



(10) **DE 10 2016 013 909 A1** 2018.05.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 013 909.9**

(22) Anmeldetag: **22.11.2016**

(43) Offenlegungstag: **24.05.2018**

(51) Int Cl.: **F03H 3/00 (2006.01)**  
**B64G 1/40 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Hahn, Hans-Walter, 64297 Darmstadt, DE;**  
**Oppermann, Hans, 60437 Frankfurt, DE**

(72) Erfinder:

**Hahn, Hans-Walter, 64297 Darmstadt, DE;**  
**Oppermann, Hans, 60437 Frankfurt, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

<b>GB</b>	<b>2 334 761</b>	<b>A</b>
<b>GB</b>	<b>2 399 601</b>	<b>A</b>
<b>GB</b>	<b>2 493 361</b>	<b>A</b>
<b>GB</b>	<b>2 229 865</b>	<b>A</b>
<b>GB</b>	<b>2 537 119</b>	<b>A</b>

**CHOUEIRI, Edgar Y.: Das Zeitalter der elektrischen Raketen. In: Spektrum der Wissenschaft, 2010, H. 1, S. 32-39. - ISSN 0170-2971**

**M. Mansuripur: Radiation pressure and the linear momentum of the electromagnetic field. In: OPTICS EXPRESS, Vol. 12, No. 22, 2004, S.5375-5401**

**O.A. Capeloto et al.: Quantitative assessment of radiation force effect at the dielectric air-liquid interface. In: Scientific Reports 6, 20515; doi: 10.1038/srep20515 (09.02.2016)**

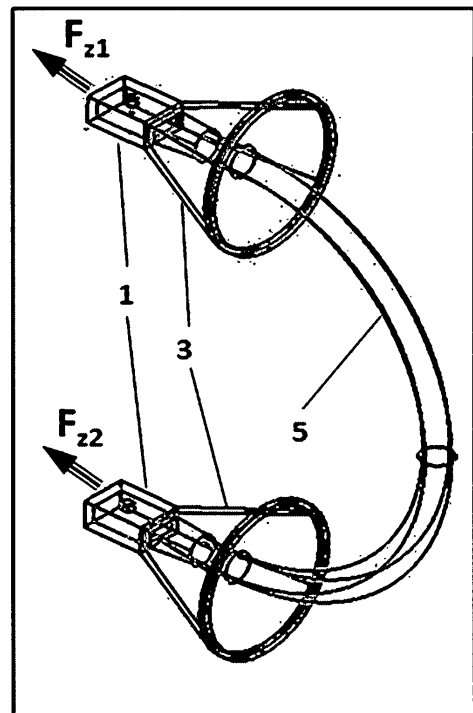
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **EM Resonator Wave Propulsion Electromagnetic**

(57) Zusammenfassung: Eine hochfrequente elektrische Energiequelle wird über eine anpassungs-optimierte Hohlleiter-Ankopplung an ein Resonatorsystem angeschlossen. Dieses Resonatorsystem besteht aus zwei Hohlleiter-Endstücken mit angeschlossenen Hornantennen, sowie einem dielektrischen Wellenleiter, welcher auch den gesamten Innenraum der Hohlleiter-Endstücke ausfüllt (siehe **Fig. 1**). Die Signalfrequenz wird dabei durch die für die Gesamtstruktur typischen Resonanzfrequenzen (Eigenmoden) bestimmt, wodurch hohe Feldstärken in dem Resonatorsystem sowie hohe Wandströme in den metallischen Wänden auftreten. Die Oberflächenströme auf der Innenseite der Rückwand jedes Hohlleiter-Endstückes und die dort auftretenden tangentialen magnetischen Feldstärken erzeugen eine Lorentz-Kraft nach dem physikalischen Gesetz

$d\vec{F}_z = \vec{J}_F(x,y) \times \mu \vec{H}_t(x,y)$  pro Flächenelement  $dA$  der Wand. Die beiden Kräfte auf die Innenseite der Rückwand jedes Hohlleiter-Endstückes zeigen in die gleiche Richtung und addieren sich zu einer Gesamtkraft, welche auf die Struktur bzw. das Resonatorsystem wirkt und somit gemäß der Newtonschen Bewegungs-Gleichung  $\vec{F} = m \cdot \vec{b}$  beschleunigt.



## Beschreibung

### Problem

**[0001]** Um Satelliten, Raumsonden und andere Objekte im Weltraum anzutreiben bzw. zu stabilisieren (Lageregelung), ist es erforderlich, entsprechende Kräfte/Kraftimpulse zu generieren, die im Raum auf diese Körper wirken. Hierzu kommen momentan Technologien wie chemische Strahltriebwerke, elektromagnetische Ionen-/Plasmatriebwerke sowie Drehmoment-/Schwungräder zum Einsatz. Allen gemeinsam sind die relativ hohe Komplexität und Kosten sowie der zur Kraft/Impulserzeugung notwendige Vorrat bzw. Masse des Energieträgers, welche die Gesamtmasse (Startgewicht) der Raumsonden wesentlich erhöht. Die zeitliche Dauer der Krafterzeugung ist stark begrenzt.

**[0002]** Eine zeitlich unbegrenzte und nur auf Zufuhr elektrischer Energie angewiesene Antriebskraft-Erzeugung im Raum ist heute noch nicht möglich.

**[0003]** In der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ [3] wird der Stand der Technik von Ionen- und Plasmaantrieben aufgezeigt, welche je nach Auslegung Schub im Bereich von 1N bis 25N erreichen. In der gleichen Größenordnung liegen auch die Drehmomente der Schwungräder für die Lagestabilisierung bzw. kleine Kurskorrekturen von Satelliten. Dies erlaubt nur einen stark begrenzten Einsatz im Weltraum.

**[0004]** Nachfolgend wird ein Antrieb mit elektromagnetischen Wellen und basierend auf einer reinen elektrischen Energieversorgung dargestellt, welcher schon im Bereich von einigen Watt elektrischer Leistung Schubkräfte in Größenordnung der Plasmatriebwerke erreicht.

**[0005]** Durch den sehr einfachen und kostengünstigen Einzelmodul-Aufbau lassen sich beliebig skalierbare, modulare Strukturen realisieren, wodurch große Antriebskräfte bei geringstem Gewicht erzielt werden können.

### Lösung des Problems

**[0006]** Ein von einem Hochfrequenz-Generator erzeugtes Signal wird über eine anpassungs-optimierte Hohlleiter-Ankopplung (4) (siehe Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4) in ein Resonatorsystem eingespeist. Die Signalfrequenz wird dabei durch die für die Gesamt-Struktur typischen Resonanzfrequenzen (Eigenmoden) bestimmt.

**[0007]** Dadurch treten hohe Feldstärken in dem gesamten Resonatorsystem sowie hohe Wandströme in den metallischen Wänden auf.

**[0008]** Dieses Resonatorsystem (siehe Fig. 1) besteht aus zwei metallischen (Rechteck-) Hohlleiter-Endstücken (1), einer mit den jeweiligen Hohlleiter-Endstücken verbundenen Hornantenne (3), sowie einem dielektrischen Wellenleiter (5), welcher auch den gesamten Innenraum der Hohlleiter-Endstücke ausfüllt (siehe Fig. 2).

**[0009]** Der dielektrischen Wellenleiter (5) besitzt eine hohe Dielektrizitätszahl mit  $\epsilon_r > 1$ , um Abstrahlungsverluste durch schwach geführte Moden zu minimieren. An der Innenwand des dielektrischen Wellenleiter (5) tritt daher überwiegend Totalreflexion für alle ausbreitungsfähigen Moden auf.

**[0010]** Verluste durch Abstrahlung der Leckwellen und Oberflächenwellen auf dem dielektrischen Wellenleiter (5) können durch Auswahl geeigneter Dielektrika (z.B. Keramik etc.) sowie durch Optimierung der Länge und Radius des dielektrischen Wellenleiters (5) sehr klein gehalten werden [6].

**[0011]** In den Hohlleiter-Endstücken (1) treten entsprechend den Hohlleiter-Abmessungen und der Frequenz des eingespeisten Hochfrequenz-Signals die bekannten und theoretisch zu erwartenden  $H_{nmp}$  bzw.  $E_{nmp}$ -Resonanzen (Eigenmoden) auf. An einem praktischen Modell wurden beispielhaft Berechnungen für eine  $H_{102}$ -Resonanz durchgeführt (1) (siehe Fig. 1, Fig. 2).

**[0012]** Auf der Innenseite der Rückwand jedes Hohlleiter-Endstückes (1) treten dem jeweiligen Resonanztyp entsprechend Oberflächenströme auf, wobei die ortsabhängige Oberflächenstromdichte mit der dazugehörigen tangentialen magnetischen Feldstärke verknüpft ist. Es gilt mathematisch exakt:

$$\vec{J}_F = \vec{n} \times \vec{H}_t$$

(Gl.1,1)

**[0013]** Das tangentielle Magnetfeld  $\vec{H}_t$  liegt dabei vor der Wand und  $\vec{n}$  ist der Normalenvektor, der aus der Wand herauszeigt.

**[0014]** Für sehr gut leitende Hohlleiterwände ist die tangentielle elektrische Feldstärke auf der Wand näherungsweise gleich Null, so daß sich die Lorentz-Kraft-Dichte (= Lorentz-Kraft/Fläche) auf der Wand (**2**) (siehe **Fig. 4**) in guter Näherung berechnen läßt mit:

$$d\vec{F}_z = \vec{J}_F(x, y) \times \mu \vec{H}_t(x, y) \quad (\text{Gl.1,2})$$

**[0015]** Die gesamte Kraft auf die Wand erhält man durch Integration über die Wandfläche A:

$$\vec{F}_z = \int_A d\vec{F}_z dA \quad (\text{Gl.1,3})$$

**[0016]** Aufgrund der Vektor-Produkt Operationen in Gl.1,1 und Gl. 1,2) ist die Richtung des Kraftvektors immer von der stromführenden (Innen-)Wand nach außen gerichtet, also in negativer Richtung des Normalenvektors  $\vec{n}$ .

**[0017]** Damit wirkt auf jedes Hohlleiter-Endstück (**1**) eine Kraft in die gleiche Richtung (siehe **Fig. 4, Fig. 1**).

**[0018]** In dem dielektrischen Wellenleiter (**5**) treten keine Oberflächenströme auf, deswegen werden auf diese gesamte Struktur auch keine Kräfte ausgeübt.

**[0019]** Die Kräfte auf die restlichen Wandflächen (**2**) der Hohlleiter-Endstücke (**1**) sowie auf die metallischen Flächen der Hornantennen (**3**) sind auch alle nach außen gerichtet und heben sich aufgrund der Symmetrien jeweils auf.

**[0020]** Auf die gesamte Struktur wirkt eine resultierende Kraft von  $F_z = F_{z1} + F_{z2}$  (Gl.1,4) in negative z-Richtung (siehe **Fig. 1**, Koordinaten).

**[0021]** Da nur im oberen Hohlleiter-Endstück die Ankopplung bzw. ein Leitungsübergang zur Einspeisung der HF-Energie vorhanden ist, sind die Kräfte  $F_{z1}$  und  $F_{z2}$  unterschiedlich groß.

**[0022]** Eine Berechnung mittels eines Programmes für finite elektromagnetische Feldsimulation ergab beispielhaft für eine  $H_{10p}$ -Resonanz ( $H_{102}$ -Resonanz in den Hohlleiter-Endstücken) folgende Werte bei einem Energieinhalt von  $1J = 1Ws$  in der gesamten Resonator-Struktur (= Hohlleiter + dielektrischer Wellenleiter):

$$\begin{aligned} F_{z1} &= 0,27N, F_{z2} = 0,34N \\ \Rightarrow F_z &= F_{z1} + F_{z2} = 0,61N \end{aligned} \quad (\text{Gl.1,5})$$

**[0023]** Durch Einspeisung einer größeren HF-Signal Leistung an der anpassungs-optimierten Hohlleiter-Ankopplung (**4**) erhöht sich die im Resonatorsystem gespeicherte Energie und somit die Kraft  $F_z$  gleichermaßen in einem linearen Zusammenhang.

**[0024]** Die Abmessungen des Resonatorsystems sind aufgrund bekannter Beziehungen von der Betriebsfrequenz abhängig [1] [2] [4] [5] und können daher bei hohen Frequenzen sehr klein gehalten werden. Damit sind auch modulare und in der Leistung skalierbare Systeme bestehend aus vielen Einzel- Resonatorsystemen gem. **Fig. 1** realisierbar (Array-Strukturen), womit sehr hohe Antriebskräfte erzielt werden können.

Referenzen

- [1] G. Piefke. Feldtheorie I, II. Bibliographisches Institut Mannheim., 1971-77. Hochschultaschenbücher Band 771, 773, 882. Vergriffen (Bibliothek).
- [2] O. Zinke and H. Brunswig. Lehrbuch der Hochfrequenztechnik. Springer Verlag Berlin, 1995. Band 1: Hochfrequenzfilter, Leitungen, Antennen.
- [3] Journal „Spektrum der Wissenschaft“. Ausgabe Januar 2010, Seite 33-39
- [4] T. Zwick. Antennen und Antennensysteme. Universität Karlsruhe, Skriptum zur Vorlesung Höchsthfrequenztechnik, Auflage 2.12, 2008.
- [5] T. Zwick. Hochfrequenztechnik. Universität Karlsruhe, Skriptum zur Vorlesung Höchsthfrequenztechnik, Auflage 2.12, 2008.
- [6] J. Richter. Dielektrische Weitwinkellinsen und Speiseanordnungen für Focal Plane Array Antennen bildgebender Millimeterwellensysteme, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, September 2006.

## ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### Zitierte Nicht-Patentliteratur

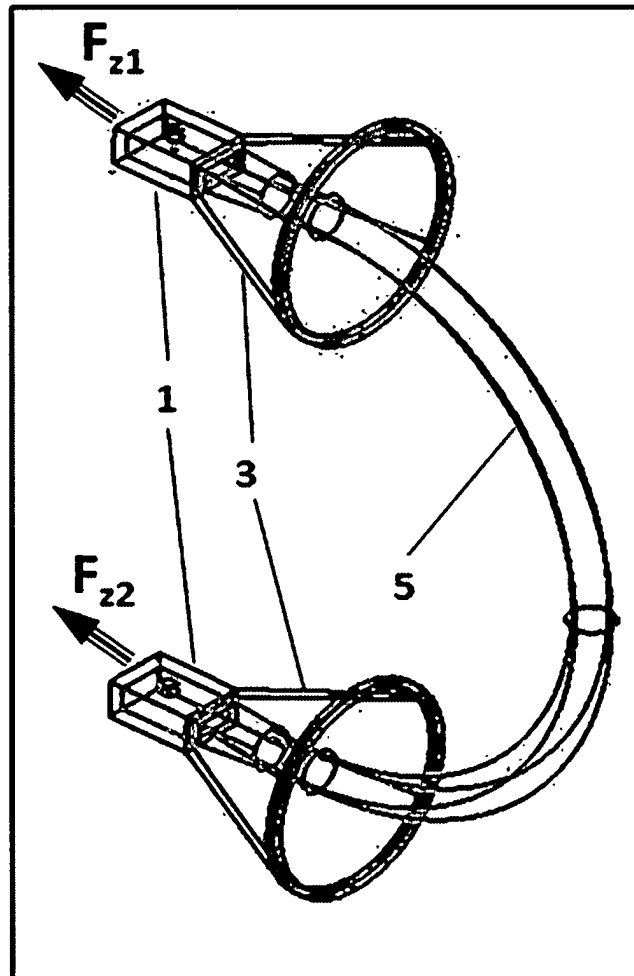
- G. Piefke. Feldtheorie I, II. Bibliographisches Institut Mannheim., 1971-77. Hochschultaschenbücher Band 771, 773, 882. Vergriffen (Bibliothek) [0024]
- O. Zinke and H. Brunswig. Lehrbuch der Hochfrequenztechnik. Springer Verlag Berlin, 1995. Band 1: Hochfrequenzfilter, Leitungen, Antennen [0024]
- Journal „Spektrum der Wissenschaft“. Ausgabe Januar 2010, Seite 33-39 [0024]
- T. Zwick. Antennen und Antennensysteme. Universität Karlsruhe, Skriptum zur Vorlesung Höchsthfrequenztechnik, Auflage 2.12, 2008 [0024]
- T. Zwick. Hochfrequenztechnik. Universität Karlsruhe, Skriptum zur Vorlesung Höchsthfrequenztechnik, Auflage 2.12, 2008 [0024]
- J. Richter. Dielektrische Weitwinkellinsen und Speiseanordnungen für Focal Plane Array Antennen bildgebender Millimeterwellensysteme, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, September 2006 [0024]

**Patentansprüche**

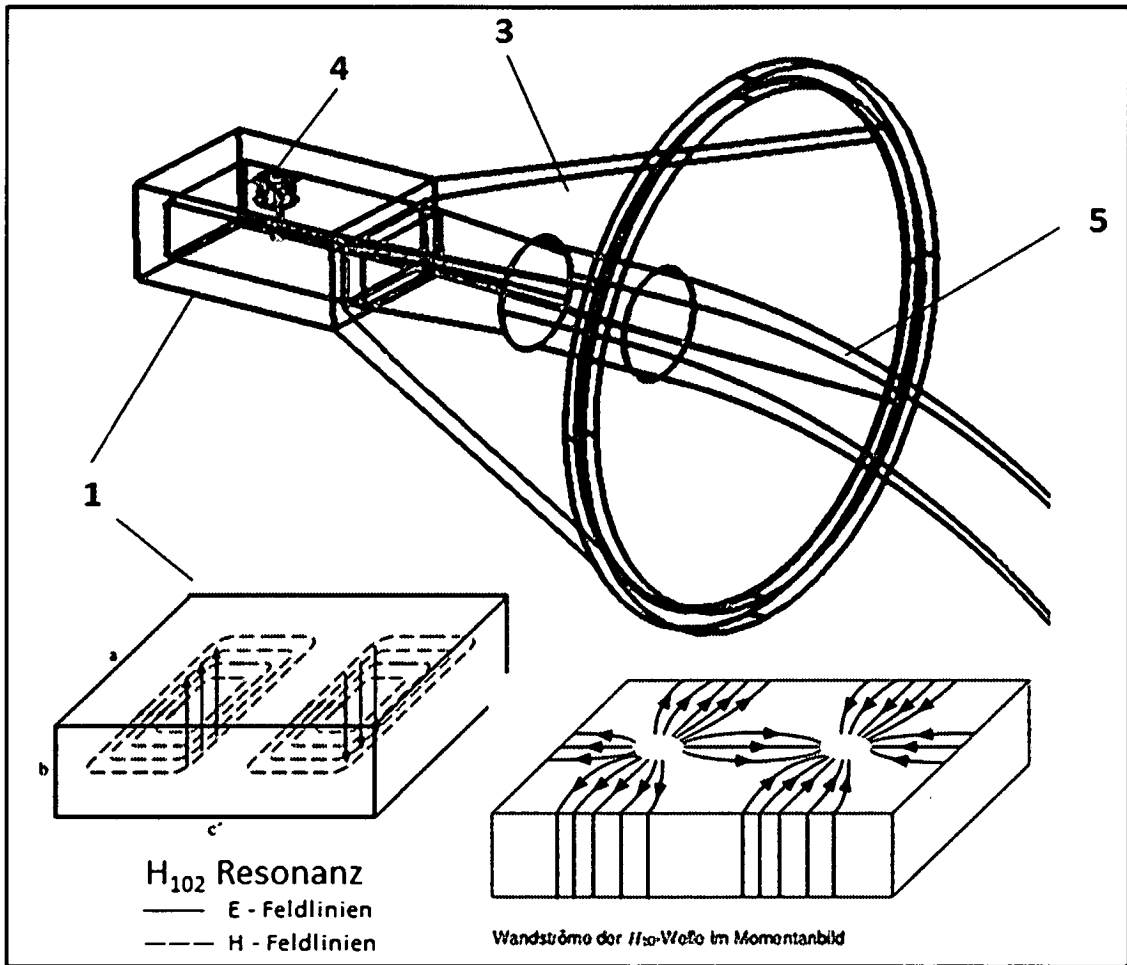
1. Anspruch gem. einer Struktur eines elektromagnetischen Resonatorsystems gem. **Fig. 1**.
2. Elektromagnetischer (Raum-)Antrieb, **dadurch gekennzeichnet**, daß gem. **Fig. 1** ein hochfrequentes, elektrisches Energiesignal über eine anpassungs-optimierte Hohlleiter-Ankopplung (4) (siehe **Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4**) in ein Resonatorsystem eingespeist wird, welches aus zwei metallischen (Rechteck-) Hohlleiter-Endstücken (1), einer mit den jeweiligen Hohlleiter-Endstücken verbundenen Hornantenne (3), sowie einem dielektrischen Wellenleiter (5) besteht, welcher auch den gesamten Innenraum der Hohlleiter-Endstücke ausfüllt (siehe **Fig. 2**).
3. Elektromagnetischer (Raum-)Antrieb, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Hohlleiter-Endstücken (1) entsprechend den Hohlleiter-Abmessungen und der Frequenz des eingespeisten Hochfrequenz-Signals die bekannten und theoretisch zu erwartenden  $H_{nmp}$  bzw.  $E_{nmp}$ -Resonanzen (Eigenmoden) auftreten, wobei die dem jeweiligen Resonanztyp entsprechenden Oberflächenströme mit den dazugehörigen tangentialen magnetischen Feldstärken Kräfte erzeugen, welche auf jedes Hohlleiter-Endstück (1) jeweils in die gleiche Richtung wirken (siehe **Fig. 4, Fig. 1**) bedingt durch den geometrischen Aufbau der Struktur gem. **Fig. 1**.
4. Elektromagnetischer (Raum-)Antrieb, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die komplette Struktur des Resonatorsystems eine resultierende Gesamtkraft in eine Richtung wirkt, welche die Struktur in Richtung der Kraft beschleunigt. Die Struktur des Resonatorsystems wirkt somit wie ein Strahltriebwerk, aber ohne den Umsatz bzw. den Ausstoß von Masse-Teilchen oder Materie.
5. Elektromagnetischer (Raum-)Antrieb nach Anspruch 1 und **dadurch gekennzeichnet**, daß durch Einspeisung einer größeren HF-Signal Leistung an der anpassungs-optimierten Hohlleiter-Ankopplung (4) sich die im Resonatorsystem gespeicherte Energie und somit die Kraft  $F_z$  gleichermaßen in einem linearen Zusammenhang erhöht.
6. Elektromagnetischer (Raum-)Antrieb nach Anspruch 1 und **dadurch gekennzeichnet**, daß auch modulare und in der Leistung skalierbare Systeme bestehend aus vielen Einzel-Resonatorsystemen gem. **Fig. 1** realisierbar sind (Array-Strukturen), womit sehr hohe Antriebskräfte erzielt werden können.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

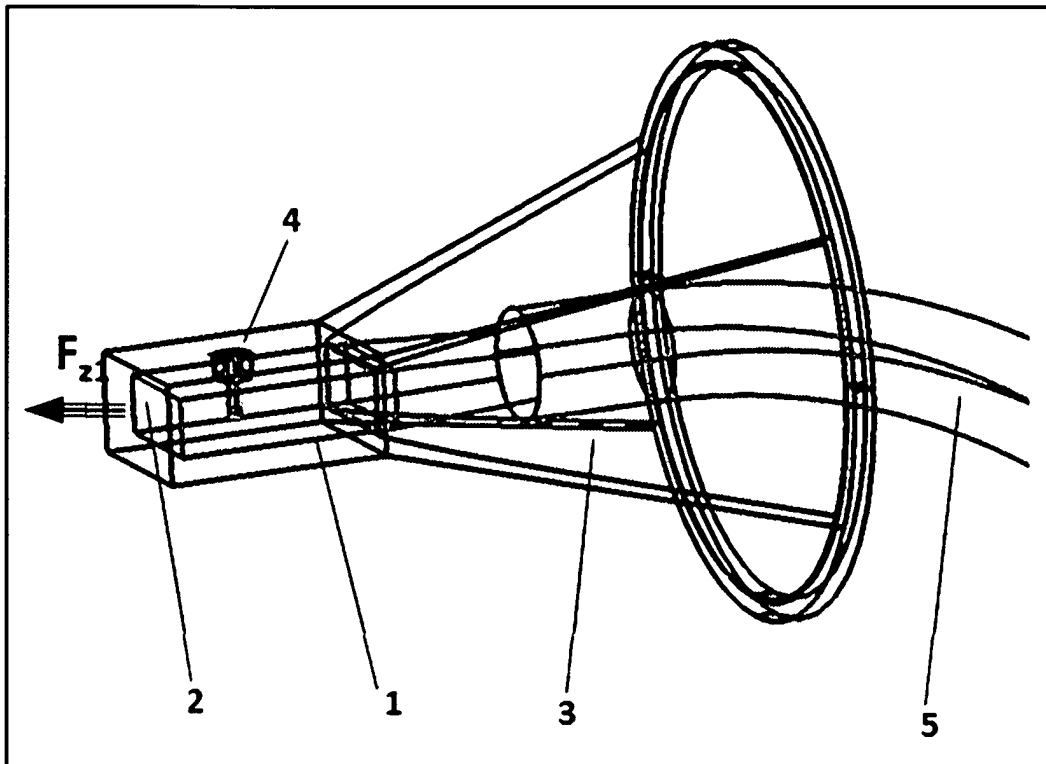
Anhängende Zeichnungen



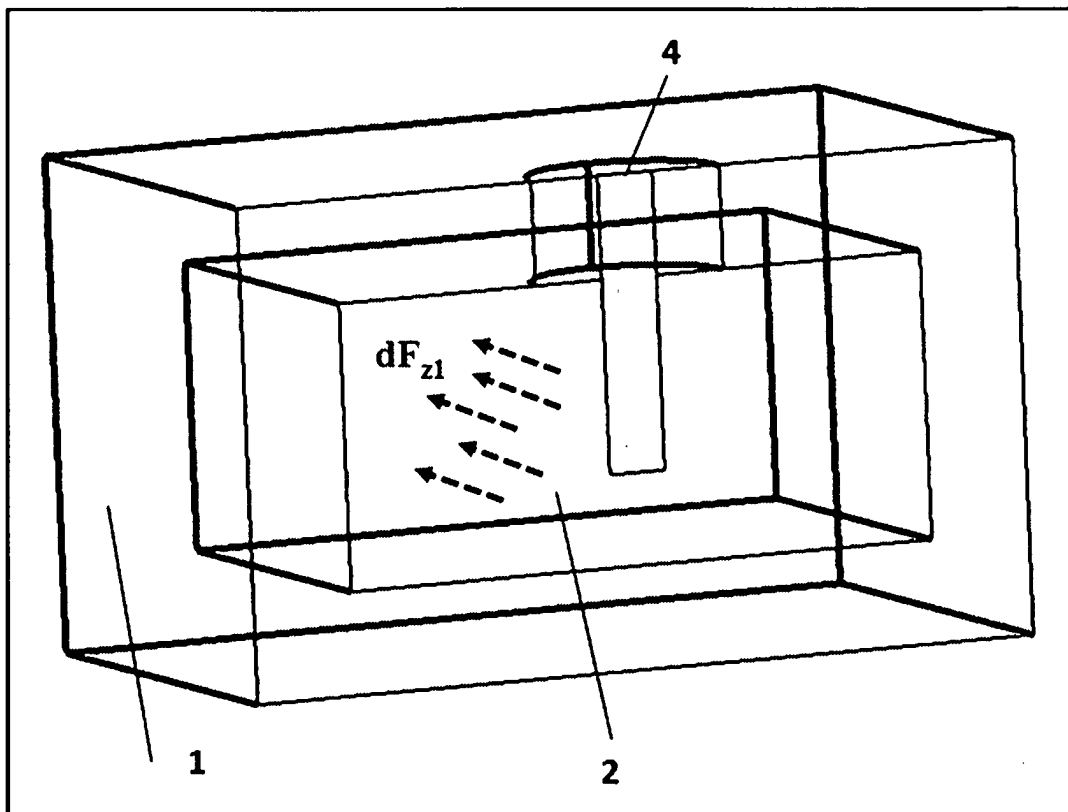
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4