

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Dezember 2011 (15.12.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/153979 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/001038

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Mai 2011 (06.05.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 023 672.1 12. Juni 2010 (12.06.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH
[DE/DE]; 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DAHLHOFF, Knut
[DE/DE]; Maastrichter Str. 85, 52074 Aachen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: FORSCHUNGSZENTRUM
JÜLICH GMBH; Fachbereich Patente, 52425 Jülich
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: DISCONTINUOUS THRUST ACTUATOR AND STIRLING ENGINE

(54) Bezeichnung : DISKONTINUIERLICHER SCHUBANTRIEB UND STIRLINGMOTOR

(57) Abstract: The invention relates to a thrust actuator for converting a continuous, that is, cyclically recurring, rotational movement to a discontinuous thrust movement of a permanent-magnet rotor magnet, and to a Stirling engine which particularly benefits therefrom. According to the invention, the rotor magnet is movably mounted such that it can be displaced toward a drive magnet, wherein the polarity of the drive magnet relative to the rotor magnet can be varied by the rotational movement. The rotor magnet can be connected in particular to a rotor which participates in the thrust movement of the rotor magnet. It was recognized that the continuous rotational movement modulates the magnetic interaction between the rotor magnet and the drive magnet periodically between attraction and repulsion in said arrangement. The rotor magnet can thus be moved periodically but abruptly away from and back toward the drive magnet. A discontinuous, periodic thrust movement of the rotor magnet and of a rotor that may be coupled thereto can thus be achieved. The invention further relates to a Stirling engine as a primary application for the thrust actuator.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Schubantrieb zur Umwandlung einer kontinuierlichen, d.h. sich zyklisch wiederholenden, Drehbewegung in eine diskontinuierliche Schubbewegung eines permanentmagnetischen Läufermagneten und einen Stirlingmotor, der hiervon besonders profitiert. Erfindungsgemäß ist der Läufermagnet derart beweglich gelagert, dass er auf einen Antriebsmagneten hin verschiebbar ist, wobei die Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten durch die Drehbewegung veränderbar ist. Dabei kann der Läufermagnet insbesondere mit einem Läufer verbunden sein, der die Schubbewegung des Läufermagneten mitmacht. Es wurde erkannt, dass in dieser Anordnung die kontinuierliche Drehbewegung die magnetische Wechselwirkung zwischen dem Läufermagneten und dem Antriebsmagneten periodisch zwischen Anziehung und Abstoßung moduliert. Dadurch kann der Läufermagnet periodisch, aber jeweils schlagartig vom Antriebsmagneten weg bewegt und wieder auf diesen zu bewegt werden. Hierdurch kann eine diskontinuierliche, periodische Schubbewegung des Läufermagneten sowie eines eventuell an ihn gekoppelten Läufers erzielt werden. Die Erfindung betrifft auch einen Stirlingmotor als Hauptanwendung für den Schubantrieb.

WO 2011/153979 A2

Diskontinuierlicher Schubantrieb und Stirlingmotor

Die Erfindung betrifft einen Schubantrieb zur Umwandlung einer kontinuierlichen Drehbewegung in eine diskontinuierliche Schubbewegung und einen Stirlingmotor als Hauptanwendung für diesen Schubantrieb.

Stand der Technik

5 Die meisten motorischen Antriebe, beispielsweise Elektromotoren, stellen eine kontinuierliche Drehbewegung bereit. Eine solche Drehbewegung kann über eine gegenüber der Drehachse des Antriebs exzentrisch gelagerte Pleuelstange in eine sinusförmige Schubbewegung umgewandelt werden.

10 Für einige Anwendungen wird eine diskontinuierliche, aber dennoch periodische Schubbewegung benötigt. Dazu ist es erforderlich, die vom Antrieb kontinuierlich bereitgestellte Bewegungsenergie in einer Form von potentieller Energie zu speichern und schlagartig wieder in Bewegungsenergie umzusetzen. So wird beispielsweise eine Schlagbohrmaschine über ein schrägverzahntes Getriebe mit Motorkraft um eine gewisse Strecke gegen die Anpresskraft des Benutzers zurückgedrückt. Dabei wird Arbeit gegen die Anpresskraft verrichtet. In der
15 Strecke, um die die Maschine zurückgedrückt wird, wird die vom Motor bereitgestellte Bewegungsenergie als potentielle Energie gespeichert. Wird die Maschine dann durch das Getriebe schlagartig in Vortriebsrichtung gleichsam fallen gelassen, wird diese potentielle Energie freigesetzt und trägt zum Vortrieb des Bohrers bei. Der Bohrer kann auf diese Weise diskontinuierlich hohe Kräfte in Vortriebsrichtung ausüben und so besonders feste Materialien,
20 wie Stein oder Beton, durchdringen.

Nachteilig werden derartige Antriebe gerade im diskontinuierlichen Übergang zwischen der Speicherung und der Freisetzung der potentiellen Energie mechanisch stark beansprucht und sind daher dem Verschleiß unterworfen. Bei einer Blockade der Schubbewegung sind sie zudem anfällig für Beschädigungen.

Aufgabe und Lösung

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, einen diskontinuierlichen Schubantrieb zur Verfügung zu stellen, der die von einer kontinuierlichen Drehbewegung gelieferte Antriebsenergie mit weniger Verschleiß und mit geringerer Anfälligkeit für Beschädigungen in die Schubbe-
5 wegung umzusetzen vermag. Es ist außerdem die Aufgabe der Erfindung, einen Stirlingmotor zur Verfügung zu stellen, der von diesem Schubantrieb in besonderem Maße gegenüber dem Stand der Technik profitiert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Schubantrieb gemäß Hauptanspruch und einen Stirlingmotor gemäß Nebenanspruch. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben
10 sich aus den darauf rückbezogenen Unteransprüchen.

Gegenstand der Erfindung

Im Rahmen der Erfindung wurde ein Schubantrieb zur Umwandlung einer kontinuierlichen, d.h. sich zyklisch wiederholenden, Drehbewegung in eine diskontinuierliche Schubbewegung eines permanentmagnetischen Läufermagneten entwickelt.

Erfindungsgemäß ist der Läufermagnet derart beweglich gelagert, dass er auf einen Antriebsmagneten hin verschiebbar ist, wobei die Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten durch die Drehbewegung veränderbar ist. Dabei kann der Läufermagnet insbesondere mit einem Läufer verbunden sein, der die Schubbewegung des Läufermagneten mit-
15 macht. Der Läufer kann insbesondere eine Stange sein, die so gelagert ist, dass sie eine Schubbewegung in ihrer Achse ausführen kann.
20

Es wurde erkannt, dass in dieser Anordnung die kontinuierliche Drehbewegung die magnetische Wechselwirkung zwischen dem Läufermagneten und dem Antriebsmagneten periodisch zwischen Anziehung und Abstoßung moduliert. Dadurch kann der Läufermagnet periodisch vom Antriebsmagneten weg bewegt und wieder auf diesen zu bewegt werden. Hierdurch kann
25 eine periodische Schubbewegung des Läufermagneten sowie eines eventuell an ihn gekoppelten Läufers erzielt werden. Diese Bewegung ist diskontinuierlich, weil sie jeweils nur durch einen Wechsel der Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten ausgelöst wird. Eine zusätzliche Hysterese erhält die Bewegung dadurch, dass sie in der Regel erst startet, wenn nach dem Wechsel der Polung die Anziehung bzw. Abstoßung eine gewisse Stärke
30 überschreitet.

Die diskontinuierliche, aber periodische Schubbewegung kann insbesondere in einem Stirlingmotor für die Steuerung des Verdrängerkolbens genutzt werden. Dann kann mit jedem Arbeitszyklus eine größere Fläche im Phasendiagramm des Stirlingmotors ausgefahren und somit mehr Nutzarbeit aus dem Motor bezogen werden. Zugleich wird der Totraum deutlich vermindert. Die kontinuierliche Drehbewegung kann aus dem Stirlingmotor selbst bezogen werden.

Herkömmliche diskontinuierliche Schubantriebe wiesen gegenüber kontinuierlichen Schubantrieben prinzipielle Nachteile auf. Die Beaufschlagung eines diskontinuierlich zu verschiebenden Läufers mit hohen Kräften innerhalb kurzer Zeit führte zu einem hohen mechanischen Verschleiß und starker Geräuschentwicklung. Im erfindungsgemäßen Schubantrieb wird die Kraft nur durch magnetische Wechselwirkung auf den Läufermagneten und damit auf den Läufer vermittelt. Dies kann berührungslos und somit geräusch- und verschleißfrei geschehen.

Auch der erfindungsgemäße Schubantrieb speichert die Bewegungsenergie aus der Drehbewegung in potentieller Energie, um diese anschließend diskontinuierlich freizusetzen. Der Zustand, in dem der Läufermagnet und der Antriebsmagnet nahe beieinander sind und sich anziehen, ist der Zustand der geringstmöglichen potentiellen Energie der Wechselwirkung beider Magnete. Verändert die Drehbewegung nun die Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten, so verrichtet sie Arbeit gegen die Wechselwirkungskraft beider Magnete. Während des Umpolvorgangs wird somit potentielle Energie im System beider Magnete gespeichert. Wenn Läufermagnet und Antriebsmagnet sich abstoßen und der Läufermagnet davon getrieben wird, wird diese potentielle Energie freigesetzt.

Vorteilhaft weist der Läufer einen oder mehrere Endanschläge auf, die eine Berührung zwischen dem Läufermagneten und dem oder den Antriebsmagneten verhindern. So werden Beschädigungen der Magnete verhindert. Gerade Permanentmagnete aus Seltenerdmetallen, die bei geringer Baugröße ein besonders starkes Magnetfeld erzeugen, sind sehr spröde und bei Kollisionen schnell zerstört.

Vorteilhaft ist der Antriebsmagnet ein an die Drehbewegung gekoppelter Permanentmagnet. Dann ist keine Hilfsenergie erforderlich, um das Magnetfeld zu erzeugen.

Ist der Antriebsmagnet an die Drehbewegung gekoppelt und ist durch konstruktive Maßnahmen eine Berührung zwischen Läufermagnet und Antriebsmagnet ausgeschlossen, ist vorteilhaft sichergestellt, dass die zwischen Antriebsmagnet und Läufermagnet wirkende mechani-

sche Kraft grundsätzlich durch die maximal zwischen beiden Magneten herrschende Feldstärke begrenzt ist. Diese Feldstärke lässt sich dann für die konkrete Anwendung so dimensionieren, dass eine mechanische Blockade des Läufermagneten bzw. des Läufers die Drehbewegung nicht blockiert. Solche Blockaden können beispielsweise in Textilmaschinen oder Pumpen zu Schäden führen. Wird die Drehbewegung in einem von Hand an den Arbeitsort geführten Gerät blockiert, wie beispielsweise in einer Heckenschere, besteht zudem die Gefahr, dass die Kraft des Motors das Gerät dem Benutzer aus der Hand schlägt und ihn dabei verletzt.

In der einfachsten Form der Erfindung ist nur ein Antriebsmagnet vorhanden, dessen Polung relativ zum Läufermagneten sich periodisch mit der Drehbewegung ändert. Befindet sich der Läufermagnet nahe am Antriebsmagneten, so kann er von diesem weggetrieben werden, indem die Wechselwirkung zwischen den beiden Magneten durch die Drehbewegung auf Abstoßung umgepolt wird. Wird anschließend die Wechselwirkung wieder auf Anziehung umgepolt, ist die auf den Läufermagneten wirkende anziehende Kraft deutlich schwächer als die abstoßende Kraft, die ihn zuvor vom Antriebsmagneten weggetrieben hat. Ursache hierfür ist, dass die magnetische Kraft mit dem Quadrat des Abstands zwischen den beiden Magneten abnimmt. Ohne zusätzliche Mittel zur Ausübung einer Rückstellkraft, die den Läufermagneten zurück in Richtung des Antriebsmagneten treibt, ist daher ein zyklischer Betrieb nur möglich, wenn sich der Läufermagnet nicht zu weit vom Antriebsmagneten entfernt. Eine Feder ist ein Beispiel für ein solches Mittel. Die Rückstellkraft kann aber beispielsweise auch in der Gravitationskraft des Läufermagneten, des Läufers oder mit dem Läufer verbundener Betriebsmittel bestehen.

Um keine gesonderten Mittel zur Ausübung einer Rückstellkraft nötig zu haben, ist in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung der Läufermagnet zwischen zwei Positionen beweglich gelagert, in denen jeweils bei einem bestimmten Drehwinkel der Drehbewegung eine abstoßende Kraft zwischen Antriebsmagnet und Läufermagnet wirkt. Dann kann der Läufermagnet mit gleicher Wucht diskontinuierlich in beiden Richtungen zwischen diesen beiden Positionen hin- und hergetrieben werden. Somit kann ein mit dem Läufermagneten verbundener Läufer über eine größere Distanz bewegt werden.

Dies lässt sich beispielsweise in einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung realisieren, in der der Antriebsmagnet ein Ring mit magnetisierten Bereichen, insbesondere ein permanentmagnetischer Ring, ist und der Läufermagnet entlang einer Sehne des Rings beweglich gelagert ist. Die magnetisierten Bereiche können insbesondere Perma-

nentmagnete sein, die in einen nicht ferromagnetischen Grundkörper eingebettet oder an ihm fixiert sind. Um den Läufer über die größtmögliche Distanz bewegen zu können, ist der Läufermagnet vorteilhaft entlang eines Durchmessers des Rings beweglich gelagert. Befindet sich der Läufermagnet nahe einem Punkt, an dem die Sehne bzw. der Durchmesser den Ring schneidet, und zieht an ihm ein auf Abstoßung zu ihm gepolter magnetisierter Bereich des Rings vorbei, so bewegt sich der Läufermagnet in Richtung des anderen Punkts, an dem die Sehne bzw. der Durchmesser den Ring schneidet. Idealerweise wird diese Bewegung dadurch unterstützt, dass zumindest in der Endphase vor dem Eintreffen des Läufermagneten an diesem anderen Punkt von dort aus eine anziehende Kraft auf ihn ausgeübt wird. Dazu muss sich dort zum richtigen Zeitpunkt ein passend gepolter magnetisierter Bereich des Rings befinden. Die Leistungsfähigkeit des Schubantriebs hängt somit davon ab, dass die Bewegung sinnvoll getaktet wird.

Die erreichbaren Taktfrequenzen und Geschwindigkeiten werden im Wesentlichen von den vorherrschenden Kräften bestimmt, insbesondere von der Trägheit des Läufers und von den Anziehungs- bzw. Abstoßungskräften zwischen den verwendeten Magneten. Diese wiederum hängen ab vom Material der verwendeten Magneten (Feldstärke/Masse-Verhältnis) sowie vom maximalen Verschiebeweg (Hub) und der bewegten Masse des Läufers.

In einem funktionsfähigen Demonstrationsmodell wird eine Masse von ca. 300 g mit anfangs ca. 30 N, also ca. 100 m/s^2 , beschleunigt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind zwei Antriebsmagnete vorgesehen, zwischen denen der Läufermagnet beweglich gelagert ist. Wird derjenige Antriebsmagnet, in dessen Nähe sich der Läufermagnet gerade befindet, relativ zum Läufermagneten auf Abstoßung gepolt, treibt er den Läufermagneten auf den anderen Antriebsmagneten zu. Bei geeigneter zeitlicher Taktung der Polungen beider Antriebsmagnete wird diese Bewegung durch eine zusätzliche anziehende Kraft, die der zweite Antriebsmagnet auf den Läufermagneten ausübt, noch verstärkt. Wechselt die Polung des zweiten Antriebsmagneten wiederum auf Abstoßung, wird der Läufermagnet wieder zum ersten Antriebsmagneten getrieben. Idealerweise wird diese Bewegung dadurch unterstützt, dass nun der erste Antriebsmagnet eine zusätzliche anziehende Kraft auf den Läufermagneten ausübt. In dieser Ausgestaltung der Erfindung besteht ein größerer Spielraum für die Realisierung dieser vorteilhaften Taktung als in der Ausgestaltung, in der nur ein Ring mit magnetisierten Bereichen als Antriebsmagnet vorgesehen ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umgibt ein Antriebsmagnet den anderen zumindest teilweise. Beispielsweise kann der eine Antriebsmagnet ein Ring, eine Scheibe oder eine Kugel sein, und konzentrisch um den ersten Antriebsmagneten herum kann ein Ring als zweiter Antriebsmagnet angeordnet sein. Dann können beide Antriebsmagnete zusammen
5 an die Drehbewegung gekoppelt werden, so dass sie mit gleicher Winkelgeschwindigkeit rotieren. Die Taktung der Bewegung wird dann durch die Abfolge der magnetischen Bereiche entlang der Umfänge beider Antriebsmagnete sowie durch den radialen Abstand zwischen den beiden Antriebsmagneten gesteuert. Beide Antriebsmagnete können jeweils voll permanentmagnetisch sein oder lediglich magnetisierte Bereiche enthalten.

10 Ähnlich wie die vorige Ausgestaltung wirkt eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, in der die Antriebsmagnete auf Querschnitts- oder Stirnflächen eines an die Drehbewegung gekoppelten Zylinders angeordnet sind. Der Zylinder ist dann hohl. In ihm bewegt sich der Läufermagnet, der gegen Verdrehen gesichert sein sollte, zwischen den beiden Antriebsmagneten hin und her. Über den Läufer kann die diskontinuierliche Schubbewegung aus dem Zylinder
15 herausgeführt werden; hierzu wird eine entsprechende Öffnung in mindestens einem Antriebsmagneten benötigt.

Alternativ können in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung der oder die Antriebsmagnete ortsfest und zugleich der Läufermagnet über den Läufer an die Drehbewegung gekoppelt sein. Diese Ausgestaltung ist beispielsweise dann vorteilhaft, wenn der Läufer
20 sich gleichzeitig drehen und eine periodische diskontinuierliche Stoßbewegung ausführen soll, wie beispielsweise in einer Schlagbohrmaschine.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Läufermagnet verdrehsicher axial beweglich gegen eine Drehachse gelagert, die an die Drehbewegung gekoppelt ist. Dann wird die diskontinuierliche Schubbewegung nicht auf die Drehachse übertragen, die
25 daher auch kein Läufer ist, sondern nur auf den Läufermagneten. Beispielsweise kann in einem Durchflussmengen- oder Kilometerzähler der Läufermagnet periodisch mit der Drehbewegung der Drehachse eine Lichtschranke unterbrechen und wieder freigeben, so dass die Umdrehungen gezählt werden können.

Im Rahmen der Erfindung wurde auch ein Stirlingmotor entwickelt. Dieser umfasst mindestens zwei miteinander kommunizierende Reservoirs für ein Arbeitsgas, wobei mindestens ein Reservoir im Betrieb beheizbar und mindestens ein Reservoir im Betrieb kühlbar ist.
30

Erfindungsgemäß ist mindestens ein Reservoir als Zwischenraum zwischen einer beweglichen und/oder dehnbaren Membran und einem Grundkörper ausgebildet ist. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind sowohl das heizbare als auch das kühlbare Reservoir jeweils als Zwischenraum zwischen einer beweglichen und/oder dehnbaren Membran und einem Grundkörper ausgebildet.

Nach dem Stand der Technik wurden die zwei miteinander kommunizierenden Reservoirs als Zylinder realisiert, deren Innenvolumen durch die Bewegung zweier Kolben veränderlich war. Beim α -Typ des Stirlingmotors waren zwei Zylinder mit jeweils einem Kolben als Reservoirs vorgesehen. Diese Kolben kommunizierten das Arbeitsgas untereinander über eine Leitung. Beim β -Typ waren die Reservoirs an beiden Enden eines einzigen Zylinders vorgesehen und durch einen beweglichen Verdrängerkolben voneinander getrennt. Diese Reservoirs kommunizierten das Arbeitsgas um den Mantel des Verdrängerkolbens herum, der zu diesem Zweck einen Außendurchmesser hatte, der etwas kleiner war als der Innendurchmesser des Kolbens.

Es wurde erkannt, dass die erfindungsgemäße Ausbildung des oder der Reservoirs die Verluste an Arbeitsgas und die Druckverluste im Vergleich sowohl zum α -Typ als auch zum β -Typ des Stirlingmotors deutlich reduziert. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Membran dehnbar ist. Die Membran kann dann ständig gasdicht zum Grundkörper des jeweiligen Reservoirs hin abschließen. Somit besteht nicht wie bei der Bewegung eines Zylinders in einem Kolben ein Zielkonflikt zwischen der Beweglichkeit des Kolbens einerseits und der Abdichtung des Spalts zwischen Zylinder und Kolben andererseits.

Zugleich geht keine Energie durch mechanische Reibung verloren, wenn das Volumen eines Reservoirs durch ein Ausdehnen, Kontrahieren und/oder Zusammendrücken der Membran geändert wird. Bei der Bewegung eines Zylinders in einem Kolben muss dagegen ständig Reibung überwunden werden, was mechanische Energie kostet und den Verschleiß der aneinander reibenden Bauteile befördert.

Die erfindungsgemäß vorgesehenen Reservoirs haben einen wesentlich geringeren Totraum als die nach dem Stand der Technik vorgesehenen Zylinder. Ist die Membran beispielsweise elastisch und so vorgespannt, dass sie in Abwesenheit eines Gasdrucks im Reservoir unmittelbar am Grundkörper anliegt, ist der Totraum vorteilhaft völlig eliminiert.

Der erfindungsgemäße Stirlingmotor kann mit nur wenigen Einzelteilen realisiert werden.

Dadurch ist er besonders wartungsfreundlich, und es können viele erfindungsgemäße Stirlingmotoren gemeinsam Arbeit an ein und derselben Welle verrichten.

Es wurde außerdem erkannt, dass eine Membran eine wesentlich geringere Masse als ein Kolben hat und sich daher mit einer wesentlich geringeren Massenträgheit bewegen lässt.

5 Dadurch ist eine Membran einfacher mit einem diskontinuierlichen Schubantrieb steuerbar als ein Kolben. Es ist vorteilhaft, das Volumen eines jeden Reservoirs diskontinuierlich zu steuern, weil dann das p-V-Diagramm des Arbeitsgases besser ausgefahren werden und aus jedem Zyklus des Motors mehr mechanische Arbeit bezogen werden kann.

10 In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist daher ein erfindungsgemäßer diskontinuierlicher Schubantrieb vorgesehen, der die Bewegung mindestens einer Membran steuert. Dabei können insbesondere Mittel zur Übertragung der Nutzarbeit des Stirlingmotors auf die Drehbewegung, die den Schubantrieb speist, vorgesehen sein. Der Schubantrieb selbst überträgt Arbeit nur von der Drehbewegung, die die Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten ändert, auf die Schubbewegung des Läufermagneten. Umgekehrt wird
15 jedoch eine, beispielsweise durch die Nutzarbeit des Stirlingmotors aufgeprägte, periodische Schubbewegung des Läufermagneten in der Regel nicht durch den Schubantrieb in eine kontinuierliche Drehbewegung umgewandelt.

Als Mittel zur Übertragung der Nutzarbeit des Stirlingmotors auf die Drehbewegung, die den Schubantrieb speist, eignet sich beispielsweise eine von der Nutzarbeit des Stirlingmotors,
20 insbesondere von der Membran des heizbaren Reservoirs, bewegbare Pleuelstange, welche exzentrisch gegen die Drehachse der Drehbewegung gelagert ist.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist eine Schwungmasse vorgesehen, deren Drehbewegung den Schubantrieb speist und die ihrerseits durch die Nutzarbeit des Stirlingmotors angetrieben wird. Dann kann in dieser Drehbewegung Energie gespeichert
25 werden. Durch eine derartige Energiereserve wird vorteilhaft verhindert, dass der Stirlingmotor in einem Punkt, von dem aus er allein durch Wärmezufuhr zum heizbaren Reservoir nicht selbsttätig anlaufen kann (Totpunkt), zum Stehen kommt.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind separate Läufermagnete für die Steuerung beider Membranen derart relativ zu dem oder den Antriebsmagneten angeordnet,
30 net, dass die Polungsänderung des oder der Antriebsmagneten die Läufermagnete mit einer Phasenverschiebung zwischen 80 und 100 Grad, bevorzugt von 90 Grad, zueinander ansteuert.

ert. Beim Betrieb eines Stirlingmotors befindet sich im Idealfall das gesamte Arbeitsgas entweder im heizbaren oder im kühlbaren Reservoir. Dies wird gerade durch eine Phasenverschiebung von 90 Grad begünstigt.

Vorteilhaft ist zur Kommunikation des Arbeitsgases zwischen den beiden Reservoirs ein Kanal durch die Grundkörper des heizbaren und des kühlbaren Reservoirs geführt. Ein solcher Kanal beansprucht nur ein minimales Totvolumen an Arbeitsgas, das nicht für die Leistung mechanischer Arbeit zur Verfügung steht.

Vorteilhaft ist zwischen den Grundkörpern des heizbaren und des kühlbaren Reservoirs ein Wärmespeicher (Regenerator) angeordnet, der im Wärmekontakt mit dem Kanal steht. Ein solcher Regenerator kann insbesondere in dem Kanal selbst untergebracht sein. Dann wird das minimale noch vorhandene Totvolumen genutzt, um die im Arbeitsgas noch vorhandene Wärme zwischenzuspeichern, wenn dieses vom heizbaren ins kühlbare Reservoir transportiert wird. Diese Wärme kann dann wieder an das Arbeitsgas abgegeben werden, wenn es nach dem Abkühlen zurück ins heizbare Reservoir strömt.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung schließen die Grundkörper einen Winkel zwischen 70 und 110 Grad, bevorzugt von 90 Grad, ein. Dann ist es mechanisch am einfachsten, eine Phasenverschiebung von 90 Grad zwischen den Steuerungen der beiden Membranen zu realisieren. Alternativ können die beiden Grundkörper in einer Ebene liegen. Dann kann eine Vielzahl erfindungsgemäßer Stirlingmotoren auf engem Raum aneinandergereiht oder übereinander gestapelt werden.

Der Durchmesser der Fläche, über die im Betrieb Wärme in das heizbare Reservoir eingebracht wird, ist vorteilhaft mindestens doppelt so groß wie der maximale Verschiebeweg (Hub) des Läufers.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens ein Kanal zur Durchführung eines Wärme abgebenden oder Wärme aufnehmenden Betriebsmittels durch mindestens einen Grundkörper geführt. Damit wird der Wärmekontakt zwischen dem Betriebsmittel und dem Reservoir verbessert.

Spezieller Beschreibungsteil

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert, ohne

dass der Gegenstand der Erfindung dadurch beschränkt wird. Es ist gezeigt:

Figur 1: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs mit einem permanentmagnetischen Ring als Antriebsmagnet.

Figur 2: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs mit permanentmagnetischer Scheibe und konzentrisch dazu angeordnetem permanentmagnetischem Ring als Antriebsmagneten.

Figur 3: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs mit zwei auf einem rotierenden Zylinder angeordneten permanentmagnetischen Ringen als Antriebsmagneten.

Figur 4: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs, bei dem der Läufermagnet über den Läufer an die Drehbewegung gekoppelt ist.

Figur 5: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs, bei dem der Läufermagnet verdrehsicher axial beweglich gegen eine Drehachse gelagert ist.

Figur 6: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stirlingmotors, bei dem die Grundkörper 81 und 91 einen Winkel von 90° bilden.

Figur 7: Momentaufnahmen (a)-(d) eines Arbeitszyklus des in Figur 6 gezeigten Stirlingmotors. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilbildern liegt jeweils eine Drehung der Scheibe 5 um 90° gegen den Uhrzeigersinn.

Figur 8: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stirlingmotors, bei dem die Grundkörper 81 und 91 in einer Ebene liegen.

Figur 9: Erweiterung des in Figur 8 gezeigten Ausführungsbeispiels durch einen erfindungsgemäßen diskontinuierlichen Schubantrieb.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs. Teilbild a ist eine Schnittzeichnung, Teilbild b ist eine Darstellung in Aufsicht. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Antriebsmagnet ein permanentmagnetischer Ring 1. Dieser weist entlang seines Umfangs unterschiedlich gepolte Bereiche 11 und 12 auf. Er ist auf einer Scheibe 5 montiert, die von der Drehbewegung angetrieben wird. Der Läufer 3, der in Schubbewegung versetzt werden soll, ist in seiner Achse von links nach rechts beweglich gelagert. Sein Bewegungsspielraum in dieser Richtung ist durch ein Sperrelement 4c eingeschränkt, das sich nur zwischen zwei Endanschlägen 4a und 4b bewegen kann, durch die der Läufer 3 geführt ist. Am rechten Ende des Läufers 3 ist der Läufermagnet 2 befestigt, der zwei Pole 21 und 22 aufweist.

Die in Figur 1 dargestellte magnetische Konfiguration eines Rings 1 aus einem permanent-

magnetischen Material lässt sich beispielsweise durch lokales Ummagnetisieren dieses Materials mit starken Feldern realisieren.

In der in Figur 1 dargestellten Momentaufnahme befindet sich das Sperrelement 4c am Endanschlag 4b. Der Läufermagnet 2 ist dem rechten Rand des permanentmagnetischen Rings 1 somit maximal angenähert. Es liegen sich entgegen gesetzte Pole 22 und 11 von Läufermagnet 2 und Antriebsmagnet 1 gegenüber. Diese ziehen sich somit an.

Wird nun der Antriebsmagnet 1 um 90° gedreht, liegt dem Pol 22 des Läufermagneten der gleichgerichtete Pol 12 des Antriebsmagneten 1 gegenüber. Dann wird der Läufermagnet 2 nach links abgestoßen. Dem Pol 21 des Läufermagneten liegt dann zugleich auch ein ihm entgegen gesetzter Pol 12 des Antriebsmagneten gegenüber, so dass dieser nach links angezogen wird. Diese Anziehung trägt zur Gesamtkraft bei, die den Läufermagneten nach links treibt.

Die auf den Läufermagneten 2 jeweils wirkende Kraft ist durch die Stärke der verwendeten Magnete sowie durch den Abstand zwischen den sich gegenüber liegenden Polen von Antriebsmagnet 1 und Läufermagnet 2 festgelegt. Wie schnell der Läufermagnet 2 und damit auch der Läufer 3 hierdurch nach links getrieben wird, bemisst sich nach der Massenträgheit von Läufermagnet 2 und Läufer 3 sowie danach, gegen welchen durch die konkrete Nutzanwendung vorgegebenen Widerstand der Läufer 3 bewegt werden muss. Dieser Widerstand kann beispielsweise die Reibungskraft zwischen der Klinge einer Heckenschere und dem zu durchtrennenden Holz sein. Der Durchmesser des Antriebsmagneten 1 und die Winkelgeschwindigkeit, mit der er gedreht wird, werden nun idealerweise so gewählt, dass dem Pol 21 des Läufermagneten 2 bis zu dem Zeitpunkt, das Sperrelement 4c den linken Endanschlag 4a erreicht, kein gleichgerichteter Pol 11 des Antriebsmagneten 1 gegenüber liegt. Dann vollführt der Läufer 3 die Bewegung von rechts nach links mit der maximal möglichen Geschwindigkeit und kann die maximal mögliche Kraft in die Nutzanwendung, etwa das Durchtrennen des Holzes mit der Klinge, einbringen. Soll der Läufer 3 dagegen nur eine geringe Kraft übertragen und soll das Sperrelement 4c nicht mit zu großer Wucht gegen den linken Endanschlag 4a schlagen, können alternativ der Durchmesser und die Winkelgeschwindigkeit des Antriebsmagneten 1 so gewählt werden, dass dem Pol 21 des Läufermagneten 2 in der Endphase der Bewegung, bevor das Sperrelement 4c den linken Endanschlag 4a erreicht, noch ein gleichgerichteter Pol 11 des Antriebsmagneten 1 gegenüberliegt. Idealerweise bremst die Abstoßung zwischen diesem Pol 11 des Antriebsmagneten 1 und dem Pol 21 des Läufermagneten 2 die Bewegung des Läufers 3 von links nach rechts sanft ab, bevor die

Grenze zwischen den Polen 11 und 12 des Antriebsmagneten 1 am Pol 21 des Läufermagneten 2 vorbeizieht und die anziehende Wechselwirkung zwischen dem Pol 12 des Antriebsmagneten 1 und dem Pol 21 des Läufermagneten 2 einsetzt.

Die magnetische Wechselwirkung zwischen dem Antriebsmagneten 1 und dem Läufermagneten 2 übt eine definierte Kraft auf den Läufermagneten 2 aus. Diese Kraft ist nach dem Newtonschen Axiom $F=m \cdot a$ das Produkt aus der zu bewegenden Masse und der Beschleunigung, die diese Masse durch die Kraft erfährt. Wie schnell sich der Läufer bewegt und mit welcher Frequenz die diskontinuierliche Schubbewegung wiederholt werden kann, richtet sich somit nach der insgesamt zu bewegenden Masse und nach dem Widerstand, gegen den der Läufer, beispielsweise durch Zusammendrücken der Membran eines Reservoirs, Arbeit verrichten muss. Es sollte vermieden werden, dass der Läufermagnet 2 in einem Kraft-Tal in der Mitte des Antriebsmagneten 1 zum Stehen kommt. Dort ist er am weitesten von den Polen des Antriebsmagneten 1 entfernt, und es besteht das Risiko, dass er allein durch die Drehbewegung des Antriebsmagneten 1 von dort nicht mehr wegbewegt werden kann.

Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs. Teilbild a ist eine Schnittzeichnung, Teilbild b ist eine Darstellung in Aufsicht. In dieser Ausführungsform des Schubantriebs sind zwei Antriebsmagnete 1a und 1b vorgesehen. Der Antriebsmagnet 1a ist eine permanentmagnetische Scheibe, die zwei Magnetpole 11a und 12a ausbildet. Der Antriebsmagnet 1b ist ein konzentrisch zu dieser Scheibe angeordneter permanentmagnetischer Ring, der ebenfalls zwei Magnetpole 11b und 12b ausbildet. Der am Läufer 3 befestigte Läufermagnet 2 mit den Polen 21 und 22 ist zwischen den Antriebsmagneten 1a und 1b beweglich gelagert. Eine Berührung mit diesen Antriebsmagneten wird durch das Sperrelement 4c in Verbindung mit den beiden Endanschlüssen 4a und 4b verhindert. Die Antriebsmagnete 1a und 1b sind auf der gleichen Scheibe 5 befestigt, die durch die Drehbewegung angetrieben wird.

In der in Figur 2 gezeigten Momentaufnahme liegt der Pol 22 des Läufermagneten 2 dem entgegengesetzten Pol 11a des Antriebsmagneten 1a gegenüber. Dem Pol 21 des Läufermagneten 2 liegt der gleich gerichtete Pol 11b des Antriebsmagneten 1b gegenüber. Somit wird der Läufermagnet 2 vom Antriebsmagneten 1a angezogen und zugleich vom Antriebsmagneten 1b abgestoßen. Dreht sich die Scheibe 5 nun um etwa 180° weiter, so wird die Wechselwirkung zwischen dem Antriebsmagneten 1a und dem Läufermagneten 2 auf Abstoßung umgepolt. Gleichzeitig wird die Wechselwirkung zwischen dem Antriebsmagneten 1b und dem

Läufermagneten 2 auf Anziehung umgepolt. Durch die Summe beider Kräfte wird der Läufermagnet 2 nach links in Richtung des Antriebsmagneten 1b getrieben. Dreht sich die Scheibe wiederum um etwa 180° weiter, so wird analog der in Figur 2 gezeigte ursprüngliche Zustand wieder hergestellt, und ein neuer Zyklus kann beginnen.

5 Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs in perspektivischer Seitenansicht. An den Stirnflächen eines durch die Drehbewegung um seine Symmetrieachse rotierbaren Zylinders 6 sind zwei ringförmige Antriebsmagnete 1a und 1b angeordnet, die entlang ihres Umfangs die gleiche Magnetisierungsverteilung aufweisen wie der in Figur 2 gezeigte Antriebsmagnet 1b. Die beiden Antriebsmagnete 1a und 1b sind um
10 180° gegeneinander versetzt angeordnet, so dass der Pol 11a des Antriebsmagneten 1a immer dem Pol 12b des Antriebsmagneten 1b und der Pol 12a des Antriebsmagneten 1a immer dem Pol 11b des Antriebsmagneten 1b gegenüber liegen. Der Läufermagnet 2 hat zwei Pole 21 und 22. Der Pol 22 ragt aus der Zeichenebene heraus, der Pol 21 ragt in die Zeichenebene hinein und ist daher in der perspektivischen Seitenansicht lediglich angedeutet. Der Läufermagnet 2 ist mit dem Läufer 3 verbunden, der entlang der Symmetrieachse des Zylinders gelagert ist und an der linken Stirnfläche des Zylinders durch den ringförmigen Antriebsmagneten 1b hindurchtritt. Das Sperrelement 4c begrenzt in Verbindung mit den Endanschlüssen 4a und 4b den axialen Bewegungsspielraum des Läufermagneten 2, so dass dieser die Antriebsmagnete 1a und 1b nicht berühren kann. Der Läufermagnet ist gegen Verdrehen um die Achse
15 des Zylinders 6 gesichert.

In der in Figur 3 gezeigten Momentaufnahme befindet sich der Läufermagnet 2 im Wesentlichen über der neutralen Zone des Antriebsmagneten 1a und wird daher von ihm netto weder angezogen noch abgestoßen. Dreht sich nun der Zylinder 6 um etwa weitere 90° in Pfeilrichtung, so wird der Pol 22 des Läufermagneten 2 vom Pol 12a des Antriebsmagneten 1a abgestoßen, und zugleich wird der Pol 21 des Läufermagneten 2 vom Pol 11a des Antriebsmagneten 1a abgestoßen. Er wird in Richtung des Antriebsmagneten 1b getrieben. Dies wird da-
25 durch unterstützt, dass der Pol 22 des Läufermagneten 2 vom Pol 11b des Antriebsmagneten 1b angezogen wird und dass der Pol 21 des Läufermagneten 2 vom Pol 12b des Antriebsmagneten 1b angezogen wird. Der Vorgang wird umgekehrt, wenn sich der Zylinder um etwa
30 weitere 180° in Pfeilrichtung gedreht hat.

Figur 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs in perspektivischer Seitenansicht. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Zylinder 6 ortsfest. Statt-

dessen ist der Läufer 3 drehbar gelagert und wird durch die Drehbewegung angetrieben. Die Polung des Antriebsmagneten 1a relativ zum Läufermagneten 2 wird somit durch die Drehbewegung verändert, indem der mit dem Läufer 3 verbundene Läufermagnet 2 gedreht wird. Dieses Ausführungsbeispiel funktioniert völlig analog zu dem in Figur 3 gezeigten Ausführungsbeispiel mit dem Unterschied, dass der Läufer gleichzeitig die Drehbewegung und die diskontinuierliche Schubbewegung vollführt.

Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Schubantriebs in perspektivischer Seitenansicht. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Läufermagnet 2 verdreh-
sicher axial beweglich gegen eine Drehachse 7 gelagert, die mit der in eine Schubbewegung
umzusetzenden Drehbewegung gekoppelt ist. Der Läufermagnet 2 ist wie auch in dem in Fi-
gur 4 gezeigten Ausführungsbeispiel zwischen zwei Antriebsmagneten 1a und 1b beweglich
gelagert, die die gleiche Magnetisierungsverteilung aufweisen wie die Antriebsmagnete 1a
und 1b in Figur 4. Der Hauptunterschied zu Figur 4 besteht darin, dass die Drehachse 7 kein
Läufer ist. Sie vollführt keine Schubbewegung. Allein der Läufermagnet 2 vollführt innerhalb
des Zylinders 6, auf dessen Stirnflächen die Antriebsmagnete 1a und 1b angeordnet sind, eine
Schubbewegung.

Figur 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stirlingmotors. Ein heizbares Reservoir 8 für das Arbeitsgas ist zwischen einem Grundkörper 81 und einer dehnbaren Membran 82 angeordnet. Ein kühlbares Reservoir 9 für das Arbeitsgas ist zwischen einem Grundkörper 91 und einer dehnbaren Membran 92 angeordnet. Die Membran schließt jeweils gasdicht gegen den Grundkörper ab. Somit sind die Reservoirs 8 und 9 nur über den Kanal 10 miteinander verbunden, der durch die Grundkörper 81 und 91 geführt ist. Ansonsten sind sie gasdicht von der Umgebung abgeschlossen. Zwischen den Grundkörpern 81 und 91 ist ein thermischer Isolator 13 angeordnet. Im Kanal 10 kann ein Regenerator platziert werden

Die Membran 82 wirkt analog zum Arbeitskolben des α -Stirlingmotors. Sie ist über eine exzentrisch gelagerte Pleuelstange 33 mit dem Antriebsrad 5 verbunden. Bei Ausdehnung des Arbeitsgases im beheizten Reservoir 8 wird die Membran 82 gedehnt. Die Pleuelstange 33 überträgt die Kraft auf das Antriebsrad 5 und erzeugt so ein Antriebsmoment. Sie besteht aus zwei drehbar gegeneinander gelagerten Teilen. Ihr rechtes Ende ist am Antriebsrad 5 exzentrisch gegen dessen Drehachse drehbar gelagert. Der gegen das Antriebsrad 5 drehbar gelagerte Teil heißt auch Exzenter.

Die Membran 92 wirkt analog zum Verdrängerkolben des α -Stirlingmotors. Sie wird durch einen erfindungsgemäßen diskontinuierlichen Schubantrieb gesteuert. Sie eilt der Bewegung der Membran 82 um ca. 90° nach. Der diskontinuierliche Schubantrieb entspricht dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel mit der Änderung, dass als Antriebsmagnet 1a ein Ring an Stelle einer Scheibe vorgesehen ist.

Die Figur 7 veranschaulicht einen Zyklus des in Figur 6 gezeigten erfindungsgemäßen Stirlingmotors in vier Momentaufnahmen (Figuren 7a-7d). Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Momentaufnahmen liegt jeweils eine Drehung der Scheibe 5 um 90° gegen den Uhrzeigersinn. Die Scharen aus parallelen geschlängelten Pfeilen geben jeweils die Richtung des Wärmetransports von und zu den Reservoirs an. Auf ein Reservoir hinführende Pfeile bedeuten eine Wärmezufuhr, von einem Reservoir wegführende Pfeile bedeuten eine Wärmeabfuhr.

In Figur 7a sind beide Teile der exzentrisch gelagerten Pleuelstange 33 in einer Linie zwischen Membran 82 und Mittelpunkt der Antriebsscheibe 5 ausgerichtet (oberer Totpunkt). Nach Überschreiten dieses Totpunktes wird mit Ausdehnung des zwischen Grundkörper 81 und Membran 82 befindlichen Gases eine Kraft auf die Pleuelstange 33 ausgeübt. Diese Kraft wird vom Exzenter in ein Drehmoment auf die Scheibe 5 umgewandelt.

In Figur 7b ist die Scheibe 5 um 90° gegen den Uhrzeigersinn weitergedreht. Die von der Membran 82 erzeugte Kraft hat über die exzentrisch an der Scheibe 5 gelagerte Pleuelstange 33 den maximalen Hebelarm und verrichtet Arbeit an der Scheibe 5. Der Läufermagnet 2 wird in dieser Winkelstellung der Scheibe 5 von seiner inneren Position zur äußeren Position hin bewegt. Dadurch wird schlagartig eine Kraft auf die Membran 92 ausgeübt, die das im Reservoir 9 befindliche Gas über den Kanal 10 in das Reservoir 8 befördert. Zugleich erhöht sich der Druck im Gesamtsystem schlagartig. Dies entspricht einer senkrechten Linie im p-V-Diagramm.

In Figur 7c ist die Scheibe 5 um weitere 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Das im Reservoir 9 befindliche Gas hat maximale Ausdehnung.

Nach weiterer 90° Drehung der Scheibe 5 (Figur 7d) wird der Läufermagnet 2 von seiner äußeren Position zur inneren Position hin bewegt. Dadurch wird schlagartig eine Kraft auf die Membran 92 ausgeübt. Der Druck des Arbeitsgases im Gesamtsystem nimmt plötzlich ab. Dies entspricht einer senkrechten Linie im p-V-Diagramm. Gleichzeitig entsteht im gekühlten Reservoir 9 ein Unterdruck gegenüber dem geheizten Reservoir 8. Über den Kanal 10

strömt Gas vom geheizten Reservoir 8 in das gekühlte Reservoir 9.

Figur 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stirlingmotors im seitlichen Schnitt sowie die Scheibe 5 in der schematischen Draufsicht. Die Scharen aus parallelen geschlängelten Pfeilen geben, wie in Figur 7, jeweils die Richtung des Wärmetransports von und zu den Reservoirs an. Auf ein Reservoir hinführende Pfeile bedeuten eine Wärmezufuhr, von einem Reservoir wegführende Pfeile bedeuten eine Wärmeabfuhr. In diesem Ausführungsbeispiel liegen die beiden Grundkörper 81 und 91, und damit auch die beiden Reservoirs 8 und 9, in einer Ebene. Die exzentrisch gelagerte Pleuelstange 33 ist mit der drehbar gelagerten Kurbelwelle 44 verbunden und überträgt die von der Membran 82 ausgehende Kraft als Drehmoment auf diese. An der Kurbelwelle 44 ist eine Scheibe 5 zum Speichern der kinetischen Energie befestigt (Schwungscheibe). Weiterhin ist die Membran 92 über eine zweite exzentrisch gelagerte Pleuelstange 55 derart mit der Kurbelwelle 44 verbunden, dass die Bewegung der Membran 92 derjenigen der Membran 82 um 90° nacheilt. In diesem Ausführungsbeispiel wird kein diskontinuierlicher Schubantrieb verwendet. Die Bewegung der Membran 92 erfolgt sinusförmig.

Figur 9 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Stirlingmotors im seitlichen Schnitt sowie die Scheibe 5 in der schematischen Draufsicht. Im Unterschied zu dem in Figur 8 gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein erfindungsgemäßer diskontinuierlicher Schubantrieb vorgesehen, der die Membran 92 antreibt. An der Scheibe 5 sind Antriebsmagnete 1a und 1b angeordnet, zwischen denen sich ein Läufermagnet 2 bewegen kann. Über diesen Läufermagneten 2 wird der Läufer 3, abhängig vom Drehwinkel der Scheibe 5, in zwei unterschiedliche Positionen bewegt. Dabei betätigt er jeweils die Membran 92.

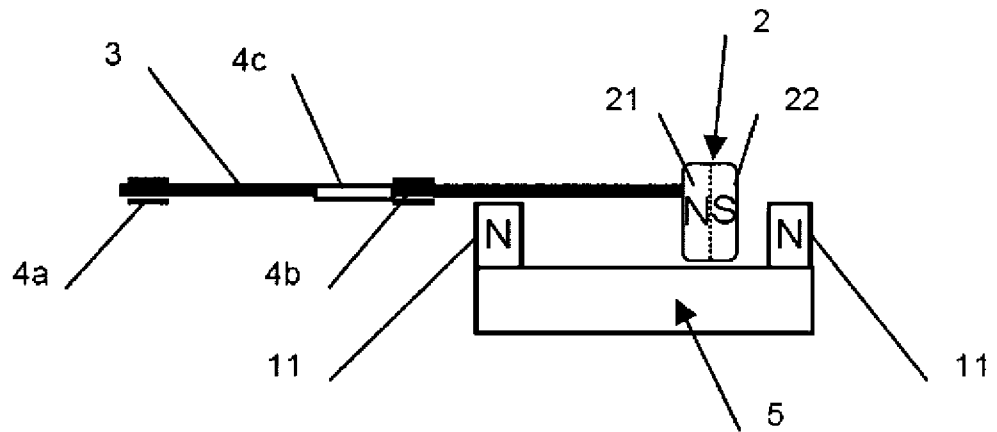
Patentansprüche

1. Schubantrieb zur Umwandlung einer kontinuierlichen Drehbewegung in eine diskontinuierliche Schubbewegung eines permanentmagnetischen Läufermagneten,
dadurch gekennzeichnet, dass
5 der Läufermagnet derart beweglich gelagert ist, dass er auf einen Antriebsmagneten hin verschiebbar ist, wobei die Polung des Antriebsmagneten relativ zum Läufermagneten durch die Drehbewegung veränderbar ist.
2. Schubantrieb nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufermagnet mit einem Läufer verbunden ist, der die Schubbewegung des Läufermagneten
10 mitmacht.
3. Schubantrieb nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer einen oder mehrere Endanschläge aufweist, die eine Berührung zwischen dem Läufermagneten und dem oder den Antriebsmagneten verhindern.
4. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
15 der Antriebsmagnet ein an die Drehbewegung gekoppelter Permanentmagnet ist.
5. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufermagnet zwischen zwei Positionen beweglich gelagert ist, in denen jeweils bei einem bestimmten Drehwinkel der Drehbewegung eine abstoßende Kraft zwischen Antriebsmagnet und Läufermagnet wirkt.
- 20 6. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Antriebsmagnet ein Ring mit magnetisierten Bereichen, insbesondere ein permanentmagnetischer Ring, ist und der Läufermagnet entlang einer Sehne des Rings beweglich gelagert ist.
7. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zwei
25 Antriebsmagnete, zwischen denen der Läufermagnet beweglich gelagert ist.
8. Schubantrieb nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der eine Antriebsmagnet den anderen zumindest teilweise umgibt.

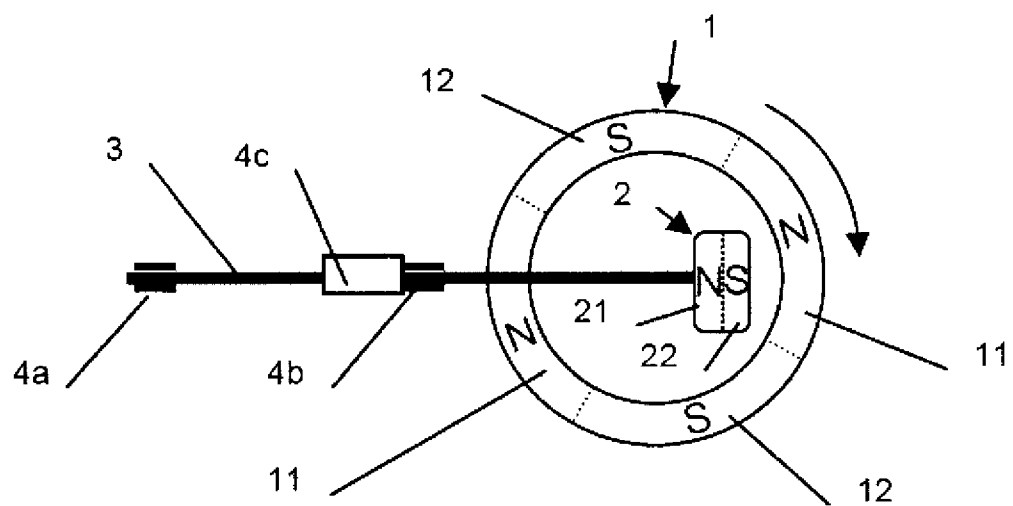
9. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden 2 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmagnete auf Querschnitts- oder Stirnflächen eines an die Drehbewegung gekoppelten Zylinders angeordnet sind.
10. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden 3 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
5 dass der oder die Antriebsmagnete ortsfest sind und der Läufermagnet über den Läufer an die Drehbewegung gekoppelt ist.
11. Schubantrieb nach einem der vorhergehenden 4 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufermagnet verdrehsicher axial beweglich gegen eine Drehachse gelagert ist, die an die Drehbewegung gekoppelt ist.
- 10 12. Stirlingmotor, umfassend mindestens zwei miteinander kommunizierende Reservoirs für ein Arbeitsgas, wobei mindestens ein Reservoir im Betrieb beheizbar und mindestens ein Reservoir im Betrieb kühlbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens ein Reservoir als Zwischenraum zwischen einer beweglichen und/oder dehn-
15 baren Membran und einem Grundkörper ausgebildet ist.
13. Stirlingmotor nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl das heizbare als auch das kühlbare Reservoir jeweils als Zwischenraum zwischen einer beweglichen und/oder dehnbaren Membran und einem Grundkörper ausgebildet sind.
14. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden 2 Ansprüche, gekennzeichnet durch einen
20 Schubantrieb nach einem der auf einen Schubantrieb gerichteten Ansprüche, der die Bewegung mindestens einer Membran steuert.
15. Stirlingmotor nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch Mittel zur Übertragung der Nutzarbeit des Stirlingmotors auf die Drehbewegung, die den Schubantrieb speist.
- 25 16. Stirlingmotor nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch eine Schwungmasse, deren Drehbewegung den Schubantrieb speist und die ihrerseits durch die Nutzarbeit des Stirlingmotors angetrieben wird.
17. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden 2 Ansprüche, gekennzeichnet durch eine von der Nutzarbeit des Stirlingmotors, insbesondere von der Membran des heizbaren Re-

servoirs, bewegbare Pleuelstange, welche exzentrisch gegen die Drehachse der Drehbewegung gelagert ist, als Mittel zur Übertragung der Nutzarbeit des Stirlingmotors auf die Drehbewegung.

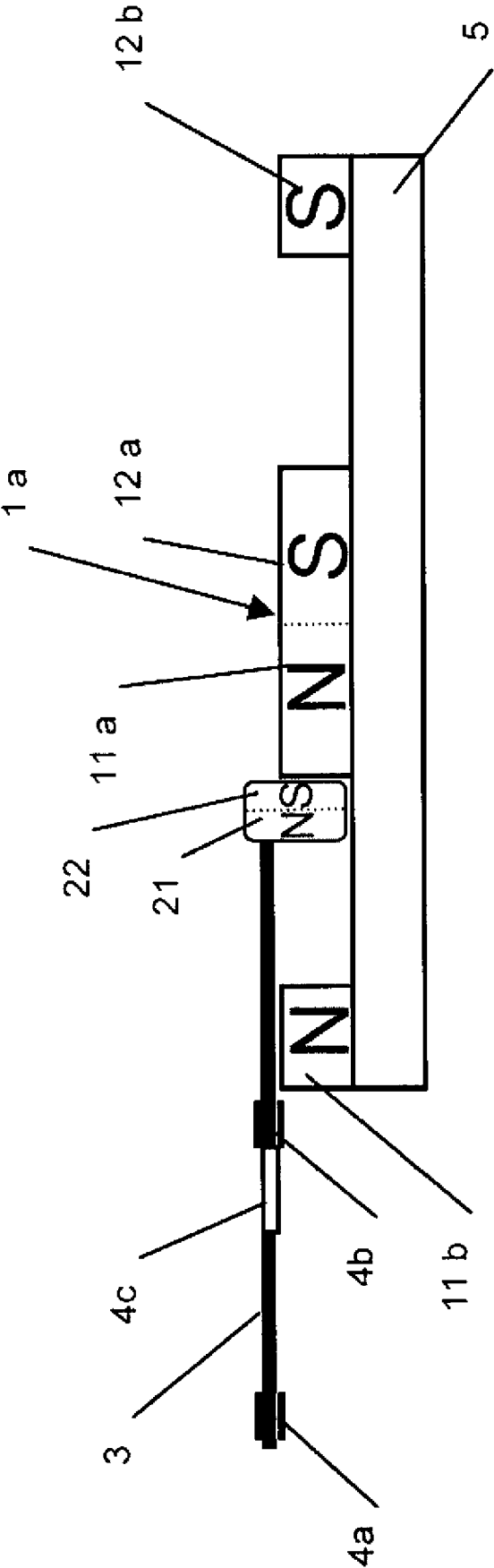
- 5 18. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden 3 Ansprüche, gekennzeichnet durch eine derartige Anordnung separater Läufermagnete für die Steuerung beider Membranen relativ zu dem oder den Antriebsmagneten, dass die Polungsänderung des oder der Antriebsmagneten die Läufermagnete mit einer Phasenverschiebung zwischen 80 und 100 Grad, bevorzugt von 90 Grad, zueinander ansteuert.
- 10 19. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden 6 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kommunikation des Arbeitsgases zwischen den beiden Reservoirs ein Kanal durch die Grundkörper des heizbaren und des kühlbaren Reservoirs geführt ist.
20. Stirlingmotor nach vorhergehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Grundkörpern des heizbaren und des kühlbaren Reservoirs ein Wärmespeicher angeordnet ist, der im Wärmekontakt mit dem Kanal steht.
- 15 21. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden 8 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundkörper einen Winkel zwischen 70 und 110 Grad, bevorzugt von 90 Grad, einschließen oder alternativ in einer Ebene liegen.
- 20 22. Stirlingmotor nach einem der vorhergehenden auf einen Stirlingmotor gerichteten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Kanal zur Durchführung eines Wärme abgebenden oder Wärme aufnehmenden Betriebsmittels durch mindestens einen Grundkörper geführt ist.



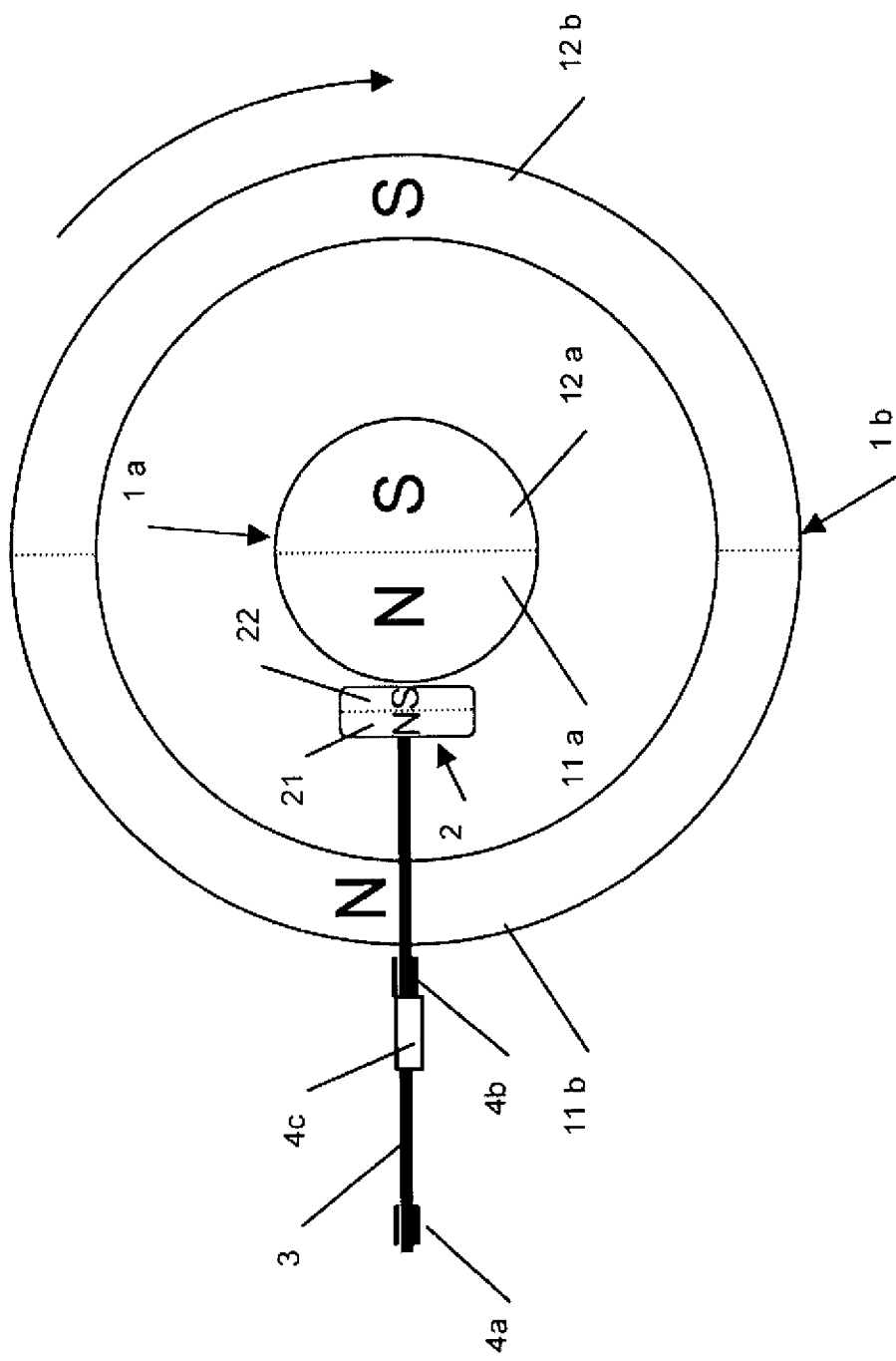
Figur 1a



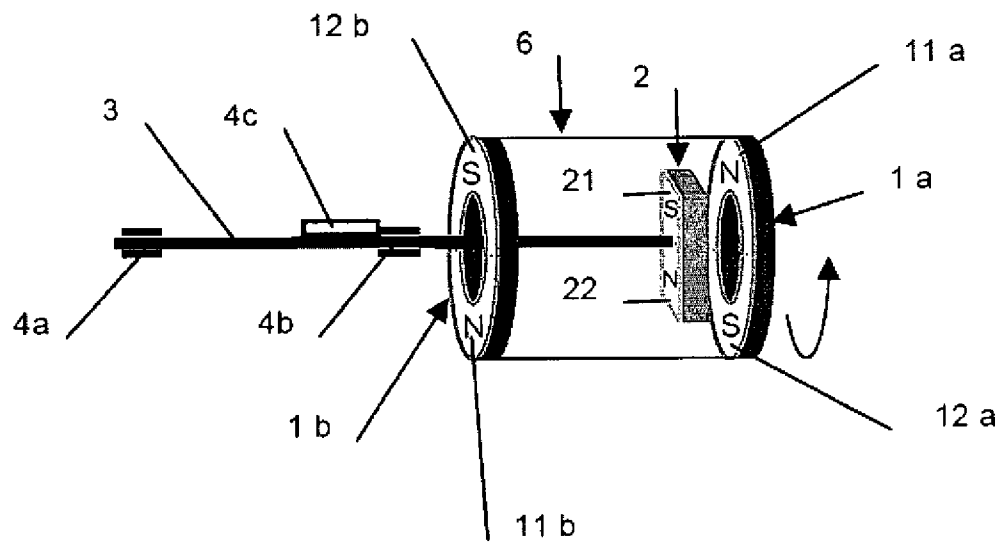
Figur 1b



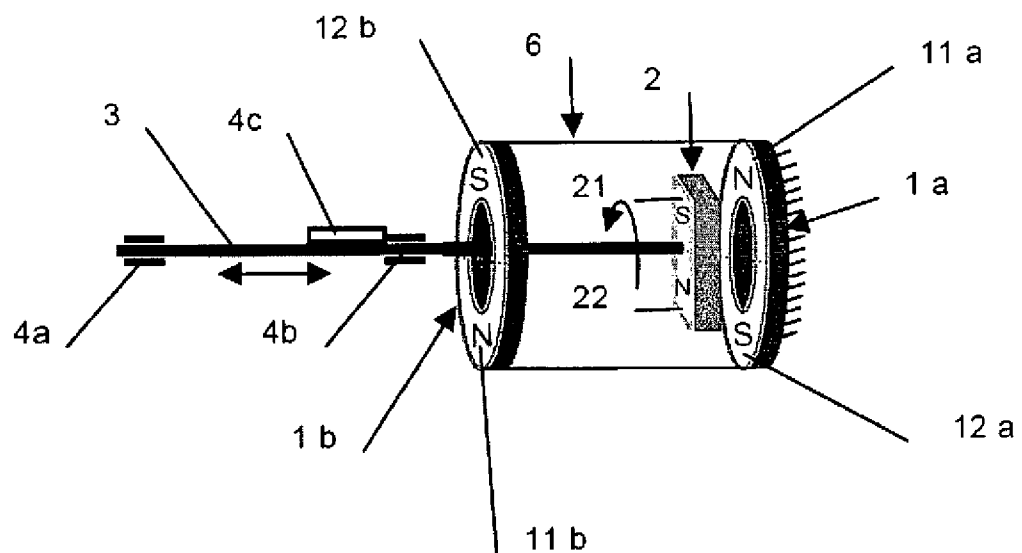
Figur 2a



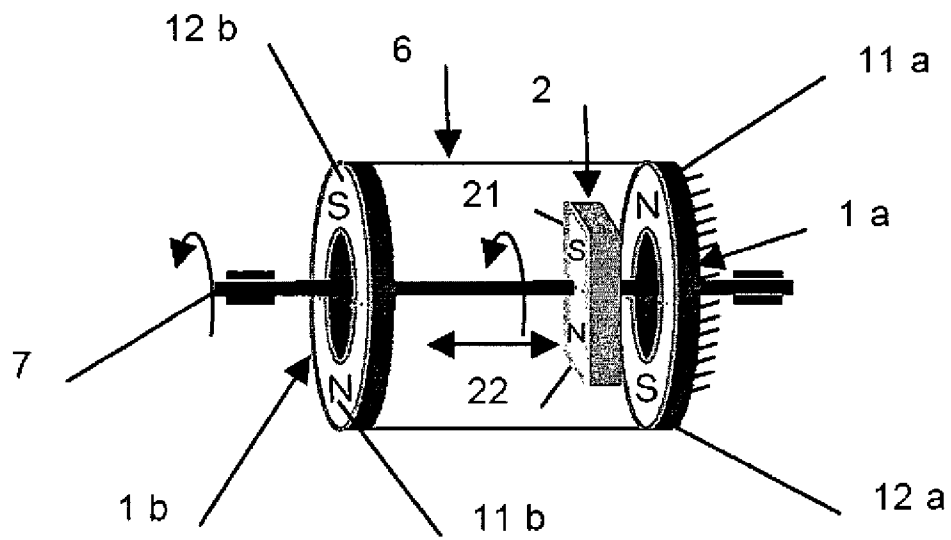
Figur 2b



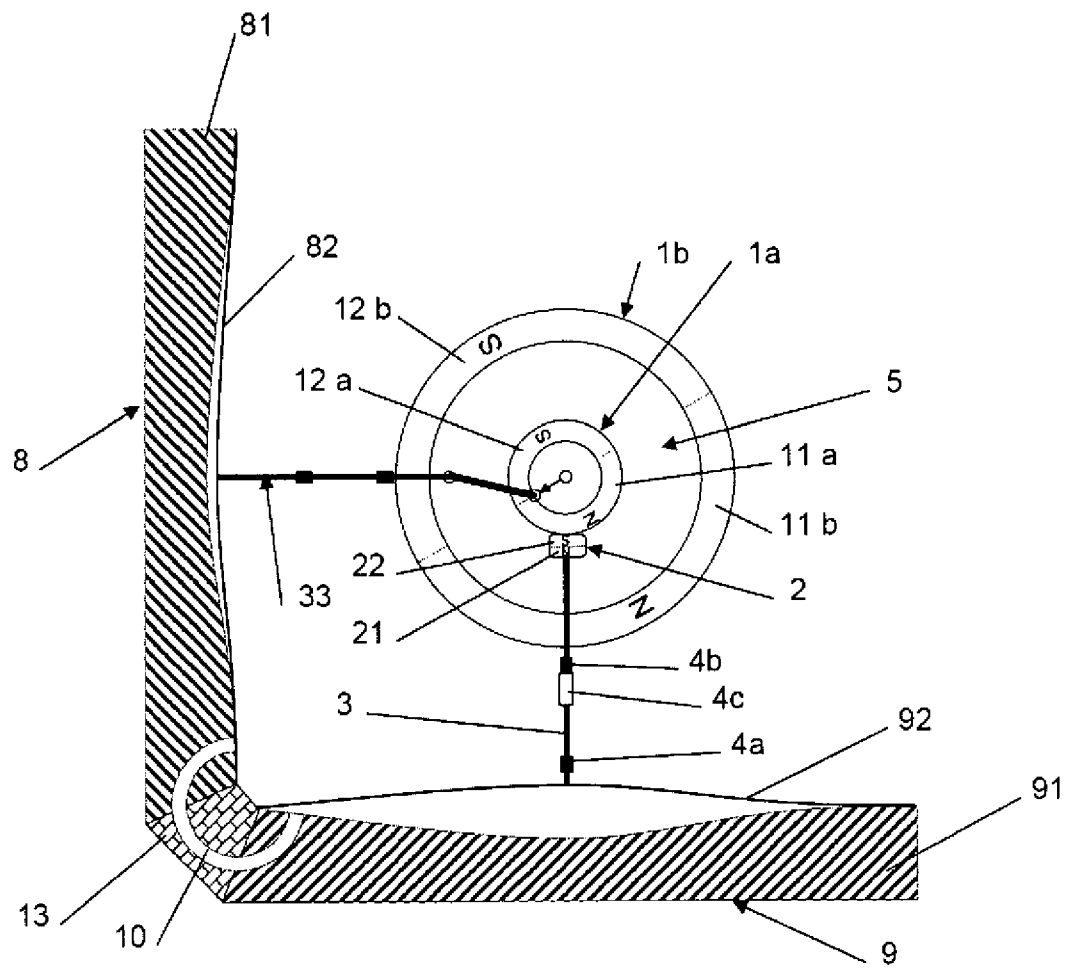
Figur 3



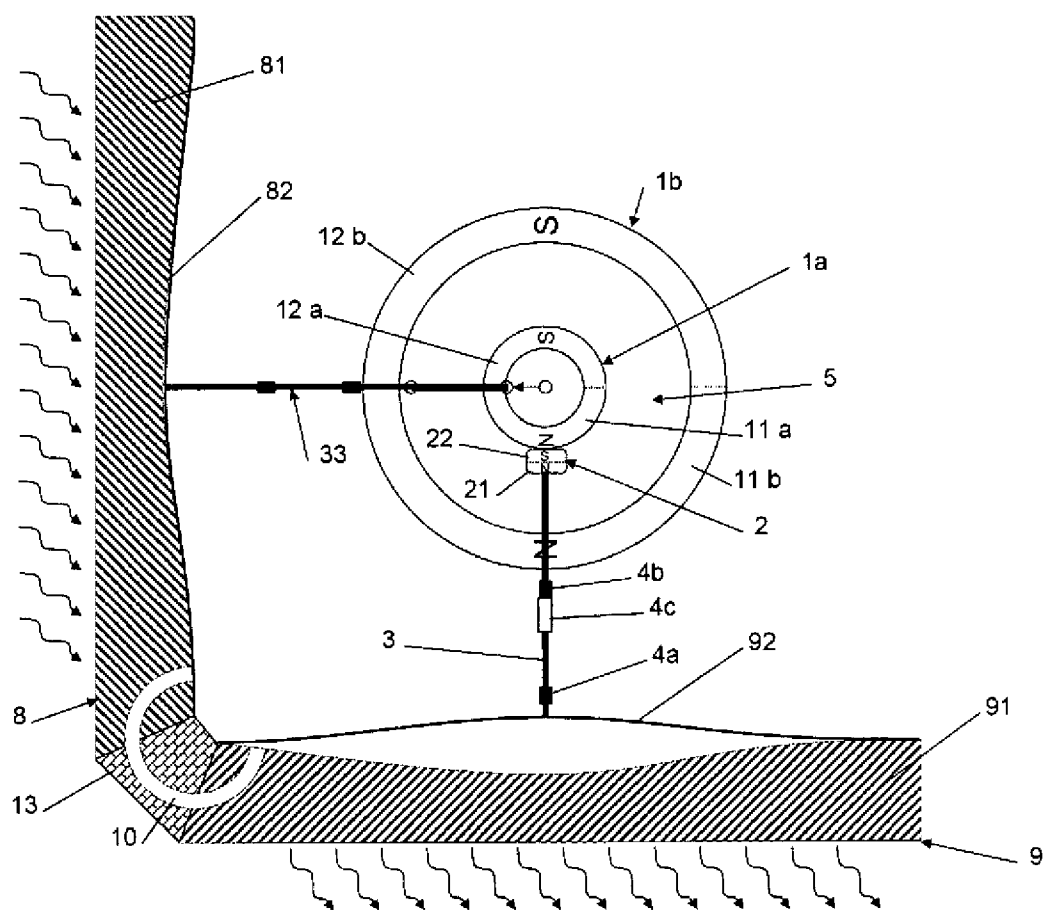
Figur 4



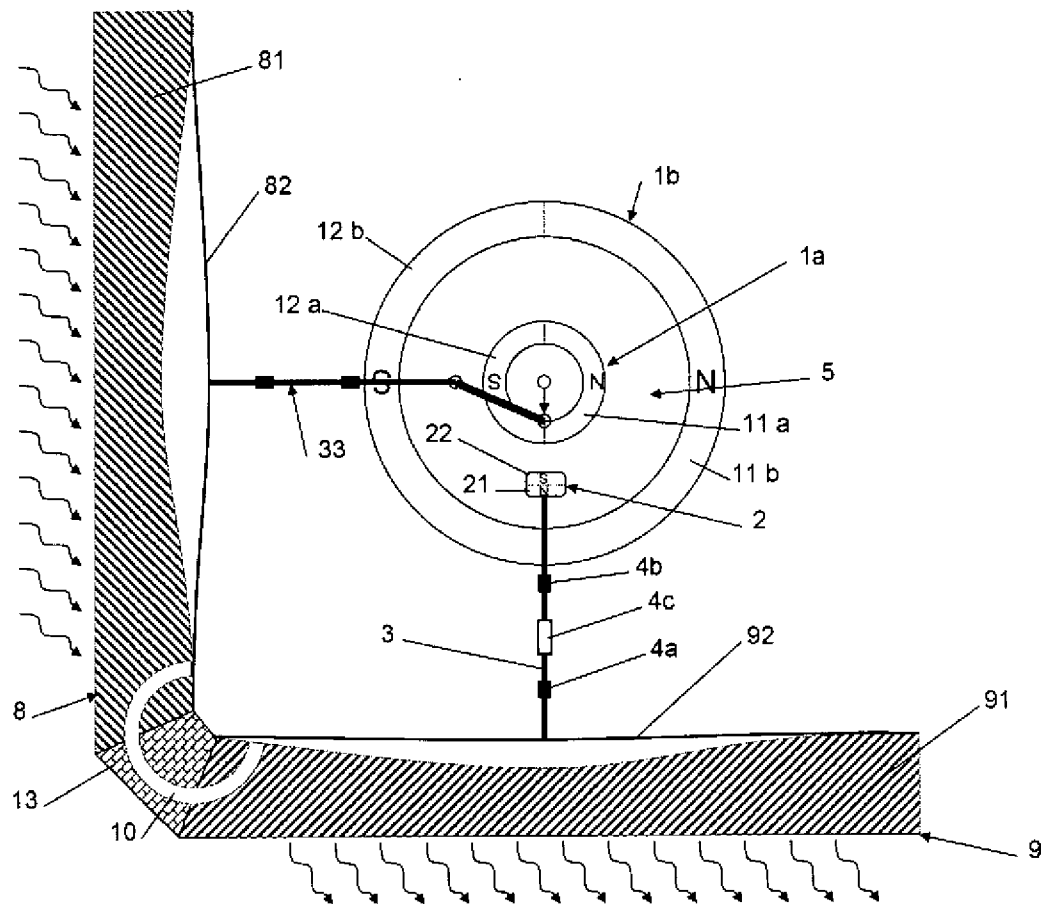
Figur 5



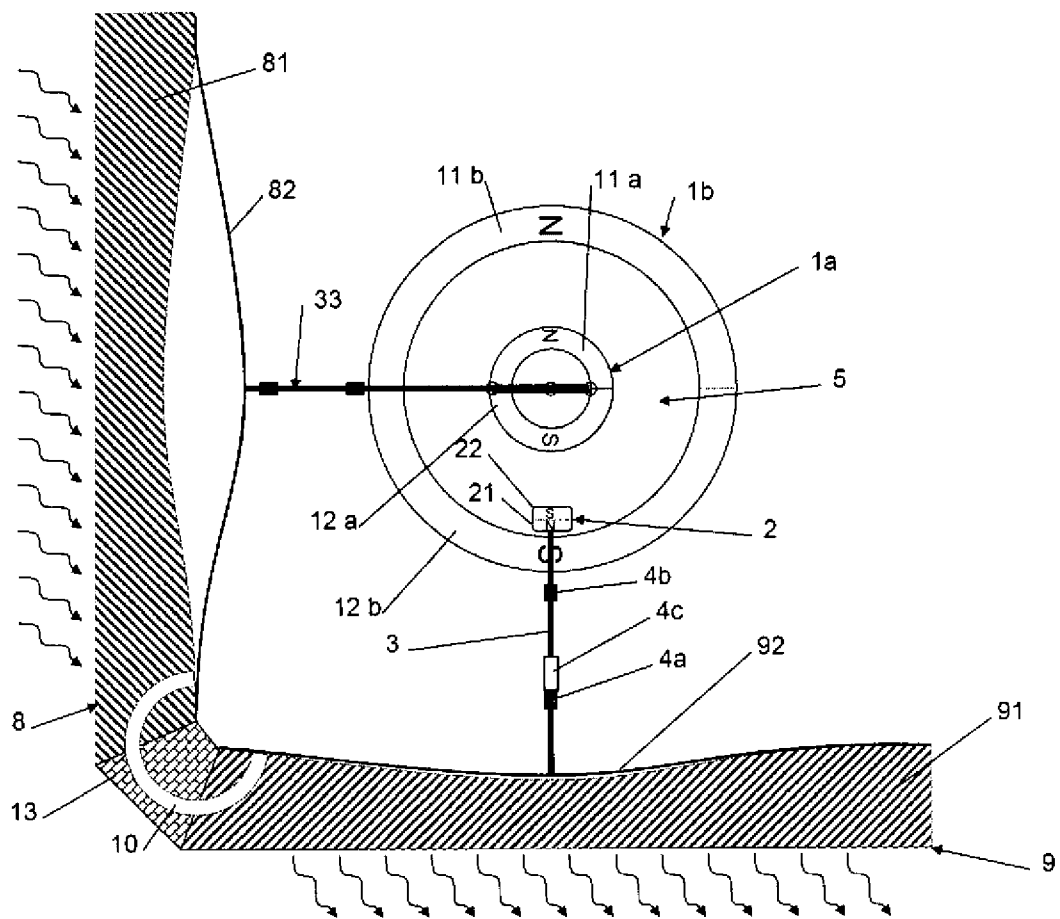
Figur 6



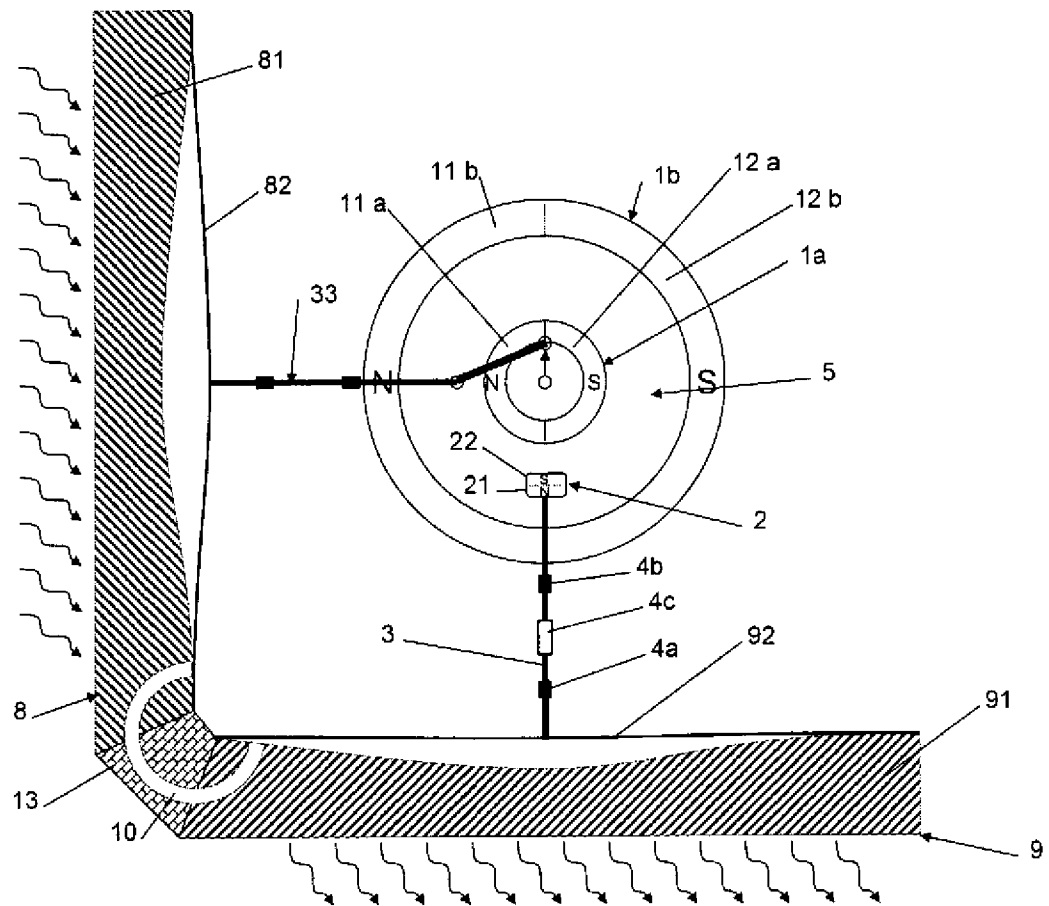
Figur 7a



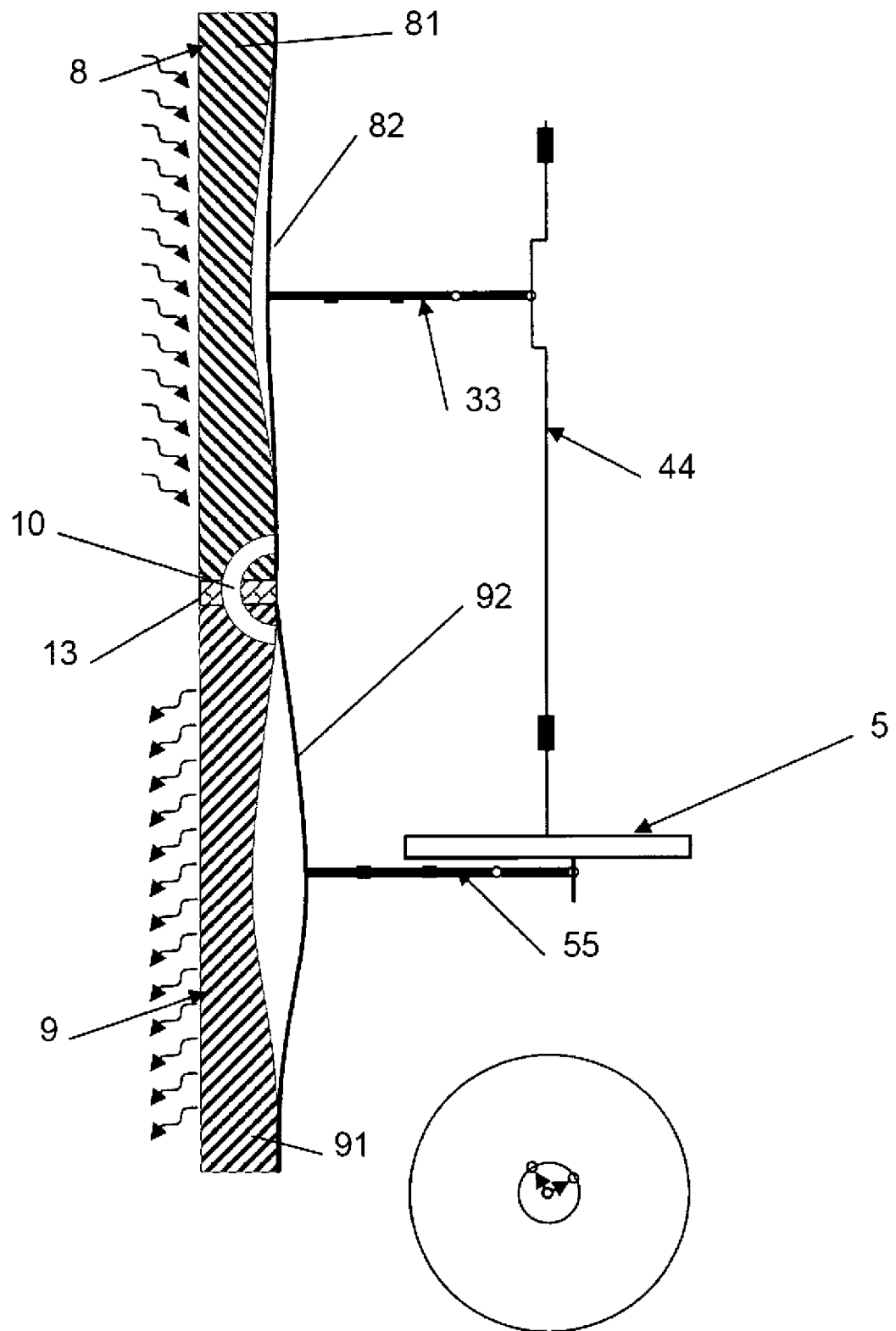
Figur 7b



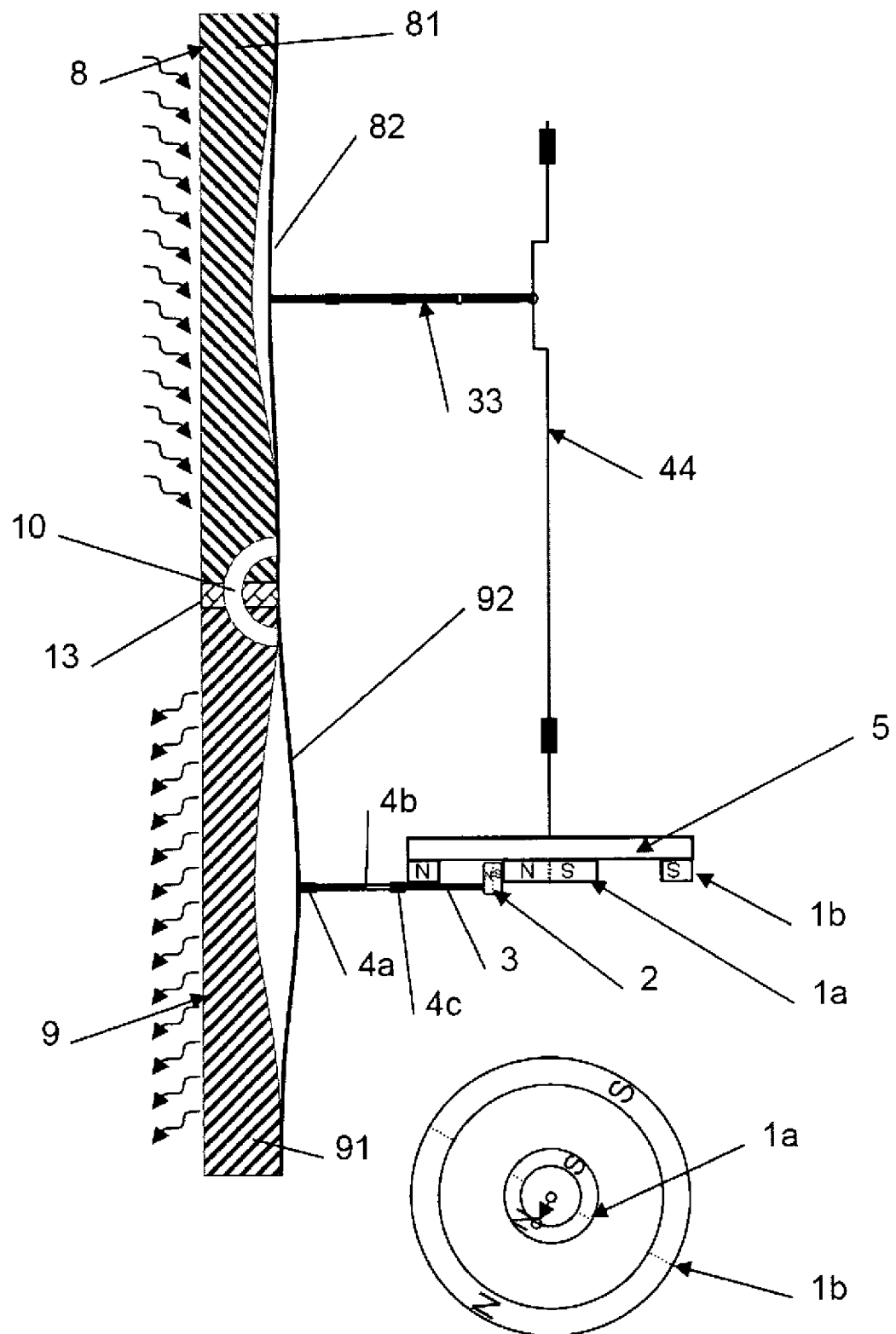
Figur 7c



Figur 7d



Figur 8



Figur 9