



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 101 04 698 B4 2010.04.01**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 04 698.7**  
 (22) Anmeldetag: **02.02.2001**  
 (43) Offenlegungstag: **08.08.2002**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **01.04.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F16C 32/04 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**ALSTOM Technology Ltd., Baden, CH**

(74) Vertreter:  
**Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München**

(72) Erfinder:  
**Lorenzen, Hans Werner, Prof. Dr., 81247 München, DE; Schafer, Daniel, Niederönz, CG; Zickermann, Richard, 80807 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

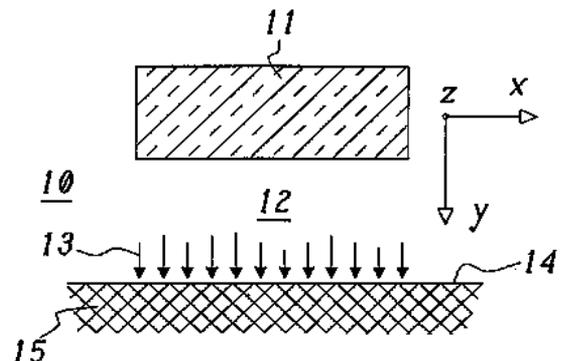
US	55 57 155	A
US	54 48 213	A
US	40 72 370	A
EP	08 29 655	A1
WO	93/16 294	A1

**JP Patent Abstracts of Japan: 08177856 A**  
**11315836 A**

(54) Bezeichnung: **Magnetisches Traglager sowie Verfahren zum Herstellen eines solchen Traglagers**

(57) Hauptanspruch: Magnetisches Traglager (19), umfassend eine supraleitende Schicht (15) mit einer Oberfläche (14) sowie einen aktiven Magneten (11), welcher durch einen Zwischenraum (12) getrennt zur Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) angeordnet ist, wobei zur Homogenisierung des vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feldes (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) im Zwischenraum (12) zwischen dem aktiven Magneten (11) und der Oberfläche (14) eine das magnetische Feld beeinflussende Homogenisierungsschicht (17) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsschicht

- i) eine ortsabhängige relative magnetische Permeabilität  $\mu(x, y, z)$  aufweist,
- ii) mit dem aktiven Magneten (11) einen ersten Luftspalt (16) begrenzt, der eine ortsabhängige Dicke  $d1(x, z)$  aufweist,
- iii) mit der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) einen zweiten Luftspalt (18) begrenzt, der eine ortsabhängige Dicke  $d3(x, z)$  aufweist, und/oder
- iv) eine ortsabhängige Dicke  $d2(x, z)$  aufweist, so dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten...



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der magnetischen Lagerung. Sie betrifft ein magnetisches Traglager gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs.

**[0002]** Ein solches Traglager ist z. B. aus der Druckschrift US 5,557,155 A bekannt.

**[0003]** Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Traglagers.

## STAND DER TECHNIK

**[0004]** In der Vergangenheit sind zur berührungsfreien magnetischen Lagerung von bewegten, insbesondere rotierenden Teilen die unterschiedlichsten Lösungsvorschläge gemacht worden. Eine Standardkonfiguration eines solchen magnetischen Traglagers **10** – wie sie in **Fig. 1** dargestellt ist – umfasst einen oder mehrere aktive Magneten **11**, insbesondere Permanentmagneten, die in einem vorbestimmten Abstand, d. h., mit einem Zwischenraum **12**, über der Oberfläche **14** einer supraleitenden Schicht **15** gehalten werden. Die aktiven Magnete sind dabei in der Regel dem zu lagernden Teil zugeordnet. Das vom aktiven Magneten **11** erzeugte magnetische Feld  $B(x, y, z)$  wird aus der supraleitenden Schicht **15** verdrängt (Supraleiter 1. Art) oder vermag teilweise einzudringen (Supraleiter 2. Art). Die Folge ist eine abschwächende Wirkung auf den aktiven Magneten **11**, in dem eine mechanische Spannung  $\sigma(x, y, z)$  in vertikaler Richtung entsteht.

**[0005]** Beim magnetischen Traglager **10** kommt es darauf an, dass das magnetische Feld  $B_{SL}(x, y, z)$  des aktiven Magneten **11** an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** möglichst homogen verläuft, damit bei einer Bewegung des aktiven Magneten **11** relativ zur supraleitenden Schicht **15** ein ruhiger Lauf gewährleistet ist und keine störenden Rastmomente zu überwinden sind. Durch die magnetischen Eigenschaften des aktiven Magneten **11** ergibt sich an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** jedoch eine Verteilung  $B_{SL}(x, y, z)$  des magnetischen Feldes **13**, die aus unterschiedlichen Gründen meist inhomogen ist (in **Fig. 1** angedeutet durch die unterschiedlich langen Pfeile).

**[0006]** Es ist bereits in der eingangs genannten Druckschrift wie auch in der US 4,072,370 A – die sich mit einer magnetischen Lagerung ohne Supraleiter beschäftigt – darauf hingewiesen worden, dass Inhomogenitäten in der Verteilung der magnetischen Induktion im Lager zu Verlusten führen und aufgrund von Rastmomenten die Laufruhe des gelagerten Teils beeinträchtigen können.

**[0007]** In der US 4,072,370 A wird zur Homogenisierung der Verteilung des magnetischen Feldes vorgeschlagen, die aktiven Magnete in geeigneter Weise aus einer Kombination von radialen und axialen Teilmagneten sowie Eisenringen zusammensetzen. In der US 5,557,155 A wird demgegenüber u. a. vorgeschlagen, den Supraleiter, der dem aktiven Magneten gegenüberliegt, nach Art einer Mauer aus einzelnen (überlappenden) Bausteinen aufzubauen, um Inhomogenitäten im magnetischen Feld zu verringern oder ganz zu beseitigen. In beiden Fällen besteht der wesentliche Nachteil darin, dass die mit Permanentmagneten bzw. Supraleitern ausgestatteten Lagerstrukturen nur mit hohem Aufwand durch Zusammenstellung aus einzelnen Teilelementen so ausgebildet und angepasst werden können, dass die magnetische Feldverteilung homogenisiert wird. Dies gilt insbesondere dann, wenn als Supraleiter Hochtemperatursupraleiter verwendet werden.

**[0008]** Der WO 199316294 A1 ist ein supraleitendes Magnetlager zu entnehmen, das zur Drehübertragung zwischen zwei Komponenten dient und eine, beabstandet zu einem Supraleiter angeordnete Ringmagnetanordnung vorsieht. Um insbesondere bei leistungsstarken Ringmagnetanordnungen auftretende Feldinhomogenitäten im Bereich des Supraleiters zu vermeiden, ist an der dem Supraleiter zugewandten Ringmagnetoberfläche ein das Magnetfeld streuendes, scheibenförmig ausgebildetes Mittel angebracht.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein magnetisches Traglager zu schaffen, welches ohne Eingriff in die magnetischen bzw. supraleitenden Lagerstrukturen eine vereinfachte und zugleich sehr präzise Homogenisierung der Verteilung des magnetischen Feldes ermöglicht, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Traglagers anzugeben.

**[0010]** Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 5 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, zur Homogenisierung eine separate Homogenisierungsschicht zwischen dem aktiven Magneten und der supraleitenden Schicht vorzusehen, welche die Verteilung des magnetischen Feldes ortsabhängig beeinflusst, und die für sich genommen bearbeitet bzw. an die Verhältnisse so angepasst werden kann, dass homogene Feldverhältnisse erreicht werden. Da eine von den übrigen Lagerstrukturen unabhängige Bearbeitung der Homogenisierungsschicht ausreicht, kann ein solches Traglager besonders einfach dadurch hergestellt werden, dass in einem ersten Schritt die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche der supraleitenden Schicht ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht nach Massgabe der gemessenen

Verteilung so ausgestaltet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

**[0011]** Der aktive Magnet umfasst dabei vorzugsweise wenigstens einen Permanentmagneten. Es ist aber auch denkbar, dass der aktive Magnet einen Elektromagneten umfasst.

**[0012]** Das erfindungsgemässe magnetische Traglager eignet sich wegen seiner hervorragenden Eigenschaften besonders gut für den Einsatz als Traglager von Wasserkraftgeneratoren. Während bis anhin Traglager mit Durchmessern von weniger als 300 mm und bescheidenen Tragkräften von einigen kN bekannt sind, lassen sich mit der Erfindung für die Anwendung in Wasserkraftgeneratoren Traglager mit einem Durchmesser von mehr als einem Meter und Tragkräften in der Grössenordnung von 100 t bis zu 6000 t verwirklichen.

**[0013]** Gemäss einer ersten Ausgestaltung der Erfindung weist die Homogenisierungsschicht eine ortsabhängige relative magnetische Permeabilität  $\mu$  aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden. Dies kann beispielsweise durch eine ortsabhängige Dichte oder Materialzusammensetzung der Homogenisierungsschicht erreicht werden. Eine solche ortsabhängige magnetische Permeabilität lässt sich besonders einfach dadurch erreichen, dass die Homogenisierungsschicht aus unterschiedlichen horizontalen und/oder vertikalen Teilschichten aufgebaut ist.

**[0014]** Eine andere Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Homogenisierungsschicht und dem aktiven Magneten ein erster Luftspalt vorhanden ist, und dass der erste Luftspalt eine ortsabhängige Dicke  $d_1$  aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

**[0015]** Ebenso ist es denkbar, dass zwischen der Homogenisierungsschicht und der Oberfläche der supraleitenden Schicht ein zweiter Luftspalt vorhanden ist, und dass der zweite Luftspalt eine ortsabhängige Dicke  $d_3$  aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

**[0016]** Weiterhin ist es möglich, dass die Homogenisierungsschicht eine ortsabhängige Dicke  $d_2$  aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an

der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

**[0017]** Schliesslich können die verschiedenen Möglichkeiten der ortsabhängigen Ausgestaltung der Homogenisierungsschicht auch in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden.

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

**[0018]** Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

**[0019]** **Fig. 1** in einer schematisierten Darstellung den Aufbau eines herkömmlichen magnetischen Traglagers mit einem aktiven Magneten und einer gegenüberliegenden supraleitenden Schicht;

**[0020]** **Fig. 2** in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein erstes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer Homogenisierungsschicht mit ortsabhängiger relativer Permeabilität;

**[0021]** **Fig. 3** in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein zweites bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer aus unterschiedlichen horizontalen Teilschichten aufgebauten Homogenisierungsschicht;

**[0022]** **Fig. 4** in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein drittes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer aus unterschiedlichen vertikalen Teilschichten aufgebauten Homogenisierungsschicht;

**[0023]** **Fig. 5** in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein viertes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer ortsabhängigen Dicke des Luftspaltes zwischen dem aktiven Magneten und der Homogenisierungsschicht; und

**[0024]** **Fig. 6** in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein fünftes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer ortsabhängigen Dicke des Luftspaltes zwischen der supraleitenden Schicht und der Homogenisierungsschicht.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0025]** In **Fig. 2** ist in einer zu **Fig. 1** vergleichbaren Darstellung ein erstes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager **19** nach der Erfindung wiedergegeben. Die in **Fig. 2** dargestellte Konfiguration ist zugleich die auch für die weiteren Ausführungsbeispiele gültige Grundkonfiguration. In

ihr ist im Zwischenraum zwischen dem aktiven Magneten 11 und der supraleitenden Schicht 15 eine Homogenisierungsschicht 17 der Dicke  $d_2$  angeordnet. Im allgemeinen Fall bildet sich zwischen der Homogenisierungsschicht 17 und dem aktiven Magneten 11 ein erster Luftspalt 16 der Dicke  $d_1$ , und zwischen der Homogenisierungsschicht 17 und der supraleitenden Schicht 15 ein zweiter Luftspalt 18 der Dicke  $d_3$ . Die Dicken der Luftspalte 16, 18 können im Extremfall aber auch einzeln oder zusammen gegen Null gehen.

**[0026]** Der aktive Magnet 11 erzeugt eine (inhomogene) magnetische Feldverteilung  $B(x, y, z)$ , die durch die Homogenisierungsschicht 19 so beeinflusst wird, dass die hinter der Schicht im zweiten Luftspalt 18 auftretende magnetische Feldverteilung  $B_{SL}(x, y, z)$  an der Oberfläche 14 der supraleitenden Schicht 15 praktisch homogen ist. Hierzu wird gemäss dem Ausführungsbeispiel eine Homogenisierungsschicht 17 eingesetzt, die ein ortsabhängige relative Permeabilität  $\mu_r(x, y, z)$  aufweist, die so ausgelegt ist, dass sie die Inhomogenitäten in der Feldverteilung  $B(x, y, z)$  gerade kompensiert. Dies kann beispielsweise durch eine (kontinuierlich variierende) ortsabhängige Dichte oder Materialzusammensetzung der Homogenisierungsschicht 17 erreicht werden.

**[0027]** Es ist aber für viele Anwendungsfälle ausreichend und in der Herstellung wesentlich einfacher, wenn die Homogenisierungsschicht 17 diskontinuierlich bzw. abschnittsweise sich ändernde magnetische Eigenschaften aufweist. Gemäss dem in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsbeispiel wird dies erreicht durch einen Aufbau der Homogenisierungsschicht 17 aus einzelnen horizontalen Teilschichten 20, 21 mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Gemäss dem in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiel wird dies erreicht durch einen Aufbau der Homogenisierungsschicht 17 aus einzelnen vertikalen Teilschichten 22, 23 mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Es versteht sich von selbst, dass im Rahmen der Erfindung vertikalen und horizontale Teilschichten auch miteinander kombiniert werden können.

**[0028]** Weitere Möglichkeiten der Ausgestaltung der Homogenisierungsschicht 17 sind in den Ausführungsbeispielen der **Fig. 5** und **Fig. 6** verwirklicht. In **Fig. 5** wird die dem aktiven Magneten 11 zugewandte Oberfläche der Homogenisierungsschicht 17 so bearbeitet, dass sich eine ortsabhängige Dicke  $d_1(x, z)$  des ersten Luftspaltes 16 ergibt. Hierdurch kann bei ansonsten homogenem Schichtmaterial eine ortsabhängige Beeinflussung des Magnetfeldes erreicht werden. Dasselbe gilt für eine ortsabhängige Dicke  $d_3(x, z)$  des zweiten Luftspaltes 18 gemäss **Fig. 6**, die durch eine entsprechende Bearbeitung der anderen Oberfläche der Homogenisierungsschicht 17 her-

beigeführt wird. In direktem Zusammenhang mit einer ortsabhängigen Dicke der Luftspalte 16, 18 steht die ortsabhängige Dicke  $d_2(x, z)$  der Homogenisierungsschicht 17, die ebenfalls zur Homogenisierung herangezogen werden kann.

**[0029]** Die Herstellung der Homogenisierungsschicht 17 erfolgt erfindungsgemäss dadurch, dass in einem ersten Schritt mittels einer geeigneten Messeinrichtung die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche 14 der supraleitenden Schicht 15 ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht 17 nach Massgabe der gemessenen Verteilung und unter Berücksichtigung der magnetischen Eigenschaften des verwendeten Materials so hergestellt oder bearbeitet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten 11 erzeugten magnetischen Feld 13 an der Oberfläche 14 der supraleitenden Schicht 15 kompensiert werden.

#### Bezugszeichenliste

10, 19	magnetisches Traglager
11	aktiver Magnet (z. B. Permanentmagnet)
12	Zwischenraum
13	magnetisches Feld (SL-Oberfläche)
14	Oberfläche (SL-Schicht)
15	supraleitende Schicht
16, 18	Luftspalt
17	Homogenisierungsschicht
20, 21	Teilschicht (horizontal)
22, 23	Teilschicht (vertikal)
d1, ..., d3	Dicke

#### Patentansprüche

1. Magnetisches Traglager (19), umfassend eine supraleitende Schicht (15) mit einer Oberfläche (14) sowie einen aktiven Magneten (11), welcher durch einen Zwischenraum (12) getrennt zur Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) angeordnet ist, wobei zur Homogenisierung des vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feldes (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) im Zwischenraum (12) zwischen dem aktiven Magneten (11) und der Oberfläche (14) eine das magnetische Feld beeinflussende Homogenisierungsschicht (17) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Homogenisierungsschicht

- i) eine ortsabhängige relative magnetische Permeabilität  $\mu_r(x, y, z)$  aufweist,
- ii) mit dem aktiven Magneten (11) einen ersten Luftspalt (16) begrenzt, der eine ortsabhängige Dicke  $d_1(x, z)$  aufweist,
- iii) mit der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) einen zweiten Luftspalt (18) begrenzt, der eine ortsabhängige Dicke  $d_3(x, z)$  aufweist, und/oder

iv) eine ortsabhängige Dicke  $d_2(x, z)$  aufweist, so dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden.

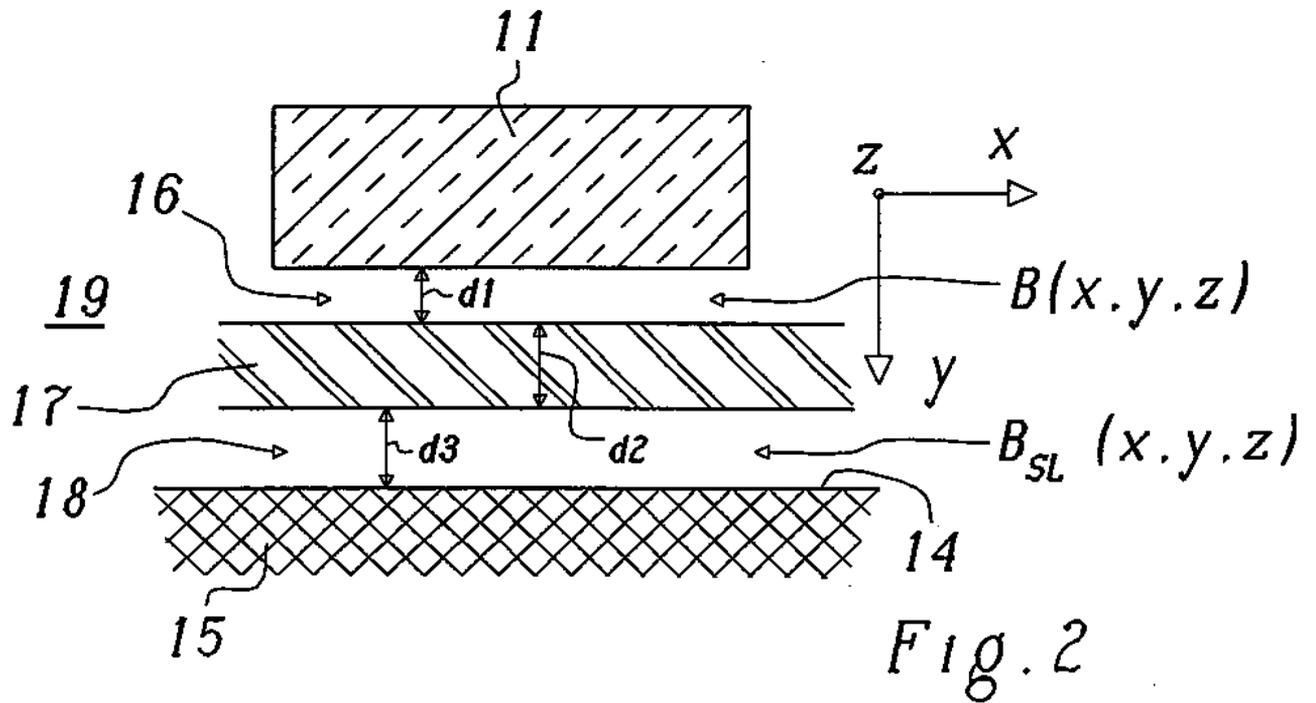
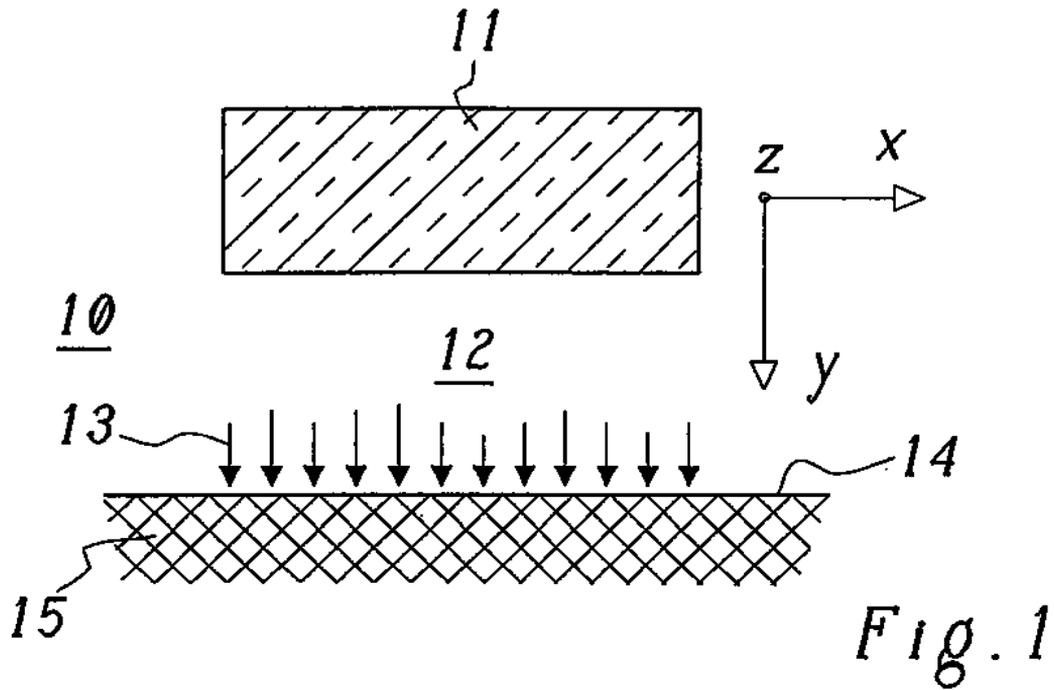
2. Magnetisches Traglager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der aktive Magnet (11) wenigstens einen Permanentmagneten umfasst.

3. Magnetisches Traglager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der aktive Magnet (11) einen Elektromagneten umfasst.

4. Magnetisches Traglager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsschicht (17) aus unterschiedlichen horizontalen und/oder vertikalen Teilschichten (20, ..., 23) aufgebaut ist.

5. Verfahren zum Herstellen eines magnetischen Traglagers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht (17) nach Massgabe der gemessenen Verteilung so ausgestaltet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



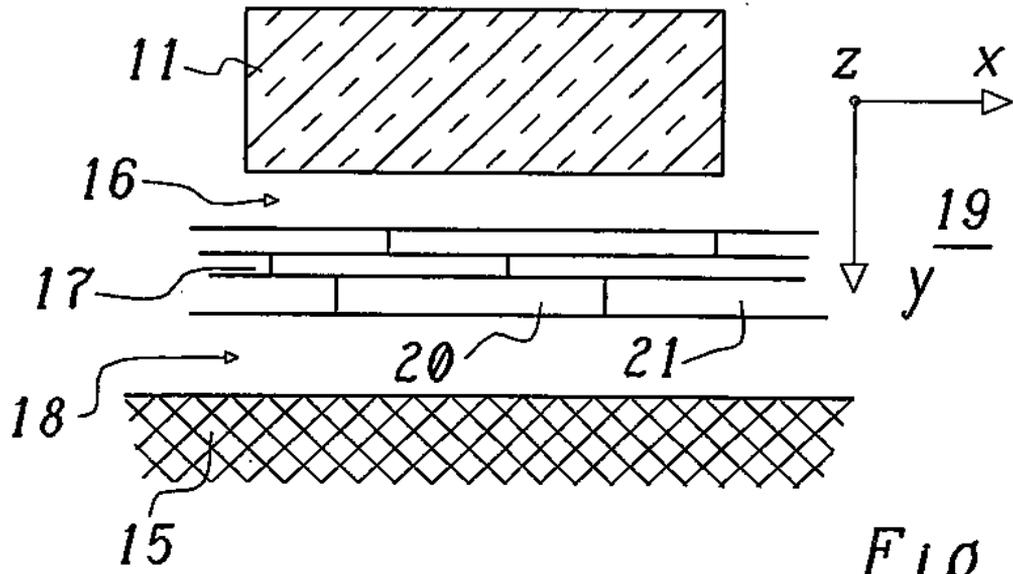


Fig. 3

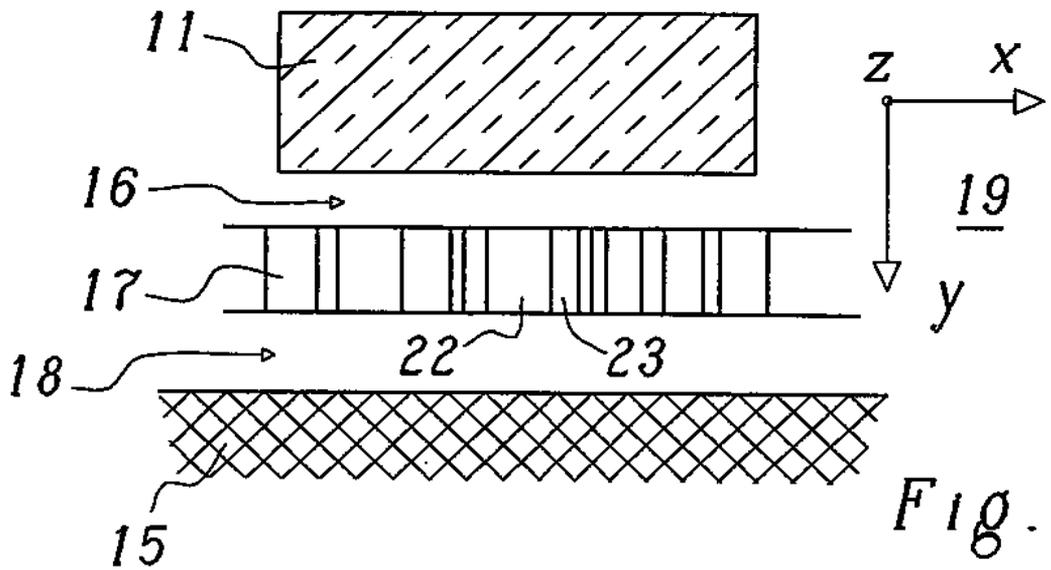


Fig. 4

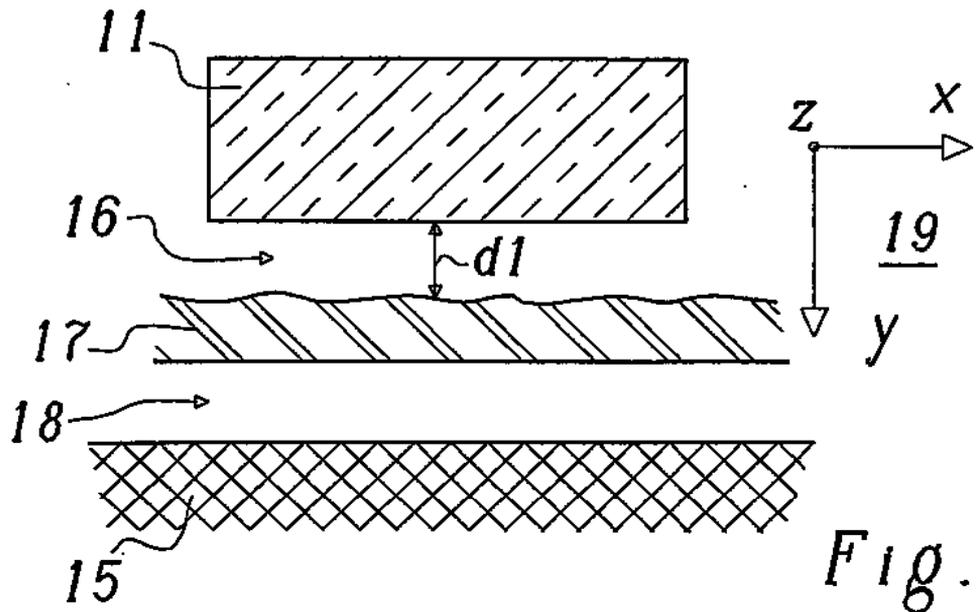


Fig. 5

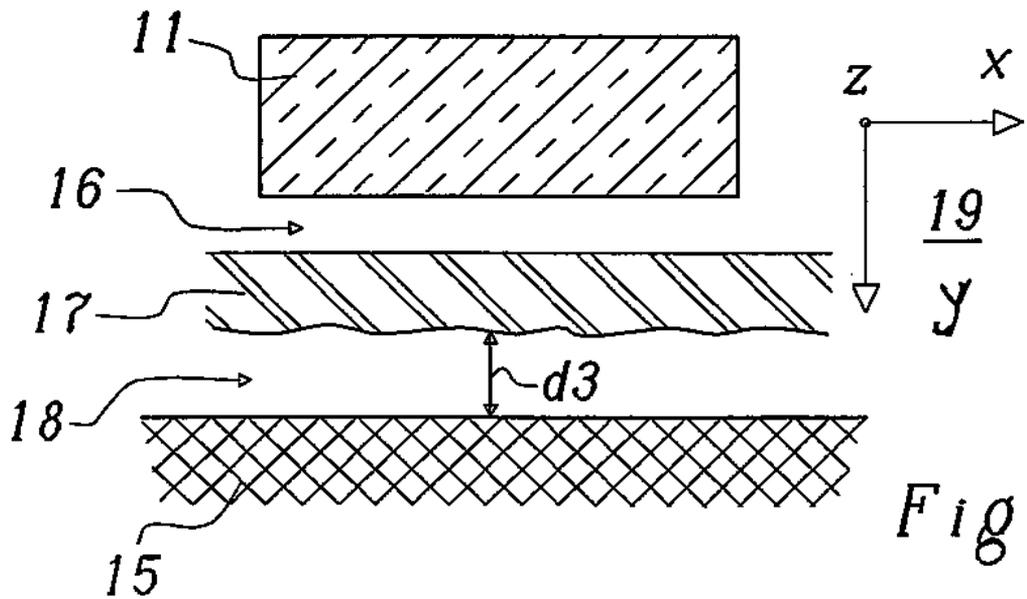


Fig. 6