



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 714 405 B1**

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **H02K 7/00** (2006.01)  
**H02K 49/10** (2006.01)  
**H01F 7/02** (2006.01)  
**B60L 13/10** (2006.01)  
**B60L 13/04** (2006.01)  
**G01P 3/50** (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01478/17

(22) Anmeldedatum: 05.12.2017

(43) Anmeldung veröffentlicht: 14.06.2019

(24) Patent erteilt: 28.02.2022

(45) Patentschrift veröffentlicht: 28.02.2022

(73) Inhaber:  
ETH Zürich, ETH Transfer HG E 47-49 Rämistrasse 101  
8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)

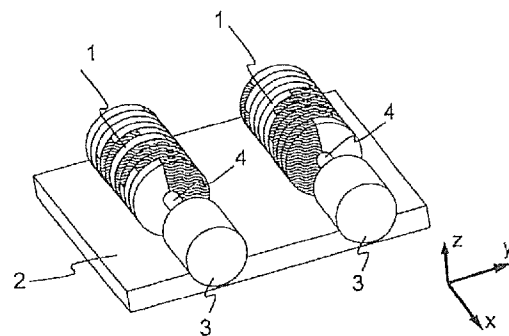
(72) Erfinder:  
Ivan Subotic, L3 2BP Liverpool (GB)  
Arda Tüysüz, 8051 Zürich (CH)  
Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach  
8032 Zürich (CH)

(54) **Vorrichtung zum elektromagnetischen Schweben und Antreiben.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum elektromagnetischen Schweben und Antreiben und/oder zur berührungslosen Energiegewinnung aus der Umgebung und/oder zur berührungslosen Geschwindigkeitserfassung,

- umfassend mindestens ein erstes Rotorelement (1),
- wobei das erste Rotorelement (1) eine zylindrische Anordnung von Permanentmagneten ist, wobei die Permanentmagnete angeordnet sind, um ein helikales Magnetfeld zu bilden,
- wobei das erste Rotorelement (1) angeordnet ist, um um eine erste Achse zu rotieren,
- ein Statorelement (2), das angeordnet ist, um magnetisch mit dem Magnetfeld des ersten Rotorelements in Wechselwirkung zu treten, und dadurch eine relative Kraft zwischen dem ersten Rotorelement (1) und dem Statorelement (2) zu erzeugen.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Bereiche von Systemen zum Antrieb, zum Schweben, zur Energiegewinnung aus der Umgebung (engl. Energy Harvesting) und zur Geschwindigkeitserfassung.

## Stand der Technik

[0002] L. C. Davis und R. H. Borcherts, „Superconducting paddle wheels, screws, and other propulsion units for high-speed ground transportation“, Journal of Applied Physics, vol. 44, no. 7, July 1973, betrachtet berührungslose Methoden der Antriebsproduktion für einen über einer leitfähigen Oberfläche schwebenden Zug. Eine der beiden Topologien, die in dem Forschungspapier betrachtet werden, verwendet eine helikale Wicklung, die auf einen Zylinder gewickelt ist, die ein helikales Magnetfeld erzeugt. Die Topologie ist in **Fig. 1** dargestellt.

[0003] Der Zylinder in **Fig. 1b** berührt die Oberfläche der Reaktionsschiene nicht. Der Oberflächenteil, der dem Zylinder am nächsten liegt, ist eine fiktive Linie auf der Oberfläche unter dem Zylinder. Im Stillstand bewirkt die helikale Wicklung am Zylinder eine sinusförmige Verteilung der Normalkomponente des Magnetfeldes entlang dieser Linie. Es wird bislang davon ausgegangen, dass die Reaktionsschiene, die aus elektrisch leitfähigem Material hergestellt ist, im Stillstand ist. Wenn sich der Zylinder (und die darauf angebrachte helikale Wicklung) dreht, erfährt die oben erwähnte fiktive Linie ein sinusförmiges Feld, das sich jetzt entlang ihrer Länge bewegt. Daher werden Wirbelströme in der Reaktionsschiene induziert. Die Wirbelströme erzeugen ein Magnetfeld, das dem Feld vom Zylinder entgegenwirkt. Die Wechselwirkung der beiden Felder bewirkt eine Antriebskraft in Richtung der x-Achse, sehr ähnlich wie bei einem Induktionsmotor.

[0004] Zusätzlich zu der oben beschriebenen Antriebskraft bewirkt die Zylinderrotation eine andere Kraft. Diese Kraft versucht, die leitfähige Oberfläche in Richtung der Zylinderrotation zu bewegen, d. h. als ob ein physischer Kontakt zwischen dem Zylinder und der leitfähigen Oberfläche bestehe. Die Kraft wird nachfolgend als „ $\varphi$ -Kraft“ (oder „ $\varphi$ -Effekt“) genannt. Diese Kraft wird in [Davis 1973] verwendet, um den Zug anzuheben, d. h. Schweben bereitzustellen (**Fig. 1a**). Um Stabilität bereitzustellen, sind an Bord des Zuges zwei Zylinder angebracht. Obwohl sie sich in entgegengesetzte Richtungen rotieren, haben beide die gleichen Funktionen - den Antrieb und das Schweben zu liefern.

[0005] Die limitierenden Faktoren sind nachfolgend als L1.1-L1.7 aufgelistet.

L1.1) Der dritte im System vorhandene Krafttyp (z-Kraft) wird nicht verwendet. Diese Kraft ist eine Abhebekraft zwischen der leitfähigen Oberfläche und dem Zylinder, die in Richtung der z-Achse in **Fig. 1b** wirkt.

L1.2) Die Hauptwechselwirkung zwischen dem Zylinder und der leitfähigen Oberfläche ist entlang einer Linie. Dies bewirkt eine begrenzte magnetische Kupplung zwischen dem Zylinder und der Reaktionsschiene, daher ist die erreichbare Kraft begrenzt.

L1.3) Helikales Feld wird von Supraleitern erzeugt, die ein anspruchsvolles Kühlsystem erfordern. Die Verwendung regulärer Leiter (z. B. Kupferdrähte bei Raumtemperatur) würde zu übermäßigen Verlusten führen.

L1.4) Das zur Bereitstellung der Zylinderrotation verwendete System ist vollständig von dem Feld entkoppelt, das durch die helikalen Wicklungen erzeugt wird. Daher ist ein zusätzlicher Motor erforderlich, um den Zylinder zu rotieren. Dieser Motor ist nicht integriert, wodurch dem System zusätzliches Volumen und Gewicht hinzugefügt wird, was sich negativ auf Kosten und Leistung auswirkt.

L1.5) Magnetische Endeffekte wirken sich negativ auf die Topologie aus. Selbst wenn sich der Zylinder mit einer Geschwindigkeit rotiert, die Nullschlupf gewährleistet, werden nämlich immer noch Wirbelströme in der Nähe der Kanten des Zylinders erzeugt. Diese Wirbelströme erzeugen nur Verluste und wirken sich somit negativ auf die Topologie aus.

L1.6) Der gesamte Fluss strömt durch Luft (um den Zylinder herum und zwischen dem Zylinder und der Reaktionsschiene), die eine viel höhere magnetische Reluktanz als Eisen hat.

L1.7) Es gibt keine magnetische Abschirmung des Systems gegen die Umgebung. Da in dem System kein Eisenjoch verwendet wird, kann jedes elektrisch leitfähige Material in der Umgebung des Systems seine Leistung beeinträchtigen und/oder dadurch betroffen werden.

[0006] Ein anderer Aspekt des gleichen Forschungspapiers [Davis 1973] (nachfolgend als [Davis 1973, 2] bezeichnet) betrachtet die Verwendung eines radial magnetisierten supraleitenden Rades zur Herstellung einer berührungslosen Antriebsart für einen schwebenden Zug. Die Topologie ist in **Fig. 2** dargestellt. Es wird nur das supraleitende Rad berücksichtigt. Dieselbe Topologie mit Permanentmagneten wird hingegen in: J. Bird und T. A. Lipo, „An electrodynamic wheel: an integrated propulsion and levitation machine,“ IEEE International Electric Machines and Drives Conference IEMDC, vol. 3, pp. 1410-1416, 2003 behandelt. Dieselbe Topologie wurde vor Kurzem patentiert (US 2014/0132155 A1) und wird verwendet, um eine kontaktlose Art der Lichterzeugung auf einem Fahrrad bereitzustellen. Kommerzielles Produkt kann man unter: <https://www.magniclight.com/en/> finden.

[0007] Die Wechselwirkung zwischen dem Rad und der leitfähigen Oberfläche ist wiederum entlang der Oberflächenlinie, die dem Rad am nächsten ist, am höchsten. Im Gegensatz zu [Davis 1973] erzeugt das Rad jedoch im Stillstand ein konstantes Feld auf dieser Linie (die leitfähige Oberfläche bewegt sich nicht). Rotation des Rades bewirkt eine Flussänderung auf der gesamten Linie und Wirbelströme werden erzeugt. Ihre Wechselwirkung mit dem Feld des Rades bewirkt Auftrieb.

[0008] Die limitierenden Faktoren sind nachfolgend als L2.1-L2.4 aufgelistet.

L2.1) Die Hauptwechselwirkung zwischen dem Zylinder und der leitfähigen Oberfläche ist entlang einer Linie. Dies bewirkt eine begrenzte magnetische Kupplung.

L2.2) Die lineare Geschwindigkeit der Radoberfläche muss höher sein als die lineare Geschwindigkeit des Zuges. Daher sind hohe Rotationsgeschwindigkeiten erforderlich, was mechanische Probleme verursachen kann.

L2.3) Das gleiche wie L1.6

L2.4) Das gleiche wie L1.7

[0009] In N. Fujii, K. Naotsuka, K. Ogawa und T. Matsumoto, „Basic characteristics of magnet wheels with rotating permanent magnets“, Industry Applications Conference, 1994, wird anstelle eines Radialrades (von [Davis 1973, 2]) ein Axialrad verwendet, um die Kupplung zu vergrößern (um L1.2 und L2.1 zu überwinden). Die Topologien sind in **Fig. 3** gezeigt.

[0010] Ähnlich wie bei [Davis 1973, 2] bewirkt die Rotation des Rades Antriebskräfte in der gleichen Richtung (Richtung der y-Achse), als ob ein mechanischer Kontakt zwischen dem Rad und der leitfähigen Oberfläche bestehe. Nur der Teil des Rades, dessen Spitze sich ungefähr in Translationsrichtung bewegt, trägt zum Antrieb bei. Die anderen Teile verursachen Bremsen; daher werden sie in **Fig. 3a** hoch über die leitende Oberfläche verschoben, um ihre Interferenz mit dieser zu minimieren. In ähnlicher Weise werden diese Teile in **Fig. 3b** von der leitfähigen Oberfläche entfernt, indem nur eine teilweise Überlappung zwischen dem Rad und der Oberfläche ermöglicht wird. Durch die Steuerung des Winkels  $\Phi$  kann die Topologie entweder rein schweben ( $\Phi = 0$ , vgl. **Fig. 3a**) oder Antrieb sowie Schweben ( $\Phi \neq 0$ ) bereitstellen.

[0011] Eine Topologie, die das genaue Funktionsprinzip von **Fig. 3a** verwendet, ist in 2014 (US 20140265690 A1) preisgegeben.

[0012] WO2016199845A1 gibt Anordnungen zum „Energy Harvesting“ preis.

[0013] Die limitierenden Faktoren sind nachfolgend als L3.1-L3.4 aufgelistet.

L3.1) Nur der Teil des Rades, dessen Spitze sich ungefähr in Translationsrichtung (in Richtung der y-Achse) bewegt, trägt zum Antrieb bei. Dies bewirkt eine begrenzte Kupplung.

L3.2) Das gleiche wie L2.2

L3.3) Das gleiche wie L1.6

L3.4) Das gleiche wie L1.7

L3.5) Mit dem „Energy Harvesting“ verbundene Topologien leiden während des Betriebs unter dem Auftreten eines Rastmoments. Das Rastmoment hat zwei negative Auswirkungen. Die erste ist, dass es den Selbststart des „Harvesters“ hindert, und die zweite ist, dass es die Leistung des „Harvesters“ während der Betrieb verschlechtert. Aus diesen beiden Gründen muss das Rastmoment von einer anderen Stufe unterdrückt werden. Dies wird jedoch in hohem Maße durch die Tatsache behindert, dass das Rastmoment nicht bei allen Rotationsgeschwindigkeiten gleich ist. Es ist am höchsten bei niedrigen Geschwindigkeiten, während es bei höheren Geschwindigkeiten reduziert wird. Dies ist eine Folge von erzeugten Wirbelströmen. Aus diesem Grund können andere Stufen des „Harvesters“ nur so hergestellt werden, um die Leistung bei einer bestimmten Geschwindigkeit zu optimieren, während bei anderen Geschwindigkeiten das Rastmoment vorhanden sein wird.

L3.6) Die Topologien können nicht zur Geschwindigkeitserfassung verwendet werden.

L3.7) Ein Versagen des Klebstoffs würde dazu führen, dass die Magneteile wegfliegen und ein Sicherheitsrisiko darstellen.

L3.8) In Topologien im Zusammenhang mit dem „Energy Harvesting“ verschlechtert die Krümmung des leitfähigen Rades die Leistung des „Harvesters“ (im Vergleich zur geraden leitfähigen Oberfläche).

[0014] J. Z. Bird, „An investigation into the use of electrodynamic wheels for high-speed ground transportation“, PhD Thesis, Portland State University, 2007, berücksichtigt die Verwendung mehrerer radialer Permanentmagneträder (aus [Davis 1973, 2]) in Reihe. Die Topologie ist in **Fig. 4** dargestellt.

[0015] Die Topologie hat ein ähnliches Funktionsprinzip wie [Davis 1973, 2]. Jedes Rad erzeugt jedoch einen Fluss in der Nähe der benachbarten Räder. Daher ist die Kupplung im Vergleich zu [Davis 1973, 2] verbessert. Außerdem, ein weiterer Grund für eine verbesserte Leistung im Vergleich zum Einzelrad ist die Verringerung der Endeffekte. Der Wirbelstrom, der durch ein Rad erzeugt wird, wechselwirkt nämlich auch mit dem Feld des nachfolgenden Rades, anstatt nur aus dem „aktiven Bereich“ herausbewegt zu werden.

[0016] Die limitierenden Faktoren sind nachfolgend als L4.1-L4.3 aufgelistet.

L4.1) Das System erfordert vier Systeme (in Bezug auf **Fig. 4**) oder eine mechanische Kupplung jener vier Räder, um eine Rotationsbewegung der Räder bereitzustellen. Dies erhöht die Komplexität des Systems.

L4.2) Das gleiche wie L1.6

L4.3) Das gleiche wie L1.7

[0017] US 4'764'743 gibt Anordnungen von Permanentmagneten zum Erzeugen von helikal ausgerichteten Magnetfeldern zur Verwendung in zirkular polarisierten Mikrowellen/Millimeterwellen Einrichtungen in der Elektronik preis.

[0018] R. F. Post, „Magnetic levitation system for moving objects“, patent, US 5722326 A, 1998, beschreibt ein System zum passiven Schweben. Magnete in einem Halbach-Array werden in ein Fahrzeug gestellt. Sie sind feststehend und am Fahrzeugboden positioniert. Bei hohen Geschwindigkeiten des Fahrzeugs erzeugen die Magneten Ströme in der Oberfläche unter dem Fahrzeug und die Wechselwirkung zwischen diesen induzierten Strömen und den Magneten hebt den Zug

an. Ein Nachteil der Lösung besteht darin, dass sie gleichzeitig eine erhebliche Schleppkraft verursacht, die dazu neigt, das Fahrzeug zu verlangsamen. Die Schleppkraft ist vorhanden, da die Topologie gleichzeitig als Wirbelstrombremse wirkt.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0019]** Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, eine kontaktlose Art des „Energy Harvesting“ und/oder Geschwindigkeitserfassung bereitzustellen.

**[0020]** Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

**[0021]** Die Vorrichtung zur berührungslosen Energiegewinnung aus einer Bewegung und/oder zur berührungslosen Geschwindigkeitserfassung

- umfasst mindestens ein erstes Rotorelement,
- wobei das erste Rotorelement eine zylindrische Anordnung von Permanentmagneten ist, wobei die Permanentmagnete angeordnet sind, um ein helikales Magnetfeld zu bilden,
- wobei das erste Rotorelement angeordnet ist, um um eine erste Achse zu rotieren,
- ein Statorelement, das angeordnet ist, um magnetisch mit dem Magnetfeld des ersten Rotorelements in Wechselwirkung zu treten, und dadurch eine relative Kraft zwischen dem ersten Rotorelement und dem Statorelement zu erzeugen.

**[0022]** Die Vorrichtung verwendet eine Wechselwirkung zwischen Permanentmagneten (PM), die im Fahrzeug verbaut sind, und Wirbelströmen, die in einer leitfähigen Oberfläche unter dem Fahrzeug erzeugt werden. Es können mehrfache Antriebssysteme implementiert werden, die das Schweben und den Antrieb eines Fahrzeugs ermöglichen. Die Systeme können ohne physischen Kontakt zwischen dem Fahrzeug und einer darunter liegenden Oberfläche funktionieren. In den meisten Ausführungsformen wird das Schweben und der Antrieb durch Wechselwirkung zwischen auf dem Fahrzeug gestellten Magneten und Wirbelströmen, die in der leitfähigen Oberfläche unter dem Fahrzeug erzeugt werden, erreicht.

**[0023]** In Ausführungsformen umfasst die Vorrichtung

- ein zweites Rotorelement,
- wobei das zweite Rotorelement eine zylindrische Anordnung von Permanentmagneten ist, wobei die Permanentmagnete angeordnet sind, um ein helikales Magnetfeld zu bilden,
- wobei das zweite Rotorelement angeordnet ist, um um eine zweite Achse zu rotieren,
- ein Statorelement, das angeordnet ist, um magnetisch mit dem Magnetfeld des zweiten Rotorelements in Wechselwirkung zu treten, und dadurch eine relative Kraft zwischen dem zweiten Rotorelement und dem Statorelement zu erzeugen.

**[0024]** In Ausführungsformen umfasst die Vorrichtung einen Aktuator, der angeordnet ist, um die Rotorelemente anzutreiben, um um ihre jeweiligen Achsen zu rotieren.

**[0025]** In Ausführungsformen sind die erste und die zweite Achse parallel und nicht koaxial.

**[0026]** In Ausführungsformen sind die erste und die zweite Achse parallel und koaxial.

**[0027]** In Ausführungsformen ist der Aktuator angeordnet, um das erste und das zweite Rotorelement in entgegengesetzte Richtungen zu rotieren.

**[0028]** In Ausführungsformen liegen die erste und die zweite Achse in einer Ebene und sind nicht zueinander parallel.

**[0029]** In Ausführungsformen umfasst das Statorelement ein elektrisch leitfähiges Material, und Rotation der Rotorelemente erzeugt Wirbelströme in dem Statorelement.

**[0030]** In Ausführungsformen, in Longitudinalschnitten der zylindrischen Anordnung von Permanentmagneten, bilden die Permanentmagneten ein lineares Halbach-Array.

**[0031]** In Ausführungsformen, in Transversalschnitten der zylindrischen Anordnung von Permanentmagneten, bilden die Permanentmagneten einen Halbach-Zylinder.

**[0032]** In Ausführungsformen umfasst das Statorelement Permanentmagnete.

**[0033]** In Ausführungsformen umfasst der Stator Statorwicklungen.

[0034] In Ausführungsformen umgibt das Statorelement ein oder mehrere Rotorelemente oder das eine oder die mehreren Rotorelemente umgeben das Statorelement, und wobei insbesondere das eine oder die mehreren Rotorelemente an einer Transporteinheit angebracht sind und eingerichtet sind, um die Transporteinheit relativ zu dem Statorelement anzutreiben.

[0035] Die Transporteinheit kann ein Fahrzeug zum Transport von Gütern oder Personen sein. Die Transporteinheit kann eine Einheit in einem Förderbandsystem sein.

[0036] Das Statorelement umfasst ein elektrisch leitfähiges Material, und Bewegung des Statorelements relativ zu dem Rotorelement bewirkt Rotation des Rotorelements. Dies kann zum Geschwindigkeitserfassung angewendet werden (z. B. durch Erfassung der Rotation des Rotorelements) und/oder zur Energiegewinnung aus der Bewegung (z. B. durch das einen Generator antreibendes Rotorelement).

1. Topologien, die Antrieb und Schweben über einer flachen leitfähigen Oberfläche schaffen.
2. Methoden zur Erzielung des „Gearing Effects“ zwischen der leitfähigen Oberfläche und dem Zylinder mit Magneten.
3. Methoden zur Erzielung unterschiedlicher Halbach-Konfigurationen innerhalb des Zylinders, der die PM berührt.
4. Topologien mit integriertem Rotor. Der Rotor (d. h. Zylinder mit der PM) hat zwei Funktionen. Er wechselwirkt mit der Oberfläche darunter und überträgt die Kraft auf sie, wodurch Antrieb und Schweben ermöglicht werden. Gleichzeitig ist es der Rotor der Maschine, der ihr die Kraft, die seine Rotation bewirkt, zuführt.
5. Topologien, die die magnetische Reluktanz ausnutzen, um Schweben zu erzielen.
6. Topologien, die keine flache leitende Oberfläche verwenden, sondern andere Geometrien berücksichtigen.
7. Systeme, die Magnete auf der Oberfläche unter dem Fahrzeug anstatt eines leitfähigen Materials verwenden.
8. Systeme zur Stabilisierung der Verfolgung der Oberfläche unter dem Fahrzeug.
9. Topologien, die nicht mehr als eine Maschine benötigen, um mehrere Zylinder mit Strom zu versorgen.
10. Topologien, die mehrere Zylinder verwenden und auf diese Weise die Kupplung erhöhen.
11. Methoden zur Erhöhung der Kupplung durch laminierte und nicht laminierte Eisenjoche.
12. Verwendung von Treibstoff als Energiequelle für das System.
13. Topologien, in denen Magneten stationär sind (vom Fahrzeug aus betrachtet) und Antrieb und Schweben durch ein rotierendes Eisenelement erreicht werden.
14. Topologien, bei denen eine vollständige Kupplung zwischen einer Röhre und dem Fahrzeug innerhalb oder außerhalb davon erreicht wird.
15. Methoden, ein Fahrzeug innerhalb oder außerhalb einer Röhre schweben zu lassen.
16. Fähigkeit der vorgeschlagenen Systeme, einen nicht geraden Pfad zu verfolgen.
17. Verwendung von Zylindern, die nicht koaxial zueinander sind.
18. Einsatzmöglichkeiten aller drei Kraftkomponenten zwischen dem Fahrzeug und der Röhre.
19. Methoden zur Sicherstellung des optimalen Abstands zwischen den Zylindern, um alle drei Kraftkomponenten optimal auszunutzen.
20. Topologien zum „Energy Harvesting“ und zur Geschwindigkeitserfassung.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

[0037] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert, was in den beigefügten Figuren geschildert wird.

**Fig. 1.** zeigt: a) Topologie und Funktionsprinzip von [Davis 1973], b) vergrößerte Zylinderdarstellung aus **Fig. 1a**.

- Fig. 2.** zeigt ein in [Davis 1973, 2] vorgeschlagenes radial magnetisiertes Rad.
- Fig. 3.** stellt den Axialaktuator aus [Fujii 1994] dar: a) Neigetyp, b) a Typ mit teilweiser Überlappung.
- Fig. 4.** demonstriert mehrere in Reihe gestellte Radialräder [Bird 2007].
- Fig. 5.** zeigt ein Grundsystem zum Antrieb und Schweben oberhalb einer leitfähigen Platte: a) diagonale Ansicht, b) Vorderansicht mit Rotationsrichtungen und Richtungen der linearen Bewegung.
- Fig. 6.** zeigt eine Topologie mit voreinander angeordneten Zylindern (in Reihe).
- Fig. 7.** zeigt eine Topologie bestehend aus drei Zylindersegmenten: a) mit Antrieb und Schweben, b) nur mit Schweben.
- Fig. 8.** zeigt eine Topologie mit versetzten Zylindern.
- Fig. 9.** demonstriert a) „Polpaare der Scheibe“ des Zylinders, b) „Linienpolpaare“ des Zylinders.
- Fig. 10.** zeigt zwei Arten von Halbach-Konfigurationen: a) für „Polpaare der Scheibe“, b) für „Linienpolpaare“.
- Fig. 11.** zeigt integrierte Topologien mit: a) innerem Stator, b) äußerem Stator, c) Kombination aus innerem und äußerem Stator.
- Fig. 12.** zeigt a) abgeflachte Darstellung des integrierten Stators aus: **Fig.11b**, b) abgeflachte Darstellung des integrierten Stators aus: **Fig.11a**. Die Anschlüsse **22** und **24** aus **Fig. 12b** berühren die Anschlüsse **23** und **25** aufgrund der Statorkrümmung.
- Fig. 13.** zeigt alternative Statoren (abgeflachte Darstellung) für die Topologien aus **Fig. 11**. In **Fig. 13c** wird jede Spule von einem eigenen separaten Wechselrichter versorgt.
- Fig. 14.** zeigt ein System zum Antrieb und Schweben unter Verwendung der magnetischen Reluktanz.
- Fig. 15.** zeigt konisch geformte Strukturen zur Verminderung der Endeffekte.
- Fig. 16.** stellt ein System zum Verknüpfung des Einflusses der beiden Zylinder dar.
- Fig. 17.** zeigt ein System zur verbesserten Kupplung: a) mit Halbzylindern, b) mit 270 Grad Zylindern.
- Fig. 18.** zeigt eine Topologie mit Permanentmagneten auf der Platte.
- Fig. 19.** stellt eine Art der Verwendung des Systems zur Stabilisierung dar.
- Fig. 20.** stellt ein umgekehrtes System von dem in **Fig. 19** dar.
- Fig. 21.** zeigt eine einseitige Versorgungstopologie.
- Fig. 22.** zeigt eine Topologie mit mehreren Zylindern.
- Fig. 23.** zeigt eine Topologie mit: a) nicht laminiertem Eisen, b) laminiertem Eisen, c) C-förmigem laminiertem Eisen.
- Fig. 24.** demonstriert die Verwendung fossiler Brennstoffe (mit Verbrennungsmotoren) zum Drehen der Zylinder.
- Fig. 25.** zeigt eine Topologie mit stationären Magneten und rotierendem Eisen.
- Fig. 26.** zeigt ein System zum Antrieb und Schweben a) innerhalb und b) außerhalb einer leitfähigen Röhre.
- Fig. 27.** zeigt eine modifizierte Topologie von Fig. 26a, die für den Betrieb innerhalb einer Röhre geeignet ist.
- Fig. 28.** zeigt Topologien, bei denen eine Röhre verwendet wird, die keinen perfekten kreisförmigen Querschnitt hat.
- Fig. 29.** zeigt eine Topologie, die eine perfekt runde leitfähige Röhre verwendet.
- Fig. 30.** stellt die Fähigkeit des Systems, einen gekrümmten Pfad zu verfolgen, dar.
- Fig. 31.** stellt ein System dar, das Zylinder verwendet, die nicht koaxial sind und a) perfekt runde Röhre, b) Röhre ohne runden Querschnitt.

- Fig. 32.** zeigt die Fähigkeit des Systems aus Fig. 8, einen nicht geraden Pfad zu verfolgen.
- Fig. 33.** stellt ein System dar, das alle drei Kraftkomponenten zwischen dem Fahrzeug und der Röhre verwendet.
- Fig. 34.** zeigt eine Weise der Steuerung der axialen Verschiebung zwischen den Zylindern, um eine optimale Ausnutzung aller drei Kraftkomponenten sicherzustellen.
- Fig. 35.** zeigt eine modifizierte Topologie von Fig. 26b, die für den Betrieb außerhalb einer leitfähigen Röhre geeignet ist.
- Fig. 36.** zeigt Schwebemethoden um a) eine leitfähige Röhre mit unregelmäßigem Querschnitt, b) eine leitfähige Röhre mit kreisförmigem Querschnitt.
- Fig. 37.** stellt eine Einsatzmethode aller drei Kraftkomponenten mit der Topologie, die sich außerhalb der leitfähigen Röhre bewegt, dar.
- Fig. 38.** stellt eine Art von Geschwindigkeitserfassung und „Energy Harvesting“ von der Seite eines leitfähigen Rades dar.
- Fig. 39.** stellt eine Art von Geschwindigkeitserfassung und „Energy Harvesting“ von der Oberseite eines leitfähigen Rades dar.

**[0038] Fig. 5** zeigt ein grundlegendes Antriebs- und Schwebesystem oberhalb einer flachen leitfähigen Platte **2**. Antrieb wird auf dieselbe Weise wie in [Davis 1973] erreicht. Die Kraft in z-Richtung in **Fig. 1b**, die in [Davis 1973] nicht ausgenutzt wurde, wird jetzt jedoch zum Schweben verwendet. Dies behandelt direkt L1.1. Ein weiterer Unterschied zu dem System aus [Davis 1973] besteht darin, dass „ $\varphi$ -Kraft“ („ $\varphi$ -Effect“) nicht zum System beiträgt. Im Gegenteil, sie neigt dazu, den Zug je nach Rotationsrichtung nach links oder rechts zu bewegen. Aus diesem Grund müssen zwei Zylinder **1** oder erste und zweite Rotorelemente 1 nebeneinander gestellt werden. Sie müssen sich in entgegengesetzte Richtungen rotieren, um den „ $\varphi$ -Effect“ des anderen zu annullieren. Die Topologie aus [Davis 1973] hat auch Zylinder, die jedoch aus einem anderen Grund in entgegengesetzte Richtungen rotieren - so dass beide „ $\varphi$ -Effekte“ zum Abheben des Zuges beitragen. Im Gegensatz zu [Davis 1973] erzeugt die Topologie aus **Fig. 5** das Feld durch Permanentmagnete anstelle von Supraleitern. Dadurch wird die Komplexität und der Stromverbrauch des Systems stark verringert und L1.3 gelöst. Die Topologie aus **Fig. 5** eignet sich für verschiedene Anwendungen, darunter Magnetschwebbahn und Hoverboards.

**[0039] Fig. 6** demonstriert eine ähnliche Topologie, in der die Zylinder **1** in Reihe angeordnet sind. Die Zylinder werden wieder in entgegengesetzte Richtungen rotiert, so dass sie den „ $\varphi$ -Effekt“ des anderen annullieren. Dies kann jedoch zu einer Rotation des gesamten Zuges (entlang der z-Achse) führen.

**[0040] Fig. 7a** zeigt ein System, das aus drei Segmenten besteht. Die Zylinder **1** vorne und hinten rotieren sich in die gleiche Richtung. Der Zylinder **1** in der Mitte ist zweimal länger und rotiert sich in entgegengesetzte Richtung. Dies löst den Rotationsnachteil, unter dem die Topologie aus **Fig. 6** leidet. Es ist zu beachten, dass, wenn die Topologie aus **Fig. 7b** auch möglich ist, die Antriebskraft und die „ $\varphi$ -Kraft“ annullieren sich und nur die Schwebekraft bleibt.

**[0041] Fig. 8** zeigt eine Topologie, die alle drei Kraftkomponenten (Antrieb, Schweben und „ $\varphi$ -Kraft“) verwendet. Aus **Fig. 5** ist ersichtlich, dass Antriebskraft und „ $\varphi$ -Kraft“ um einen Winkel von 90 Grad verschoben sind. Daher folgt die resultierende Kraft nicht der Richtung der linearen Bewegung des Zuges. Sie ist um einen bestimmten kleinen Winkel von ihr verschoben. In **Fig. 8** ist jeder der beiden Zylinder **1** um einen bestimmten Winkel versetzt. Dies ermöglicht, dass die resultierende Kraft in der Richtung der linearen Bewegung liegt. Daher werden alle drei Krafteffekte ausgenutzt, wodurch L1.1 gelöst wird. Trotzdem sind wieder zwei Zylinder erforderlich, um einen stabilen Betrieb zu erzielen.

**[0042] Fig. 9** stellt die Methoden zur Erzielung eines sogenannten „Gearing Effekts“. Eine der technologischen Einschränkungen der Systeme aus **Fig. 2** und **Fig. 3** besteht darin, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Räder sehr hoch sein muss (L2.2), wenn die Zuggeschwindigkeit hoch ist. Dies kann verschiedene mechanische Probleme verursachen. Im Gegensatz zu diesen Topologien ist das System aus **Fig. 5** imstande, gewissermaßen einen „Gearing Effekt“ zu erzielen. Es gibt zwei Möglichkeiten, dies zu erzielen. Um sie zu identifizieren, wird die folgende Nomenklatur der Polpaare des Systems eingeführt:

Es wird angenommen, dass eine Anordnung von Magneten zwei Arten von Zylinderpolpaaren aufweist, eines in Umfangsrichtung und eines entlang der axialen Richtung der zylindrischen Anordnung. Wenn ein Zylinder **1** als auf eine Vielzahl von Scheiben geteilt betrachtet wird, die entlang der Rotationsachse angeordnet sind, kann jede Scheibe mehrere Polpaare haben, die entlang des Umfangs der Scheibe angeordnet sind, und im Folgenden werden sie „Polpaare der Scheibe“ genannt. Sie werden in **Fig. 9a** visualisiert und mit „PP1“ gekennzeichnet. Wenn umgekehrt eine Zylinderlinie beobachtet wird, die dem flachen leitfähigen Körper (und somit parallel zur Zylinderachse) am nächsten ist, kann gesehen werden, dass sie eine sinusförmige Änderung des Magnetfelds entlang ihrer Länge erfährt. Die An-

zahl der vollen Sinusoide entlang der Länge des Zylinders führt auch eine andere Art von Polpaaren ein, die im Folgenden als „Linienpolpaare“ bezeichnet werden. Sie werden in **Fig. 9b** visualisiert und mit „PP2“ gekennzeichnet. Basierend darauf können zwei Methoden zur Erzielung des „Gearing Effekts“ identifiziert werden. Eine besteht darin, die Anzahl der „Polpaare der Scheibe“ zu erhöhen, und die andere, die Anzahl der „Linienpolpaare“ zu verringern. Durch eine geeignete Kombination dieser beiden „Gearing Effekt“ Parameter können sehr niedrige Geschwindigkeiten des Zylinders für die gleiche hohe Geschwindigkeit des Zuges erreicht werden. Es ist zu beachten, dass diese beiden Parameter das Verhältnis der Antriebskraft und der „ $\varphi$ -Kraft“ ändern, das im System vorhanden ist.

**[0043] Fig. 10** zeigt, dass das System von der Halbbach-Struktur der Magneten profitieren kann, insbesondere wenn die Anzahl von „Polpaare der Scheibe“ des Systems höher als eins ist. Es können zwei Arten von Halbbach-Strukturen im System vorhanden sein und die beide sind in **Fig. 10** dargestellt. Wenn eine Scheibe betrachtet wird, kann eine umlaufende Halbbach-Struktur durch die in **Fig. 10a** dargestellte Konfiguration erreicht werden, wobei „PP“ für „Polpaar“ steht. Umgekehrt kann, wenn „Linienpolpaare“ betrachtet werden, eine axiale oder lineare Halbbach-Struktur implementiert werden, wie in **Fig. 10b** dargestellt. Zwei Arten von zusätzlichen Magneten, die solche Halbbach-Konfigurationen erlauben, haben unterschiedliche Polarisationsrichtungen: Für die umlaufende Halbbach-Struktur ist dies, wie in **Fig. 10a**, eine tangentielle Richtung und insbesondere zwei einander entgegengesetzte tangentielle Richtungen. Für die axiale Halbbach-Anordnungsstruktur ist dies wie in **Fig. 10b** die axiale Richtung (z-Achse) und insbesondere zwei Richtungen parallel zur Achse und einander entgegengesetzt. Es ist auch eine Kombination der beiden Halbbach-Typen (aus **Fig. 10a** und **Fig. 10b**) ausführbar, was aber drei verschiedene Arten von Magneten erfordern würde. Wenn eine Scheibe betrachtet wird, sollten die drei Magnete radiale, tangentielle und axiale Richtung (z-Achse entlang der Länge des Zylinders) haben.

**[0044] Fig. 11** stellt drei neuartige Systeme für die Statorintegration vor, um L1.4 zu bewältigen. Sie weisen Folgendes auf: einen inneren Stator **5** (**Fig. 11a**), einen äußeren Stator **6** (**Fig. 11b**) und eine Kombination aus einem inneren und einem äußeren Stator (**Fig. 11c**). In allen drei Topologien ist der Rotorzylinder **1** integriert, da er sowohl als Rotor für eine elektrische Rotationsmaschine (mit kleinem Luftspalt) als auch als Feld erzeugendes Element der Linearmaschine (mit großem Luftspalt) dient. Die Integration des Rotors löst auch L1.7. Mit anderen Worten ist der Rotorzylinder **1** so konstruiert, um sich relativ zu dem inneren Stator **5** und/oder dem äußeren Stator **6** zu rotieren und sich relativ zu der leitfähigen Platte **2** linear zu bewegen.

**[0045] Fig. 12** führt mögliche Statorkonfigurationen aus **Fig. 11** ein. Zur besseren Darstellung werden sie in abgeflachter Form dargestellt. Bei einem Dreiphasensystem wird die Phase a mit der Bezugsnummer **19**, die Phase b mit **20** und die Phase c mit **21** bezeichnet. Die Topologie aus **Fig. 12a** ist für den äußeren Stator **6** geeignet, während die aus **Fig. 12b** für den inneren Stator **5** gebaut ist. In **Fig. 12b** sind die Anschlüsse **22** und **23** aufgrund der Krümmung des Stators **5** verbunden. Das Gleiche gilt für die Anschlüsse **24** und **25** sowie für die Anschlüsse der beiden anderen Phasen.

**[0046] Fig. 13** stellt wiederum in abgeflachter Form Statorkonfigurationen dar, die in der Lage sind, Leistung auf die Zylinder **1** zu übertragen, und gleichzeitig die Ähnlichkeit mit herkömmlichen und bekannten Statorstrukturen bewahrt. Die Statoren können nur einen Teil der Zylinderoberfläche abdecken. In **Fig. 13c** sind die Spulen **7** so angeordnet, dass ihre Achsen (d. h. ihre Symmetrieachsen, die der Rotationssymmetrie der Spule entsprechen) in radialer Richtung des Stators verlaufen. Die Spulen **9** werden von Wechselrichter **8** gespeist. Jede einzelne Spule **7** kann von einem separaten Wechselrichter **8** gespeist werden. Zur besseren Übersicht sind nur zwei Wechselrichter gezeigt.

**[0047] Fig. 14a** stellt ein System dar, das magnetische Reluktanz verwendet, um Schweben bereitzustellen. Die helikale Zylinder **1** sind unter einer festen (nicht laminierten) Eisenplatte **12** gestellt. Wenn sich der Zylinder mit der Geschwindigkeit rotiert, die es dem Feld erlaubt, sich mit der Geschwindigkeit der linearen Bewegung (d. h. Nullschlupf) zu bewegen, gibt es keinen Antrieb, keine Wirbelstromerzeugung (wenn die Endeffekte vernachlässigt werden) und das System kann nur für das Schweben verwendet werden. Wenn hingegen die Geschwindigkeit zunimmt, liefert das System sowohl Schweben als auch Antrieb. Wenn der helikale Zylinder aus Permanentmagneten geformt wird, tritt ein Stabilitätsproblem auf. Wenn nämlich der Luftspalt abnimmt, nehmen die mit  $F_1$  bezeichneten Anziehungskräfte zu und umgekehrt. Gravitationskraft wird als  $F_2$  gekennzeichnet. Dann müssen die Magnete je nach Luftspalt schneller oder langsamer rotiert werden. Das Stabilitätsproblem kann gelöst werden, indem Supraleiter anstatt Magnete verwendet werden, die die Schwebekontrolle erleichtern. Eine andere Art, das Stabilitätsproblem zu lösen, ist die Verwendung der Struktur aus **Fig. 14b**. Es verwendet lineare Maschinen **9**, die die Höhe zwischen der Eisenplatte **12** und einem schwebenden Objekt kontrollieren, beispielsweise einem Fahrzeug (Zug) **11** und den Magneten. Die Trägheit des Fahrzeugs **11** ist viel höher als die Trägheit der Magneten. Dies bedeutet, dass die Linearmaschinen **9** vorwiegend nur die Bewegung der Magnete (und nicht des gesamten Fahrzeugs) nach oben oder unten bewirken.

**[0048] Fig. 15** stellt eine Struktur mit zwei konisch geformten Strukturen **13** dar, die die Endeffekte verringern. Sie befinden sich vor und hinter dem Zylinder **1**. Wenn ihre Länge entsprechend der Nenngeschwindigkeit des zu schwebenden Objekts (z. B. eines Fahrzeugs) richtig eingestellt ist, müssen sie von keiner Maschine angetrieben werden (sie können frei sein sich zu rotieren). Da sie das Feld in der Reaktionsschiene quasi gleichmäßig verändern, sind sie in der Lage die Endeffekte stark zu verringern. Die lineare Geschwindigkeit ihres Feldes ist gleich der linearen Geschwindigkeit des Fahrzeugs (Zugs).

**[0049] Fig. 16** stellt ein System vor, das den Beitrag der beiden Zylinder **1** kombiniert (im Gegensatz zu [Davis 1973], bei dem die beiden Zylinder getrennt sind und unabhängig voneinander Antrieb liefern). Felder, die von beiden Zylindern erzeugt werden, durchlaufen dieselbe dünne leitfähige Platte. Daher beeinflussen Wirbelströme, die in der Platte **2** erzeugt

werden, beide Zylinder. Verglichen mit [Davis 1973] weist das System aus **Fig. 16** bei gleicher Antriebsleistung viel geringere Verluste auf.

**[0050] Fig. 17** zeigt ein System, das nicht unter einer niedrigen Kupplung leidet. [Davis 1973] beachtend kann geschlossen werden, dass die Hauptwechselwirkung zwischen dem Zylinder und der leitfähigen Oberfläche entlang einer Linie ist. Dies bewirkt eine begrenzte Kupplung (L1.2). In **Fig. 17**, anstelle einer Linie findet die Interaktion entlang der gesamten Oberfläche **2** statt. Dies maximiert die Kupplung und löst L1.2. **Fig. 17a** stellt ein System mit Halbzylindern dar, während **Fig. 17b** ein ähnliches System mit noch höherer Kupplung zeigt. Topologien, die ähnlich zu denen aus **Fig. 17a** und **Fig. 17b** sind, sind ebenfalls möglich.

**[0051] Fig. 18** stellt eine Topologie dar, die **PM 14** anstelle einer leitfähigen Oberfläche verwendet. Dies erhöht die Kupplung erheblich, jedoch mit viel höheren Infrastrukturkosten. Darüber hinaus kann das Fehlen von Schlupf (Synchronbetrieb) auch die Kontrolle erleichtern und die Dynamik erhöhen sowie eine Drehmoment-/Kraftgrenze für den Systemschutz bereitstellen. Systeme ähnlich zu **Fig. 16** und **Fig. 17** können eingesetzt werden.

**[0052] Fig. 19** stellt ein System zur Stabilisierung dar. Wenn die Zylinder **1** an den Kanten der leitfähigen Oberfläche **2** gestellt sind, kann das System zur Oberflächenverfolgung verwendet werden. Wenn der Zug z. B. nach links abweicht, verliert der Zylinder auf der linken Seite die Oberfläche darunter und beeinflusst somit das System nicht mehr (seine Kraft in Richtung der y-Achse nimmt ab). Dann beeinflusst nur der rechte Zylinder das System und sein „ $\phi$ -Effekt“ (seine Kraft in Richtung der y-Achse) drückt den Zug in seine Position zurück. Dies ist in **Fig. 19a** demonstriert. In ähnlicher Weise kann das Gleiche mit einem inversen System erreicht werden, bei dem der „ $\phi$ -Effekt“ zum Antrieb und der helikale Effekt zur Stabilisierung verwendet wird. Dies wird in **Fig. 19b** dargestellt. Die Topologien aus **Fig. 19** können auch ohne externe Aktuatoren verwendet werden. In jener Ausführungsform sind sie im Freilauf und ihr einziger Zweck ist Bereitstellen der Stabilisierung.

**[0053] Fig. 20** stellt ein System ähnlich zu [Davis 1973] dar, das man durch eine Umkehrung des Zylinders **1** bekommen werden kann. Nun wird der „ $\phi$ -Effekt“ für Antrieb und der helikale Effekt für Schweben verwendet.

**[0054] Fig. 21** stellt ein System dar, die den gleichen Betrieb mit nur einer Maschine **3** erzielt. Die Topologie aus [Davis 1973] erfordert zwei Stromversorgungen für die beiden Zylinder **1**. Wenn die Zylinder jedoch sehr nahe beieinander gestellt sind, kann es möglich sein, den Zylinder, der an keiner Maschine befestigt ist, zu rotieren, indem der Zylinder daneben gedreht wird. Dieser Effekt wird durch die gegenseitige Wirkung der Magnete verursacht. Sie ziehen sich gegenseitig an und stellen somit eine kontaktlose Kupplung her, die ähnlich ist, als würden sich die beiden Zylinder einander physisch berühren. Der Vorteil ist, dass nur eine einzige Maschine **1** für das gesamte System verwendet werden kann. Dies wird in **Fig. 21a** demonstriert. Dasselbe kann erreicht werden, indem eine einzelne Maschine mit einem mechanischen Zahnrad **15** oder einer Kette/einem Riemen verwendet wird, wie in **Fig. 21** gezeigt.

**[0055] Fig. 22** demonstriert ein System mit verbesserter Kupplung. Ähnlich wie in [Bird 2007] können mehrere Zylinder **1** nebeneinander gestellt werden, um die Kupplung zu vergrößern. Nebeneinanderliegende Zylinder sollten in entgegengesetzte Richtungen rotiert werden (**Fig. 22**).

**[0056] Fig. 23** zeigt ein System, das Eisen **16** gebraucht, um das Feld zu verstärken. Wenn Nicht-Halbach-Magnete an einem Rad mit einem großen Innendurchmesser verwendet werden, kann die Topologie von einem inneren nicht laminierten Eisenhohlzylinder **16** prosperieren, wie in **Fig. 23a** gezeigt. Eine Topologie mit einem einzelnen „Polpaar der Scheibe“ kann auch von einem externen laminierten Eisen **16** profitieren, wie in **Fig. 23b** und **Fig. 23c** gezeigt.

**[0057] Fig. 24** stellt ein System dar, bei dem Verbrennungsmaschinen **17** anstelle von elektrischen Maschinen zur Rotation der Zylinder verwendet werden. Im Vergleich zu Batterien haben fossile Brennstoffe mit gleichem Gewicht eine viel höhere Leistung und gespeicherte Energie. Im Gegensatz zu linearen Elektromaschinen, die häufig für den Eisenbahntraktion vorgeschlagen werden, können Topologien mit drehenden Magneten aus fossilen Brennstoffen angetrieben werden (**Fig. 24**). Dies kann mit einer einzigen Nachfüllung eine erhebliche Erhöhung der Reichweite ermöglichen. Grundsätzlich ist dieser Unterschied dem Unterschied zwischen Elektrofahrzeugen und Verbrennungsfahrzeugen sehr ähnlich. Die Verwendung fossiler Brennstoffe wird in [Davis 1973] vorgeschlagen, jedoch aber für die Topologie mit Supraleitern, was eindeutig einen zusätzlichen Generator erfordert, der durch einen Verbrennungsmotor angetrieben wird, was hier vermieden wurde.

**[0058] Fig. 25** führt eine Topologie ein, die aus stationären Magneten mit axialer Magnetisierung **26** und einem rotierenden helikalem Eisenteil **18** besteht. Das Eisenteil wird verwendet, um den Fluss von den Magneten zur leitfähigen Oberfläche **2** zu leiten. Rotation des Eisenteils bewirkt die Erzeugung eines bewegenden Sinusfeldes in der leitfähigen Oberfläche. Die Magnete befinden sich in der unteren Hälfte des freien Raums in der Mitte des Eisenteils. Funktionsprinzip bleibt das gleiche wie in [Davis 1973]. Diese Anordnung kann den mechanischen Konstruktionsaufwand verringern, da die spröden Dauermagnete **26** jetzt stationär gehalten werden.

**[0059] Fig. 26** zeigt Methoden zur Erzielung einer vollständigen Kupplung zwischen dem Fahrzeug (das angenommen mit dem Zylinder **1** verbunden ist) und der leitfähigen Röhre **2** (Reaktionsschiene). Eine Topologie, die für „Hyperloop“ geeignet wäre (ein Konzept eines extrem schnellen Transports durch eine Vakuumröhre <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>), ist in **Fig. 26a** gezeigt. Eine ähnliche Topologie, mit dem sich außerhalb der leitenden Oberfläche rotierenden helikalen Zylinder **1**, ist in **Fig. 26b** gezeigt. Es ist zu beachten, dass das Feld von PM auch durch Wicklungen erreicht werden kann,

die an den Zylinder 1 angebracht sind. Wenn dann ein Drehfeld elektrisch erreicht wird, braucht der gesamte Zylinder 1 nicht rotiert zu werden. Daher würde der Zylinder 1 nur eine lineare Bewegung haben. Die Fahrtrichtung liegt in der x-Achse.

**[0060] Fig. 27** stellt eine Topologie ähnlich zu der aus **Fig. 26** dar. Sie besitzt jedoch drei Zylinder 1. Der Zylinder 1 in der Mitte ist zweimal länger als die verbleibenden zwei Zylinder 1 und rotiert sich in entgegengesetzte Richtung. Auf diese Weise wird erreicht, dass das Fahrzeug nicht dazu neigt, sich um x-Achse zu rotieren. Darüber hinaus erlaubt dies dem Fahrzeug nur eine lineare Bewegung in Bezug auf die Röhre zu haben. Die Zylinder am Ende und der Zylinder in der Mitte des Fahrzeugs neigen dazu, das Fahrzeug in entgegengesetzte Richtungen zu rotieren. Daher rotiert sich das gesamte Fahrzeug nicht. In der Praxis ist die Rotationskraft nicht genau dieselbe, die mit der Zeit eine langsame Rotation des gesamten Fahrzeugs um die x-Achse verursachen könnte. Daher ist Kontrolle erforderlich, um Stabilität zu gewährleisten. Stabilität kann durch Erhöhen oder Verringern der Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders in der Mitte sichergestellt werden, um kleine Fehlanpassungen bei den durch verschiedene Zylinder erzeugten Kräften zu berücksichtigen. Es wird nicht erwartet, dass der Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem Zylinder in der Mitte und den beiden anderen Zylindern größer als 1% ist.

**[0061] Fig. 28** stellt einige der möglichen Gestalten dar, die die leitfähige Röhre 2 annehmen kann, um einen ordnungsgemäßen Betrieb sicherzustellen. Topologien haben einen gleichmäßigen Luftspalt (Abstand zwischen Röhre 2 und rotierenden Zylindern 1) in der unteren Hälfte der Röhre und einen viel höheren Luftspalt im oberen Teil. Dies ermöglicht, dass die gesamte Antriebs- und Schwebekraft von der unteren Hälfte der Topologie erzeugt wird. Der obere Teil hat einen freien Raum 28, der zum Führen verschiedener Kabel verwendet werden kann, die das „Hyperloop“ Konzept erfordert. Diese Kabel haben keinen Einfluss auf Antrieb, Schweben oder Rotation der Topologie (wenn angenommen wird, dass sie sich in einem angemessenen Abstand von den Zylindern befinden).

**[0062] Fig. 29** stellt eine Topologie dar, die eine Röhre 2 mit einem perfekt runden Querschnitt verwendet. Die Röhre hat eine vollständig standardisierte Form für „Hyperloop“. In dieser Topologie ist der Durchmesser des Magnetzylinders 1 jedoch geringer als in den Topologien aus **Fig. 28a** und **Fig. 28b**. Dies führt zu einem variablen Luftspalt. Aus **Fig. 29** ist ersichtlich, dass der Luftspalt am Boden des Zylinders am niedrigsten ist, an den Seiten vergrößert ist und oben am höchsten ist (dreimal höher als am Boden). Dies bedeutet, dass der oberste Teil des Zylinders einen neunfach geringeren Einfluss (quadratische Abhängigkeit vom Luftspalt) auf die Magnete hat. Die Differenz zwischen diesen beiden Kräften in Richtung der z-Achse hebt den Zug an, während ihre Summe in Richtung der x-Achse für den Antrieb verantwortlich ist.

**[0063] Fig. 30** beschreibt ein interessantes und sehr wichtiges Merkmal der Topologie aus **Fig. 29**, das darin besteht, dass sie (scharfe) Kurven bei hohen Geschwindigkeiten bewältigen kann. Wenn die Kurve auftritt, wirken nämlich Zentrifugalkräfte in Richtung der y-Achse und versuchen, das Fahrzeug seitlich zu bewegen. Dann positioniert sich das Fahrzeug natürlich wie in **Fig. 30** gezeigt. Der unterste Luftspalt befindet sich jetzt auf einer Seite der Röhre. Daher wirkt die Differenz zwischen den Kräften in Richtung der y-Achse die durch die linke und rechte Seite der Röhre erzeugt wird, der Zentrifugalkraft entgegen und verhindert eine Kollision mit der Röhre. Es kann der Schluss gezogen werden, dass die Stabilisierung des Systems bei Kurven auf natürliche Weise ohne jegliche Kontrolle erfolgt. Andererseits erfolgt die Stabilisierung des Passagierbereichs 27 nicht vollständig passiv. Zu jeder Zeit muss die auf die Passagiere einwirkende Kraft auf die darunter liegenden Sitze gerichtet werden. Daher muss in der in **Fig. 30** beschriebenen Situation die Geschwindigkeit des mittleren Zylinders 1 so angepasst werden, dass die Sitze von einer aufrechten Richtung der z-Achse in Richtung der y-Achse geneigt sind.

**[0064] Fig. 31** stellt Systeme dar, die Zylinder 1 verwenden, die nicht auf derselben Achse liegen. Eine kleine Fehlanpassung der Achsen (die in **Fig. 31** stark übertrieben ist) stellt sicher, dass die linke und die rechte Seite der Röhre 2 die Zylinder 1 nicht auf dieselbe Weise beeinflussen. Die Abweichung bewirkt Schweben. **Fig. 31a** stellt ein System dar, das einen Standardtyp der Röhre 2 verwendet, während **Fig. 31b** einen Röhrentyp betrachtet, der eine etwas bessere Kupplung erzielt.

**[0065] Fig. 32** illustriert die Fähigkeit des Systems aus **Fig. 31**, (scharfe) Kurven zu bewältigen. Ähnlich wie in der Topologie aus **Fig. 29**, erfolgt die Stabilisierung auf natürliche Weise und ohne jegliche Kontrolle.

**[0066] Fig. 33** stellt ein System dar, das alle drei Kraftkomponenten nutzt, die zwischen der leitfähigen Röhre 2 und den Zylindern 1 wirken. Während die Kraft in Richtung der x-Achse auf dieselbe Weise wie bei allen vorhergehenden Ausführungsformen verwendet wird, wird Schweben jetzt durch den kombinierten Einfluss von Kräften sichergestellt, die als „F<sub>4</sub>“ (die eine Abstoßungskraft darstellt) und „F<sub>3</sub>“ (die eine Rotationskraft darstellt) in **Fig. 33** bezeichnet sind. Im Idealfall wirkt die als „F<sub>5</sub>“ bezeichnete kombinierte Kraft in Richtung der z-Achse und hebt das Fahrzeug an.

**[0067] Fig. 34** stellt eine Art der Kontrolle der Fehlanpassung zwischen den Achsen der Zylinder 1 dar, um eine optimale Nutzung aller drei Kräfte sicherzustellen. Die Ausnutzung gilt als optimal, wenn die kombinierte Kraft „F<sub>5</sub>“, die in **Fig. 33** beschrieben ist, in Richtung der z-Achse liegt (falls das Fahrzeug einem geraden Weg folgt - keine Kurvenfahrt). Eine der beiden Kräfte („F<sub>4</sub>“), die „F<sub>5</sub>“ formen, ist nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit der Linearbewegung des Fahrzeugs. Andererseits ist die andere Kraft („F<sub>3</sub>“) stark davon abhängig. Daher kann während des Betriebs eine variable axiale Fehlanpassung zwischen den Zylindern 1 eingesetzt werden, um eine optimale Nutzung der Kräfte sicherzustellen. In **Fig. 34** wird das Verschieben der Achse des mittleren Zylinders durch eine Linearmaschine 9 durch eine Welle 10 erreicht. Dasselbe kann jedoch auch auf eine andere Weise durchgeführt werden. Darüber hinaus kann die Achse der Zylinder 1 an der Vorderseite und am Ende auch auf ähnliche Weise verschoben werden.

[0068] Fig. 35 zeigt eine Topologie ähnlich zu der aus Fig. 26b, die für Systeme geeignet ist, die sich um eine leitfähige Röhre 2 oder ein leitfähiges Kabel bewegen. Die Röhre ist von Magneten der Zylinder 1 umgeben. Die Zylinder 1 sind innerhalb des Fahrzeugs 29 gestellt. Während sich die Zylinder rotieren, hat das Fahrzeug 29 nur eine lineare Bewegung. Dies wird mit demselben Prinzip wie in Fig. 27 erzielt.

[0069] Fig. 36 zeigt eine Seitenansicht der Topologie aus Fig. 35. In Fig. 36a wird eine leitfähige Röhre 2 mit unregelmäßiger Form verwendet, während Fig. 36b ein System mit einer Röhre (Draht) 2 mit kreisförmigem Querschnitt darstellt. Das Funktionsprinzip der jeweiligen Topologien ist ähnlich zu dem der Topologien aus Fig. 28 and Fig. 29.

[0070] Fig. 37 stellt ein System dar, das die Zylinder 1 verwendet, die nicht koaxial sind. In der grafischen Darstellung sind die Dimensionen der Elemente im Vergleich zu ihrer praktischen Umsetzung stark verzerrt. Die Funktionsprinzipien sind ähnlich zu der Topologie, die in Fig. 33 gezeigt ist. Es gelten die gleichen Variationen wie für die Topologien, bei denen sich Zylinder innerhalb der Röhre bewegen, und für diejenigen, die in den vorhergehenden Ausführungsformen beschrieben wurden.

[0071] Fig. 38 zeigt einen „Energy Harvester“, der bei keiner Geschwindigkeit ein Rastmoment erzeugt, wodurch L3.5 gelöst wird. Zwei Ansichten derselben Topologie sind in Fig. 38a und Fig. 38b gezeigt. Die Abwesenheit des Rastmoments beseitigt die Notwendigkeit einer zweiten Stufe zum Entfernen des Rastmoments, was die Produktionskosten senkt. Sie zeichnet sich durch einen rastmomentfreien Betrieb bei allen Geschwindigkeiten aus. Es wird leicht ein Selbststart erreicht, was die Zuverlässigkeit eines solchen Systems erhöht. Die Topologie aus Fig. 38 ist in der Lage, genaue Informationen über die Rotationsgeschwindigkeit zu liefern, was L3.6 direkt behandelt. Dies wird durch die Tatsache ermöglicht, dass im Leerlauf seine Geschwindigkeit direkt proportional zur Rotationsgeschwindigkeit des leitfähigen Rades ist. Dies ist eine Folge des abwesenden Rastmoments bei allen Geschwindigkeiten. Da keine zusätzliche Hardware erforderlich ist, können erhebliche Kosten- und Zuverlässigkeitseinsparungen erzielt werden. Der „Harvester“ zeichnet sich durch eine sehr kompakte Bauweise aus. Er kann ganze Magnetscheiben einsetzen, die auf der gleichen Achse gestellt und miteinander verklebt sind. Der Klebstoff wird nur verwendet, um Magnete miteinander zu befestigen. Zentrifugalkräfte werden von den Scheiben selbst und nicht vom Klebstoff bewältigt. Daher würde ein Versagen des Klebstoffs nicht dazu führen, dass Magnetteile wegfiegen und ein Sicherheitsrisiko darstellen, was L3.7 direkt behandelt.

[0072] Fig. 39 stellt einen „Energy Harvester“ mit unterschiedlichem Durchmesser dar. Zwei Ansichten derselben Topologie sind in Fig. 39a und Fig. 39b gezeigt. Der Durchmesser wird an die Form der leitfähigen Oberfläche (Rad) angepasst. Scheiben mit größeren Durchmessern werden zu den Kanten hin gestellt, während Scheiben mit kleineren Durchmessern zur Mitte hin gestellt werden. Das Funktionsprinzip und die Vorteile der Topologie sind ähnlich zu denen aus Fig. 38. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass die Krümmung der leitfähigen Oberfläche (Rad) die Leistung des „Harvesters“ nicht verschlechtert. Aus Fig. 38a ist ersichtlich, dass ein Teilchen auf der Oberseite des leitfähigen Rades auf einer geraden und nicht gekrümmten Linie unter dem „Harvester“ wie in Fig. 38 bewegt. Daher stellt die Topologie aus Fig. 39 eine bessere Kupplung zwischen dem „Harvester“ und dem leitfähigen Rad bereit, was auf Kosten einer erhöhten Komplexität geht.

**Liste der Bezugszeichen:**

[0073]

- 1 Zylinder mit PM
- 2 Leitfähige Oberfläche, in der Wirbelströme erzeugt werden
- 3 Rotierende Maschine (Aktuator)
- 4 Welle für Rotation
- 5 Interner Stator
- 6 Außenstator
- 7 Statorwicklungen
- 8 Wechselrichter
- 9 Linearmaschine (Aktuator)
- 10 Welle für lineare Bewegung
- 11 Fahrzeug (Zug)
- 12 Leitfähige Oberfläche aus Eisen
- 13 Konische Struktur enthaltend PM
- 14 Oberfläche mit PM
- 15 Getriebe (engl. Gearbox)
- 16 Eisen zur Erhöhung der Kupplung
- 17 Verbrennungsmaschine
- 18 Spiralstruktur
- 19 Stator Phase a
- 20 Stator Phase b
- 21 Stator Phase c
- 22 Phase a Anschluss 1
- 23 Phase a Anschluss 2

- 24 Phase a Anschluss 3
- 25 Phase a Anschluss 4
- 26 Axial magnetisierter PM
- 27 Laderaum (oder Passagierbereich)
- 28 Kabelraum
- 29 Außenaufbau des Fahrzeugs

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur berührungslosen Energiegewinnung aus einer Bewegung und/oder zur berührungslosen Geschwindigkeitserfassung,
  - umfassend mindestens ein erstes Rotorelement (1),
  - wobei das erste Rotorelement (1) eine zylindrische Anordnung von Permanentmagneten ist, wobei die Permanentmagnete angeordnet sind, um ein helikales Magnetfeld zu bilden,
  - wobei das erste Rotorelement (1) angeordnet ist, um um eine erste Achse zu rotieren,
  - ein Statorelement (2), das angeordnet ist, um magnetisch mit dem Magnetfeld des ersten Rotorelements in Wechselwirkung zu treten, und dadurch eine relative Kraft zwischen dem ersten Rotorelement (1) und dem Statorelement (2) zu erzeugen
  - wobei zum Erfassen der Bewegung und / oder zur Energiegewinnung aus der Bewegung das Statorelement (2) ein elektrisch leitfähiges Material aufweist und eine Bewegung des Statorelements (2) relativ zum Rotorelement (1) eine Rotation des Rotorelements (1) bewirkt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
  - umfassend ein zweites Rotorelement (1),
  - wobei das zweite Rotorelement (1) eine zylindrische Anordnung von Permanentmagneten ist, wobei die Permanentmagnetenxangeordnet sind, um ein helikales Magnetfeld zu formen,
  - wobei das zweite Rotorelement (1) angeordnet ist, um um eine zweite Achse zu rotieren,
  - und das Statorelement (2) angeordnet ist, um magnetisch mit dem Magnetfeld des zweiten Rotorelements (1) in Wechselwirkung zu treten, und dadurch eine relative Kraft zwischen dem zweiten Rotorelement (1) und dem Statorelement (2) zu erzeugen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, umfassend einen Aktuator (3), der angeordnet ist, um die Rotorelemente (1) anzutreiben, um um ihre jeweiligen Achsen zu rotieren.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3, wobei die erste und zweite Achse parallel und nicht koaxial sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3, wobei die erste und zweite Achse parallel und koaxial sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei der Aktuator (3) angeordnet ist, um das erste und das zweite Rotorelement (1) anzutreiben, um in entgegengesetzte Richtungen zu rotieren.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3, wobei die erste und zweite Achse in einer Ebene liegen und nicht parallel zueinander sind.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Statorelement (2) ein oder mehrere Rotorelemente (1) umgibt oder das eine oder die mehreren Rotorelemente (1) das Statorelement (2) umgeben, und wobei insbesondere das eine oder die mehreren Rotorelemente an einer Transporteinheit angebracht sind und eingerichtet sind, um eine Transporteinheit relativ zu dem Statorelement anzutreiben.

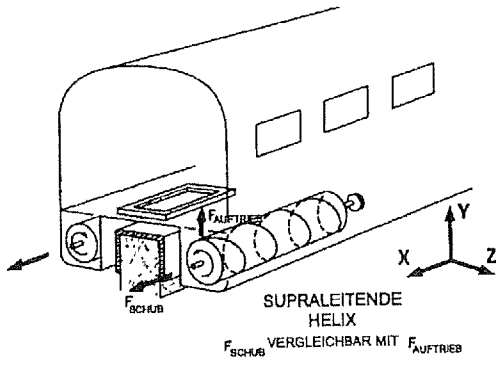
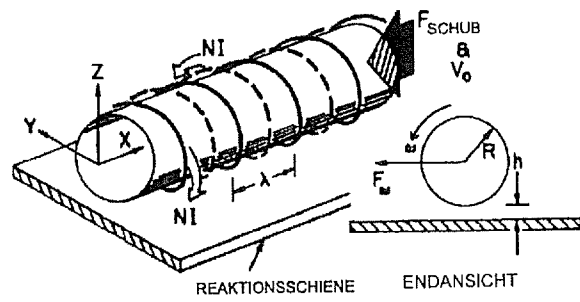


Fig. 1 a)



b)

Fig. 2

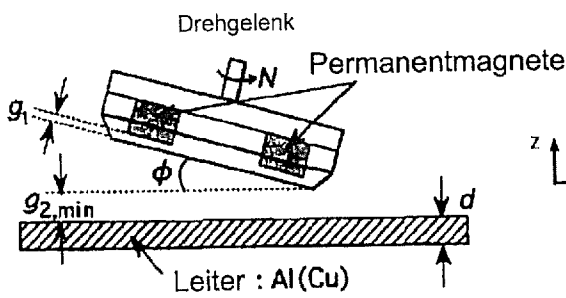
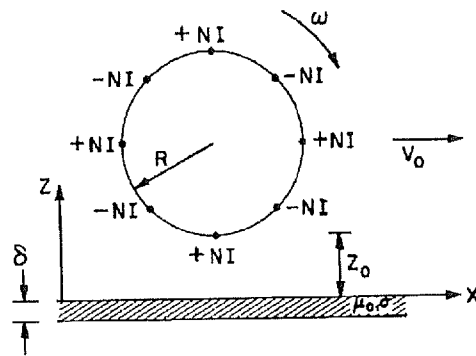
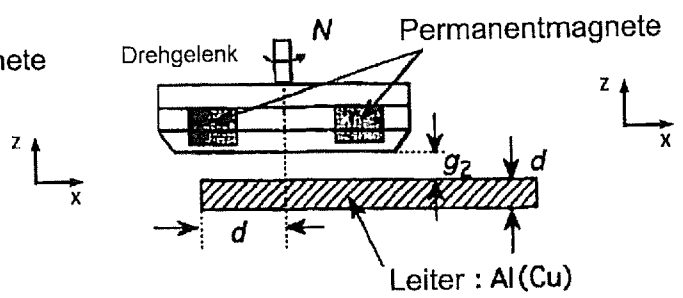
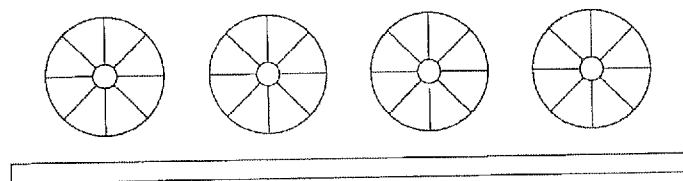


Fig. 3 a)



b)

Fig. 4



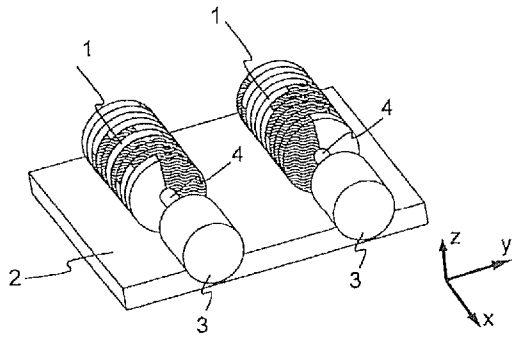


Fig. 5a

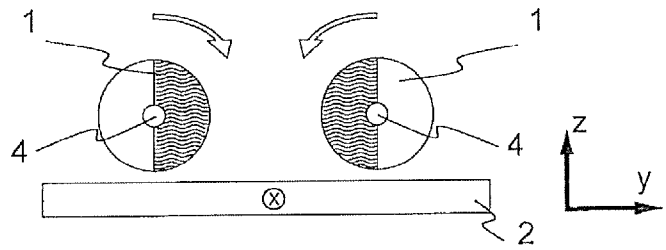


Fig. 5b

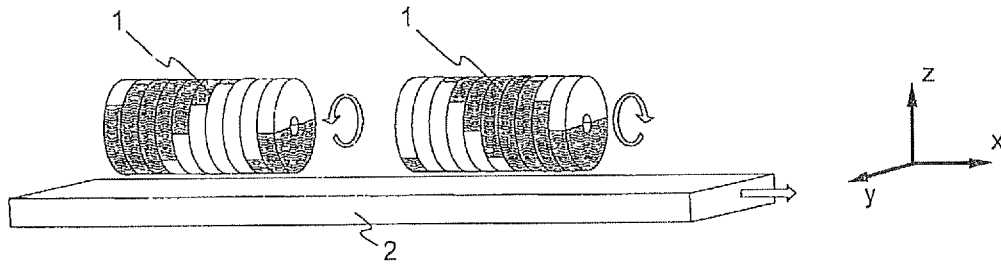


Fig. 6a

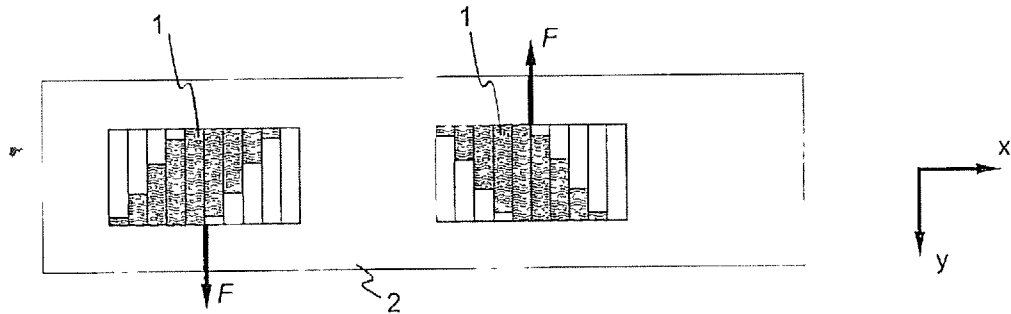


Fig. 6b

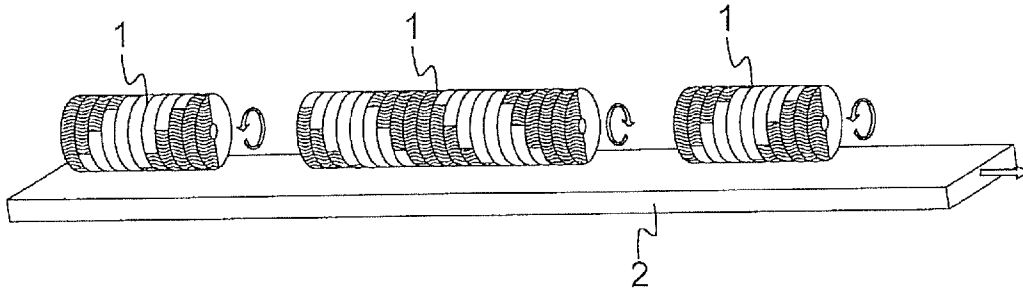


Fig. 7a

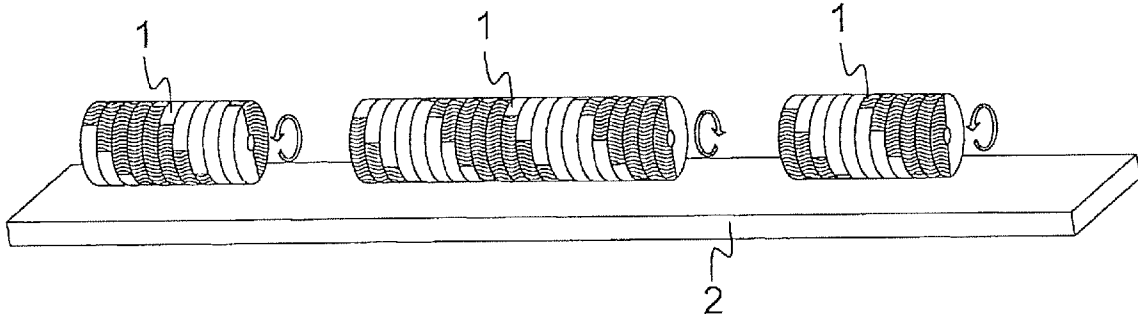


Fig. 7b

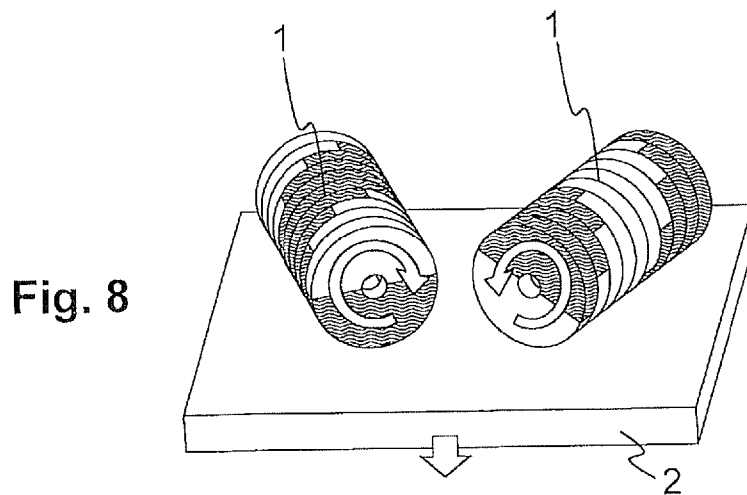


Fig. 8

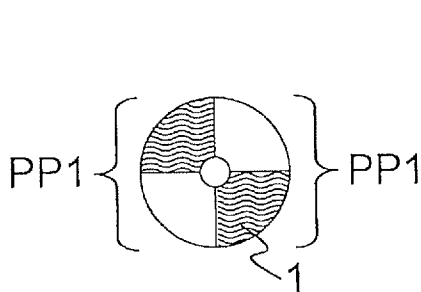


Fig. 9a

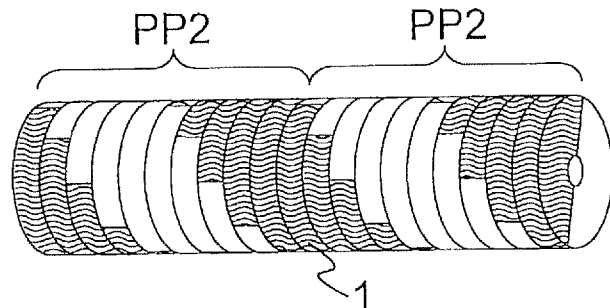


Fig. 9b

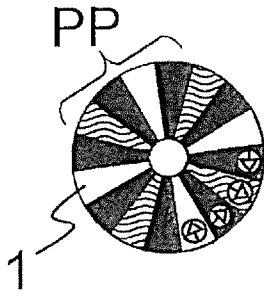


Fig. 10a

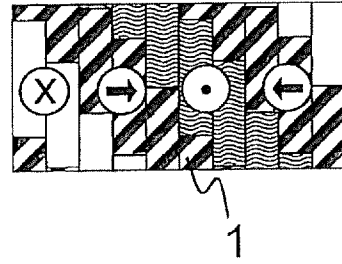


Fig. 10b

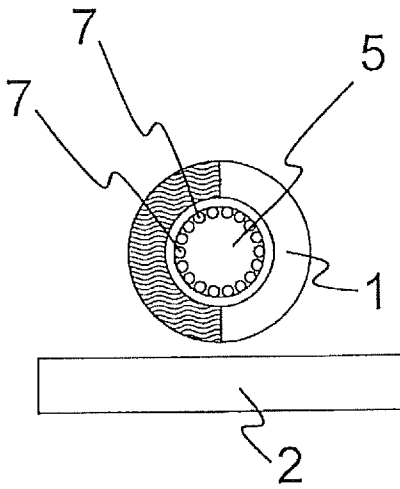


Fig. 11a

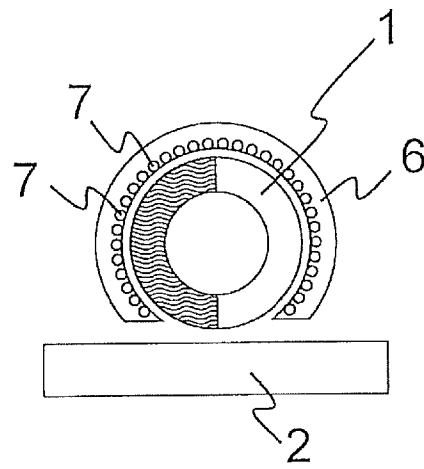


Fig. 11b

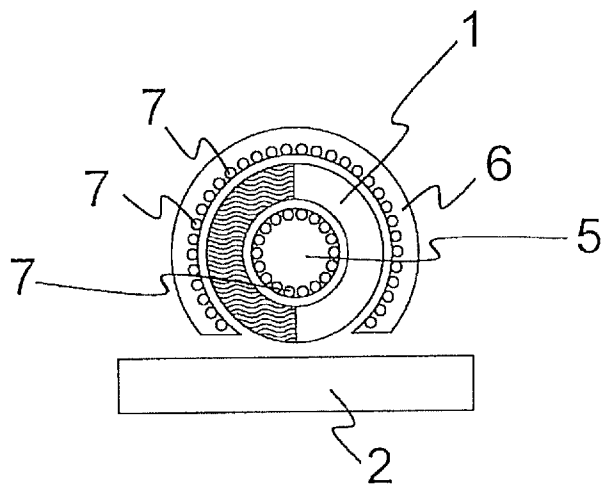


Fig. 11c

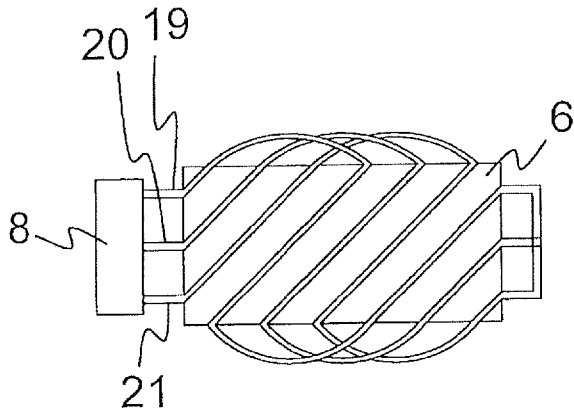


Fig. 12a

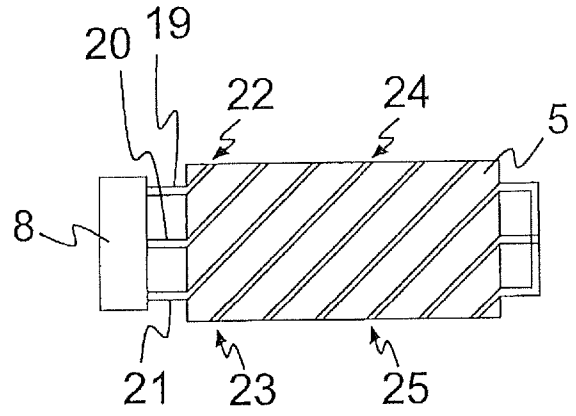


Fig. 12b

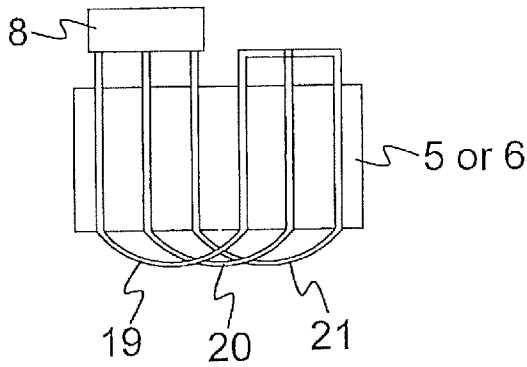


Fig. 13a

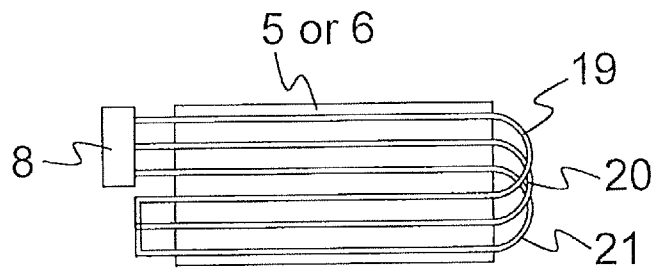


Fig. 13b

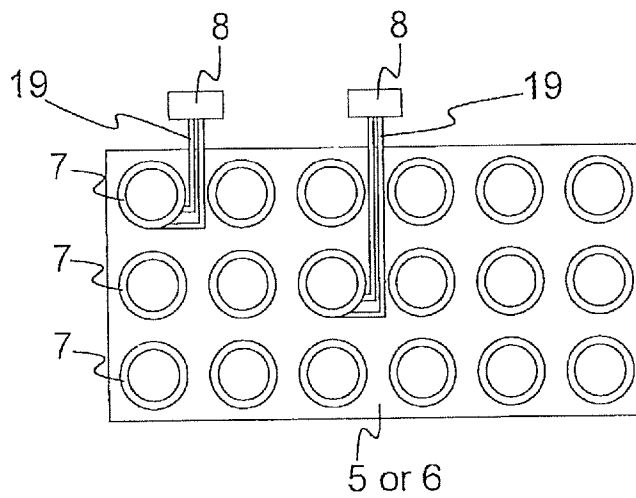


Fig. 13c

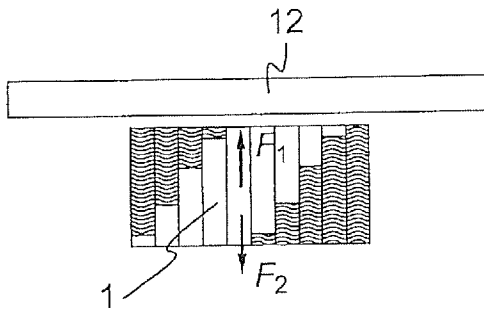


Fig. 14a

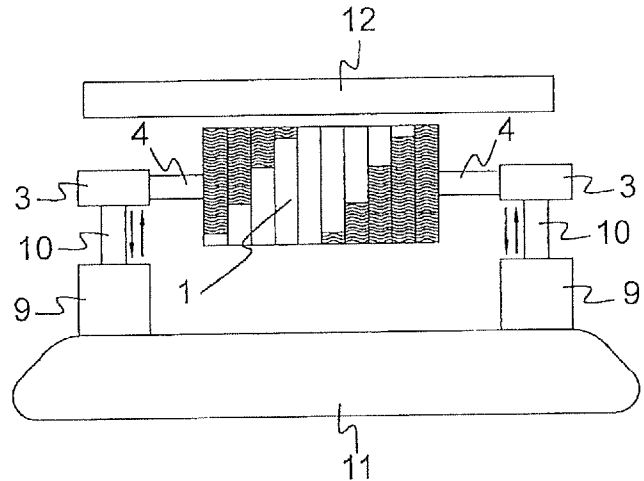


Fig. 14b

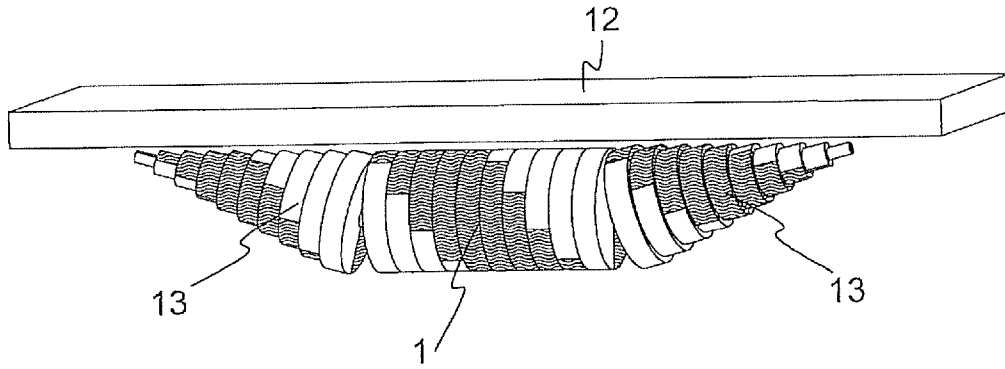


Fig. 15

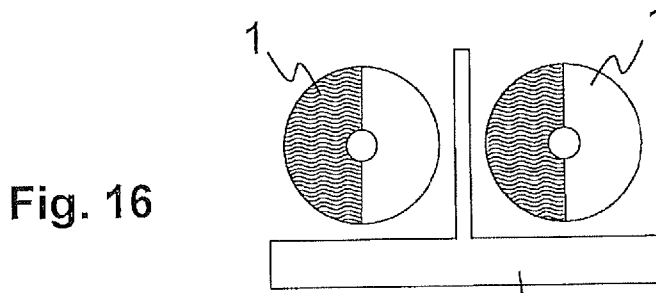


Fig. 16

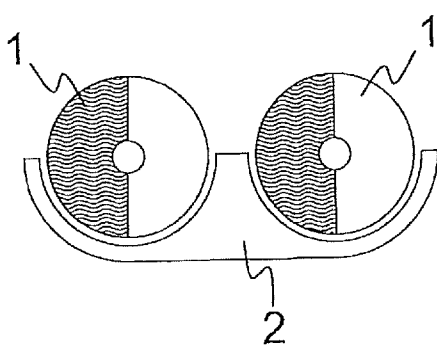


Fig. 17a

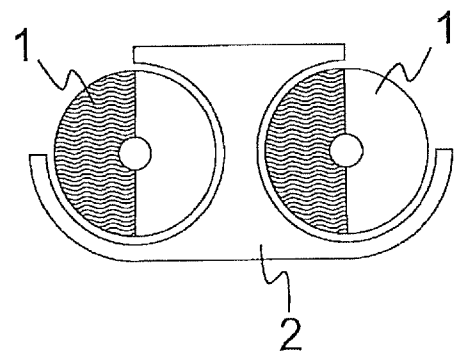


Fig. 17b

Fig. 18

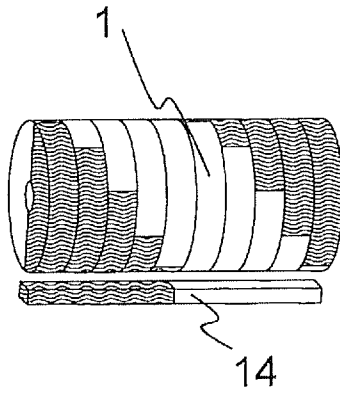


Fig. 19a

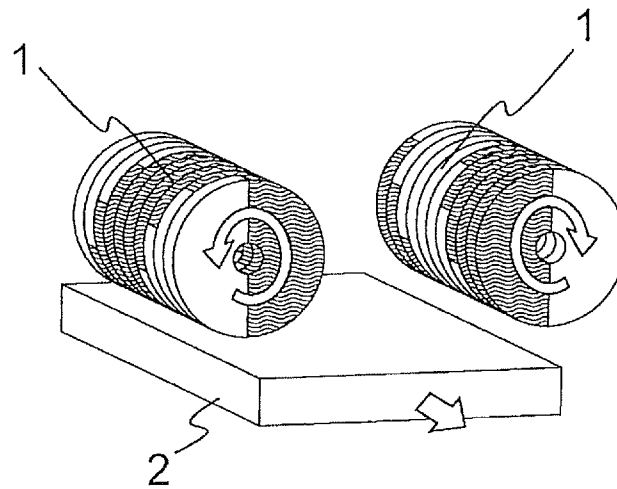


Fig. 19b

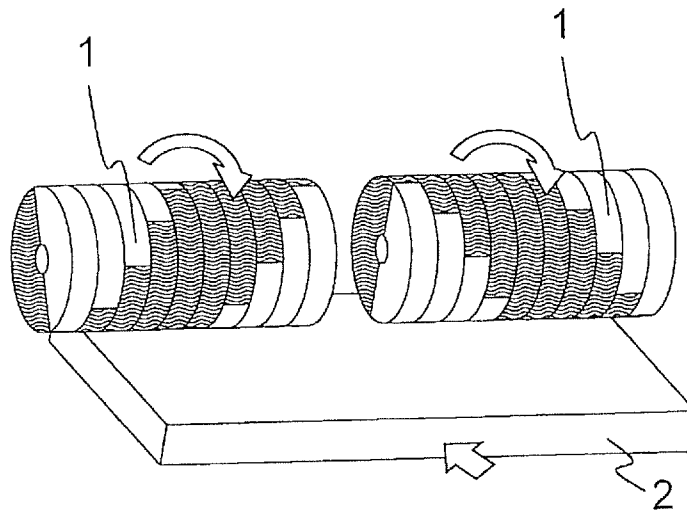


Fig. 20

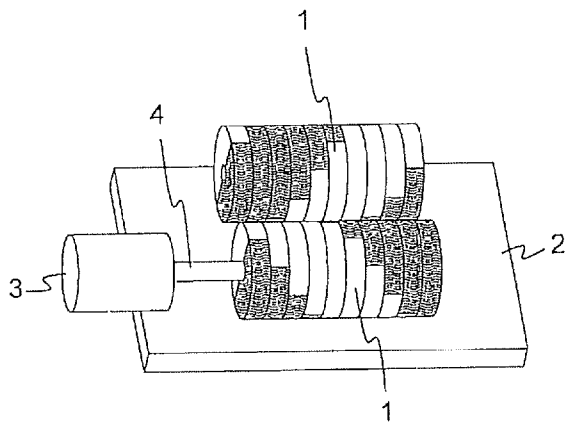
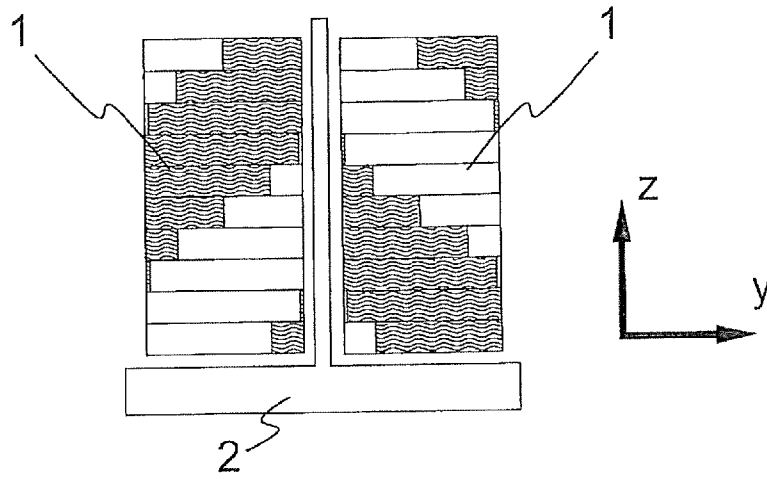


Fig. 21a

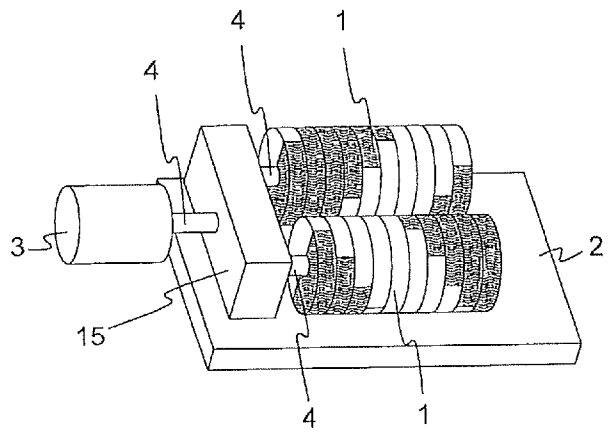


Fig. 21b

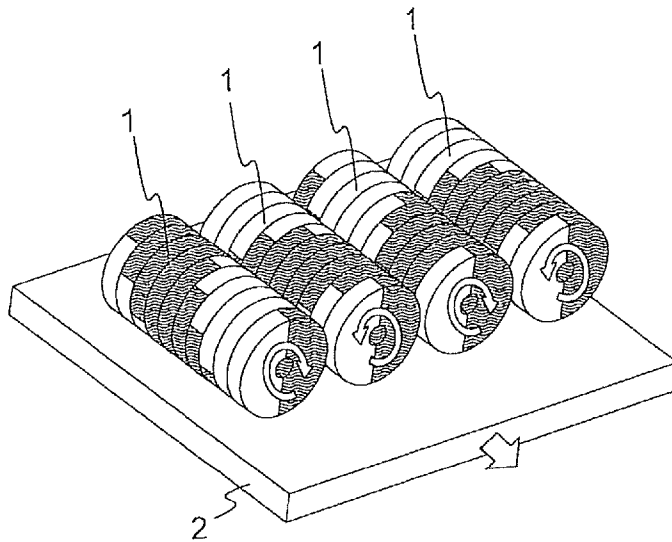


Fig. 22

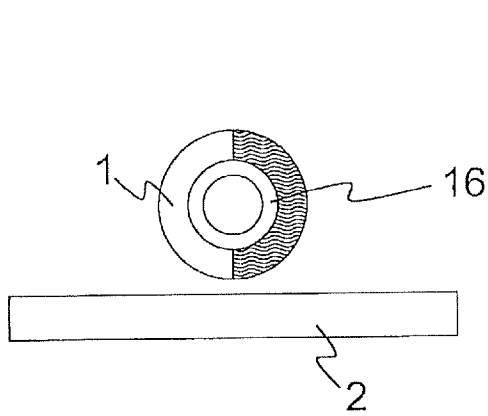


Fig. 23a

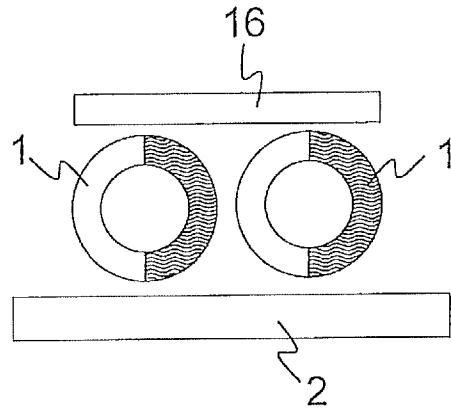


Fig. 23b

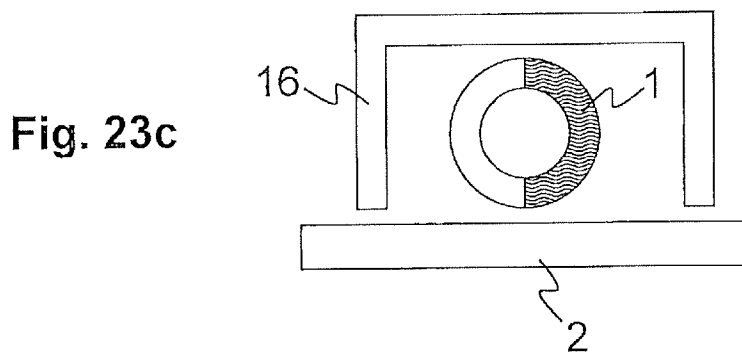


Fig. 23c

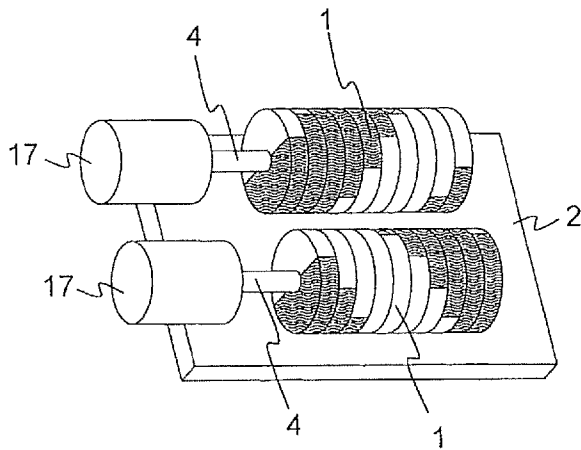


Fig. 24

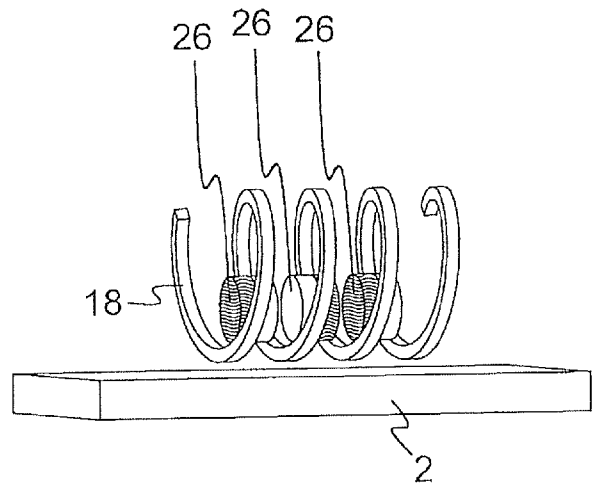


Fig. 25

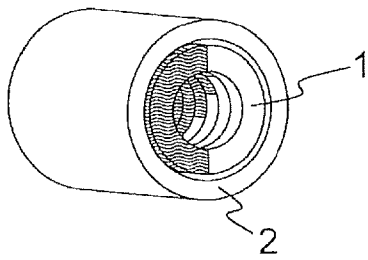


Fig. 26a

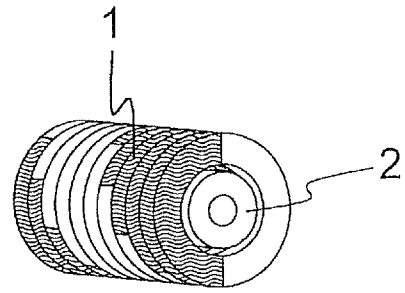


Fig. 26b

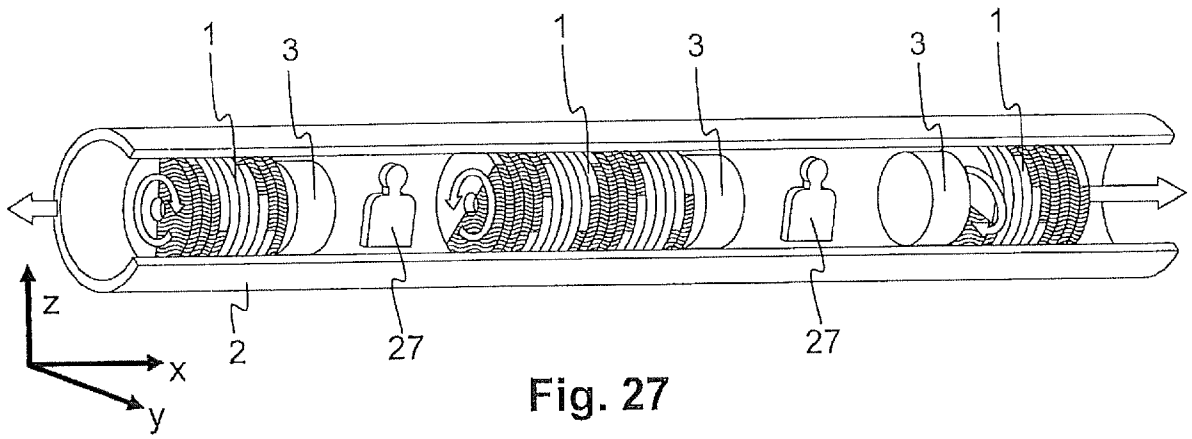


Fig. 27

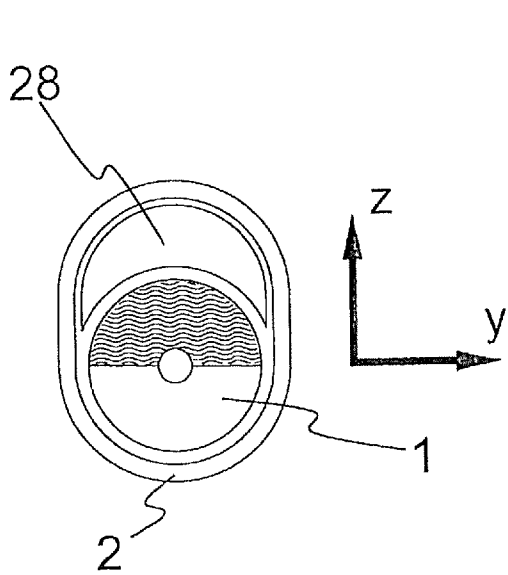


Fig. 28a

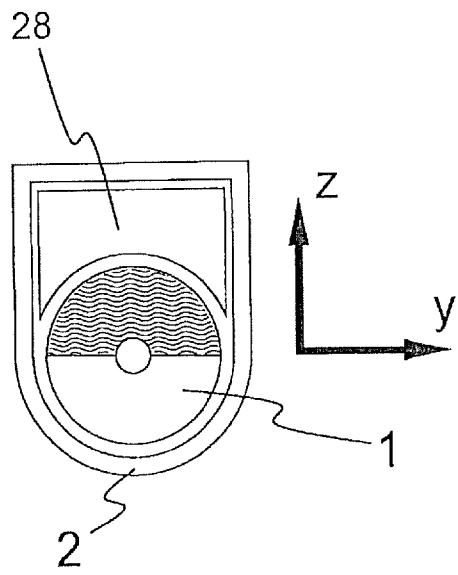


Fig. 28b

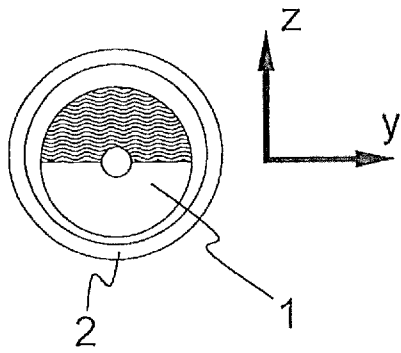


Fig. 29

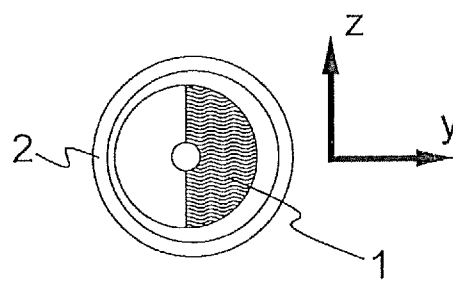


Fig. 30

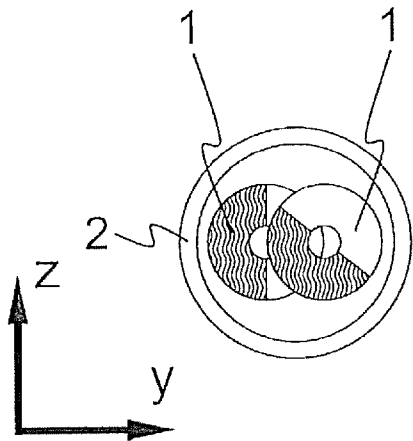


Fig. 31a

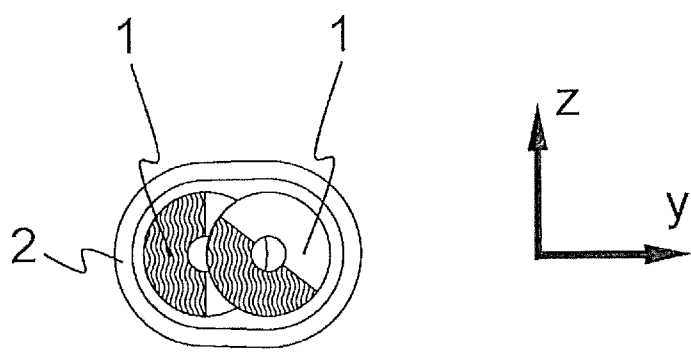


Fig. 31b

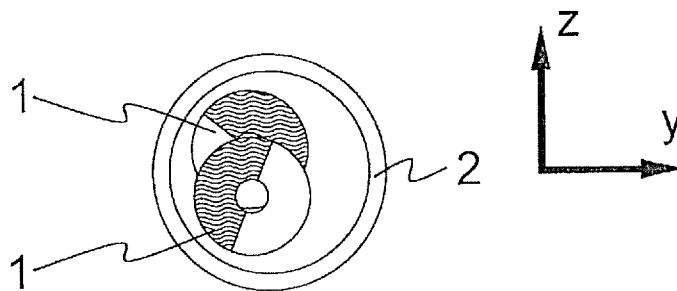


Fig. 32

Fig. 33

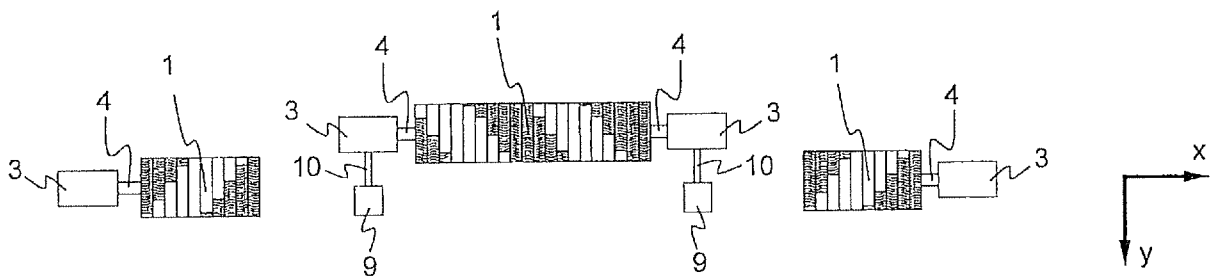
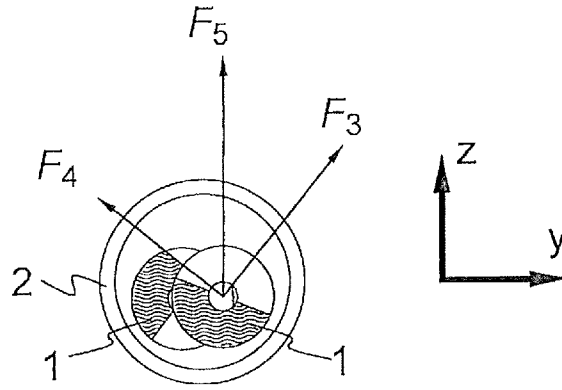


Fig. 34

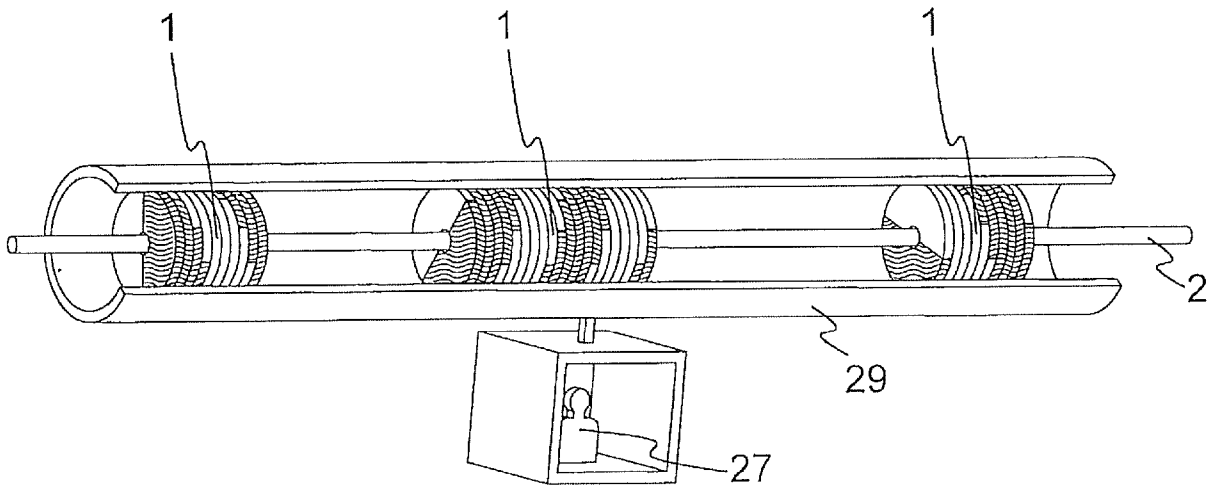


Fig. 35

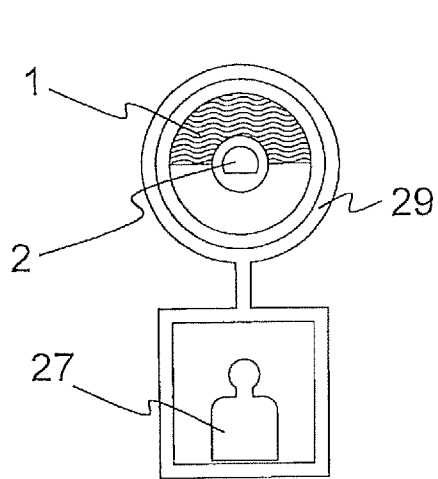


Fig. 36a

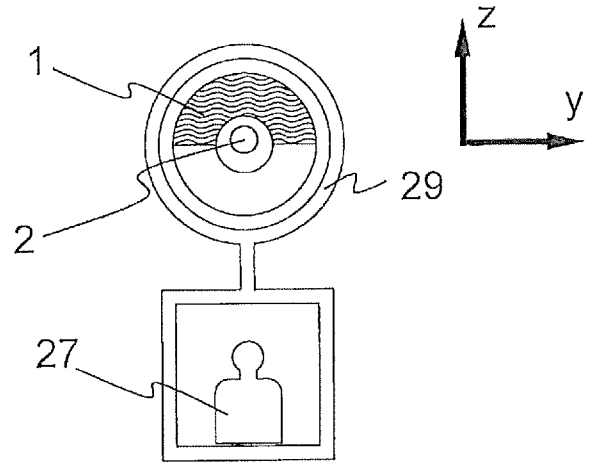
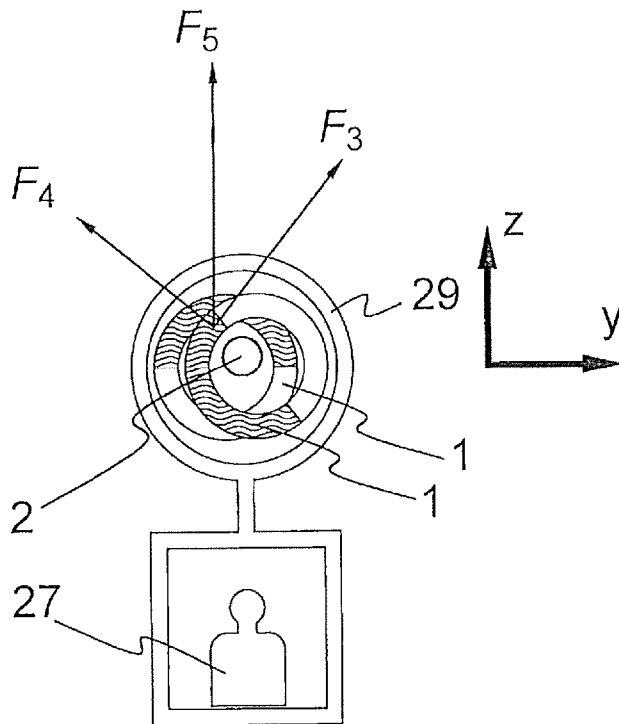


Fig. 36b

Fig. 37



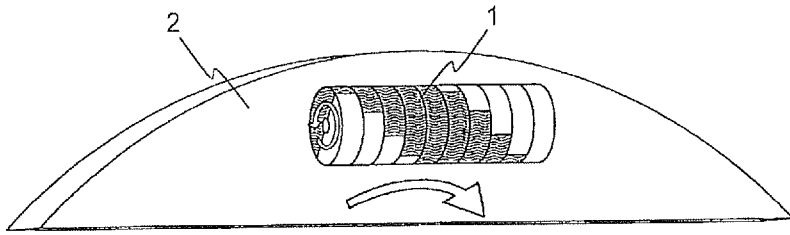


Fig. 38a

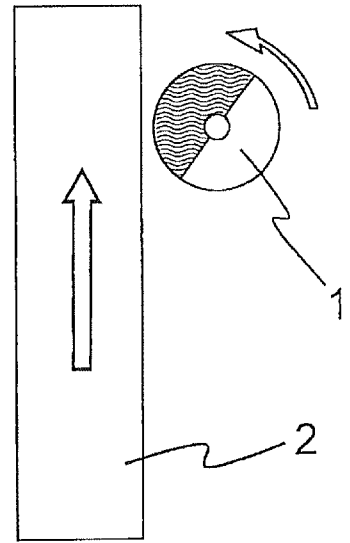


Fig. 38b

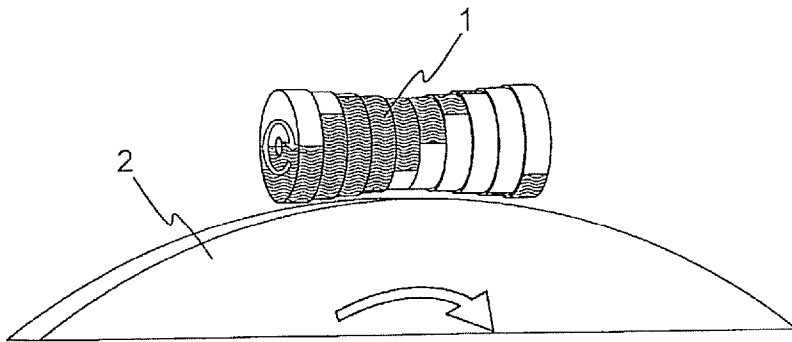


Fig. 39a

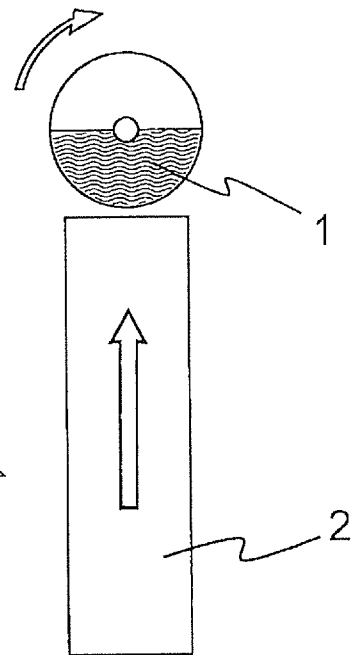


Fig. 39b