

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 1448/2003 (51) Int. Cl.⁸: **H05H 1/54** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2003-09-15 **G21K 1/093** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 2008-09-15

(73) Patentanmelder:
QASAR TECHNOLOGIEENTWICKLUNG
GES.M.B.H.
A-1230 WIEN (AT)
HETTNER MANFRED
A-1060 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
HETTNER MANFRED
WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON ALFVEN-WELLEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, wobei ionisierbare Materie bereitgestellt wird, welche ein Magnetfeld durchläuft. Zur Schaffung eines derartigen Verfahrens bzw. einer Einrichtung, bei der ein Massetransport auf Basis der Alfvén-Wellen möglich wird, ist vorgesehen, dass das Magnetfeld aus einem magnetischen Primärfeld besteht, welches durch zumindest ein gegenüber dem Primärfeld gegengepoltes, oszillierendes magnetisches Sekundärfeld periodisch deformiert wird, wodurch in der in diesem Magnetfeld befindlichen ionisierbaren Materie Alfvén-Wellen gebildet werden, welche sich mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, die von der Massendichte der das Magnetfeld durchlaufenden Materie und der Feldstärke des Magnetfeldes abhängt, wobei die Feldstärke des Magnetfeldes größer als die kinetische Energie der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, so dass durch die Alfvén-Wellen Masse transportiert wird.

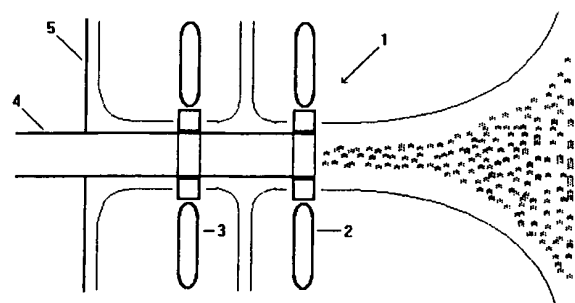


Fig. 2b

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, wobei ionisierbare Materie bereitgestellt wird, welche ein Magnetfeld durchläuft.

Weiters betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, mit einer Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie, einer aus zumindest einer Primärspule zur Erzeugung eines magnetischen Primärfeldes und einer Sekundärspule zur Erzeugung eines magnetischen Sekundärfeldes aufgebauten magnetischen Düse, und einem Kanal zur Führung der ionisierbaren Materie durch die Magnetfelder, und elektrischen Versorgungseinrichtungen für die Spulen.

Schließlich betrifft die Erfindung ein Triebwerk für ein Fahrzeug unter Verwendung einer oben genannten Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen.

Alfvén-Wellen sind Magneto-Hydro-Dynamische Wellen, welche nach dem schwedischen Physiker Hannes Olof Gösta Alfvén benannt wurden, wofür dieser 1970 den Nobelpreis für Physik erhielt. Bei den Alfvén-Wellen handelt es sich um niederfrequente Wellen in elektrisch leitenden Flüssigkeiten oder magnetisierten Plasmen, welche durch die Änderung der Stärke oder Geometrie eines magnetischen Feldes hervorgerufen werden. Die Ausbreitung der Alfvén-Wellen erfolgt mit endlicher Geschwindigkeit, der so genannten Alfvén-Geschwindigkeit. Eine Alfvén-Welle ist die wellenförmige Ausbreitung einer Störung im Magnetfeld. Im Vakuum breitet sich eine Alfvén-Welle mit Vakuumlichtgeschwindigkeit aus. Wenn das Magnetfeld mit einer ionisierbaren Materie, beispielsweise einem Plasma interagiert, wird die Alfvén-Geschwindigkeit von der Massen- bzw. Ladungsdichte des dielektrischen Mediums bestimmt. Durch die Interaktion von Materie mit dem Magnetfeld können Alfvén-Wellen Masse und damit auch Energie und Impuls transportieren. Für einen solchen Massentransport spielt die so genannte Alfvén-Grenze eine Rolle, innerhalb der die Feldstärke größer sein muss als die kinetische Energie der zu transportierenden Materie. Der Effekt des Materietransports durch Alfvén-Wellen wurde erstmals in der Atmosphäre exotischer Sterne spektroskopisch und später in Laborexperimenten nachgewiesen.

Alfvén-Wellen sind allgegenwärtig in Plasmen des Weltraums und resultieren aus der Interaktion zwischen Magnetfeldern und darin fließenden Strömen. Alfvén-Wellen treten typischerweise mit niedriger Frequenz in magnetisierten leitenden Medien, wie z.B. stellaren Atmosphären, auf. Die Wellen transportieren nicht nur elektromagnetische Energie, sondern beinhalten auch Informationen über die Veränderungen in Plasmastömen und der Topologie des dazu gehörigen Magnetfeldes. Seit Hannes Alfvén 1942 dieses Prinzip der elektromagnetischen Übertragung vorgestellt hat, haben zwei Konzepte das Interesse der Forscher geweckt. Das Konzept der Kompressionswelle, bei der die Dichte und Feldstärke variieren, und das Konzept der Scherwelle, bei der nur die Richtung des Magnetfeldes geändert wird. Die Dynamik von Alfvén-Scherwellen ist von besonderem Interesse in den polaren Erdregionen, da die Alfvén-Wellen wahrscheinlich eine Rolle bei der Entstehung von Polarlicht darstellen. Weitere Details finden sich in den Publikationen „The Physics of Alfvén Waves“, Neil F. Cramer, Wiley Publishing 2001, ISBN: 3-527-40293-4 sowie „Aktive Sterne“, Klaus G. Strassmeier, Springer Verlag 1997, ISBN: 3-211-83005.

Bisher wurden Alfvén-Wellen nur bei Verfahren zur Anwendung in Fusionsreaktoren genutzt. Beispielsweise zeigt die US 4 661 3 04 die Erzeugung von Alfvén-Wellen mit Hilfe eines Resonanzspulenmechanismus zur Erzeugung von überresonanzhohen Zyklotonfrequenzen in einem Fusionsreaktor. Eine ähnliche Konstruktion basierend auf mehreren kreisförmig angeordneten Spulen zur Erreichung hoher Temperaturen in einem Fusionsreaktor ist in der russischen Patentschrift SU 1 485 436 beschrieben. Bei den bisherigen Anwendungen wurde der Transport von Energie durch Alfvén-Wellen genutzt. Eine direkte Nutzung des Massentransports durch Alfvén-Wellen liegt dabei nicht vor (s. auch H. Alfvén, „Spacecraft Propulsion: New Methods“ _Science_, Vol. 176, pp. 167-168, April 14, 1972).

Eine Nutzung von Alfvén-Wellen für den Antrieb von Fahrzeugen, insbesondere Raumfahrzeugen, wurde noch nicht vorgenommen. Als elektrischer Rückstoßantrieb für Fahrzeuge, insbesondere Raumfahrzeuge, werden derzeit zwei Prinzipien eingesetzt, die jedoch aufgrund des relativ hohen Leistungsbedarfs durch die Masse externer Energiequellen in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt sind. Die bei chemischen Antrieben im Treibstoff enthaltene Energie muss bei elektrischen Antrieben aus einer externen Energiequelle zugeführt werden. Weiters werden elektromagnetische Antriebe trotz der hohen Masse des elektrischen Energieträgers eingesetzt. Bei elektrischen Antrieben wird der Ionen-Anteil eines auf verschiedene Art angeregten Gases durch elektrische Felder beschleunigt. Aufgrund des physischen Abstandes der Elektroden, durch welchen der Beschleunigungsweg definiert ist, multipliziert mit dem Querschnitt des Emissions-Strahls sind bei energetisch akzeptablen Potential-Differenzen nur geringe Schubdichten möglich, wodurch der Wirkungsgrad bestimmt wird. Da hierbei nur positiv geladene Ionen emittiert werden, die zur Vermeidung eines statischen Potentials hinter dem Triebwerk später durch eine externe Elektronenquelle neutralisiert werden, spricht man von Ionen-Triebwerken.

Bei magnetischen Antrieben wird hingegen das Magnetfeld nur als statische Düse mit heißen Wänden genutzt. Im Feld gebundene Teilchen interagieren aufgrund ihrer Larmor-Frequenz miteinander. Die vom Gradienten abfallende Feldstärke bewirkt ebenso kleiner werdende Bindungskräfte, wodurch die Teilchen nach Stößen n-ter Ordnung inelastisch aus der Bindung zum Feld gestreut und aufgrund des thermodynamischen Drucks aus dem düsenförmigen Feld gepresst werden.

Im Allgemeinen wird das aus dem Feld zu expandierende Plasma durch einen Lichtbogen thermisch angeregt. Der Unterschied zu reinen Lichtbogentriebwerken besteht hauptsächlich darin, dass die Plasmatemperatur nicht durch die thermische Belastbarkeit der Düsenwände beschränkt wird. Die zusätzliche Interaktion des Plasmas mit den meist statischen Feldkräften spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Aufgrund der Dynamik eines thermisch angeregten Plasmas in einem Magnetfeld spricht man bei Plasma-Triebwerken daher auch von Magneto-Plasma-Dynamischen Antrieben oder MPD-Triebwerken. Klassische MPD-Triebwerke können in zwei Gruppen unterteilt werden, nämlich in Eigenfeld- und Fremdfeld-Triebwerke. Bei Eigenfeld-Triebwerken wird das Feld der magnetischen Düse durch den hohen Entladestrom des Lichtbogens induziert, es gibt also einen Magneten aber keine Spule. Bei Fremdfeld-Triebwerken wird der gesamte Entladestrom zur Aufheizung genutzt, da das Feld der magnetischen Düse durch eine Spule eben durch ein Fremdfeld aufgebaut wird.

Ein magnetisches Plasmatriebwerk ist z.B. aus der US 6 334 302 B1 bekannt und unter der Bezeichnung VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket) bekannt. Dabei wird mit Hilfe eines Plasmagenerators ein Plasma durch zumindest zwei magnetische Ringspulen geleitet und in diesem magnetischen Feld thermisch angeregt. Durch die hochfrequente Feld-Oszillation wird das Plasma in einer Art magnetischen Flasche durch Schwingungen des Magnetfeldes aufgeheizt. Die Geometrie des in seiner Stärke veränderlichen Magnetfeldes bleibt grundsätzlich erhalten, weshalb zwar der Energie-Transport, jedoch nicht der Materie-Transport durch das Magnetfeld genutzt wird. Mit diesem Triebwerk konnten bessere Wirkungsgrade erreicht werden als bei klassischen Magneto-Plasma-Dynamischen Antrieben.

Die US 4 412 967 A beschreibt einen Teilchenbeschleuniger unter Anwendung des Prinzips der Alfvén-Wellen. Ein derartiger Teilchenstrahl kann als Bohrwerkzeug oder Waffe eingesetzt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen zu schaffen, durch welche Masse transportiert wird. Das Verfahren und die Einrichtung soll zur Anwendung als Triebwerk für Fahrzeuge, insbesondere Raumfahrzeuge, einsetzbar sein.

In verfahrensmäßiger Hinsicht wird die erfindungsgemäße Aufgabe dadurch gelöst, dass das Magnetfeld aus einem magnetischen Primärfeld besteht, welches durch zumindest ein gegenüber dem Primärfeld gegengepoltes, oszillierendes magnetisches Sekundärfeld periodisch deformiert wird, wodurch in der in diesem Magnetfeld befindlichen ionisierbaren Materie Alfvén-Wellen gebildet werden, welche sich mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, die von der Massendichte der das Magnetfeld durchlaufenden Materie und der Feldstärke des Magnetfeldes abhängt, wobei die Feldstärke des Magnetfeldes größer als die kinetische Energie der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, so dass durch die Alfvén-Wellen Masse transportiert wird. Das erfindungsgemäße Verfahren setzt erstmals Alfvén-Wellen zum Transport von Masse ein. Durch einen so erzeugten Materiestrahl können beispielsweise unter Nutzung des Rückstoßprinzips Antriebe für Fahrzeuge, insbesondere Raumfahrzeuge, wie Weltraumsatelliten, hergestellt werden. Zur Ermöglichung eines Massentransports durch Alfvén-Wellen müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden, welche weiter unten beschrieben werden. Die Alfvén-Wellen werden durch periodische Änderungen der Feldgeometrie eines magnetischen Primärfeldes verursacht. Diese periodische Änderung der Geometrie des Primärfeldes wird durch zumindest ein zweites, entgegengesetzt gepoltes, periodisch verändertes Magnetfeld verursacht, welches im Weiteren als Sekundärfeld bezeichnet wird, das von einer Sekundärspule hervorgerufen wird. Das oszillierende Sekundärfeld wird durch eine Versorgung der Sekundärspule durch ein oszillierendes Signal erzeugt. Die Frequenz und Form des Ansteuersignals der Sekundärspule hängt von der Art der Anwendung und den speziellen Eigenschaften der eingesetzten Feldspulen ab. Durch die Überlagerung der Magnetfelder werden die Feldlinien des Primärfeldes, auf der der Sekundärspule gegenüberliegenden Seite nach außen gedrückt, und somit ein trichterförmiges Primärfeld geschaffen. Dieser Feldtrichter führt zu einer Reduzierung des durch das Magnetfeld eingeschlossenen Volumens. Somit wird die im Magnetfeld befindliche ionisierbare Materie komprimiert und aus dem Feld gedrückt. Die mit dem Magnetfeld interagierende Materie unterteilt sich einerseits in die Emissionsmasse und zum geringeren Anteil in Lorentz-Teilchen. Die Lorentz-Teilchen befinden sich im Bereich höherer Flussdichten und sind an die Feldlinien gebunden. Die restlichen Teilchen hingegen sind nicht an die Feldlinien gebunden und können daher als quasi freie Teilchen bezeichnet werden. Die quasi freien Teilchen werden an den Lorentz-Teilchen gestreut. Aus diesen Grund können die aus den Lorentz-Teilchen hervorgehenden Kräfte, die auf die eingeschlossene Materie wirken, auch als Wandkräfte bezeichnet werden. Im Gegensatz zu klassischen Magneto-Plasma-Dynamischen-Triebwerken erfüllen die magnetischen Wandkräfte nicht nur die Funktion einer Düse, sondern sind durch ihre Dynamik für die Kompression der Emissionsmasse verantwortlich. Damit nun überhaupt ein Massentransport durch die Alfvén-Wellen stattfinden kann, ist die so genannte Alfvén-Grenze innerhalb derer die magnetische Feldstärke größer sein muss, als die kinetische Energie der wechselwirkenden Teilchen zu berücksichtigen. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, können die Alfvén-Wellen nicht zum Transport von Masse eingesetzt werden.

Das Magnetfeld verformt sich mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Alfvén-Wellen der so genannten Alfvén-Geschwindigkeit. Dabei können zwei Möglichkeiten unterschieden werden.

Gemäß einem Merkmal der Erfindung ist die Alfvén-Geschwindigkeit kleiner oder gleich der Schallgeschwindigkeit der im Magnetfeld befindlichen Materie. Dies stellt den Fall der elastischen Kompression des eingeschlossenen Mediums dar. Im Falle dieser elastischen Kompression erfolgt, bis auf unvermeidliche Reibungsverluste, keine Aufheizung des Mediums, sondern es entsteht ein innerer mechanischer Überdruck gegenüber dem Umgebungsdruck. Im Falle einer Alfvén-Geschwindigkeit, welche kleiner oder gleich der Schallgeschwindigkeit der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, wird somit der kinetische Impuls weitgehend elastisch übertragen. Bei einer derartigen elastischen Beschleunigung der Emissionsmasse sind keine besonders hohen Ausströmgeschwindigkeiten möglich, da die innere Schallgeschwindigkeit bei Ausgangstemperatur des zu transportierenden Mediums nicht überschritten wird. Eine Anwendung dieses Verfahrens kommt primär für den Betrieb mit leitenden Flüssigkeiten in Frage, da die damit verbundene hohe Dichte der Materie in Verbindung mit einem möglicherweise geringen Ionen-Anteil ohnehin keine hohen Alfvén-Geschwindigkeiten zulässt.

Wenn die Alfvén-Geschwindigkeit, mit der sich die Alfvén-Wellen ausbreiten, größer ist als die Schallgeschwindigkeit der im Magnetfeld befindlichen Materie, wird diese inelastisch komprimiert und damit aufgeheizt. Die Größe des elastisch transportierbaren Impulses wird vom jeweiligen Elastizitätsmodul und damit verbunden von der Schallgeschwindigkeit bestimmt. Der inelastische Anteil des über die Alfvén-Wellen und die Lorentz-Teilchen transportierten Impulses wird in inkohärente innere Bewegung, also in Wärme umgesetzt. Die auf diese Art thermisch angeregte Materie erhält damit nicht nur eine höhere Temperatur, sondern auch eine höhere Schallgeschwindigkeit, mit der es aus dem Feldtrichter der magnetischen Düse expandiert. Es erfolgt damit eine Aufheizung direkt über die als magnetische Düse vorhandenen Feldkräfte ohne externen Heizmechanismus. Im Falle der inelastischen Kompression ist das Verhältnis zwischen der Kompressionszeit und den Energieverlusten durch aus der Aufheizung resultierende Abstrahlung von Bedeutung. Bei einem optimierten System sollte die Laufzeit der Alfvén-Wellen, die vom Arbeitsweg und der Alfvén-Geschwindigkeit abhängt, so abgestimmt sein, dass während des Zeitraumes weniger Energie abgestrahlt wird, als durch den Puls zugeführt wird. Die thermische Anregung durch inelastische Kompression der Emissionsmasse bietet sich für Anwendungen im Hochvakuum an, da dafür eine geringe Massendichte zur Erreichung hoher Alfvén-Geschwindigkeiten notwendig ist. Trotz kurzer Beschleunigungswege ist durch eine hohe Alfvén-Geschwindigkeit dabei die Zuführung hoher Impulse möglich.

Gemäß einem Merkmal der Erfindung ist das magnetische Primärfeld im Wesentlichen konstant. Dies wird durch eine im Wesentlichen konstante Versorgung der Primärspule zur Erzeugung des Primärmagnetfeldes erzielt, weshalb der schaltungstechnische Aufwand gering ist.

Wenn das magnetische Primärfeld periodisch abgeschaltet wird, kann die thermische Aufheizung durch den Ohmschen Widerstand der Primärspule reduziert werden. Dabei muss die Frequenz und Dauer der Abschaltung entsprechend gewählt werden, dass innerhalb der Abschaltphasen die thermische Energie abgeführt werden kann.

Es ist nicht zweckmäßig, während des abgeschalteten Primärfeldes das magnetische Sekundärfeld aufrechtzuerhalten, weshalb dieses während der Abschaltperioden des Primärfeldes vorzugsweise ebenfalls abgeschaltet wird. Die Abschaltung des Primärfeldes und allenfalls auch des Sekundärfeldes wird durch eine entsprechende Steuerungseinrichtung, welche mit den Versorgungseinrichtungen für die Spulen zur Erzeugung des Primärfeldes und Sekundärfeldes verbunden sind, erzielt.

Zur Verbesserung der Wirkung der magnetischen Düse wird gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung das Magnetfeld in axialer und/oder radialer Richtung fokussiert. Zur Fokussierung können verschiedene Verfahren, beispielsweise magnetische Verfahren, aber auch spezielle Anordnungen und mechanische Ausbildungen der Feldspulen, dienen.

Zur Beeinflussung der Deformation des Primärfeldes kann das magnetische Primärfeld während des eingeschalteten magnetischen Sekundärfeldes in seiner Feldstärke verändert werden. Dabei wird die Veränderung des Primärfeldes nur im geringen Ausmaß vorgenommen. Die Geometrie der gegenseitig deformierten Felder kann durch diese temporäre Minderung oder Steigerung des Primärfeldes beeinflusst und somit optimiert werden.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, dass die Alfvén-Wellen phasenverzögert werden. Durch diese Phasenverzögerung, welche beispielsweise durch einen verzögerten Spannungsanstieg während des Einschaltens der Sekundärspule erzielt werden kann, kann der Zeitraum der Deformationsphase des Primärfeldes verlängert werden. Eine derartige Beeinflussung der Alfvén-Wellen ist dann sinnvoll, wenn die Alfvén-Geschwindigkeit zu hoch ist. Eine derartige Verlangsamung der Felddeformation kann beispielsweise bei einer hydrodynamischen Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorteilhaft sein. Dadurch können Variationen des Schallfeldes oder Optimierungen des Wirkungsgrades erzielt werden. Aber auch bei der Anwendung des Verfahrens bei Vorhandensein einer Plasmaquelle kann eine

Reduktion der Alfvén-Geschwindigkeit von Vorteil sein, wenn z.B. durch eine zu hohe Kompressionstemperatur die Verluste durch Schwarzkörperstrahlung den Wirkungsgrad zu sehr einschränken.

5 Wenn die Alfvén-Wellen nach dem Rückstoßprinzip einen Schub erzeugen, kann das Verfahren zur Erzeugung von Alfvén-Wellen zum Antrieb von Fahrzeugen, insbesondere Raumfahrzeugen, verwendet werden. Dabei wird als Plasmaquelle ein beliebiger Ionisationsmechanismus verwendet, der die Ionisation eines in einem Behälter befindlichen Gases durchführt. Die Alfvén-Wellen reduzieren in oszillierender Weise das Volumen des von der Plasmaquelle einströmenden Mediums schneller als sich dieses aus dem trichterförmigen Magnetfeld entspannen kann. Der während der kurzen Pulsdauer des Magnetfeldes zugeführte hohe Impuls heizt das Plasma auf, was zu einer höheren Schall- und damit Expansionsgeschwindigkeit des Plasmas führt. Durch die Alfvén-Wellen kann auch ein bereits durch einen anderen Mechanismus beschleunigter Plasmastrahl eine zusätzliche Beschleunigung erhalten. Anwendungen derartiger
10
15 Triebwerke reichen von der Lageregelung von Satelliten bis hin zu Antrieben von Raketen für Raummissionen und vieles mehr.

Ebenso ist es möglich, dass die Alfvén-Wellen einen Teilchenstrahl hoher kinetischer Energie erzeugen, der beispielsweise im militärischen Bereich, beispielsweise zum Ausschalten von
20 Satelliten, einsetzbar ist.

Wie bereits oben erwähnt, können die Alfvén-Wellen einer beschleunigten Masse zusätzliche Impulse zuführen.

25 Weiters ist es möglich, dass in der im Magnetfeld befindlichen Materie Phononen erzeugt oder verstärkt werden bzw. über die im Magnetfeld befindliche Materie Phononen in einem umgebenden Medium erzeugt oder verstärkt werden. Eine Verstärkung von Phononen wird dadurch erreicht, dass das Schallfeld innerhalb der vom Magnetfeld umgebenen Materie durch die Wirkung der Alfvén-Wellen beeinflusst wird. Als Einsatzgebiete für die Verstärkung von Phononen
30 können Anwendungen genannt werden, bei welchen Materie, welche bereits durch einen anderen Mechanismus angeregt wurde, einen zusätzlichen Impuls erhalten soll, beispielsweise bei einer chemischen Verbrennung oder einer Heizung.

Schließlich ist es auch möglich die im Magnetfeld befindliche Materie zu komprimieren und somit thermisch anzuregen und durch die thermische Anregung elektromagnetische Strahlung zu erzeugen oder zu verstärken.
35

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch eine oben erwähnte Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen gelöst, bei der die zumindest eine Sekundärspule entgegengesetzt der Primärspule gepolt ist und mit einem oszillierenden elektrischen Signal versorgt wird, wodurch das magnetische Primärfeld durch das magnetische Sekundärfeld periodisch deformiert wird und in der in diesem Magnetfeld befindlichen ionisierbaren Materie Alfvén-Wellen gebildet werden, die sich mit der Alfvén-Geschwindigkeit ausbreiten, wobei die Feldstärke des Magnetfeldes größer als die kinetische Energie der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, so dass durch die Alfvén-Wellen Masse transportiert wird. Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale
40
45 bestehen daher in zwei unterschiedlich gepolten Feldspulen, durch welche eine Deformation des Magnetfeldes und somit die Alfvén-Wellen gebildet werden. Durch die Einhaltung der bereits oben erwähnten Alfvén-Grenze eignen sich die Alfvén-Wellen zum Transport von Masse.

50 Vorteilhafterweise sind die Spulen zur Bildung des Magnetfeldes flüssigkeitsgekühlt ausgebildet. Durch die Flüssigkeitskühlung können die hohen Betriebstemperaturen reduziert und somit die mechanische Festigkeit erhöht werden.

Eine weitere Verbesserung und eine Reduktion des elektrischen Widerstands der Spulen wird
55 dadurch erreicht, dass supraleitende Spulen eingesetzt werden.

Die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie kann durch einen Behälter mit ionisierbarem Gas und eine Injektoreinrichtung zur Einbringung des ionisierbaren Gases in das Magnetfeld gebildet sein. Ein derartiger Plasmagenerator eignet sich insbesondere für die Verwendung der Einrichtung im Weltraum als Antrieb für Raumfahrzeuge.

5 Wenn die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch eine Quelle zur Zuführung elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gebildet wird, kann durch die Alfvén-Wellen eine Kompression dieser im Magnetfeld befindlichen Flüssigkeit erfolgen. Diese Ausführungsvariante, bei der die Flüssigkeit als Durchsatzmasse verwendet wird, welche gelöste Ionen enthält, eignet sich insbesondere als hydrodynamischer Antrieb, beispielsweise für Wasserfahrzeuge, wie z.B. U-Boote. Der Vorteil dabei besteht darin, dass ohne bewegliche Teile des Antriebs Wasser bewegt werden kann. Durch seine relativ gute elektrische Leitfähigkeit bietet sich Salzwasser als ideales Medium an. Durch die Alfvén-Welle werden zwar nur die gelösten Ionen direkt beeinflusst, was durch die Streuung mit den restlichen Teilchen insgesamt nur eine geringe Strömung in Emissionsrichtung verursacht. Trotzdem finden sich auch Anwendungen für diese Variante. Durch die hohe Massendichte werden dabei nur sehr geringe Alfvén-Geschwindigkeiten erreicht, weshalb der Arbeitsbereich der elastischen Beschleunigung der Emissionsmasse anzuwenden ist. Beispielsweise kann die Einrichtung als besonders leiser und schwer ortbarer U-Boot-Antrieb oder als hydrodynamische Pumpe eingesetzt werden. Da eine derartige Pumpe selbst keine beweglichen Teile hat, bietet sich eine solche Variante zum Transport von Flüssigkeiten mit besonders hohen Sicherheitsanforderungen an. Beispielsweise können mit solchen Pumpen Flüssigkeiten in Bioreaktoren transportiert werden. Da keine Drehbewegung über ein Lager in den Behälter übertragen werden muss, reduziert sich das Sicherheitsrisiko einer undichten Stelle und gleichzeitig fällt der Kostenfaktor weg, der durch den regelmäßigen Tausch der Lager normalerweise anfällt. Es sind weiters keine mechanisch beweglichen Teile vorhanden, durch welche die Biomasse Schaden nehmen kann.

30 Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist eine Einrichtung zur Phasenverzögerung der erzeugten Alfvén-Wellen vorgesehen. Eine derartige Phasenverzögerung kann eine Reduktion der Alfvén-Geschwindigkeit, welche in manchen Fällen von Vorteil sein kann, erzielt werden.

Schließlich können Einrichtungen zur Fokussierung des Magnetfeldes vorgesehen sein. Diese können magnetisch oder auch mechanisch durch entsprechende Anordnung der Magnetspulen realisiert werden.

35 Die Fokussiereinrichtung kann durch die Primärspule und allenfalls Sekundärspule mit einem Magnetkern aus verschiedenen Materialien, beispielsweise auf Basis eines FFAG(Fixed Field Alternating Gradient)-Kerns gebildet sein.

40 Vorteilhafterweise ist eine magnetische Abschirmung vorgesehen, welche empfindliche, insbesondere elektronische, Baugruppen von den relativ hohen Magnetfeldern der Spulen schützt. Dabei kommen übliche magnetisch leitende Abschirmmaterialien zur Anwendung.

45 Wenn die magnetische Abschirmung eine an der Austrittsrichtung der Alfvén-Wellen gegenüberliegenden Seite des Magnetfeldes angeordnete Abschirmplatte beinhaltet, wird eine zusätzliche Fokussierung des Magnetfeldes erzielt.

50 Zur Steuerung der Deformation der Magnetfelder ist eine Steuereinrichtung vorgesehen, welche mit den elektrischen Versorgungseinrichtungen für die Spulen verbunden ist. Eine derartige Steuerschaltung kann durch einen Mikroprozessor mit entsprechenden Schnittstellen zu den Versorgungseinheiten der Spulen gebildet sein.

55 Dabei kann die Steuereinrichtung durch einen Rechner gebildet werden, wobei beginnend von einem Mikrocontroller über einen Mikrocomputer bis hin zu einer Rechereinheit Ausführungsvarianten möglich sind.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch ein Triebwerk für ein Fahrzeug mit einer oben erwähnten Einrichtung gelöst.

Wenn die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch einen Plasma-Generator gebildet ist und mit Hilfe der Alfvén-Wellen nach dem Rückstoßprinzip ein Schub erzeugt wird, können geeignete Triebwerke für Fahrzeuge, insbesondere Raumfahrzeuge, wie Raketen oder Satelliten, geschaffen werden. Der bevorzugte Arbeitsbereich für den Betrieb mit ionisiertem Gas liegt im Bereich inelastischer Kompression der Emissionsmasse. Die Alfvén-Wellen reduzieren das Einschlussvolumen des von einer beliebigen Plasmaquelle einströmenden Mediums schneller als dieses sich aus dem trichterförmigen Magnetfeld entspannen kann. Der während der kurzen Pulsdauer zugeführte hohe Impuls heizt das Plasma auf, was zu einer höheren Schall- und damit Expansionsgeschwindigkeit des Plasmas führt. Als Plasmaquelle kann dabei ein beliebiger Ionisationsmechanismus dienen, wobei sich die dafür aufgewandte Leistung auf die Ionisation des Gases beschränken kann. Die thermische Senke für den primären Beschleunigungsmechanismus wird nach dem Carnot-Prinzip durch die Alfvén-Wellen erzeugt. Trotzdem kann auch ein bereits durch einen anderen Mechanismus beschleunigter Plasma-Strahl durch die Wirkung von Alfvén-Wellen eine zusätzliche Beschleunigung erfahren. Der wesentliche Vorteil besteht in der Erreichbarkeit hoher Ausströmgeschwindigkeiten, weshalb sich ein derartiges Plasma-Triebwerk auf Alfvén-Wellen-Basis besonders für den Antrieb für Raumfahrzeuge eignet. Dabei können die Triebwerke zur Lageregelung von Satelliten eingesetzt werden, wodurch sich durch den geringen Massendurchsatz derartiger Triebwerke die Lebensdauer moderner Satelliten, welche normalerweise durch den internen Treibstoff-Vorrat begrenzt ist, erhöht. Bahn- und Lageregelungen sind zum Ausgleich von Gravitations-Anomalien, Sonnenwind usw. notwendig.

Ebenso können derartige Triebwerke als so genannter Kick-Booster für den Antrieb von Satelliten zum Transportieren in seine Ziellage eingesetzt werden. Durch ein derartiges Triebwerk mit relativ geringem Treibstoffbedarf kann die Gesamtmasse reduziert oder die Nutzlast erhöht werden.

Durch hohe Ausströmgeschwindigkeiten und geringen Massendurchsatz derartiger Triebwerke sind lange Beschleunigungsphasen möglich, welche sich für wissenschaftliche interplanetare Missionen besonders eignen und die Reisezeiten verkürzen können.

Experimentielle Anwendungen, beispielsweise in Plasma-Windkanälen, zur Simulation der Interaktion schneller Eintrittskörper in den oberen dünnen Schichten planetarer Atmosphären sind auch möglich. Durch die Variationsmöglichkeiten eines auf Alfvén-Wellen basierenden Mechanismus kann das Spektrum solcher Untersuchungen erweitert werden.

Wenn gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch eine Einrichtung zur Zuführung elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gebildet wird, können die Triebwerke als Antrieb von Fahrzeugen im Wasser, beispielsweise für U-Boote, eingesetzt werden.

Andere Anwendungen, wie z.B. zur Herstellung von Plasma-Strahlen hoher kinetischer Energie als Waffe oder als Pumpe ohne bewegliche Teile, sind ebenfalls möglich.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen, welche Schemata und Ausführungsbeispiele zeigen, näher erläutert.

Darin zeigen: Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen; Fig. 2a und 2b zwei schematische Ansichten zur Veranschaulichung des Wirkungsmechanismus bei der Deformierung der Magnetfelder; Fig. 3a bis 3d verschiedene Kurvenformen des Stromes zur Versorgung der Sekundärspule; Fig. 4 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Plasmatriebwerkes; und Fig. 5 ein Blockschaltbild eines hydrodynamischen Antriebs

gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 zeigt den Schnitt durch eine magnetische Düse 1 einer Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, wobei eine Primärspule 2 zur Erzeugung eines magnetischen Primärfeldes vorgesehen ist. Neben der Primärspule 2 befindet sich zumindest eine Sekundärspule 3, welche zur Primärspule 2 entgegengesetzt gepolt ist, und mit einem oszillierenden elektrischen Signal versorgt wird. Dadurch wird ein Magnetfeld hervorgerufen, welches periodisch deformiert wird. Durch die Spulen 2, 3 wird ein Rohr 4 geleitet, welches mit der Primärspule 2 abschließt. Seitlich neben der Sekundärspule 3 gegenüberliegend der Primärspule 2 befindet sich eine Abschirmplatte 5, welche die Elektronik und andere Komponenten von den Magnetfeldern der Spulen 2, 3 schützt. Das zentrale Rohr 4 beinhaltet einen Ionisationsmechanismus, beispielsweise auf Basis einer elektrischen Entladung. Die ionisierbare Materie wird über das Rohr 4 in das Magnetfeld geleitet. Anstelle einer Plasmaquelle kann auch eine gelöste Ionen enthaltene Flüssigkeit eingesetzt werden.

Der Wirkungsmechanismus wird besser anhand der Figuren 2a und 2b ersichtlich, welche schematisch die magnetische Düse 1 bei unterschiedlichen Schaltzuständen der Sekundärspule 3 zeigen. Gemäß Fig. 2a ist die Sekundärspule 3 ausgeschaltet und die Primärspule 2 liefert ein Magnetfeld, welches aufgrund der Abschirmplatte 5 zur Öffnung des Rohres 4 hin trichterförmig verläuft. Die durch das Rohr 4 geleitete Materie folgt diesem trichterförmigen Verlauf an der Öffnung des Rohres 4.

Wird nun entsprechend Fig. 2b die Sekundärspule 3 zugeschaltet, deformiert sich das Magnetfeld der Primärspule 2 und die Feldlinien engen sich am Ausgang des Rohres 4 ein, wodurch die durch die Alfvén-Wellen transportierte Materie entsprechend eingeschnürt wird.

Es resultiert somit eine oszillierende Strömung der ionisierten Materie. Aufgrund der Berücksichtigung der Alfvén-Grenze wird durch die Alfvén-Wellen ein Massentransport möglich. Dazu muss die magnetische Feldstärke größer sein als die kinetische Energie der wechselwirkenden Teilchen. Die Alfvén-Grenze bestimmt also, ob die Alfvén-Wellen überhaupt Masse transportieren können.

Weiters ist der Wirkungsquerschnitt wesentlich dafür, ob die Alfvén-Wellen die Emissionsmasse überhaupt komprimieren können. Dieser Grenzwert wird im Allgemeinen als unkritisch betrachtet. Die Kompressibilität des eingeschlossenen Mediums hängt von der Alfvén-Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit des eingeschlossenen Mediums ab.

Die Figuren 3a bis 3d zeigen verschiedene Formen des Stromes zur Ansteuerung der Sekundärspule 3, welche an die jeweiligen Anwendungen angepasst werden können.

Simulationen haben gezeigt, dass mit Hilfe des vorliegenden Verfahrens zur Erzeugung von Alfvén-Wellen bzw. mit einer derartigen Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen Emissionsgeschwindigkeiten und Wirkungsgrade erzielt werden können, welche einen Antrieb bzw. eine Quelle für Plasma-Strahlen hoher kinetischer Energie effizient einsetzbar machen. Somit kann ein Antrieb auf Basis der Nutzung des Massentransportes von Alfvén-Wellen eine Bereicherung, insbesondere im Bereich der Raumfahrt, darstellen.

Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild eines auf der vorliegenden Erfindung basierenden Plasmatriebwerkes, umfassend die bereits beschriebene magnetische Düse 1, umfassend die Primärspule 2 und zumindest eine Sekundärspule 3, welche zur Primärspule 2 entgegengesetzt gepolt ist und mit einem oszillierenden elektrischen Signal versorgt wird. Durch die Spulen 2, 3 wird ein Rohr 4 geleitet, welches im Bereich der Primärspule 2 abschließt. Seitlich neben der Sekundärspule 3 befindet sich eine Abschirmplatte 5, welche die Elektronik gegenüber dem von den Spulen 2 und 3 hervorgerufenen Magnetfeld abschirmt. Die Abschirmplatte 5 verhindert eine Expansion der magnetischen Feldlinien des von der Sekundärspule 3 erzeugten Sekundärfeldes.

des in die Gegenrichtung zur Primärspule 2. Die Einrichtung 8 zur Bereitstellung ionisierbarer Materie ist im gegebenen Beispiel durch einen Treibstofftank 9 und ein Steuerventil 10 für die Versorgung einer Ionisationskammer 11 mit Treibstoff aus dem Treibstofftank 9 gebildet. Die Emissionsmasse wird aus dem Treibstofftank 9 über das Steuerventil 10 in die Ionisationskammer 11 geleitet. Der ionisierte Treibstoff strömt als Plasma durch das Rohr 4 in die magnetische Düse 1, welche durch das von der Primärspule 2 erzeugte Primärfeld gebildet wird. Durch die Interaktion mit dem von der oszillierend versorgten Sekundärspule 3 erzeugten Sekundärfeld wird das Primärfeld durch die entgegengesetzte Polarität des Sekundärfeldes periodisch deformiert, wodurch sich die magnetische Düse 1 durch die Wirkung der dabei auftretenden Alfvén-Wellen pulsierend verengt, wodurch sich ein Beschleunigungsmechanismus einstellt. Dieser Beschleunigungsmechanismus wird durch das Vorhandensein der Abschirmplatte 5 unterstützt, da sich das Sekundärfeld nicht in die Gegenrichtung zur Primärspule 2 ausbreiten kann. Die dargestellte Plasmaquelle als Einrichtung 8 zur Bereitstellung ionisierbarer Materie stellt nur eine mögliche Alternative dar. Im Prinzip kann das System auch andere Einrichtungen 8 zur Bereitstellung ionisierbarer Materie enthalten. Die Spulen 2, 3 aber auch andere Komponenten werden mit einer elektrischen Versorgungseinrichtung 6 mit entsprechender elektrischer Energie versorgt. Eine Steuereinrichtung 7, welche sowohl mit der elektrischen Versorgungseinrichtung 6 als auch mit den Spulen 2, 3 und Komponenten der Einrichtung 8 zur Bereitstellung ionisierbarer Materie verbunden ist, dient zur Steuerung der einzelnen Komponenten. Diese Steuereinrichtung 7 kann durch einen Rechner, einen Mikroprozessor oder einen Mikrocontroller gebildet sein.

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, bei der die Einrichtung 8 zur Bereitstellung ionisierbarer Materie aus einem Einlasskanal 12 besteht, durch welchen ionisierbare Flüssigkeit strömen kann. Über ein Steuerventil 13 wird die Durchsatzmasse der durch den Einlasskanal 12 einströmenden Flüssigkeit eingestellt und diese in das Rohr 4 weitergeleitet. Im Zentrum des Rohres 4 befindet sich eine als Kathode polarisierte Elektrode 14 und konzentrisch dazu eine als Anode ausgebildete Elektrode 15 zur Bildung einer Entladungsstrecke. Die Elektroden 14, 15 sind mit der elektrischen Versorgungseinrichtung 6 verbunden. Die Durchsatzmasse strömt durch den Einlasskanal 12 über das Steuerventil 13 in das Rohr 4 der magnetischen Düse 1. Die magnetische Düse 1 wird durch die Wirkung der entstehenden Alfvén-Wellen pulsierend verengt, wodurch ein Beschleunigungsmechanismus resultiert. Über die zwischen den Elektroden 14, 15 gebildete Entladungsstrecke kann die Ionendichte am Eingang der magnetischen Düse 1 erhöht werden. Die einzelnen Komponenten können wiederum durch eine Steuereinrichtung 7 entsprechend gesteuert werden. Eine derartige Magneto-Hydro-Dynamische Variante kann beispielsweise zur Bildung eines Antriebs für U-Boote oder für hydrodynamische Pumpen verwendet werden. Auch hier befindet sich vorteilhafterweise neben der Sekundärspule 3 eine Abschirmplatte 5, welche die Elektronik gegenüber dem Magnetfeld abschirmt und eine Expansion der magnetischen Feldlinien in Gegenrichtung zur Primärspule 2 verhindert.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, wobei ionisierbare Materie bereitgestellt wird, welche ein Magnetfeld durchläuft, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Magnetfeld aus einem magnetischen Primärfeld besteht, welches durch zumindest ein gegenüber dem Primärfeld gegengepoltes, oszillierendes magnetisches Sekundärfeld periodisch deformiert wird, wodurch in der in diesem Magnetfeld befindlichen ionisierbaren Materie Alfvén-Wellen gebildet werden, welche sich mit einer Geschwindigkeit (v_A) ausbreiten, die von der Massendichte der das Magnetfeld durchlaufenden Materie und der Feldstärke des Magnetfeldes abhängt, wobei die Feldstärke des Magnetfeldes größer als die kinetische Energie der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, so dass durch die Alfvén-Wellen Masse transportiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Geschwindigkeit (v_A) kleiner oder gleich der Schallgeschwindigkeit der im Magnetfeld befindlichen Materie ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Geschwindigkeit (v_A) größer der Schallgeschwindigkeit der im Magnetfeld befindlichen Materie ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass das magnetische Primärfeld im Wesentlichen konstant ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass das magnetische Primärfeld periodisch abgeschaltet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass das oszillierende magnetische Sekundärfeld während der Abschaltperioden des Primärfeldes ebenfalls abgeschaltet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Magnetfeld in axialer und/oder radialer Richtung fokussiert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass das magnetische Primärfeld während des eingeschalteten magnetischen Sekundärfeldes in seiner Feldstärke verändert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Wellen phasenverzögert werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Wellen nach dem Rückstoßprinzip einen Schub erzeugen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Wellen einen Teilchenstrahl hoher kinetischer Energie erzeugen.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Alfvén-Wellen einer beschleunigten Masse zusätzliche Impulse zuführen.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass in der im Magnetfeld befindlichen Materie Phononen erzeugt oder verstärkt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass über die im Magnetfeld befindliche Materie Phononen in einem umgebenden Medium erzeugt oder verstärkt werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die im Magnetfeld befindliche Materie komprimiert und thermisch angeregt wird, und dass durch die thermische Anregung der Materie elektromagnetische Strahlung erzeugt oder verstärkt wird.
16. Einrichtung zur Erzeugung von Alfvén-Wellen, mit einer Einrichtung (8) zur Bereitstellung ionisierbarer Materie, einer aus zumindest einer Primärspule (2) zur Erzeugung eines magnetischen Primärfeldes und zumindest einer Sekundärspule (3) zur Erzeugung eines magnetischen Sekundärfeldes aufgebauten magnetischen Düse (1), und einem Kanal (4) zur Führung der ionisierbaren Materie durch die Magnetfelder, und elektrischen Versorgungseinrichtungen (6) für die Spulen (2, 3), *dadurch gekennzeichnet*, dass die zumindest eine Sekundärspule (3) entgegengesetzt der Primärspule (2) gepolt ist und mit einem oszillierenden elektrischen Signal versorgt wird, wodurch das magnetische Primärfeld durch das magnetische Sekundärfeld periodisch deformiert wird und in der in diesem Magnetfeld

befindlichen ionisierbaren Materie Alfvén-Wellen gebildet werden, welche sich mit der Alfvén-Geschwindigkeit (v_A) ausbreiten, wobei die Feldstärke des Magnetfeldes größer als die kinetische Energie der im Magnetfeld befindlichen Materie ist, so dass durch die Alfvén-Wellen Masse transportiert wird.

5

17. Einrichtung nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Spulen (2, 3) flüssigkeitsgekühlt ausgebildet sind.

10

18. Einrichtung nach Anspruch 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Spulen (2, 3) supraleitend ausgebildet sind.

15

19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch einen Behälter mit ionisierbarem Gas und eine Injektoreinrichtung zur Einbringung des ionisierbaren Gases in das Magnetfeld gebildet ist.

20

20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch eine Quelle zur Zuführung elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gebildet ist.

25

21. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 20, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Einrichtung zur Phasenverzögerung der erzeugten Alfvén-Wellen vorgesehen ist.

22. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 21, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Einrichtung zur Fokussierung des Magnetfeldes vorgesehen ist.

30

23. Einrichtung nach Anspruch 22, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Fokussierungseinrichtung durch die Primärspule (2) und allenfalls Sekundärspule (3) mit einem Magnetkern aus verschiedenen Materialien, beispielsweise auf Basis eines FFAG(Fixed Field Alternating Gradient)-Kerns gebildet ist,

24. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 23, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine magnetische Abschirmung vorgesehen ist.

35

25. Einrichtung nach Anspruch 24, *dadurch gekennzeichnet*, dass die magnetische Abschirmung eine an der Austrittsrichtung der Alfvén-Wellen gegenüberliegenden Seite des Magnetfeldes angeordnete Abschirmplatte (5) beinhaltet.

40

26. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 25, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Steuereinrichtung (7) vorgesehen ist, welche mit den elektrischen Versorgungseinrichtungen für die Spulen (2, 3) verbunden ist.

45

27. Einrichtung nach Anspruch 26, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Steuereinrichtung durch einen Rechner gebildet ist.

28. Triebwerk für ein Fahrzeug, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 27 vorgesehen ist.

50

29. Triebwerk nach Anspruch 28, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch einen Plasma-Generator gebildet ist und mit Hilfe der Alfvén-Wellen nach dem Rückstoßprinzip ein Schub erzeugt wird.

55

30. Triebwerk nach Anspruch 28, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Bereitstellung ionisierbarer Materie durch eine Einrichtung zur Zuführung elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gebildet ist.

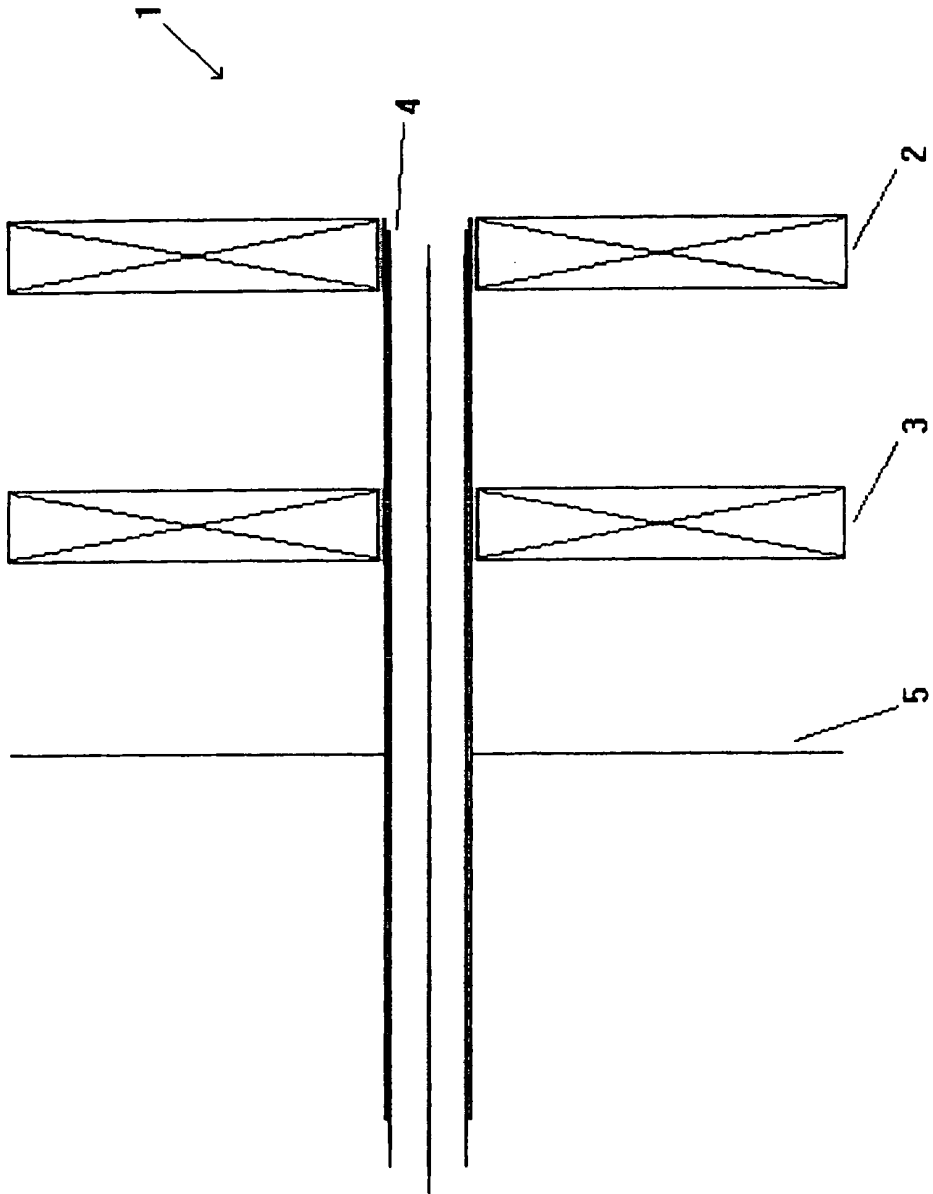


Fig. 1

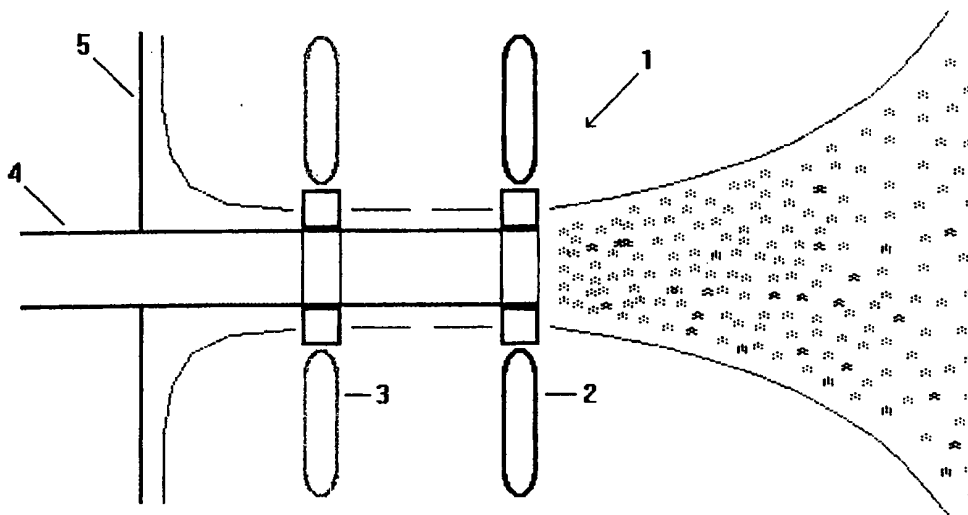


Fig. 2a

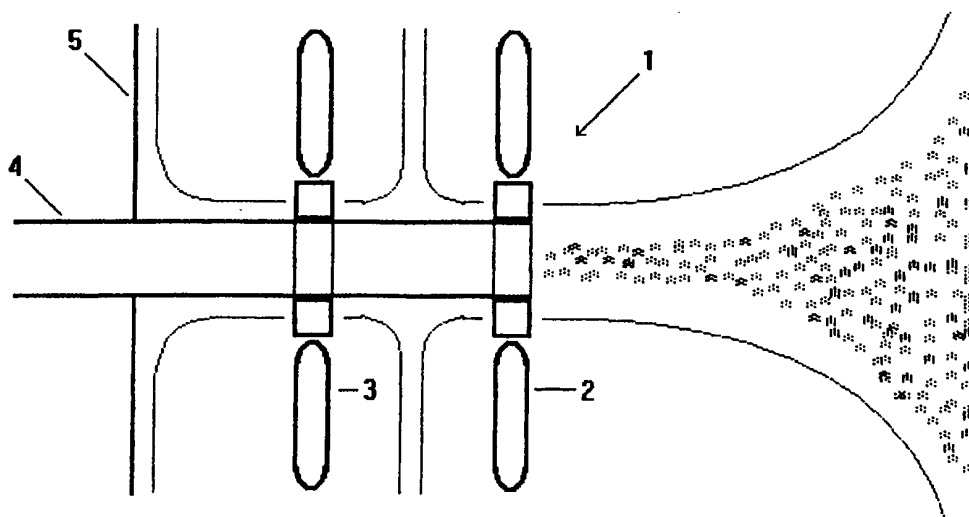


Fig. 2b

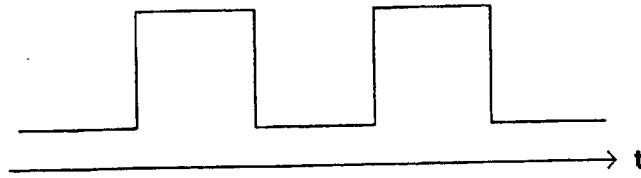


Fig. 3a



Fig. 3b

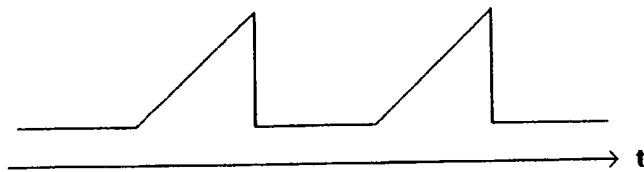


Fig. 3c

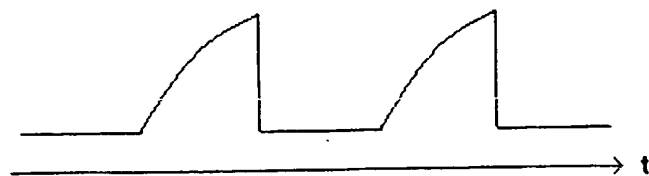


Fig. 3d

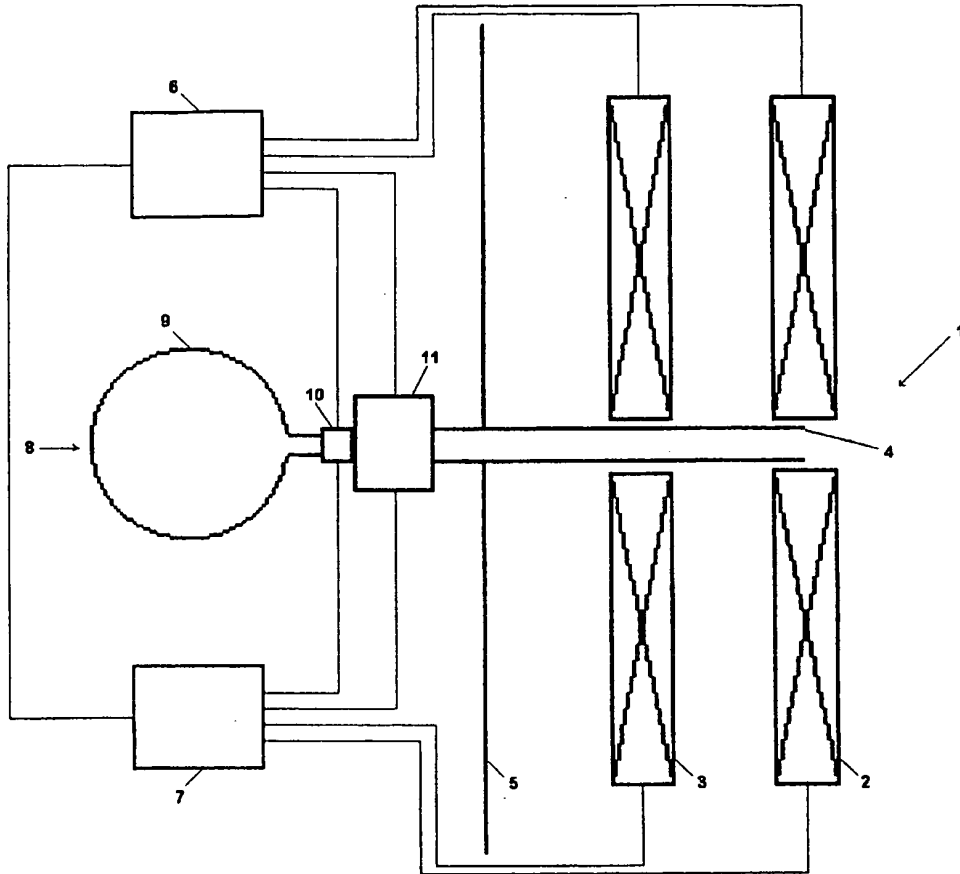


Fig. 4

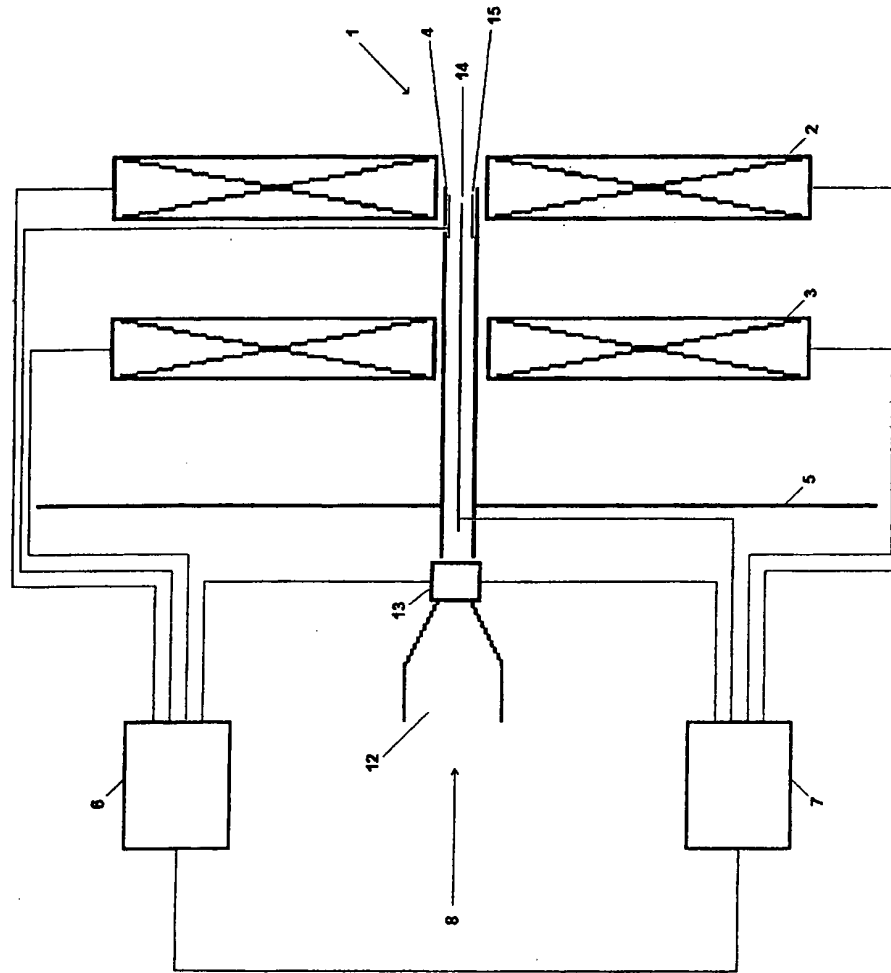


Fig. 5