

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 843/2002 (51) Int. Cl.⁸: **F02G 1/044** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2002-06-03
(43) Veröffentlicht am: 2006-10-15

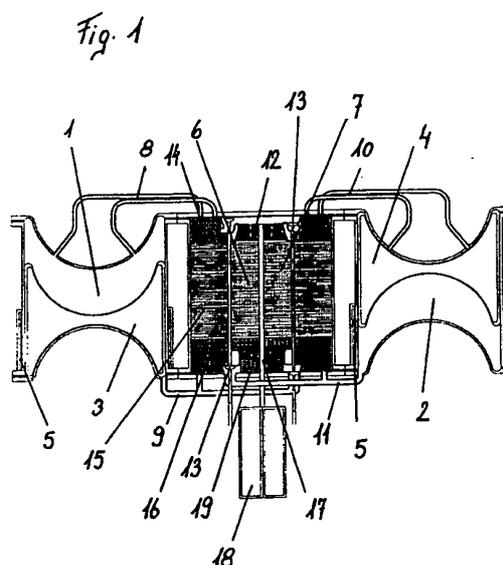
(56) Entgegenhaltungen:
US 334153A US 3795102A
US 4030297A US 2664699A
US 3248870A

(73) Patentanmelder:
DONAUWIND ERNEUERBARE
ENERGIEGEWINNUNG UND
BETEILIGUNGS GMBH & CO KG
A-1190 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
HOLECEK CAMILLO
WIEN (AT)
ENGELHART KLAUS
FURTH BEI GÖTTWEIG (AT)

(54) **VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR UMWANDLUNG VON WÄRMEENERGIE IN KINETISCHE ENERGIE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie. Dabei durchläuft ein Arbeitsmedium in mindestens einem durch einen Verdränger (3, 4) getrenntem, doppelt wirkenden Arbeitsraum Zustandsänderungen. Das Arbeitsmedium strömt zwischen mindestens zwei doppelt wirkenden, geschlossenen Arbeitsräumen (1, 2) hin und her. Zur Abgabe von Nutzarbeit wird das Arbeitsmedium zwischen den Arbeitsräumen (1, 2) über eine Arbeitsmaschine (12) geführt. Anschließend strömt das Arbeitsmedium im doppelt wirkenden Arbeitsraum (1, 2) mittels des Verdrängers (3, 4) von einer Seite durch den Regenerator (6, 7) auf die andere Seite des Verdrängers (3, 4). Der Fluss des Arbeitsmediums wird über Steuerorgane, insbesondere Ventile (13), gesteuert und jeder Verdränger (3, 4) wird über einen Antrieb (5) bewegt.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie, wobei ein Arbeitsmedium in mindestens einem durch einen Verdränger getrennten, doppelt wirkenden Arbeitsraum die folgenden Zustandsänderungen im idealen Prozess durchläuft:

- 5 - isotherme Verdichtung unter Wärmeabfuhr in einem Kompressionsraum
- isochore Wärmeaufnahme ein einem Regenerator während des Überschiebens des Arbeitsmediums vom Kompressionsraum in einen Expansionsraum
- isotherme Expansion unter Zufuhr von Wärme im Expansionsraum unter Abgabe von Nutzarbeit
- 10 - isochore Wärmeabfuhr im Regenerator beim Zurückschieben in den Kompressionsraum.

Ferner betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

15 Energie kann nicht „erzeugt“ werden im Sinne von neu erschaffen. Energie ist in den verschiedensten Formen in der Natur vorhanden, allerdings ist nicht jede vorhandene Energieform gleichgut für die menschlichen Bedürfnisse nutzbar. Man kann beispielsweise die Energie im Holz sehr gut für Heizzwecke nutzen, aber damit relativ schlecht Licht oder Kälte für den Kühlschrank usw. erzeugen.

20 Obwohl es für ganz bestimmte Anwendungen fast ideal zugängliche Energieformen gibt, wie beispielsweise das Erdöl für die Autos oder das Erdgas für industrielle Heizungen, ist aus Sicht des Menschen die universell einsetzbare Energie die elektrische Energie. Sie kommt aber in der Form, wie wir sie kennen, in der Natur praktisch nicht vor.

25 Das heißt, es muss eine zugängliche Energieform meist in mehreren Stufen und mit unterschiedlichen Wirkungsgraden erst in elektrische Energie umgewandelt werden. Nimmt man beispielsweise die fossilen Energieträger wie Kohle, Erdgas und Erdöl, die die Energie der Sonne in Jahrmillionen in chemischer Form gespeichert haben, zur Erzeugung von elektrischer Energie, so werden drei Umwandlungsprozesse und entsprechende Industrieanlagen benötigt.

30 Es wird zuerst die gespeicherte chemische Energie durch Verbrennen in Wärme umgewandelt. Mit der Wärme wird hochgespannter Dampf erzeugt, der in der Dampfturbine die Wärme in Bewegungsenergie, also in kinetische Energie, umwandelt. Die Dampfturbine treibt den Generator an, in dem die Bewegungsenergie schließlich in elektrische Energie umgewandelt wird.

35 Jede dieser Energieumwandlungen hat einen bestimmten Wirkungsgrad, das heißt es geht jedes Mal Energie verloren und der gesamte Wirkungsgrad ist entsprechend gering. So können nur rund 40% der Energie, die in Kohle, Erdgas und Erdöl gespeichert sind in elektrische Energie umgewandelt werden. Die restlichen 60% gehen als sogenannte Abwärme für die Nutzung in Form von Strom verloren.

40

Auch bei anderen Umwandlungsprozessen, wie etwa bei der Umwandlung der chemischen Energie im Erdöl zu Bewegungsenergie für den Antrieb von Autos, Schiff, Bahn oder auch Flugzeugen ist der Wirkungsgrad nicht besser, obwohl die Umwandlungskette kürzer ist.

45 Berücksichtigt man nur die riesigen Mengen an Strom, die weltweit verbraucht werden, erkennt man, welche gigantischen Energiemengen nicht genutzt werden können und verloren gehen. Ist der Verlust der für die Umwandlung in elektrische Energie nicht nutzbaren Primärenergie schon ein großes Problem, eben durch die Verschwendung der limitierten Ressourcen, so ist die mit der Umwandlung der chemischen Energie durch Verbrennen in Wärmeenergie untrennbar verbundene Umweltbelastung für die kommenden Generationen noch viel gravierender, wie

50 Klimaänderungen infolge der Treibhausgase, wie beispielsweise die CO²-Problematik zeigt.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Menschheit seit Jahrzehnten versucht die Umwandlungsprozesse zu verbessern und zu optimieren bzw. auch Teile der Abwärme zu nutzen, wie

55 z.B. bei der Fernwärme. Die Nutzung eines Teils der Abwärme aus den kalorischen Kraftwerken

zur Raumheizung, ist schon ein bedeutender Beitrag zur Erhöhung des Wirkungsgrades bei der Umwandlung. Auch die Anstrengungen andere Energieformen wie z.B. Windenergie oder Sonnenenergie in elektrische Energie umzuwandeln zeigen erste Erfolge.

5 Sehr viel versprechend sind auch die Versuche durch andere Umwandlungsprozesse die Umwandlungskette zu verkürzen und so den gesamten Wirkungsgrad zu verbessern. Ein solcher interessanter Umwandlungsprozesses ist im Stirlingmotor verwirklicht. Der Stirlingmotor kann Wärmeenergie direkt in kinetische Energie umwandeln ohne den „Umweg“ über dem Dampf.

10 Der Stirlingmotor ist nach der Dampfmaschine die zweitälteste Wärmekraftmaschine, das heißt eine Maschine die Wärmeenergie in kinetische Energie umwandeln kann. Und obwohl der Stirlingmotor vom Prinzip her einen wesentlichen höheren Wirkungsgrad hat, als die Dampfmaschine und der Benzin- bzw. Dieselmotor, hat er bis heute keine größere Verbreitung erreicht. Während Dampfmaschine und Benzin- bzw. Dieselmotor laufend weiter entwickelt wurden, um
15 neben der zufrieden stellenden Lebensdauer vor allem entsprechende Leistungsdichten bei beträchtlich gesteigerten Wirkungsgraden zu erreichen, ist der Stirlingmotor beinahe in Vergessenheit geraten. Erst in letzter Zeit gewinnt er wegen seiner geringeren Umweltbelastung und der Unabhängigkeit von der Wärmequelle zunehmend an Interesse. Er hat allerdings einen erheblichen Nachholbedarf an Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um einen ähnlichen „Reife-
20 grad“, wie heutige Dampfmaschinen oder der Benzinmotor im PKW zu erreichen.

Sehr viel Entwicklungsarbeit ist beispielsweise noch notwendig um den Wirkungsgrad eines ausgeführten Stirlingmotors an den Wirkungsgrad des idealen Stirlingmotors, der ident ist mit dem des Carnot-Prozesses, heran zu bringen. Für einen eventuellen mobilen Einsatz muss vor
25 allem an der Erhöhung der Leistungsdichte und an der Verbesserung des dynamischen Verhaltens bei raschen Lastwechseln gearbeitet werden.

Die wichtigsten Vorteile des Stirlingmotor gegenüber den herkömmlichen Wärmekraftmaschinen sind, auch wenn diese wegen des Entwicklungsmankos noch nicht immer zufrieden stellend
30 realisiert werden konnten:

1. er arbeitet mit beliebigen Wärmequellen, wie beispielsweise Solar- oder Prozessabwärme, Verbrennung von Biomasse, Deponiegas oder anderen brennbaren Abfällen bis hin zu Müll u.s.w.;
- 35 2. kontinuierliche Wärmezufuhr, das heißt es ist eine Verbrennung unter optimalen Bedingungen möglich, so dass wenig Schadstoffe im Abgas enthalten sind;
3. geschlossener Kreislauf - das Arbeitsmedium muss nicht ständig erneuert werden;
4. wegen der thermodynamisch günstigen Prozessführung sind prinzipiell sehr hohe Wirkungsgrade zu erwarten - auch im Teillastbereich;
- 40 5. hohe Laufruhe und Geräuscharmheit.

Von der Ausführungsform werden derzeit drei unterschiedliche Typen von Stirlingmotoren unterschieden: der α - Typ, der β - Typ und der γ - Typ. Diese Stirlingmotortypen unterscheiden sich in erster Linie durch das Funktionsprinzip und die konstruktive Umsetzung.
45

Der ideale Stirlingprozess entspricht einem Carnot- Prozess und hat deshalb einen sehr hohen Wirkungsgrad. In der Praxis ist allerdings eine exakte Umsetzung, das heißt eine genaue Nachbildung des idealen oder besser des theoretischen Prozesses nicht möglich. Bei ausgeführten Maschinen müssen eine Reihe von konstruktiv bedingten Abweichungen hingenommen werden,
50 die sich negativ auf Wirkungsgrad und Leistungsdichte auswirken.

So konnte bis jetzt bei ausgeführten bzw. gebauten Stirlingmotoren weder eine isochore Wärmeaufnahme oder isochore Wärmeabgabe, noch eine isotherme Verdichtung bzw. eine isotherme Expansion verwirklicht werden. Die Hauptgründe dafür sind in erster Linie die unvermeidlichen Toträume und die kontinuierliche statt diskontinuierliche Volumsänderung. Die Be-
55

wegung der Kolben und Verdränger erfolgt über Kurbeltriebe mit Schwungscheiben, so dass zwar in den Totpunkten eine Bewegungsumkehr erfolgt, aber eben kein kurzzeitiger Stillstand, wie es der theoretische Prozess verlangt.

- 5 Die drei Typen, die α -, β - und γ -Maschine, entsprechen den drei bis jetzt entwickelten prinzipiellen konstruktiven Lösungen, um den idealen Stirlingprozess möglichst gut in den ausgeführten Maschinen nachbilden zu können.

10 Bei der α - Maschine werden zwei Kolben in getrennten Zylindern verwendet, wobei ein Kolben im heißen Expansionsraum und der andere Kolben im kalten Kompressionsraum angeordnet sind. Beide Kolben sind je nach Arbeitsschritt bzw. Kurbelwellenwinkel entweder Arbeitskolben und dann wieder Verdränger.

15 Der größte Nachteil von α - Motoren ist der Kurbeltrieb mit der damit bedingten großen Abweichung von theoretischen Prozess bzw. dem geringen Wirkungsgrad. Ein weiterer großer Nachteil ist die, die Lebensdauer des Motors stark einschränkende Kolbenabdichtung im heißen Expansionsraum, für die bis jetzt noch keine zufrieden stellende Lösung entwickelt werden konnte.

20 Es sind bis heute eine Reihe von verschiedenen Anordnungen der Zylinder zueinander entwickelt worden, wie parallel, fluchtend gegenüber, parallel gegenüber, V-Zylinder oder der Rotationszylinder von Finkelstein usw., die alle gleich funktionieren, die gleichen Schwachstellen bzw. den selben geringen Wirkungsgrad haben.

25 Bei der β - Maschine wird ein Kolben und ein Verdränger verwendet, wobei sowohl Kolben als auch Verdränger im selben Zylinder untergebracht sind. Für den komplizierten Bewegungsablauf von Kolben und Verdränger, die je nach Arbeitstakt sich einmal aufeinander zu bewegen, dann wieder sich in die selbe Richtung, beispielsweise zur Kurbelwelle hin bewegen oder der eine steht still bzw. sollte stillstehen, während der andere sich bewegt, sind aufwendige Getriebe z.B. Rhombengetriebe erforderlich.

30 Der größte Nachteil der β - Maschinen ist ähnlich wie bei den α - Motoren der Bewegungsablauf von Kolben und Verdränger, der trotz aufwendiger Getriebe wie ein Kurbeltrieb wirkt und daher Totpunkte mit Bewegungsumkehr, aber keinen echten Stillstand hat. Auch beim β - Typ ist der tatsächlich erreichte Wirkungsgrad ausgeführter Stirlingmaschinen weit weg vom Wirkungsgrad des idealen Stirlingprozesses.

40 Ein weiterer große Nachteil der β - Maschinen ist das komplizierte Abdichtsystem der Verdrängerschubstange im Kompressionskolben. Durch die Anordnung von Kolben und Verdränger im selben Zylinder wird die Verdrängerschubstange durch den Kompressionskolben geführt.

Auch bei β - Maschinen sind bis heute eine Reihe von verschiedenen Ausführungen entwickelt worden, wie z.B. Rankine-Napie oder Philips ohne die Nachteile der β - Maschine beeinflussen zu können.

45 Bei der γ - Maschine wird Kolben und Verdränger in separaten Zylindern angeordnet. Dadurch wird das aufwendige Dichtungssystem der Verdrängerschubstange im Kompressionskolben vermieden. Dafür erhöht sich das für den Wirkungsgrad schädliche Totvolumen.

50 In der US 334 153 A ist ein typischer γ -Stirling Motor beschrieben, dessen Arbeitskolben an der heißen Seite des Verdrängers angeflanscht ist.

55 Der Verdränger erzeugt, angetrieben von einer Kurbelwelle, durch Überschieben eines Teiles des Gases durch den Regenerator und Kühler von der heißen auf die kalte Seite sinusförmige Druckschwankungen im Gas, die über einen an diesen Gasraum gekoppelten Arbeitszylinder

über eine Kurbelwelle in eine Drehbewegung umgewandelt wird. Dieser klassische Prozess ist die Stammform vieler Weiterentwicklungen.

5 Die größten Nachteile von γ - Maschinen sind, wie schon bei den α - und β -Maschinen beschrieben, der durch den Kurbelwellenantrieb bzw. durch den kurbelwellenähnlichen Antrieb verursachten Bewegungsablauf von Kolben und Verdränger, der eine gut Annäherung an den idealen Stirlingprozess bei ausgeführten Maschinen unmöglich macht Daher hat auch die γ - Maschine einen wesentlich schlechteren Wirkungsgrad als der ideale Stirlingprozess.

10 Ein weiterer große Nachteil von γ - Maschinen ist das größere Totvolumen, was sich zusätzlich negativ auf den Wirkungsgrad auswirkt, sowie das relativ geringe erreichbare Verdichtungsverhältnis, so dass nur bescheidene Volumsleistungen erreichbar sind.

15 Neben den beschriebenen einfach wirkenden Maschinen, wurden auch doppelt wirkende Stirlingmaschinen entwickelt und ausgeführt, insbesondere vom α -Typ. Bekannt ist beispielsweise der Franchot-Stirlingmotor. Bei diesem Motor läuft im Raum oberhalb der beiden Kolben, aber auch unterhalb der Kolben jeweils ein Stirlingprozess ab, das heißt die beiden Zylinder führen mit der Kolbenober- bzw. -unterseite immer zwei unterschiedliche Arbeitstakte von zwei verschiedenen Stirlingprozessen zur selben Zeit aus. Dabei begrenzen die beiden Kolben und die dazugehörigen Zylinder vier variable Volumen, welche paarweise als zwei separate α - Maschinen angesehen werden können. Wie in der einfach wirkenden α - Maschine müssen der Expansionskolben und der Kompressionskolben eine Phasenverschiebung von ca. 90° aufweisen.

25 Der Wirkungsgrad von doppelt wirkenden α - Maschinen, wie der Franchot Stirlingmotor, ist nicht besser, als der von einfach wirkenden α - Maschinen. Auch die gravierenden Nachteile und Probleme bleiben gleich. Lediglich die Volumsleistung kann durch die Kompaktheit verbessert werden.

30 Bekannt ist auch der Siemens - Stirlingmotor, der mit beliebig vielen Zylindern die Standardkonfiguration der meisten leistungsstärkeren Stirlingmotore darstellt, wie z.B. der 4-95' er von United Stirling mit einer Leistung von ca. 52 kW mechanisch. Auch bei dieser Ausführung sind einige Bauarten entwickelt worden, wie zum Beispiel die Anordnung der Zylinder in Reihe, als „U“, als „V“, im Viereck oder im Kreis. Obwohl beim Siemens - Stirlingmotor die Anordnung von Erhitzer, Regenerator und Kühler so gewählt wurde, dass die Abdichtung des Kolbens in der Gehäusewand im kalten Teil liegt, bleiben die prinzipiellen Nachteile der α - Maschinen erhalten.

40 So ist aus der US 2 664 699 A ist ein doppelt wirkender α - Stirling Motor mit vier Zylindern bekannt. Diese Anordnung wird, wie oben bereits erwähnt, in der Literatur als Siemens-Anordnung beschrieben, in der vier einzelne Stirlingprozesse gleichzeitig um jeweils 90° versetzt ablaufen. Jeder Einzelprozess läuft im kalten Raum eines Zylinders und im heißen Raum des nächsten Zylinders ab und besteht theoretisch aus isochorem Überschieben und isothermer Expansion bzw. Kompression. Der Alpha-Prozess stellt einen der drei klassischen Prozesse dar.

45 Weiters ist aus der US 3 795 102 A ein α - Stirling Motor in Siemensanordnung bekannt. Dabei wird auf die maschinenbauliche optimale Anordnung eingegangen, ohne jedoch eine Abänderung des für diesen Maschinentyps typischen thermodynamischen Prozesses zu bewirken.

50 Ferner ist auch aus der US 4 030 297 A eine Steuerungsmethode für einen α - Stirling Motor in Siemensanordnung bekannt. Es wird die bei einem Stirlingmotor schwierig zu beherrschende schnelle Drehzahlstellung über eine Änderung des Ladedruckes behandelt, ohne jedoch eine Abänderung des thermodynamischen Prozesses zu bewirken.

55 Bekannt sind auch Versuche das Prinzip des Stirlingmotors mit Freikolbenanordnungen oder

als Kreiskolbenmotor, System Wankel, auszuführen. Eine Wirkungsgradverbesserung hat keine der Ausführungen gebracht, sondern im Gegenteil neben schlechteren Wirkungsgraden gegenüber der α - Maschine wurden die Nachteile und Probleme nur vergrößert.

5 Weiters ist aus der US 3 248 870 A ist eine Ausführung des Gifford-McMahon Prozesses beschrieben. Dieser Gifford-McMahon Prozess ist aus der Kyrökühltechnik bekannt und arbeitet mit zwei Pufferspeichern zwischen denen eine Last, beispielsweise eine Turbine, mit relativ konstantem Ein- und Austrittsdruck versorgt wird. Das Druckverhältnis an der Turbine wird durch ein hintereinander schalten von mehreren einzelnen Stufen erhöht, ohne jedoch das
10 Prinzip des Gifford-McMahon Prozesses zu beeinflussen. Der Druck in den einzelnen Zylindern wird während des Arbeitstaktes, wenn die Ventile geöffnet sind, nur geringfügig ab bzw. aufgebaut. Der Druckunterschied während des Überströmens von einem Zylinder zu einem anderen weist typischerweise eine Welligkeit von $\sim 10\%$ der maximalen Druckamplitude auf, d.h. wegen des geringen Druckunterschiedes kann nur eine geringe Gasmenge in den nachfolgenden
15 Zylinder strömen und diesen laden. Würde ein höherer Druckunterschied zwischen den Zylindern herrschen, würde dieser nutzlos an den Ventilen dissipiert, das heißt in Verlustwärme umgewandelt werden.

20 Gemeinsam ist allen diesen verschiedenen Ausführungen von Stirlingmotoren die zusätzlichen Nachteile durch die Toträume in Wärmetauschern, Regeneratoren und Überströmleitungen, die das Verdichtungsverhältnis zusätzlich absenken und damit den Wirkungsgrad.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das einerseits die obigen Nachteile vermeidet und das es andererseits erstmals ermöglicht einen
25 Stirlingmotor so auszuführen, dass dessen Arbeitsweise viel besser an den idealen Stirlingprozess angenähert werden kann als bisher.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsmedium zwischen mindestens zwei doppelt wirkenden, geschlossenen Arbeitsräumen hin und her strömt, wobei zur Abgabe von Nutzarbeit das Arbeitsmedium zwischen den Arbeitsräumen über eine Arbeitsmaschine geführt wird und anschließend das Arbeitsmedium im doppelt wirkenden Arbeitsraum mittels des Verdrängers von einer Seite durch den Regenerator auf die andere Seite
35 des Verdrängers strömt, wobei der Fluss des Arbeitsmediums über Steuerorgane, insbesondere Ventile, gesteuert wird und jeder Verdränger über einen Antrieb bewegt wird. Mit der Erfindung ist es erstmals möglich einen wesentlich höheren Wirkungsgrad zu erreichen, als mit allen bisher ausgeführten Stirlingmotoren.

40 Der höhere Wirkungsgrad ist vor allem auf die bessere Angleichung des ausgeführten Arbeitsprozesses an den theoretischen Kreisprozess, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreicht wird, zurück zu führen. Durch den Temperaturunterschied des Arbeitsmediums in den beiden gekoppelten Arbeitsräumen und durch die sich daraus ergebenden Druckunterschiede strömt es in den kalten Arbeitsraum und verrichtet dabei über eine Arbeitsmaschine Arbeit. Der
45 sich einstellende Ausgleichszustand ist darauf zurückzuführen, dass der Großteil des Arbeitsmediums sich im kalten Arbeitsraum befindet. Beim darauf folgenden isochoren Regenerator-takt, unter Wärmezufuhr, baut sich der Druckunterschied in spiegelbildlicher Weise wieder zwischen den Arbeitsräumen auf und wird wieder über die Arbeitsmaschine in Arbeit umgewandelt. Dieses Verhalten steht in Analogie zu einem Schwingkreis und ermöglicht bei gleich bleibendem Carnot-Wirkungsgrad eine höhere Leistungsdichte bezogen auf die Menge des Arbeitsmediums als beim theoretischen idealen Stirlingprozess.
50

Nach einem besonderen Merkmal der Erfindung wird jeder Verdränger über einen eigenen Antrieb bewegt. Gemäß diesem Merkmal der Erfindung gibt es keine Kurbeltriebe oder kurbeltriebähnliche Antriebe, die hauptverantwortlich sind für die schlechte Annäherung der ausge-
55

fürten Prozesse an den idealen Stirlingprozess. Statt der Kurbelantriebe wird ein Linearantrieb verwendet, der unabhängig von anderen Bewegungen gesteuert werden kann, so dass beliebig viele und beliebig lange Stillstandzeiten zum Beispiel bei den Verdrängern erreicht werden.

5 Nach einer anderen Ausbildung der Erfindung werden die Verdränger der gekoppelten Arbeitsräume über eine starre Verbindung über einen Antrieb bewegt. Dadurch kann ein einfacher Aufbau erreicht werden, wobei beispielsweise zwei heiße bzw. kalte Arbeitsräume aneinander gekoppelt werden. Dies erlaubt ein vollständiges Eintauchen der heiß-heiß Arbeitsräume in die Wärmequelle, sowie das Eintauchen der kalt-kalt Arbeitsräume in die Kältequelle ohne dabei
10 Verluste durch Wärmeleitung zwischen warmem und kaltem Quell-Medium zu bekommen. Die beiden Verdränger sind durch eine starre Schubstange miteinander verbunden, die die zwischen den Verdrängern wirkenden Kräfte aufnimmt. Zur Bewegung der Verdränger muss lediglich der Reibungswiderstand und die Strömungsverluste überwunden werden. Die Regeneratoren können sich auch innerhalb bzw. außerhalb der Schubstange befinden. Die Schubstange selbst muss nicht abgedichtet werden. Die theoretische Leistungsdichte bezogen auf die Menge des Arbeitsmediums ist höher als beim idealem Stirlingprozess. Diese Ausgestaltung ermöglicht die Nutzung von Niedertemperatur für die Stromgewinnung als auch die Gewinnung von Kälte.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung wird der Arbeitsraum durch den
20 Verdränger in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen des Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum zugeordneten Regenerator zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine und nach der Arbeitsmaschine in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes strömt und anschließend durch die Bewegung des Verdrängers von der Kompressionsseite
25 durch den diesem Arbeitsraum zugeordneten Regenerator in den Expansionsraum desselben Arbeitsraumes strömt. Diese Ausführung ist der so genannte „kalte“ Motor. Die Arbeitsmaschine kann einfach ausgeführt werden, da sie keiner hohen Temperaturbeanspruchung ausgesetzt wird. Zusätzlich kann durch die Expansion des durch den Regenerator gekühlten kalten Arbeitsmediums Kälte erzeugt werden, die gegebenenfalls vor dem Einströmen in den kalten
30 Arbeitsbereich über einen Wärmetauscher genutzt wird. Der Wirkungsgrad und die Leistungsdichte liegen höher als bei einem γ -Typ Stirlingmotor der an der kalten Seite den Arbeitskolben angeflanscht hat.

Nach einer anderen Ausführung der Erfindung wird der Arbeitsraum durch den Verdränger in
35 einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen des Expansionsraumes zur Abgabe von Nutzarbeit, gegebenenfalls über einen Erhitzer, über die Arbeitsmaschine strömt und anschließend über den Regenerator und gegebenenfalls über einen Verdichter, gegebenenfalls über einen weiteren Kühler, in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes strömt und anschließend
40 durch die Bewegung des Verdrängers von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum zugeordneten Regenerator in den Expansionsraum desselben Arbeitsraumes strömt. Diese Ausführung ist der so genannte „heiße“ Motor. Der theoretische Wirkungsgrad dieses Typs ist annähernd dem des Carnot-Wirkungsgrades, die theoretische Leistungsdichte bezogen auf die Menge des Arbeitsmediums ist höher als die des idealen Stirlingprozesses.

45 Gemäß einer noch anderen Ausführung der Erfindung wird der Arbeitsraum durch den Verdränger in jeweils zwei Expansions- bzw. zwei Kompressionsräume geteilt, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen eines Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum zugeordneten Regenerator zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine strömt und nach der Arbeitsmaschine in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes strömt und anschließend durch die Bewegung des Verdrängers von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum zugeordneten Regenerator in den anderen Expansionsraum des Arbeitsraumes strömt. Wie bereits erwähnt, ermöglicht dieser „Niedertemperatur“ Motor die
50 Nutzung von Niedertemperatur für die Stromgewinnung als auch Gewinnung von Kälte.

55

Es ist aber auch Aufgabe der Erfindung eine Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu schaffen.

Die erfindungsgemäße Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei geschlossene Arbeitsräume vorgesehen sind, wobei jeder Arbeitsraum durch einen über einen Antrieb bewegbaren Verdränger in zwei Sektionen geteilt ist und jeder Arbeitsraum einen ihm zugeordneten Regenerator aufweist, wobei beide Sektionen mit diesem Regenerator verbunden sind und dass mindestens eine Sektion jedes Arbeitsraumes mit einer Arbeitsmaschine verbunden ist, wobei die zur nachfolgenden Abgabe der Nutzarbeit herangezogene Sektion mit der korrespondierenden Sektion des anderen Arbeitsraumes verbunden ist und dass zur Steuerung des Arbeitsmediums Steuerorgane, insbesondere Ventile, vorgesehen sind. Wie bereits weiter oben erwähnt, wird mit der erfindungsgemäßen Einrichtung eine höhere Leistungsdichte erreicht.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Einrichtung ist darin zu sehen, dass die Maschine mit einer niedrigen Taktfrequenz betrieben werden kann. Die Arbeitsräume besitzen keine echten Kolbendichtungen und umgehen damit das Dichtungsproblem, das besonders bei größeren Kolbenvolumen auftritt. Durch den Wegfall dieses Problems können großvolumige Arbeitsräume Verwendung finden, die mit niedriger Taktfrequenz und diskontinuierlich betrieben werden können. Dadurch wird eine Annäherung an den idealen Stirlingprozess erreicht.

Durch die um den Faktor 10 bis 40 niedrigere Taktfrequenz und damit höhere Wärmeübergangszeit als bei herkömmlichen Stirling-Motoren können isotherme Prozesse besser realisiert werden. Die großen Wärmeübergangsflächen an den Arbeitsräumen kommen der Verwendung von Biomassebrennstoffen entgegen.

Ein weiterer Vorteil ist in der Minimierung des Totraumes zu finden. Der Totraum ist das Volumen, das am thermodynamischen Prozess nicht mitwirkt und sich dadurch schädlich auf den Wirkungsgrad auswirkt. Er entsteht virtuell durch sinusförmige Bewegung der Arbeitskolben, und real durch die vom Arbeitsmedium durchströmten Volumen des Regenerators, der Erhitzerrohre, etc. Durch das Verhältnis der großvolumigen Arbeitsräume und den dazu im Verhältnis kleinvolumigen Bauteilen wie Arbeitsmaschine, Regenerator, Erhitzer und Kühler ergibt sich ein günstiges Verhältnis von Totraum zu Arbeitsraum und liegt um ein vielfaches unter dem zur Zeit gebauten Maschinen.

Vorteilhaft ist auch die Minimierung der Antriebskräfte. Sie setzen sich zusammen aus dem Strömungswiderstand des isochoren Überschiebens des Arbeitsmediums innerhalb der Arbeitsräume, das Betätigen der Ventile und gegebenenfalls die Kompression des Arbeitsmediums durch einen Verdichter. Einer der Hauptkomponenten, die Reibung der trocken laufenden Kolbendichtungen zusammen mit der Reibung des Kurbeltriebes entfallen.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass durch den Wegfall von bewegten, Temperatur belasteten und trocken laufenden Dichtungen, die das Hauptproblem bisher dargestellt haben, es möglich ist, diesen Motor im Standard-Maschinenbau herzustellen. Die Trennung von Arbeitsraum und Arbeitsmaschine lassen den Einsatz von Standard-Maschinenelementen zu. Der Generator hat aufgrund der sich schnell drehenden Arbeitsmaschine eine kleinere Baugröße. Der Wegfall der mechanischen Antriebseinheit vereinfacht den Aufbau zusätzlich. Der Verdränger muß nicht mit der Arbeitsmaschine synchronisiert werden, der optimale Arbeitspunkt kann jeweils getrennt voneinander eingestellt werden.

Nach einem besonderen Merkmal der Erfindung ist in den Verbindungen zwischen Arbeitsmaschine und den einzelnen Sektionen jeweils mindestens ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil vorgesehen. Diese dienen der Entkoppelung des Arbeits- und Regeneratortaktes. Statt der Steuerung über Ventile könnte auch eine Schlitzsteuerung eingesetzt werden.

Gemäß einem weiteren besonderen Merkmal der Erfindung sind vier, sechs oder mehr geradzahlige Arbeitsräume vorgesehen, wobei zwei Arbeitsräume immer miteinander gekoppelt sind. Durch die steigende Anzahl von gekoppelten Arbeitsräumen sinkt die Prozess bedingte Welligkeit an der Arbeitsmaschine und der Regeneratortakt kann gegenüber dem Arbeitstakt verlängert werden.

Nach einem ganz besonderen Merkmal der Erfindung ist die Arbeitsmaschine eine Turbine, insbesondere eine Axial-, Radial- oder Teslaturbine. Durch die Verwendung von Turbinen ist der Wegfall von bewegten, Temperatur belasteten und trocken laufenden Dichtungen gegeben, die das Hauptproblem bei Kolben betriebenen Stirlingmotoren darstellen. Bei der Scheiben oder Teslaturbine ist insbesondere eine bessere isotherme Expansion oder Kompression möglich.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Arbeitsmaschine ein Kolbenmotor. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass sie billig ist und mit Standardbauteilen ausgeführt werden kann.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist die Arbeitsmaschine ein Schraubenmotor. Der Schraubenmotor bietet wie die Turbinen den Vorteil der wegfallenden Dichtungen.

Nach einer besonderen Weiterbildung der Erfindung ist der Antrieb für den Verdränger ein Linearantrieb. Der Linearantrieb gewährleistet einen genau steuerbare Beschleunigung und Abbremsung des Verdrängers. Dadurch ist eine diskontinuierliche Bewegung, wie es dem idealen thermodynamischen Prozess entspricht, verlustarm möglich. Alle Durchführungen und somit Dichtungen für Gestänge oder Kurbeltrieb können entfallen. Eine mögliche schnelle Leistungsregelung ist durch die Änderung der Verdrängertaktfrequenz augenblicklich möglich und muß nicht durch die Veränderung der oberen Temperatur induziert werden. Damit ist im Teillastbereich eine sehr gut Steuerung möglich.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist dem Regenerator gegebenenfalls ein Erhitzer vor- und/oder nachgeschaltet. Der Erhitzer führt zusätzlich zum Erhitzerkopf des Arbeitsraumes dem Arbeitsmedium Energie zu, er vergrößert somit die Gesamtaufnahme fläche im heißen Bereich.

Eine besondere Ausführungsvariante der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsraum durch den Verdränger in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt ist, dass der Expansionsraum mit dem diesen Arbeitsraum zugeordneten Regenerator und der Regenerator mit der Arbeitsmaschine verbunden ist, dass die Abströmseite der Arbeitsmaschine mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes verbunden ist und dieser Kompressionsraum über den diesen Arbeitsraum zugeordneten Regenerator mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes verbunden ist, wobei zwischen Regenerator und Anströmseite der Arbeitsmaschine und Abströmseite der Arbeitsmaschine und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil, vorgesehen ist. Hier gelten sinngemäß die Vorteile, die bereits weiter oben zum „kalten“ Motor aufgezeigt wurden.

Eine weitere besondere Ausführung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsraum durch den Verdränger in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt ist, dass der Expansionsraum mit der Anströmseite der Arbeitsmaschine und die Arbeitsmaschine mit ihrer Abströmseite über den Regenerator und gegebenenfalls über einen Verdichter mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes verbunden ist und dieser Kompressionsraum über den diesen Arbeitsraum zugeordneten Regenerator mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes verbunden ist, wobei zwischen Expansionsraum und Anströmseite der Arbeitsmaschine und Austrittsseite des Regenerators und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil, vorgesehen ist. Hier gelten sinngemäß die Vorteile, die bereits weiter oben zum „heißen“ Motor aufgezeigt wurden.

Eine andere alternative Ausführung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitsraum durch den Verdränger in jeweils zwei Expansions- bzw. zwei Kompressionsräume geteilt ist, dass jeder Expansionsraum über einen Regenerator mit der Anströmseite der Arbeitsmaschine und die Abströmseite der Arbeitsmaschine mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes verbunden ist und dieser Kompressionsraum über einen Regenerator mit dem Expansionsraum des anderen Arbeitsraumes verbunden ist, wobei zwischen dem den Expansionsraum nachgeschalteten Regenerator und der Anströmseite der Arbeitsmaschine und der Austrittsseite der Arbeitsmaschine und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil, vorgesehen ist. Hier gelten sinngemäß die Vorteile, die bereits weiter oben zum „Niedertemperatur“ Motor aufgezeigt wurden.

Natürlich könnten auch die heißen Gase expandiert werden, sinngemäß dem Arbeitsprinzip des heißen Motors.

Die Erfindung wird an Hand von Ausführungsbeispielen, die in der Zeichnung dargestellt sind, näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 die Einrichtung zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie als heißer Motor,
Fig. 2 die Einrichtung als kalter Motor und
Fig. 3 die Einrichtung als Niedertemperaturmotor.

Einführend sei festgehalten, dass in der beschriebenen Ausführungsform gleiche Teile bzw. Zustände mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile bzw. Zustände mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können.

Gemäß der Fig. 1 weist die Einrichtung unter Verwendung eines Arbeitsmediums zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie zwei geschlossene Arbeitsräume 1, 2 auf, wobei jeder Arbeitsraum 1, 2 durch einen bewegbaren Verdränger 3, 4 in zwei Sektionen, nämlich in einen Expansions- und einen Kompressionsraum, geteilt ist. Jeder Verdränger 3, 4 ist über einen Antrieb, insbesondere über einen Linearantrieb 5, bewegbar. Jeder Arbeitsraum 1, 2 weist einen ihm zugeordneten Regenerator 6, 7 auf. Beide Sektionen des Arbeitsraumes 1 bzw. 2 sind mit diesem Regenerator 6 bzw. 7 über Leitungen 8, 9 bzw. 10, 11 verbunden.

Eine Sektion - im dargestellten Fall der Expansionsraum - jedes Arbeitsraumes 1, bzw. 2 ist mit einer Arbeitsmaschine 12 verbunden. Der zur Abgabe der Nutzarbeit herangezogene Expansionsraum des Arbeitsraumes 1 ist nach der Arbeitsmaschine 12 mit der korrespondierenden Sektion - also mit dem Kompressionsraum - des Arbeitsraumes 2 verbunden.

Zur Steuerung des Arbeitsmediums sind Steuerorgane, insbesondere Ventile 13, vorgesehen, die zwischen der Arbeitsmaschine 12 und den einzelnen Sektionen des Arbeitsraumes 1 bzw. 2 angeordnet sind. Statt der Ventile 13 könnte auch eine Schlitzsteuerung Anwendung finden.

Als Arbeitsmaschine 12 kann eine Turbine, insbesondere eine Axial- oder Radialturbine Verwendung finden. Natürlich ist als Arbeitsmaschine 12 auch ein Kolben- oder Schraubenmotor möglich. Die Arbeitsmaschine 12 ist über eine Welle 17 mit dem Generator 18 verbunden.

Das Arbeitsmedium durchläuft im idealen Prozess folgende Zustandsänderungen:

- isotherme Verdichtung unter Wärmeabfuhr in einem Kompressionsraum
- isochore Wärmeaufnahme in einem Regenerator 6 bzw. 7 während des Überschiebens des

Arbeitsmediums vom Kompressionsraum in einen Expansionsraum

- isotherme Expansion unter Zufuhr von Wärme im Expansionsraum unter Abgabe von Nutzarbeit

5 - isochore Wärmeabfuhr im Regenerator 6 bzw. 7 beim Zurückschieben in den Kompressionsraum.

10 Generell kann aufgezeigt werden, dass das Arbeitsmedium zwischen den zwei doppelt wirkenden, geschlossenen Arbeitsräumen 1, 2 hin und her strömt. Zur Abgabe von Nutzarbeit wird das Arbeitsmedium zwischen den Arbeitsräumen 1, 2 über eine Arbeitsmaschine 12 geführt. Anschließend strömt das Arbeitsmedium im doppelt wirkenden Arbeitsraum 1, 2 mittels des Verdrängers 3 bzw. 4 von einer Seite durch den Regenerator 6 bzw. 7 auf die andere Seite des Verdrängers 3 bzw. 4, wobei der Fluss des Arbeitsmediums über die Ventile 13 gesteuert wird und jeder Verdränger 3, 4 über einen Antrieb 5 bewegt wird.

15 Wie bereits erwähnt, ist gemäß der Fig. 1 die Einrichtung, auch als 4-Quadranten-Turbine bezeichnet, als „heißer“ Motor aufgezeigt, da das Arbeitsmedium in seinem temperaturhöchsten Zustand über die Arbeitsmaschine 12 geführt wird. Der Expansionsraum ist mit der Anströmseite der Arbeitsmaschine 12 und die Arbeitsmaschine 12 mit ihrer Abströmseite über den Regenerator 6 bzw. 7 und über einen Verdichter 19 mit dem Kompressionsraum des gekoppelten
20 anderen Arbeitsraumes 2 verbunden. Dieser Kompressionsraum ist über den diesen Arbeitsraum 2 zugeordneten Regenerator 7 mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes 2 verbunden, wobei zwischen Expansionsraum und Anströmseite der Arbeitsmaschine 12 und Austrittsseite des Regenerators 7 und Kompressionsraum jeweils ein Ventil 13 vorgesehen ist.

25 Der Regenerator 6 bzw. 7 besteht aus einem Erhitzer 14, einem Koppelregenerator 15 und einem Kühler 16, wobei der Expansionsraum mit dem Erhitzer 14 und der Kompressionsraum mit dem Kühler 16 verbunden sind. Darüber hinaus ist der Regenerator 6 bzw. 7 in vertikaler Richtung in einzelne Sektoren unterteilt. Diese Sektoren sind zueinander entsprechend abgedichtet. In den inneren Sektoren strömt das Arbeitsmedium von der Arbeitsmaschine 12 zum
30 Verdichter 19 und die äußeren Sektoren dienen für den Regeneratortakt des Arbeitsmediums.

Der Expansionsraum ist mit dem diesem Arbeitsraum 1 zugeordneten Erhitzer 14 des Regenerators 6 und der Regenerator 6 mit der Arbeitsmaschine 12 verbunden. Die Abströmseite der Arbeitsmaschine 12 ist über den Kühler 16 mit dem Kompressionsraum des gekoppelten
35 anderen Arbeitsraumes 2 verbunden und dieser Kompressionsraum ist über den diesen Arbeitsraum 2 zugeordneten Regenerator 7 mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes 2 verbunden. Zwischen Regenerator 6 bzw. 7 und Anströmseite der Arbeitsmaschine 12 und Abströmseite der Arbeitsmaschine 12 bzw. Verdichter 19 und Kompressionsraum ist jeweils ein Ventil 13 vorgesehen.

40 Gemäß der Fig. 2 ist die 4-Quadranten-Turbine als „kalter“ Motor aufgezeigt. Der Arbeitsraum 1, 2 ist wieder durch den Verdränger 3, 4 in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt.

45 In diesem Fall strömt das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen des Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum 1 zugeordneten Regenerator 6 zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine 12 und nach der Arbeitsmaschine 12 in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes 2. Anschließend strömt das Arbeitsmedium durch die Bewegung des Verdrängers 4 von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum 2
50 zugeordneten Regenerator 7 in den Expansionsraum desselben Arbeitsraumes 2.

Gemäß der Fig. 3 ist die Einrichtung als Niedertemperaturmotor aufgezeigt. Dabei werden die Verdränger 3, 4 über eine starre Verbindung 20 über einen Antrieb 5 bewegt. Der Arbeitsraum 1, 2 ist durch den Verdränger 3, 4 in jeweils zwei Expansions- bzw. zwei Kompressionsräume
55 geteilt. Jeder Expansionsraum des Arbeitsraumes 1 ist über einen Regenerator 6, 7 mit der

Anströmseite der Arbeitsmaschine 12 und die Abströmseite der Arbeitsmaschine 12 mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes 2 verbunden. Dieser Kompressionsraum ist über die Regeneratoren 6 bzw. 7 mit dem Expansionsraum des anderen Arbeitsraumes 1 verbunden, wobei zwischen dem den Expansionsraum nachgeschalteten Regenerator 6 bzw. 7 und der Anströmseite der Arbeitsmaschine 12 und der Austrittsseite der Arbeitsmaschine 12 und Kompressionsraum jeweils ein Ventil 13 vorgesehen ist.

Das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium strömt nach Verlassen eines Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum 1 zugeordneten Regenerator 6 bzw. 7 zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine 12 und nach der Arbeitsmaschine 12 in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes 2. Anschließend strömt durch die Bewegung des Verdrängers 3 bzw. 4 das Arbeitsmedium von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum 2 zugeordneten Regenerator 6 bzw. 7 in den anderen Expansionsraum des Arbeitsraumes 1.

Zur Kühlung des Arbeitsraumes 2 kann dieser beispielsweise im Erdreich angeordnet werden.

Darüber hinaus können die Verdränger 3 bzw. 4 auch als gekoppelte Membranen ausgeführt werden.

Abschließend sei der Ordnung halber darauf hingewiesen, dass in der Zeichnung einzelne Bauteile und Baugruppen zum besseren Verständnis der Erfindung unproportional und maßstäblich verzerrt dargestellt sind.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie, wobei ein Arbeitsmedium in mindestens einem durch einen Verdränger getrennten, doppelt wirkenden Arbeitsraum die folgenden Zustandsänderungen im idealen Prozess durchläuft:
 - isotherme Verdichtung unter Wärmeabfuhr in einem Kompressionsraum
 - isochore Wärmeaufnahme ein einem Regenerator während des Überschiebens des Arbeitsmediums vom Kompressionsraum in einen Expansionsraum
 - isotherme Expansion unter Zufuhr von Wärme im Expansionsraum unter Abgabe von Nutzarbeit
 - isochore Wärmeabfuhr im Regenerator beim Zurückschieben in den Kompressionsraum, *dadurch gekennzeichnet, dass* das Arbeitsmedium zwischen mindestens zwei doppelt wirkenden, geschlossenen Arbeitsräumen (1, 2) hin und her strömt, wobei zur Abgabe von Nutzarbeit das Arbeitsmedium zwischen den Arbeitsräumen (1, 2) über eine Arbeitsmaschine (12) geführt wird und anschließend das Arbeitsmedium im doppelt wirkenden Arbeitsraum (1, 2) mittels des Verdrängers (3, 4) von einer Seite durch den Regenerator (6, 7) auf die andere Seite des Verdrängers (3, 4) strömt, wobei der Fluss des Arbeitsmediums über Steuerorgane, insbesondere Ventile (13), gesteuert wird und jeder Verdränger (3, 4) über einen Antrieb (5) bewegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet, dass* jeder Verdränger (3, 4) über einen eigenen Antrieb (5) bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet, dass* die Verdränger (3, 4) der gekoppelten Arbeitsräume (1, 2) über eine starre Verbindung (20) über einen Antrieb bewegt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet, dass* der Arbeitsraum (1 bzw. 2) durch den Verdränger (3 bzw. 4) in einen Expansions- und einen Kom-

pressionsraum geteilt wird, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen des Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum (1 bzw. 2) zugeordneten Regenerator (6 bzw. 7) zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine (12) und nach der Arbeitsmaschine (12) in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt und anschließend durch die Bewegung des Verdrängers (3 bzw. 4) von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum (1 bzw. 2) zugeordneten Regenerator (6 bzw. 7) in den Expansionsraum desselben Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt.

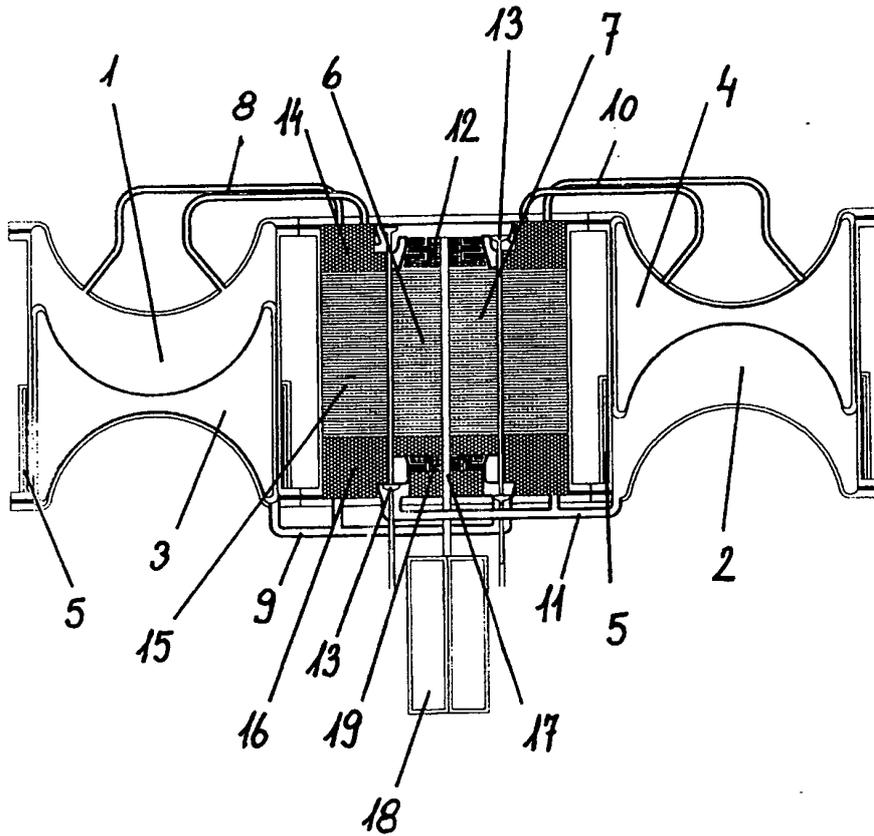
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Arbeitsraum (1 bzw. 2) durch den Verdränger (3 bzw. 4) in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt wird, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen des Expansionsraumes zur Abgabe von Nutzarbeit, gegebenenfalls über einen Erhitzer (14), über die Arbeitsmaschine (12) strömt und anschließend über den Regenerator (6 bzw. 7) und gegebenenfalls über einen Verdichter (19), gegebenenfalls über einen weiteren Kühler (16), in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt und anschließend durch die Bewegung des Verdrängers (3 bzw. 4) von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum (1 bzw. 2) zugeordneten Regenerator (6 bzw. 7) in den Expansionsraum desselben Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 oder 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Arbeitsraum (1 bzw. 2) durch den Verdränger (3 bzw. 4) in jeweils zwei Expansions- bzw. zwei Kompressionsräume geteilt wird, wobei das zur Nutzarbeit herangezogene Arbeitsmedium nach Verlassen eines Expansionsraumes über den diesen Arbeitsraum (1 bzw. 2) zugeordneten Regenerator (6 bzw. 7) zur Abgabe von Nutzarbeit über die Arbeitsmaschine (12) strömt und nach der Arbeitsmaschine (12) in den Kompressionsraum des gekoppelten Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt und anschließend durch die Bewegung des Verdrängers (3 bzw. 4) von der Kompressionsseite durch den diesem Arbeitsraum (3 bzw. 4) zugeordneten Regenerator (6 bzw. 7) in den anderen Expansionsraum des Arbeitsraumes (1 bzw. 2) strömt.
7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass mindestens zwei geschlossene, Arbeitsräume (1, 2) vorgesehen sind, wobei jeder Arbeitsraum (1, 2) durch einen über einen Antrieb (5) bewegbaren Verdränger (3, 4) in zwei Sektionen geteilt ist und jeder Arbeitsraum (1, 2) einen ihm zugeordneten Regenerator (6, 7) aufweist, wobei beide Sektionen mit diesem Regenerator (6, 7) verbunden sind und dass mindestens eine Sektion jedes Arbeitsraumes (1, 2) mit einer Arbeitsmaschine (12) verbunden ist, wobei die zur nachfolgenden Abgabe der Nutzarbeit herangezogene Sektion mit der korrespondierenden Sektion des anderen Arbeitsraumes (1, 2) verbunden ist und dass zur Steuerung des Arbeitsmediums Steuerorgane, insbesondere Ventile (13), vorgesehen sind.
8. Einrichtung nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass in den Verbindungen zwischen Arbeitsmaschine (12) und den einzelnen Sektionen jeweils mindestens ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil (13), vorgesehen ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass vier, sechs oder mehr geradzahlige Arbeitsräume (1, 2) vorgesehen sind, wobei zwei Arbeitsräume (1, 2) immer miteinander gekoppelt sind.
10. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Arbeitsmaschine (12) eine Turbine, insbesondere eine Axial- Radial- oder Teslaturbine ist.
11. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Arbeitsmaschine (12) ein Kolbenmotor ist.

12. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Arbeitsmaschine (12) ein Schraubenmotor ist.
13. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Antrieb (5) für den Verdränger ein Linearantrieb ist.
14. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Regenerator (6, 7) gegebenenfalls ein Erhitzer (14) vor- und/oder gegebenenfalls ein Kühler (16) nachgeschaltet ist.
15. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Arbeitsraum (1, 2) durch den Verdränger (3, 4) in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt ist, dass der Expansionsraum mit dem diesem, Arbeitsraum (1, 2) zugeordneten Regenerator (6, 7) und der Regenerator (6, 7) mit der Arbeitsmaschine (12) verbunden ist, dass die Abströmseite der Arbeitsmaschine (12) mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes (1, 2) verbunden ist und dieser Kompressionsraum über den diesen Arbeitsraum (1, 2) zugeordneten Regenerator (6, 7) mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes (6, 7) verbunden ist, wobei zwischen Regenerator (6, 7) und Anströmseite der Arbeitsmaschine (12) und Abströmseite der Arbeitsmaschine (12) und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil (13), vorgesehen ist.
16. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Arbeitsraum (1, 2) durch den Verdränger (3, 4) in einen Expansions- und einen Kompressionsraum geteilt ist, dass der Expansionsraum mit der Anströmseite der Arbeitsmaschine (12) und die Arbeitsmaschine (12) mit ihrer Abströmseite über den Regenerator (6, 7) und gegebenenfalls über einen Verdichter (19) mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes (1, 2) verbunden ist und dieser Kompressionsraum über den diesen Arbeitsraum (1, 2) zugeordneten Regenerator (6, 7) mit dem Expansionsraum desselben Arbeitsraumes (1, 2) verbunden ist, wobei zwischen Expansionsraum und Anströmseite der Arbeitsmaschine (12) und Austrittsseite des Regenerators (6, 7) und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil (13), vorgesehen ist.
17. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 7 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Arbeitsraum (1 bzw. 2) durch den Verdränger (3 bzw. 4) in jeweils zwei Expansions- bzw. zwei Kompressionsräume geteilt ist, dass jeder Expansionsraum über einen Regenerator (6 bzw. 7) mit der Anströmseite der Arbeitsmaschine (12) und die Abströmseite der Arbeitsmaschine (12) mit dem Kompressionsraum des gekoppelten anderen Arbeitsraumes (1 bzw. 2) verbunden ist und dieser Kompressionsraum über einen Regenerator (6 bzw. 7) mit dem Expansionsraum des anderen Arbeitsraumes (1 bzw. 2) verbunden ist, wobei zwischen dem den Expansionsraum nachgeschalteten Regenerator (6 bzw. 7) und der Anströmseite der Arbeitsmaschine (12) und der Austrittsseite der Arbeitsmaschine (12) und Kompressionsraum jeweils ein Steuerorgan, insbesondere ein Ventil (13), vorgesehen ist.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen



Fig. 1



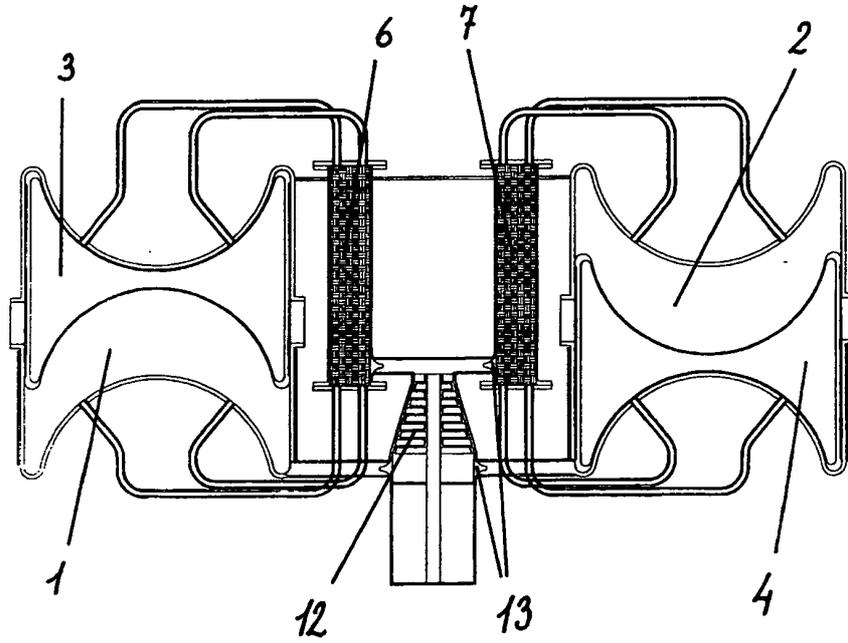


Fig. 2

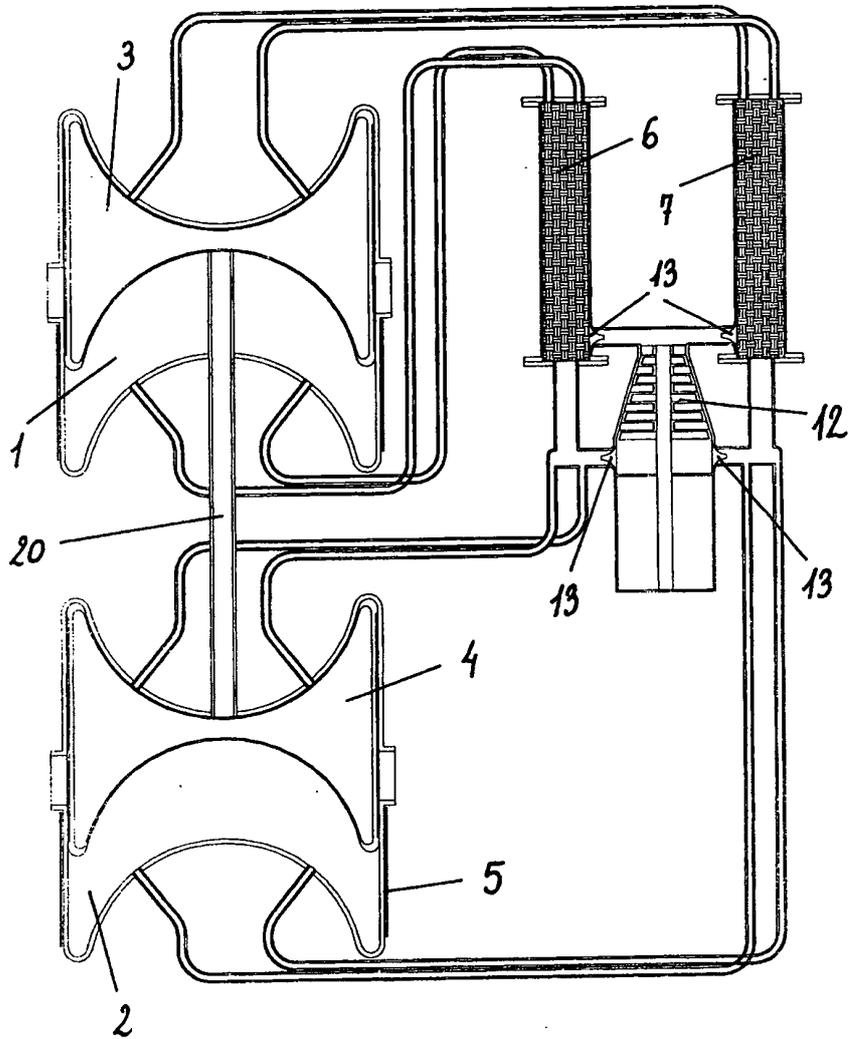


Fig. 3