



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.06.2011 Patentblatt 2011/24

(51) Int Cl.:
F02G 1/043^(2006.01) F02G 1/044^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10191806.8**

(22) Anmeldetag: **19.11.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **27.11.2009 DE 102009057210**

(71) Anmelder:
• **Institut Für Luft- Und Kältetechnik gGmbH**
01309 Dresden (DE)
• **Fox-service GmbH**
08349 Johanngeorgenstadt (DE)

(72) Erfinder:
• **Dr. Kaiser, Gunter**
01237, Dresden (DE)

• **Dr. Klier, Jürgen**
01309, Dresden (DE)
• **Kuhn, Moritz**
01309, Dresden (DE)
• **Dr. Schneider, Matthias**
01445, Radebeul (DE)
• **Ott, Siegfried**
08349, Johanngeorgenstadt (DE)
• **Lang, Alexander**
08280, Aue (DE)

(74) Vertreter: **Kaufmann, Sigfrid**
Kaufmann
Patent- und Rechtsanwälte
Loschwitzer Straße 42
01309 Dresden (DE)

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

(57) Die Erfindung betrifft eine Wärmeanlage mit äußerer Beheizung, die nach einem Stirling-ähnlichen Prinzip arbeitet. Die Wärmeanlage besteht aus mindestens einer Wärmeantriebsmaschine, 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 Wärmeanlage gasförmig und in den kalten Bereichen flüssig, transkritisch oder überkritisch vorliegt. Mit der Wärmeanlage werden gleichzeitig die Vorteile von Stirling-Wärmeantriebsmaschinen, wie hohe Wirkungsgrade, einfacher Aufbau und unkomplizierte Prozessregelung sowie die von nach dem Rankine-Prinzip arbeitenden Maschinen, insbesondere eine nachhaltige Absenkung der minimalen Erhitzer temperatur auf ca. 150°C, erreicht. Die Anlage eignet sich besonders für den Einsatz in Blockheizkraftwerken, für unterbrechungsfreie Stromversorgungsaggregate, für Notstromaggregate und für Kraftfahrzeug-Energieversorgungsaggregate, wie z.B. Auxiliary Power Units oder Aggregate, die die Wärme des Abgases nutzen.

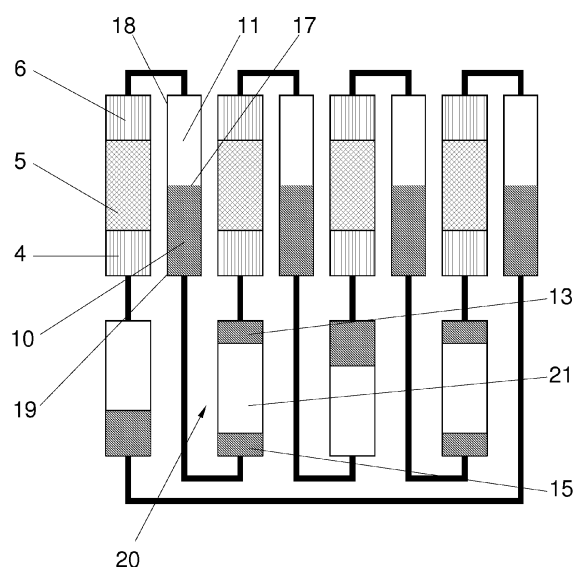


Fig. 5

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. Auxillary 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 (Erhitzer-temperatur) 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 Erhitzer-temperatur 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 2006/126241 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 Erhitzer-temperatur 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 Erhitzer-temperaturen 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-Wärmekraftmaschinen, 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 Phasen-übergänge 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 Rekondensation 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 Fülldruck 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, Dichtung 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° phasenverschoben zur Expansion erfolgt, für einen effektiven Betrieb von Alpha-Stirling-Wärmekraftmaschinen jedoch eine Phasenver-

schiebung von 80 bis 120° 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 Magnetkern oder Piezoelektrischen Systemen, erfolgen.

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

Fig. 1: eine Gamma-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine;

Fig. 2: eine Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine;

Fig. 3: eine Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftmaschine mit Pulsationsröhre;

Fig. 4: eine 3-Zyklen-Alpha-Stirling-Verdampfer-

Wärmekraftanlage mit Pulsationsröhren;

Fig. 5: eine 4-Zyklen-Alpha-Stirling-Verdampfer-Wärmekraftanlage mit Pulsationsröhren;

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

[0037]

5	1	Arbeitskammer
	2	Arbeitskolben
	3	thermischer Kopf
10	4	Kühler
	5	Regenerator/Verdampfer
15	6	Überhitzer
	7	Verdrängerkammer
	8	Verdrängerkolben
20	9	kalte Teilkammer der Verdrängerkammer
	10	flüssiger, transkritischer oder überkritischer Arbeitsstoff
25	11	dampfförmiger Arbeitsstoff
	12	warmer Teilkammer der Verdrängerkammer
30	13	Kompressionskammer
	14	Kompressionskolben
	15	Expansionskammer
35	16	Expansionskolben
	17	Pulsationsröhre
40	18	warmes Ende der Pulsationsröhre
	19	kaltes Ende der Pulsationsröhre
45	20	doppelwirkende Kompressions-/Expansionskammer
	21	doppelwirkender Kolben

50 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 transkriti-

sche oder als überkritische Phase vorliegt.

2. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Arbeitsstoff im Butan, Pentan oder R245fa eingesetzt ist. 5

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. 10

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. 20

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. 30

6. Wärmekraftanlage nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Expansionskammer (15) und dem Überhitzer (6) eine Pulsationsröhre (17) eingebracht ist. 35

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. 40

8. Wärmekraftanlage nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus mehreren fluidisch in Serie geschalteten Stirling-Wärmekraftmaschinen besteht. 45

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. 50

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. 55

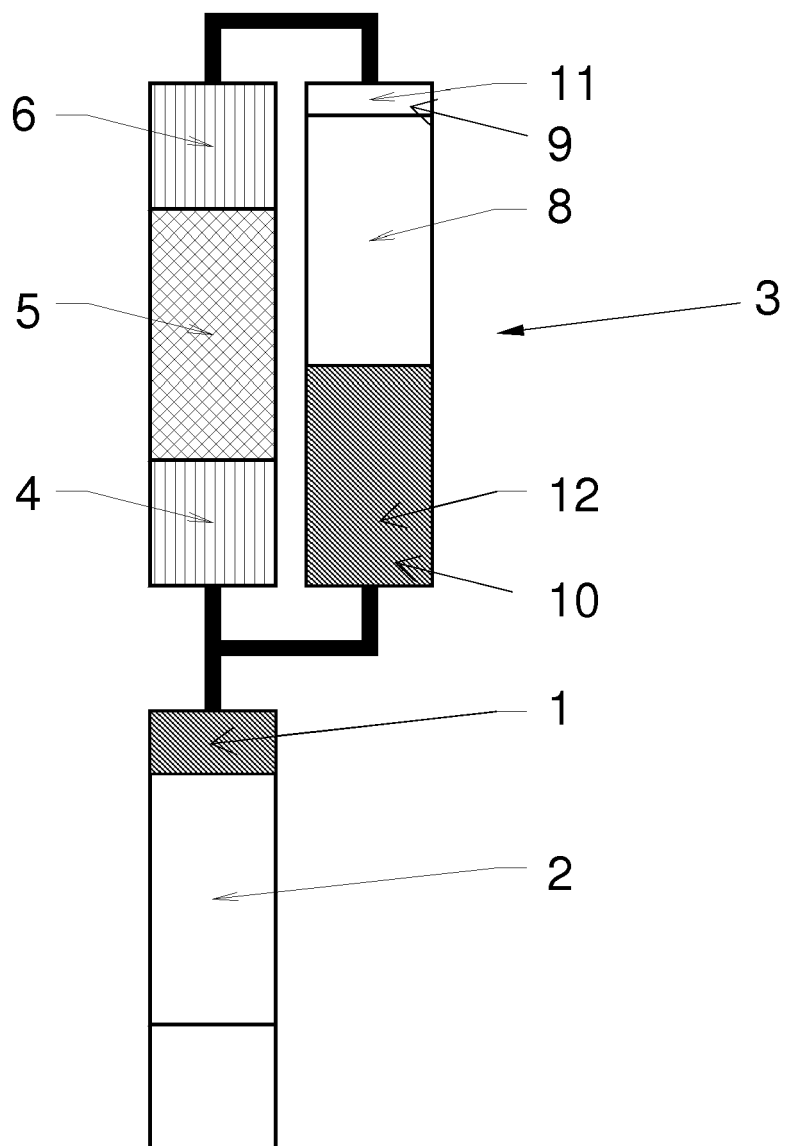


Fig. 1

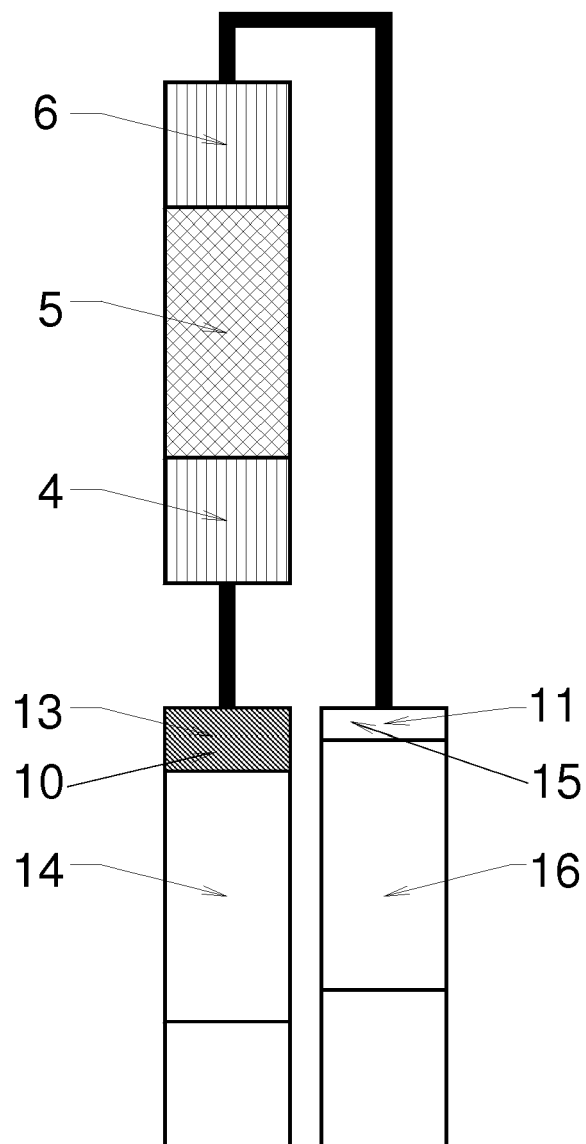


Fig. 2

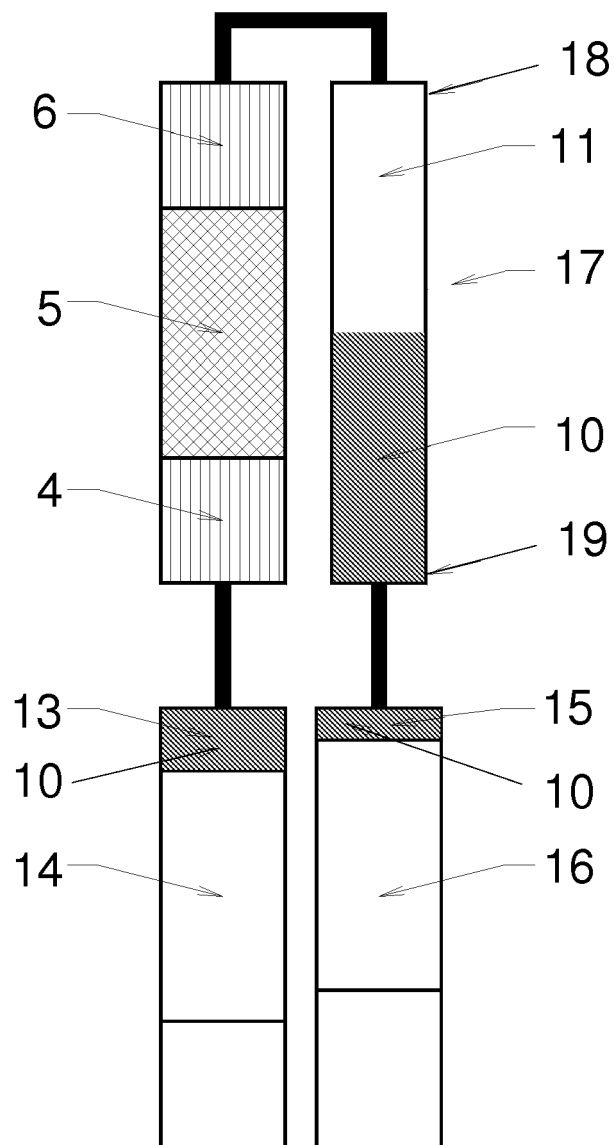


Fig. 3

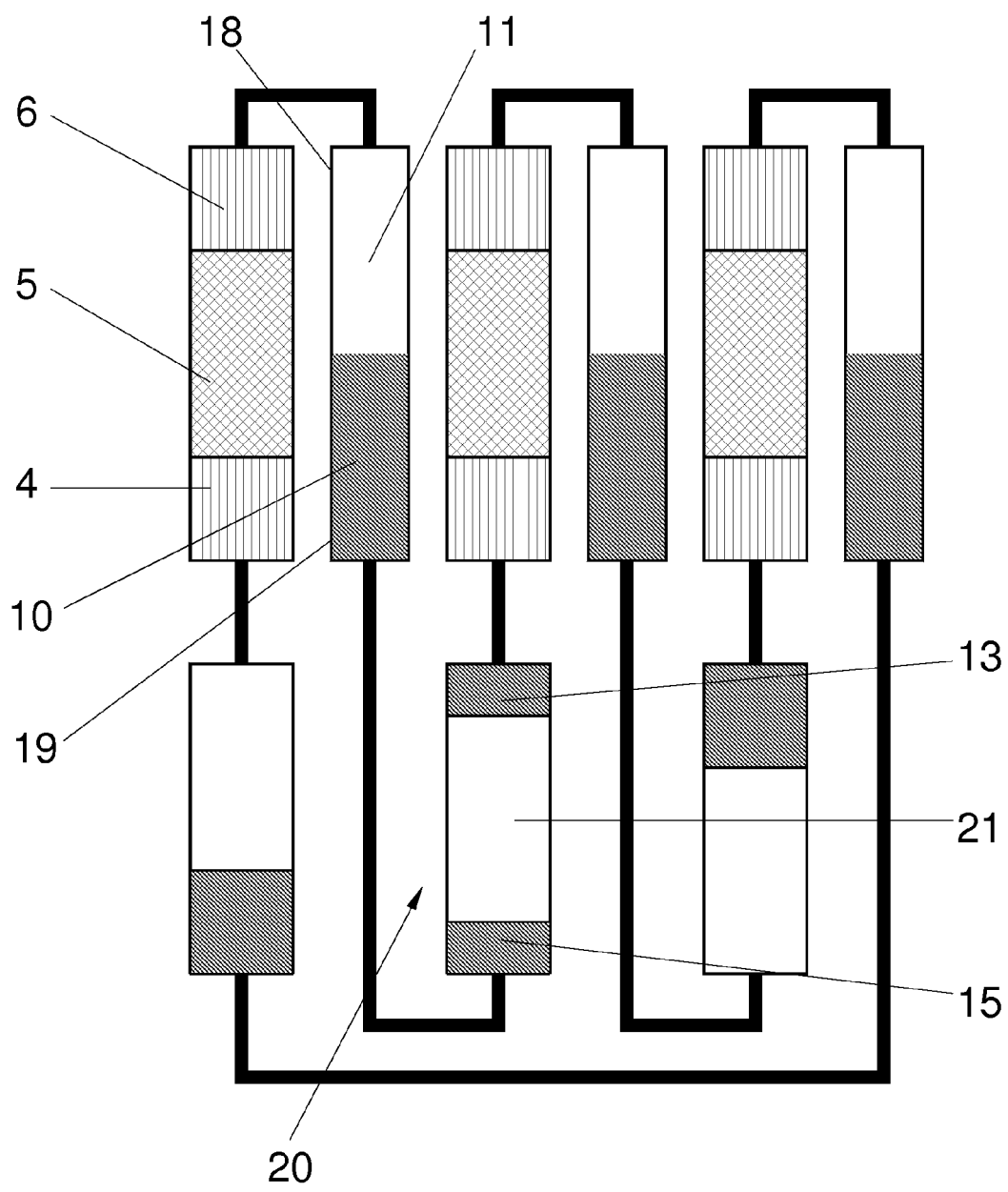


Fig. 4

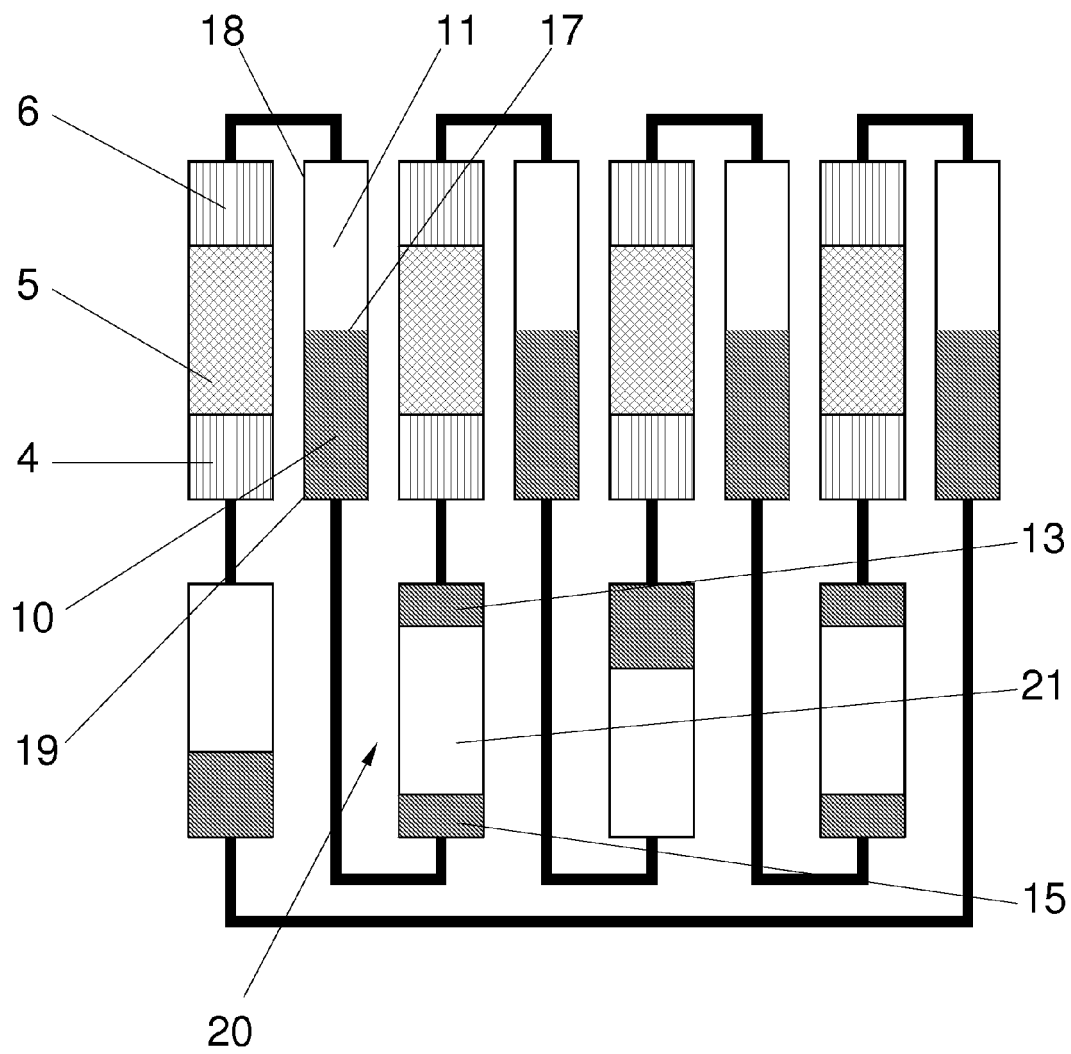


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 10 19 1806

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	GU, SATO, FENG: "Using supercritical heat recovery process in Stirling engines for high thermal efficiency", APPLIED THERMAL ENGINEERING, PERGAMON, OXFORD, GB, Bd. 21, Nr. 16, 1. November 2001 (2001-11-01), Seiten 1621-1630, XP002627541, ISSN: 1359-4311 [gefunden am 2010-06-14] * das ganze Dokument *	1-10	INV. F02G1/043 F02G1/044
A,D	US 3 996 745 A (DAVOUD JOHN GORDON ET AL) 14. Dezember 1976 (1976-12-14) * Abbildungen *	1,9,10	
X	US 3 886 744 A (JASPERS HENDRIK A) 3. Juni 1975 (1975-06-03) * Spalte 2, Zeile 9 - Zeile 38 *	1	
X	US 5 899 071 A (STONE KENNETH W [US] ET AL) 4. Mai 1999 (1999-05-04) * Spalte 5 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F02G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. März 2011	Prüfer Coniglio, Carlo
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 19 1806

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-03-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 3996745	A	14-12-1976	CA	1063360 A1		02-10-1979

US 3886744	A	03-06-1975	CA	1021948 A1		06-12-1977
			DE	2530483 A1		12-02-1976
			FR	2279940 A1		20-02-1976
			GB	1516730 A		05-07-1978
			JP	1043147 C		23-04-1981
			JP	51034347 A		24-03-1976
			JP	55034300 B		05-09-1980
			NL	7508480 A		26-01-1976
			SE	7508237 A		23-01-1976

US 5899071	A	04-05-1999	KEINE			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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