



Europäisches Patentamt

(19)

European Patent Office

Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 570 731 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **93106852.2**

(51) Int. Cl. 5: **F02G 1/043**

(22) Anmeldetag: **28.04.93**

(30) Priorität: **21.05.92 DE 4216839**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.11.93 Patentblatt 93/47

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC NL
PT SE**

(71) Anmelder: **Weber, Eckhart
Am Laufer Schlagturm 6
W-8500 Nürnberg 1(DE)**

(72) Erfinder: **Weber, Eckhart
Am Laufer Schlagturm 6
W-8500 Nürnberg 1(DE)**

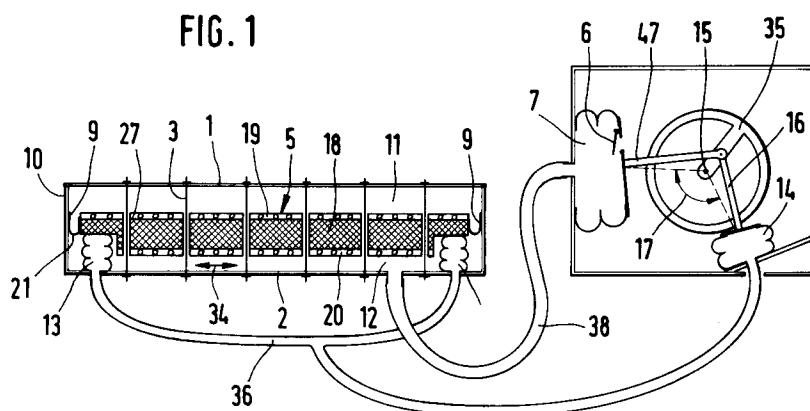
(74) Vertreter: **Böhme, Volker, Dipl.-Ing.
Patentanwälte
Dipl.-Ing. E. Kessel
Dipl.Ing. V. Böhme
Karolinenstrasse 27
D-90402 Nürnberg (DE)**

(54) Stirlingmaschine mit Wärmetauscher.

(57) Es gibt eine Stirlingmaschine, bei der zwischen zwei Gehäuseplatten 1,2 eine Verdrängerplatte 5 hin- und herbeweglich ist, die entlang dem Umfang frei von Gleitreibung gegenüber den Stirnseiten 10 des Gehäuses ist. Dabei ist es erwünscht, wenn die Stirlingmaschine für vergrößerte Leistungsbereiche bei verringertem Bauaufwand ausgelegt ist, indem die Gehäuseplatten und die Verdrängerplatte unter Berücksichtigung der Gehäuse-Druckfestigkeit möglichst groß gestaltet sind. Dies ist erreicht, indem die beiden Gehäuseplatten 1,2 durch verteilt angeordne-

te Streben 3 gegeneinander auf Distanz gehalten sind, wobei die Streben rechtwinkelig zu der Verdrängerplatte 5 verlaufend durch diese hindurchtreten, und indem die Verdrängerplatte 5 entlang ihrer Stirnkanten durch lineare Rollmembranen 9 gegenüber den Gehäuse-Stirnseiten 10 geführt ist. Die Gehäuseplatten sind durch die Streben über ihre Fläche hin gegeneinander stabilisiert und die Verdrängerplatte ist durch die Rollmembranen in Hinblick auf die Streben genau parallel geführt.

FIG. 1



Die Erfindung betrifft eine Stirlingmaschine mit Wärme-tauscher, die für Nieder- bis Mitteltemperaturbetrieb, d.h. für kleines Kompressionsverhältnis und großes verdrängtes Volumen ausgelegt ist, bei der zwischen zwei zueinander parallelen Gehäuseplatten eines Gehäuses eine Verdrängerplatte hin- und herbeweglich ist, die entlang dem Umfang frei von Gleitreibung gegenüber den Stirnseiten des Gehäuse ist, bei der die Verdrängerplatte zwei Arbeitsgasteilvolumina: Expansionsraum und Kompressionsraum voneinander trennt, denen zum Wärmeaustausch Kühler und Erhitzer zugeordnet sind, bei der die beiden Arbeitsgasteilvolumina über einen Regenerator miteinander verbunden sind, und bei der die Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte sich unter Phasenversatz im Takt mit einem Arbeitskolben befindet.

Bei einer bekannten (DE-DS 30 15 815) Stirlingmaschine dieser Art sind die beiden Gehäuseplatten nur über die die Stirnseiten bildenden Wandungen gegeneinander abgestützt und besitzt die Verdrängerplatte an den Stirnkanten Spiel gegenüber den Stirnseiten des Gehäuses. Wenn man bei dieser Stirlingmaschine die Gehäuseplatten und die Verdrängerplatte flächenmäßig größer gestalten will, um größere Leistung zu erreichen, so sind dem Grenzen gesetzt, weil die Gehäuseplatten dem erhöhten Druck nur bei aufwendiger Gestaltung standhalten. Deshalb sind bei der bekannten Stirlingmaschine eine Vielzahl relativ kleiner Motormodule zu einem Aggregat zusammengefaßt, um eine Maschine in dem erhöhten Leistungsbereich zu verwirklichen. Der mit einer Vielzahl relativ kleiner Motormodule verbundene Bauaufwand ist relativ groß, da jedes Modul zu fertigen ist und über mehrere Gestänge mit der Motorwelle zu verbinden ist.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Stirlingmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, die für vergrößerte Leistungsbereiche bei verringertem Bauaufwand ausgelegt ist, indem die Gehäuseplatten und die Verdrängerplatte unter Berücksichtigung der Gehäuse-Druckfestigkeit möglichst groß gestaltet sind. Die erfindungsgemäße Stirlingmaschine ist, diese Aufgabe lösend, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Gehäuseplatten durch verteilt angeordnete Streben gegenüber einander auf Distanz gehalten sind, wobei die Streben rechtwinkelig zu der Verdrängerplatte verlaufend durch diese hindurch treten, und daß die Verdrängerplatte entlang ihren Stirnkanten durch lineare Rollmembranen gegenüber den Gehäuse-Stirnseiten geführt ist.

Bei der erfindungsgemäßen Stirlingmaschine lassen sich die Gehäuseplatten und die Verdrängerplatte ungewöhnlich groß gestalten, da die Gehäuseplatten über ihre Fläche hin durch die Streben gegeneinander stabilisiert sind. Es läßt sich

z.B. ein Leistungsbereich 50 - 500 W erreichen, wobei die Gehäuseplatten mehrere Quadratmeter groß sind und in den Arbeitsgasteilvolumina Arbeitsdrücke von 10.000 pa und mehr auftreten. Die Streben sollen die Verdrängerplatte möglichst dicht geführt passieren, damit die strebenbedingten Durchgänge durch die Verdrängerplatte nicht zu untragbaren Gasverbindungen zwischen Expansionsraum und Kompressionsraum führen. Deshalb ist eine genaue Parallelführung der Verdrängerplatte nötig und diese genaue Parallelführung ist durch die Rollmembranen gegeben. Durch die Rollmembranen ist eine praktisch brauchbare Anwendung der Streben zwischen den Gehäuseplatten erreicht.

Die Verbindung zwischen der Verdrängerplatte und der Motorwelle kann in herkömmlicher Weise ausschließlich über Gestänge erfolgen. Besonders zweckmäßig und vorteilhaft ist es jedoch, wenn zur Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte zwischen dieser und der einen Gehäuseplatte Bewegungs-Luftbälge vorgesehen sind, die mittels eines Steuerbalges, mit diesem zur Luftzufuhr- und -abfuhr leitend verbunden, betätigbar sind, der von der Motorwelle über eine Pleuelstange kontrahierbar und expandierbar ist. Die Betätigung der Verdrängerplatte mittels der über die Fläche verteilten Bewegungs-Luftbälge ergibt eine verbesserte Parallelführung der Verdrängerplatte. Insbesondere wird die Gleitreibung von geführten Bewegungs-Stangen des verbindenden Gestänges vermieden. Die Anbindung der Verdrängerplatte an die Motorwelle mittels der Bewegungs-Luftbälge, der Luftzufuhr und -abfuhr und des Steuerbalges ist bei einer erheblich vergrößerten Verdrängerplatte wichtig, für die genaue Parallelführung zu den Gehäuseplatten und Reibungsarmut bei der Bewegung entscheidend sind. Das Volumen der Bewegungs-Luftbälge wird durch die Änderung der Phasenlage zwischen der Bewegung der Verdrängerplatte, d.h. der Bewegung des Steuerbalges und der Bewegung des Arbeitsbalges von normalerweise 90 Grad auf größer 90 Grad kompensiert.

Die Streben sind so ausbildbar, daß sie Zug- und Druckkräfte aufnehmen können. Eine kleine Verbindung vom Motorraum ins Freie sorgt dafür, daß der Luftdruck im Arbeitsbalg im Mittel mit dem Atmosphärendruck identisch ist.

Besonders zweckmäßig und vorteilhaft ist es, wenn entweder die Streben jeweils als verspannende Zuganker ausgebildet sind und ein Rückschlagventil den Luftdruck im Arbeitsbalg auf gleich oder größer Atmosphärendruck einstellt, oder die Streben jeweils als versteifende Stützen ausgebildet sind und ein Rückschlagventil den Luftdruck im Arbeitsbalg auf gleich oder kleiner Atmosphärendruck einstellt. Bei dieser wahlweisen Ausbildung ist die Funktion der Streben eindeutig und die Bauaufwendung vereinfacht. Die Festlegung auf

entweder nur Druckverhältnisse oder nur Saugverhältnisse macht auch jeweils spezielle Anwendungsmöglichkeiten machbar.

Eine besonders zweckmäßige und vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung liegt vor, wenn der Regenerator an der Verdrängerplatte vorgesehen ist und sich über deren gesamte Fläche erstreckt. Dies vereinfacht die Dicht- und Führungsverhältnisse zwischen den Stirnkanten der Verdrängerplatte und den Stirnseiten-Wandungen des Gehäuses. Es liegt auch eine Anpassung der Dimension des Regenerators an die vergrößerten Flächen der erfindungsgemäßen Wärmetauscher vor und der Strömungswiderstand des Regenerators wird herabgesetzt.

Der Regenerator wirkt durch das Volumen der Verdrängerplatte hindurch, die z.B. eine Dicke von 0,1 m aufweist und z.B. aus offenporigem Polysterschaum gefertigt ist. Der bewegte Regenerator bildet an den den Gehäuseplatten zugewandten Oberflächen die Wärmetauscher, die sich mit der Gehäuseplatte mitbewegen und gasdurchströmbar ausgebildet sind. Der Kühler-Wärmetauscher ist in der Regel bei waagerechter Verdrängerplatte unten angeordnet.

Die vorliegende Stirlingmaschine im Leistungsbereich 50 - 500 W ist besonders geeignet in sonnenreichen Gegenden Wasser zu fördern, Kälte und Strom zu erzeugen oder Getreide zu mahlen. Sie ist aus einfachen Materialien ohne Präzisions-teile herstellbar und daher geeignet auch in nichtindustrialisierten Ländern gefertigt zu werden.

In der Zeichnung sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung dargestellt und zeigt

- Fig. 1 eine erste Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, schematisch im Schnitt,
- Fig. 2 eine Einzelheit der Stirlingmaschine gemäß Fig. 1 in einem gegenüber Fig. 1 vergrößerten Maßstab,
- Fig. 3 eine zweite Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, schematisch im Schnitt,
- Fig. 4 eine dritte Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, schematisch im Schnitt,
- Fig. 5 und 6 jeweils einen Saugbalg, schematisch im Schnitt,
- Fig. 7 einen Druckbalg, schematisch im Schnitt,
- Fig. 8 eine perspektivische Ansicht der Rollmembranen um die Verdrängerplatte,
- Fig. 9 ein Indikatordiagramm für den Zusammenhang von Arbeitsgasdruck und Arbeitsgasvolumen,
- Fig. 10 Kurvenverläufe von Einzelzu-

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 13

Fig. 14

Fig. 15

Fig. 16

Fig. 17

Fig. 18

Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21

Fig. 22

Fig. 23

Fig. 24

Fig. 25

ständen in einer Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, eine vierte Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, schematisch im Schnitt,

Kurvenverläufe von Einzelzuständen der Stirlingmaschine gemäß Fig. 11,

ein Verdrängerplattengehäuse einer fünften Stirlingmaschine, schematisch im Schnitt,

ein Verdrängerplattengehäuse einer sechsten Stirlingmaschine, schematisch im Schnitt,

eine Seitenansicht einer ersten vergrößerten Gehäuseplatte,

eine perspektivische Ansicht einer zweiten vergrößerten Gehäuseplatte,

eine achte Stirlingmaschine in einer ersten Ausführung ohne Steuerbalg, schematisch im Schnitt,

eine neunte Stirlingmaschine in einer zweiten Ausführung ohne Steuerbalg, schematisch im Schnitt,

eine zehnte Stirlingmaschine in einer dritten Ausführung ohne Steuerbalg, schematisch im Schnitt,

eine elfte Stirlingmaschine mit einer zweiten Ausführung des unteren Wärmetauschers, schematisch im Schnitt,

eine zwölfte Stirlingmaschine in einer Ausführung ohne Motorwelle, schematisch im Schnitt,

eine perspektivische Ansicht einer Stirlingmaschine gemäß Fig. 1 mit zweiachsig der Sonne nachführbarem Verdrängerkasten,

eine perspektivische Ansicht einer Stirlingmaschine gemäß Fig. 3 mit Sonnenkollektorfeld,

eine perspektivische Ansicht einer Gruppe von Stirlingmaschinen gemäß Fig. 3, die ein Stirlingkühlaggregat ebenfalls gemäß Fig. 3 antreiben, und

eine perspektivische Ansicht einer großen Stirlingmaschine gemäß Fig. 1 oder 4 mit zwei Verdrängerkästen.

Die Stirlingmaschine gemäß Fig. 1 und 2 umfaßt einen Wärmetauscher, der ein im wesentlichen reckteckiges Gehäuse aufweist, das von zwei Ge-

häuseplatten 1, 2 und von vier rechteckig umlaufenden Gehäusestirnwänden 10 gebildet ist. Über die Fläche der Gehäuseplatten 1, 2 hin sind als Zuganker 3 ausgebildete Streben gleichmäßig verteilt, die beiderends an je einer der Gehäuseplatten festgelegt sind. Die Zuganker queren durch Bohrungen 27 einer rechteckigen Verdrängerplatte 5, die in dem Gehäuse untergebracht ist und deren Stirnkanten umlaufend von den Gehäusestirnwänden 10 Abstand aufweisen. An den Stirnkanten ist jeweils eine Längsseite einer Rollmembran 9 befestigt, deren andere Längsseite unmittelbar an der zugeordneten Gehäusestirnwand 10 befestigt ist. Die Rollmembran 9 ist ein entlang der Stirnkante verlaufender Streifen, der in Richtung seiner Längserstreckung eine Falte 21 bildet. Die Verdrängerplatte 5 bildet als Kern einen plattenförmigen Regenerator 18, an dessen oberer Fläche zum Wärmetausch ein Erhitzer 19 und an dessen anderer Fläche zum Wärmetausch ein Kühler 20 vorgesehen ist. Die Verdrängerplatte 5 teilt das Gehäuse in einen Expansionsraum 11 und einen Kompressionsraum 12 und ist nach unten hin auf Hebebälgen 13 gelagert.

Von den Hebebälgen 13 gehen Fluidumleitungen 36 aus und vom Kompressionsraum 12 geht eine Fluidumleitung 38 aus, die jeweils zu einem Maschinenteil mit Kurbeltriebwerk führen. Und zwar führt die Fluidumleitung 38 von dem Kompressionsraum 12 zu einem Arbeitsbalg 7, dessen Volumen ein Rückschlagventil 6 zugeordnet ist. Der Arbeitsbalg 7 arbeitet über eine Pleuelstange 47 auf eine Kurbelwelle bzw. Motorwelle 15, die ein Schwungrad 35 trägt. Die von den Hebebälgen 13 kommenden Fluidumleitungen 36 führen zu einem Steuerbalg 14, der über eine Pleuelstange 16 mit der Motorwelle 15 verbunden ist. In Bezug auf die Motorwelle 15 sind der Arbeitsbalg 7 und der Steuerbalg 14 um eine Phasenlage 17 gegeneinander versetzt, die größer als 90 Grad ist. Fig. 2 verdeutlicht die Zuordnung der Gehäuseplatten, der Verdrängerplatte 5, der Bohrungen 27 und der Zuganker 3 zueinander.

Die Stirlingmaschine gemäß Fig. 3 ist in einem weiten Umfang so aufgebaut, wie die gemäß Fig. 1 und 2. Entlang jeder Stirnkante verläuft die Faltenrichtung 34 der von der Rollmembran 9 gebildeten Falte. Die Regeneratorplatte 5 ist mit dem Motorteil über eine linear geführte Schubstange 28 verbunden, die eine Führungseinrichtung 48 passiert und über eine Pleuelstange 29 an der Motorwelle 15 angreift.

Will man Stirlingmaschinen bauen, welche größer als etwa 1 mal 1 m sind, was mit gekrümmten Gehäuseflächen gerade noch beherrschbar ist, bereitet die Stabilisierung der Gehäuseraumwandungen Schwierigkeiten, da der Arbeitsdruck in der Maschine von 10.000 pa bestrebt ist, die Wandun-

gen mit 1t/m² auseinander zu drücken. Eine massive Stahlstützkonstruktion ist aufwendig und würde, wenn eine Gehäuseplatte transparent sein soll, den Lichteinfall in die Maschine behindern.

Gemäß Fig. 1-3 wird das druckfeste Gehäuse dadurch erzielt, daß die Zuganker 3 die beiden einander gegenüber liegenden Gehäuseplatten 1, 2 verspannen und der Luftdruck in der Maschine durch das Rückschlagventil 6, das Luft in die Maschine nur einströmen läßt, auf größer oder gleich Atmosphärendruck gehalten wird, weil Zuganker nur auf Zug belastbar sind. Der Arbeitsbalg 7 arbeitet als Druckbalg (Luftdruck im Balg > Atmosphärendruck). Dabei kann die eine Gehäuseplatte 1 aus transparentem, unzerbrechlichem Polycarbonat sein. Falls gemäß Fig. 4 hochtransparentes, zerbrechliches Sekuritglas für die obere Gehäuseplatte 1 verwendet werden soll, ist es besonders einfach, statt der Zuganker Stützen 4 zu nehmen, auf weichen die Glasplatte nur lose aufliegt. Jetzt wird der Luftdruck in der Maschine durch das umgedrehte Rückschlagventil 6 kleiner oder gleich Atmosphärendruck gehalten, indem es Luft aus der Maschine nur ausströmen läßt. Ein Arbeitsbalg 8 arbeitet jetzt als Saugbalg (vergl. Fig. 5 und 6). Die Glasscheibe wird gegen die Stützen gesaugt und zerbricht bei ausreichender Anzahl (ca. 25/m²) der Stützen nicht. Werden die Streben so ausgebildet, daß sie sowohl auf Zug, wie auf Druck beiaestbar sind, kann der Druck in der Maschine durch eine kleine Bohrung anstelle des Rückschlagventils im Mittel auf Atmosphärendruck gehalten werden, wodurch die Maschine mit einer kleineren Schwungmasse auskommt.

Bei der bekannten (DE-OS 30 15 815) Stirlingmaschine ist die Führung der Verdrängerplatte nicht definiert. Diese führt neben der Hin- und Herbewegung zwischen den Gehäuseplatten wegen der Drehdurchführung des Antriebgestänges auch eine Schwenkbewegung aus. Die Verdrängerplatte kann nicht spaltfrei am Regenerator anliegen und ist deshalb zwar frei von Gleitreibung entlang ihrem Umfang, dichtet aber die Arbeitsteilvolumina Expansionsraum und Kompressionsraum nicht gegeneinander ab.

Bei der vorliegenden Stirlingmaschine stehen die Zuganker 3 oder Stützen 4 rechtwinklig zu den zwei parallelen Gehäuseplatten 1, 2 und gehen rechtwinklig durch die Verdrängerplatte 5 (Fig.2), die verschleiß- und reibungsfrei exakt geführt sein muß und nicht an den Zugankern bzw. Streben streifen soll, obwohl die Bohrungen 27, durch die die Zuganker hindurchgehen, kaum größer sein dürfen als die Durchmesser der Zuganker, um die Trennung von Expansions- und Kompressionsraum zu gewährleisten. Außerdem ist die Verdrängerplatte in der weiter unten beschriebenen bevorzugten Ausführungsform sehr schwer (ca. 30 kg/m²). Die-

ses Gewicht muß die Verdrängerplattenführung aufnehmen, da die Maschine in allen Lagen arbeiten soll. Die erfundungsgemäße Führung besteht aus den linearen Rollmembranen 9 (bei quadratischem oder rechteckigem Gehäuse vier Stück), welche die Verdrängerplatte exakt führen und gleichzeitig frei von Gleitreibung gegen die Gehäusestirnwandung 10 abdichten. Die linearen Rollmembranen sind im Gegensatz zu runden Rollsöcken oder Schlauchrollbälgen verschleißfrei, da sie praktisch keiner Walkarbeit unterliegen und, was in der Stirlingmaschine zwingend nötig ist, auch ohne Druckdifferenz zwischen innerer und äußerer Seite arbeiten können. Die lineare Falte 21 ist in Faltrichtung 34 tragfähig und kann das Gewicht der Verdrängerplatte (bei nicht horizontalem Betrieb der Maschine) aufnehmen. Die exakte Abdichtung zwischen Verdrängerplatte und Gehäusewand bzw. Regenerator ist im Interesse eines hohen Wirkungsgrades unbedingt erforderlich (Wirkungsgrad erfundungsgemäße Maschine gemessen: 60% von Carnot). Die obengenannte bekannte Maschine hat neben einem großen Mangel an Regeneratorvolumen erhebliche Spaltverluste zwischen Verdränger und Regenerator, so daß sie keinen Wirkungsgrad erzielt (gemessen: < 1% von Carnot).

Die Darstellungen in Fig. 5 bis 7 sind gegenüber den Darstellungen in Fig. 1, 3 und 4 jeweils vergrößert. Fig. 5 und 6 verdeutlichen jeweils eine Gestaltung eines Saugbalges und Fig. 7 verdeutlicht eine Gestaltung eines Druckbalges. Bei quadratischem oder rechteckigem Gehäuse erstrecken sich gemäß Fig. 8 zwei gegenüberliegende lineare Rollmembranen 9 erfundungsgemäß bis in die Gehäuseecken und haben eine tiefere Falte 21 als die beiden anderen Rollmembranen, die an den erstgenannten Rollmembranen anliegen und enden. Diese Anordnung garantiert die sichere Abdichtung der Arbeitsgasteilvolumina gegeneinander auch in den Gehäuseecken bei gleichzeitiger einfacher verschleißfreier Gestaltung der linearen Rollmembranen.

Die Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte zwischen den zwei Gehäuseplatten kann gemäß Fig. 3 durch eine linear geführte (Watt's Parallelogramm, Kreuzkopf, Linearkugellager) Schubstange 28 erfolgen, die vom Zentrum der einen Gehäuseplatte 2 aus rechtwinkelig mit der Verdrängerplatte 5 starr verbunden ist und über den Pleuel 29 an der Motorwelle 15 angreift. Die Verdrängerplatte bewegt sich dabei sinusförmig, was zu einem Indikatordiagramm gemäß Fig. 9 mit abgerundeten Ecken 30 führt. Linearführungen von Schubstangen sind in der Regel nicht wartungsfrei. Eine Schubstange, an der die gesamte schwere Verdrängerplatte hängt, begrenzt die Größe der Verdrängerplatte auf etwa 2 mal 2 m. Durch die harmonische Bewegung unterliegt die Verdrängerplatte jedoch

keinen starken Beschleunigungskräften, die Maschine ist wuchtbar und läuft sehr ruhig.

Wünschenswert ist zur Erhöhung der Leistungsdichte aber trotzdem eine diskontinuierliche Verdrängungsbewegung. Die oben erwähnte bekannte Maschine verwendet hierzu einen bistabil vorgespannten Kurbeltrieb, der eine Schubstange enthält, die mit einer Feder vorgespannt ist, deren eines Ende an der Schubstange und deren anderes Ende an dem Hebelarm einer Gabel befestigt ist, zwischen deren Gabelzinken ein auf einem Hebelarm des Membranmotorteils angeordneter Mitnehmer entsprechend dem Hub der Membran verschieblich ist, wobei durch die Federvorspannung zwei stabile Stellungen vorgegeben sind. Diese Anordnung ist kompliziert, fragil und nicht geeignet, um eine schwere, mehrere Quadratmeter große Verdrängerplatte ruckartig hin- und herzubewegen.

Der bevorzugte Hebe- und Senkmechanismus der Verdrängerplatte besteht gemäß Fig. 1 und 4 aus einer wartungsfreien, reibungsarmen, nahezu verschleißfreien Niederdruckpneumatik mit torusförmigen Diaphragmen als Steuerbalg und Hebebälgen: Auf der kalten Seite der Verdrängerplatte 5 befinden sich in den Ecken der Verdrängerplatte oder in Versenkungen in der Gehäuseplatte 2 die Hebebälge 13, in welche von einem Steuerbalg 14, der von der Motorwelle aus über die Pleuelstange 16 sinusförmig kontrahiert und expandiert wird, Luft gedrückt und wieder abgesaugt wird. Die Bewegung der Hebebälge und der Verdrängerplatte ist dabei nicht sinusförmig, da der Druckanstieg im sinusförmig bewegten Steuerbalg hyperbelartig erfolgt und die Verdrängerplatte wegen ihres Eigengewichts erst ab einem entsprechenden Druck im Hebesystem mit der Bewegung beginnt. Die Verdrängerplatte wird ruckartig zur heißen Seite bis zum Anschlag gelenkt, verweilt dort, während der Steuerbalg die Luft im Hebesystem noch etwas komprimiert und fällt erst schlagartig zur kalten Seite zurück, wenn der Druck im Hebesystem wieder (hyperbelartig) abgefallen ist. Die Verdrängerbewegung ist gemäß Fig. 19 trapezförmig. Die diskontinuierliche Bewegung der Verdrängerplatte hat im Indikatordiagramm schärfer ausgefahrenen Ecken 31 zur Folge, was bekanntlich die Leistungsdichte der Maschine erhöht. Die Leistung der Maschine ist proportional der im Indikatordiagramm gemäß Fig. 9 umfahrenen Fläche; $W = \dot{S}pdV$. Dieser Hebemechanismus gestattet das sichere Bewegen von schweren Verdrängerplatten von mehreren Metern Länge (vergleiche Fig. 25). Das Verdrängergehäuse ist nicht mehr zwingend starr mit Arbeitsbalg und Welle verbunden, sondern ist z.B. über die flexiblen Schläuche 36, 38 angeschlossen, so daß der Verdrängerkasten mühelos der Sonne einachsig oder zweiachsig nachgeführt werden kann (vergleiche Fig. 22).

Das Luftvolumen der Hebebälge 13 hat zunächst schädliche Wirkung auf den Stirlingprozess, da es dazu führt, daß in der Kompressionsphase Luft zum Arbeitsgas addiert und in der Expansionsphase subtrahiert wird, also mehr Kompressionsarbeit erforderlich macht und weniger Expansionsarbeit gestattet. Um diese verminderte Motorleistung nicht in Kauf nehmen zu müssen, kann man gemäß Fig. 11 über einen weiteren Balg 32 genau diesen Luftanteil der Hebebälge 180° versetzt zum Steuerbalg 14 zum Arbeitsgasvolumen hinzufügen und herausnehmen, um so die schädliche Wirkung der Hebebalgvolumina zu kompensieren. Dieses weitere Balgvolumen kann man jedoch mit dem hierzu 90° versetzten Volumen des Arbeitsbalgs überlagern (siehe Fig. 12), so daß als weiteres Merkmal der Erfindung eine optimale Phasenverschiebung größer 90° zwischen Steuerbalg und Arbeitsbalg entsteht und der zusätzliche Kompensationsbalg 32 nicht eingebaut werden muß.

Bei der oben erwähnten bekannten Maschine ist der Verdränger eine nicht durchbrochene, luftundurchlässige Platte. Der Regenerator ist als schmaler Streifen fest an den Gehäusestirnseiten angeordnet. Um Reibungsfreiheit zu erzielen, ist zwischen Verdrängerplattenumfang und Regeneratorinnenseite, wie oben bereits erwähnt, ein Spalt nötig, wodurch der Regenerator praktisch wirkungslos ist, weil die meiste Luft durch den Spalt und nicht durch den Regenerator strömt. Wegen des kleinen Querschnitts des Regenerator erzeugt dieser soviel Strömungswiderstand, daß die mit der bistabilen Vorspannung erzeugte diskontinuierliche, ruckartige Bewegung der Schwinggabel durch die entstehende Dämpfung der Verdrängerplatte nur unbefriedigend auf diese übertragen wird.

Bei der hier vorliegenden Stirlingmaschine ist der Regenerator 18, der Expansionsraum 11 und Kompressionsraum 12 verbindet, in der bewegten Verdrängerplatte 5 angeordnet (Fig. 1,3,4) und erstreckt sich über deren gesamte Fläche und nimmt auch ihr gesamtes Volumen ein. Unabhängig von der Gehäusegröße hat der Regenerator eine Dicke von mindestens etwa 0,1 m, um den heißen Expansionsraum und den kalten Kompressionsraum von einander zu isolieren, und besteht bevorzugt aus offenporigem Polyesterschaum, der temperaturbeständig ist, eine hohe spezifische Wärmekapazität hat, schlecht Wärme leitet und daher ein hervorragender Regenerator für Niedertemperaturmaschinen ist. Der großflächige Regenerator bietet auch schlagartig ausgeführten Verdrängerbewegungen keinen nennenswerten Strömungswiderstand.

Bei der oben erwähnten bekannten Maschine sind die Gehäuseplatten gleichzeitig die fluidum-durchflossenen Wärmetauscher. Diese können aber das Arbeitsgas nur unbefriedigend heizen und kühlen, da ihre Oberfläche relativ klein ist und das

Arbeitsgas nicht über sie zwangsgeführt darüberstreicht. Bei praktischen Niedertemperaturmaschinen muß man im Interesse eines hohen Wirkungsgrades, welcher in erster Ordnung von der Temperaturdifferenz zwischen heißer und kalter Motorseite abhängt, bestrebt sein, diese Temperaturdifferenz möglichst groß zu halten. Dies erreicht man nur, indem man die Wärmetauscheroberflächen so groß dimensioniert und mit dem Arbeitsgas in Kontakt bringt, daß praktisch keine Temperaturdifferenz zwischen heizendem bzw. kühlendem Fluidum und heißem bzw. kaltem Arbeitsgas besteht.

Bei der hier vorliegenden Stirlingmaschine sind die Erhitzer 19 und Kühler 20 daher auf den, den Gehäuseplatten 1, 2 zugewandten Oberflächen des Regenerators 18 angebracht und gasdurchströmbar mit nahezu beliebig großer Oberfläche als Lamellenwärmetauscher ausgebildet. Sie werden mit dem Regenerator mitbewegt und stehen jetzt in innigem Kontakt mit dem Arbeitsgas (gemessene Temperaturdifferenz zwischen Wärmetauscherfluidum und Arbeitsgas bekannte Maschine : 20° C, erfindungsgemäße Maschine: 2° C). Erhitzer 19, Verdränger 5, Kühler 20 und Regenerator 18 bilden in der erfindungsgemäßen Maschine eine bewegte Einheit. Die Maschine kann von einer Niedertemperaturquelle (z.B. Warmwasser-Solarflachkollektor) oder Mitteltemperaturquelle (z.B. Parabolinnenskollektor) gespeist werden (vergleiche Fig.23). Wird eine Maschine mechanisch angetrieben, z.B. von einer größeren oder mehreren anderen, arbeitet sie als Kältemaschine (vergleiche Fig.24). Die Wärmetauscher arbeiten jetzt beide als Kühler, wobei mit dem einen die gepumpte Wärme abgeführt wird und in dem anderen die niedere Temperatur für den Kühlkreislauf erzeugt wird. Die Maschinen liegen bevorzugt waagerecht und zwar so, daß der kühtere Wärmetauscher stets unten liegt, um Konvektion des Arbeitsgases in der Maschine zu vermeiden, was sich als Verlustmechanismus mit deutlichen Wirkungsgradeinbußen herausgestellt hat. Hat die Maschine eine transparente Gehäuseplatte 1, scheint die Sonne direkt auf den Wärmetauscher 19, der jetzt als eine gasdurchlässige, optisch schwarze Oberfläche ohne Fluidumröhren ausgebildet ist und in der Regel einfach die Oberfläche des Regenerators ist.

Die oben erwähnte bekannte Maschine verwendet normales (opakes) Isolationsmaterial, um die Außenseite der Wärmetauscher gegen Wärmeverluste an die Umgebung zu isolieren. In der Ausführung mit nichttransparenten Gehäuseplatte 1 verwendet die erfindungsgemäße Maschine, die bevorzugt mit Sonnenlicht mittels Kollektoren betrieben wird und in der Regel im Freien, für Sonnenlicht zugänglich aufgestellt ist, gemäß Fig. 13 eine transparente Isolation 22 (Polycarbonatwaben, Aerogel etc.) auf der obenliegenden, mit dem Arbeits-

gas in Kontakt stehenden Gehäuseplatte 1, um Wärmeverluste des Arbeitsgases zu vermeiden. Die Sonne scheint hierzu durch die transparente Isolation 22 auf die Gehäuseplatte und hält diese heiß, sodaß mangels Temperaturdifferenz zwischen Platte und Arbeitsgas kein Wärmefluß stattfinden kann. Negative Temperaturdifferenz kann sogar unterstützend das Arbeitsgas heizen. Diese transparente Isolationswirkung wird auch erzielt, wenn die obere Gehäuseplatte 1 gemäß Fig. 14 mit Warmwasser-Solarflachkollektoren 23 belegt wird, deren Kollektorplatten 53 über eine Fluidumleitung 54 den inneren Wärmetauscher 19 mit Heißwasser versorgen. Dabei wird sowohl der Wärmeverlust des Kollektors über seine Rückseite verhindert als auch der Wärmeverlust des Arbeitsgases über die obere Gehäuseplatte ausgeschaltet, weil die heiße Kollektorplatte den Wärmefluß von unten nach oben nicht ermöglicht. Normale Isolation wird gespart.

Eine erfindungsgemäße Ausführung der Stirlingmaschine verwendet gemäß Fig. 15 eine obere gut wärmeleitende Gehäuseplatte 1, die eine Plattenvergrößerung 33 bildet und größer ist als die Verdrängerplatte und daher an mindestens einer Stirnseite übersteht und gleichzeitig die optisch schwarze Kollektorplatte für einfallendes Sonnenlicht ist und in der Regel mit einer Glasscheibe 39 gegen Wärmeverlust abgedeckt ist. Die entstehende Wärme in der Platte wird durch Wärmeleitung zu dem Plattenbereich transportiert, unter dem sich der Motorgehäuserraum befindet. Dieser Wärmetransport in der Platte kann gemäß Fig. 15 durch Wärmerohre, die in oder an der Platte angebracht sind, unterstützt werden. In diesem Fall kann die Plattenvergrößerung 33 auch aus mehreren Teilen bestehen, die über die Wärmerohre 24 mit der Gehäuseplatte 1 verbunden sind (siehe Fig. 16). Die wärmeleitende Gehäuseplatte hat gemäß Fig. 15 und 16 in der Regel an der Motorrauminnenseite eine vergrößerte Oberfläche, z.B. durch Lamellen 25 oder Stäbe, die in die Verdrängerplatte bzw. den Regenerator 18 eintauchen, um so den guten Wärmeübergang auf das Arbeitsgas zu gewährleisten. Der mit dem Regenerator mitgeführte innere Wärmetauscher entfällt in diesem Fall.

Eine Ausführung der erfindungsgemäßen Maschine ist mit folgenden Einschränkungen in der Betriebsweise besonders einfach zu gestalten: Arbeitet die Maschine als Arbeitskraftmaschine mit einem Saugbalg 8 (Fig. 17), also mit Unterdruck gegenüber der Atmosphäre und liegt die Maschine horizontal mit der heißen Seite (Expansionsraum) 11 oben, kann bei richtiger Wahl der Hebebalgdurchmesser (sie müssen auf das Gewicht der Verdrängerplatte und auf die Temperaturdifferenz von warmer und kalter Motorseite abgestimmt sein) der Steuer-balz entfallen, da alleine der Druckun-

terschied zwischen Motor-innenraum und Umgebung genügt, um die Verdrängerplatte 5 zu heben. Die Hebebälge 13 sind jetzt unten zur Atmosphäre offen. Durch die Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Motorseite, den Strömungswiderstand des Regenerators, das Gewicht der Verdrängerplatte sowie der Wahl der Größe der Öffnungen 55 zwischen Hebebalginnenräumen und Atmosphäre stellt sich die erwünschte Phasenverschiebung von etwa 90 Grad zwischen Arbeitsbalgbewegung und Verdrängerbewegung von selbst ein, die aber empfindlich gegen Lastwechsel an der Motorwelle ist. Die Bewegung der Verdrängerplatte ist dabei auch dis-kon-tinuierlich.

Arbeitet die Maschine als Arbeitskraftmaschine mit einem Druckbalg 7 als Arbeitsbalg (Fig. 18), also mit Überdruck gegenüber der Atmosphäre, ist die steuerbalgfreie Bewegung der Verdrängerplatte auch möglich, wenn entweder die heiße Motorseite unten liegt und die Hebebälge oben angeordnet sind oder bei gewünschter obenliegender heißer Motorseite die Verdrängerplatte 5 von Federn 40 auf der heißen Seite gehalten wird und von den Hebebälgen 13 - in diesem Fall sind es Zug-bälge - zur kalten Seite gezogen wird. Aus werkstofftechnischen Gründen muß man die Hebebälge stets auf der kalten Motorseite anordnen. Wird diese Maschinenausführung ohne Steuerbalg als Kältemaschine betrieben, sollte, um Konvektion in der Maschine zu vermeiden, wie bei der Arbeitskraftmaschine, der kältere Wärmetauscher unten liegen. In diesem Fall ist es der Kälte erzeugende Wärmetauscher. Dies ist möglich, wenn die Maschine unterhalb des Atmosphärendruckes betrieben wird (Fig. 17), wobei die Phasenverschiebung zwischen Verdrängerbewegung und Arbeitsbalgbewegung sich von selbst einstellt. Als Kältemaschine kann jedoch eine höhere Leistungsdichte erforderlich sein, als mit der Saugmaschine erzielt werden kann.

Als Kältemaschine mit Druckbalg ergibt sich jedoch eine inverse Phasenlage (270° versetzt, die kalte Seite ist bestrebt, oben zu entstehen).

Deshalb verwendet eine erfindungsgemäße Ausführung der Kältemaschine (Fig. 19) zwei Ventile zwischen dem Hebebalginnenraum und der Atmosphäre. Eines 41 ist federbelastet und läßt die Luft des Hebebalginnenraums ab einem bestimmten Druck im Hebebalg 13 in die Atmosphäre entweichen. Das zweite 42 ist über eine Membran 43 vom Hebebalginnenraum belastet und läßt die Luft nur unterhalb eines bestimmten Balginnendruckes in den Hebebalg strömen, indem die Membran die Funktion einer Ventilklappe ausübt und zeitweilig den Strömungsweg zuhält. Diese Ventilanordnung mit der richtigen Wahl der Ventilbelastungen versetzt die Phasenlage um 180° und die Kälte erzeugende Seite der Maschine stellt sich, wie ge-

wünscht, unten ein.

Eine erfindungsgemäße Ausführung der Stirlingmaschine gemäß Fig.20 verwendet zur Kühlung der kalten Motorseite 12 Wasser 44, das durch einen Einlaß 49 in den Motorraum geleitet wird, über der unteren Gehäuseplatte steht und über einen Auslaß 50 wieder ausgeschleust wird. Die Kühlwirkung wird beträchtlich gesteigert, wenn in das Wasser Lamellen, Stäbe, Drähte o.ä.45 eintauchen, die am Regenerator 18 befestigt sind und mit ihrer Bewegung ins Wasser getaucht und herausgezogen werden und dem zu kühlenden Arbeitsgas eine große Wärmetauscherfläche bieten. Dabei muß darauf geachtet werden, daß der Regenerator nicht mit Wasser benetzt wird, weil die Regeneratorwirkung verlorengeht und der Regenerator nicht mehr gasdurchströmbar ist. Zu diesem Zweck verwendet eine erfindungsgemäße Ausführung unterhalb des Regenerators eine Matte 46 aus Drahtgestrick, Kunststoffvlies o.ä., die als Spritzwasserabscheider aus dem Arbeitsgas fungiert, aber auch Aerosol abscheiden kann, welches von den Drähten nach unten tropft. Diese Matte kann die oben erwähnten Kühllamellen ersetzen und selbst in das über die Platte stehende Kühlwasser eintauchen. Die Matte kann auch Bestandteil des Regenerators selbst sein.

Eine erfindungsgemäße Ausführung der Stirlingmaschine (Fig. 21) greift mit dem Arbeitsbalg über eine Pleuelstange nicht an einer Motorwelle an, sondern versetzt eine Masse in Schwingung, beispielsweise ein Pendel, das anstelle des Schwunggrades die Kompressionsarbeit leistet. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Maschine über den ganzen Leistungsbereich mit der gleichen Frequenz arbeitet und eine Leistungszunahme sich in einer größeren Schwingungsamplitude äußert, sodaß z.B. beim Antrieb von Hubkolbenwasserpumpen die Leistungsregelung einfach über die Veränderung des Hubes erfolgen kann. Eine besonders einfache Ausführung der Stirlingmaschine verwendet als schwingende Masse oder einen Teil davon die Wassersäule 51 eines Trägheitswasserhebers 52. Die Wassersäule befördert bei ihrer Aufwärtsbewegung pro Schwingung einen Teil Wasser vom Bodenventil 53 im Brunnen nach oben 54 und komprimiert gleichzeitig das Arbeitsgas im Stirlingmotor. Das Hinunterdrücken der Wassersäule geschieht während der Expansionsphase des Arbeitsbalges 7.

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

platten eines Gehäuses eine Verdrängerplatte hin- und herbeweglich ist, die entlang dem Umfang frei von Gleitreibung gegenüber den Stirnseiten des Gehäuses ist, bei der die Verdrängerplatte zwei Arbeitsgasteilvolumina: Expansionsraum und Kompressionsraum voneinander trennt, denen zum Wärmetausch Kühler und Erhitzer zugeordnet sind,

bei der die beiden Arbeitsgasteilvolumina über einen Regenerator miteinander verbunden sind, und bei der die Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte sich unter Phasenversatz im Takt mit einem Arbeitskolben befindet,

dadurch gekennzeichnet,

daß die beiden Gehäuseplatten (1,2) durch verteilt angeordnete Streben (3,4) gegeneinander auf Distanz gehalten sind, wobei die Streben (3,4) rechtwinkelig zu der Verdrängerplatte (5) verlaufend durch diese hindurchtreten, und daß die Verdrängerplatte (5) entlang ihren Stirnkanten durch lineare Rollmembranen (9) gegenüber den Gehäuse-Stirnseiten (10) geführt ist.

2. Stirlingmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte (5) zwischen dieser und der einen Gehäuseplatte (1,2) Bewegungs-Luftbälge (13) vorgesehen sind, die mittels eines Steuerbalges (14), mit diesem zur Luftzu- und -abfuhr leitend verbunden, betätigbar sind, der von der Motorwelle (15) über eine Pleuelschubstange (16) kontrahierbar und expandierbar ist.
3. Stirlingmaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Volumen der Bewegungs-Luftbälge durch die Änderung der Phasenlage (17) zwischen Steuerbalgbewegung und Arbeitsbalgbewegung von 90° auf größer 90° kompensiert wird.
4. Stirlingmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Streben sowohl Zug- wie auch Druckkräfte aufnehmen können und eine kleine Öffnung im Motorgehäuse den Druck im Arbeitsbalg im Mittel auf Atmosphärendruck hält.
5. Stirlingmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Streben jeweils als verspannende Zuganker (3) ausgebildet sind und ein Rückschlagventil (6) den Luftdruck im Arbeitsbalg (7) auf gleich oder größer Atmosphärendruck einstellt.

Patentansprüche

1. Stirlingmaschine mit Wärmetauscher, die für Nieder- bis Mitteltemperaturbetrieb, d.h. für kleines Kompressionsverhältnis und großes verdrängtes Volumen ausgelegt ist, bei der zwischen zwei zueinander parallelen Gehäuse-

6. Stirlingmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Streben jeweils als versteifende Stützen (4) ausgebildet sind und ein Rückschlagventil (6) den Luftdruck im Arbeitsbalg (7) auf gleich oder kleiner Atmosphärendruck einstellt.

7. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, daß der Regenerator (18) an der Verdrängerplatte (5) vorgesehen ist und sich über deren gesamte Fläche erstreckt.

8. Stirlingmaschine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Regenerator auf seinen, den Gehäuseplatten (1,2) zugewandten Oberflächen die beiden Wärmetauscher (19,20) mitführt, welche gasdurchströmbar ausgebildet sind.

9. Stirlingmaschinen nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verdrängergehäuse waagerecht und der kühlere Wärmetauscher unten angeordnet ist.

10. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei quadratischem oder rechteckigem Gehäuse sich zwei gegenüberliegende Rollmembranen (9) bis in die Gehäuseecken erstrecken und eine tiefere Falte (21) haben als die beiden anderen (9), die an den erstgenannten Rollmembranen mit ihren Stirnseiten anliegen und enden.

11. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zum heißen Gehäuseteilraum (Expansionsraum 11) gehörende opake Gehäuseplatte (1) auf der Außenseite mit einer transparenten Isolation (22) versehen ist oder mit der Rückseite eines Sonnenkollektors (23) in Kontakt ist.

12. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Gehäuseplatte (33) größer ist als der Verdrängerplattenraum, mindestens an einer Stirnseite übersteht und gleichzeitig die optisch schwarze Kollektorplatte für einfallendes Sonnenlicht ist.

13. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wärmetransport in Richtung der Erstreckung der Gehäuseplatte (33) durch in ihr eingebettete oder an ihr befestigte Wärmerohre (24) unterstützt wird.

14. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die im Motorraum befindliche Oberfläche der Gehäuseplatte (33) durch Lamellen (25) o.ä. vergrößert ist, die in den Regenerator (18) eintauchen können.

15. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hin- und Herbewegung der Verdrängerplatte durch Hebebälge erfolgt, deren Innenräume zur Atmosphäre Verbindung haben.

16. Stirlingmaschine nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verbindung der Hebebälgenräume zur Atmosphäre über Ventile (41, 42) gesteuert wird.

17. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß über die untere Gehäuseplatte (2) Kühlwasser (44) durch den Motorraum geleitet wird und über der Gehäuseplatte steht, sodaß es die Funktion des kalten Wärmetauschers übernimmt.

18. Stirlingmaschine nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß an der Verdrängerplatte Lamellen o.ä. (45) angebracht sind, die in die Wasseroberfläche eintauchen.

19. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Kühler an der Regeneratorunterseite ein Spritzwasser- oder Aerosolabscheider (46) angebracht ist.

20. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Arbeitsbalg nicht an einer Motorwelle angreift, sondern eine Masse (50) in Schwingung versetzt.

21. Stirlingmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Arbeitsbalg nicht an einer Motorwelle angreift, sondern die Wassersäule eines Trägheitswasserhebers in Schwingung versetzt.

FIG. 1

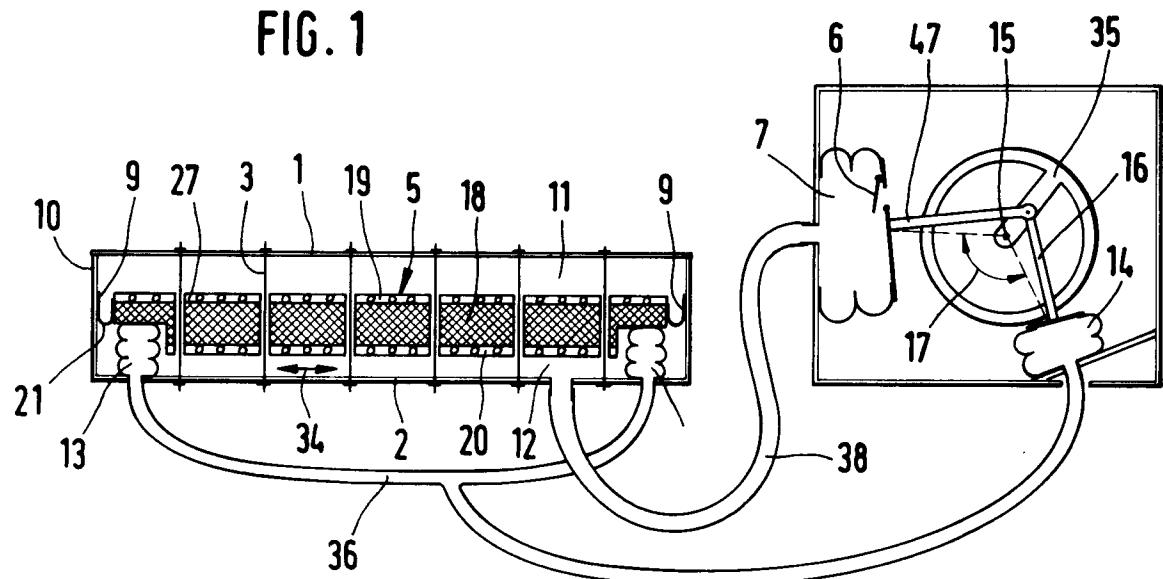


FIG. 3

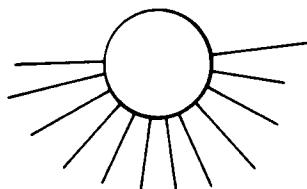


FIG. 2

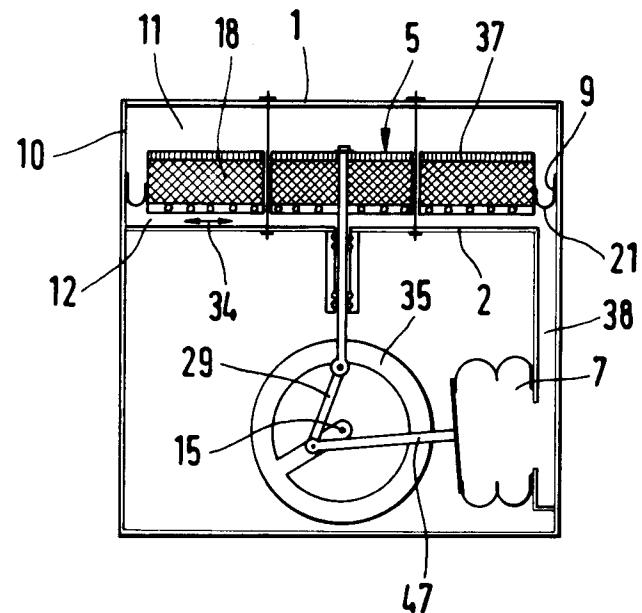
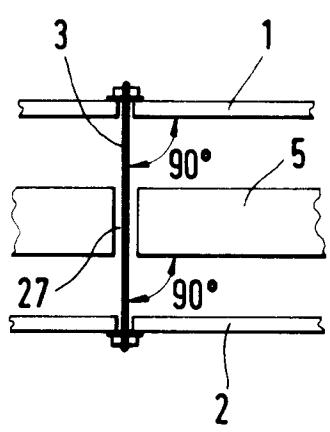


FIG. 4

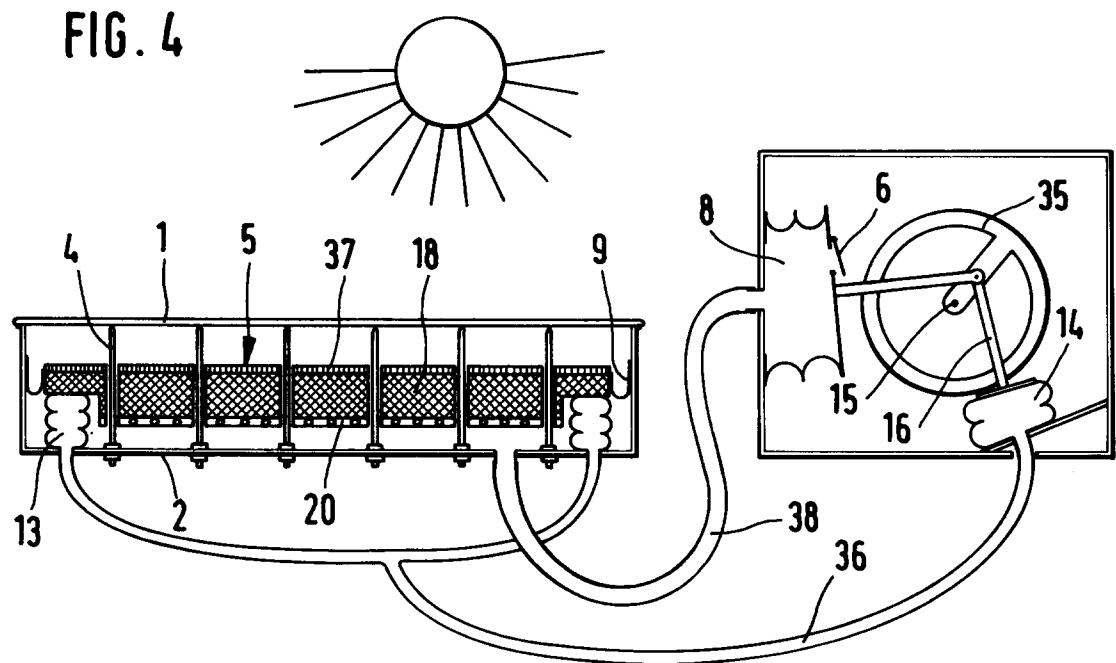


FIG. 5

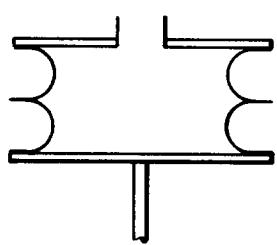


FIG. 6

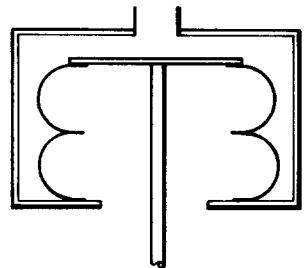


FIG. 7

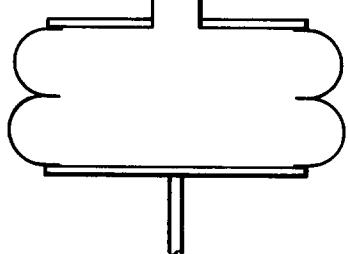


FIG. 8

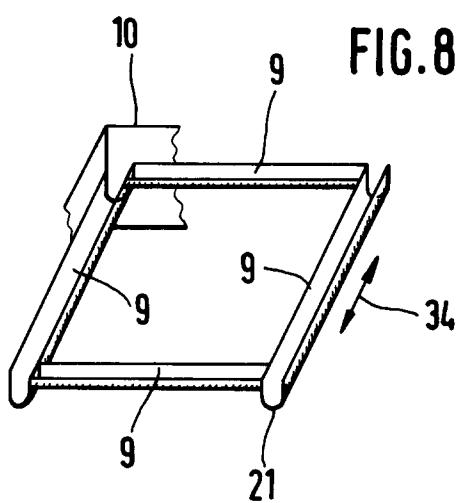


FIG.10

- (1) Steuerbalgbewegung sinusförmig
 (2) Druckanstieg in Steuerbalg und Hebebälgen hyperbelartig
 (3) Verdrängerbewegung trapezkurvenartig

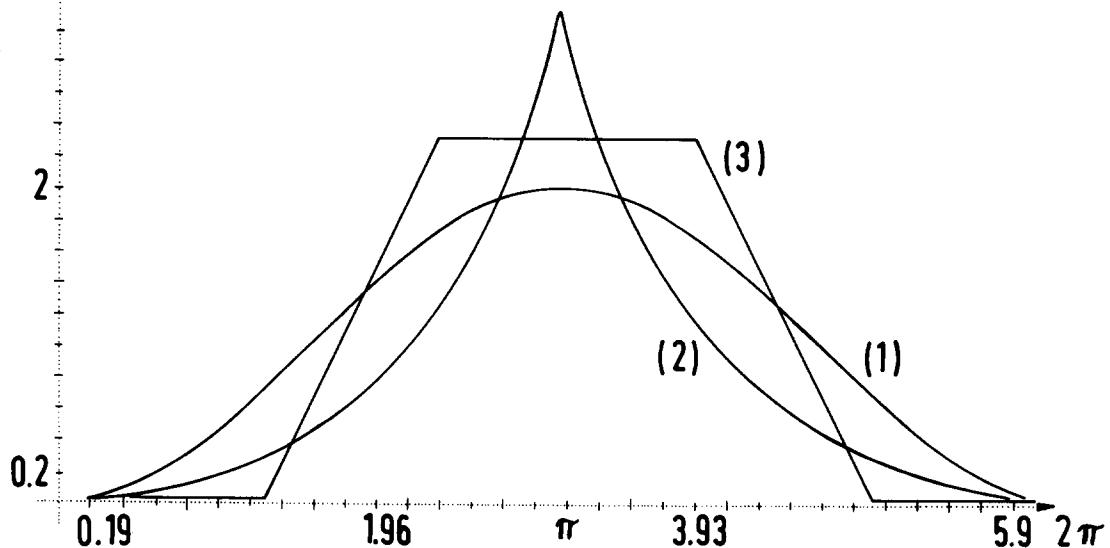


FIG.12

- $Y = \cos(X) + 1$ Arbeitsbalg (90 Grad zum Steuerbalg) (1)
 $Y = 0.2 \cos(X - 0.5\pi) + 0.2$ Steuerbalg (90 Grad zum Arbeitsbalg) (2)
 $Y = 0.2 \cos(X - 1.5\pi) + 0.2$ gedachter Hilfsbalg (180 Grad zu Steuerbalg) (3)
 $Y = 0.2 \cos(X - 1.5\pi) + 0.2 + (\cos(X) + 1)$ Arbeitsb.+Hilfsb. überlagert (4)

Die Phasenverschiebung zum Steuerbalg (2) ist jetzt > 90 Grad.

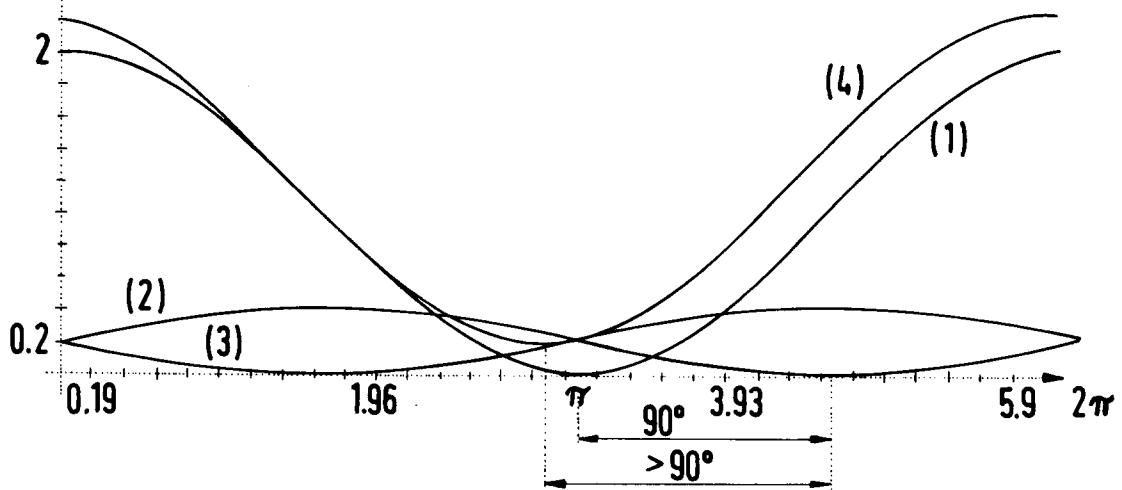


FIG. 9

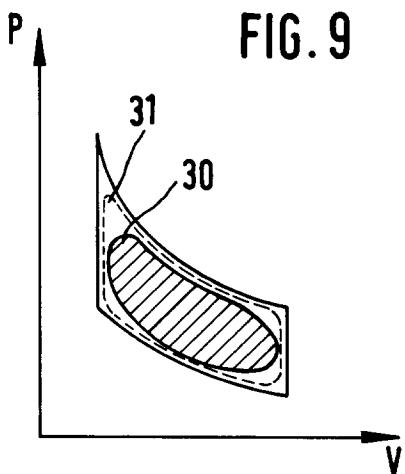


FIG. 11

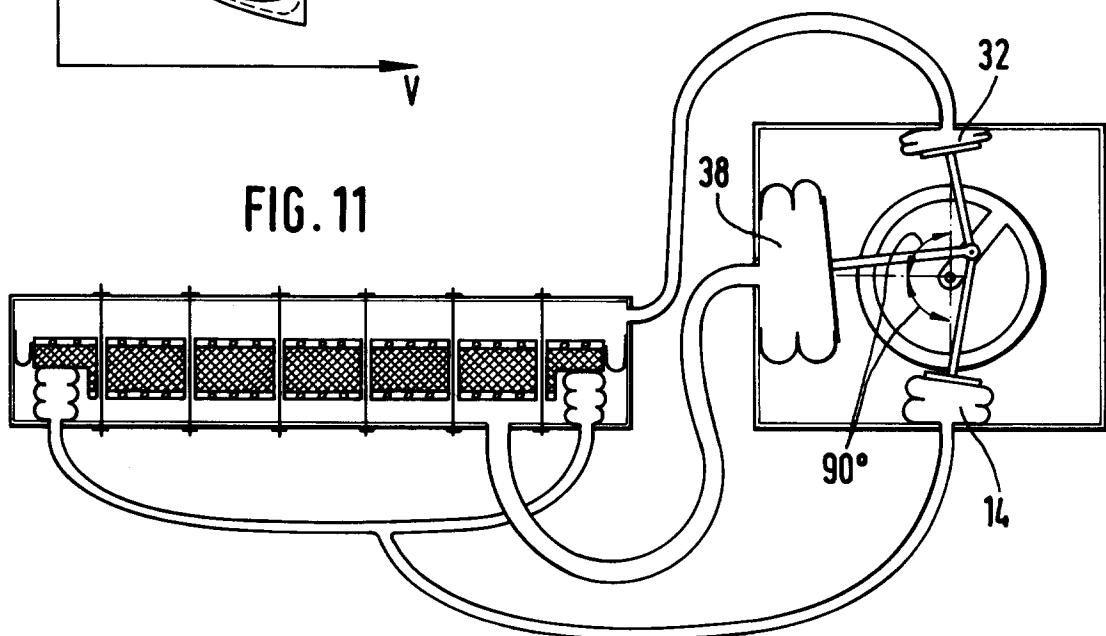


FIG. 13

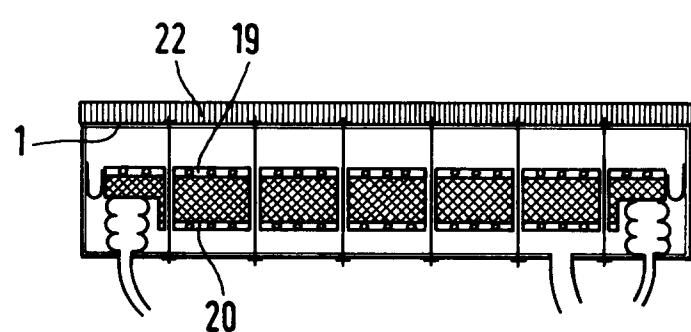
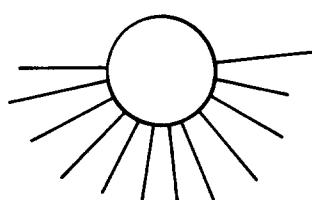


FIG. 14

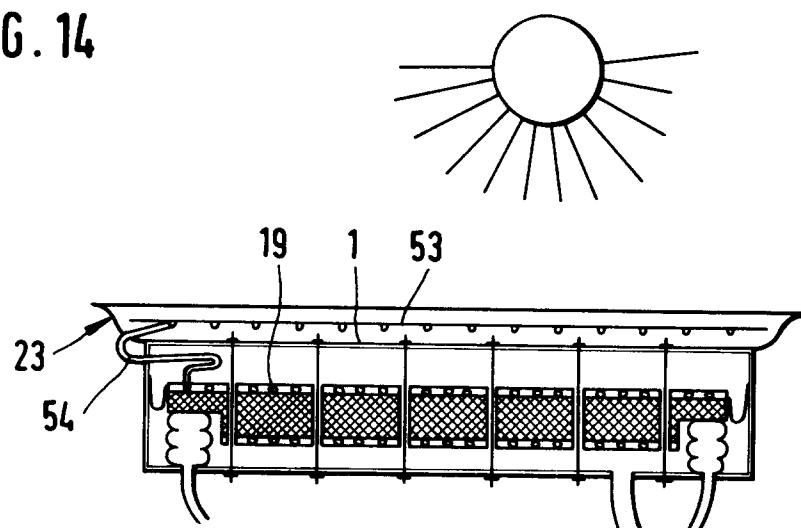


FIG. 15

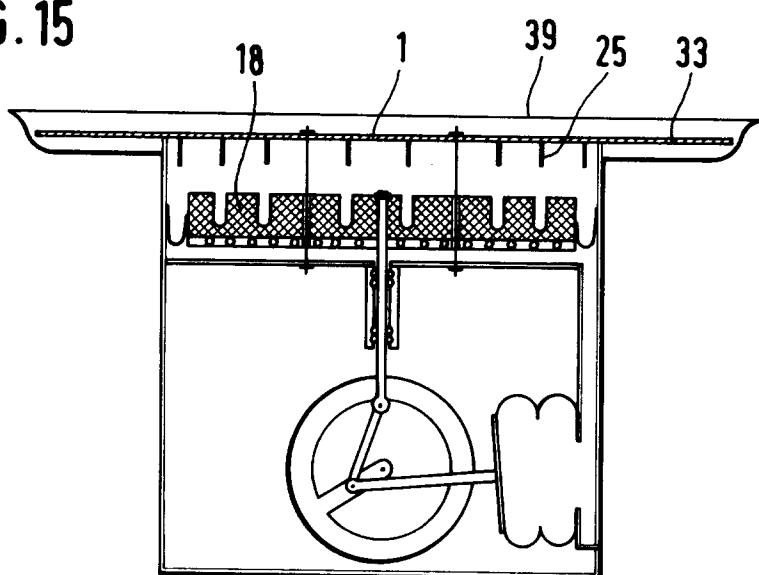


FIG. 16

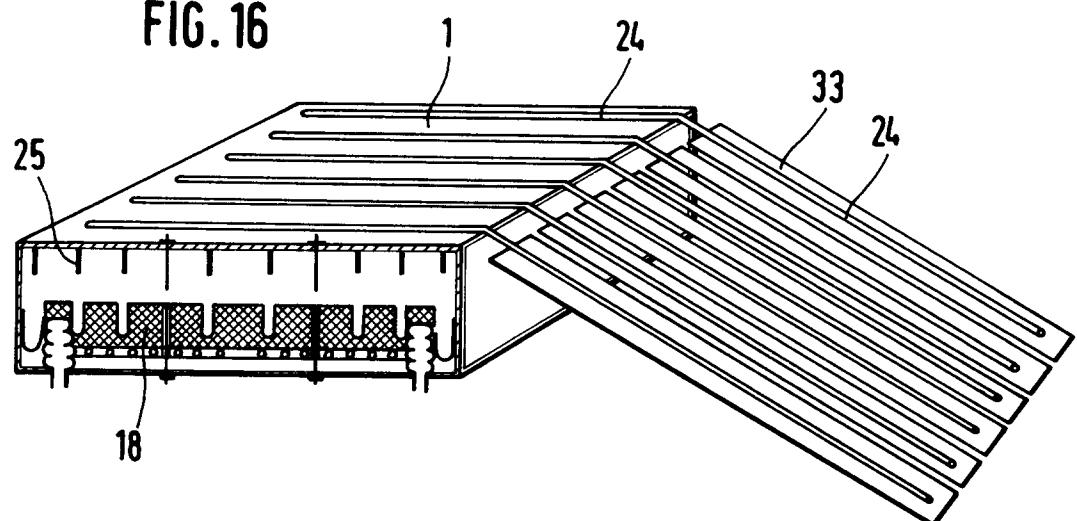


FIG. 17

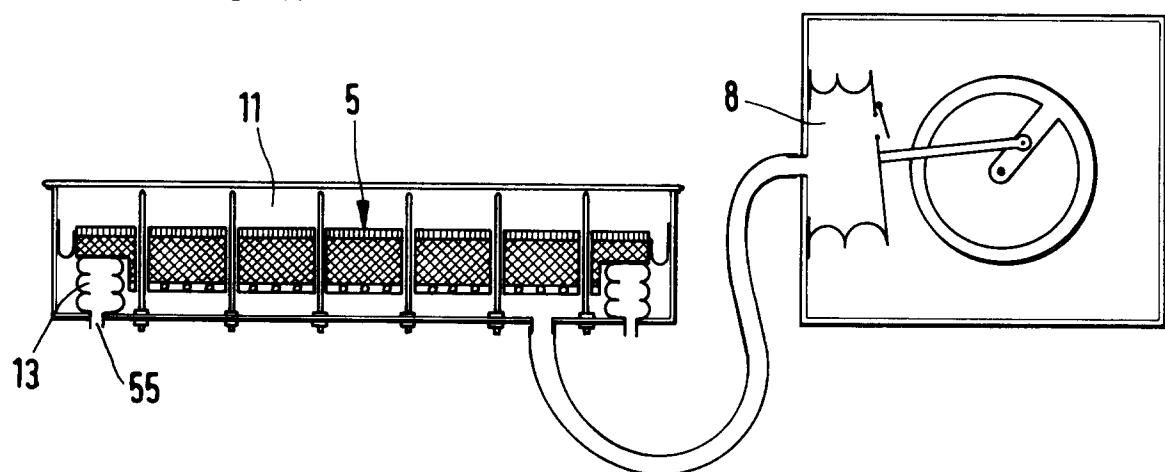


FIG. 18

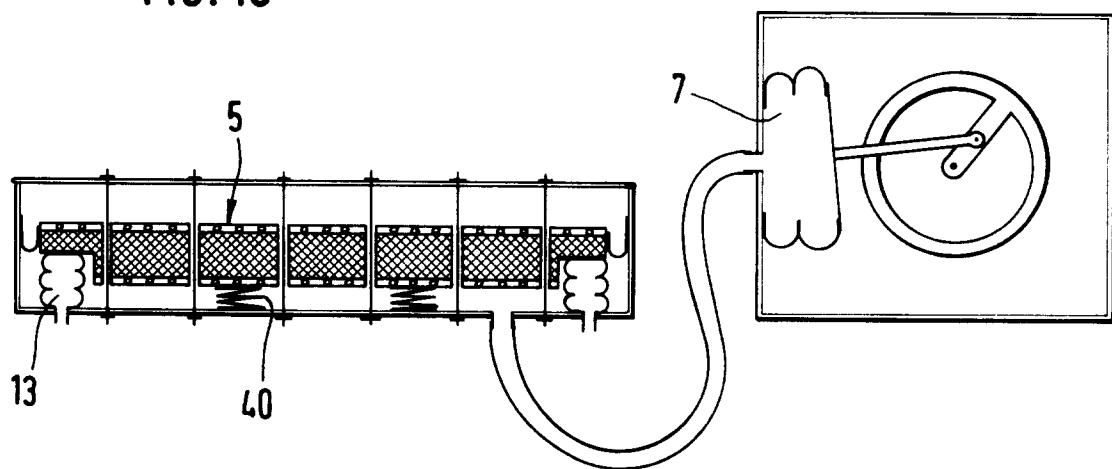


FIG. 19

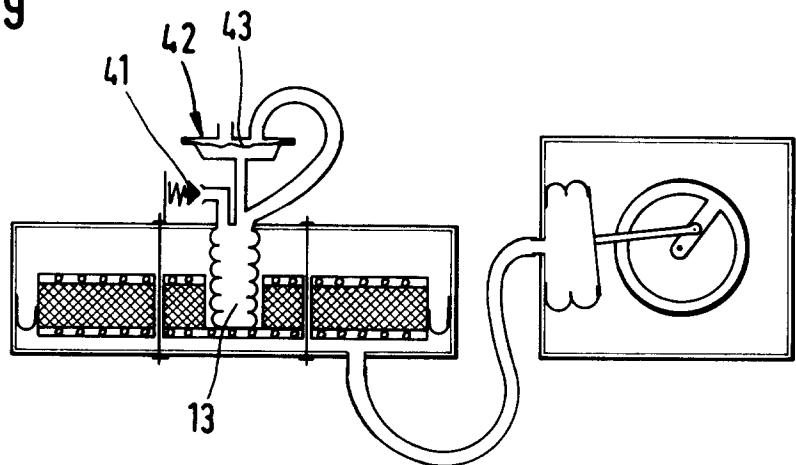


FIG. 20

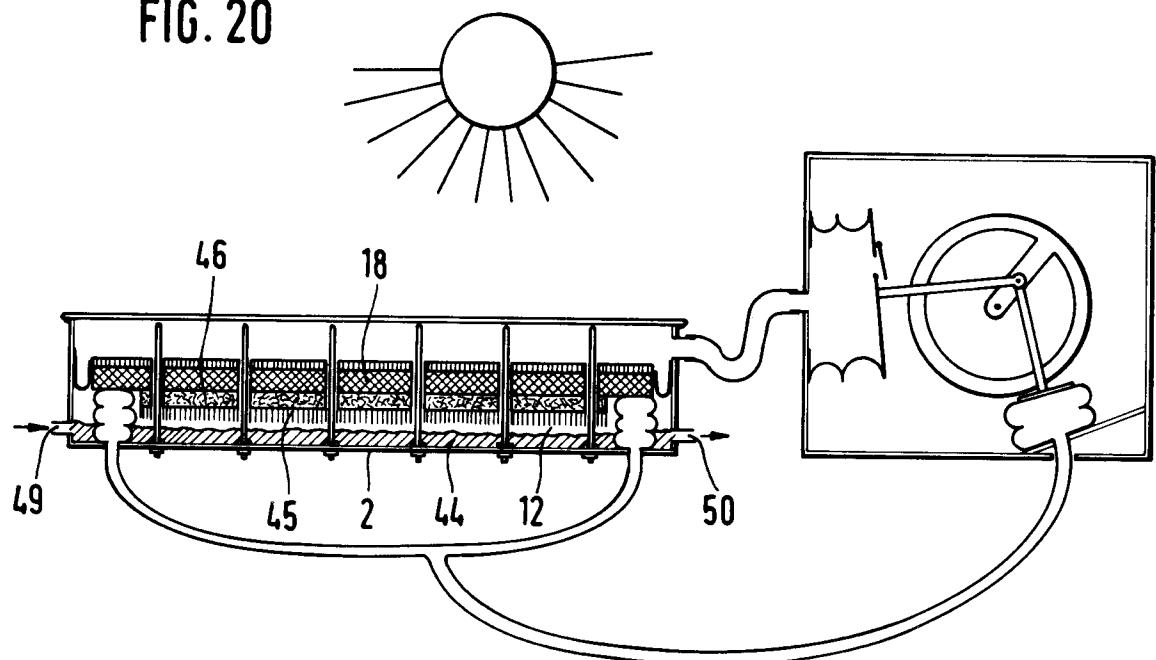


FIG. 21

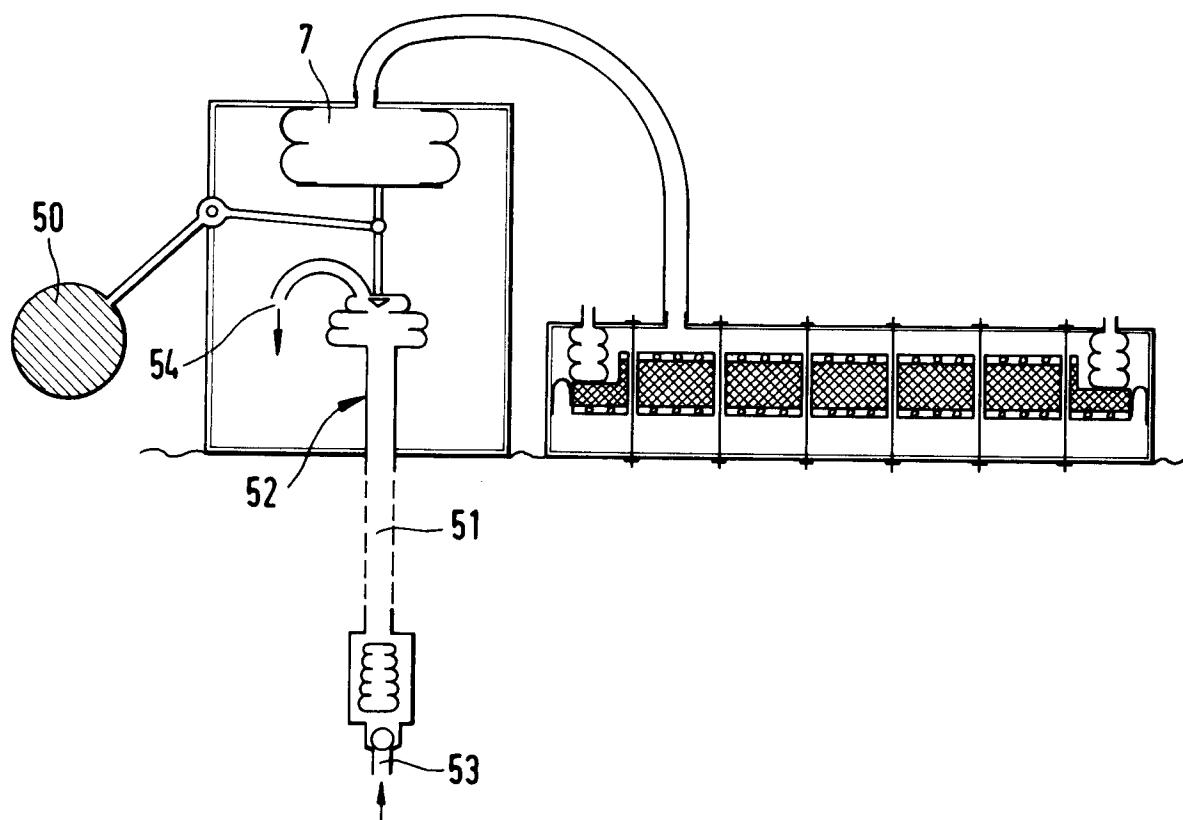


FIG. 22

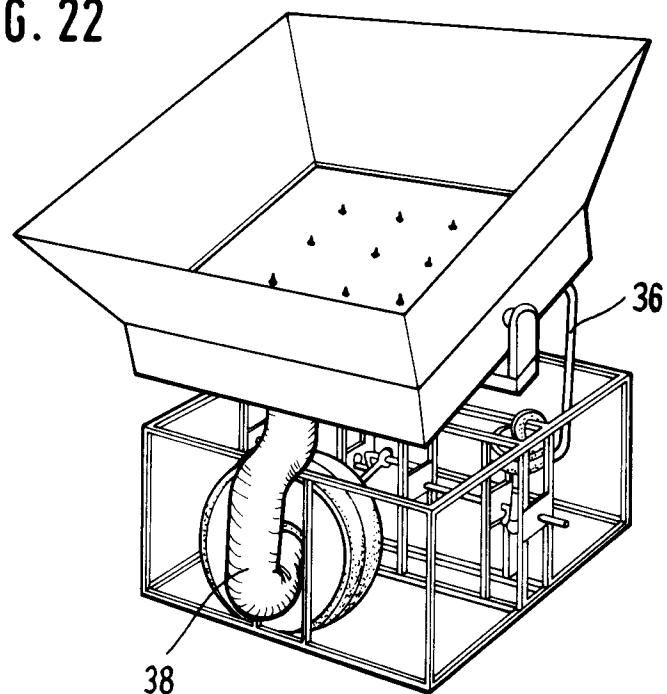


FIG. 23

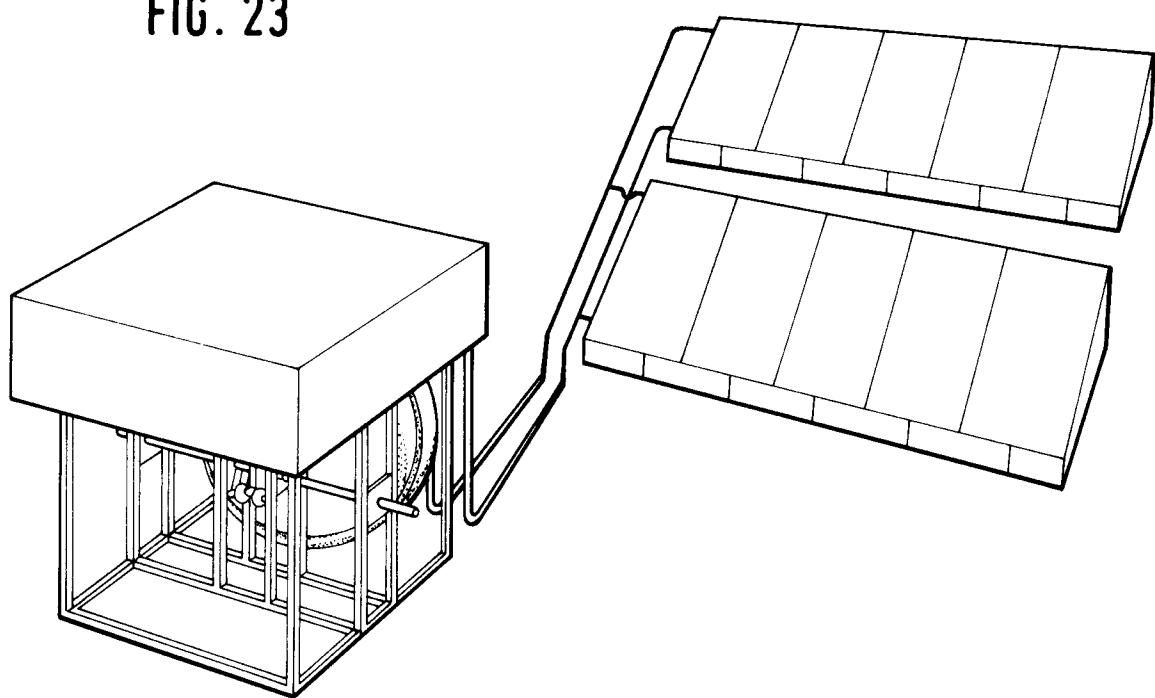


FIG. 24

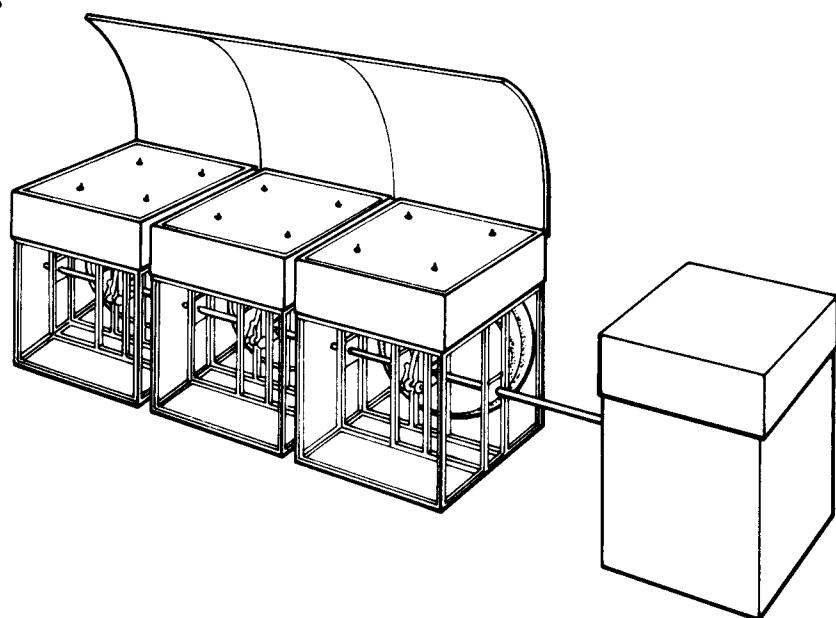
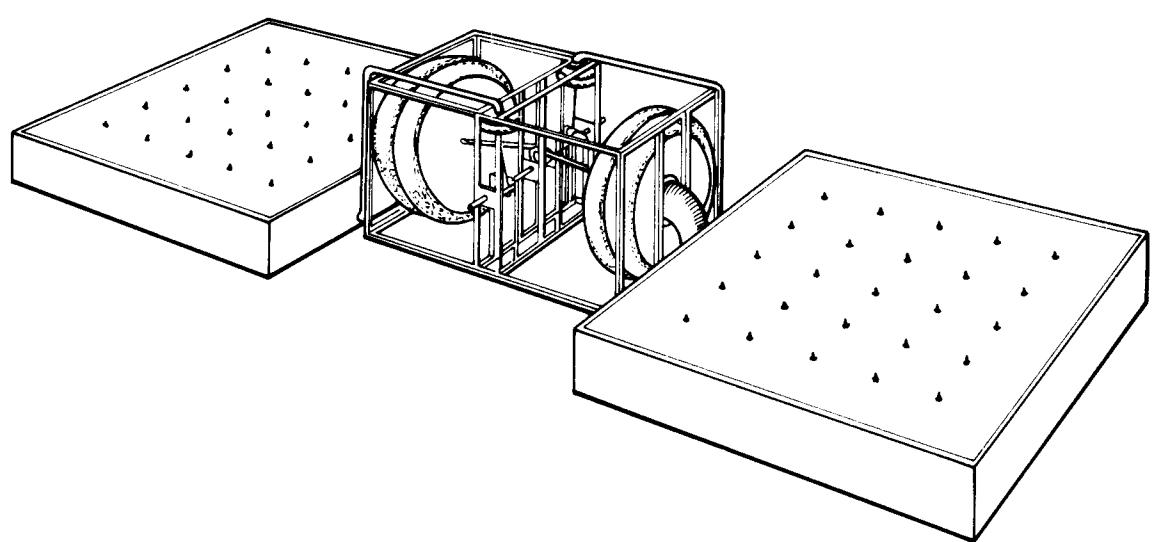


FIG. 25





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 93 10 6852

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	US-A-4 414 814 (WHITE) * das ganze Dokument *	1,2,3,11	F02G1/043
A	WO-A-9 117 352 (BOMIN SOLAR GMBH) * das ganze Dokument *	1,2,3	
A	US-A-4 326 381 (JENSEN) * das ganze Dokument *	1,2,3	

			RECHERCHIERTE SACHIGE BIETE (Int. Cl.5)
			F02G F03G
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>			
Recherchenort DEN HAAG	Abschlußdatum der Recherche 17 AUGUST 1993	Prüfer WASSENAAR G.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			