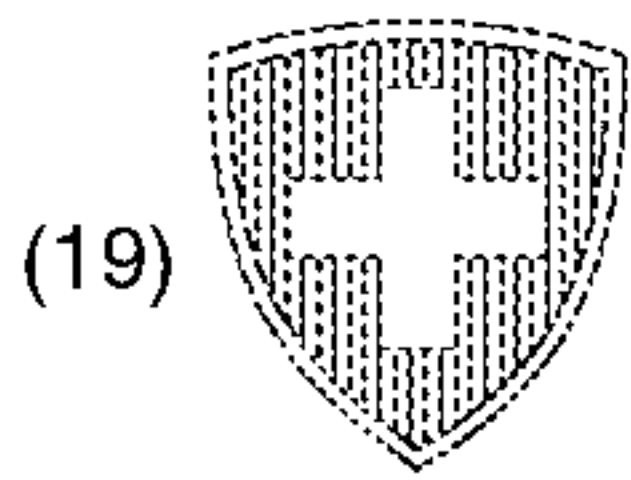




SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 712 956 B1

(51) Int. Cl.: F02G 1/043 (2006.01)
F02G 1/057 (2006.01)
F02G 1/045 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01262/16

(22) Anmeldedatum: 27.09.2016

(43) Anmeldung veröffentlicht: 29.03.2018

(24) Patent erteilt: 31.03.2020

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.03.2020

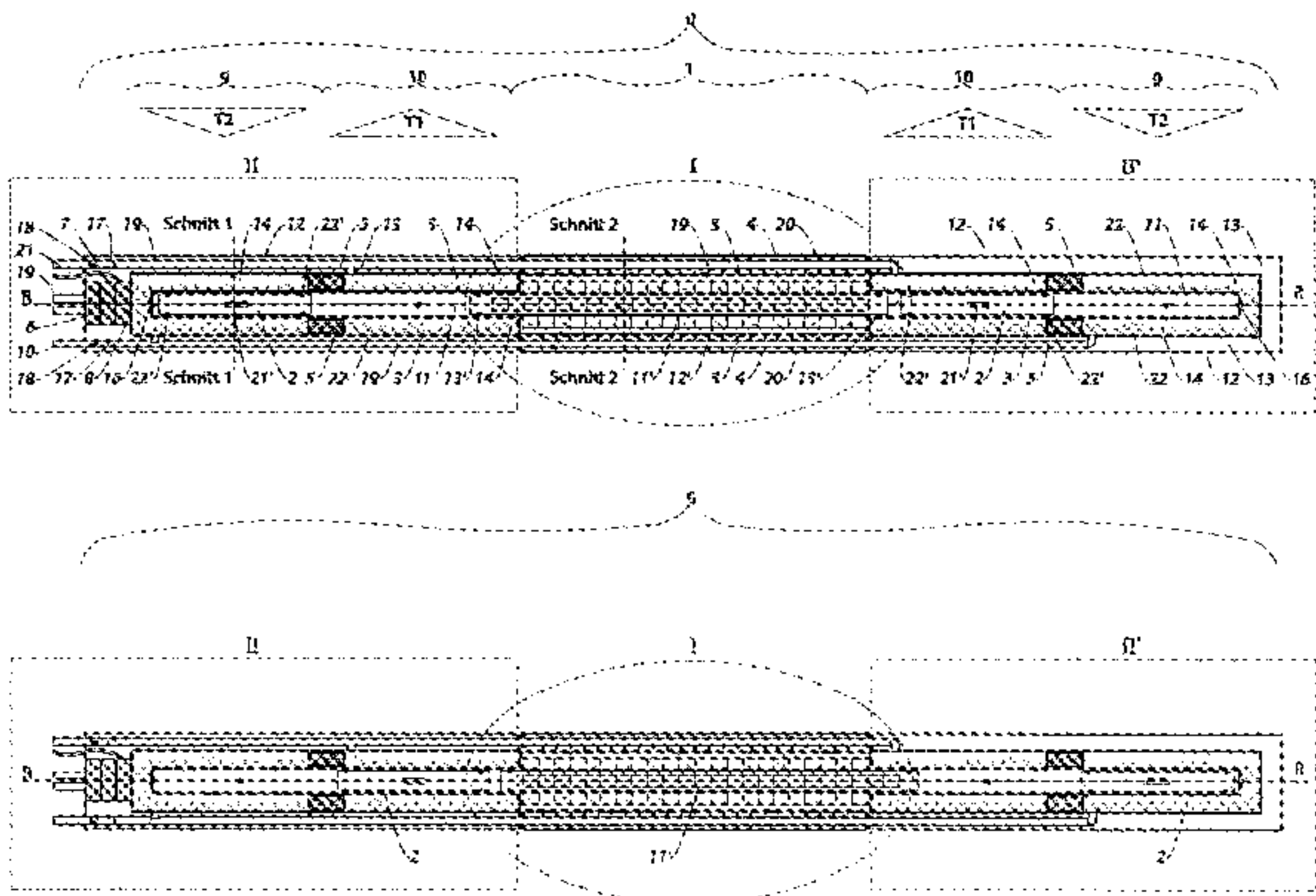
(73) Inhaber:
smart conversion GmbH, Platz 4
6039 Root (CH)

(72) Erfinder:
Daniel Bertschi, 6284 Gelfingen (CH)
Jörg Mafli, 5724 Dürrenäsch (CH)

(54) Doppelwirkende Freikolben-Stirling-Kreislaufmaschine mit Lineargenerator.

(57) Es solle eine Freikolben-Stirling-Kreislaufmaschine, umfassend ein hermetisch geschlossenes Druckgehäuse (3) mit einem Arbeitsabschnitt (I) und mindestens einen an den Arbeitsabschnitt (I) angrenzenden Verdrängerabschnitt (II), geschaffen werden, wobei im Innenraum des Arbeitsabschnittes (I) mindestens ein Arbeitskolben (11') bewegbar, einen Teil eines Lineargenerators (1) bildend, angeordnet ist und im mindestens einen Verdrängerabschnitt (II) ein als Regenerator (2) wirkender Verdrängerkolben angeordnet ist, sodass bei Füllung des Druckgehäuses (3) mit einem Arbeitsgas (11) und bei Einwirkung eines Temperaturunterschiedes zwischen dem Verdrängerabschnitt (II) bei erhöhter Temperatur (T2) und dem Rest des Druckgehäuses (3) bei niedriger Temperatur (T1, T1 < T2) mechanische Arbeit durch den Arbeitskolben (11') verrichtbar und vom Lineargenerator (1) in elektrische Energie umwandelbar ist.

Weiter ist ein zweiter Verdrängerabschnitt (II') mit als Regenerator (2) wirksamen Verdrängerkolben auf der anderen Arbeitsabschnittsseite vorhanden. Die Regeneratoren (2) sind permanentmagnetisch und können mittels Induktionsspulen (5) in ihrer Position bewegt werden, womit sich die Regeneratoren (2) als Verdrängerkolben im Arbeitstakt bewegen können.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Stirlingmaschine gemäss Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Die Stirlingmaschine oder Freikolben-Stirling-Kreislaufmaschine, umfassend ein Gehäuse mit einem Lineargenerator, welcher die beiden mit Arbeitsgas gefüllten Kammern in der Mitte trennt. Die Erfindung wandelt thermische Energie in elektrische Energie um. Im Text wird der Einfachheit halber anstelle der Freikolben-Kreislaufmaschine die Bezeichnung Stirlingmaschine verwendet.

Stand der Technik

[0003] Stirlingmaschinen werden als effiziente thermomechanische Vorrichtungen zum Umwandeln von Wärmeenergie in mechanische Energie seit rund 200 Jahren verwendet.

[0004] Gleichermassen werden Stirling-Kreislaufkühlmaschinen für das Umformen von mechanischer Energie in das Pumpen von Wärmeenergie von einer kühleren Temperatur zu einer wärmeren Temperatur genutzt. Diese Kühlmaschinen sind oft mit einem Linearmotor oder einem Wechselstromgenerator verbunden. Eine Stirlingmaschine kann einen linearen Wechselstromgenerator für das Erzeugen elektrischer Energie antreiben. Umgekehrt kann ein linearer Wechselstromgenerator auch eine Stirlingmaschine antreiben zur Erzeugung von Kälte.

[0005] Wie in der DE 10 2008 041 076 beschrieben, ist für den Betrieb einer Stirlingmaschine ein hermetisch abgedichtetes Gehäuse sehr wichtig. Der Wirkungsgrad der Stirlingmaschine ist abhängig vom möglichst hohen Ausgangsdruck des Arbeitsgases. Die in der obengenannten Patentschrift beschriebene Stirlingmaschine wird als nächstliegender Stand der Technik angesehen. Durch den komplexen Inneren Aufbau der im Dokument DE 10 2008 041 076 beschriebenen Stirlingmaschine, muss die Technik in einem druckfesten, übergeordneten Gehäuse eingeschlossen werden. Dieses spezifisch für diese Stirlingmaschine entwickelte, druckfeste Gehäuse stellt einen hohen Kostenfaktor dar, weil es einer Doppelbelastung durch den inneren Gasdruck und die von aussen zugeführte Wärmeenergie von ca. 500 C° ausgesetzt ist. Daher ist die Verwendung von hochwertigen und daher teuren Materialien zwingend, die zusätzlich das Gewicht der Stirlingmaschine erschweren. Ziel der erfindungsgemässen Stirlingmaschine war es daher, die Konstruktion in eine einfache geometrische Form einzubringen, welche den auftretenden Drücken standhält und in handelsüblichen Dimensionen und Formen erhältlich ist.

[0006] Die in DE 10 2008 041 076 beschriebene Stirlingmaschine arbeitet wie alle anderen bekannten Stirlingmaschinen dieses Typs gegen den Widerstand einer mechanischen Feder, einer Membran oder dergleichen. Die Aufgabe dieser Feder ist es, den Arbeitskolben nach dem ausdehnen des Arbeitsgases zurück in die Ausgangsposition zu bringen, damit der Kreislauf wieder von vorne beginnen kann. Da durch das Komprimieren der Feder dem Arbeitskolben Energie entzogen wird, beeinflusst dies den Wirkungsgrad negativ.

[0007] Die erfindungsgemässe Stirlingmaschine kann auf eine Feder oder dergleichen verzichten, da auf beiden Seiten des Arbeitskolbens bzw. Lineargenerators abwechselnd Druckkräfte durch Erwärmung des Arbeitsgases erzeugt werden. Daher wird die erfindungsgemässe Stirlingmaschine auch als doppelwirkend bezeichnet. Die Doppelwirkung der Stirlingmaschine bewirkt einen viel harmonischeren Lauf, da die Bewegung des Arbeitskolbens von der einen zur anderen Seite auf die gleiche Art erfolgt und keine Differenzen in der Beschleunigung und Abbremsung vorkommen. Auf einen Vibrationsausgleich wie im Dokument DE 10 2008 041 076 beschrieben, kann daher verzichtet werden.

[0008] Ein weiterer Nachteil bestehender Stirlingmaschinen ist das Fehlen einer effizienten Steuerung der Leistung. Durch die Regulierung der zugeführten Wärme kann eine minimale und träge Leistungsregulierung erreicht werden. Die Stirlingmaschine reagiert auf die veränderten Energieeinwirkungen stark verzögert. Auf die Geschwindigkeit des Arbeitstaktes hat vor allem der Verdrängerkolben einen grossen Einfluss. Dieser wird bei herkömmlichen Stirlingmaschinen mechanisch mit dem Arbeitskolben verbunden. Diese Verbindung wird meistens über ein Schwungrad erreicht.

[0009] Die Verbindung des Arbeitskolbens mit dem Verdrängerkolben mittels Schwungrad hat den Nachteil, dass der Verdrängerkolben beim Richtungswechsel markant abgebremst wird, um danach langsam wieder zu beschleunigen. Diese Verlangsamung reduziert den Wirkungsgrad der Stirlingmaschine. Durch diese Verbindung kann der Verdrängerkolben nicht unabhängig vom Arbeitskolben zur Leistungssteuerung genutzt werden.

[0010] Die Verbindung des Verdrängerkolbens und des Arbeitskolbens mittels des Schwungrades benötigt bewegliche, mechanische Komponenten in Form von z.B. Kugellager die mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt sind und die Herstellung verteuern. Ebenfalls sind diese Komponenten wartungsintensiv und wirken sich daher negativ auf die Unterhaltskosten aus.

[0011] Diese beschriebenen mechanischen Verbindungen haben weiter den Nachteil, dass das Gehäuse, worin sich der Raum des Arbeitsgases mit dem Verdrängerkolben befindet, durchdringt werden muss. Diese Durchdringung kann nicht dauerhaft abgedichtet werden und führt zu einer Minderung des Wirkungsgrades.

Darstellung der Erfindung

[0012] Die vorliegende Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die oben erwähnten Nachteile zu beseitigen und eine Stirlingmaschine zu entwickeln, welche eine gesteigerte Effizienz aufweist und einen erhöhten Wirkungsgrad bei bereits geringen Temperaturdifferenzen erzielt, sodass auf hohe Temperaturen verzichtet werden kann.

[0013] Ziel des erfindungsgemässen Stirlingmaschine ist nicht eine sehr hohe Ausgangsleistung zu erreichen, sondern tiefe Temperaturdifferenzen unter 100 C° nutzen zu können. Dadurch werden die verwendeten Baumaterialien keinen hohen Temperaturen ausgesetzt, was zu geringeren Herstellungskosten und zu einer Verlängerung der Lebensdauer führt.

[0014] Bei der erfindungsgemässen Stirlingmaschine kann der Verdrängerkolben unabhängig zum Arbeitskolben bewegt werden. Diese Bewegung erfolgt mittels eines elektromagnetischen Feldes, das von einer Spule ausserhalb des Gehäuses erzeugt wird und durch den Wechsel der Polaritäten den Verdrängerkolben zu einer linearen Bewegung im gewünschten Takt zwingt.

[0015] Durch die tiefe Temperaturdifferenz ist es möglich, in der Natur vorkommende Temperaturdifferenzen zu nutzen und deren Wärme in elektrische Energie umzuwandeln. Der erfindungsgemässe Stirlingmotor erschliesst sich damit ganz neue Einsatzgebiete und kann sich endgültig von Brennstoffen wie Holz, Öl oder Gas emanzipieren. Gegenwärtig werden bestehende Stirlingmaschinen immer noch mittels herkömmlicher Brennstoffe beheizt, um die nötige Temperaturdifferenz zu erreichen. Dies verschlechtert die CO₂-Bilanz und führt zu weiterer Feinstaubbelastung durch die Verbrennung.

[0016] Auch für die Abwärmenutzung bestehender Maschinen ist die erfindungsgemässe Stirlingmaschine geeignet, da ein Teil der Abwärmeenergie in Elektrizität umwandelbar ist.

[0017] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] Nachfolgend die zur Erläuterung der Ausführungsbeispiele verwendeten Zeichnungen:

- Fig. 1a zeigt einen Längsschnitt der erfindungsgemässen Stirlingmaschine in Richtung Achse R mit einer möglichen Stellung der im Abschnitt II und II' dargestellten Regeneratoren;
- Fig. 1b zeigt einen Längsschnitt der erfindungsgemässen Stirlingmaschine in Richtung Achse R mit der entgegengesetzten Stellung der Regeneratoren gegenüber Fig. 1a;
- Fig. 1c zeigt einen vergrösserten Längsschnitt, im Bereich des Lineargenerators, der erfindungsgemässen Stirlingmaschine in Richtung Achse R;
- Fig. 2 zeigt einen Querschnitt auf Höhe des Regenerators der erfindungsgemässen Stirlingmaschine, quer zur Achse R, während
- Fig. 3 einen Querschnitt auf Höhe des Lineargenerators der erfindungsgemässen Stirlingmaschine, quer zur Achse R zeigt.

Beschreibung

[0019] Eine Ausführungsform einer Freikolben-Stirling-Kreislaufmaschine 0 bzw. einer Stirlingmaschine 0 ist in den Fig. 1 bis 3 dargestellt.

Figur 1a

[0020] Wie in Fig. 1a dargestellt, weist die Stirlingmaschine 0 drei Abschnitte auf, welche in Abschnitt I, Abschnitt II und Abschnitt II' unterteilt sind, alle drei Abschnitte durchdringt ein hohlzylindrisches Druckgehäuse 3, welches hermetisch abgedichtet ist und abgeschlossene Endflächen aufweist. Das Druckgehäuse 3 hält im Innenraum des Abschnittes I, einen Lineargenerator 1, welcher aus einem Arbeitskolben 11' mit mehreren integrierten Permanentmagneten besteht und mit Kolbendichtringen 13' abgedichtet wird, sowie einem Stator mit Wicklungen 12'. Der Arbeitskolben 11' ist der Läufer des Lineargenerators 1. Der Stator bzw. die Wicklungen 12' umgeben den Arbeitskolben 11', von diesem beabstandet im Abschnitt I des Lineargenerators 1.

[0021] In den Abschnitten II und II', links und rechts vom Abschnitt I, sind innerhalb des Druckgehäuses 3 Regeneratoren 2 bzw. Verdrängerkolben 2 angeordnet und der Innenraum des Druckgehäuses 3 ist mit einem Arbeitsgas 11 gefüllt. Die Regeneratoren 2 bestehen weiter aus einem Permanentmagneten 21' und Gleitringen 22' aus abriebfestem Kunststoff. Das Druckgehäuse 3 weist an den beiden Endflächen jeweils eine Einfüllöffnung 16 für das Arbeitsgas 11. Das Arbeitsgas 11 ist im Innenraum der Abschnitte II, II', des Druckgehäuses 3 verteilt und wird bei der Herstellung einmal eingefüllt, bevor Wärmedämmungen am Druckgehäuse 3 angeordnet werden. Die hier vorgestellte Stirlingmaschine 0 ist als Gamma-Typ definierbar, da Arbeitskolben 11' und beide Regeneratoren 2 im gleichen zylindrischen Innenraum des Druckgehäuses 3 untergebracht sind. Der Arbeitskolben 11' und die Regeneratoren 2 sind linear in Richtung Achse R bewegbar im

Druckgehäuseinnenraum gelagert, wobei keine mechanische Verbindung zwischen Arbeitskolben 11' und Regeneratoren 2 besteht. Beide Regeneratoren 2 sowie der Arbeitskolben 11' sind in der Stellung gemäss Fig. 1a maximal nach links ausgelenkt.

[0022] Wie in Fig. 1a dargestellt, befinden sich ausserhalb des Druckgehäuses 3 in der Mitte der Abschnitte II und II', jeweils eine Induktionsspule 5, diese ist um das Druckgehäuse 3 gewickelt. Die Induktionsspule 5 wird als Elektromagnet betrieben, wobei durch Strombeaufschlagung ein Magnetfeld erzeugt wird, welches zur Bewegung der Regeneratoren 2 genutzt wird. Die Induktionsspule 5 unterteilt ein Wärmeübertragungsmittel 14, hier in Form von geschäumtem Metall 14, in zwei Teile. Da in den zweiten Abschnitten II, II' Wärmeenergie möglichst effizient auf das Arbeitsgas 11 im Druckgehäuse 3 übertragen werden soll, sind die Wärmeübertragungsmittel 14 wichtig.

[0023] Eine Ummantelung 22 umgibt das geschäumte Metall 14 und die Induktionsspulen 5 entlang der zweiten Abschnitte II und II'. In den zweiten Abschnitten II, II' wird die Ummantelung 22 von einer umliegenden Wärmedämmung 13 die Wärmezuführungsbereiche 9 und Wärmeabführungsbereiche 10 umschlossen. Innerhalb dieser Wärmedämmung 13, vorteilhalber im vorderen Randbereich, ist ein Steuerungsmodul 6 mit integrierten Schnittstellen wie WLAN und Bluetooth, ein wieder aufladbarer Akku 7 sowie ein Frequenzumformer 8 positioniert. Eine Elektroleitung 21 führt den Strom des Frequenzumformers 8 nach aussen. In der Wärmedämmung 13 sind Leitungen 19 für ein Wärmeübertragungsfluid, bevorzugt Wasser, angeordnet. Diese Leitungen 19 umfassen Magnetventile 18 und Sensoren 17, wobei die Leitungen 19 im Wesentlichen parallel zur Achse R verlaufen.

[0024] Eine geschlossene Verkleidung 12 ummantelt die Stirlingmaschine 0 in den zweiten Abschnitten II und II', die Wärmedämmung 13 umgebend. Die Leitungen 19 für das Fluid sind innerhalb der Verkleidung 12 in den zweiten Abschnitten II, II' verlaufend angebracht.

[0025] Den ersten Abschnitt I, in dem der Lineargenerator 1 angeordnet ist, umschliesst eine perforierte Verkleidung 20, welche eine Kühlung des ersten Abschnittes I erlaubt. Zwischen der perforierten Verkleidung 20 und dem Druckgehäuse 3 sind Kühllamellen 4 rechtwinklig zur Achse R angeordnet, welche die Wärmeabgabe des Lineargenerators 1 an die Raumluft verbessern.

[0026] Wie in Fig. 1a dargestellt, wird in den Abschnitten II und II', in den Wärmezuführungsbereichen 9, auf den äusseren beiden Seiten des Stirlingmotors 0, Wärme zugeführt T2. In den Wärmeabführungsbereichen 10, links und rechts vom ersten Abschnitt I bzw. vom Lineargenerator 1 mit Arbeitskolben 11', wird Wärme abgeführt T1. Dafür sind die Leitungen 19 vorgesehen, durch welche warmes und kaltes Wasser in die Wärmezuführungsbereiche 9 und Wärmeabführungsbereiche 10 geleitet bzw. abgeleitet wird.

Figur 1b

[0027] Fig. 1b stellt die Stirlingmaschine 0 gegenüber der Fig. 1a mit unterschiedlichen Positionen der Regeneratoren 2 und des Arbeitskolbens 11' dar. Der Regenerator 2 des zweiten Abschnittes II ist maximal in Richtung Arbeitskolben 11' ausgelenkt, während der Regenerator 2 des zweiten Abschnittes II' maximal weg vom Arbeitskolben 11' in Richtung äusseren Rand des Druckgehäuses 3 ausgelenkt ist.

Figur 1c

[0028] Fig. 1c stellt den Abschnitt I mit dem Lineargenerator 1, gegenüber Fig. 1a vergrössert dar, mit einem Arbeitskolben 11' bestehend aus Permanentmagneten, welche mit dem Arbeitskolben 11' mit bewegbar sind. Kolbenringe 13' sind links und rechts am äusseren Ende des Arbeitskolbens 11' angeordnet, wodurch die Linearbewegung des Arbeitskolbens 11' vereinfacht ist.

[0029] Der Lineargenerator 1 weist ausserdem einen Stator mit mehreren Wicklungen 12' auf. Der Lineargenerator 1 ist vollständig im Druckgehäuse 3 eingeschlossen. Das Druckgehäuse 3 weist aussenwändig im Bereich des Lineargenerators 1, Kühllamellen 4 auf. Durch den Bereich der Kühllamellen 4 sind die Leitungen 19 durchgeführt angeordnet.

Figur 2

[0030] Die Fig. 2 stellt einen Querschnitt 90° zur Achse R der in Fig. 1a dargestellten Stirlingmaschine 0, im Abschnitt II, auf Höhe eines Regenerators 2 im Wärmezuführungsbereich 9 dar, mit dem Permanentmagneten 21'. Der Regenerator 2 befindet sich innerhalb des Druckgehäuses 3, dieses ist wiederum umgeben von dem geschäumten Metall 14 als Wärmeübertragungsmittel 14. Die Ummantelung 22 schliesst das geschäumte Metall 14 gegenüber der Wärmedämmung 13 ab. Innerhalb der Wärmedämmung 13 werden die Leitungen 19 und die Elektroleitung 21 geführt. Alle Komponenten werden wiederum innerhalb der Verkleidung 12 eingeschlossen. Die Leitungen 19 und die Elektroleitungen 21 kommen eingebettet in die Wärmedämmung 13 nur mit Umgebungsluft in Kontakt und nicht mit dem Wärmeübertragungsfluid, welches durch die Leitungen 19 fliesst und durch die Ummantelung 22 in die Wärmeübertragungsmittel 14 eingelassen wird.

Figur 3

[0031] Die Fig. 3 zeigt den Schnitt 2, im Abschnitt I, quer zum Lineargenerator 1. Im Zentrum der Fig. 3 ist der Arbeitskolben 11', umfassend Permanentmagnete, welcher durch einen Spalt beabstandet umgeben ist vom Stator mit Wicklungen 12'.

Das Druckgehäuse 3 ist wiederum umgeben mit den Kühllamellen 4. Durch die Kühllamellen 4 werden die Leitungen 19 für das Wärmeübertragungsfluid geführt. Alle beschriebenen Komponenten werden wiederum in der perforierten Verkleidung 20 eingeschlossen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0032] Der hier vorgestellte Stirlingmaschine 0, wie in den Figuren dargestellt, wandelt thermische Energie in elektrische Energie um. Zum Betrieb der Stirlingmaschine 0 ist eine Wärmequelle notwendig, welche Wärmeenergie innerhalb der Abschnitte II und II' in die Wärmezuführungsbereiche 9 durch erhöhte Temperatur T2 einbringt. In der dargestellten Ausführungsform wird als Wärmeübertragungsfluid warme Flüssigkeit, z.B. Wasser, über die Leitungen 19 zugeführt. Die Durchflusssgeschwindigkeit wird mittels Sensoren 17 gemessen. Diese Daten gehen an das Steuerungsmodul 6, welches wiederum mittels Magnetventilen 18 den Durchfluss regulieren kann. Die zugeführte Wärme gelangt über die Leitungen 19 in den Bereich der Wärmeübertragungsmittel 14 in Form der Metallschäume 14, die Metallschäume 14 übertragen die Wärmeenergie vom Wärmeübertragungsfluid über das Druckgehäuse 3 an das Arbeitsgas 11. Alternativ zu den Metallschäumen 14 können auch normale Lamellen aus Metall als Wärmeübertragungsmittel 14 verwendet werden.

[0033] Üblicherweise wird das Druckgehäuse 3 in drei Einzelteilen erstellt, welche dann miteinander verbunden werden. Dadurch wird gewährleistet, dass der Lineargenerator 1 montiert bzw. ausgetauscht werden kann.

[0034] Als Arbeitsgas 11 wird vorteilhafterweise Helium verwendet. Im Wärmeabführungsbereich 10 mit niedriger Temperatur T1 wird wiederum Wärmeenergie über die Leitungen 19 weggeführt. Zwischen den Wärmeabführungsbereichen 10 mit niedriger Temperatur T1 und Wärmezuführungsbereichen 9 mit erhöhter Temperatur T2 entsteht nun ausserhalb und innerhalb des Druckgehäuses 3 eine Temperaturdifferenz.

[0035] Wie in der Fig. 1a dargestellt, verdrängt der Regenerator 2 im Abschnitt II das Arbeitsgas 11 vom Wärmezuführungsbereich 9 mit erhöhter Temperatur T2 in den Wärmeabführungsbereich 10 mit niedriger Temperatur T1. In diesem Wärmeabführungsbereich 10 gibt das Arbeitsgas 11 die Wärmeenergie über das Druckgehäuse 3 an den Metallschaum 14 wieder ab. Da der Metallschaum 14 durchspült wird vom Wärmeübertragungsfluid, wie z.B. Wasser, wird die Wärmeenergie abgeführt. Das Arbeitsgas 11 kühlt dadurch ab und der Innendruck auf der Seite des Abschnitts II vom Lineargenerator 1 sinkt. Auf der gegenüberliegenden Seite des Lineargenerators 1 im Abschnitt II' geschieht zeitgleich das Gegenteil. Der Regenerator 2 verdrängt das Arbeitsgas 11 vom kalten Bereich 10 mit T1 zum warmen Bereich 9 T2 des Druckgehäuses 3. Bei den in Fig. 1a beschriebenen Positionen der Regeneratoren 2 entsteht im Abschnitt II eine Druckminderung, weil Wärme weggeführt und im Abschnitt II' eine Druckerhöhung da Wärme zugeführt wird. Dieses Druckgefälle zwingt den Arbeitskolben 11' entlang der Achse R in Richtung Abschnitt II zu verschieben.

[0036] Nach diesem Arbeitstakt werden die Regeneratoren 2, wie in Fig. 1b dargestellt, auf die jeweils gegenüberliegende Seite, innerhalb der Abschnitte II und II', entlang der Achse R mittels einer Umkehr der Polarität des Magnetfeldes der Induktionsspule 5 bewegt. Durch diese Bewegung wird das Arbeitsgas 11, wie im Abschnitt II der Fig. 1b dargestellt, in den Bereich 9 mit erhöhter Temperatur T2 verdrängt. Dadurch wird es erwärmt und drückt den Arbeitskolben 11' entlang der Achse R in Richtung des Abschnittes II', während im Abschnitt II' der Regenerator 2 sich im Bereich mit erhöhter Temperatur 9 T2 befindet und das Arbeitsgas 11 in den Bereich mit tiefer Temperatur 10 T1 verdrängt wird. Dadurch fällt der Druck des Arbeitsgases im Abschnitt II' zusammen und verringert den Widerstand des Arbeitskolbens 11', in diesen Abschnitt einzudringen.

[0037] Die Regeneratoren 2 sind Kurzzeitwärmespeicher und nehmen Wärmeenergie auf der einen Seite über das Arbeitsgas 11 auf, um Sie auf der gegenüberliegenden Seite wieder an das Arbeitsgas 11 abzugeben. Vorteilhafterweise bestehen die Regeneratoren 2 aus Material mit hoher Wärmekapazität. Da die Regeneratoren 2 diesen Wärmefluss zeitlich etwas verzögern, entsteht ein höheres Temperaturgefälle zwischen den Arbeitsgasvolumen 11 links und rechts der Regeneratoren 2. Dadurch dehnt sich das Arbeitsgas 11 aus und wirkt entlang der Achse R auf die Endfläche des Arbeitskolbens 11' des Lineargenerators 1. Durch den Kolbenring 13' wird erreicht, dass das Arbeitsgas 11 nicht in den Lineargenerator 1 dringt. Zwischen den durch den Lineargenerator 1 unterteilten Hohlraum des Druckgehäuses 3, entsteht nun ein Druckgefälle des Arbeitsgases 11. Die dadurch auf den Arbeitskolben 11' wirkenden Kräfte setzen diesen parallel zur Achse R in Bewegung. Der mit Permanentmagneten versehene Arbeitskolben 11' induziert mittels seines Magnetfeldes über den Stator mit Wicklungen 12' eine elektrische Spannung. Diese Spannung wird mittels der Elektroleitungen 21 dem Frequenzumwandler 8 zugeführt, dieser erhöht die Frequenz auf die üblichen 50 Hz, damit der erzeugte Strom einem externen Verbraucher zugeführt werden kann.

[0038] Die Doppelwirkung der Stirlingmaschine 0 wird dadurch erreicht, dass auf beiden Seiten des Lineargenerators 1 auf den Arbeitskolbens 11' das Arbeitsgas 11 abwechselnd einwirken kann, indem es wie vorgängig beschrieben auf beiden Seiten des Lineargenerators 1 zeitgleich unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt ist und der Druck sich auf der einen Seite erhöht, wobei auf der gegenüberliegenden Seite gleichzeitig sinkt.

[0039] Die Induktionsspule 5 erzeugt ein gerichtetes, magnetisches Feld zur Bewegung der Regeneratoren 2, sie besteht aus einer Kupferdrahtwicklung und wird über das Steuerungsmodul 6 mit Strom versorgt. Die Induktionsspulen 5 bilden damit einen Elektromagneten, mit welchem eine gesteuerte Positionierung der Regeneratoren 2 möglich ist. Die Regeneratoren 2 müssen daher permanentmagnetisch sein oder wie dargestellt mit einem Permanentmagneten 21' versehen

sein. Um den Reibungswiderstand möglichst gering zu halten und um eine Abnützung des Regenerators zu vermeiden, werden Gleitringe 22' aus Metall oder Kunststoff eingesetzt.

[0040] Um die Stirlingmaschine 0 zu starten, benötigt dieser zusätzliche Energie. Diese wird über den Akku 7 bereitgestellt. Der Akku 7 wird während des Betriebs der Stirlingmaschine 0 mittels eigens erzeugter elektrischer Energie geladen, um nach einem Stillstand die nötige Startenergie bereitzustellen, für die Bewegung der Regeneratoren 2 mittels der Induktionsspule 5.

[0041] Das Steuerungsmodul 6 überwacht mittels der Sensoren 17 den Wärmefluss, welcher durch die Leitung 19 für das Fluid in die Stirlingmaschine von aussen zugeführt wird. Das Steuerungsmodul 6 besteht aus einem Prozessor zur Verarbeitung von eingehenden Daten wie Temperatur, Durchflussgeschwindigkeit, Spannung sowie Stromstärke. Auf Grundlage dieser Daten regelt das Steuerungsmodul 6 den Arbeitstakt der Regeneratoren 2 über die Induktionsspule 5. Das Steuerungsmodul 6 regelt weiter den Durchfluss des Fluides mit Hilfe der Magnetventile 18. In einer ersten Ausführungsform stellt das Steuerungsmodul 6 eine Schnittstelle bereit, wahlweise über Bluetooth, WLAN oder USB-Schnittstelle. Diese Schnittstelle dient zur Kontrolle, Überwachung und Einstellung der Stirlingmaschine 0 für den Nutzer.

[0042] Die Stirlingmaschine 0 wird im Abschnitt I um den Lineargenerator 1 mit einer perforierte Verkleidung 20 abgeschlossen, um zu gewährleisten, dass die Abwärme des Lineargenerators 1 über die Kühllamellen 4 und durch die perforierte Verkleidung 20 an die Umgebungsluft abgegeben werden kann.

[0043] Eine Doppelwirkung der Stirlingmaschine 0 ist hier dadurch erreicht, dass beidseitig an den Arbeitsabschnitt I anschliessend die beiden Verdrängerabschnitte II, II' angeordnet sind, wobei das Druckgehäuse 3 einen Innenraum umschliesst, in welchem das Arbeitsgas 11, der Arbeitskolben 11' und beide Regeneratoren 2 linear bewegbar angeordnet sind. Die Regeneratoren 2 bewegen sich beidseitig vom Arbeitsabschnitt I und damit beidseitig vom Lineargenerator 1. Für einen hohen Wirkungsgrad sollte sich das Arbeitsgas 11 nicht von den Abschnitten II und II' über den Arbeitsabschnitt I ausgleichen. Die Kolbenringe 13' und Gleitringe 22' hindern das Arbeitsgas 11 daran, die Abschnitte II und II' zu verlassen und in den Abschnitt I einzudringen. Hier ist das Druckgehäuse 3 um den Lineargenerator 1 gebaut, um das am Kolbenring 13' und den Gleitringen 22' vorbeiströmende Arbeitsgas 11 im geschlossenen System zu halten. Wenn die Stirlingmaschine 0 bzw. Arbeitskolben 11' und Regeneratoren 2 stillstehen, gleicht sich das Arbeitsgas 11 wieder innerhalb des ganzen Druckgehäuses 3 aus. Es wird in der Praxis auch in den Abschnitt I eindringen, da Drücke von etwa 200 bar anliegen. Wenn sich das Arbeitsgas 11 ohne Widerstand zwischen den Verdrängerabschnitten II und II' ausgleichen könnte, würde kein Druckgefälle zwischen den Abschnitten I, II, II' entstehen und der Arbeitskolben 11' würde nicht angetrieben.

[0044] Damit auf eine Rückstellfeder verzichtet werden kann, womit bei klassischen Stirlingmaschinen der Arbeitskolben wieder zur Ausgangsposition zurückgestossen wird, werden hier zwei Abschnitte II, II' an den Arbeitsabschnitt I seitlich angeordnet. Das Problem einer Rückstellfeder ist, dass diese kinetische Energie verbraucht und der Arbeitskolben gegen die Feder drücken muss. Hier wird auf beiden Seiten des Lineargenerators 1 wechselseitig Überdruck und Unterdruck erzeugt, sodass der Arbeitskolben 11 mit weniger Widerstand zwischen seinen Auslenkungspositionen bewegbar ist.

Bezugszeichenliste

[0045]

- | | |
|---|--|
| 0 | Freikolben-Stirling-Kreislaufmaschine/Stirlingmaschine |
| 1 | Lineargenerator |
| | 11' Arbeitskolben (Läufer mit Permanentmagneten) |
| | 12' Stator mit Wicklungen |
| | 13' Kolbenring |
| 2 | Regeneratoren (Verdrängerkolben) |
| | 21' Permanentmagnet |
| | 22' Gleitringe |
| 3 | Druckgehäuse |
| 4 | Kühllamellen |
| 5 | Induktionsspule |
| 6 | Steuerungsmodul |
| 7 | Akku |

- 8 Frequenzumformer
- 9 Wärmezuführungsbereich/erhöhte Temperatur T2
- 10 Wärmeabführungsbereich/niedrige Temperatur T1
- 11 Arbeitsgas
- 12 Verkleidung
- 13 Wärmedämmung
- 14 Wärmeübertragungsmittel/geschäumtes Metall
- 15 Thermische Trennung mit Dichtung
- 16 Einfüllöffnung für Arbeitsgas
- 17 Sensoren
- 18 Magnetventile
- 19 Leitung für Fluid
- 20 Perforierte Verkleidung
- 21 Elektroleitung
- 22 Ummantelung
- R Achse
- I erster Abschnitt
- II, II' Verdrängerabschnitte/zweite Abschnitte

Patentansprüche

1. Stirlingmaschine (0), umfassend ein hermetisch geschlossenes Druckgehäuse (3) mit einem Arbeitsabschnitt (I) und mindestens einen an den Arbeitsabschnitt (I) angrenzenden Verdrängerabschnitt (II), wobei im Innenraum des Druckgehäuses (3) im Arbeitsabschnitt (I) mindestens ein Arbeitskolben (11') bewegbar, einen Teil eines Lineargenerators (1) bildend, angeordnet ist und im mindestens einen Verdrängerabschnitt (II) ein Regenerator (2) angeordnet ist, so dass bei Füllung des Druckgehäuses (3) mit einem Arbeitsgas (11) und bei Einwirkung eines Temperaturunterschiedes zwischen dem Verdrängerabschnitt (II) bei erhöhter Temperatur (T2) und dem Rest des Druckgehäuses (3) bei niedriger Temperatur (T1, $T1 < T2$) mechanische Arbeit durch den Arbeitskolben (11') verrichtbar und vom Lineargenerator (1) in elektrische Energie umwandelbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Verdrängerabschnitt (II') mit einem Regenerator (2') linear vom Arbeitsabschnitt (I) und erstem Verdrängerabschnitt (II) beabstandet im gleichen Druckgehäuse (3) angeordnet ist, sodass die Verdrängerabschnitte (II, II') den Arbeitsabschnitt (I) entlang einer Längsachse (R) beidseitig direkt umgeben, wobei die beiden Regeneratoren (2) permanentmagnetisch sind oder einen Permanentmagneten (21') umfassen und derart mit Induktionsspulen (5), welche jeden Verdrängerabschnitt (II, II') umgeben, wirkverbindbar sind, dass durch Einstellung des Stromflusses durch die Induktionsspulen (5) die Position der Regeneratoren (2) variierbar ist.
2. Stirlingmaschine (0) nach Anspruch 1, wobei am Arbeitskolben (11') Kolbenringe 13' und an den Regeneratoren (2) Gleitringe (22') angeordnet sind, welche einen Austausch eines Arbeitsgases (11) innerhalb des Druckgehäuses (3) zwischen dem ersten Abschnitt (I) und den Verdrängerabschnitten (II, II') erschwert.
3. Stirlingmaschine (0) nach Anspruch 1, wobei ein Stator (12') mit Wicklungen des Lineargenerators (1) vollständig im Druckgehäuse (3) angeordnet ist und der Arbeitskolben (11') der Läufer des Lineargenerators (1) ist.
4. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirlingmaschine (0) ein Steuerungsmodul (6) aufweist, welches über Sensoren (17) Daten wie Temperatur und Durchflussmenge eines Wärmübertragungsfluids sammelt und verarbeitet und die Durchflussmenge über Magnetventile (18) regulierbar ist.
5. Stirlingmaschine (0) nach Anspruch 4, wobei das Steuerungsmodul (6) den Bewegungstakt der Regeneratoren (2) mittels Umkehrung der Polarität der Induktionsspulen (5) regulieren und dadurch direkt den Takt des Arbeitskolben (11') beeinflussen kann, welcher die induzierte, gewonnene elektrische Energiemenge bestimmt.

6. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein interner Akku (7) die notwendige Startenergie bereitstellt, welche zum Starten der Stirlingmaschine (0) notwendig ist, um die Regeneratoren (2) über die Induktionsspule (5) zu bewegen, wobei der Akku (7) während des Betriebs durch umgewandelte Energie des Lineargenerators (1) wieder aufladbar ist.
7. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 6, wobei der Regenerator (2) mittels integrierten trockenlaufenden Gleitringen (22'), insbesondere aus abriebfesten Kunststoffen, wartungsfrei läuft.
8. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verdrängerabschnitte (II, II') ausserhalb des Druckgehäuses (3) mit einem Wärmeübertragungsmittel (14) umhüllt sind, welches für ein Wärmeübertragungsfluid durchlässig ist.
9. Stirlingmaschine (0) nach Anspruch 8, wobei das Wärmeübertragungsmittel (14) in Form eines geschäumten Metalls (14) ausgestaltet ist, dessen Porosität ein Hindurchfliessen des Wärmeübertragungsfluids erlaubt.
10. Stirlingmaschine (0) nach einem der Ansprüche 4 bis 9, wobei das Steuerungsmodul (6) eine kabellose Schnittstelle wie WLAN oder Bluetooth besitzt und mittels eines externen PCs, Tablets oder Smartphones überwacht und gesteuert werden kann.
11. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Frequenzumformer (8) den durch den Lineargenerator (1) induzierten Strom auf eine Wechselspannungsfrequenz von 50 Hz umwandelt, damit die elektrische Energie direkt entweder ins Stromnetz eingespeist oder einem Verbraucher zugeführt werden kann.
12. Stirlingmaschine (0) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jeder Verdrängerabschnitt (II, II') an seiner vom Arbeitsabschnitt (I) abgewandten Seite einen Wärmezuführungsbereich (9) und an seiner dem Arbeitsabschnitt (I) zugewandten Seite einen Wärmeabführungsbereich (10) aufweist, in welche ein Wärmeübertragungsfluid mittels Leitungen (19) zu- und abführbar ist.

FIG. 1c

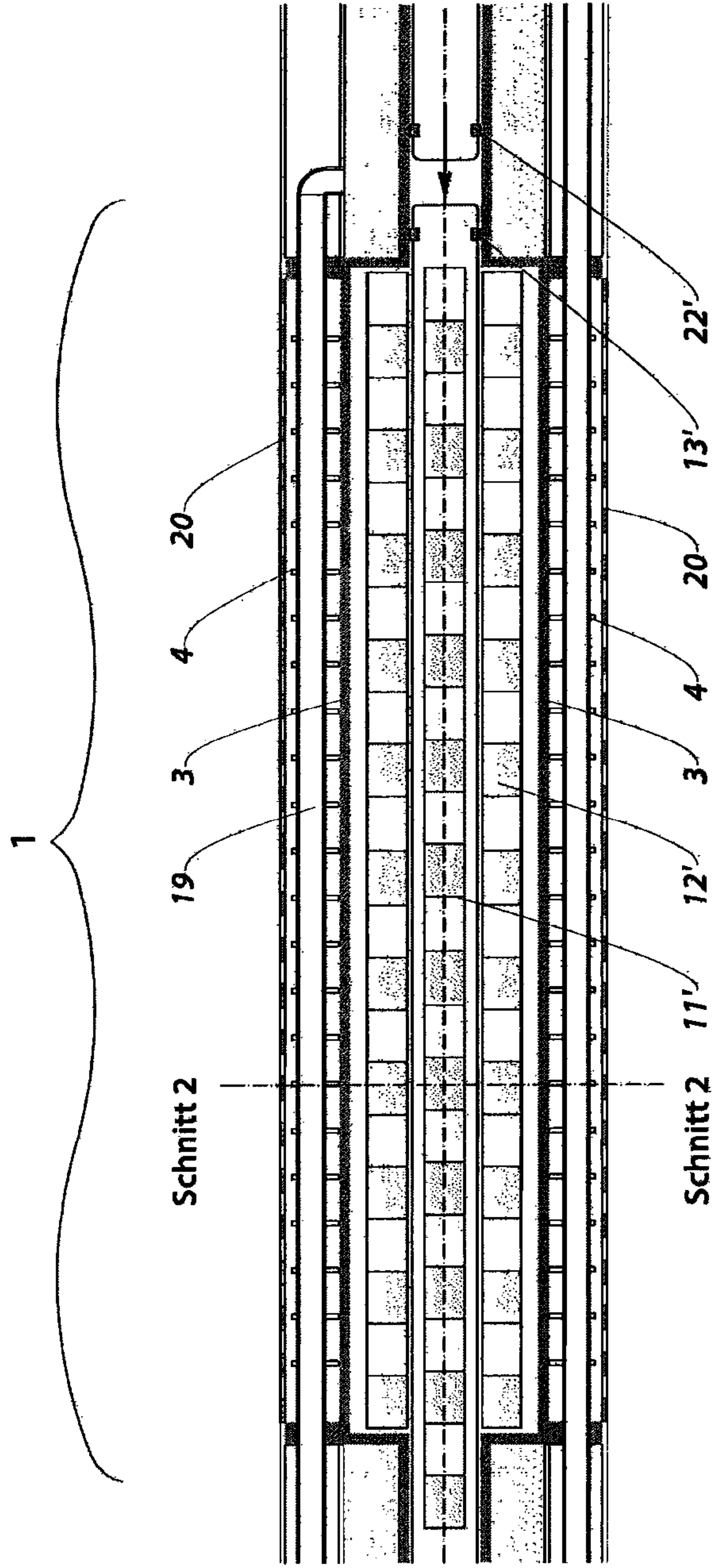
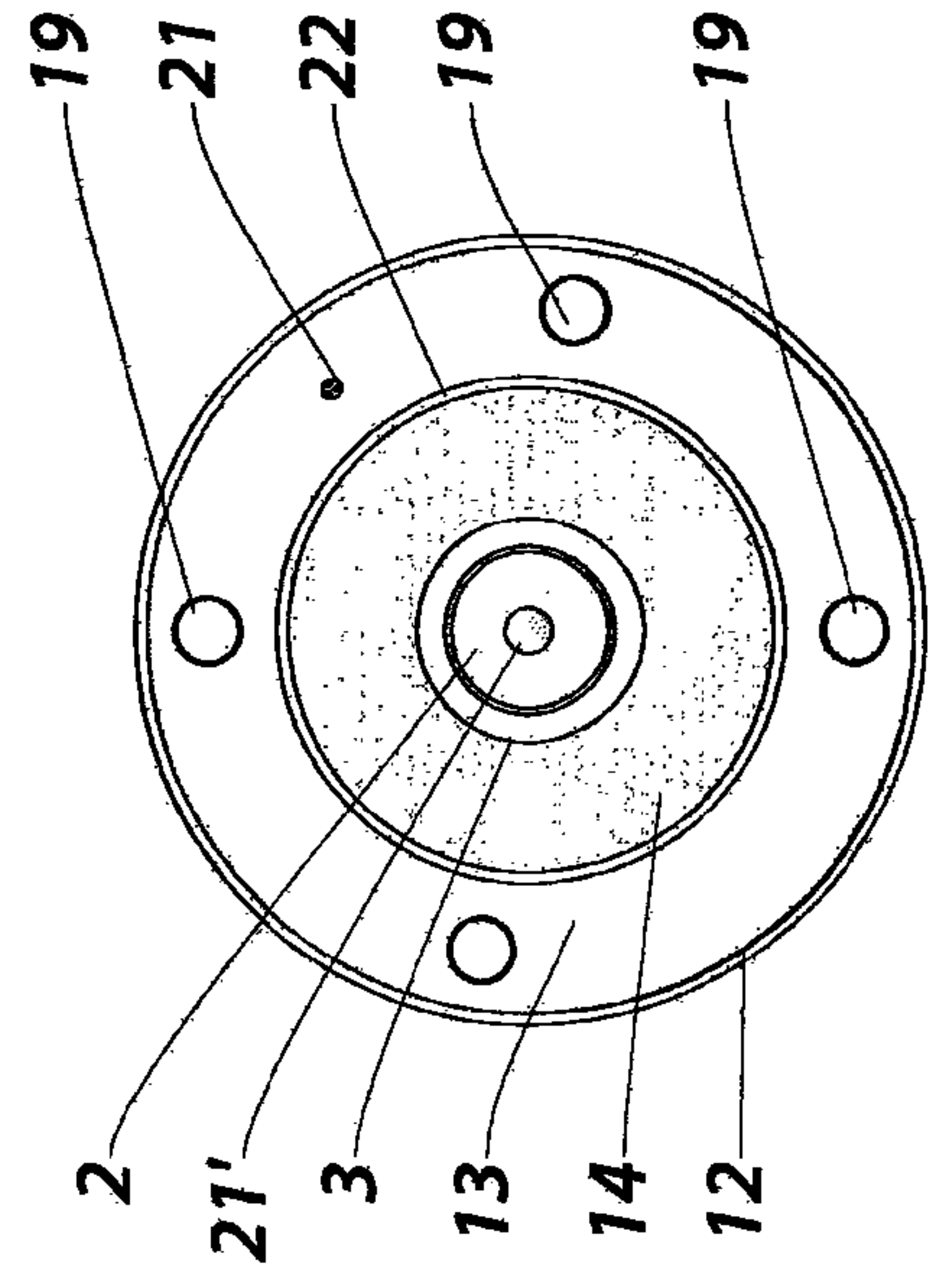


FIG. 2

**FIG. 3.**