



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2021 Patentblatt 2021/49

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

(21) Anmeldenummer: **21182490.9**

(22) Anmeldetag: **14.03.2016**

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

(71) Anmelder: **Kleinwächter, Jürgen**
79400 Kandern (DE)

(72) Erfinder: **Kleinwächter, Jürgen**
79400 Kandern (DE)

(74) Vertreter: **FARAGO Patentanwälte**
Thierschstraße 11
80538 München (DE)

(30) Priorität: **13.03.2015 DE 102015003147**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:
16736768.9 / 3 280 900

Bemerkungen:

Diese Anmeldung ist am 29-06-2021 als Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten Anmeldung eingereicht worden.

(54) **MEMBRANE-STIRLINGMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Membran-Stirlingmaschine, wobei in einer wärmetauschenden und kräfteübertragenden Flüssigkeitsimmersion pulsierende gasgefüllte Membranbeutel als Flüssigkeitsgaswärmetauscher dienen, wobei die Membranhüllen aus durchgehenden Schläuchen bestehen, die sich vom heißen in den kalten

Raum erstrecken und in deren Mitte Regeneratormaterial eingebracht ist, sowie dadurch gekennzeichnet, dass beide offenen Enden der Schläuche durch mechanische Klemmleisten, die mittels Federn an Innenwänden der Flüssigkeitszylinder befestigt sind, linienförmig geschlossen werden.

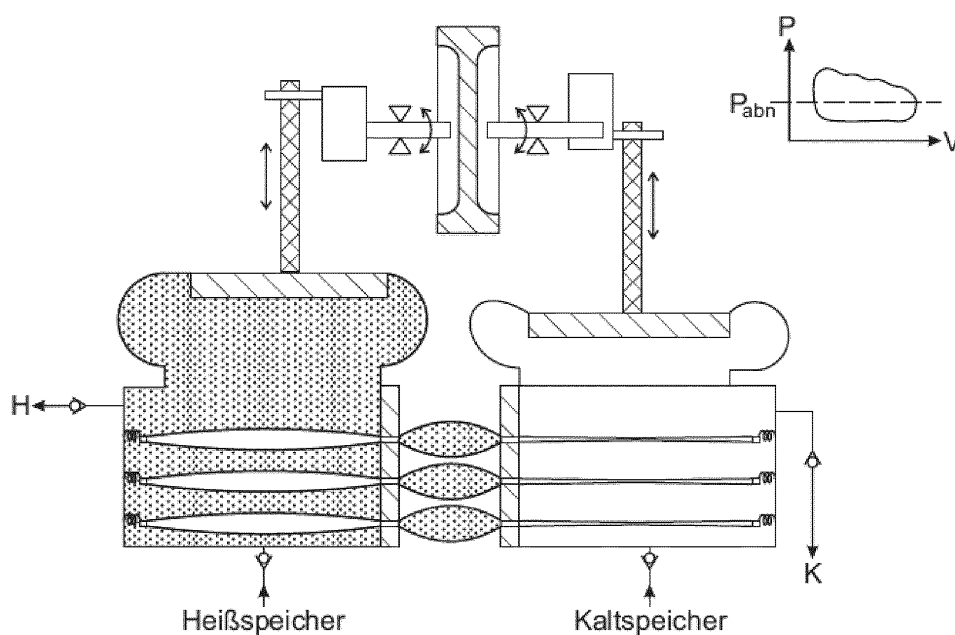


Fig. 10

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Membran-Stirlingmaschine.

[0002] Klassische Stirlingmotoren bestehen aus Anordnungen starrer, druckfester, gasgefüllter Zylinder, Wärmetauschern zum Erhitzen und Abkühlen des hermetischen eingeschlossenen Arbeitsgases, Verdrängerkolben zum periodischen Verschieben des Arbeitsgases von der kalten zur heißen Seite und zurück, einem zwischengeschalteten Wärmeregenerator, sowie Arbeitskolben zur Übertragung der durch thermische Druckfluktuationen des Gases generierten Arbeit nach außen.

[0003] Im PV-Diagramm (Fig. 1) ist der Stirling Motor durch 4 Prozessschritte gekennzeichnet:

1-2 isotherme Expansion des Gases auf der heißen Seite unter Arbeitsabgabe;

2-3 isochore Verschiebung des heißen Arbeitsgases durch den Regenerator in den kalten Raum.

3-4 isotherme Kompression des kalten Arbeitsgases unter Arbeitsaufwand;

4-1 isochore Verschiebung des Arbeitsgases durch den Regenerator in den heißen Raum.

[0004] Bei gutem Wärmetausch der Erhitzer bzw. Kühlwärmetauscher in das Arbeitsgas (gut bedeutet hier ein möglichst geringes ΔT zwischen Wärmetauschertemperatur und Gastemperatur), gutem Regenerator (dieser muss eine große Oberfläche aufweisen, wenig Druckverlust für das durchströmende Gas erzeugen, den Wärmeinhalt des Gases periodisch zwischenspeichern und wieder abgeben, in Längsrichtung einen linearen Temperatur Koeffizienten besitzen), minimalem Totvolumina und kleinstmöglicher Verschiebearbeit zum Hin-und-Herbewegen des Arbeitsgases, nähert sich der Wirkungsgrad des Stirlingmotors dem einer idealen Carnot-Maschine mit

$$\eta_c = \frac{T_h - T_n}{T_h} = 1 - \frac{T_n}{T_h}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_u}{T_o}$$

T_u, T_n = untere Temperatur in Kelvin

T_o, T_h = obere Temperatur in Kelvin

[0005] In der Praxis existierender Stirlingmaschinen werden jedoch maximal 50 % des theoretischen Carnot Wirkungsgrades aufgrund folgender Einschränkungen erzielt:

1. Großes ΔT zwischen den Wärmetauschern und dem Arbeitsgas.

2. Keine isotherme Expansion und Kompression

3. Unvermeidliche Totvolumina beispielsweise durch Rippenwärmetauscher und geometrische Beschränkungen zwischen starren Verdrängerkolben, Zylinderwänden, Strömungskanälen, usw.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, dem Stand der Technik eine Alternative oder Verbesserung zur Verfügung zu stellen.

[0007] Diese Aufgabe löst eine Membran-Stirlingmotor mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche.

[0008] Optionale Merkmale sind den Unteransprüchen und der Beschreibung sowie den Figuren zu entnehmen.

[0009] Insbesondere haben die Erfinder als Problem aus dem Stand der Technik identifiziert, dass der ideale thermodynamische Prozess davon ausgeht, dass die Entspannung isotherm verläuft. Dem sich entspannenden Medium muss also während des Entspannens Wärme zugefügt werden. In der Erfindung ist eine Blase vorgesehen. Der Druck ist innen und außen gleich, daher geht die erforderliche Verformungsarbeit gegen Null.

[0010] Die erfindungsgemäße Stirlingmaschine hat eine besondere, spezifische Bauart:

Das Arbeitsgas der Stirlingmaschine befindet sich sowohl in ihrem heißen Teil als auch in ihrem kalten Teil in Membranhüllen mit vernachlässigbarer Biegesteifigkeit, die an einem Ende hermetisch geschlossen sind und mit ihrem offenem

Ende dicht abschließend, in den heißen, bzw. kalten Raum eines Regeneratorkastens münden.

[0011] Das zu erwärmende Gas befindet sich hierbei in beispielsweise Beuteln, die von dünnwandigen Membranhüllen vernachlässigbarer Biegesteifigkeit gebildet werden. Diese Membranbeutel schließen das Arbeitsgas hermetisch ein und münden jeweils an ihrer Stirnseite in den Regeneratorkasten. Die rechts und links vom Regeneratorkasten angeordneten

Membranbeutel bilden zusammen mit diesem eine gasdichte Einheit. Es wird so viel Gas eingefüllt wie dem Gasvolumen des Regeneratorkastens und der Hälfte des maximalen Volumens beider Beutel entspricht.

[0012] Die Membranbeutel befinden sich in einer Immersion von heißer bzw. kalter Flüssigkeit. Der Regeneratorkasten trennt den heißen Flüssigkeitsraum vom kalten Flüssigkeitsraum.

[0013] Die gesamte Einheit von gasgefüllten Membranbeuteln, Regeneratorkasten und wärmeübertragender heißer oder kalter Flüssigkeit befindet sich ihrerseits in einem geschlossenen, flüssigkeitsdichten und druckfestem Gehäuse.

[0014] Der heiße Flüssigkeitsraum, so wie auch der kalte Raum sind mit Hydraulikkolben (oder ähnlichen technischen Mitteln wie Faltenbälgen, hydraulischen Kissen und Ähnlichem) versehen, die exakt das Volumen Flüssigkeit verdrängen können, das der Hälfte des maximalen Gasvolumens in den Membranbeuteln entspricht.

[0015] Die sowohl auf der heißen als auch auf der kalten Seite des druckfesten Gehäuses angeordneten Hydraulikkolben sind über einen Excenter so miteinander verbunden, dass sie sich mit einer entsprechenden Phasenverschiebung (typisch: 90°) zueinander bewegen. Die rotierende Achse des Excenters (oder einer äquivalenten technischen Vorrichtung, wie eine Taumelscheibe oder eine Kurvenscheibe) ist mit einem Schwungrad versehen. Die beschriebene Konfiguration entspricht einem Stirling Motor der alpha-Bauweise.

[0016] In Fig.2 ist der Aufbau des erfindungsgemäßen Membran Stirlingmotors in alpha-Bauweise dargestellt.

1) Membranbeutel, gefüllt

1a) Membranbeutel, auf Volumen Null kollabiert

2) Hydraulikverdränger +Arbeitskolben im oberen Totpunkt

2a) Hydraulikverdränger +Arbeitskolben im unteren Totpunkt

3) heißes Fluid

3a) Kaltes Fluid

4) Ex-Center Getriebe

5) Schwungrad

6) Regeneratorkasten

[0017] Erfindungsgemäß vermeidet der Membran Stirlingmotor die erwähnten Schwächen klassischer Stirlingmotoren (großes ΔT zwischen Wärmetauschern und Arbeitsgas; polytrope Expansion und Kompression des Arbeitsgases statt Isothermie; Totvolumina) aufgrund folgender Effekte:

1.) sehr gute Wärmeübertragung von heißem, bzw. kaltem Fluid durch die dünne Membran ins Arbeitsgas.

2.) Der pulsierende Membranbeutel bewirkt eine periodische Umkehr der Strömungsrichtung des Gases in den Membranbeuteln. Dies führt zu einer guten Durchmischung des Gaskörpers und einem guten Wärmeeintrag über die Membranwände.

3.) Die pulsierenden Beutel kollabieren periodisch unter der Wirkung der gleichmäßig auf sie wirkenden hydrostatischen Kraft der umgebenden Flüssigkeit gegen Null. Dabei wird regelmäßig eine Geometrie der Beutel durchlaufen (geringe Dicke), die den Bedingungen von Mikrowärmetauschern mit den typischen stark erhöhten Wärmetauscherwerten von der Wand in das Gas, entsprechen.

[0018] Die kombinierte Wirkung dieser drei Effekte führt zu einem deutlich besseren Gesamtwärmeübergang verglichen mit klassischen, starren Wärmetauschern. Dies wiederum führt zu höheren flächenspezifischen Leistungen der Wärmeübertragung und damit zu kleineren Temperaturdifferenzen zwischen erhitzender oder abkühlender Flüssigkeit und dem Arbeitsgas.

[0019] In der Ausführungsform der Fig. 2 sind zylindrische Schläuche als Membranbeutel ausgeführt.

[0020] Die Tatsache, dass der durch die dünne, pulsierende Membran des Gasbeutels mit der heißen oder kalten Flüssigkeit getauschte Wärmestrom sehr effektiv ist, führt in Verbindung mit der um Größenordnung höheren Wärmekapazität der Flüssigkeit im Vergleich zum Arbeitsgas zur gewünschten Isothermalisierung während der Expansion bzw. der Kompression des Arbeitsgases (Fig.1).

[0021] In Fig.3 wird anhand eines einzelnen Membranbeutels das Prinzip des "pulsierenden" Wärmetauschers-Verdrängers visualisiert.

[0022] Der dritte, gravierende Nachteil klassischer Stirlingmotoren, die Unvermeidbarkeit von Leistungs- und Wirkungsgrad mindernder Totvolumina, wird aufgrund der Topologie pulsierender, gasgefüllter Membranbeutel mit dünnen Wänden vernachlässigbarer Biegesteifigkeit, die vom hydraulischen Druck der sie umgebenden Flüssigkeit gleichmäßig verformt werden, grundsätzlich vermieden.

[0023] Der Membranbeutel ist mit Federhalterungen an seinen Stirnseiten gehalten.

[0024] Die Maschine verschiebt den Inhalt des Membranbeutels geschickt, außerdem ist der Membranbeutel ein sehr guter Wärmetauscher. Denn der Membranbeutel wird wann immer er flachgelegt ist zu einem Micro-Wärmetauscher.

[0025] Typischerweise werden hierzu, wie schematisch aus Fig.4 hervorgeht, die dünnen Membrane als ebene Flächen auf Rahmen aufgespannt. Die Rahmen weisen um ihren inneren Rand herum Strukturen auf, denen sich die Membrane bei ihrem Zusammendrücken sanft und ohne Hinterlassung von Totalvolumina anschmiegen. Ähnliche Anpassungsprofile sind in den Bereichen, wo die Membranbeutel über starre Endprofile gasdicht an den Regeneratorkasten angeschlossen sind, ausgebildet.

1) Anschmiegestruktur

2) Spannrahmen

3) Membran komplett kollabiert

4) Membran im aufgeblasenen Zustand

5) Membran als ebene Fläche über Rahmen gespannt

[0026] Die in Fig. 4 schematisch dargestellte Ausbildung eines Membranbeutels durch

[0027] Einspannung zweier ebener Membrane in einen Rahmen ist besonders vorteilhaft, weil sich auf diese Weise ganze "Stapel" von Membranbeuteln in dichtest gepackter Form mit dem Regeneratorkasten verbinden lassen und damit die Leistung der Maschine gesteigert werden kann (Fig.5).

[0028] Um mögliche Berührungen einzelner Membranbeutel bei ihrer Expansion und damit Unterbrechungen der Vollflächigen Umströmung der Membranbeutel mit der Flüssigkeit, zu vermeiden, werden erfindungsgemäß geeignete Gitter zwischen jeweils zwei Membranbeutel angebracht. Diese werden in die mechanischen Rahmenkonstruktion, die zur Aufnahme der "Membranbeutelstapel" dienen, mit eingebaut (Fig.6).

[0029] Die bisher geschilderte, bevorzugte Variante des erfindungsgemäß Membran Stirlingmotors unter Nutzung von plattenförmigen Stapeln rahmengestützter, gasgefüllter Membranbeutel, ist besonders günstig unter Nutzung dünner Elastomermembrane zu realisieren. Besonders geeignet sind hier spezielle, temperaturstabilisierte Silikone, insbesondere fluorierte Silikone, die für Dauertemperaturen bis 250°C einsetzbar sind.

[0030] Wie geschildert soll die neuartige Membranbauweise einer Stirlingmaschine deutlich höhere Carnot-Realisierungsgrade erreichen als bisherige Maschinen, die maximal 50% des Carnot-Wirkungsgrades erreichen.

[0031] Isotherm operierende Maschinen mit geringer Temperaturspeicherung zwischen dem Arbeitsgas und dem Erhitzer bzw. Kühlerfluid, mit minimalem Totvolumen und geringstmöglicher Verdrängerantriebsleitung (durch hydrostatische Verformung dünner Membrane), sollten Realisierungsgrade von 80% und mehr zulassen. Dies erlaubt es, schon bei relativ geringem Erhitzer-temperaturen gute mechanische Wirkungsgrade zu erreichen.

[0032] Dies sei an einem Beispiel verdeutlicht: Wählt man als Erhitzerfluid Wasser bei 200°C und 15 bar Druck, und als Kühlerfluid Wasser bei 40°C und 15 bar Druck (die Membranbeutel sind mit Druckluft von 15 bar gefüllt), ergibt sich bei einem 80% Carnot Realisierungsgrad ein erzielbar thermisch-mechanischer Wirkungsgrad der Maschinen von:

$$\eta_{\text{therm.mech.}} = 0,8 \times 1 - \frac{313}{473} = 0,8 \times 0,34 = \underline{0,27}$$

[0033] In Verbund mit einem guten elektrischen Generator ist damit ein Verstromungswirkungsgrad von ca. 0,25 erreichbar - ein Wert, der von klassischen Maschinen nur bei deutlich höheren Temperaturen erzielbar ist.

[0034] Damit lässt sich nicht nur problemlos solar realisierbare Mitteltemperaturwärme mit einfachen Stoffen (Wasser,

Luft, Stahl, Silikon) einfach und effizient in mechanische Energie und elektrischen Strom wandeln, sondern auch eine Vielzahl von Wärmequellen wie Industrieabwärme oder geothermische Wärme, nutzen.

[0035] Ein weiterer Vorteil des relativ niedrigen Temperaturniveaus eröffnet die Möglichkeit, einfache Druckwasserspeicher zur kostengünstigen Speicherung solarer Wärme und damit zum solaren rund um die Uhr Betrieb solcher Maschinen (Kraft und Stromautonomie) zu nutzen.

[0036] Dieselben Zusammenhänge machen es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Membran Stirlingmotor auch Wärmepotentiale wesentlich geringerer Temperatur, wie zum Beispiel Geothermiewärme oder Wärme von normalen Sonnenflachkollektoren von unter 100°C mit Wirkungsgraden von ca. 10% zu verstromen.

[0037] Da Stirlingmotoren reversibel als Kältemaschine und Wärmepumpe nutzbar sind, jedoch aufgrund der Restriktion teurer und relativ leistungsarmer Wärmetauscher der klassischen Bauweise dieses Prinzip nur für sehr große Temperaturunterschiede (Cryogenic cooling) bisher technisch nutzen konnten, eröffnen reversible (mechanisch angetriebene) Membran Stirlingmotoren der erfindungsgemäßen Bauart sehr gute neue Möglichkeiten.

[0038] Thermodynamisch sind solche Maschinen den heute eingesetzten Kompressionskältemaschinen bezüglich Kälte- und Leistungsziffern grundsätzlich überlegen. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Stand der Technik ist in der Tatsache begründet, dass solche Kältemaschinen/Wärmepumpen ohne klimagefährdende Kältemittel auskommen und lediglich mit Luft, Wasser, Frostschutzmittel und herkömmlichen Strukturmaterialien (Stahl oder faserverstärkte Kunststoffe) auskommen.

[0039] Dasselbe positive Argument kommt auch und insbesondere bei Solaranlagen mit kombinierten Wärmespeichern zur Realisierung von autonomen "Insellösungen" zum Tragen.

[0040] Im Gegensatz zur Photovoltaik, die auf strategische und seltene, zudem umweltbelastende Materialien, insbesondere bei der Speicherung der elektrischen Energie (Blei, Cadmium, Lithium, u.ä.) zurückgreifen muss, liegt der Vorteil der Membran Stirlingmaschinen gerade darin, nur reichlich vorhandene, kostengünstige und umweltfreundliche Materialien zu benötigen, und im Falle der Speicherung drucklose ($T < 100^\circ\text{C}$) oder Druckwasserspeicher ($T > 100^\circ\text{C}$) nutzen.

[0041] Im Gegensatz zur Photovoltaik, die grundsätzlich nur elektrische Energie zur Verfügung stellt, hat der Einsatz thermischer Maschinen den weiteren Vorteil automatisch Kraft, Elektrizität, Kälte oder Wärme und Abwärme (Kraft-Wärmekopplung) zur Verfügung zu stellen und damit viel besser die gesamte Palette dezentrale benötigter Energieformen zur Verfügung zu stellen.

[0042] Im Verbund mit den erwähnten Wärmespeichern (die auch als latent- oder thermochemische Speicher oder unter Nutzung von Biomasse/Gas, realisiert werden können) ist damit lokale Autonomie ohne den nötigen Rückgriff auf die aufwändigen Stromverteilungsnetze der zentralen Energieversorgung, möglich.

[0043] Während bis hierher die grundsätzlich zu favorisierenden Nieder- und Mitteltemperatur Anwendungen des Membran Stirlingmotors unter Verwendung von Wasser, Luft, Silikon oder anderer geeigneter Membranen, wie z.B. Polyurethan Elastomeren) beschrieben wurden, die aus stofftechnischen Gründen ihre obere Temperaturbeschränkung bei ca. 200°C finden und damit auf maximale Stromerzeugungswirkungsgrade von ca. 25% beschränkt sind, sind mit Sondermaterialien der Membrane und der Betriebsflüssigkeiten mit dem Membran Stirlingmotor auch grundsätzlich höhere Temperaturen und Wirkungsgrade möglich.

[0044] Wird beispielsweise als Betriebsflüssigkeit hochwertiges Silikon Thermoöl im Temperaturbereich von ca. 400°C eingesetzt und für die Membrane temperaturfeste Compound Materialien (Carbon-Fasern mit Carbon Membranen, oder spezielle Elastomere) verwendet, lassen sie, bei einer Kühltemperatur von 40°C Wirkungsgrade realisieren.

$$\eta_{\text{therm.mech.}} = 0,8 \times 1 - \frac{313}{673} = 43\%$$

[0045] Solare thermische Maschinen werden jedoch nur dann das Potential haben, die inhärent, verschleißfreien solaren Halbleiter (Photovoltaik, Thermoelektrik) zu konkurrenzieren, wenn sie preiswert herstellbar und extrem langlebig und wartungsarm sind. Durch die Materialwahl ist das Preisziel erreichbar. Das Prinzip der hydrostatischen, sanften Verformung dünner, elastischer Membrane mit relativ niedrigen Arbeitsfrequenzen (einige Hertz) bietet grundsätzlich im Gegensatz zu den etablierten Technologien mit klassischen mechanisch bewegten Verdrängern und nötigen Dichtungen, das Potenzial extremer Langlebigkeit.

[0046] Das Prinzip des Membran Stirlingmotors ist jedoch nicht auf die beschriebene, bevorzugte Topologie von Membranfolienbeuteln beschränkt. Wie aus Fig.7 hervorgeht, können beispielsweise auch dünnwandige Schläuche in verschiedener Konfiguration zum Einsatz kommen. Diese können erfindungsgemäß so fasernumwickelt sein, dass sie im entfalteten Zustand bei kreisrundem Querschnitt druckfest sind, und trotzdem (aufgrund ihrer vernachlässigbaren Biegesteifigkeit) quasi kraftfrei hydrostatisch verformbar sind.

[0047] Solche Schläuche lassen sich, wie aus Fig.8 hervorgeht, ohne die Notwendigkeit der Einspannung in Rahmen-

konstruktionen wie bisher geschildert, und ohne die Notwendigkeit formbegrenzender Zwischengitter, in einem Stirlingmotor integrieren.

- 1) Faserumwickelte Schläuche, entfaltet
- 2) Faserumwickelte Schläuche, flächig kollabiert
- 3) Federn
- 4) Heißes Fluid
- 5) Kaltes Fluid
- 6) Regeneratorzwischenraum

[0048] Eine weitere, besonders einfache Ausbildung des Membranstirlingmotors kann durch die Verwendung von vom heißen in den kalten Raum durchgehenden Folienschläuchen realisiert werden. Die (möglichst breiten) Folienschläuche werden an ihren offenen Enden durch mechanische Klemmleisten linienförmig geschlossen. An diesen werden sie mittels Federn an der Wand des heißen bzw. kalten Fluidraumes befestigt. In der Mittelzone der Schläuche sind diese mit Regeneratormaterial befüllt. Der heiße Fluidraum wird hierbei vom kalten Fluidraum durch einen von zwei wärmeisolierenden Platten gebildeten Zwischenraum getrennt. Durch entsprechende Schlitze in diesen Platten werden die Folienschläuche hindurchgeführt (Fig.9).

- 1) Schlauch, entfaltet
- 2) Schlauch, kollabiert
- 3) Regeneratormaterial im Schlauch
- 4) Heißes Fluid
- 5) Kaltes Fluid
- 6) Isolierende Wände, durch die die Schläuche hindurch geführt werden

[0049] Der Zwischenraum zwischen den Platten ist mit Wasser gefüllt, dass mit einem Gelbildner so dotiert ist, dass keine Wärmekonvektion in dieser Zwischenzone auftritt.

[0050] Eine derartige Ausführungsform des Membran Stirlingmotors ist besonders gut für drucklose, in die Erde gebaute große Maschinen geeignet.

[0051] In Fig. 10 ist eine solche Maschine schematisch dargestellt. Dabei wird in die Erde eine quadratische Grube eingebracht. Die Wände dieser Grube werden thermisch isoliert - typischerweise mit einem unverrottbaren, geschlossensorigen Isolationsmaterial wie Schaumglas.

[0052] Durch den in der Mitte der Grube installierten Zwischenkanal, der aus zwei vertikalen Schaumglaswänden besteht, wird die Grube in zwei identische große Kammern unterteilt, von deren eine mit heißem Wasser, die andere mit kaltem Wasser gefüllt wird. Der Zwischenkanal ist ebenfalls mit Wasser gefüllt, das mit einem Gelbildner so dotiert wird, dass das Wasser zum Gel wird. Auf diese Weise stabilisiert das Gelförmige Wasser zwar mechanisch den Zwischenkanal gegen die vom Stirlingzyklus generierten Druckschwankungen in den zwei Arbeitskammern, aber transportiert keine Wärme mehr durch Konvektion. Dies ist wichtig, damit der lineare Temperaturkoeffizient, der sich während des Betriebes in den Regeneratoren aufbaut, nicht zerstört wird.

[0053] Auf den Oberseiten der heißen und der kalten Arbeitskammern sind zwei mechanisch stabile, wärmeisolierte kreisförmige Arbeitskolben angeordnet. Diese hängen in einem großen Reifen, dessen eine Lippe mit dem Kolben an seiner Peripherie dicht verbunden ist während die andere Lippe an einem ebenfalls kreisförmigen Profil der heißen oder kalten Kammer dicht verbunden ist. Der Reifen erfüllt auf diese Weise die Funktion eines robusten "Kolbenringes", der den oszillierenden Kolben hermetisch zwischen dem Innenraum (Wasser) und dem Außenraum (Luft) dichtet.

[0054] Die periodische, vertikale Oszillation der Arbeitskolben dient zwei Funktionen:

1. der Auskoppelung der vom Stirling Zyklus erzeugten mechanischen Energie über ein Kurbelgetriebe und ein Schwungrad.

2. Der periodischen Verdrängung des Arbeitsgases in den Membranbeuteln durch hydrostatische Koppelung.

[0055] Heiße und kalte Seite pumpen sich über Rückschlagventile aufgrund des vom positiven zum negativen Druck schwankenden Innendruck sowohl Wasser aus dem heißen Speicher als auch aus dem kalten Speicher.

[0056] In Fig.11 wird dargestellt, wie ein hydraulischer Hilfskolben dazu genutzt wird, den Phasenwinkel zwischen dem heißen und dem kalten Arbeitskolben kontinuierlich zu verstellen. Dies dient drei Zwecken:

1. Um beim Starten des Motors keine Kompressionsarbeit leisten zu müssen, wird für diesen Startzyklus der Phasenwinkel auf 180° gestellt.

2. Pulsatormaschinen der beschriebenen Bauart (atmosphärisch, Temperatur <100°C) eignen sich besonders gut als kontinuierlich arbeitende Grundlastmaschinen, die ihre thermische Antriebsenergie aus großen Heißwasserspeichern ("Quelle") und großen Kaltwasserspeichern ("Senke") erhalten. Sie sind -wie bereits geschildert- dazu in der Lage rund um die Uhr elektrischen Strom, mechanische Energie für vielfältige Zwecke sowie Kälte und Wärme (reversibel arbeitende Pulsatormaschine) zu liefern. Um das Lastprofil an das zeitlich schwankende Bedarfsprofil anzupassen, wird der Phasenwinkel entsprechend angepasst.

3. Die Temperaturen in den Wärmespeichern unterliegen zeitlichen Schwankungen. Zu jeder Temperatur gehört ein optimaler Phasenwinkel. Dieser kann über den hydraulischen Hilfskolben automatisch eingestellt werden.

- 1) Schwungrad
- 2) Verstellzylinder
- 3) Pleuel
- 4) Auswuchtgewicht

$\alpha_{\max} = 180^\circ$ Leistung null

$\alpha_{\min} = 120^\circ$ Leistung max für 90°C

[0057] Die bisher geschilderten Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Pulsator Stirlingmotors nutzen zur Verschiebung des Arbeitsgases Kolben, die durch periodische Verschiebung des Wärmefluides in den Arbeitsräumen die stufenlose Be- und Entleerung des Arbeitsgases in den Membranbeuteln durch hydrostatische Koppelung bewirken.

[0058] Erfindungsgemäß kann die Verdrängung des Fluides auch durch in den heißen und kalten Raum eingebrachte Membranlautsprecher oder Piezokristalle realisiert werden. Die Phasenverschiebung zwischen heißem und kaltem Raum wird hierbei erfindungsgemäß durch eine entsprechende elektronische Ansteuerung der beiden Aktuatoren bewerkstelligt. Die Gewinnung elektrischer Energie wird durch einen dritten Lautsprecher (oder Piezokristall), der sich im kalten Flüssigkeitsraum befindet und die thermodynamisch erzeugten Druckschwankungen über Induktion in elektrischen Strom wandelt bewerkstelligt. Eine solche Anordnung mit Lautsprechern ist schematisch in Fig.12 dargestellt.

1) "Lautsprecher" im heißem und kaltem Raum. Arbeiten elektronisch angesteuert in beliebiger Phasenverschiebung; typisch 90° für Stirling Prozess.

2) "Lautsprecher" invers als Stromgenerator arbeitend

3) Pulsatormembrane entfaltet

4) Pulsatormembrane kollabiert

[0059] Membran Pulsatormaschinen dieser Bauart benötigen keine mechanische Auskoppelung und sind aufgrund der hohen Arbeitsfrequenzen sehr klein.

[0060] Wie bisher beschrieben beruht das "Herzstück" des Membran Stirlingmotors auf flexiblen, dünnwandigen Beuteln: den Pulsatoren, die das Arbeitsgas beinhalten, periodisch verschieben sowie es isotherm erhitzen und abkühlen. Diese Pulsatoren ermöglichen wegen ihrer inhärenten Merkmale, insbesondere derjenigen der isothermen Kompression oder Expansion von Gasen, erfindungsgemäß auch die Realisierung anderer technischer Aggregate als die von Stirlingmaschinen.

[0061] Eine typische Anwendung dieser Art ist der "isotherme Hydrospeicher". In Fig.13 ist ein klassischer Hydrospeicher schematisch dargestellt. Er dient typischerweise dazu, die zu gewissen Zeitpunkten in einem System anfallende Überschussenergie zwischenspeichern und zum Zeitpunkt, in dem das System Zusatzenergie benötigt, sie diesem

wieder zuzuführen.

[0062] Ladung: Das Öl wird mit Druck in den Speicher gepumpt und verdichtet das Gas (n_2) in der Gummibläse. Der Vorgang erfolgt adiabatisch.

[0063] Entladung: Das verdichtete Gas (n_2) expandiert und schiebt das Öl aus dem Speicher raus. Dieses unter Druck gesetzte Öl kann dann Aktuatoren wie Zylinder und Hydromotoren antreiben.

[0064] Ein Anwendungsbeispiel eines solchen Hydrospeichers ist ein Fahrzeug dessen Antriebswelle mit einer Hydraulikpumpe in der Weise gekoppelt ist, dass beim Bremsen des Fahrzeugs Öl gepumpt wird und dadurch das Gas im Speicher komprimiert. Die auf diese Weise in der "Gasfeder" zwischengespeicherte Energie kann dann, wenn das Fahrzeug in Folge beschleunigt werden soll, über die nun als Hydraulikmotor arbeitende Pumpe rückgewonnen werden und der Antriebswelle zugeführt werden.

[0065] Dieser an sich elegante, mit hoher Leistungsdichte arbeitende Energierückgewinnungsprozess hat allerdings einen systembedingten Schwachpunkt: die Kompression des Gases erfolgt adiabatisch. Die resultierende Erhitzung des Gases reduziert einerseits die in der Gasfeder zwischengespeicherte pneumatische Energie und belastet andererseits das Kunststoffmaterial des Druckspeichers bzw. reduziert deswegen den maximal möglichen Druck.

[0066] Erfindungsgemäß kann nun der beschriebene Vorgang der Gaskompression isothermalisiert werden, indem zwischen Drucköl und zu komprimierendem Gas eine große Oberfläche zum Wärmetausch geschaffen wird. Wie in Fig. 14 dargestellt, presst ein Aktuator (5) (Pumpen, Kolben) das Fluid (2) (bevorzugt Hydrauliköl) in einen Druckbehälter, in dem sich eine genügend große Anzahl hermetisch geschlossener, mit Gas (N_2 , Luft, andere Gase) gefüllter Pulsatormembranbeutel (1) befinden. "Genügend große Anzahl" bezieht sich hier auf die Oberfläche der Pulsatorenbeutel. Diese wird so gemessen, dass die beim hydrostatischen Zusammendrücken entstehende Kompressionswärme in Gas gut an das umspülende Fluid, mit seiner um Größenordnungen höheren Wärmekapazität abgegeben wird und somit die erwünschte, quasi-isotherme Kompression erfolgt.

[0067] Beim reversiblen Vorgang drücken die durch die Pulsatoren realisierten "Gasfedern" das Fluid in umgekehrter Richtung durch den Aktuator, der nun nicht wie im vorangegangenen Arbeitstakt als Pumpe, sondern als Expander (Arbeitsmaschine) wirkt und die pneumohydraulisch zwischengespeicherte Energie mit hohem Wirkungsgrad wieder in mechanische Energie rückwandelt. Die im Fluid aufgenommene Gaskompressionswärme wird dabei bei jedem Arbeitstakt über Kühler (3 und 4) dem Kreislauf entzogen.

[0068] Das geschilderte Zwischenspeichern von mechanischer Energie über relativ kurze Zeitintervalle, kann wie aus Fig. 15 hervorgeht in einer weiteren, erfindungsgemäßen technischen Nutzung des Pulsatorprinzips als isothermer Luftkompressor und Druckluftspeicher ausgebildet werden.

[0069] Bei dieser Anwendungsart sind die Pulsatorbeutel nicht hermetisch geschlossen sondern werden periodisch immer dann wenn das Fluid keinen Druck auf sie ausübt, mittels einer Hilfspumpe mit Umgebungsluft unter atmosphärischem Druck, gefüllt. Das Fluid, welches für diese Anwenden idealerweise Wasser ist, komprimiert im nächsten Arbeitstakt die Luft in den Pulsatorenbeuteln, die über ein Rückschlagventil in einen Druckluftspeicher strömt. Die bei der Kompression über die Pulsatorenoberfläche an das Wasser abgegebene Wärme wird beim Rückpumpen des Wassers in die nun saugende statt drückende Pumpe über einen Kühler rückgeköhlt (aktiv oder passiv).

[0070] Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis im Druckspeicher der gewünschte Druck herrscht.

[0071] Die Anordnung kann erfindungsgemäß auf folgende Weise in eine, aus dem

[0072] Druckluftspeicher mit Energie versorgte isotherme Arbeitsmaschine erweitert werden: wie aus Fig. 15a hervorgeht, wird hierzu periodisch über ein gesteuertes Ventil Druckluft aus dem Speicher in die Pulsatorenbeutel geleitet. Das Wasser, welches hierbei die bei der Expansion der Druckluft entstehende Kälte aufnimmt, wird über einen Wärmetauscher nacherwärmt und lässt den als Expander arbeitenden Aktuator mechanische Arbeit verrichten. Der Aktuator wandelt hierbei seine oszillierende Bewegung über eine Kurbelwelle in rotierende Energie um. Ein Schwungrad zur Vergleichsmäßigung der Energieabgabe vervollständigt die Anordnung.

1) Ventil zum periodischen Befüllen der Pulsatoren mit Druckluft







2) Aktuator als Arbeitsmaschine mit Schwungrad und Generator

[0073] Ein kleiner Teil der Schwungradenergie wird genutzt, um nach der Expansion das Wasser wieder in die Pulsatorkammer zurück zu pumpen (Dieser Vorgang erfordert minimale Energie, da zu diesem Zeitpunkt die Pulsatorenbeutel ihre Luft in die Umgebung abblasen).

[0074] Der auf die beschriebene Weise isotherm arbeitende Luft-(Gas) Kompressor mit integriertem Druckluftspeicher und isotherm arbeitender Aktuatorkraftmaschine stellt insbesondere eine gute Möglichkeit zur verlustlosen Langzeitspeicherung solarer Energie dar. Nur wenn diese mit guter Ökonomie und unter Verwendung ökologische unbedenklicher und reichlich vorhandener Materialressourcen, realisiert werden kann, wird es möglich werden, die inhärente Stärke solarer Systeme, die Realisierung dezentraler autonomer Grundlastkraftwerke angepasster Größe, zu realisieren.

[0075] Druckluftspeicher mit einem Nominaldruck von ≥ 300 bar, die beim heutigen Stand der Technik problemlos mit

leichten, faserumwickelten Polymerdruckspeichern realisiert werden können, erreichen bei isothermer Be- und Entladung gespeicherte Energiedichten von ≥ 200 Wh/kg. Damit sind sie besser als die heutzutage favorisierten Li-Ionen Akkus (150Wh/kg) und besitzen im Vergleich zu diesen wesentliche Vorteile:

- 5  keine strategisch wichtige Materialkomponenten - lediglich Wasser, Luft, Stahl, handelsübliche, recyclebare Membran
-  Schnelle Lade- und Entladezeiten
- 10  Tiefentladbar
-  Ökologisch sauber
-  Kostengünstiger
- 15  Nahezu unbegrenzter Zyklenzahl.

[0076] Die Antriebsenergie des isothermen Kompressors kann beispielsweise aus Photovoltaischen Modulen stammen. Die dann bei Bedarf dem Druckluftspeicher über den Aktuator entziehbare mechanische Energie hat, neben den oben im Vergleich zum elektrochemischen Speicher aufgelisteten Vorteilen, noch weitere spezifische Vorteile: zur Erzeugung von Wechsel- und -Kraftstrom sind keine Wechselrichter nötig - der rotierende Generator erzeugt diesen automatisch; bei Bedarf kann dem Aggregat direkt mechanische Energie entzogen werden.

[0077] Ganz besonders gut zum Antrieb der Kompressoreinheit eignet sich ein solar betriebener Membran Stirlingmotor wie er dieser Anmeldung zugrunde liegt.

25 [0078] Wählt man beispielsweise einen Membran Stirlingmotor mit 400°C oberer Temperatur, der die Wärme mit einem Wirkungsgrad von 43% verstromt, und Leichtbau-Sonnenkonzentratoren, die die Prozesswärme mit 80% Wirkungsgrad gewinnen, so beträgt der Wirkungsgrad Sonne zu Strom 34%. Bei einem Umlauf-Wirkungsgrad des isothermen Kompressors/Expanders von 80% steht dann die Verlustlos im Druckluftspeicher bevorratete Energie bei richtiger Dimensionierung (Sonnenkollektorfläche zu Speichervolumen) rund um die Uhr mit einem Gesamtwirkungsgrad von 30 34% x 0,8 = 27,2% zur Verfügung. Neben stationären, dezentralen solaren Grundlastkraftwerken sind mit der beschriebenen Technologie auch solare Drucklufttankstellen realisierbar.

[0079] In Fig.16 ist schematisch dargestellt, wie Sonnenkonzentratoren (1) auf dem Dach der Garage den beschriebenen isothermen Kompressor (3) antreiben und große, feststehende Druckluftspeicher (4) befüllen. In zu betankenden Fahrzeugen befinden sich kleinere Druckluftspeicher (bevorzugt als tragende Strukturelemente ausgeformte leichte Faserverbundbehälter). Diese Fahrzeugspeicher können über Druckluftleitungen von den fixen Speichern sehr schnell mit Druckluft "betankt" werden (5). Dem Fahrzeugspeichern zugeordnet sind isotherm arbeitende Aktuatoren wie im Fig.16b dargestellt. Diese betreiben bevorzugt vier in den Fahrzeugrädern integrierte, individuell ansteuerbare Hydromotore.

[0080] Neben dem beschriebenen Antrieb des isothermen Kompressors und Speichers durch intermittierende Solar-energie (PV oder Membran Stirlingmotor) sind andere Formen von zeitlich diskontinuierlich anfallender erneuerbarer Energie grundsätzlich geeignet (typisch: Wind, Wasser, Wellen).

[0081] Ein Hauptmerkmal des hier vorgestellten Membran-Stirlingmotors (den die Anmelderin als "Pulsator-Maschine" zu vermarkten plant) besteht darin, dass die im Transferfluid installierten Wärmetausch- und Verdränger-Körper, also die Pulsatoren, aus elastischen, verformbaren Membranstrukturen bestehen. Als "Membran" kann im Sinne der hier vorliegenden Patentanmeldung insbesondere eine geeignete ein- oder mehrlagige Folie dienen.

45 [0082] Insofern handelt es sich um eine im Maschinenbau unkonventionelle Struktur, die an eine Naturstruktur angelehnt ist.

50 Patentansprüche

1. Membran-Stirlingmaschine, wobei in einer wärmetauschenden und kräfteübertragenden Flüssigkeitsimmersion pulsierende gasgefüllte Membranbeutel als Flüssigkeitgaswärmetauscher dienen,
dadurch gekennzeichnet, dass
55 die Membranhüllen aus durchgehenden Schläuchen bestehen, die sich vom heißen in den kalten Raum erstrecken und in deren Mitte Regeneratormaterial eingebracht ist, sowie **dadurch gekennzeichnet, dass** beide offene Enden der Schläuche durch mechanische Klemmleisten, die mittels Federn an Innenwänden der Flüssigkeitszylinder befestigt sind, linienförmig geschlossen werden.

2. Membran-Stirlingmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mit Regeneratormaterial gefüllten Bereiche der Membranhüllen rechts und links von wärmeisolierenden Wänden begrenzt werden, die den Flüssigkeitszylinder in einen heißen und einen kalten Raum trennen, wobei die Schläuche durch entsprechende Schlitzte in diesen Wände hindurchgeführt werden, wobei das Flüssigkeitsvolumen im Inneren der Trennwende von den Pulsationsbewegungen im heißen und kalten Flüssigkeitsraum nicht mitbewegt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

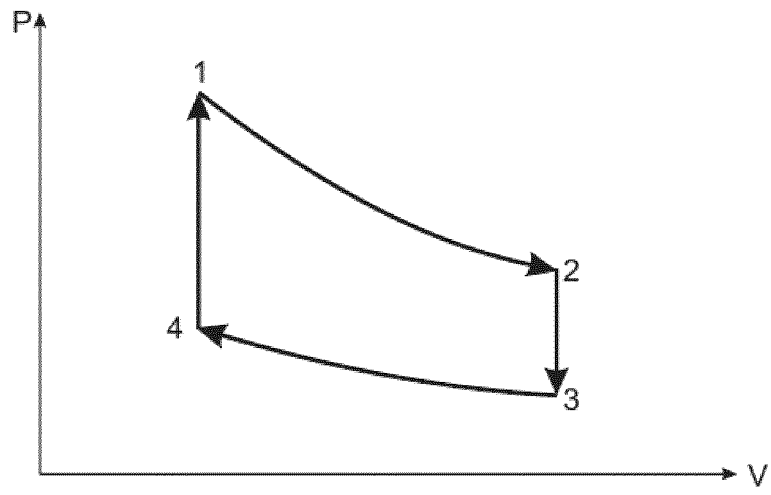


Fig. 1

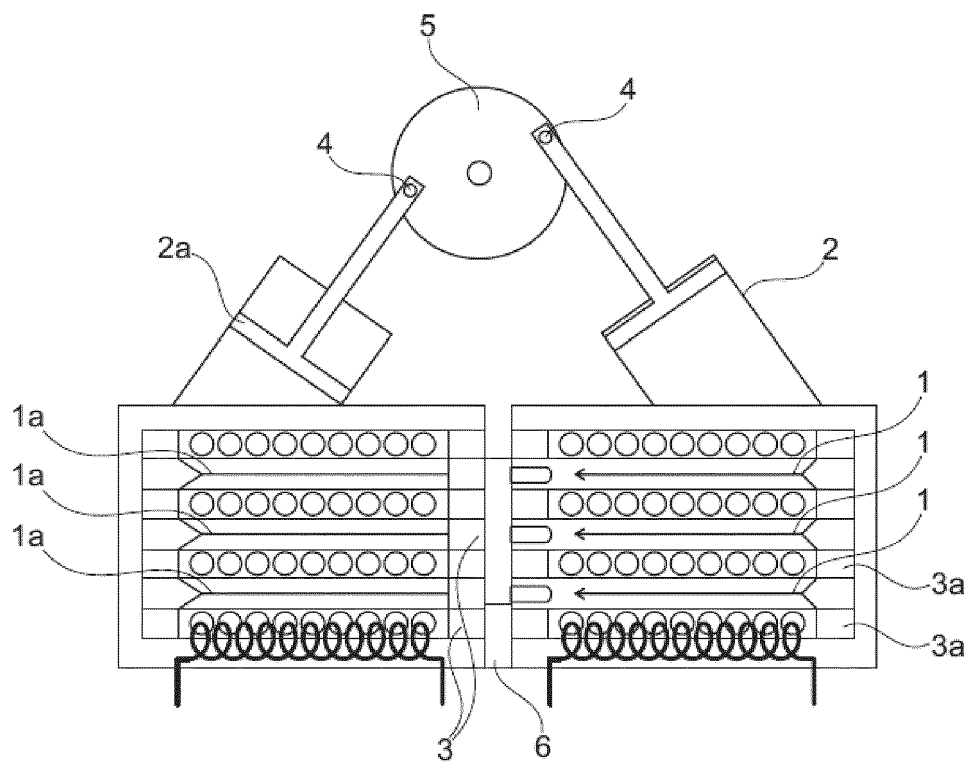


Fig. 2

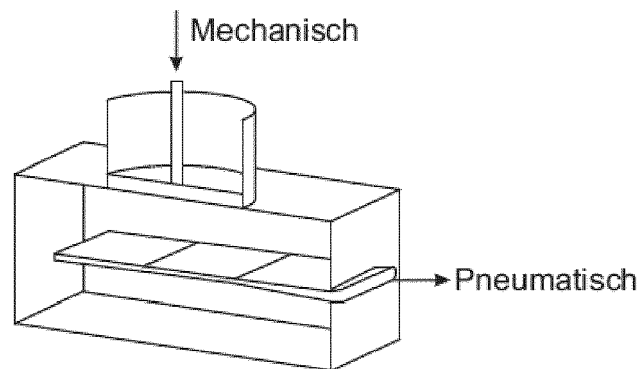
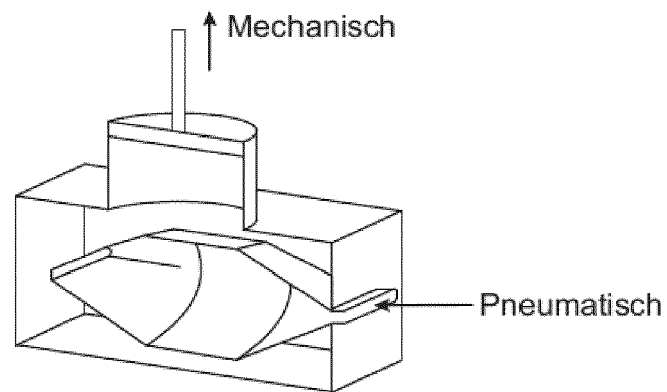


Fig. 3

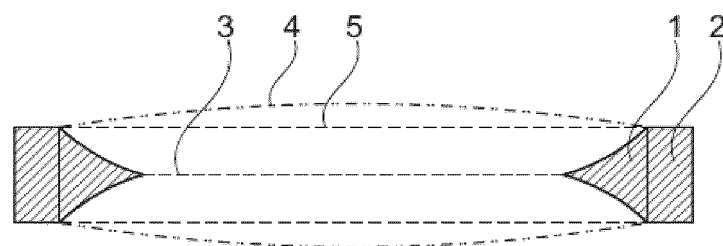


Fig. 4

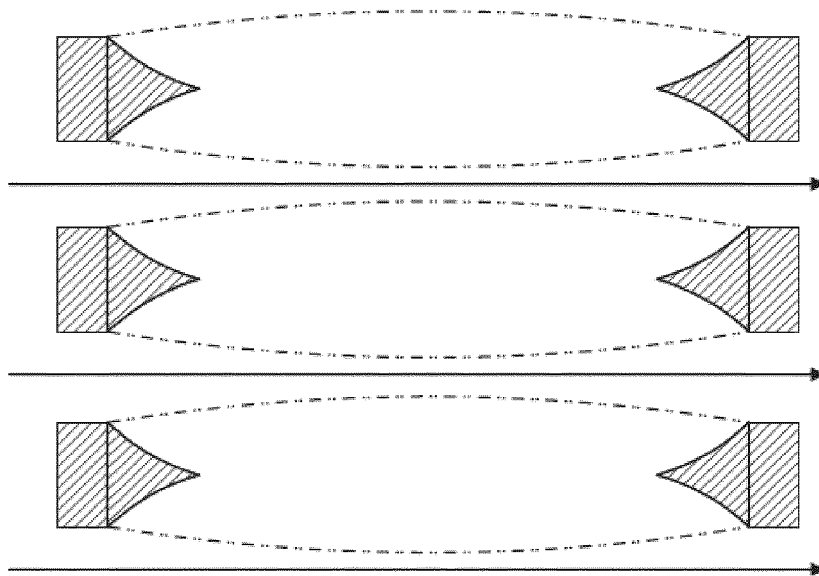


Fig. 5

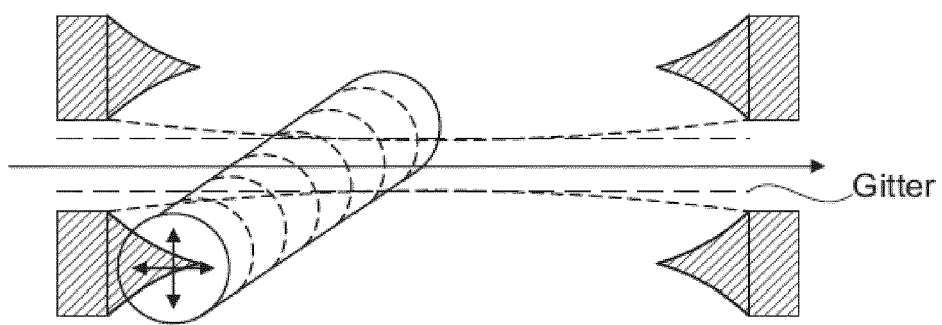


Fig. 6 und 7

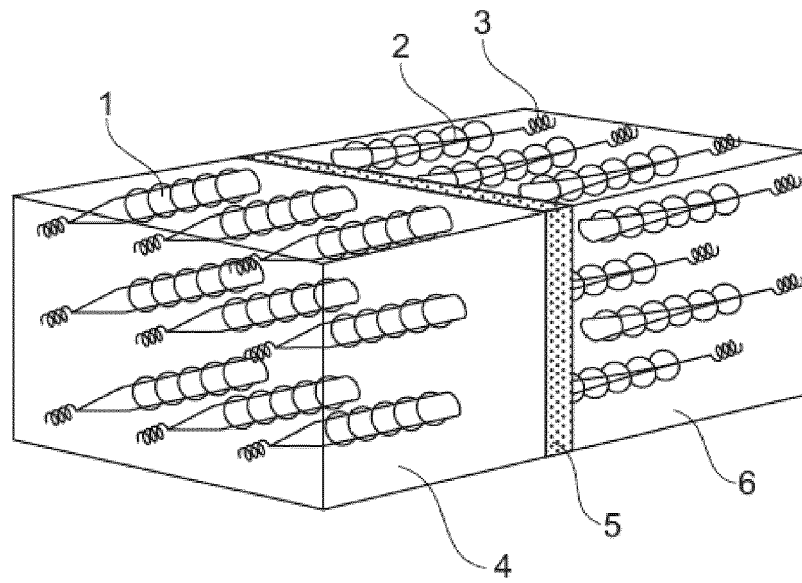


Fig. 8

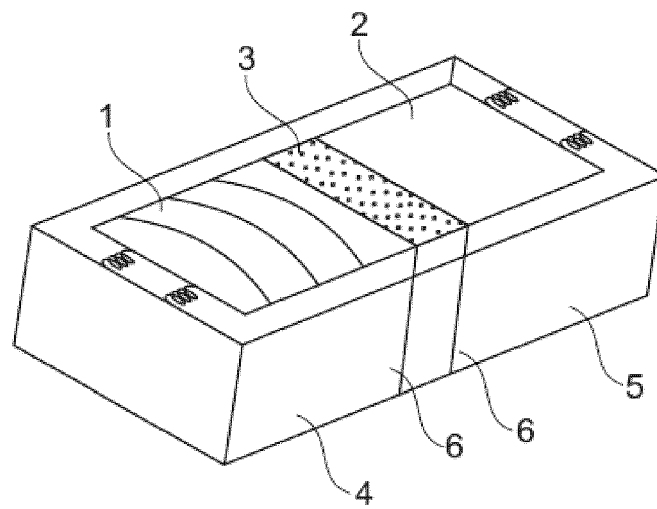


Fig. 9

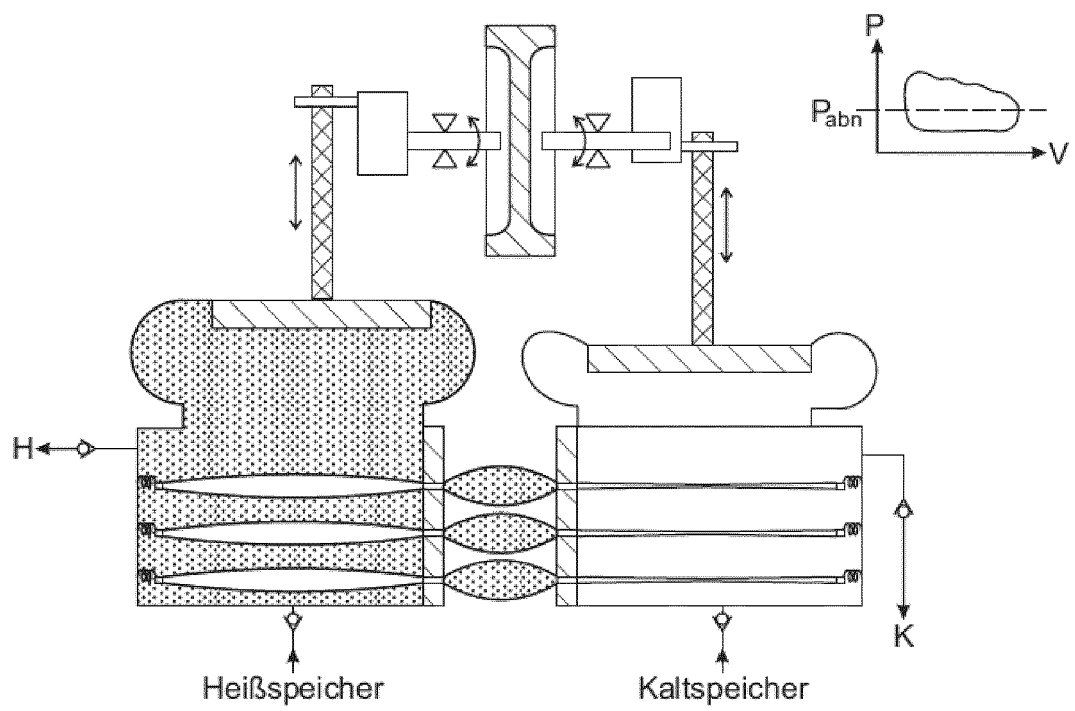


Fig. 10

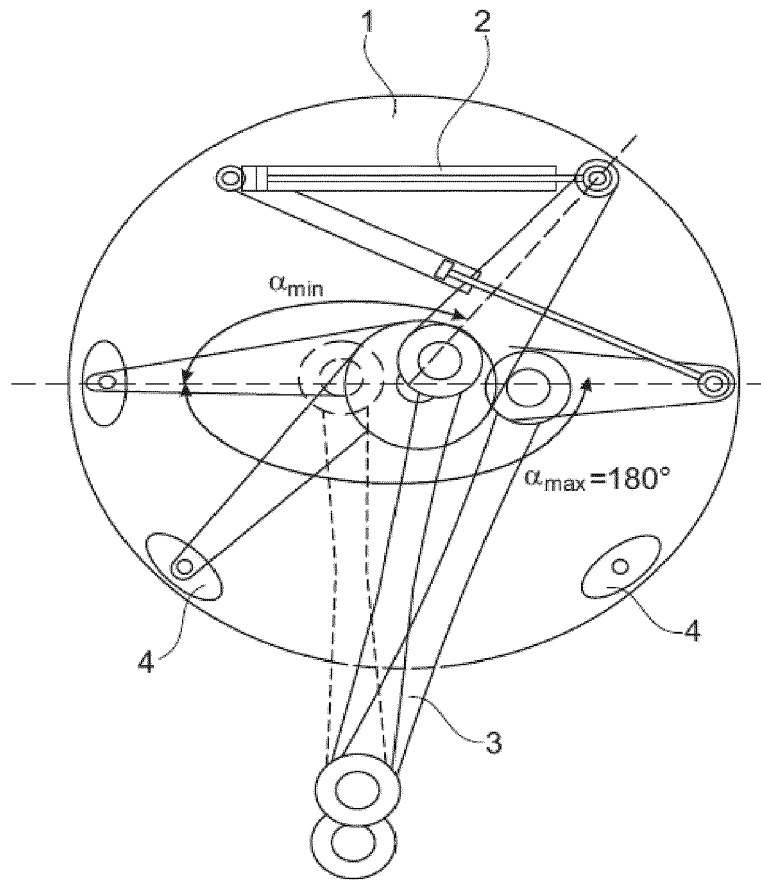


Fig. 11

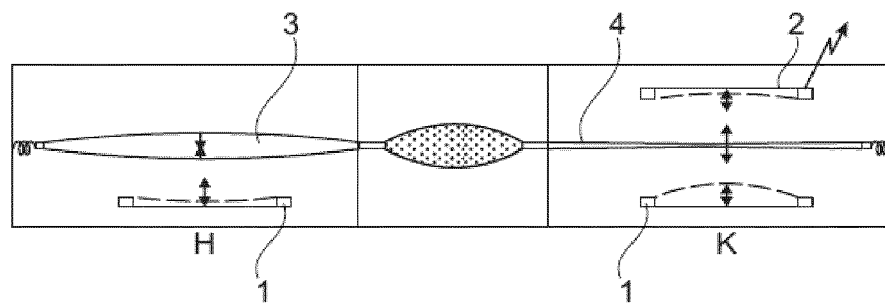


Fig. 12

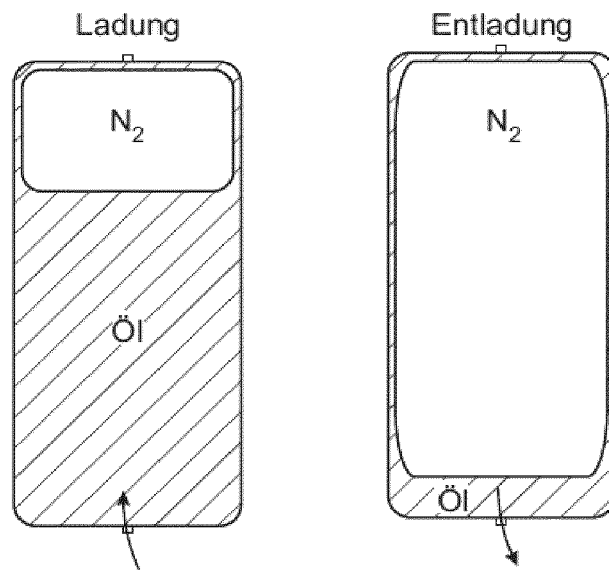


Fig. 13

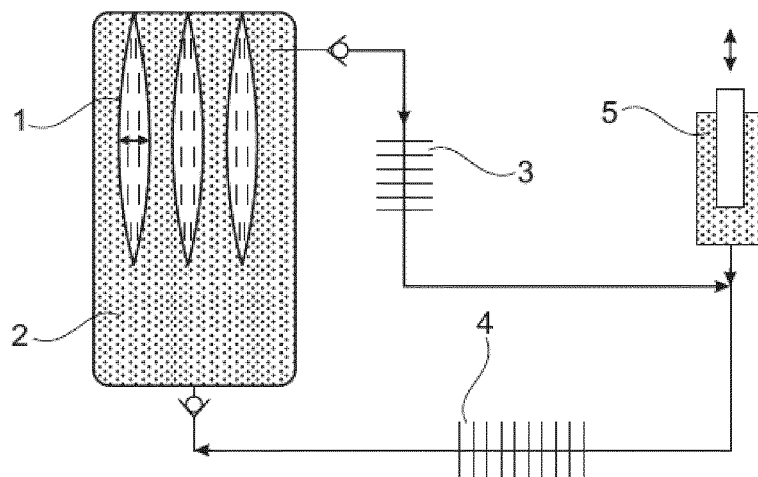


Fig. 14

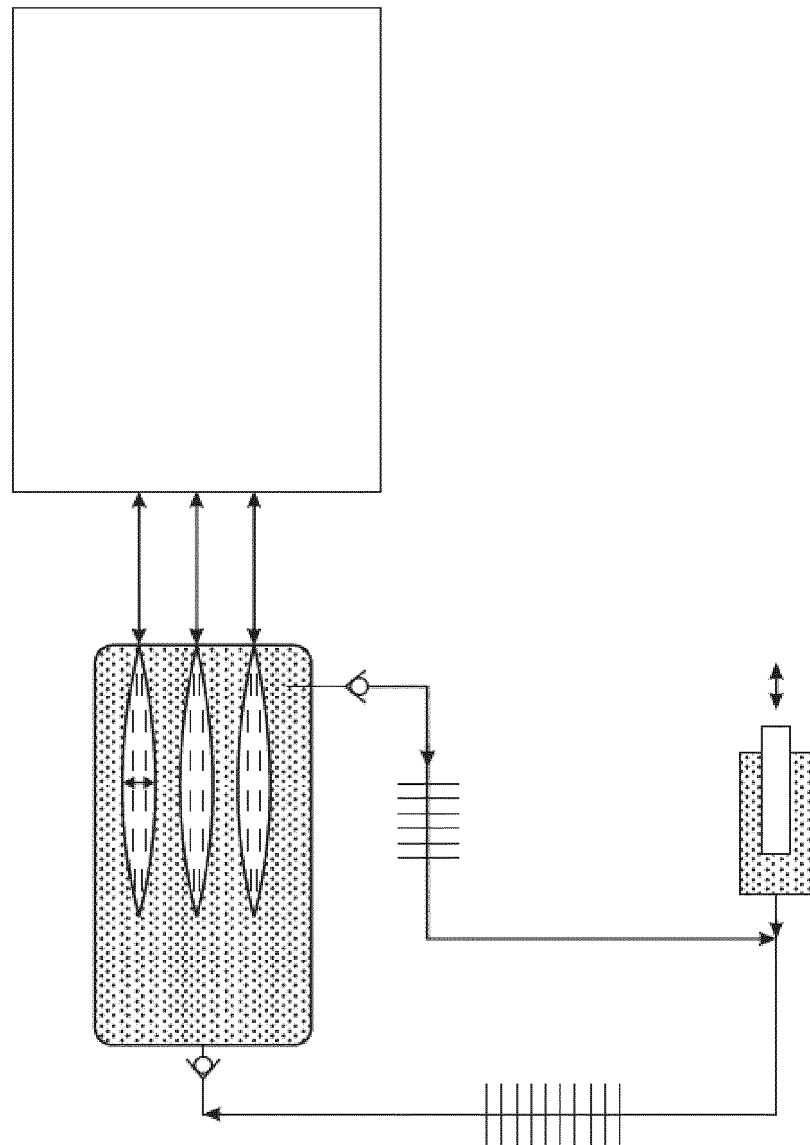


Fig. 15

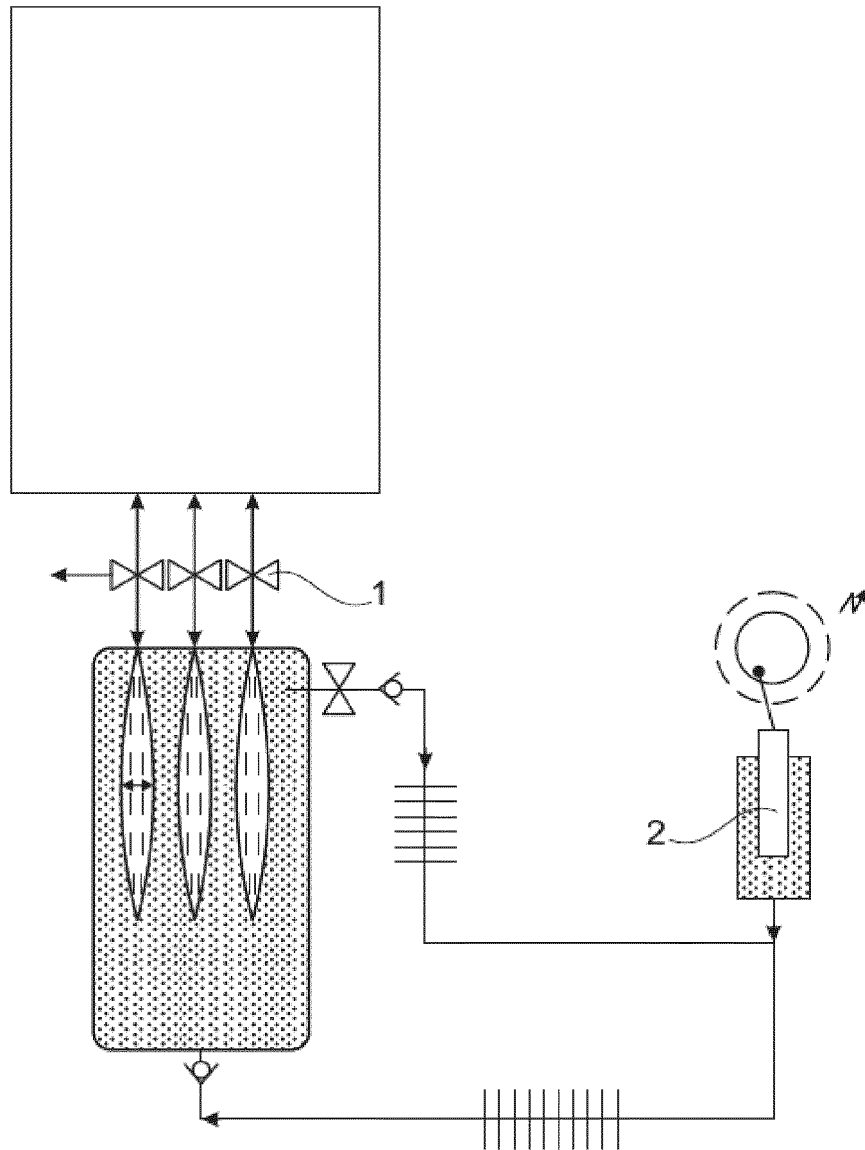


Fig. 15a

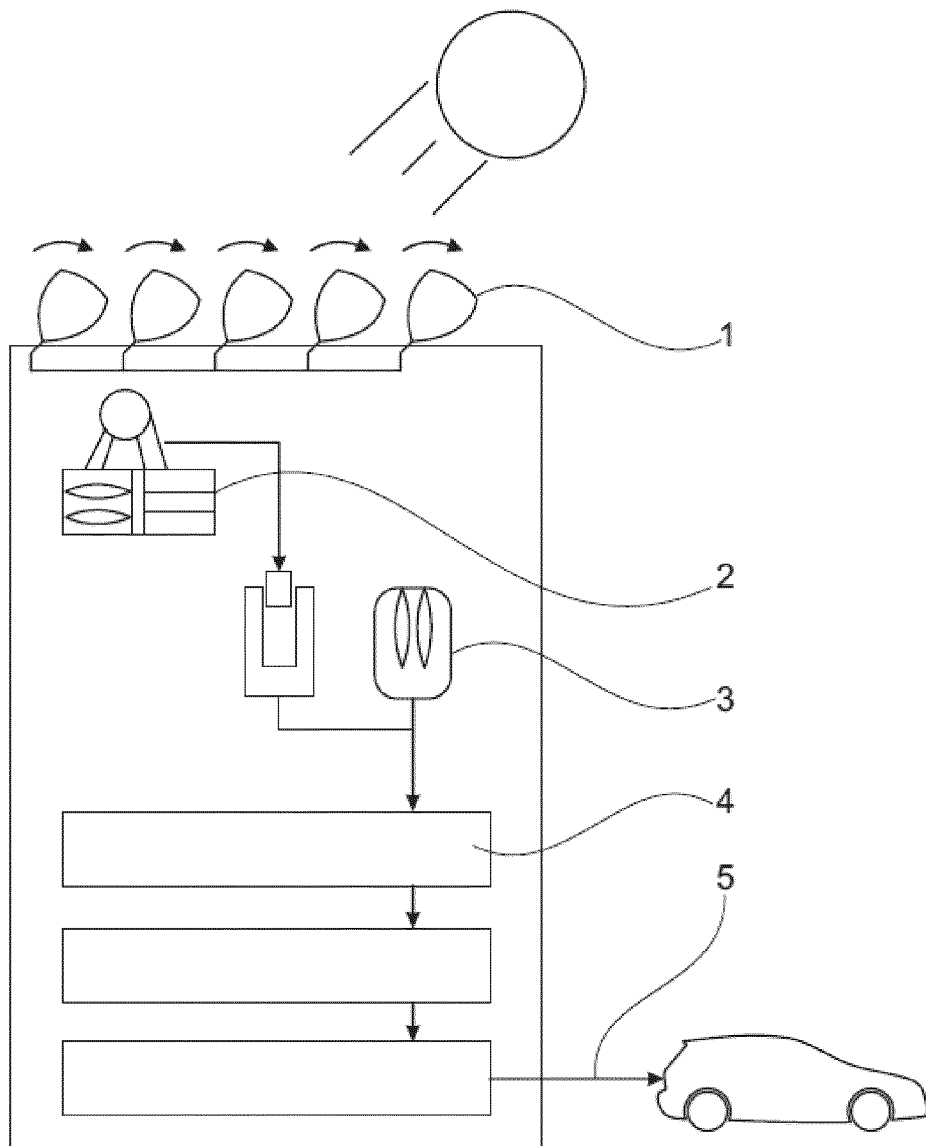


Fig. 16



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 21 18 2490

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 01/63186 A1 (586925 B C INC [CA]; REID CHRISTOPHER E J [CA]; KRATSCHMAR KENNETH [CA] 30. August 2001 (2001-08-30) * Abbildungen *	1,2	INV. F02G1/043
A	GB 2 296 047 A (BOARDMAN JONATHAN MAXWELL [GB]) 19. Juni 1996 (1996-06-19) * Abbildungen *	1,2	
A	WO 2011/153979 A2 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH [DE]; DAHLHOFF KNUT [DE]) 15. Dezember 2011 (2011-12-15) * Abbildung 6 *	1,2	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F02G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 4. Oktober 2021	Prüfer Matray, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 21 18 2490

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

04-10-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 0163186	A1	30-08-2001	AU 3717501 A		03-09-2001
				US 6332323 B1		25-12-2001
				WO 0163186 A1		30-08-2001
15	-----					
	GB 2296047	A	19-06-1996	KEINE		

	WO 2011153979	A2	15-12-2011	DE 102010023672 A1		15-12-2011
				WO 2011153979 A2		15-12-2011
20	-----					
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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