



(10) **DE 10 2009 057 210 A1** 2011.06.09

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 057 210.4**

(22) Anmeldetag: **27.11.2009**

(43) Offenlegungstag: **09.06.2011**

(51) Int Cl.: **F02G 1/04 (2006.01)**  
**F01N 5/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**FOX-Service GmbH, 08349 Johanngeorgenstadt,  
DE; Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH,  
01309 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Kaufmann, S., Doz., Dr.-Ing., habil., Pat.-Anw.,  
01309 Dresden**

(72) Erfinder:

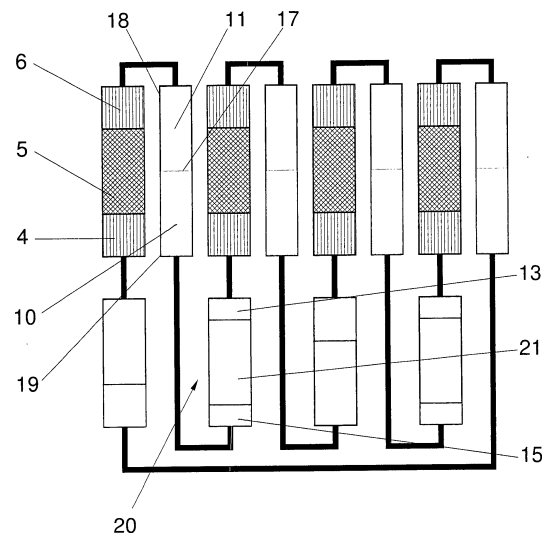
**Kaiser, Gunter, Dr., 01237 Dresden, DE; Kuhn,  
Moritz, 01309 Dresden, DE; Schneider, Matthias,  
Dr., 01445 Radebeul, DE; Klier, Jürgen, Dr.,  
01309 Dresden, DE; Ott, Siegfried, 08349  
Johanngeorgenstadt, DE; Lang, Alexander, 08280  
Aue, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Stirling-Verdampfer-Wärmeanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftanlage mit äußerer Beheizung, die nach einem Stirling-ähnlichen Prinzip arbeitet. Die Wärmekraftanlage besteht aus mindestens einer Wärmekraftmaschine, die mechanisch wie eine Stirlingmaschine aufgebaut ist. Es wird jedoch ein Arbeitsstoff eingesetzt, dessen Siedepunkt derart gewählt ist, dass er in den warmen Bereichen der Wärmekraftanlage gasförmig und in den kalten Bereichen flüssig, transkritisch oder überkritisch vorliegt. Mit der Wärmekraftanlage werden gleichzeitig die Vorteile von Stirling-Wärmekraftmaschinen, wie hohe Wirkungsgrade, einfacher Aufbau und unkomplizierte Prozessregelung sowie die von nach dem Rankine-Prinzip arbeitenden Maschinen, insbesondere eine nachhaltige Absenkung der minimalen Erhitzertemperatur auf ca. 150°C, erreicht. Die Anlage eignet sich besonders für den Einsatz in Blockheizkraftwerken, für unterbrechungsfreie Stromversorgungsaggregate, für Notstromaggregate und für Kraftfahrzeug-Energieversorgungen, wie z. B. Auxillary Power Units oder Aggregate, die die Wärme des Abgases nutzen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftanlage mit äußerer Beheizung, die nach einem Stirling-ähnlichen Prinzip arbeitet. Mit der einfach aufgebauten und unkompliziert regelbaren Wärmekraftanlage, können im Temperaturbereich von 150 bis 500°C hohe Wirkungsgrade von 10 bis 30% erreicht werden. Die Anlage eignet sich besonders für den Einsatz in Blockheizkraftwerken, für unterbrechungsfreie Stromversorgungsaggregate, für Notstromaggregate und für Kraftfahrzeug-Energieversorgungen, wie z. B. Auxiliary Power Units oder Aggregate, die die Wärme des Abgases nutzen.

**[0002]** Für Blockheizkraftwerke werden üblicherweise Wärmekraftmaschinen mit innerer Beheizung eingesetzt, seltener werden auch Wärmekraftmaschinen mit externer Beheizung verwendet, die auf dem Stirling-, dem Ericsson- oder dem Rankine-Prinzip basieren.

**[0003]** Die Gewinnung von mechanischer Energie aus der Wärme der Abgase, die beim Betrieb von Kraftfahrzeugen entstehen, ist prinzipbedingt nur mit Wärmekraftmaschinen mit externer Beheizung möglich. Hierzu werden meist Peltierelemente oder Wärmekraftmaschinen verwendet, die nach einem Stirling-ähnlichen bzw. dem Rankine-Prinzip arbeiten.

**[0004]** Systeme mit Peltier-Elementen zeichnen sich durch einen einfachen Aufbau aus und enthalten keine bewegten Teile; sie sind deshalb sehr zuverlässig und wartungsfrei. Vorteilhaft ist auch, dass sie mit vergleichsweise geringen oberen Temperaturen von ca. 200°C auskommen. Allerdings können mit Peltier-Elementen gegenwärtig Wirkungsgrade von lediglich 1,5 bis 2% erreicht werden; die bekannten Systeme zur Gewinnung von Energie aus Abgaswärme von Kraftfahrzeugen liefern auch nur maximal 300 W.

**[0005]** Wärmekraftanlagen, die nach dem Rankine-Prinzip arbeiten, benötigen eine sehr geringe obere Temperatur (Erhitzertemperatur) von 100°C. Hierdurch wird es möglich, bei Anwendungen im Kraftfahrzeugbereich neben der Abgaswärme auch die Wärme des Kühlwassers zu nutzen. Ein großer Nachteil der Rankine-Anlagen besteht jedoch darin, dass für ihren Betrieb technisch aufwendige und sperrige Nebenaggregate, wie Wärmetauscher, Kondensatoren, und Kondensatpumpen erforderlich sind. Der Wirkungsgrad der Anlagen liegt im Bereich von 5 bis 10%.

**[0006]** Mit Anlagen, die nach dem Stirling- oder dem Ericsson-Prinzip arbeiten, können hohe Wirkungsgrade von 10 bis 30% erreicht werden. Die Anlagen sind einfach zu regeln, für ihren Betrieb sind keine Nebenaggregate erforderlich. Nachteilig ist jedoch, dass diese Anlagen eine vergleichsweise hohe Er-

hitzertemperatur benötigen, sodass ein effektiver Betrieb erst bei Temperaturen von 500°C möglich ist. Für einen Einsatz in Kraftfahrzeugen bedeutet dies, dass lediglich aus dem heißesten Anteil der Abgase Energie gewonnen werden kann. Dasselbe gilt auch für einen großen Teil der Anlagen, die nach einem Stirling-ähnlichen Prinzip arbeiten.

**[0007]** Aus US 3,996,745 A ist eine mit Wasser als Arbeitsstoff betriebene 3-Zyklen-Stirlinganlage (serielle Ringsschaltung dreier Stirlingmaschinen) bekannt, bei der in den kalten Bereichen das ansonsten gasförmige Wasser durch Einspritzen von flüssigem Wasser teilweise zur Kondensation gebracht wird. Hierdurch wird zwar die Dynamik des Arbeitsprozesses erhöht, der Wirkungsgrad der Maschine verringert sich jedoch deutlich.

**[0008]** In US 4,413,475 A und WO 2006126241 A werden Stirlingmaschinen beschrieben, in die flüssiger Arbeitsstoff eingespritzt, wobei der Arbeitsstoff nach dem Einspritzen in die Maschine sofort verdampft, bzw. aus denen flüssiger Arbeitsstoff abgepumpt wird. Das Einspritzen bzw. das Abpumpen des Arbeitsstoffs dient allerdings nur zur Leistungsregelung der Stirlingmaschinen, eine relevante Absenkung der minimalen Erhitzertemperatur wird nicht erreicht.

**[0009]** Des Weiteren wird in US 4,637,211 A eine Stirlingmaschine vorgestellt, die nach dem Malone-Prozess arbeitet, also mit flüssigem Arbeitsstoff betrieben wird. Mit der Stirlingmaschine können nur vergleichsweise geringe volumetrische Arbeitsleistungen erreicht werden. Nachteilig sind außerdem die prinzipbedingt in der Maschine auftretenden hohen Druckbelastungen.

**[0010]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Wärmekraftanlage mit externer Beheizung zu schaffen, die bei Erhitzertemperaturen von 150 bis 500°C arbeitet, einen hohen Wirkungsgrad erreicht und einfach zu regeln ist. Die Anlage soll einfach aufgebaut sein und insbesondere ohne Nebenaggregate auskommen.

**[0011]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungen ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 10.

**[0012]** Ausgegangen wird von einer Wärmekraftanlage, die aus einer oder mehreren miteinander verschalteten Wärmekraftmaschinen besteht. Die Wärmekraftmaschine/Wärmekraftmaschinen ist/sind mechanisch aufgebaut wie bekannte Stirling-Wärmekraftmaschinen.

**[0013]** Nach Maßgabe der Erfindung werden, im Gegensatz zu bekannten Stirling-Wärmekraftmaschi-

nen, in denen die eingesetzten Arbeitsstoffe keine Phasenwechsel durchlaufen (die Arbeitsstoffe liegen entweder ausschließlich gasförmig oder ausschließlich flüssig vor), Arbeitsstoffe eingesetzt, deren Siedepunkt so gewählt ist, dass sie in den warmen Bereichen der Wärmekraftanlage gasförmig (überhitzter Dampf) und in den kalten Bereichen flüssig, als transkritische oder als überkritische Phase vorliegen. Bevorzugte Arbeitsstoffe sind Butan, Pentan oder R245fa.

**[0014]** Dieser Stirling-ähnliche Prozess stellt eine Kombination des bekannten Stirling-Prinzips (ohne Phasenwechsel des Arbeitsstoffs) und des Rankine-Prinzips dar. Er wird im Folgenden als Verdampfer-Stirling-Prozess und nach diesem Prozess arbeitende Wärmekraftmaschinen werden als Verdampfer-Stirling-Wärmekraftmaschinen bezeichnet.

**[0015]** Ein Vorzug des Verdampfer-Stirling-Prozesses besteht darin, dass, sofern ein Arbeitsstoff verwendet wird, der einen Phasenübergang von flüssig zu gasförmig durchläuft, aufgrund der Verdampfungs- und Kondensationsprozesse hohe Druckverhältnisse von  $> 10$ , die etwa so hoch sind wie die bei Rankine-Prozessen auftretenden, erreicht werden. Mit Stirling-Prozessen werden typischerweise Druckverhältnisse von lediglich 1,2 bis 2,0 erreicht. Durch die Erhöhung des Druckverhältnisses kann gegenüber bekannten Stirling-Prozessen die volumetrische Arbeitsleistung um ein Vielfaches gesteigert werden.

**[0016]** Werden Arbeitsstoffe für den Verdampfer-Stirling-Prozess eingesetzt, die Phasenübergänge von trans- bzw. superkritisch zu gasförmig durchlaufen, können zwar nur Druckverhältnisse von ca. 2 bis 5 erreicht werden, dieser Nachteil wird jedoch durch die wesentlich geringeren Viskositäten (Verringerung der mechanischen Reibung) der trans- bzw. superkritischen Arbeitsstoffe kompensiert.

**[0017]** Ein weiterer Vorteil des Verdampfer-Stirling-Prozesses besteht darin, dass der Arbeitsstoff im Kühler als flüssige, transkritische oder überkritische Phase vorliegt. Wegen der höheren Wärmeleitfähigkeit und der damit verbundenen höheren Wärmeübergangszahl zwischen Kühler und Arbeitsstoff, kann der Kühler bei gleicher Leistung wesentlich kleiner ausgeführt werden. Auch der Regenerator kann durch die Ausnutzung von Verdampfung und Re-kondensation kleiner dimensioniert werden, da auch in diesem höhere Wärmeübergangszahlen erreicht werden als in herkömmlichen Gas-Regeneratoren.

**[0018]** Hinsichtlich der Leistungszahl und Leistungsdichte sind Verdampfer-Stirling-Prozesse mit Rankine- und ORC-Prozessen vergleichbar; im Erhitzer-Temperaturbereich zwischen 150 und 500°C sind sie den Stirling-Prozessen deutlich überlegen. Der Füll-

druck von Verdampfer-Stirling-Maschinen ist ähnlich wie der Ansaugdruck der Kondensatpumpe von Rankine- und ORC-Maschinen, wobei der hohe Prozessmitteldruck erst nach Erwärmung des Erhitzers aufgebaut wird. Die Druckmodulation im Kreisprozess verhält sich nahezu wie die Druckdifferenz von Rankine- und ORC-Prozessen zwischen der Saug- und Druckseite der Kondensatpumpe.

**[0019]** Mit Verdampfer-Stirling-Wärmekraftmaschinen werden somit gleichzeitig die Vorteile von Stirling-Wärmekraftmaschinen, wie hohe Wirkungsgrade, einfacher Aufbau (keine Nebenaggregate erforderlich) und eine unkomplizierte Prozessregelung sowie die von nach dem Rankine-Prinzip arbeitenden Maschinen, insbesondere eine nachhaltige Absenkung der minimalen Erhitzer-temperatur auf ca. 150°C, erreicht.

**[0020]** In einer Ausführungsform ist die Wärmekraftanlage als Gamma-Stirling-Wärmekraftmaschine realisiert, die aus einer Arbeitskammer mit einem darin beweglich gelagerten Arbeitskolben und einem fluidisch mit der Arbeitskammer verbundenen, thermischen Kopf besteht. Dieser umfasst eine fluidische Serienschaltung aus einem Kühler, einem als Verdampfer bzw. Kondensator wirkenden Regenerator und einem Überhitzer, wobei zu dieser Serienschaltung, entsprechend dem Gamma-Stirling-Prinzip, eine Verdrängerkammer, in der ein Verdrängerkolben beweglich gelagert ist, fluidisch parallel geschaltet ist.

**[0021]** Zur Erhöhung der Leistung der Wärmekraftanlage können mehrere Wärmekraftmaschinen parallel kaskadiert werden. Dabei ist es auch möglich, entweder mehrere thermische Köpfe fluidisch an eine Arbeitskammer oder andersherum mehrere Arbeitskammern an einen thermischen Kopf anzukoppeln.

**[0022]** In einer weiteren Ausführungsform ist die Wärmekraftanlage als Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschine realisiert, die eine Kompressionskammer, in der ein Kompressionskolben beweglich gelagert ist, eine Expansionskammer, in der ein Expansionskolben beweglich gelagert ist, und eine fluidische Serienschaltung aus einem Kühler, einem als Verdampfer/Kondensator wirkenden Regenerator und einem Überhitzer umfasst. Die Kompressionskammer ist fluidisch mit dem Kühler und die Expansionskammer fluidisch mit dem Überhitzer verbunden.

**[0023]** Wird die Anlage bei höheren Überhitzer-temperaturen von 300 bis 500°C betrieben, ist es vorteilhaft, zwischen der Expansionskammer und dem Überhitzer zusätzlich eine Pulsationsröhre einzubringen. Hierdurch wird die Expansionskammer vom Temperaturniveau des Überhitzers entkoppelt und es ist möglich, sowohl die Kompressions- als auch die Expansionskammer bei Umgebungstemperatur zu betreiben. Auf diese Weise wird die Führung, Dich-

tung und Schmierung der Kolben der beiden Kammern wesentlich vereinfacht.

**[0024]** Sofern die Wärmekraftanlage aus mehreren fluidisch verbundenen Stirling-Wärmekraftmaschinen besteht, kann eine Erhöhung des Wirkungsgrades dadurch erreicht werden, dass jeweils alle warmen und jeweils alle kalten Bereiche der einzelnen Wärmekraftmaschinen in möglichst guten thermischen Kontakt zueinander gebracht werden (parallele Kaskadierung).

**[0025]** Die Kompressions- und die Expansionskammer können strukturell als eine sog. doppelwirkende Kompressions-/Expansionskammer zusammengefasst werden. Die doppelwirkende Kammer ist röhrenförmig und beidseitig geschlossen, wobei in ihr ein sog. doppelwirkender Kolben beweglich gelagert ist. Die eine Seite des Kolbens bildet mit dem an ihn angrenzenden Abschnitt der doppelwirkenden Kammer die Kompressionskammer, während die andere Seite des Kolbens mit dem angrenzenden Abschnitt der doppelwirkenden Kammer die Expansionskammer bildet. So bewirkt bei einer Bewegung des Kolbens seine eine Seite die Expansion und gleichzeitig die andere Seite die Kompression (Doppelwirkung).

**[0026]** Da in der doppelwirkenden Kammer prinzipbedingt die Kompression um  $360^\circ$  phasenverschoben zur Expansion erfolgt, für einen effektiven Betrieb von Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen jedoch eine Phasenverschiebung von  $80$  bis  $120^\circ$  erforderlich ist, ist ein Einsatz von doppelwirkenden Kammern nur sinnvoll, wenn drei bis fünf Wärmekraftmaschinen in Form einer Ringsschaltung fluidisch seriell miteinander verbunden sind.

**[0027]** In einer bevorzugten Variante ist entsprechend die Wärmekraftanlage als System von drei bis fünf Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen ausgeführt, wobei jede der Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen aus einer Pulsationsröhre, einer Serienschaltung aus einem Kühler, einem Regenerator und einem Überhitzer sowie aus einer doppelwirkenden Kompressions-/Expansionskammer besteht. Bei jeder der Stirling-Wärmekraftmaschinen ist die Kompressionskammer mit dem Kühler und der Überhitzer mit dem warmen Ende der Pulsationsröhre fluidisch verbunden. Das kalte Ende der Pulsationsröhre der jeweils ersten bis vorletzten Wärmekraftmaschine ist mit der Expansionskammer der nachfolgenden Wärmekraftmaschine und das kalte Ende der Pulsationsröhre der letzten Wärmekraftmaschine ist mit der Expansionskammer der ersten Wärmekraftmaschine fluidisch verbunden. Die kalten und die warmen Bereiche der Wärmekraftmaschinen sind jeweils parallel kaskadiert. Aufgrund der Kombination von Doppelwirkung und paralleler Kaskadierung sind mit dieser Variante besonders hohe Wirkungsgrade erreichbar.

**[0028]** Als Alternative zu den Arbeitskolben bei Gamma-Stirlingmaschinen bzw. Kompressions-/Expansionskolben oder doppelwirkenden Kolben bei Alpha-Stirlingmaschinen, können auch Membranen eingesetzt werden.

**[0029]** Die in der Wärmekraftanlage erzeugte mechanische Arbeit wird entweder mechanisch oder elektrisch von den sich linear bewegenden Kolben bzw. Membranen abgegriffen.

**[0030]** Ein mechanischer Abgriff der Arbeit kann entweder rotatorisch unter Anwendung eines Kurbeltriebs oder einer Kurbelschleife, indem z. B. ein Pleuel oder die Öse der Kurbelschleife mittig am Kolben befestigt wird, oder linear mechanisch erfolgen, indem z. B. direkt eine Pumpe angetrieben wird.

**[0031]** Ein elektrischer Abgriff kann mittels elektrischer Generatoren, wie z. B. Systemen mit bewegter Spule, Systemen mit bewegter Spule und Magneten oder Piezoelektrischen Systemen, erfolgen.

**[0032]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von fünf Ausführungsbeispielen näher erläutert; hierzu zeigen schematisch:

**[0033]** [Fig. 1](#): eine Gamma-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine;

**[0034]** [Fig. 2](#): eine Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine;

**[0035]** [Fig. 3](#): eine Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine mit Pulsationsröhre;

**[0036]** [Fig. 4](#): eine 3-Zyklus-Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftanlage mit Pulsationsröhren;

**[0037]** [Fig. 5](#): eine 4-Zyklus-Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftanlage mit Pulsationsröhren;

**[0038]** Die in [Fig. 1](#) dargestellte Gamma-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine besteht aus der Arbeitskammer **1** mit dem Arbeitskolben **2** und dem fluidisch mit der Arbeitskammer **1** verbundenen, thermischen Kopf **3**. Der thermische Kopf **3** umfasst seinerseits die fluidische Serienschaltung aus dem Kühler **4**, dem Regenerator **5** und dem Überhitzer **6**, wobei dieser Serienschaltung eine Verdrängerkammer **7** mit einem Verdrängerkolben **8** fluidisch parallel geschaltet ist. Der Betrieb der Wärmekraftmaschine erfolgt zyklisch in den folgenden vier Phasen:

1.) Kompression: der Verdrängerkolben **8** befindet sich in seiner oberen Stellung und die kalte Teilkammer **9** der Verdrängerkammer **7** hat die maximale Größe. Der Arbeitskolben **2** bewegt sich nach oben und verdichtet flüssigen **10** und dampfförmigen **11** Arbeitsstoff im thermischen Kopf **3**;

dort steigt der Druck an und der Arbeitskolben **2** leistet Arbeit.

2.) Überschieben in die warme Teilkammer **12** der Verdrängerkammer **7**: der Arbeitskolben **8** befindet sich in der oberen Stellung. Der Verdrängerkolben **8** bewegt sich nach unten und verschiebt den flüssigen Arbeitsstoff **10** über die Serienschaltung in die warme Teilkammer **12**. Der Druck steigt aufgrund der Verdampfung und Überhitzung des Arbeitsstoffs weiter an.

3.) Expansion: Der Verdrängerkolben **7** befindet sich in der unteren Stellung, die warme Teilkammer **12** der Verdrängerkammer **7** hat dann ihre maximale Größe. Der Arbeitskolben **2** bewegt sich nach unten und entspannt flüssigen **10** und dampfförmigen **11** Arbeitsstoff im thermischen Kopf **3**. Der Druck sinkt, am Arbeitskolben **2** wird Arbeit verrichtet.

4.) Überschieben in die kalte Teilkammer **9**: Der Arbeitskolben **2** befindet sich in der unteren Stellung. Der Verdrängerkolben **8** bewegt sich nach oben und verschiebt Arbeitsstoff in Form von überhitztem Dampf über die Serienschaltung zurück in die kalte Teilkammer **9**. Der Druck sinkt aufgrund der Abkühlung des dampfförmigen Arbeitsstoffs **11** und aufgrund der Rekondensation auf den Ausgangsdruck vor der Kompression.

**[0039]** Die in [Fig. 2](#) dargestellte Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärme­kraftmaschine besteht aus der Kompressionskammer **13** mit dem Kompressionskolben **14**, der Expansionskammer **15** mit dem Expansionskolben **16** und der fluidischen Serienschaltung aus dem Kühler **4**, dem Verdampfer **5** und dem Überhitzer **6**. Die Kompressionskammer **13** ist fluidisch mit dem Kühler **4** und die Expansionskammer **15** mit dem Überhitzer **6** verbunden. Auch der Betrieb der Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärme­kraftmaschine erfolgt zyklisch in vier Phasen:

1.) Kompression: durch eine Bewegung des Kompressionskolbens **14** vom unteren Totpunkt in Richtung des oberen Totpunkts wird der Arbeitsstoff im thermischen Kopf **3** komprimiert, wobei am System Arbeit geleistet wird.

2.) Überschieben mit Verdampfung: durch eine Bewegung des Expansionskolbens **16** in Richtung des unteren Totpunkts und des Kompressionskolbens **14** in Richtung des oberen Totpunkts wird flüssiger Arbeitsstoff **10** aus der Kompressionskammer **13** über den Kühler **4**, den Regenerator/Verdampfer **5** und den Überhitzer **6** verschoben. Die Expansionskammer **15** füllt sich mit überhitztem Dampf **11** des Arbeitsstoffs, wobei der Druck stark ansteigt.

3.) Expansion: durch eine Bewegung des Expansionskolbens **16** in Richtung des unteren Totpunkts wird der überhitzte Dampf **11** entspannt, wobei das System Arbeit leistet.

4.) Überschieben mit Kondensation: durch eine Bewegung des Expansionskolbens **16** in Richtung

des oberen Totpunkts und des Kompressionskolbens **14** in Richtung des unteren Totpunkts wird überhitzter Dampf aus der Expansionskammer **15** über den Überhitzer **6**, den Regenerator/Kondensator **5** und den Kühler **4** verschoben. Die Kompressionskammer **13** füllt sich mit flüssigem Arbeitsstoff **10**, wobei der Druck beträchtlich absinkt.

**[0040]** Die in [Fig. 3](#) dargestellte Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärme­kraftmaschine unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, dass zwischen dem Überhitzer **4** und der Expansionskammer **15** eine Pulsationsröhre eingebracht ist.

**[0041]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen jeweils Wärme­kraftanlagen, die aus drei bzw. vier in Form einer Ringsschaltung fluidisch in Serie geschalteten, identischen Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärme­kraftmaschinen aufgebaut sind. Die Kompressions­**14** und die Expansionskammer **15** sind funktional in der doppelwirkenden Kompressions-/Expansionskammer **20** zusammengefasst, wobei der doppelwirkende Kolben **21** mit seiner einen Seite die Kompression und mit seiner anderen Seite die Expansion bewirkt. Die Kompression und die Expansion erfolgen in der Kammer **20** konstruktionsbedingt um 360° phasenverschoben zueinander, sodass aufgrund der Verschaltung der einzelnen Wärme­kraftmaschinen mit den 3-Zyklen-Anlage/4-Zyklen-Anlagen die für den Stirling-Verdampfer-Prozess erforderlichen Phasenverschiebungen von 120°/90° erreicht werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Arbeitskammer
<b>2</b>	Arbeitskolben
<b>3</b>	thermischer Kopf
<b>4</b>	Kühler
<b>5</b>	Regenerator/Verdampfer
<b>6</b>	Überhitzer
<b>7</b>	Verdrängerkammer
<b>8</b>	Verdrängerkolben
<b>9</b>	kalte Teilkammer der Verdrängerkammer
<b>10</b>	flüssiger, transkritischer oder überkritischer Arbeitsstoff
<b>11</b>	dampfförmiger Arbeitsstoff
<b>12</b>	warme Teilkammer der Verdrängerkammer
<b>13</b>	Kompressionskammer
<b>14</b>	Kompressionskolben
<b>15</b>	Expansionskammer
<b>16</b>	Expansionskolben
<b>17</b>	Pulsationsröhre
<b>18</b>	warmes Ende der Pulsationsröhre
<b>19</b>	kaltes Ende der Pulsationsröhre
<b>20</b>	doppelwirkende Kompressions-/Expansionskammer
<b>21</b>	doppelwirkender Kolben

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 3996745 A [0007]
- US 4413475 A [0008]
- WO 2006126241 A [0008]
- US 4637211 A [0009]

### Patentansprüche

1. Wärmekraftanlage bestehend aus mindestens einer Wärmekraftmaschine, die mechanisch wie eine Stirlingmaschine aufgebaut ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Arbeitsstoff eingesetzt ist, dessen Siedepunkt derart gewählt ist, dass er in den warmen Bereichen der Wärmekraftanlage gasförmig ist und in den kalten Bereichen als flüssige, als transkritische oder als überkritische Phase vorliegt.

2. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Arbeitsstoff im Butan, Pentan oder R245fa eingesetzt ist.

3. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie als eine Gamma-Stirling-Wärmekraftmaschine ausgeführt ist, die aus einer Arbeitskammer (1) mit einem darin beweglich gelagerten Arbeitskolben (2) und einen fluidisch mit der Arbeitskammer (1) verbundenen, thermischen Kopf (3) besteht, wobei dieser eine fluidische Serienschaltung aus einem Kühler (4), einem als Verdampfer bzw. Kondensator wirkenden Regenerator (5) und einem Überhitzer (6) umfasst, zu der eine Verdrängerkammer (6), in der ein Verdrängerkolben (6) beweglich gelagert ist, fluidisch parallel geschaltet ist.

4. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie als System aus mehreren Stirling-Wärmekraftmaschinen ausgeführt ist, wobei jeweils entweder mehrere thermische Köpfe (3) thermisch an eine Arbeitskammer (1) oder mehrere Arbeitskammern (1) an einen thermischen Kopf (3) angekoppelt sind.

5. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie als Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschine ausgeführt ist, die eine Kompressionskammer (13), in der ein Kompressionskolben (14) beweglich gelagert ist, eine Expansionskammer (15), in der ein Expansionskolben (16) beweglich gelagert ist, und eine fluidische Serienschaltung aus einem Kühler (4), einem als Verdampfer wirkenden Regenerator (5) und einem Überhitzer (6) umfasst, wobei die Kompressionskammer (13) fluidisch mit dem Kühler (4) und die Expansionskammer (15) fluidisch mit dem Überhitzer (6) verbunden ist.

6. Wärmekraftanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Expansionskammer (15) und dem Überhitzer (6) eine Pulsationsröhre (17) eingebracht ist.

7. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mehreren fluidisch verbundenen Stirling-Wärmekraftmaschinen besteht und jeweils die warmen und die kalten Bereiche der einzelnen Wärmekraftmaschinen thermisch miteinander verbunden sind.

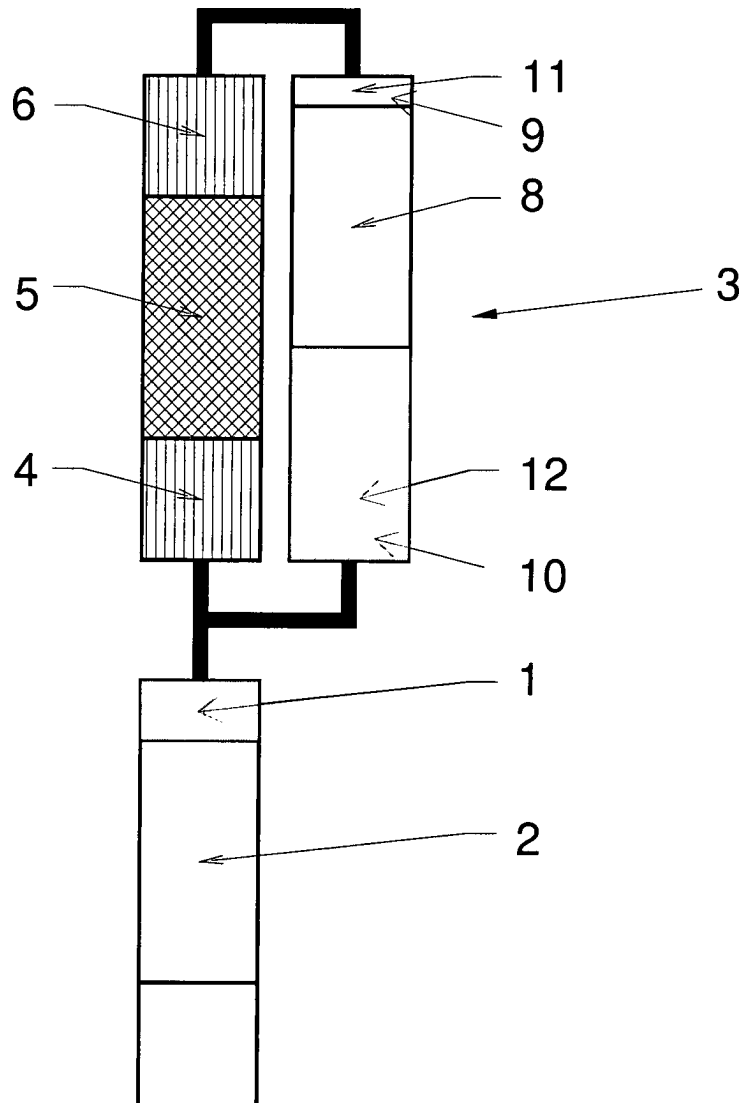
8. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus mehreren fluidisch in Serie geschalteten Stirling-Wärmekraftmaschinen besteht.

9. Wärmekraftanlage nach Anspruch 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine doppelwirkende Kompressions-/Expansionskammer (20) verwendet ist, die röhrenförmig und beidseitig geschlossen ausgeführt ist, wobei in der doppelwirkenden Kammer ein doppelwirkender Kolben (21) beweglich gelagert ist, und die eine Seite des Kolbens mit dem an diesen angrenzenden Abschnitt der Kammer (20) die Kompressionskammer (13) und die andere Seite des Kolbens (21) mit dem angrenzenden Abschnitt der Kammer (20) die Expansionskammer (15) bildet.

10. Wärmekraftanlage nach Anspruch 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie als System von drei bis fünf Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen ausgeführt ist, wobei jede der Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen aus einer Pulsationsröhre (17), einer Serienschaltung aus einem Kühler (4), einem als Verdampfer wirkenden Regenerator (5) und einem Überhitzer (6) sowie aus einer doppelwirkenden Kompressions-/Expansionskammer (20) besteht, und bei jeder der Stirling-Wärmekraftmaschinen die Kompressionskammer (13) mit dem Kühler (4) sowie der Überhitzer (6) mit dem warmen Ende (18) der Pulsationsröhre (17) fluidisch verbunden ist, wobei jeweils das kalte Ende (19) der Pulsationsröhre (17) der ersten bis vorletzten Wärmekraftmaschine mit der Expansionskammer (15) der nachfolgenden Wärmekraftmaschine und das kalte Ende (19) der Pulsationsröhre (17) der letzten Wärmekraftmaschine mit der Expansionskammer (15) der ersten Wärmekraftmaschine fluidisch verbunden ist.

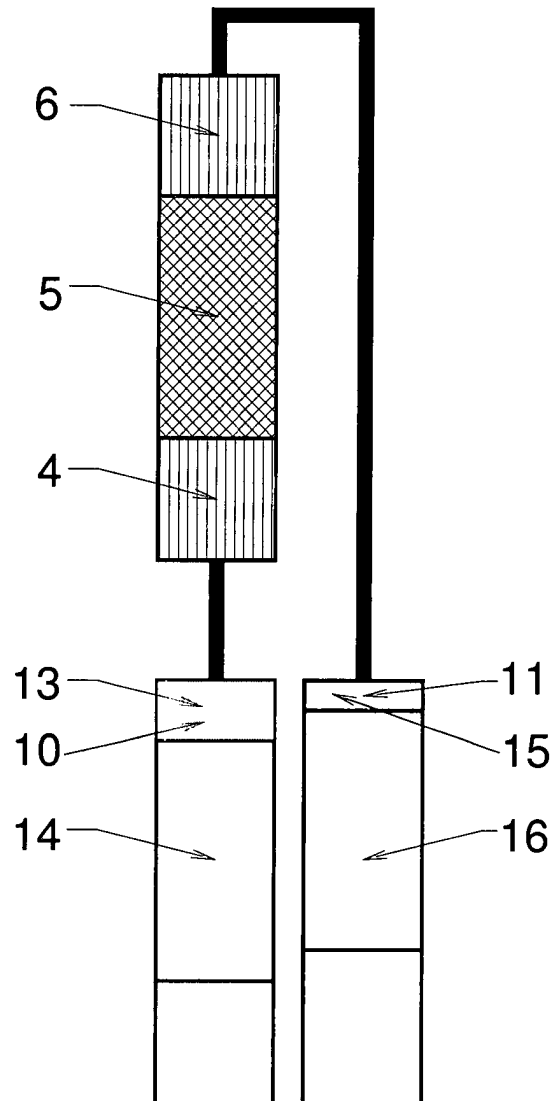
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

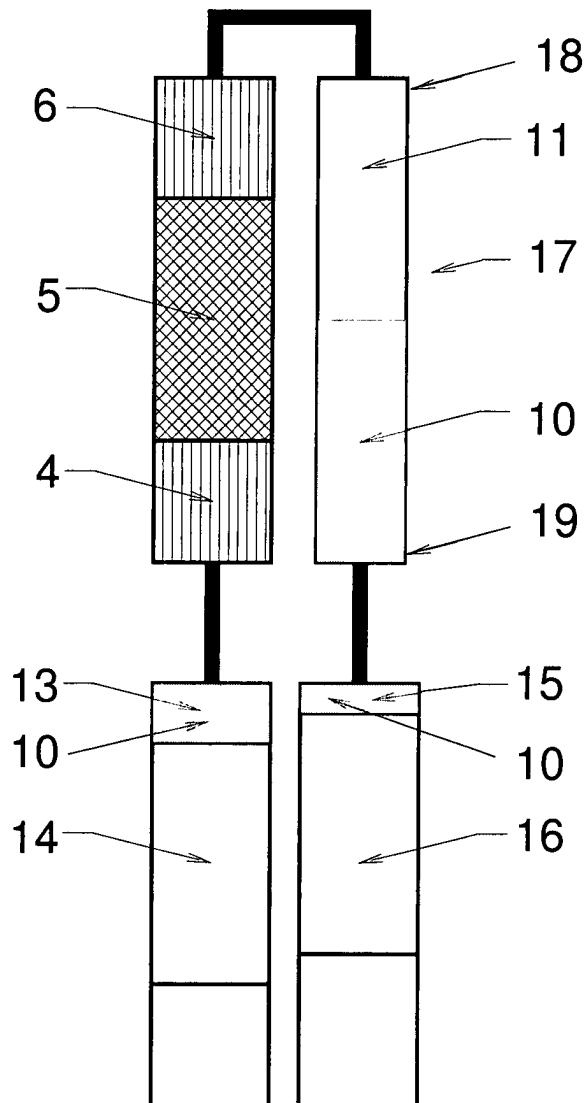


**Fig. 1**

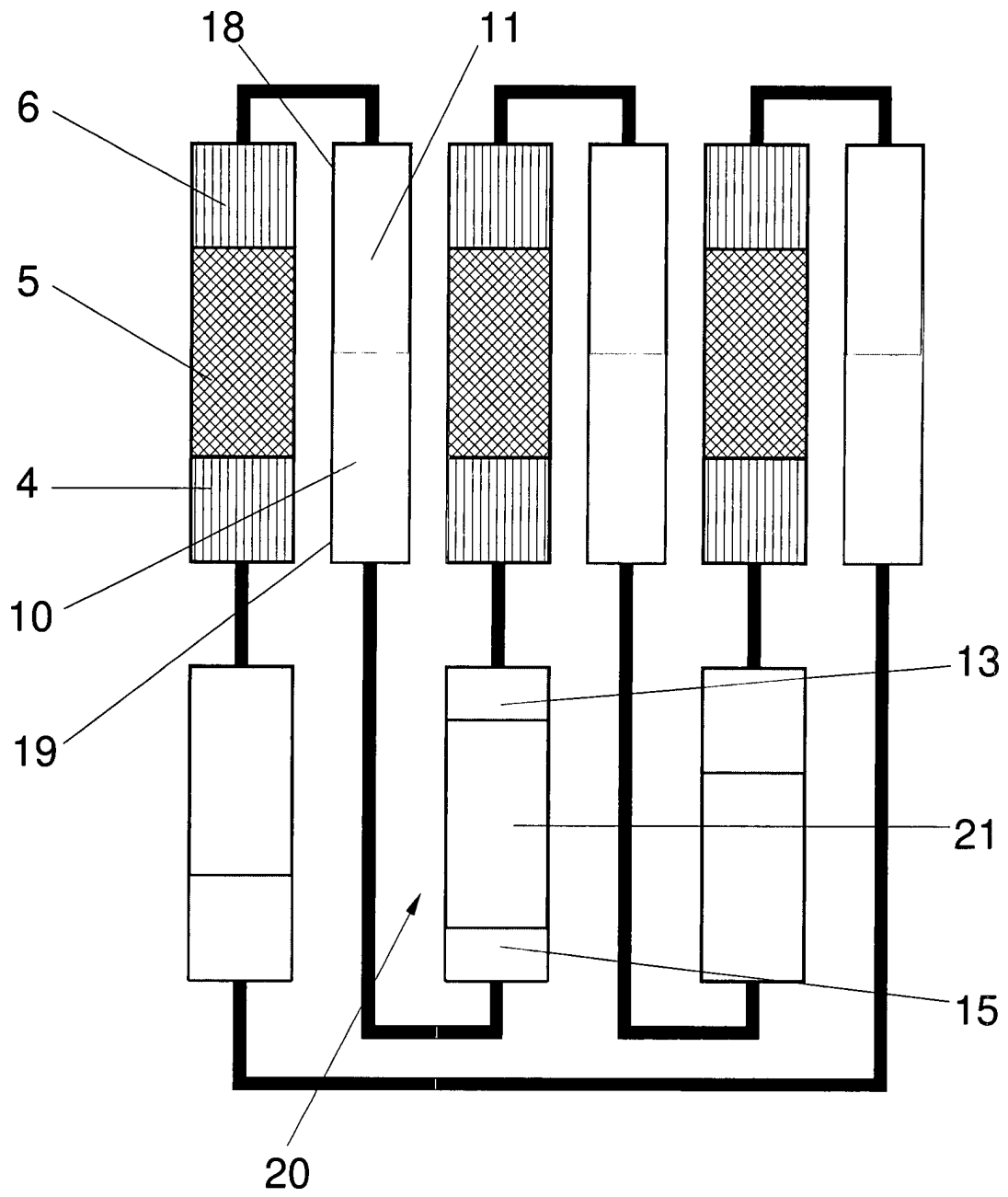




**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

