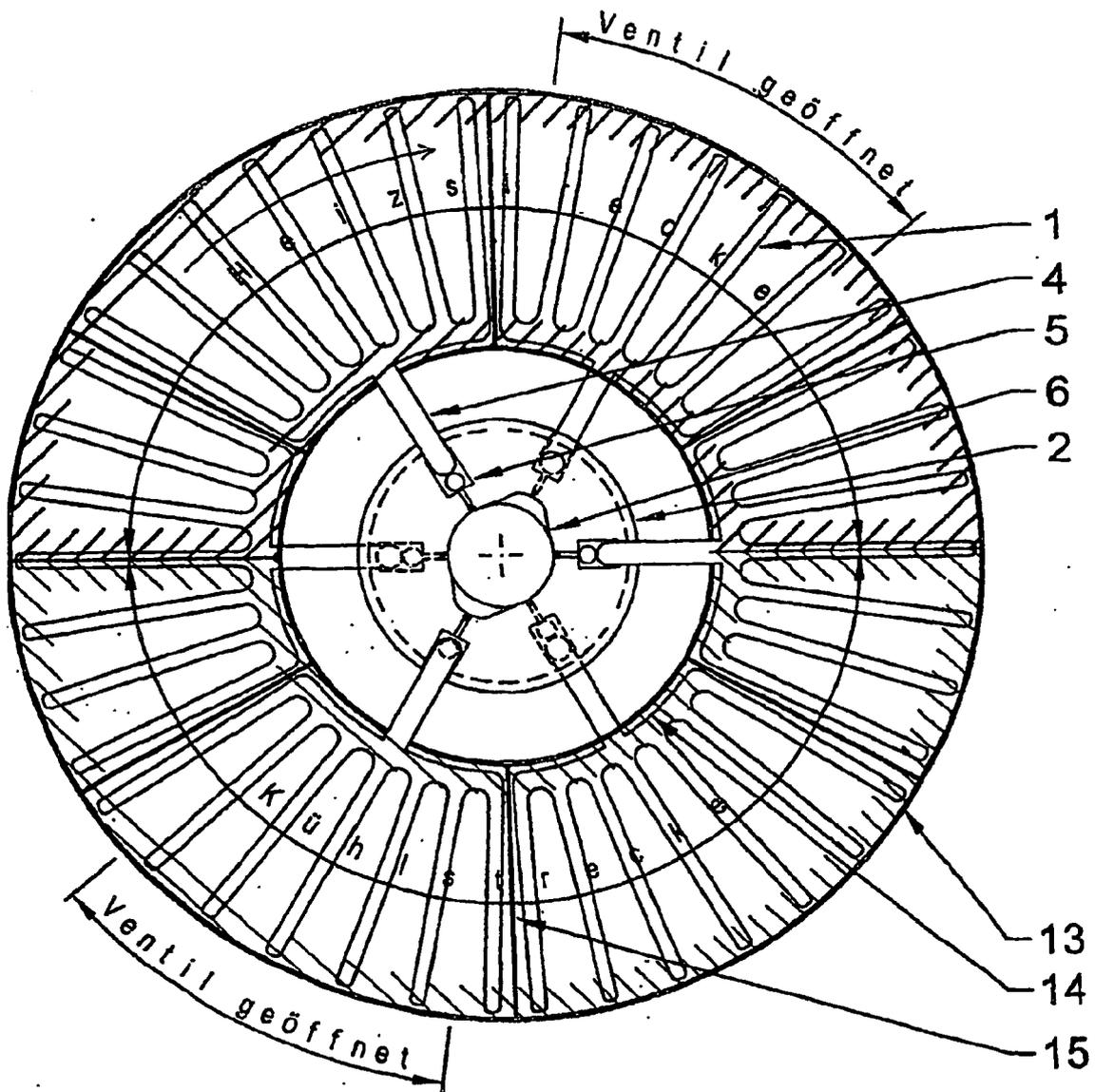


Fig. 11

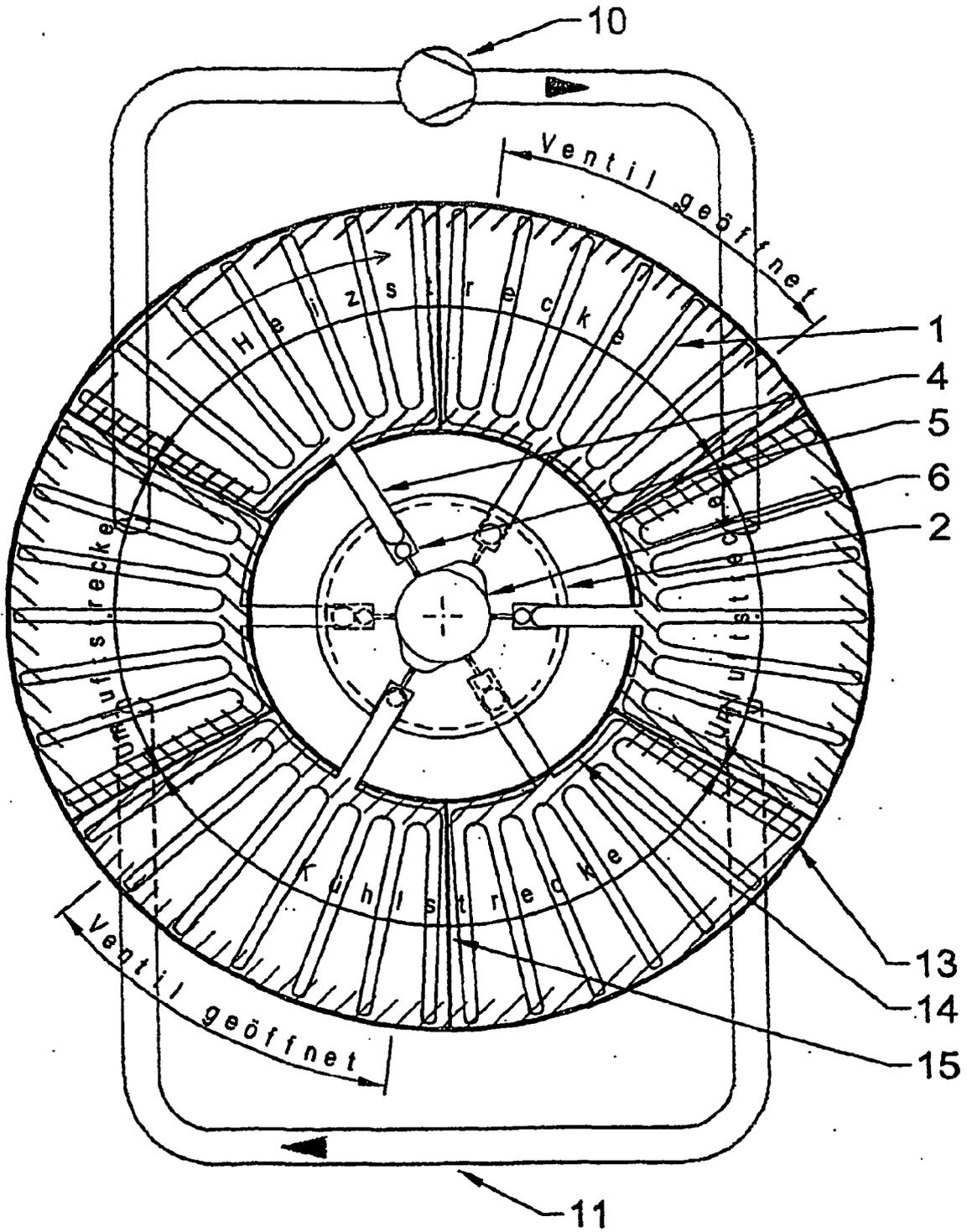




Fig. 13A

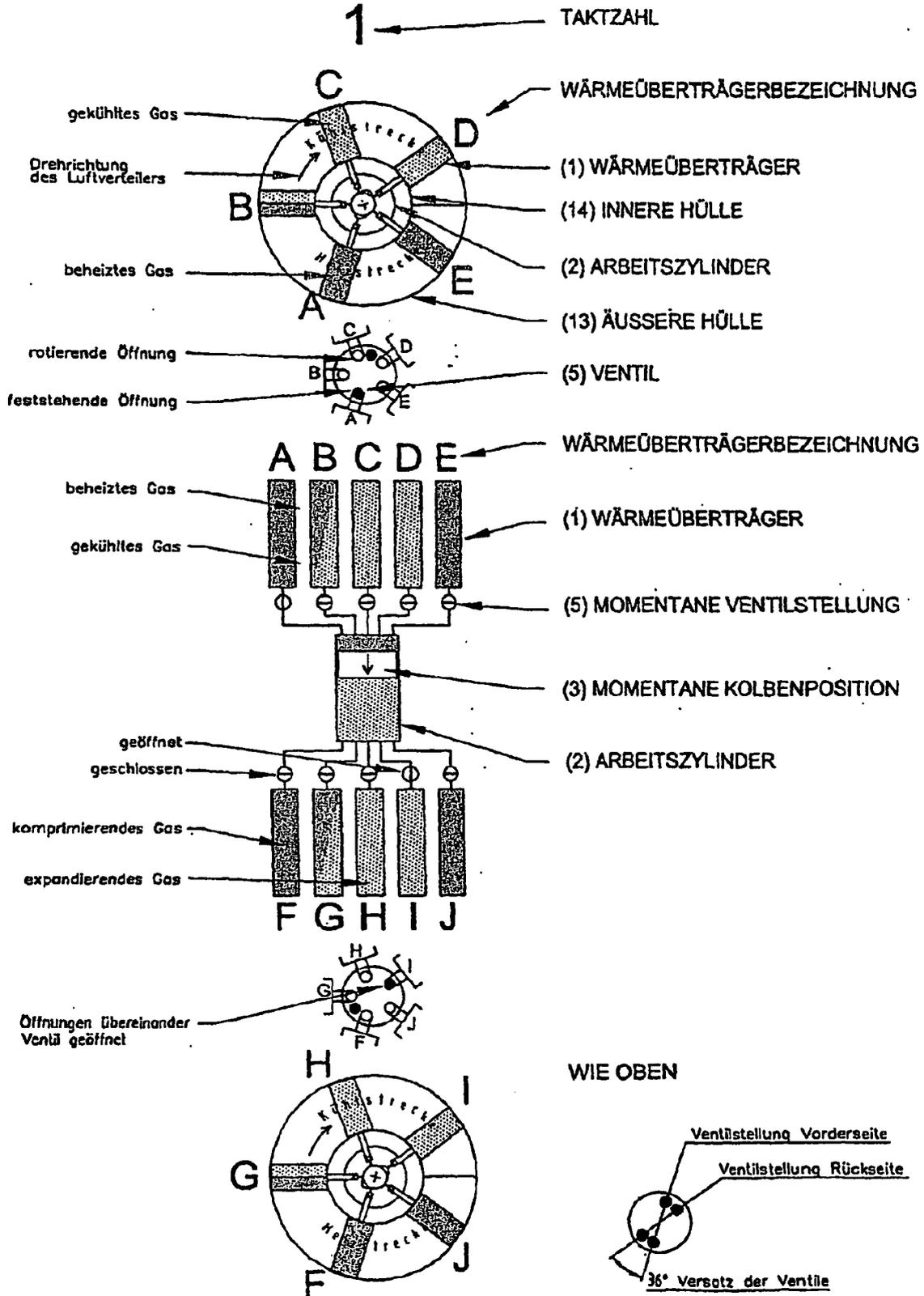


Fig. 13B

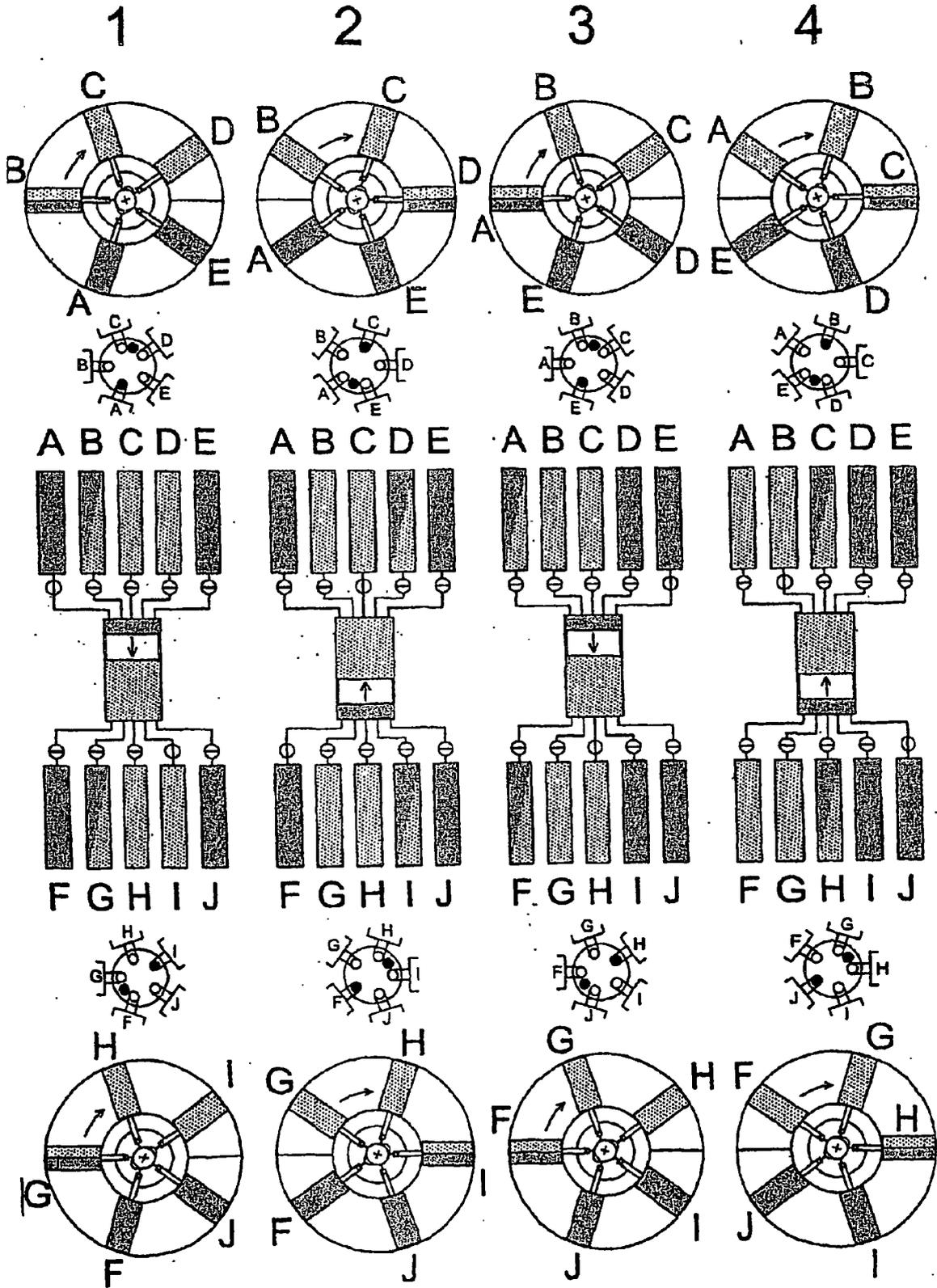


Fig. 13C

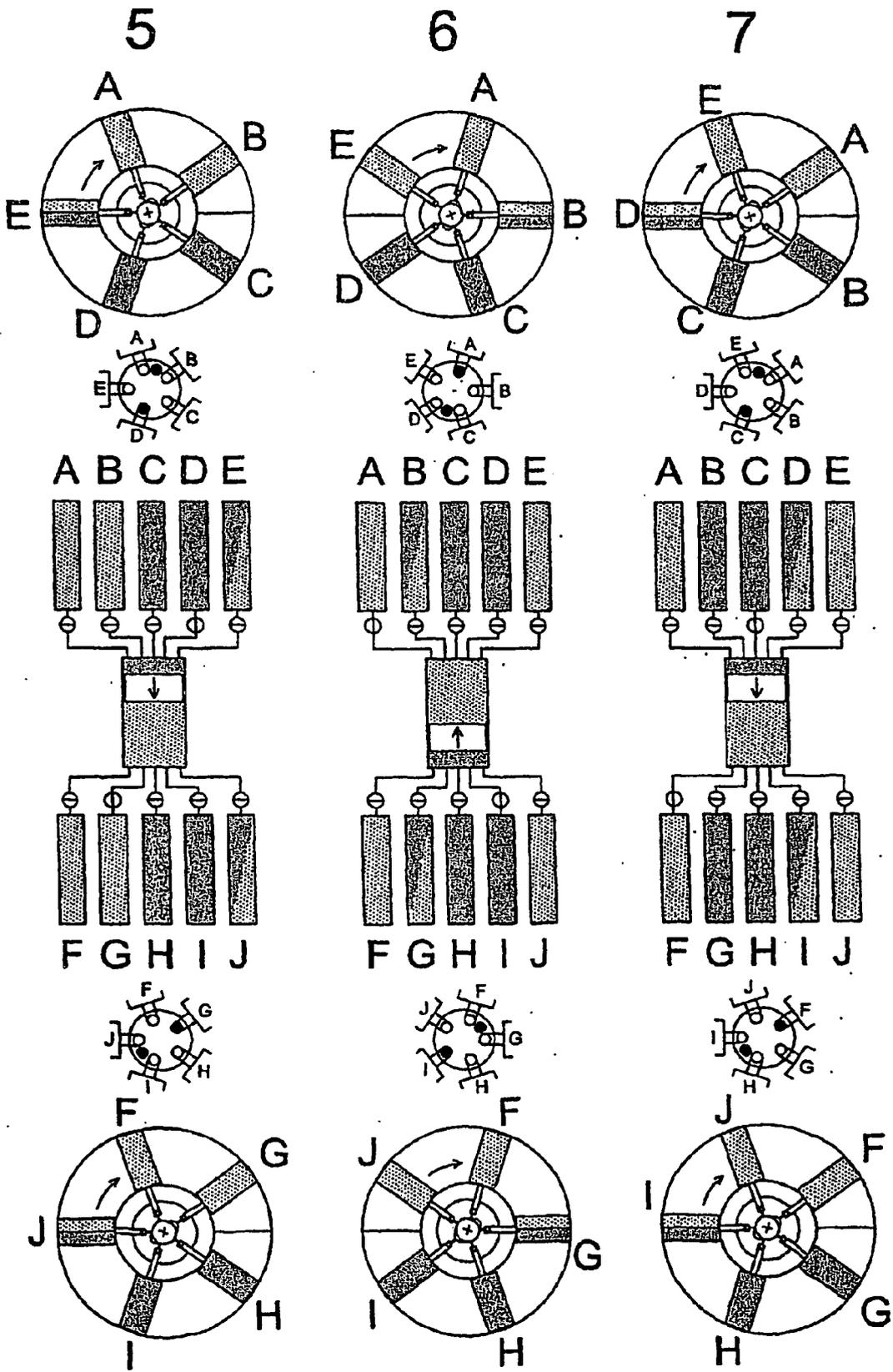


Fig. 14A

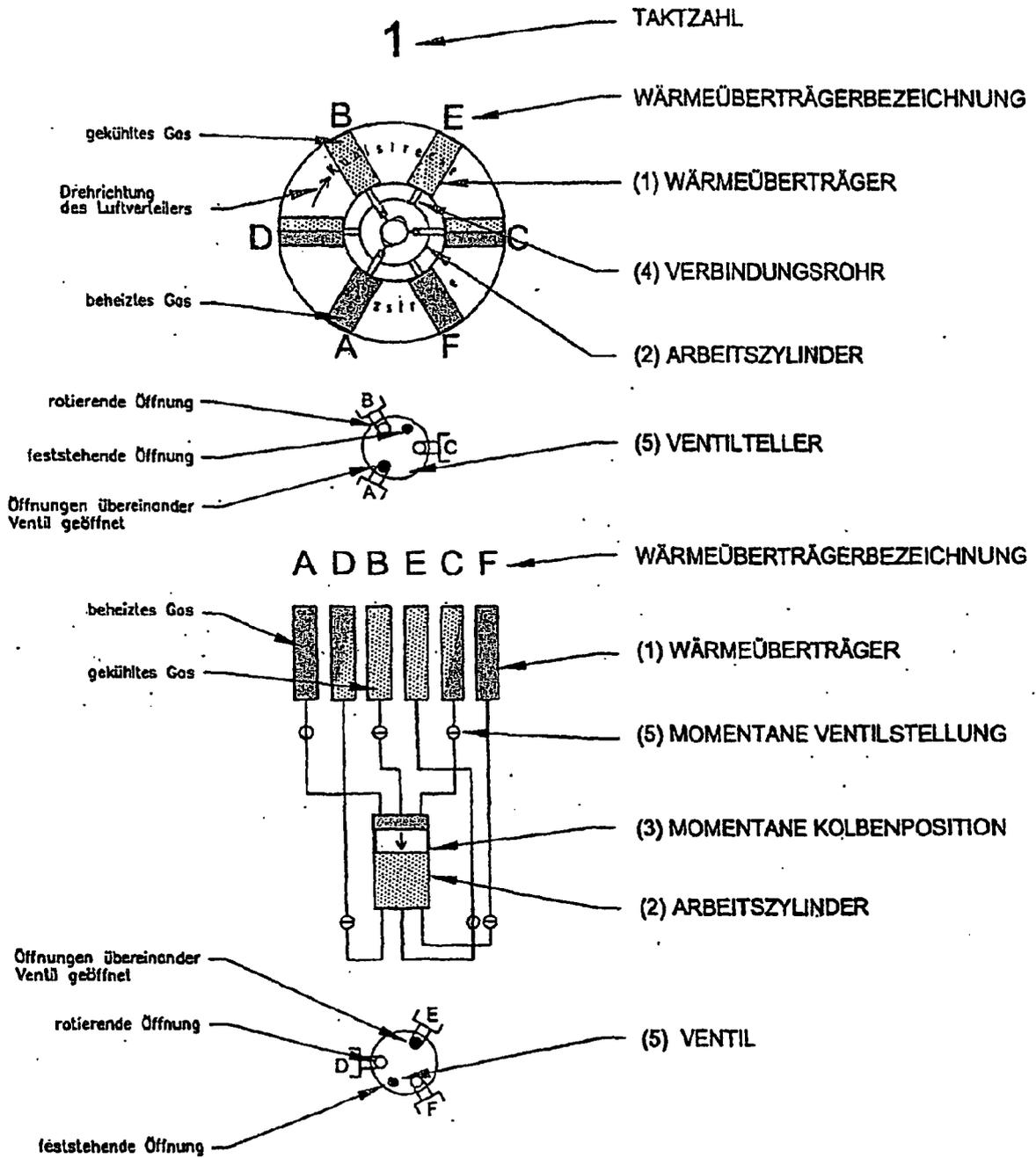


Fig. 14B

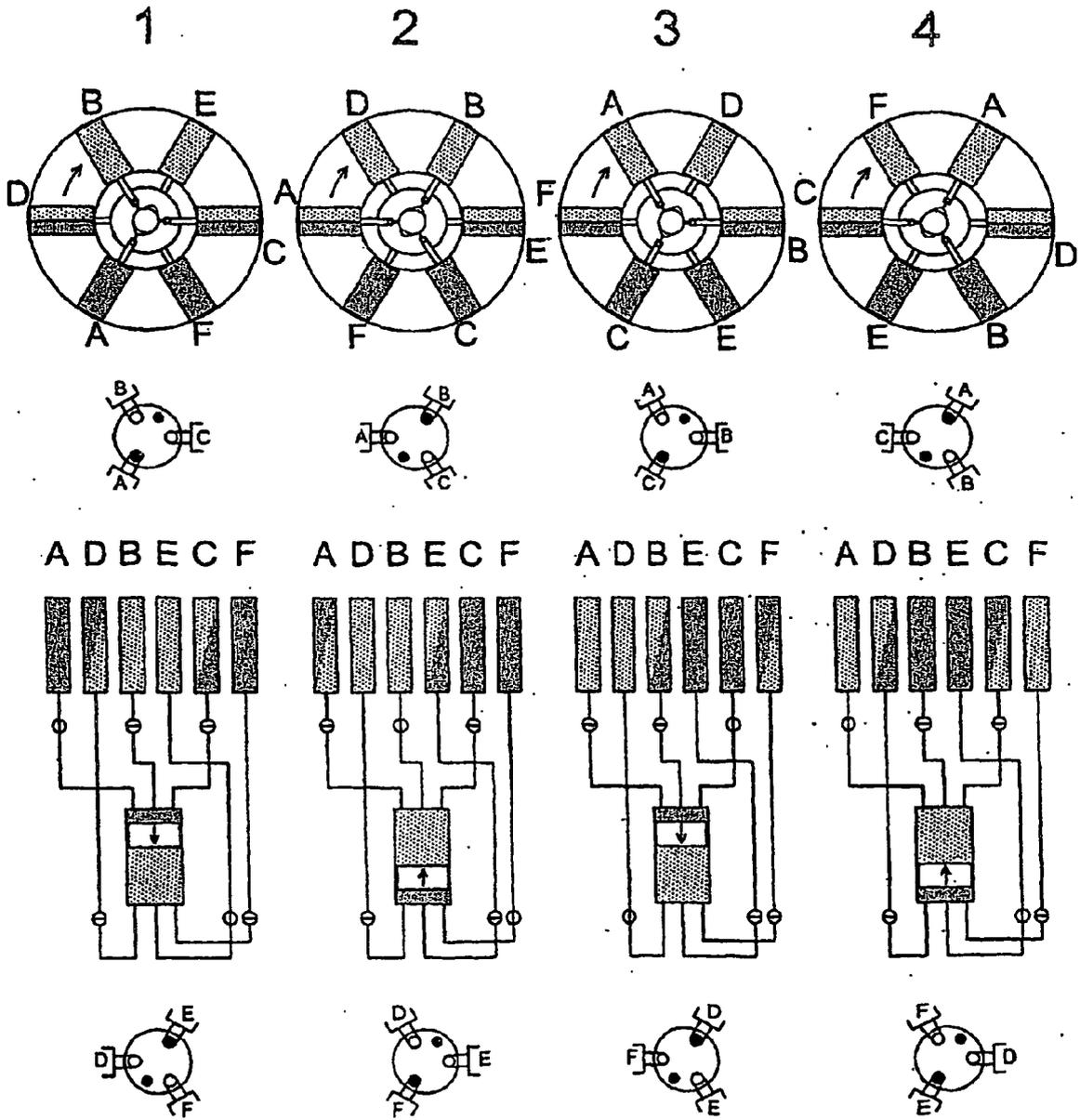


Fig. 14C

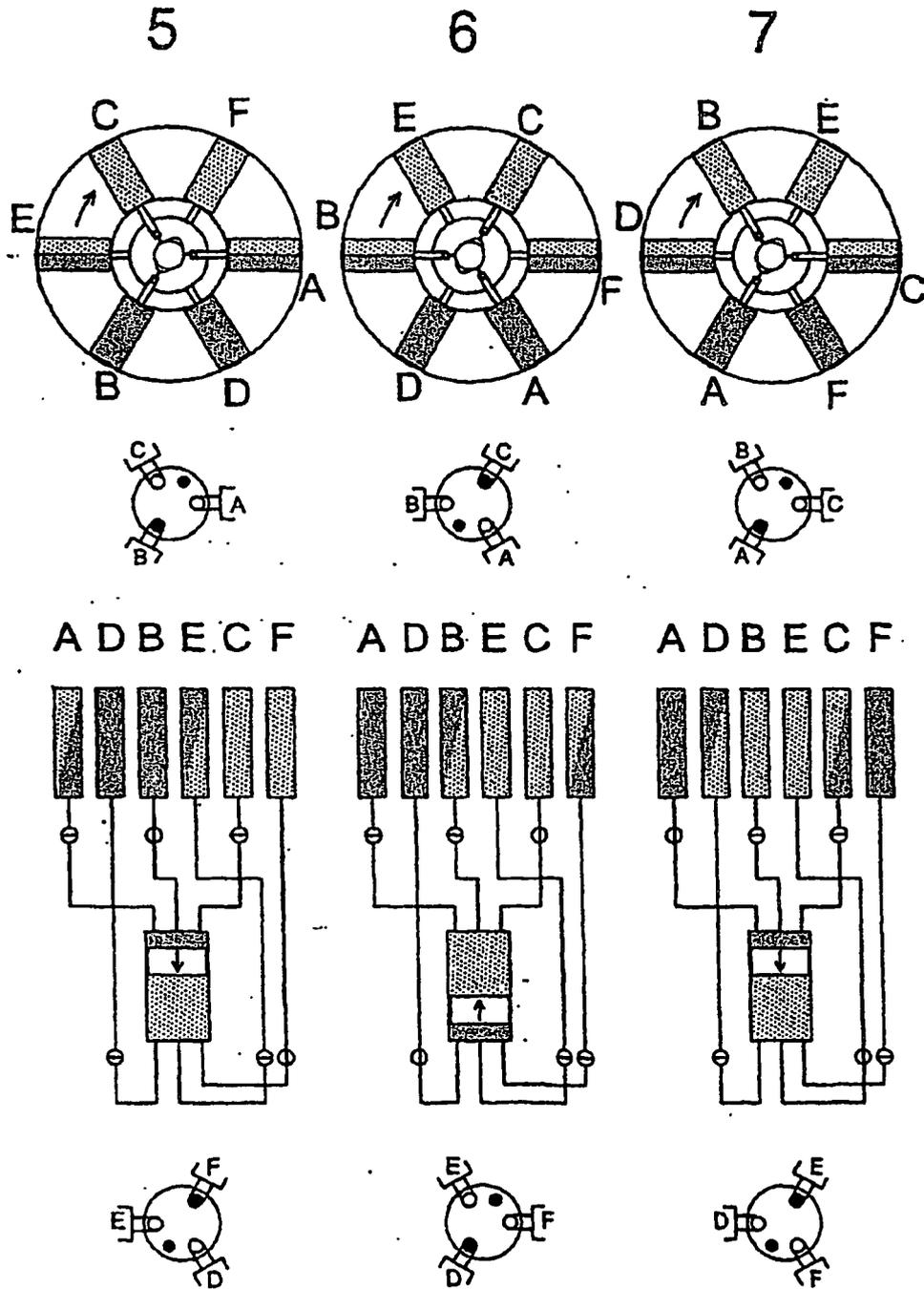


Fig. 15  
DRAUFSICHT

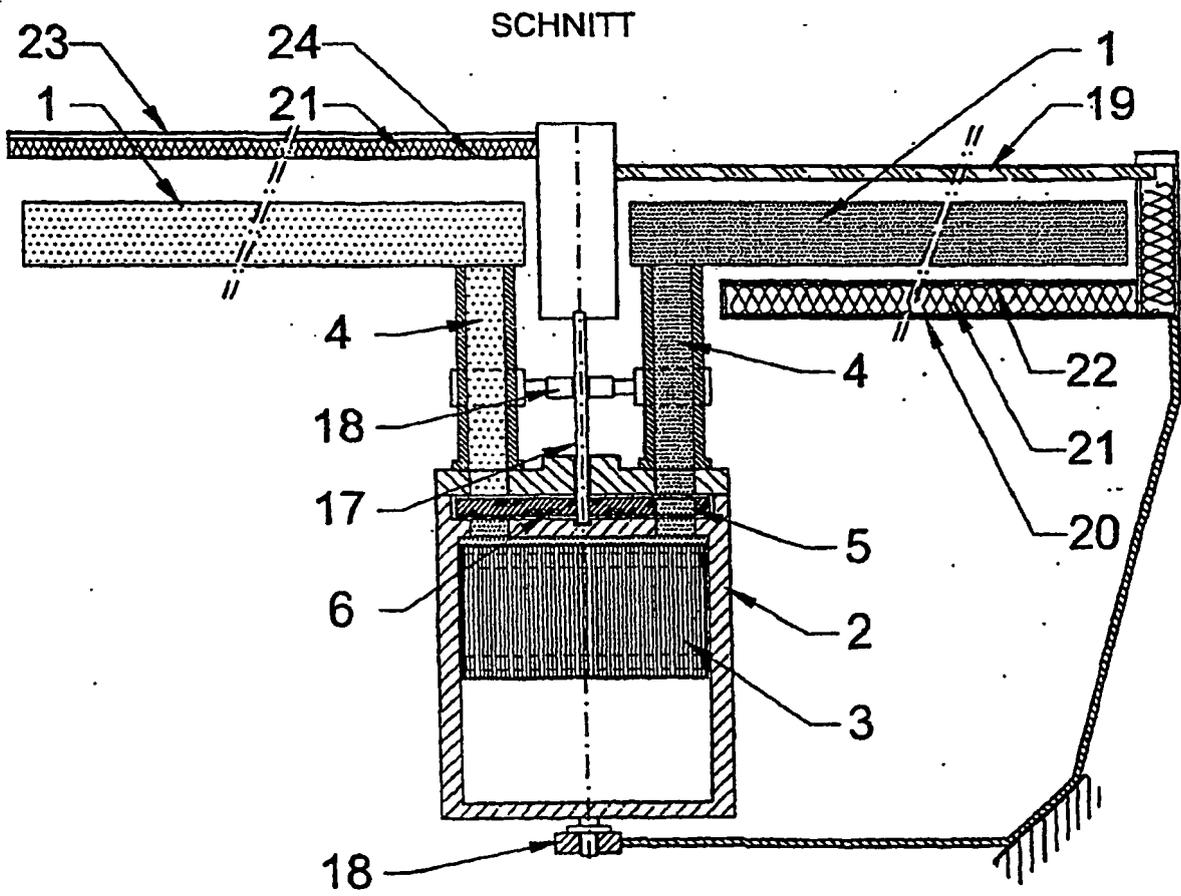
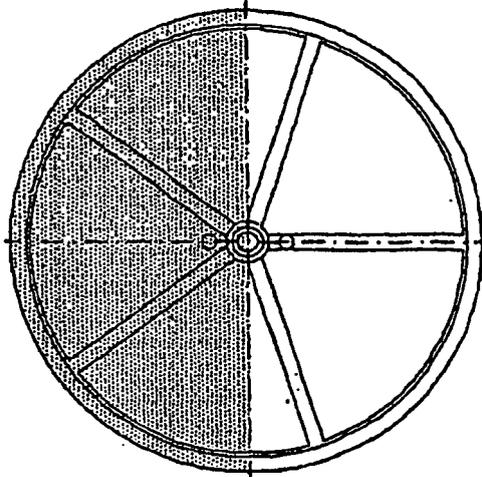


Fig. 16

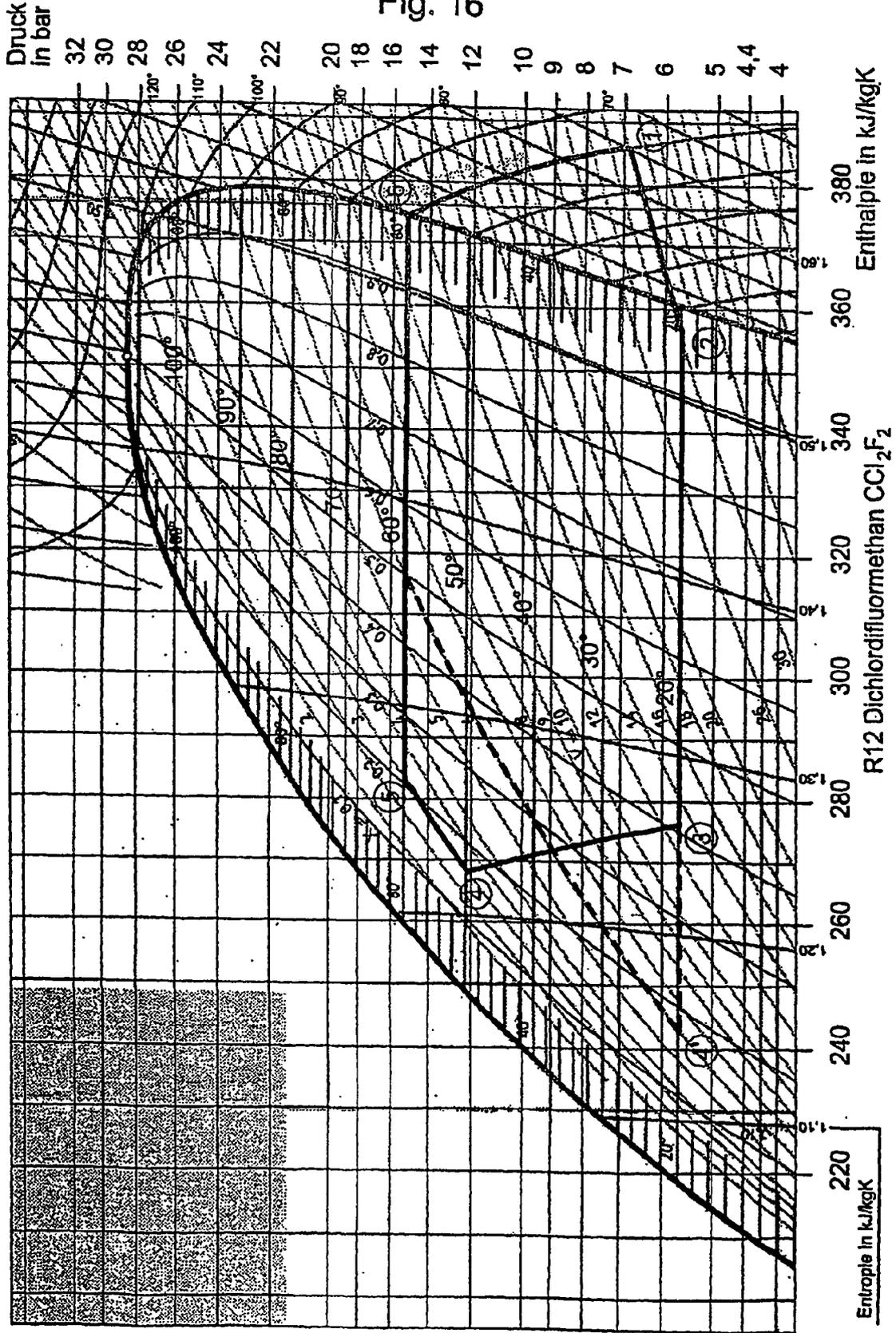
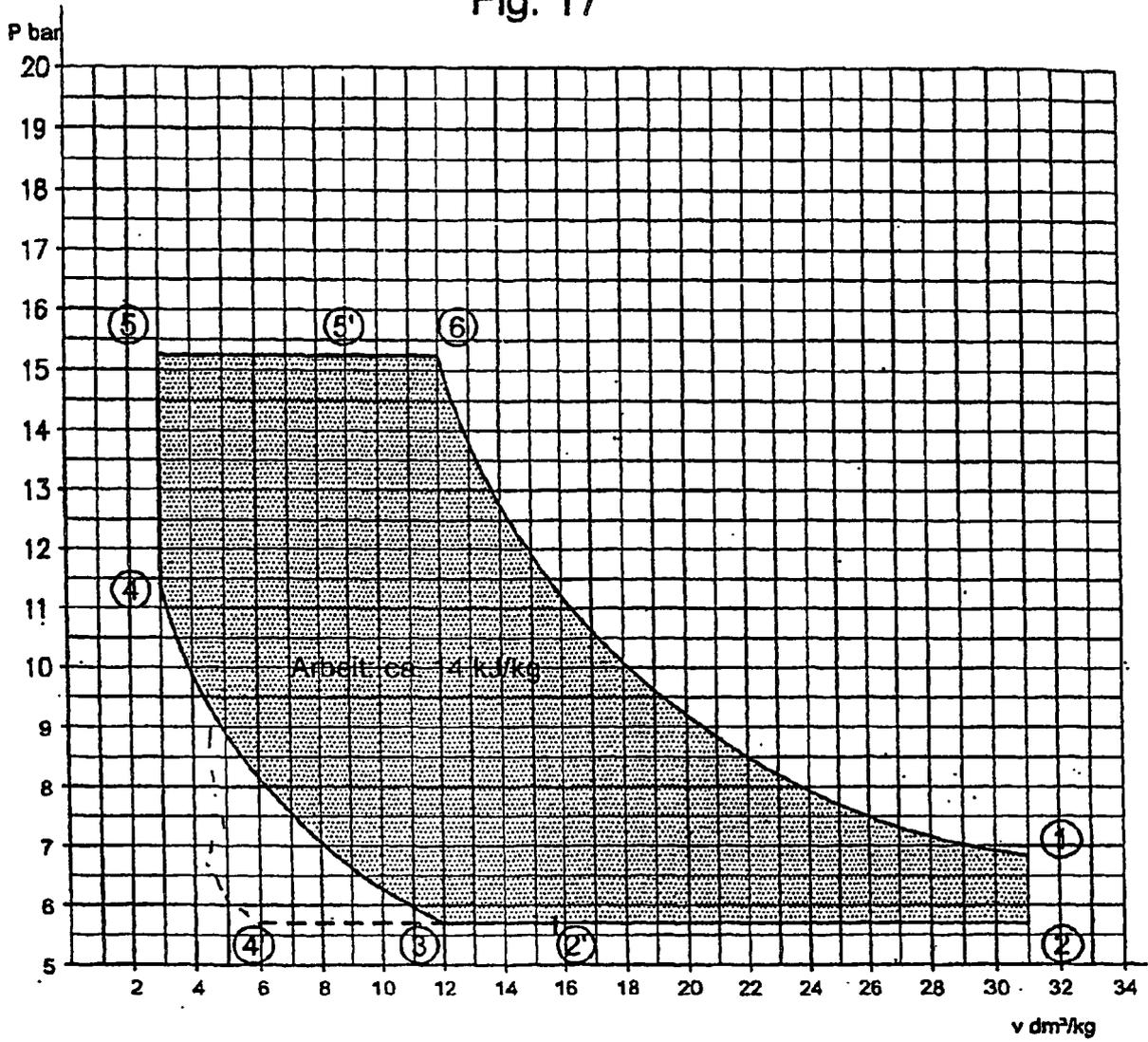
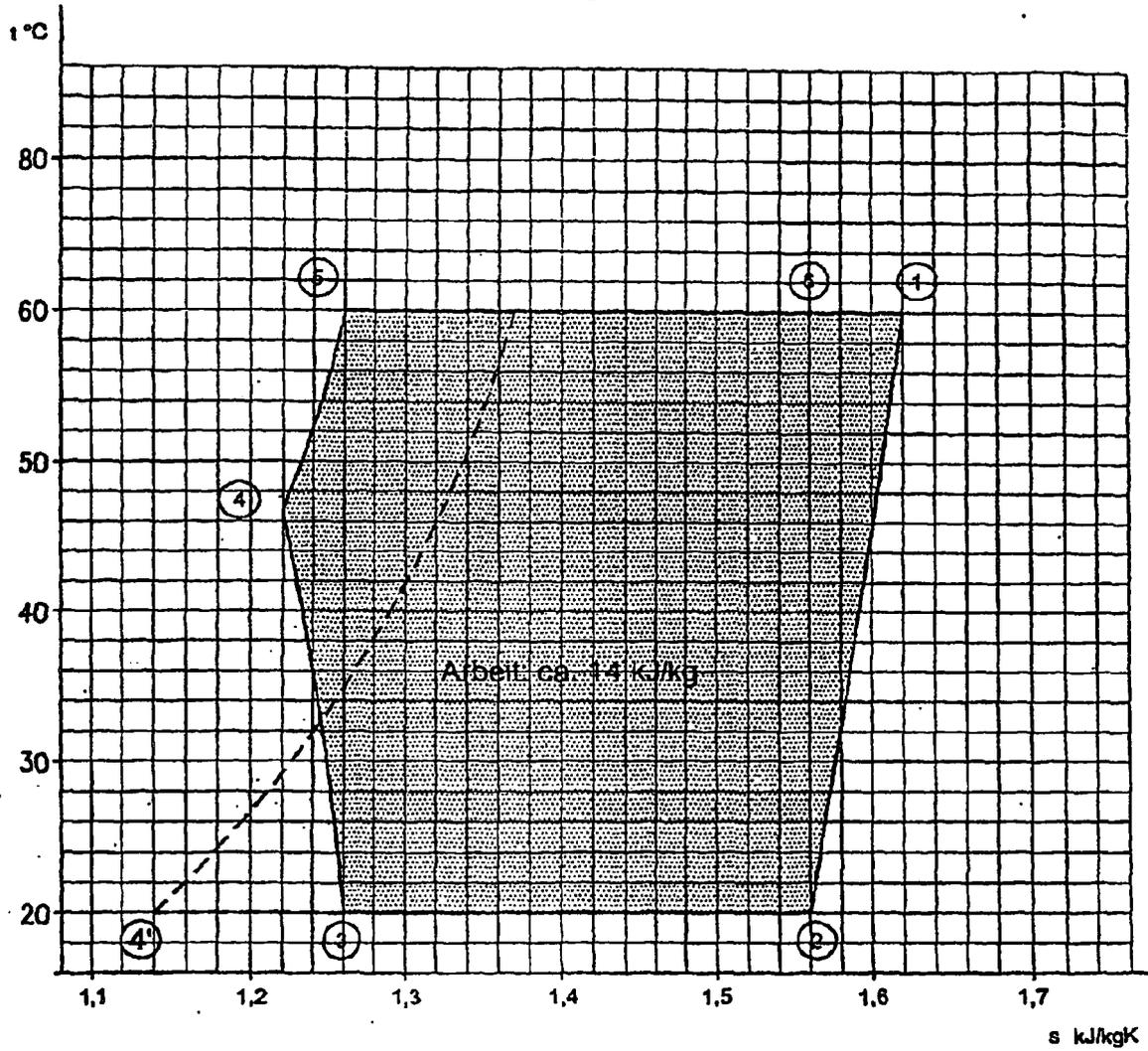


Fig. 17

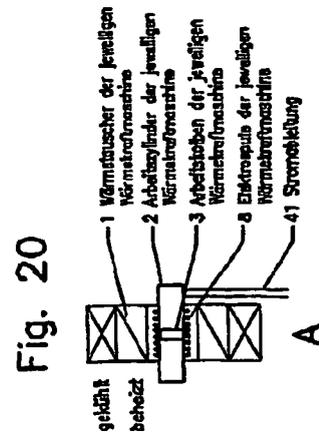
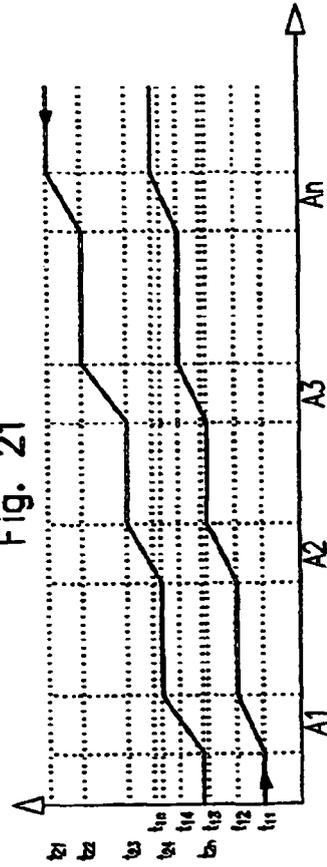
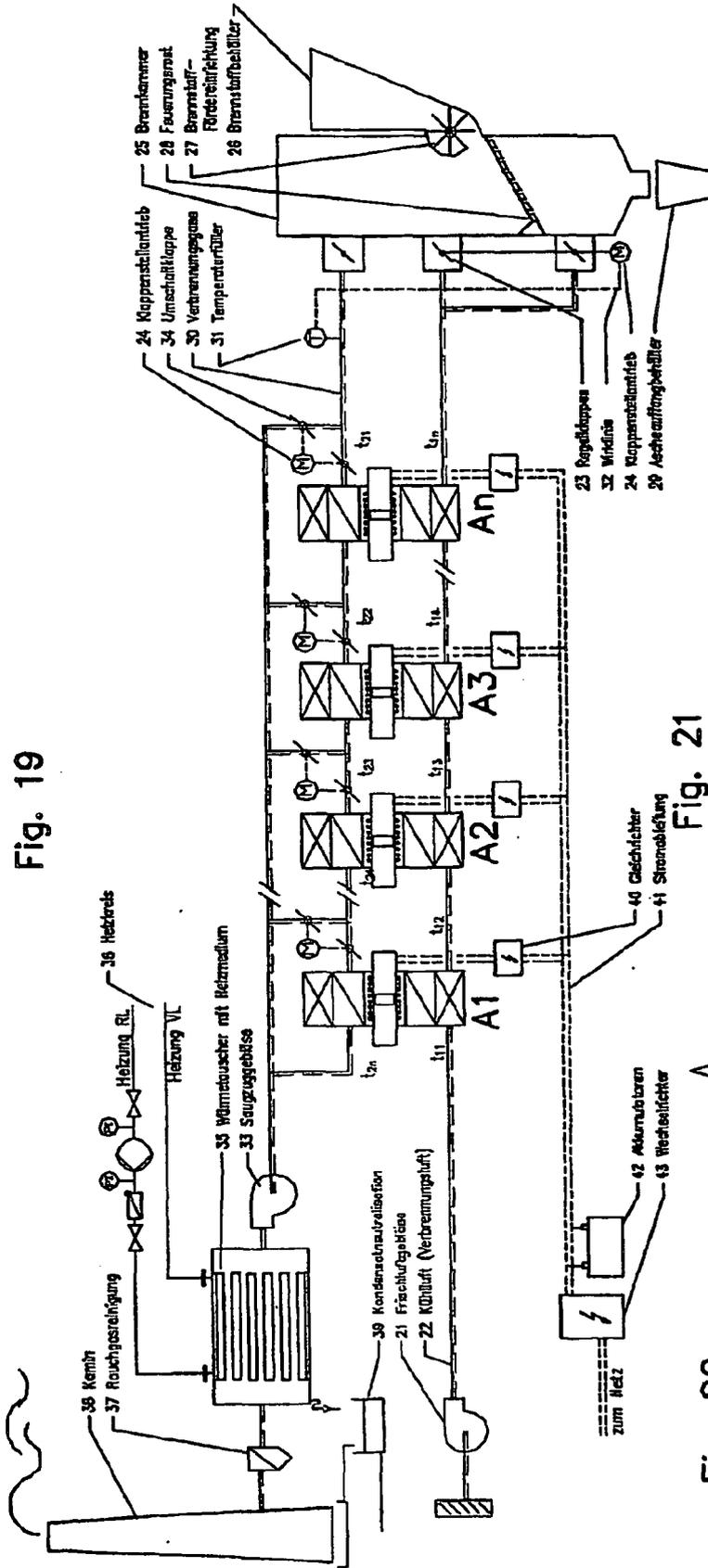


P,v Diagramm

Fig. 18



t, s Diagramm



- 1 Wärmtauscher der jeweiligen Wärmerohrmaschine
- 2 Arbeitszylinder der jeweiligen Wärmerohrmaschine
- 3 Arbeitsstaben der jeweiligen Wärmerohrmaschine
- 4 Elektrolyse der jeweiligen Wärmerohrmaschine
- 41 Stromableitung

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 4138847 A [0013]
- DE 2649941 A1 [0013]