

(12)

# Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1334/2012  
(22) Anmeldetag: 21.12.2012  
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2014

(51) Int. Cl.: **H02K 33/16** (2006.01)  
**H02K 33/18** (2006.01)  
**H02K 41/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102007051917 A1  
EP 1320178 A1

(73) Patentinhaber:  
Seh Limited  
BKR 3000 Mriehel (MT)

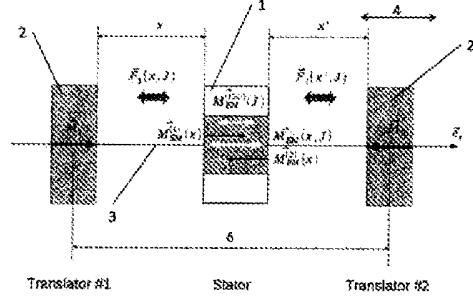
(74) Vertreter:  
HÄUPL & ELLMEYER KG,  
PATENTANWALTSKANZLEI  
WIEN

(54) **Magnetvorrichtung umfassend eine auf den Translator wirkende Beschleunigungseinheit**

(57) Magnetvorrichtung umfassend zumindest einen Stator (1) und einen Translator (2), welcher Translator (2) entlang einer Translatorbewegungsbahn (3) in eine Translatorbewegungsrichtung (4) relativ zum Stator (1) bewegbar ist,

wobei der Translator (2) in zumindest Teilbereichen der Translatorbewegungsbahn (3) mit einer Beschleunigungseinheit (5) gekoppelt ist, welche bei Koppelung des Translators (2) der Beschleunigungseinheit (5) einen auf den Translator (2) wirkenden Beschleunigungskraftzustand umfassend zumindest eine Korrekturkraft  $F_{corr}$  hervorruft, welcher Beschleunigungskraftzustand eine Bewegung des Translators (2) vom Stator (1) weg hervorrufen kann, wobei

bei Koppelung des Translators (2) mit der Beschleunigungseinheit (5) und bei Bewegung des Translators (2) vom Stator (1) die Summe der auf den Translator (2) in Translatorbewegungsrichtung (4) aufgrund des Magnetismus wirkenden Kräfte größer oder gleich Null ist, sodass der Translator (2) mittels der Korrekturkraft  $F_{corr}$  von der durch den Stator (1) hervorgerufenen Anziehungskraft lösbar ist.



Figur 17

## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft eine Magnetvorrichtung umfassend zumindest einen Statormagneten und einen Translatormagneten, welcher Translatormagnet entlang einer Translatorbewegungsbahn in eine Translatorbewegungsrichtung relativ zum Statormagneten bewegbar ist, wobei der Translator in zumindest Teilbereichen der Translatorbewegungsbahn mit einer Beschleunigungseinheit gekoppelt ist, welche bei Koppelung des Translators mit der Beschleunigungseinheit einen auf den Translator wirkenden Beschleunigungskraftzustand umfassend eine Korrekturkraft  $F_{corr}$  hervorruft, welcher Beschleunigungskraftzustand eine Bewegung des Translators vom Stator weg hervorrufen kann.

**[0002]** Im Sinne einer Vereinfachung wird der Statormagnet im Folgenden kurz als Stator, der Translatormagnet im Folgenden kurz als Translator bezeichnet.

**[0003]** Magnetantriebe nach dem Stand der Technik umfassen zumindest einen Stator und einen Translator, welcher unter Ausnutzung der zwischen dem Stator und dem Translator wirkenden magnetischen Anziehungskräfte und Abstoßungskräfte relativ zum Stator bewegbar ist. Aus AT2011000126020110905 (Anmelder Jeremy Hein, Martin Marschner von Helmreich) ist bekannt, dass die Anziehungskräfte und die Abstoßungskräfte wesentlichen eine Funktion des Abstandes zwischen Stator und Translator ist. Die Summe der auf den Translator wirkenden, eine Bewegung des Translators hervorrugenden Kräfte ist durch die Wahl eines Abstandes des Translator zu dem näher liegenden Stator optimierbar.

**[0004]** Es kann auf den zum Stator bewegten Translator in einem Abstand  $r$  zum Stator der auf der Translator wirkende, durch die magnetischen Anziehungskräfte bedingte Kräftezustand sein Maximum erreichen. Bei einer umgekehrten Bewegungsrichtung des Translators, das heißt bei einer Bewegung des Translators vom Stator weg können jedoch zwischen dem Stator und dem bewegten Translator Anziehungskräfte wirken, wenn der Abstand  $r$  hinreichend klein ist.

**[0005]** Bei einem hinreichend kleinen Abstand zwischen Stator und Translator wirken Stator und Translator nämlich unabhängig von der Polung des Stators und des Translators als ein Magnet. Der hinreichend kleine Abstand ist unter anderem durch die Feldstärke des Translators in Bezug zum Stator oder umgekehrt gegeben. Die Feldstärke des Translators kann während des Betriebes einer Magnetvorrichtung, beispielsweise während des Zeitpunktes des Umpolens eines Elektromagneten gering gegenüber dem Stator ausfallen.

**[0006]** Im Falle eines hinreichend kleinen Abstandes zwischen Stator und Translator wird eine Bewegung des Translators vom Stator weg durch die zwischen Stator und Translator wirkenden Anziehungskräfte unterbunden oder gebremst. Dieser nach dem Stand der Technik bekannte Effekt wird als „Fangen“ des Translators am Stator bezeichnet. Die Leistung einer beispielsweise als Magnetantrieb dienenden Magnetvorrichtung wird dadurch verringert.

**[0007]** DE102997051917 offenbart eine Magnetvorrichtung umfassend einen als Elektromagnet ausgebildeten Aktor und ein Federelement zur Erzeugung einer Kraft in Bewegungsrichtung. Es findet sich in DE102997051917 kein Hinweis auf die im Rahmen dieser Offenbarung diskutierte Problematik des Wirkens von Stator und Translator zumindest bei hinreichend Annäherung des Translators zum Stator. Folglich stellt sich der Fachmann nicht der Aufgabe der Schaffung eines im Folgenden beschriebenen erfindungsgemäßen Kräftegleichgewichtes beziehungsweise Kräfteungleichgewichtes. DE102997051917 umfasst keine Angabe betreffend der Größe der zu erzeugenden Kraft in Bewegungsrichtung, sodass der Fachmann aus DE102997051917 die Größe der Federkraft nicht ableiten kann.

**[0008]** Es ist in EP1320178 ebenso keine Größenangabe für die zusätzlich zum elektromagnetischen Linearantrieb wirkende Feder angegeben. Die Problematik des Wirkens von Stator und Translator als ein Magnet bei einer hinreichenden Annäherung des Translators zum Stator wird in EP1320178 ebenso nicht behandelt, sodass der Fachmann aus EP1320178 die Größe der Federkraft nicht ableiten kann.

**[0009]** DE10003928 offenbart einen elektromagnetischen Aktuator mit einem auf den Transla-

tor wirkenden Federmechanismus. Gemäß Offenbarung von DE10003928 wirkt der Federmechanismus als Umschwungmechanismus des Translators. Das dieser Erfindung zu Grunde liegende Problem des Lösens des Translator vom Stator bei einer Bewegung des Translators weg vom Stator ist in DE10003928 nicht behandelt.

**[0010]** In W02007063222 haben die Feder die Aufgabe, im Falle eines Ausfalles einer Spule den Aktor in eine Schließstellung zu bringen.

**[0011]** Die Feder der in DE202009014192 offenbarten Vorrichtung hat keine Wirkung auf die Bewegung des Translators, sondern dient zum Koppeln mehrerer Vorrichtungen.

**[0012]** Die hier diskutierte Erfindung stellt sich die Aufgabe, eine Magnetvorrichtung bereitzustellen, welche Magnetvorrichtung im Vergleich zu Vorrichtungen nach dem Stand der Technik einen zusätzlichen Bestandteil umfasst, welcher den Effekt des Fanges des Translators am Stator reduziert oder unterbindet. Im Folgenden wird der durch den Effekt des Fanges hervorgerufene Kraftzustand als Fangkraftzustand bezeichnet.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass bei Koppelung des Translators mit der Beschleunigungseinheit und bei Bewegung des Translators vom Stator die Summe der auf den Translator in Translatorbewegungsrichtung aufgrund des Magnetismus wirkenden Kräfte größer oder gleich Null ist, sodass der Translator mittels der Korrekturkraft  $F_{corr}$  von der durch den Stator hervorgerufenen Anziehungskraft lösbar ist.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Magnetvorrichtung kann ein Magnetantrieb, ein Generator, ein Widerstandselement oder eine sonstige Vorrichtung sein, bei weicher ein Translator relativ zum Stator in der Hauptsache oder auch nur zum Teil aufgrund von durch Magnetfelder hervorgerufenen Kräfte bewegt wird.

**[0015]** Bei einem hinreichend kleinem Abstand des Translators zum Stator wirken Stator und Translator als ein Magnet, sodass der Translator zum Stator bewegt wird. Der durch die Beschleunigungseinheit hervorgerufene Beschleunigungskraftzustand ist in die Richtung einer Bewegung des Translators vom Stator gerichtet. Die Wirkung des Beschleunigungskraftzustandes kann auf den Teilbereich der Translatorbewegungsbahn begrenzt sein, in welchem der oben beschriebene Fangeffekt auftritt.

**[0016]** Der Beschleunigungskraftzustand kann in Teilbereichen der Translatorbewegungsbahn durch den Fangkraftzustand überlagert sein. Der Fangkraftzustand ist im Wesentlichen durch die zwischen dem Stator und dem Translator wirkende Anziehungskraft geprägt. Der Beschleunigungskraftzustand wirkt in Abhängigkeit seiner betragsmäßigen Größe dem Fangkraftzustand teilweise oder zu Gänze entgegen.

**[0017]** Die Beschleunigungseinheit kann den Kraftzustand auf der Basis von mechanisch generierten Kräften oder Magnetkräften hervorrufen. Die Beschleunigungseinheit kann den Beschleunigungskraftzustand durch eine zuvor erfolgte Deformation eines zumindest teilweise elastisch verformten Körpers hervorrufen. Die Deformation des elastischen Körpers kann durch eine Bewegung des Translators hervorgerufen werden. Im Regelfall wird die Deformation des elastischen Körpers während einer Bewegung des Translators zumindest teilweise zum Stator vor dem Auftreten des Fangeffektes und/oder vor Erreichen des Translators eines Bereiches hinreichend nahe zum Stator, in welchem der Fangeffekt nachfolgend auftritt, hervorgerufen werden.

**[0018]** Eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung kann dadurch charakterisiert sein, dass die Beschleunigungseinheit über der die gesamte Translatorbewegungsbahn wirkend mit dem Translator gekoppelt ist.

**[0019]** Die Beschleunigungseinheit kann in Abhängigkeit eines Abstandes des Translators zum Stator bei Annäherung des Translators zum Stator vorspannbar sein und/oder die Beschleunigungseinheit kann in Abhängigkeit des Abstandes des Translators zum Stator den Beschleunigungskraftzustand hervorrufen.

**[0020]** Bei Koppelung des Translators mit der Beschleunigungseinheit und bei Bewegung des

Translators zum Stator kann die Summe der auf den Translator entgegen der Translatorbewegungsrichtung wirkenden Kräfte kleiner oder gleich Null sein.

**[0021]** Bei Koppelung des Translators mit der Beschleunigungseinheit und bei Bewegung des Translators vom Stator kann die Summe der auf den Translator in Translatorbewegungsrichtung wirkenden Kräfte größer oder gleich Null sein.

**[0022]** Die hier offenbarte, erfindungsgemäße Magnetvorrichtung ist nicht auf die Positionierung der Beschleunigungseinheit in einem Bereich zwischen Stator und Translator beschränkt. Die Positionierung der Beschleunigungseinheit in eben diesem Bereich stellt lediglich eine Möglichkeit der erfindungsgemäßen Positionierung der Beschleunigungseinheit dar. Die Beschleunigungseinheit kann weiters seitlich zu der Translatorbewegungsbahn, sich in einem beliebigen Winkel zu der Translatorbewegungsbahn erstreckend angeordnet sein.

**[0023]** Die Feder kann auch einstückig mit einem Lagerelement ausgebildet sein, welches die Funktion der Lagerung des auf einer Translatorachse gleitenden Translators erfüllt. Die Feder kann als Blattfeder oder als Spiralfeder ausgebildet sein. Das Lagerelement kann einen elastischen Werkstoff umfassen, welcher elastischer Werkstoff bei Betrieb der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung deformiert wird.

**[0024]** Nach dem Stand der Technik ist die auf einen Translator wirkende Kraft eine Summe der in diesem Bereich wirkenden Statoren und Translatoen in Abhängigkeit des Abstandes zwischen dem jeweiligen Stator und dem jeweiligen Translator. Die zwischen dem Stator und dem sich vom Stator weg bewegenden Translator bei Auftreten des oben beschriebenen Fangeffektes wirkende Fangkraft verhält sich bei einer entsprechenden Ausbildung der Feder hierzu analog. Die hier offenbarte Erfindung kann sich dadurch auszeichnen, dass die Beschleunigungseinheit in Abhängigkeit des temporären Abstandes des Translators zum Stator den Beschleunigungskraftzustand hervorruft.

**[0025]** Obiges Charakteristikum der Beschleunigungseinheit kann beispielsweise aufgrund einer über die Federlänge unterschiedliche geometrische Ausbildung der Feder oder aufgrund von über die Federlänge unterschiedlichen Materialeigenschaften der Feder erreicht werden. In hierzu analoger Weise ist beispielsweise ein elastisch verformbarer Körper auszubilden.

**[0026]** Es kann sich die folgende Ausführungsform der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung als vorteilhaft erweisen, wenn die Beschleunigungseinheit in Abhängigkeit des sich dem Stator nähernden Translators vorgespannt wird. Unter einer Vorspannung wird im Rahmen der Diskussion dieser Erfindung ähnlich wie beim Vorspannen einer Feder ein Zustand beschreiben, in welchem die Beschleunigungseinheit eine auf die Beschleunigungseinheit aufgebrachte Kraft oder Verzerrung zu einer Abgabe zu einem späteren Zeitpunkt speichert. Erfindungsgemäß erfolgt die spätere Abgabe der aufgebrachten Kraft oder Verzerrung zum Lösen des am Stator gefangenen Translators.

**[0027]** Eine mögliche Ausführungsform der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung kann dadurch gekennzeichnet sein, dass die Beschleunigungseinheit mit dem Translator und einem Fixpunkt gekoppelt ist und sich zumindest zum Teil zwischen dem Translator und dem Fixpunkt erstreckt.

**[0028]** Der Fixpunkt kann ein außerhalb der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegendes Objekt sein. Der Fixpunkt kann weiters ein Vorrichtungsteil wie beispielsweise ein Maschinenrahmen oder ein Gehäuseteil sein. Der Fixpunkt kann in Bezug zu Stator unbeweglich oder verschieblich gelagert sein.

**[0029]** Der Stator kann der Fixpunkt sein.

**[0030]** Die Beschleunigungseinheit kann ein weiterer Magnet sein, welcher mit dem Translator gekoppelt ist und zur Beschleunigung des Translators zugeschalten wird.

**[0031]** Die Beschleunigungseinheit kann als eine Feder ausgebildet sein, welche Feder eine parallel zu Translatorbewegungsrichtung wirkende Federkraftkomponente aufweist.

**[0032]** Die Federkraftkomponente wirkt somit entgegengerichtet zu den durch den Fangeffekt bedingten Kräften. Die Feder wird durch die Bewegung des Translators zum Stator vorgespannt, wobei die Abgabe der in der Feder gespeicherten Kraft während des Bewegens der Translators vom Stator weg erfolgt.

**[0033]** Obige Darstellung betrifft sowohl eine linear oder eine polygonal verlaufende Translatorbewegungsbahn. Ein Strahl der Translatorbewegungsbahn kann durch den Stator verlaufen.

**[0034]** Die möglichen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung schließt sämtliche möglichen Kombination von Elektromagneten, insbesondere die Ausbildung des Stator und des Translators als Permanentmagnet oder als Elektromagnet ein.

**[0035]** Der Stator und der Translator können als Permanentmagnete ausgebildet sein.

**[0036]** Der Stator kann als ein Permanentmagnet und der Translator als ein Elektromagnet ausgebildet sein.

**[0037]** Der Stator kann als ein Elektromagnet und der Translator als ein Permanentmagnet ausgebildet sein.

**[0038]** Bei Ausbildung des Stators und/oder des Translators als Elektromagnet kann der Stator und/oder der Translator als weiterer Magnet wirken. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das Magnetfeld des Stators und/oder des Translators über einen definierten Zeitraum verändert wird. Der definierte Zeitraum kann in Abhängigkeit der Position des sich bewegenden Translators gewählt werden.

**[0039]** Die erfindungsgemäße Magnetvorrichtung kann eine Steuervorrichtung zur Steuerung der Polung des Elektromagneten und der Steuerung der Stärke des Elektromagneten in Abhängigkeit des Beschleunigungskraftzustandes umfassen.

**[0040]** Die Wirkung einer Beschleunigungseinheit als ein Teil der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung wird anhand der nachstehenden Figuren und der dazugehörenden Figurenbeschreibungen in Ergänzung zu der obigen Beschreibung erläutert.

**[0041]** In den Figuren sind die nachstehenden Elemente durch die folgenden Bezugzeichen gekennzeichnet:

- 1 Stator
- 2 Translator
- 3 Transalatorbewegungsbahn
- 4 Translatorbewegungsrichtung
- 5 Beschleunigungseinheit
- 6 Fixpunkt
- 7 Feder

**[0042]** Figuren 1 bis 16 betreffen eine Magnetvorrichtung umfassend einen Stator und einen Translator. Figuren 17 bis 28 betreffen eine Magnetvorrichtung umfassend einen Stator und zwei Translatoen.

**[0043]** Es werden weiters in der folgenden Diskussion einer Bewegung des Translators entgegenwirkende Kräfte wie Reibungskräfte oder Luftwiderstandskräfte aus dem Grund einer vom Fachmann in Bezug auf die gängige Lehre durchzuführenden Vereinfachung nicht berücksichtigt.

**[0044]** Unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 16 wird die Interaktion von zwei entlang einer linearen Translatorbewegungsbahn 3 angeordneten magnetischen Dipolen betrachtet. Es ist der erste Dipol 1 als Elektromagnet, der zweite Dipol 2 als Permanentmagnet ausgebildet. Die Diskussion anhand von Figur 1 bis 17 basiert auf der Annahme keiner vorliegenden Relativbewegung zwischen den Dipolen, sodass eine Bezeichnung der Dipole als Stator oder Translator

hinfällig ist.

**[0045]** Aus Gründen der Vereinfachung nach der gängigen Lehre wird ein Permanentmagnet mit einer zylindrischen Form und einem sich zumindest entlang der Translatorbewegungssachse erstreckenden Magnetfeldes angenommen. Es wird weiter eine einheitliche Magnetisierung  $\vec{M}_1 = M_1 e_x$  des Magnetfeldes in Ampere pro Meter [A/m] angenommen. Das Magnetfeld außerhalb des Permanentmagneten verringert sich mit einem zunehmenden Abstand  $x$  vom Magneten. Dies kann durch die folgende Formel ausgedrückt werden:

$$H_1(x) = M_1 \times f(x) e_x \text{ [A/m] mit } \begin{aligned} f(0) &= 1 \\ \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) &= 0 \end{aligned}$$

**[0046]** Der Elektromagnet umfasst einen zylindrischen ferromagnetischen Kern, um welchen sich ebenso in zylindrischer Form eine Spule erstreckt. Zum Zwecke der Vereinfachung wird eine einheitliche Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns angenommen, wenn ein äußeres Magnetfeld  $H_{coil}(J)$  [A/m] angewandt wird, sodass die folgende Beziehung gilt:

$M_{Core}(H) = X_V \times \text{vec}H$  mit  $X_V$  als die magnetische Suszeptibilität des ferromagnetischen Kerns. Wenn ein Strom  $I$  durch die Wickelungen des Elektromagneten fließt, entsteht im Inneren der Spule eine einheitliche Magnetfeld  $H_{coil}(J)$  als eine Funktion von  $J$  [A/m] als der Stromdichte innerhalb der Wickelungen der Spule.

**[0047]** Dem entsprechend gilt für das Magnetfeld des ferromagnetischen Kerns des Elektromagneten resultierend aus der Stromdichte  $J$   $M_{EM}^{(coil)}(J) = X_V H_{coil}(J) e_x$  [A/m]. Daraus folgt ein weiteres Magnetfeld des ferromagnetischen Kerns in einem Abstand  $x$  vom ferromagnetischen Kern  $M_{EM}^{(1)}(x) = X_V \times H_1(x) e_x = X_V \times M_1 \times f(x) e_x$  [A/m]. Das Maximum des weiteren Magnetfeldes ist gemäß einschlägiger Lehre bei  $x = 0$ :  $M_{EM}^{(1)}(0) = X_V \times H_1(0) e_x = X_V M_1 e_x$ .

**[0048]** Daraus folgt, dass die Stärke des Magnetfeldes des ferromagnetischen Kerns durch die Summe des durch den Permanentmagneten geschaffenen Magnetfeldes in einem Abstand  $x$  und des durch die mit der Stromdichte  $J$  beaufschlagten Spule geschaffenen Magnetfeldes:

$$M_{EM}(x, J) = M_{EM}^{(1)}(x) + M_{EM}^{(coil)}(J) = X_V \{H_{coil}(J) + H_1(x)\} e_x = X_V \{H_{coil}(J) + M_1 \times f(x)\} e_x.$$

**[0049]** Bei Betrachtung der Interaktionskräfte zwischen dem Permanentmagneten und dem Elektromagneten sind die folgenden zwei prinzipielle Fälle (Fall 1, Fall 2) zu betrachten. Die in den Figuren 2 bis 5 abgeleiteten Magnetisierungen des Permanentmagneten und Elektromagneten leiten sich aus den unten stehenden prinzipiellen Fällen ab.

**[0050]** Fall 1: Der Permanentmagnet und der Kern sind in gleiche Richtungen magnetisiert, sodass gilt

$$\forall x, \forall J, M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J) e_x, M_{EM}(x, J) > 0 \quad \forall x, M_1(x) = M_1(x) e_x, M_1(x) > 0, \text{ wobei die zueinander orientierten Seiten des}$$

Permanentmagneten und der Kern eine unterschiedliche Polarität aufweisen. Die resultierende Kraft ist eine Anziehungskraft, für welche gilt  $F_1(x) = F_1(x) e_x, F_1(x) < 0$ .

**[0051]** Fall 2: Der Permanentmagnet und der Kern sind in unterschiedliche Richtungen magnetisiert, sodass gilt  $\forall x, \forall J, M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J) e_x, M_{EM}(x, J) < 0 \quad \forall x, M_1(x) = M_1(x) e_x, M_1(x) < 0$ , wobei die zueinander orientierten Seiten des Permanentmagneten und des Kerns eine gleich Polarität aufweisen. Die resultierende Kraft ist eine Abstoßungskraft, für welche gilt  $F_1(x) = F_1(x) e_x, F_1(x) > 0$ .

**[0052]** Eine Anziehungskraft tritt bei einer „positiven“ Magnetisierung des Kerns auf, was be-

dingt  $H_{coil}(J) > -H_1(x)$ . Bei  $J_1$  als die Stromdichte erfüllend  $\forall x, H_{coil}(J) = -H_1(x)$  tritt eine Anziehungskraft bei  $J > J_1$  auf.

**[0053]** Eine Abstoßungskraft tritt bei einer „negativen“ Magnetisierung des Kerns auf, was bedingt  $H_{coil}(J) < -H_1(x)$  und  $J < J_1$ .

**[0054]** Im Falle keiner Beaufschlagung der Spule mit Strom, tritt eine Anziehungsinteraktion auf, da  $H_{coil}(0) = 0 > -H_1(x)$  wegen der „positiven“ Magnetisierung des Kerns gilt.

**[0055]** Eine Abstoßungsinteraktion tritt auf, wenn das Magnetfeld des Kerns stärker ist als resultierende Magnetfeld und entgegengesetzt zu diesem ist. Dies kann durch die  $H_{coil}(J) < -H_1(x)$  und  $J < J_1$ .

**[0056]** Figur 1 veranschaulicht den Fall einer Anziehungsinteraktion zwischen dem Permanentmagneten (erster Dipol 1) und dem Elektromagneten (zweiter Dipol 2). Der Elektromagnet ist mit keinem Strom beaufschlagt. Der Kern ist in einem Abstand  $x$  durch das Magnetfeld magnetisiert und wird folglich vom Permanentmagneten angezogen.

**[0057]** Figur 2 veranschaulicht den Fall einer Anziehungsinteraktion zwischen dem Permanentmagneten (erster Dipol 1) und dem Elektromagneten (zweiter Dipol 2), welcher mit einer mit einer „positiven“ Stromstärke beaufschlagt ist. Eine Beaufschlagung mit einer „positiven“ Stromdichte ist in der Weise zu verstehen, als dass die Richtung des Magnetfeldes der Spule und des Magnetfeldes gleich gerichtet sind.

**[0058]** Das Magnetfeld der Spule und des Kern resultieren in einer höheren Magnetisierung des Kerns, wodurch die Anziehungskraft im allgemeinen größer, mit stärker Stromdichte größer werdend ist.

**[0059]** Figur 3 zeigt die Anziehungsinteraktion zwischen dem Permanentmagneten (erster Dipol 1) und dem Elektromagneten (zweiter Dipol 2) für den Fall einer Beaufschlagung mit einer „negativen“ Stromstärke, sodass die Magnetfelder der Spule und des Magnetfeldes in entgegengesetzte Richtung gerichtet sind. Bei Erfüllung der Bedingung  $-H_1(x) < H_{coil}(J) < 0 \Rightarrow J_1 < J < 0$ , ist die Interaktion eine Anziehungsinteraktion.

**[0060]** Figur 4 zeigt den Fall einer Abstoßungsinteraktion zwischen dem Permanentmagneten 1 und dem Elektromagneten 2 bei einer Beaufschlagung mit einer „negativen“ Stromdichte, sodass  $H_{coil}(J) < -H_{1(x)}$  oder  $J < J_1$  gilt. Eine Abstoßungsinteraktion tritt dann auf, wenn die Magnetfeldstärke des Elektromagneten betragsmäßig größer ist als die Magnetfeldstärke und in eine entgegengesetzte Richtung orientiert ist.

**[0061]** Figur 5 zeigt den Fall des Ausgleiches des Magnetfeldes des Permanentmagneten 1 durch ein durch die Spule geschaffenes Magnetfeld. Dies wird durch die Verwendung einer erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung geschaffen. Der besondere Fall zeichnet sich dadurch aus, dass keine Magnetisierung des Kernes des Elektromagneten und daraus resultierend keine aus Interaktionen auftretende Interaktionskraft auftreten. Der entgegen gerichteten Polari täten des Elektromagneten heben sich einander auf.

**[0062]** Dieser Gleichgewichtszustand ist durch keine Interaktionskraft  $F_1(x, J_1) = 0$  gekennzeichnet, welche erreicht wird bei  $H_{coil}(J) = -M_1(x)$  oder  $J = J_1$ .

**[0063]** Figur 6 zeigt das Ergebnis einer FEM-Simulation. Es sind in Figur 5 die Magnetfeldstärken ( $/ \text{B} // [\text{mT}]$ ) und die Magnetfeldlinien für den Fall keiner Beaufschlagung der Spule mit Strom dargestellt. Es wird in Figur 6 eine Beabstandung des Translators in einem Abstand von 60,0mm, 30,0mm, 10,0mm und 0,0mm (Kontakt von Permanentmagnet und Elektromagnet) dargestellt.

**[0064]** Der Permanentmagnet 1 magnetisiert den Kern des Elektromagneten 2, was zu einer Anziehungsinteraktionskraft führt, welche Anziehungsinteraktionskraft umgekehrt proportional

zu dem Abstand  $x$  ist. Es gilt je größer der Abstand, desto kleiner die Anziehungsinteraktionskraft.

**[0065]** Figur 7 zeigt einen Graphen zu der in Figur 6 dargestellten Ergebnis der FEM-Simulation. Es ist auf der Abszisse der Abstand  $x$ , auf der Ordinate die Kraft angegeben.

**[0066]** Figur 8 zeigt analog zu Figur 6 das Ergebnis einer FEM-Simulation bei einer Beaufschlagung der Spule mit einer Stromdichte  $J_{coil} = 5 \frac{A}{mm^2}$ . Der Permanentmagnet 1 und der Elektromagnet 2 sind gleich gerichtet polarisiert, sodass eine größere Anziehungsinteraktionskraft wirkt.

**[0067]** Figur 9 zeigt analog zu Figur 7 einen zu Figur 8 gehörenden Graphen über die Entwicklung der Interaktionskraft in Abhängigkeit einer Beabstandung von Permanentmagnet und Elektromagnet bei einer zusätzlichen Beaufschlagung  $J_{coil} = 5 \frac{A}{mm^2}$ . Figur 9 zeigt somit die Wirkungsweise der Verwendung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung. Die Anziehungsinteraktionskraft wird dadurch erhöht (durchgezogene Linie).

**[0068]** Zusätzlich ist die Kraft-Abstand-Linie bei keiner Beaufschlagung durch die gestrichelte Linie dargestellt.

**[0069]** Analog zu Figur 8 und Figur 9 zeigen Figur 10 das Ergebnis einer FEM-Simulation bei einer Beaufschlagung des Elektromagneten mit  $J_{coil} = -5 \frac{A}{mm^2}$  und Figur 11 den dazugehörenden Graphen. Es ist in Figur 11 der Verlauf der Interaktionskraft in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Permanentmagnet und Elektromagnet bei einer Beaufschlagung des Elektromagneten mit  $J_{coil} = -5 \frac{A}{mm^2}$  durch die durchgezogene Linie dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf bei keiner Beaufschlagung des Elektromagneten. Figur 10 und Figur 11 betreffen ebenso die Wirkungsweise einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung.

**[0070]** Gemäß Figur 11 treten Abstoßungsinteraktionskräfte nur bei innerhalb eines Abstandes  $x > 14,0 \text{ mm}$  auf. Das in Figur 10 gezeigte Magnetfeld des Elektromagneten ist folglich nicht ausreichend stark in Bezugnahme auf die durch das Magnetfeld hervorgerufene Anziehungs- kraft.

**[0071]** Figur 12 zeigt die Wirkung der Beaufschlagung des Elektromagneten mit einer Stromdichte  $J_{coil} \leq 0 \frac{A}{mm^2}$ . Es ist wiederum auf der Abszisse der Abstand zwischen Permanentmagnet und Elektromagnet, auf der Ordinate die zwischen Permanentmagnet und Elektromagnet wirkende Kraft aufgetragen. Aus dem Diagramm Figur 12 erkennt der Fachmann, dass die Herstellung eines vornehmlich durch eine Abstoßungskraft geprägten Zustandes der Magnetvorrichtung eine Beaufschlagung des Elektromagneten 2 bedingt.

**[0072]** Wenn die Bedingung  $H_{coil}(J) < -H_1(x)$  nicht erfüllt ist, ist die Interaktionskraft eine Anziehungsinteraktionskraft, in diesem Fall ist der Translator am Stator gefangen.

**[0073]** Bei einer kontanten Beaufschlagung des Elektromagneten existiert weiters ein Gleichgewichtspunkt  $x_{eq}$  einer Beabstandung des Permanentmagneten und des Elektromagneten.

Der Gleichgewichtspunkt ist definiert durch  $H_{coil}(J) = -H_1(x_{eq})$ , beispielsweise

$$J_{coil} = -10 \frac{A}{mm^2} \Rightarrow x_{eq} = 4 \text{ mm}$$

$$J_{coil} = -5 \frac{A}{mm^2} \Rightarrow x_{eq} = 13 \text{ mm}.$$

**[0074]** Jener Bereich, in weichem der Fangeffekt auftritt, ist definiert durch  $\forall x \in [0, x_{eq}]$ ,  $F(x, J_{coil}) < 0$ . Außerhalb des Bereiches des Fangeffektes ist die Interaktionskraft eine Abstoßungsinteraktionskraft  $\forall x > x_{eq}$ ,  $F(x, J_{coil}) > 0$ . Bei einer definierten Stromdichte  $J_{coil}$  ist die

Gleichgewichtsposition definiert durch  $F(x_{eq}, J_{coil}) = 0$ .

**[0075]** In Ergänzung zu Figur 12 zeigt Figur 13 den Fall einer Beaufschlagung des Elektromagneten mit einer Stromdichte  $J_{coil} \geq 0 [A/mm^2]$  innerhalb der Spule.

**[0076]** Es wird in Figur 14 weiters die Entwicklung der zwischen dem Permanentmagnet und Elektromagnet wirkende Kraft bei einer Beaufschlagung des Elektromagneten mit  $J_{coil} = + 10 \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  und  $J_{coil} = -10 \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  verglichen. Es ist anzumerken, dass die resultierende Stärke der Kraft bei unterschiedlicher Beaufschlagung nicht gleich ist.

**[0077]** Auf Basis obiger Erörterung der Interaktion zwischen einem Permanentmagneten und einem Elektromagneten wird nun die Interaktion für den speziellen Fall einer Oszillation eines Translators relativ zu einem Stator erörtert. Die Oszillation des Translators wird durch ein Schalten der Polarität des Elektromagneten in bestimmten Zeitintervallen bei einer gleich bleibenden elektrischen Energie wie beispielsweise  $|J_{coil}| = 10 \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  erreicht. Die Verzögerungen beim

Schalten des Elektromagneten bedingt durch den inneren Widerstand und Induktivität der Spule wird aus Gründen der Vereinfachung des zu diskutierenden Problems im Folgenden nicht weiter beachtet.

**[0078]** Um eine effiziente Oszillation des Translators sicher stellen zu können, muss der Translator außerhalb des Fangbereiches betrieben werden. Letzteres führt zu der Definition eines minimalen Abstandes  $\epsilon$  zwischen dem Permanentmagneten und dem Elektromagneten. Dies führt zu  $\forall x \geq \epsilon, F(x, J_{coil}) = F(x, J_{coil})e_x$ , wobei der Betrieb des Translators außerhalb des Fangbereiches durch die Bedingung  $\epsilon \geq x_{eq}$  gewährleistet ist.

**[0079]** Für einen Betrieb außerhalb des Fangbereiches muss beachtet werden, dass das Feldkraftprofil  $J_{coil} = Cte [A/mm^2]$  bei konstanter elektrischer Energie asymmetrisch ist. Die Interaktionsanziehungskraft ist betragsmäßig höher als die Abstoßungsinteraktionskraft. Daraus folgt, dass der minimale Abstand  $\epsilon$  die maximal aktivierbare Anziehungskraft verringert.

$$\epsilon = x_{eq} \Rightarrow F_{\max}(0,10) = 500 [N]$$

$$\epsilon = x_{offset} \Rightarrow F_{\max}(0,10) = 200 [N]$$

wobei die Positionen  $x_{eq}$  und  $x_{offset}$  Funktionen der Stromdichte innerhalb der Spule  $J_{coil}$  sind und aus diesem Grund von einem inneren Zeitfaktor der Spule abhängen  $T_{coil} = \frac{L_{coil}}{R_{coil}}$ .

**[0080]** Die Asymmetrie des Feldkraftprofils wird durch die benötigte zusätzliche Energie erklärt, welche zur Entgegenwirkung gegen das Magnetfeld aufgewandt werden muss. In der oben angeführten Erörterung über die Interaktion zwischen einem Permanentmagneten und einem Elektromagneten wurde diese zusätzliche Energie durch die Spule des Elektromagneten aufgebracht, wobei die Spule mit einer höheren Stromdichte beaufschlagt wurde. Zur Sicherstellung der Abstoßungsinteraktionskraft musste die folgende Bedingung erfüllt werden:  $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ .

**[0081]** Der Gleichgewichtspunkt gleichsam zum Grenzpunkt des Fangbereiches ist definiert durch  $H_{coil}(J) = -H_1(x_{eq})$ .

**[0082]** Im Falle einer Oszillation eines Translators relativ zu einem Stator kann eine mechanische Beschleunigungseinheit vorteilhaft sein, welche einen ähnlichen Effekt in Bezugnahme auf den auf den Translator wirkenden Kraftzustand wie die oben erörterte Beaufschlagung der Spule mit einer zusätzlichen Stromdichte aufweist. Es ist hierbei Aufgabe der Beschleunigungs-

einheit einen Beschleunigungskraftzustand auf den Translator aufzubringen, welcher der Anziehungskraft des Permanentmagneten auf den Translator entgegenwirkt, insbesondere im Falle eines Nichtbetriebes des Elektromagneten.

**[0083]** Der Kraftzustand als Summe der auf den Translator wirkenden Anziehungskraft und des Beschleunigungskraftzustandes soll bei Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung an jeder beliebigen Position Null sein. Der Kraftzustand  $\tilde{F}_{TOT(x,J)}$  wirkend auf den In einer Position  $x$  befindlichen Translator unter Beaufschlagung der Spule mit einer Stromdichte  $J$  wird durch den folgenden Ausdruck ausgedrückt:

$\forall x \geq 0, F_{TOT}(x,J) = F(x,J) + F_{corr}(x)$ , wobei  $F_{corr}(x)$  ist der durch die Beschleunigungseinheit aktivierte Beschleunigungskraftzustand umfassend die Korrekturkraft  $F_{corr}(x)$  und  $F(x,J)$  ist die Interaktionskraft wirkend zwischen Stator und Translator. Die erforderliche mechanische Wirkung resultiert aus der Gleichgewichtsbedingung für den Translator  $\forall x \geq 0, F_{TOT}(x,0) = 0 \Rightarrow F_{corr}(x) = -F(x,0)$ , woraus die unten stehende Charakterisierung der Beschleunigungseinheit folgt:  $\forall x \geq 0, F_{corr}(x) = -F(x,0)$ , sodass der Beschleunigungskraftzustand beziehungsweise die Korrekturkraft der auf den Translator wirkenden Anziehungskraft des Stators bei keinem Betrieb des Elektromagneten entgegenwirkt, sodass die Summe der wirkenden

$\forall x \geq 0, F_{TOT}(x,0) = 0$   
 Kräfte eines Kraftzustandes Null ist. Hieraus folgt  $\forall x \geq 0, \forall J, F_{TOT}(x,J) = \{F(x,J) - F(x,0)\}e_x$ .

**[0084]** Figur 15 zeigt den Verlauf der auf den Translator wirkenden Anziehungsinteraktionskraft und den Verlauf der Korrekturkraft in Abhängigkeit einer auf der x-Achse aufgetragenen Beabstandung des Translators vom Stator. Der Verlauf der Graphen der Figur 15 ist im Wesentlichen um die x-Achse spiegelgleich.

**[0085]** Figur 16 zeigt den Verlauf der auf den Translator wirkenden Kräfte in Abhängigkeit der Beabstandung des Translators zum Stator bei drei unterschiedlichen Fällen einer Beaufschlagung der Spule des Elektromagneten mit einer Stromdichte, nämlich  $J_{coil} = +10[A/mm^2]$ ,  $J_{coil} = -10[A/mm^2]$  und  $J_{coil} = 0[A/mm^2]$ . Die Summe der auf den Translator wirkenden Kräfte ist durch  $\forall x \geq 0, \forall J, F_{TOT}(x,J) = \{F(x,J) - F(x,0)\}e_x$  definiert, wobei das Gleichgewicht sich bei  $\forall x \geq 0, F_{TOT}(x,0) = 0$  einstellt. Weiters tritt eine Abstoßungsinteraktionskraft auf, wenn die Bedingung  $H_{coil}(J) < 0 \Rightarrow J_{coil} < 0$  erfüllt ist. Im umgekehrten Fall tritt eine Anziehungsinteraktionskraft auf, wenn die Bedingung  $H_{coil}(J) > 0 \Rightarrow J_{coil} > 0$  erfüllt ist. Der Verlauf der Kräfte ist im Wesentlichen zu der x-Achse des Diagramms symmetrisch. Die Beträge der Abstoßungsinteraktionskraft und der Anziehungsinteraktionskraft sind im Wesentlichen gleich, da diese durch die Stromdichte innerhalb der Spule des Elektromagneten definiert sind.

**[0086]** Oben angeführte Erörterungen werden im Folgenden auf eine Magnetvorrichtung umfassend  $n$  Translatoen ( $n=1,2,3,\dots$ ) und  $n+1$  Statoren angewandt. Figur 17 zeigt eine prinzipielle Anordnung von zwei Statoren und einem Translator entlang einer Achse, welche der Bewegungsachse des Translators entspricht.

**[0087]** Im Folgenden wird eine Magnetvorrichtung mit einem Stator und zwei Translatoen betrachtet. Es sind der Stator 1 Elektromagnet umfassend einen Kern und eine Spule, die Translatoen 2, 2' als Permanentmagneten ausgebildet.

**[0088]** Gemäß Abbildung in Figur 17 wird der Abstand zwischen der dem Stator 1 zugewandten Oberfläche des ersten Translators 2 und der dem ersten Translator 2 zugewandten Oberfläche des Stators 1 mit  $x$  angegeben, während  $x'$  den Abstand zwischen der dem Stator 1 zugewandten Oberfläche des zweiten Translators 2' und der dem zweiten Translator 2' zugewandten Oberfläche des Stator 1 bezeichnet.  $\delta$  kennzeichnet den Abstand zwischen dem Kern des ersten Translators 2 und den Kern des zweiten Translators 2', wobei  $d$  für die Länge der Translatorbewegungsbahn 3 steht, sodass gilt:

$$\forall x \in [0, d], \forall x' \in [0, d], \delta = Cte$$

$$x \in [0, d]$$

$$x' = d - x \Rightarrow x' \in [0, d]$$

**[0089]** Der Kern des Elektromagneten als Teil des Stators 1 wird durch drei Magnetfelder magnetisiert, nämlich durch das durch den ersten Translator 2 geschaffene Magnetfeld, welcher erster Translator 2 im Abstand  $x$  vom Stator entfernt ist.

$$M_{EM}^{(1)}(x) = X_V H_{EM}^{(1)}(x), \text{ wobei } H_{EM}^{(1)}(x) = M_1 x f(x) e_x.$$

**[0090]** Das zweite Magnetfeld des zweiten Translators 2' im Abstand  $x'$  zum Stator 1 kann durch den Ausdruck  $H_{EM}^{(2)}(x') = -M_2 x f(x') e_x$  beschrieben werden, wobei unter Verwendung von  $x' = d - x$   $M_{EM}^{(2)}(x') = -X_V H_{EM}^{(2)}(d - x) = -X_V M_2 f(d - x) e_x$  gilt.

**[0091]** Das dritte Magnetfeld ist das durch die Spule des Elektromagneten erzeugte Magnetfeld  $M_{EM}^{(coil)}(J) = X_V H_{coil}(J) e_x$ , wobei die Richtung des Stroms die Richtung des Magnetfeldes definiert  $J > 0 \Rightarrow I > 0 \Rightarrow H_{coil}(J) > 0$ .

**[0092]** Die Magnetisierung des Kernes des Elektromagneten lässt sich zusammenfassend als  $M_{EM}(x, J) = X_V \{M_1 f(x) - M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)\} e_x$  darstellen, wobei  $f(x)$  ein zum Abstand  $x$  invert proportionale Funktion ist mit  $\lim_{\infty} f(x) = 0$ .

**[0093]**  $F_1(x, J)$  sei im Weiteren der Interaktionskraftzustand zwischen dem Stator 1 und dem ersten Translator 2,  $F_2(x, J)$  der Interaktionskraftzustand zwischen dem Stator 1 und dem zweiten Translator 2', sodass für den auf den Stator 1 wirkenden Kraftzustand  $F_{EM}(x, J) = F_1(x, J) + F_2(x, J)$  gilt.

**[0094]** Der Term  $x \in [0, d]$  steht für die Verschiebung der Translatoen 2, 2' entlang der axialen Translatoorbewegungsbahn 3, wobei eine Bewegung von links nach rechts als eine Bewegung in eine „positive“ Richtung von der Anfangsposition  $x = d$  beziehungsweise  $x' = 0$  zu einer Endposition  $x = 0$  beziehungsweise  $x' = d$  behandelt wird. Eine Bewegung von rechts nach links wird als eine „negative“ Bewegung von der Anfangsposition  $x = 0$  beziehungsweise  $x' = d$  zu einer Endposition  $x = d$  beziehungsweise  $x' = 0$  betrachtet.

**[0095]** Wenn  $M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J) e_x$  mit  $M_{EM}(x, J) > 0$  gilt:

**[0096]** Der erste Translator 2 und der Stator 1 sind in Figur 17 in die gleiche Richtung polarisiert, sodass die Interaktionskraft eine Anziehungskraft ist und  $F_1(x, J) > 0$  gilt. Dies gilt im Falle von  $H_{coil}(J) > -M_1 f(x)$  unter der Einhaltung von  $\max(f(d - x)) = 1 \forall x \in [0, d], F_2(x, J) > 0$  wenn  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M_2$ .

**[0097]** Der zweite Translator 2' und der Stator 1 sind in unterschiedliche Richtungen polarisiert, sodass die Interaktionskraft eine Abstoßungskraft ist. Dies wird erreicht, wenn  $H_{coil}(J) > M_2 f(d - x)$  und  $\max(f(d - x)) = 1$ , wenn  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M_2$ .

**[0098]** Eine Bewegung von links nach rechts wird erreicht, wenn  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M_2 > 0 > -M_1$  in einer „positiven“ Magnetisierung des Stators resultieren.

**[0099]** Der Fangeffekt tritt auf, wenn  $M_2 > H_{coil}(J) > -M_1$ . Der Stator 1 ist durch das Magnetfeld des zweiten Translators 2' oder umgekehrt gefangen.

**[00100]** Wenn  $M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J)e_x$  mit  $M_{EM}(x, J) < 0$ , sind der erste Translator 2 und der Stator 1 in entgegengesetzte Richtungen polarisiert, sodass die Interaktionskraft eine Abstößungskraft ist und  $F_1(x, J) < 0$  gilt. Dies wird erreicht, wenn  $F_1(x, J) < 0$  gilt, sodass  $\forall x \in [0, d], F_1(x, J) < 0$ , wenn  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < -M_1$ . Der zweite Translator 2' und der Stator 1 sind in gleiche Richtungen polarisiert, sodass die Interaktionskraft eine Anziehungskraft ist und  $F_2(x, J) < 0$  gilt. Dies wird erreicht, wenn  $H_{coil}(J) < M_2 f(d - x)$ , sodass  $\forall x \in [0, d], F_2(x, J) < 0$ , wenn  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < M_2$ .

**[00101]**  $M_1$  und  $M_2$  sind positiv, sodass eine Bewegung von rechts nach links der Translato- ren 2, 2' abgeleitet werden kann, wenn durch  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < -M_1 < 0 < M_2$  eine „negative“ Polarisierung der Translato- ren 2, 2' ausgedrückt ist.

**[00102]** Das Fangproblem tritt auf, wenn  $-M_1 < H_{coil}(J) < M_2$ , sodass der Stator 1 durch das Magnetfeld des ersten Translators 2 gefangen ist.

**[00103]** Bei gleichen Magnetfeldstärken  $M_1 = M_2 = M$  wird eine "positive" Polarisierung und eine Bewegung von links nach rechts erreicht, wenn  $\forall x \in [0, d]$  und  $H_{coil}(J) > M$ . Umgekehrt hierzu wird eine „negative“ Polarisierung und eine Bewegung von rechts nach links erreicht, wenn  $\forall x \in [0, d]$  und  $H_{coil}(J) < -M$ . Der Fangeffekt tritt auf bei  $H_{coil}(J) \in [-M, M]$ ; der Fangeffekt kann unterbunden werden, wenn  $H_{coil}(J) > M$  sicher gestellt ist.

**[00104]** Das System ist im Gleichgewicht, wenn

$$\begin{aligned} M_{EM}(x, J) = 0 &\Rightarrow X_V \{-M_1 f(x) + M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)\} = 0 \\ &\Rightarrow H_{coil}(J) = M_1 f(x) - M_2 f(d - x) \end{aligned}$$

**[00105]** Unter der Annahme der gleichen Magnetisierung der Magnete  $M_1 = M_2 = M$  ist der Translator im Gleichgewicht, wenn  $H_{coil}(J) = M \{f(x) - f(d - x)\}$ .

**[00106]** Das System hat ein inneres Gleichgewicht bei einem nicht mit Strom beaufschlagtem Elektromagneten, wenn  $H_{coil}(J) = 0 \rightarrow M \{f(x) - f(d - x)\} = 0 \rightarrow f(x) = f(d - x)$ , was einerseits bei  $x = \frac{d}{2}$  erreicht ist. Dies ist der Fall wenn der erste Translator und der zweite Translator eine gleiche Magnetisierung aufweisen und in einer gleichen Distanz vom Stator entfernt sind.

**[00107]** Bei Verwendung von Translato- ren mit unterschiedlicher Feldstärke verschiebt sich der Gleichgewichtspunkt vom starken Translator weg, um  $M_1 f(x_{eq}) = M_2 f(d - x_{eq})$  erfüllen.

**[00108]** In Figur 18 bis Figur 24 ist das Ergebnis einer Simulation mittels FEM dargestellt. Die Simulation basiert auf den folgenden Annahmen:

**[00109]** Der Stator 1 wird als Elektromagnet mit einem ferromagnetischen Kern aus Weichmetall und einem Durchmesser von 30.0mm und einer Länge von 30.0mm (zylindrische Form) betrachtet. Die Spule wird durch eine Stromdichte  $J_{coil} \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  und einem Körper aus Kupfer mit einer Querschnittsfläche von  $30 \times 30 \text{ mm}^2$  angenommen.

**[00110]** Die Translato- ren 2, 2' sind als Permanentmagnete in zylindrischer Form mit einem Radium von 30,0mm und einer Länge von 30,0mm angenommen, wobei die Permanentmagnete in Richtung der Achse des Zylinders eine Magnetisierung aufweisen. Es wird ein Magnetisierungswert von  $M_1 = M_2 = M = 10E5 [A/m]$  angenommen, was einem handelsüblichen N45° Permanentmagneten entspricht. Die Translato- ren 2, 2' können sich entlang der linearen Trans-

latorbewegungsbahn 3, die auch Systemachse ist, frei bewegen. Die relative Position der Translatoren 2, 2' wird durch die Variable  $x \in [0, d][mm]$  beschrieben.

**[00111]** In Figur 18 bis Figur 24 ist die Interaktionskraft für eine Position der Translatoren  $x \in [0, 0,73][mm]$  und einer Beaufschlagung des Stators mit  $J_{coil} \in [-10, 10][A/mm^2]$  in Abhängigkeit der Position der Translatoren dargestellt.

**[00112]** Figur 18 zeigt den Fall einer Beaufschlagung des Elektromagneten mit  $J_{coil} = 0[A/mm^2]$  für einen Bereich der Position des Translators  $x \in [0, d]$ . In Einklang mit obiger Erörterung liegt der Gleichgewichtspunkt  $F_{EM}(x_{eq}, 0) = 0$  in der Mitte der Translatorbewegung  $x_{eq} = \frac{d}{2}$ .

**[00113]** Figur 19 zeigt die Entwicklung der Interaktionskraft bei einer Beaufschlagung des als Elektromagnet ausgebildeten Stators mit  $J_{coil} \in [0, 10][A/mm^2]$  in einem Bereich des Translators  $x \in [0, 0,73][mm]$ . Die Beaufschlagung des Stators führt zu einer positiven Magnetisierung dieses. Der Stator und der erste Translator unterliegen einer Anziehinteraktionskraft; der Stator und der zweite Translator einer Abstoßungsinteraktionskraft. Die Bedingung für eine Abstoßungsinteraktion zwischen dem Stator und dem zweiten Translator  $|H_{coil}(J)| > M_2$  ist nicht erfüllt, wenn der Stator nahe dem zweiten Translator ist.

**[00114]** Figur 20 zeigt die Entwicklung der Interaktionskraft bei einer Beaufschlagung des Stators mit  $J_{coil} \in [-10, 0][A/mm^2]$  in Abhängigkeit der Position des Stators in einem Bereich  $x \in [0, 0,73][mm]$ . Dies führt zu einer negativen Magnetisierung des Stators; der Stator und der zweiten Translator stehen unter dem Einfluss einer Anziehinteraktionskraft, während zwischen dem Stator und dem ersten Translator eine Abstoßungsinteraktionskraft wirkt.

**[00115]** Die Bedingung für eine Abstoßungsinteraktionskraft zwischen dem Stator und dem ersten Translator ist nicht erfüllt, wenn der Stator nahe dem ersten Translator ist.

**[00116]** Figur 21 vergleicht den Fall einer Beaufschlagung des als Elektromagnet ausgebildeten Stators 1 mit  $J_{coil} \in [0, 10][A/mm^2]$  und den Fall einer Beaufschlagung mit  $J_{coil} \in [-10, 10][A/mm^2]$  in Abhängigkeit der Position des ersten Translators 2, für einen Bereich  $x \in [0, 0,73][mm]$ .

**[00117]** In dem Bereich (im Folgenden als „Fangbereich“ bezeichnet), in welchem die Bedingung  $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M$  nicht erfüllt ist und in welchem der Fangeffekt auftritt, wirkt die Interaktionskraft gegen eine gewünschte Bewegung der Translatoren 2, 2'. Der Endpunkt des Fangbereiches ist durch den Gleichgewichtspunkt  $x_{eq}$  definiert.

**[00118]** Der Fangbereich entspricht im Wesentlichen derjenigen Position des Stators, in welcher das Magnetfeld des Stators nicht das Magnetfeld des näheren Translators der Translatoren 2, 2' ausgleicht.

**[00119]** Der Fachmann erkennt, dass - um eine effiziente Oszillation der Translatoren zu erhalten - die Bewegung des Translators 2, 2' sich außerhalb des Fangbereiches erstrecken sollte. Daraus folgt eine erforderliche Mindestdistanz  $\epsilon \geq x_{eq}$  zwischen dem ersten Translator und dem Stator.

**[00120]** Figuren 22 bis Figuren 24 betreffen die Verwendung einer Beschleunigungseinheit.

**[00121]** In obiger Betrachtung wurde der durch die Beschleunigungseinheit aktivierte Beschleunigungskraftzustand, insbesondere die Korrekturkraft durch den Term  $F_{corr}(x)$  in Abhän-

gigkeit der Beabstandung des ersten Translators 2 zum Stator 1 definiert, sodass der auf den ersten Translator 1 wirkende Kraftzustand sich durch die Gleichung  $F_{TOT}(x, J) = F(x, J) + F_{corr}(x)$  errechnet.

**[00122]** Es wurde als zweites Charakteristikum der Beschleunigungseinheit das Vorliegen eines Gleichgewichtszustandes gewählt, welcher bei einem Nicht-Betrieb des Elektromagneten vorliegen soll:  $F_{TOT}(x, 0) = 0 \Rightarrow F_{corr}(x) = -F(x, 0)$ .

**[00123]** Der durch die Beschleunigungseinheit hervorgerufene Beschleunigungskraftzustand umfassend  $\vec{F}_{corr}$  stimmt im Wesentlichen mit dem Fangkraftzustand überein, welcher erfundungsgemäß durch den Beschleunigungskraftzustand in zumindest Teilbereichen zu überlagern ist. Der Beschleunigungskraftzustand, insbesondere der Verlauf dieses kann durch Messungen gegebenenfalls bei einem Nichtbetrieb des Elektromagneten abgeleitet werden.

**[00124]** Figur 22 vergleicht den Verlauf des Beschleunigungskraftzustandes gewährleistend  $F_{corr}(x) = -F(x, 0)$ . Zusätzlich ist die Interaktionskraft als gestrichelte Linie eingetragen für den Fall, dass der als Elektroantrieb ausgebildete Stator nicht aktiv ist.

**[00125]** Figur 23 zeigt den Verlauf von  $F_{TOT}(x, J)$  bei Verwendung einer Beschleunigungseinheit und bei Beaufschlagung des Stators mit einer „positiven“ oder „negativen“ Stromdichte  $J_{coil} = 10[A/mm^2]$  als eine Funktion der Position der Beabstandung der Translatoen vom Stator. In dem Diagramm wird der Bereich  $x \in [0, 73][mm]$  betrachtet. Zusätzlich ist mittels der punktierten Linie der Verlauf von  $F_{TOT}(x, J)$  bei keiner Beaufschlagung des Stators angegeben.

**[00126]** Der in Figur 23 dargestellte Kraftverlauf basiert auf der Vereinfachung, dass der erste Translator und der zweite Translator die gleiche Magnetisierung aufweisen. Daraus ergibt sich eine Gleichgewichtsposition bei  $x_{eq} = \frac{d}{2}$  für einen unbeaufschlagten Elektromagneten

$$F_{TOT}\left(\frac{d}{2}, 0\right) = 0.$$

**[00127]** Der in Figur 23 gezeigte Kraftzustand bei Verwendung einer Beschleunigungseinheit weist folgenden Charakteristika auf:

**[00128]** Der nicht beaufschlagte Translator ist immer im Gleichgewicht:  $\forall x \in [0, d], F_{TOT}(x, 0) = 0$ . Die zuvor erwähnte Gleichgewichtsposition  $x_{eq} = \frac{d}{2}$  wird zum Symmetriepunkt des Verlaufes der korrigierten Interaktionskraft  $F_{TOT}(x, J)$ . Das Profil des Verlaufes der korrigierten Interaktionskraft ist u-förmig.

**[00129]** Figur 24 zeigt den Verlauf der korrigierten Interaktionskraft  $F_{TOT}(x, J)$  bei unterschiedlicher Beaufschlagung des Elektromagneten mit  $J_{coil} \in [-10, 10][A/mm^2]$  in Abhängigkeit der relativen Position des Translators für einen Bereich  $x \in [0, 73][mm]$ .

**[00130]** Eine optimale Bewegung des Translators von links nach rechts ist durch  $F_{TOT}(x, J) > 0$  gekennzeichnet. Dies wird erreicht bei  $J > 0$ . Umgekehrt wird eine Bewegung des Translators von rechts nach links durch  $F_{TOT}(x, J) < 0$  bei  $J < 0$  erreicht.

**[00131]** Figuren 25 bis 29 beschäftigen sich mit einer speziellen Ausführungsform der Beschleunigungseinheit, nämlich in Form einer Feder. Die Wirkungsweise der Feder wird in Anlehnung an die oben beschriebenen Charakteristika der Beschleunigungseinheit erörtert.

**[00132]** Da  $x_{eq} = \frac{d}{2}$  der Symmetriepunkt des Verlaufes der korrigierten Kraft ist, kann die Korrekturkraft unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften einer Feder als eine Summe von zwei Federkräften ausgedrückt werden:  $\forall x \in [0, d], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x)$  mit  $\forall x \in [0, \frac{d}{2}], F_1(x) > 0, F_2(x) = 0$  und  $\forall x \in [\frac{d}{2}, d], F_1(x) = 0, F_2(x) < 0$ .

**[00133]** Figur 25 zeigt den Verlauf von  $\forall x \in [0, d], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x)$ . Es gilt hierbei  $\forall x \in [0, d], F_1(x) \geq 0$  immer bewirkend eine „positive“ Kraft und  $\forall x \in [0, d], F_2(x) \leq 0$  immer bewirkend eine „negative“ Kraft. Die erste Federkraft  $F_1$  wirkt ausschließlich im Bereich  $x \in [0, \frac{d}{2}]$ , sodass die erste Federkraft der Interaktion zwischen Stator und erstem Translator entgegenwirkt. Die zweite Federkraft  $F_2$  wirkt hierzu analog ausschließlich im Bereich  $x \in [\frac{d}{2}, d]$  und entgegen der Interaktion zwischen Stator und dem zweiten Translator.

**[00134]** Bei einer gleichen Magnetisierung des ersten Translators und des zweiten Translator können die erste Federkraft und die zweite Federkraft wie folgt spezifiziert werden. Die erste Federkraft und die zweite Federkraft sind betragsmäßig gleich und wirken in unterschiedliche Richtungen.

$$\forall x \in [0, d], F_2(x) = -F_1(d - x).$$

**[00135]** Obige Erörterung führt zu der Anordnung von einer ersten Feder und einer zweiten Feder, die gleiche Federeigenschaften aufweisen, jedoch in unterschiedliche Richtungen wirken.

**[00136]** Figur 26 zeigt eine mögliche Ausführungsform der erfindungsgemäßen Magnetvorrichtung bei Verwendung von Federn 7, 7' als Beschleunigungseinheit 5, 5'.

**[00137]** Die erste Feder 7 erstreckt zwischen dem Stator 1 und dem ersten Translator 2 jeweils auf die zugewandten Oberflächen wirkend. Die erste Feder 7 wirkt einem Fangeffekt zwischen dem Stator 1 und dem ersten Translator 2 entgegen. Die Vorspannung der ersten Feder 7 erfolgt in Abhängigkeit einer Annäherung des ersten Translators 2 an den Stator 1. Der Stator 1 wirkt als Fixpunkt 6 für die erste Feder 7. Gleichsam wird die erste Federkraft  $F_1$  in Abhängigkeit einer Beabstandung des ersten Translator 2 vom Stator 1 als eine „positive“ Kraft abgegeben.

**[00138]** Die zweite Feder 7' wirkt analog zu der ersten Feder 7. In Analogie zu der Anordnung der ersten Feder 7 ist die zweite Feder 7' zwischen dem Stator 1 und dem zweiten Translator 2' angeordnet. Der Stator 1 wirkt als Fixpunkt 6 für die zweite Feder 7'.

**[00139]** Es gilt für die durch die erste Feder 7 und die zweite Feder 7' hergestellte Korrekturkraft  $F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x) = -F(x, 0)$ .

**[00140]** Gemäß dem einschlägigen Stand der Lehre ist eine Federkraft proportional zu der Längenänderung der Feder. Im Falle einer Kompression  $\delta x [mm]$  der Feder gilt  $F = -k\delta x$ , wobei  $k [N/m]$  die Federkonstante darstellt.

**[00141]** Bei Teilung der Translatorbewegung in  $n$  ( $n=1,2,3..\$ ) Subintervalle  $[x_{n-1}, x_n]$  mit  $x_0 = 0$  und  $x_N = d$  kann die Federkraft durch eine linear Extrapolation dargestellt werden.

$$F(x) = \alpha_n \times x + \beta_n \text{ mit } \alpha_n = \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} \text{ und } \beta_n = F(x_{n-1}).$$

**[00142]** Unter Berücksichtigung der Kompressionslänge  $\delta_n = x_n - x_{n-1}$  und der Federkonstante

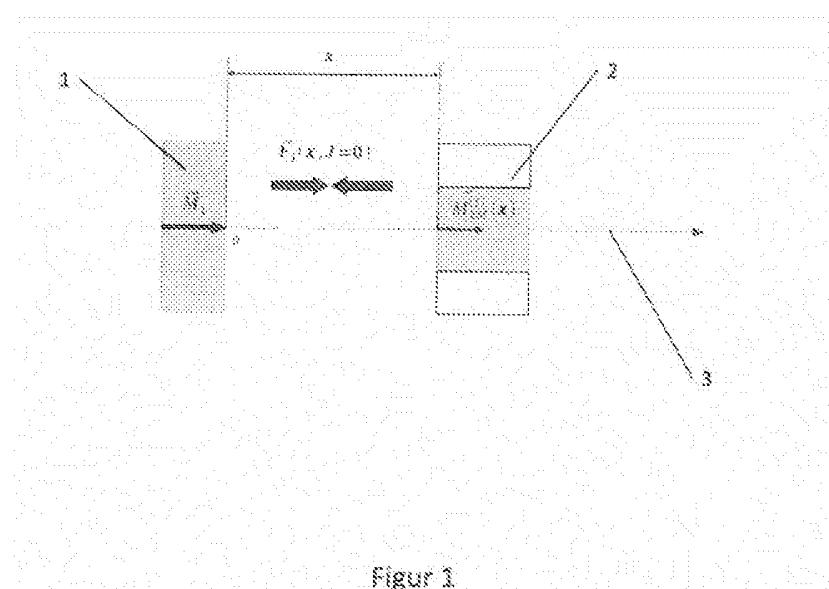
$k_n = \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} [N/m]$ , welche beide sich aufgrund der Eigenschaft der Feder ableiten lassen, erhält man Figur 27, in welcher die Federkonstante für fünf Intervalle  $x_n \in \{0,5,10,20,30,73\}$  dargestellt ist.

## Patentansprüche

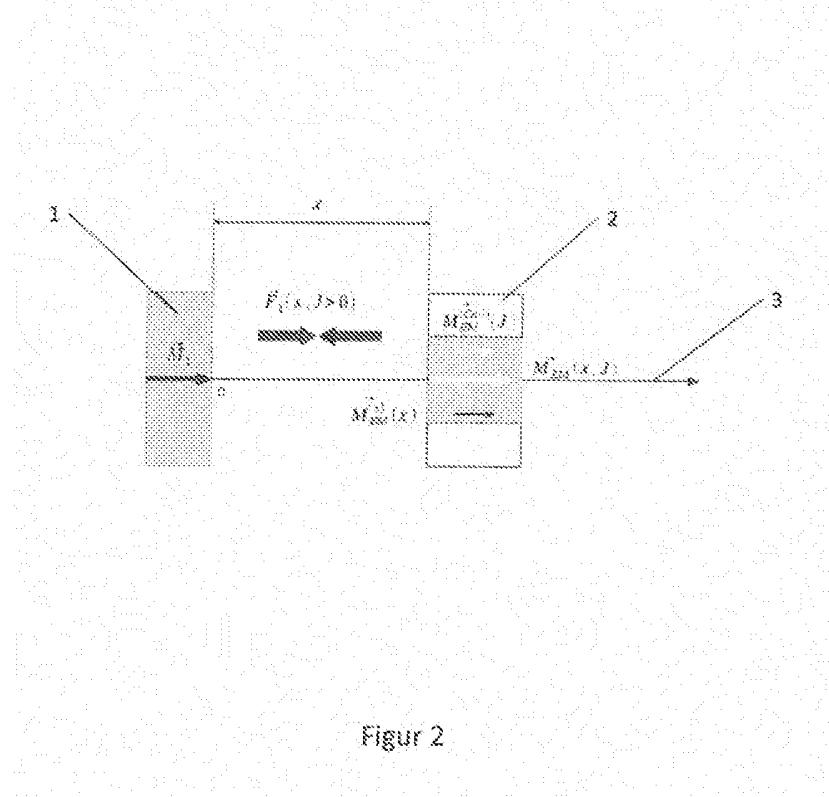
1. Magnetvorrichtung umfassend zumindest einen Stator (1) und einen Translator (2), welcher Translator (2) entlang einer Translatorbewegungsbahn (3) in eine Translatorbewegungsrichtung (4) relativ zum Stator (1) bewegbar ist, wobei der Translator (2) in zumindest Teilbereichen der Translatorbewegungsbahn (3) mit einer Beschleunigungseinheit (5) gekoppelt ist, welche bei Koppelung des Translators (2) der Beschleunigungseinheit (5) einen auf den Translator (2) wirkenden Beschleunigungskraftzustand umfassend zumindest eine Korrekturkraft  $F_{corr}$  hervorruft, welcher Beschleunigungskraftzustand eine Bewegung des Translators (2) vom Stator (1) weg hervorrufen kann,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
bei Koppelung des Translators (2) mit der Beschleunigungseinheit (5) und bei Bewegung des Translators (2) vom Stator (1) die Summe der auf den Translator (2) in Translatorbewegungsrichtung (4) aufgrund des Magnetismus wirkenden Kräfte größer oder gleich Null ist,  
sodass der Translator (2) mittels der Korrekturkraft  $F_{corr}$  von der durch den Stator (1) hervorgerufenen Anziehungskraft lösbar ist.
2. Magnetvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungseinheit (5) über der gesamte Translatorbewegungsbahn (3) mit dem Translator (2) gekoppelt ist.
3. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungseinheit (5) in Abhängigkeit eines Abstandes des Translators (2) zum Stator (1) bei Annäherung des Translators (2) zum Stator (1) vorspannbar ist und/oder die Beschleunigungseinheit (5) in Abhängigkeit des Abstandes des Translators (2) zum Stator (1) den Beschleunigungskraftzustand hervorruft.
4. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Koppelung des Translators (2) mit der Beschleunigungseinheit (5) und bei Bewegung des Translators (2) zum Stator (1) die Summe aller auf den Translator (2) entgegen der Translatorbewegungsrichtung (4) wirkenden Kräfte kleiner oder gleich Null ist.
5. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Beschleunigungskraftzustand gleich groß ist wie eine aufgrund von Magnetismus zwischen dem Stator (1) und Translator (2) wirkende Fangkraftzustand.
6. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungseinheit (5) mit dem Translator (2) und einem Fixpunkt (6) gekoppelt ist und sich zumindest zum Teil zwischen dem Translator (2) und dem Fixpunkt (6) erstreckt.
7. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stator (1) der Fixpunkt (6) ist.
8. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungseinheit (5) einen weiteren Magneten umfasst,
9. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschleunigungseinheit (5) eine Feder umfasst, welche Feder eine parallel zu der Translatorbewegungsrichtung (4) wirkende Federkraftkomponente aufweist.
10. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Translatorbewegungsbahn (3) linear oder polygonal ist.
11. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Strahl der Translatorbewegungsbahn (3) durch den Stator (1) verläuft.
12. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stator (1) und der Translator (2) jeweils Permanentmagnete sind.

13. Magnetvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stator (1) ein Permanentmagnet und der Translator (2) ein Elektromagnet ist oder dass der Stator (1) ein Elektromagnet und der Translator (2) ein Permanentmagnet ist oder dass der Stator (1) ein Elektromagnet und der Translator (2) ein Elektromagnet ist.
14. Magnetvorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetvorrichtung eine Steuervorrichtung zur Steuerung der Polung des Elektromagneten und der Steuerung der Stärke des Elektromagneten in Abhängigkeit des Beschleunigungskraftzustandes umfasst.

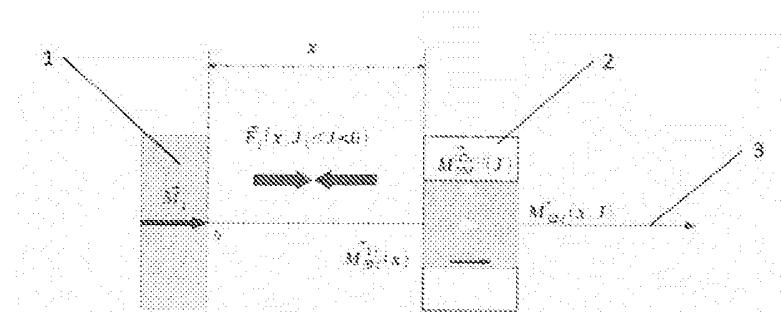
**Hierzu 15 Blatt Zeichnungen**



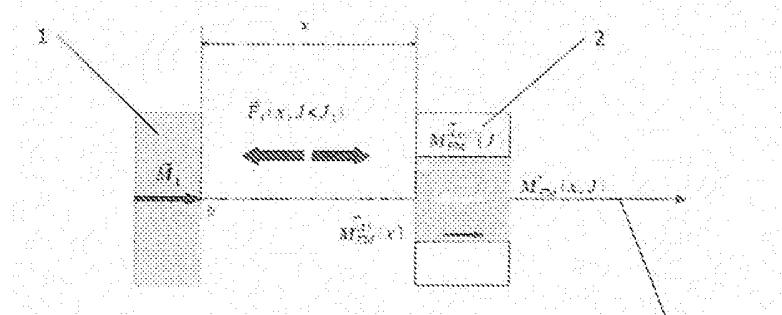
Figur 1



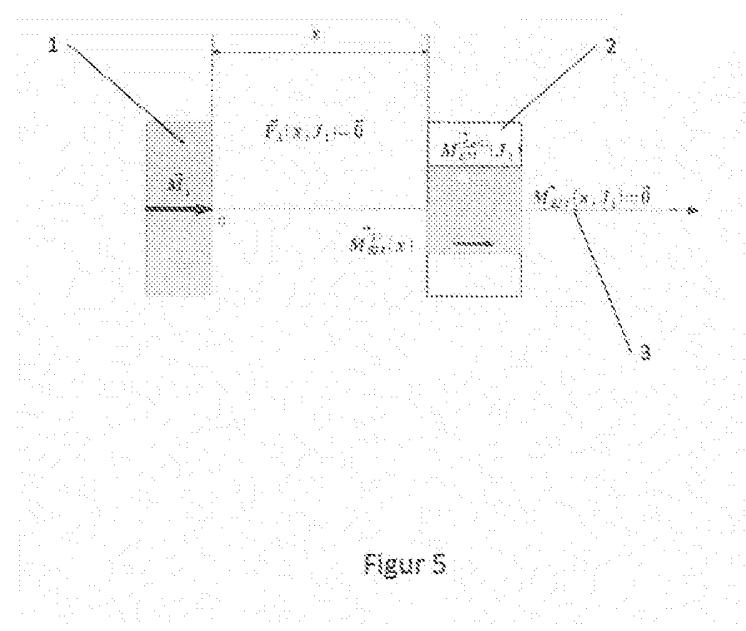
Figur 2



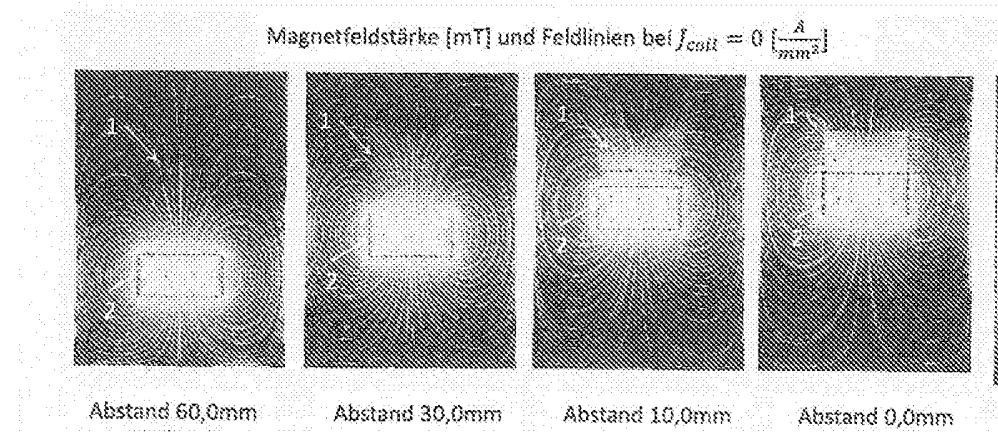
Figur 3



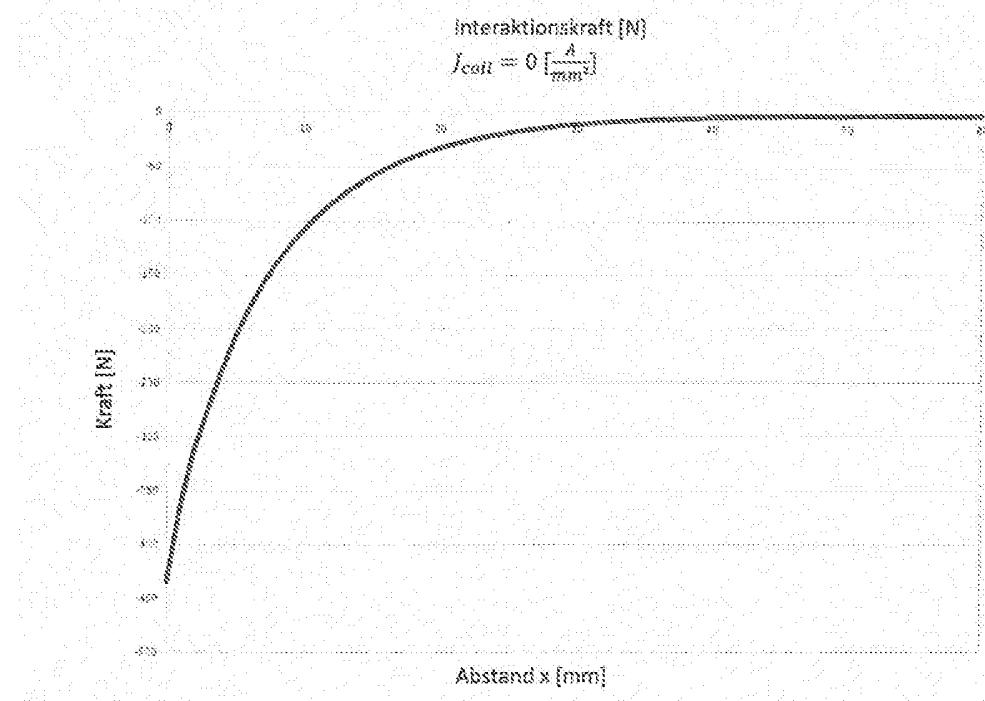
Figur 4



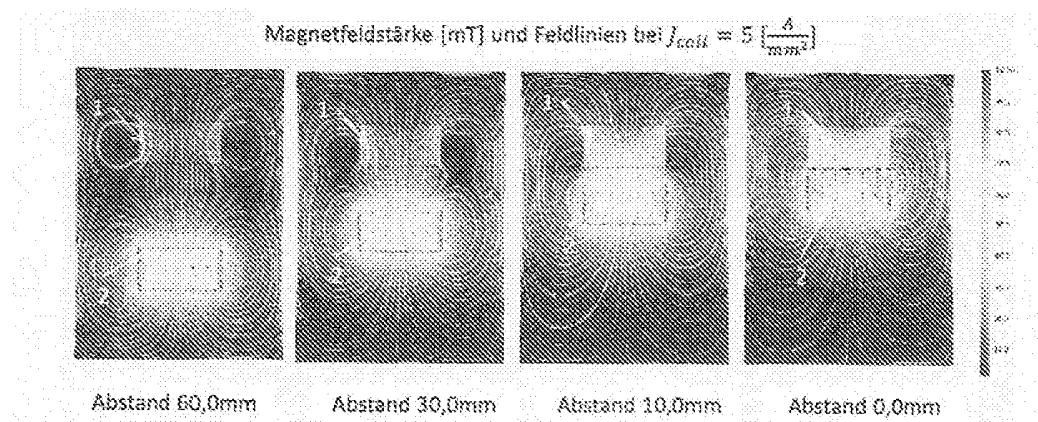
Figur 5



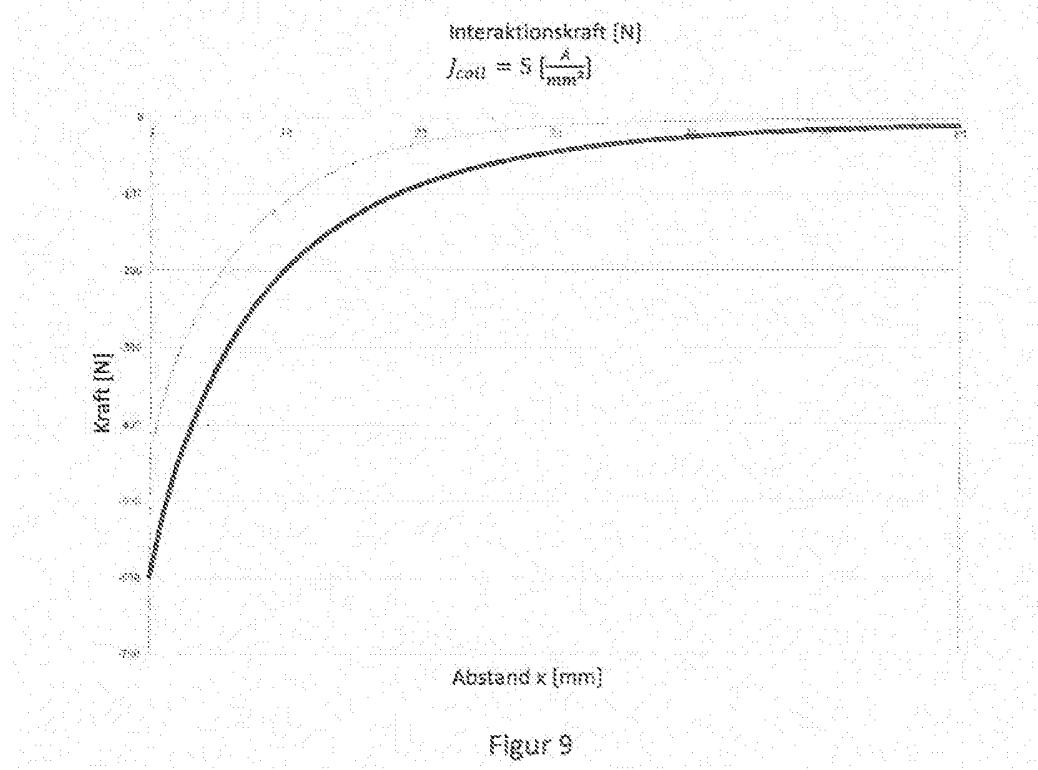
Figur 6



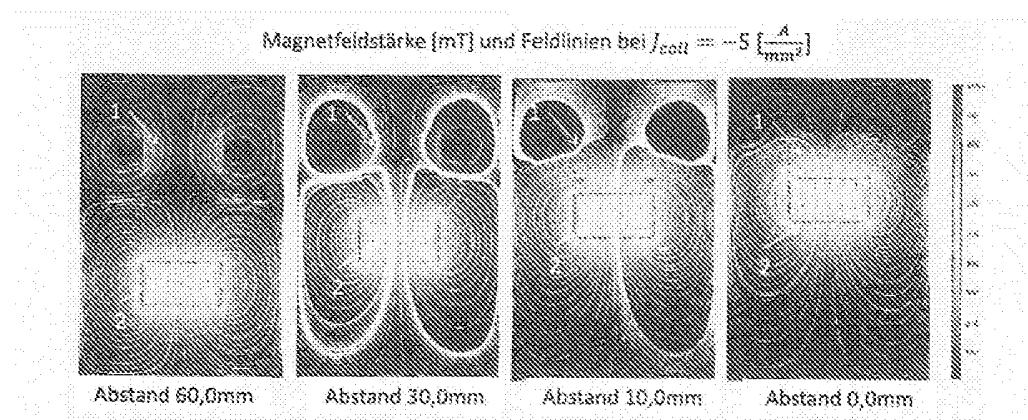
Figur 7



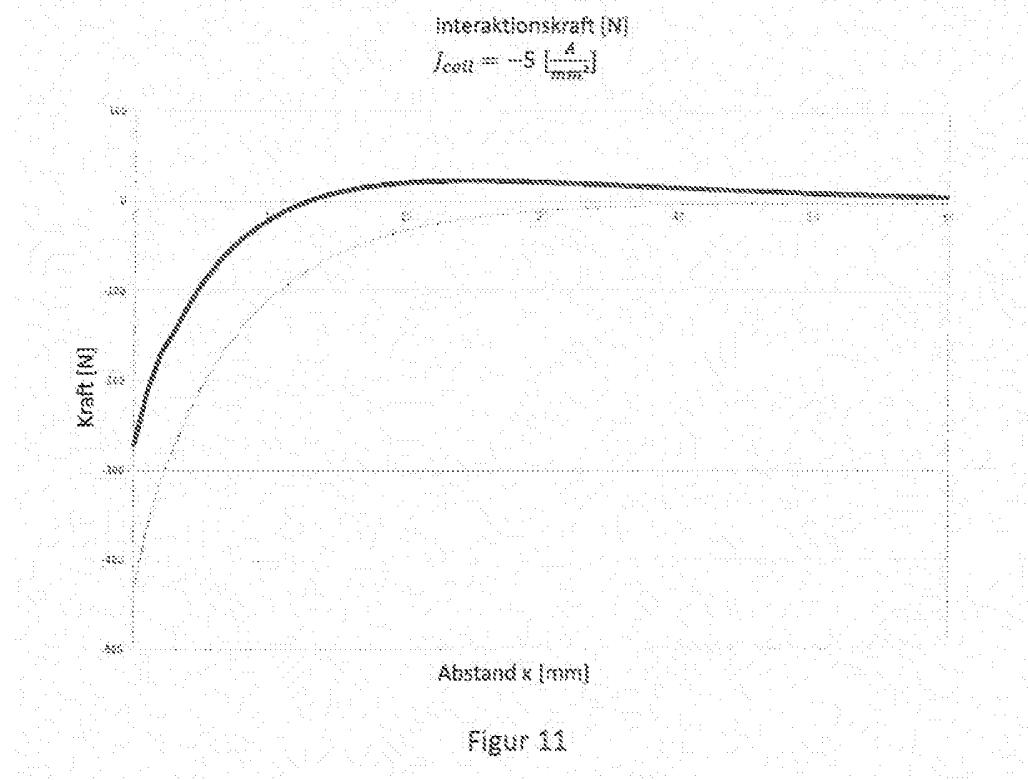
Figur 8



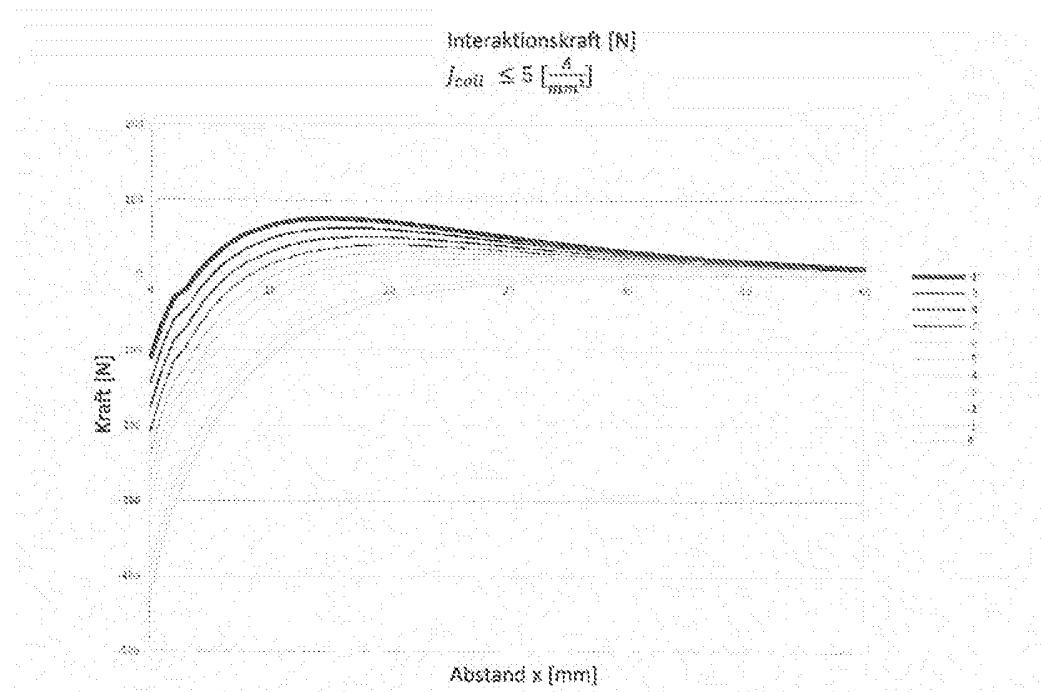
Figur 9



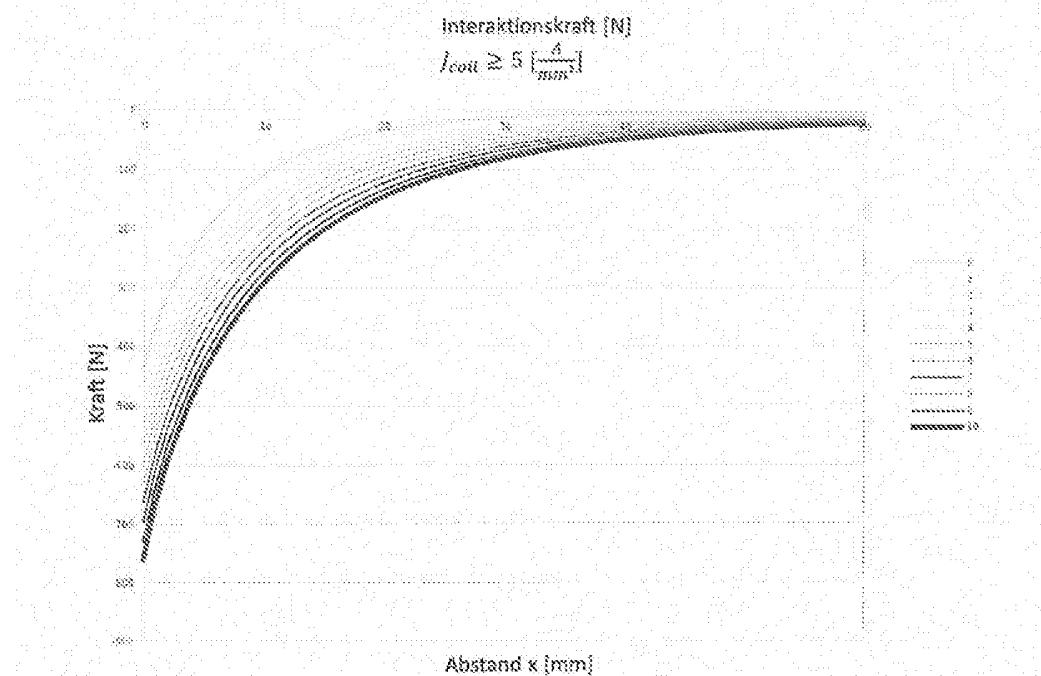
Figur 10



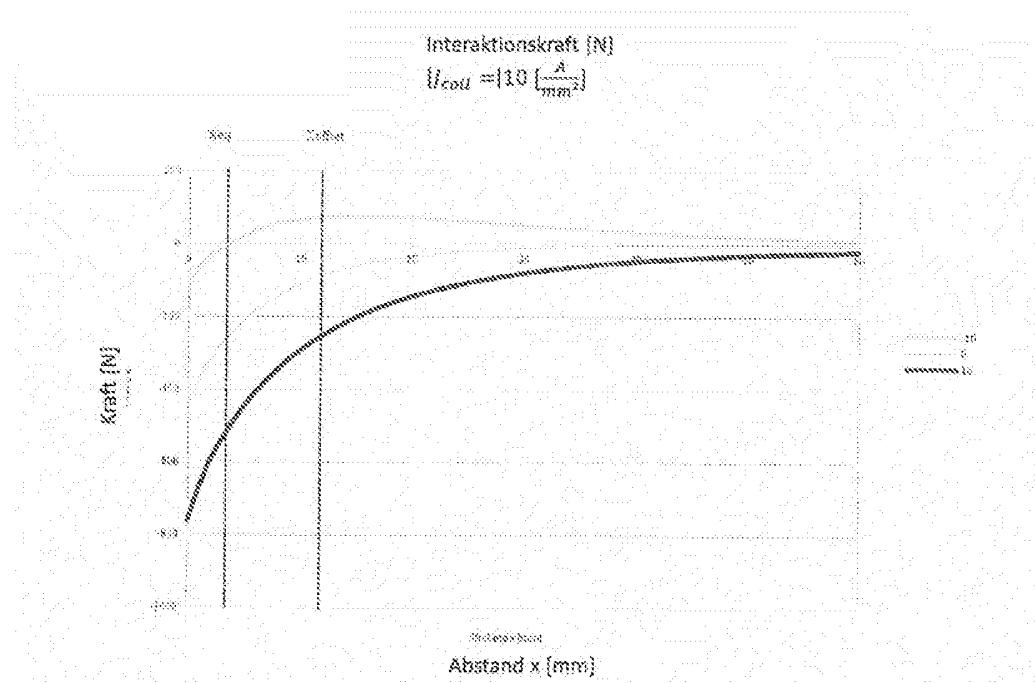
Figur 11



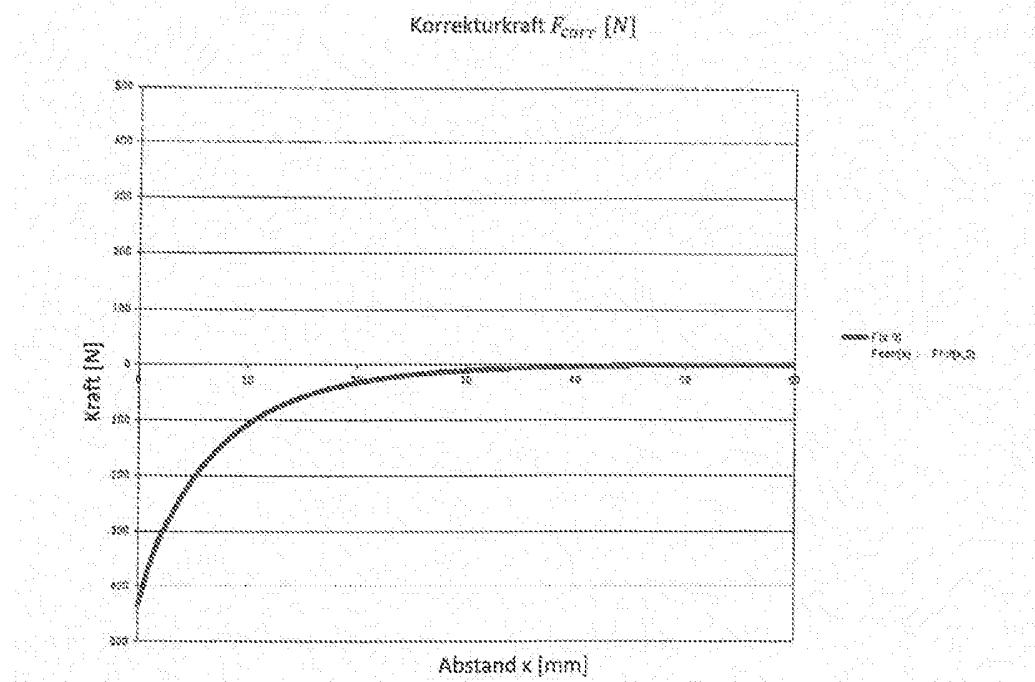
Figur 12



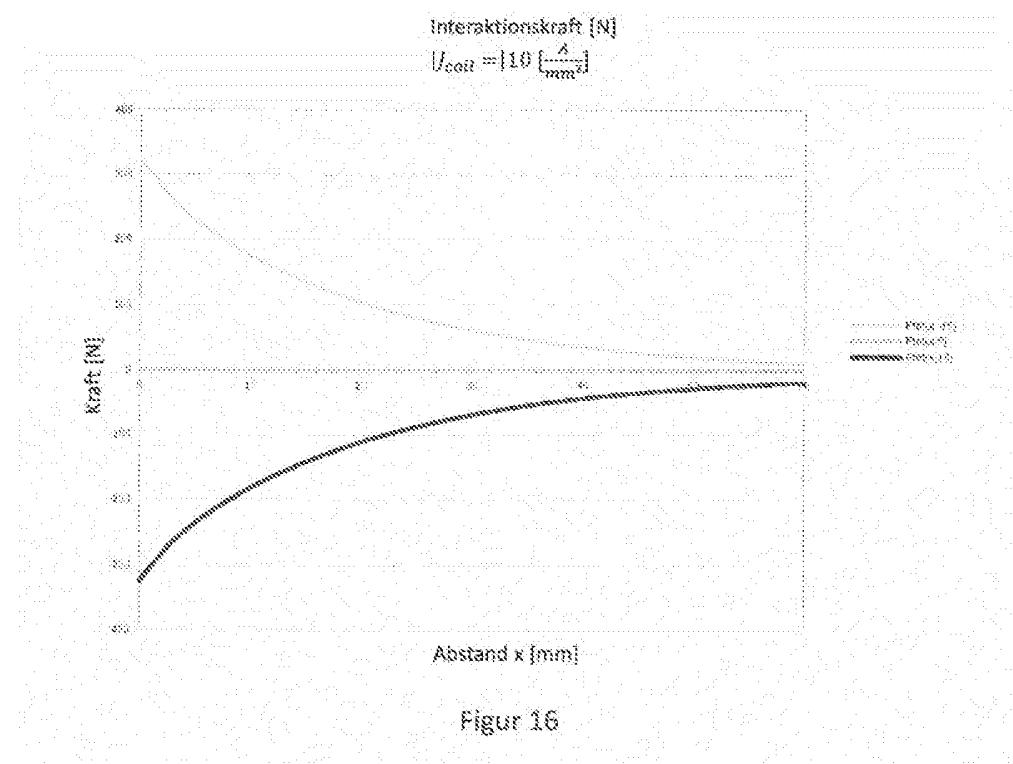
Figur 13

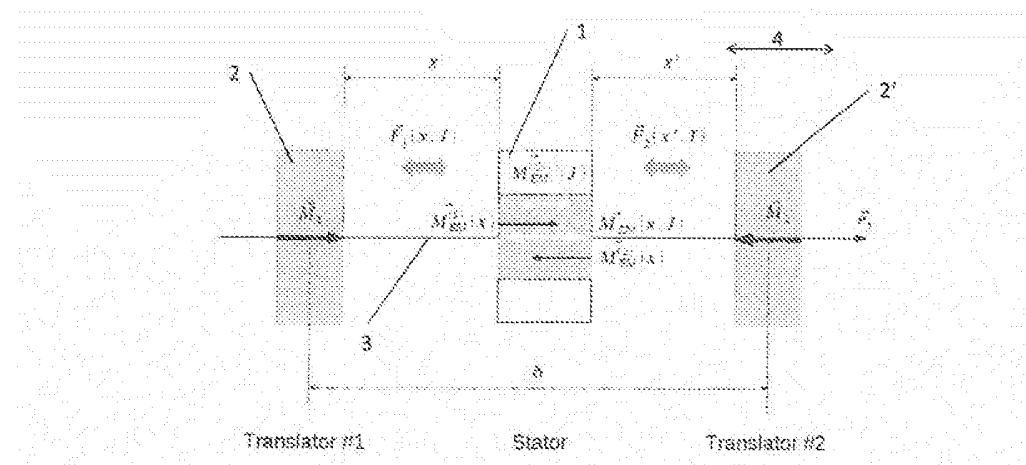


Figur 14



Figur 15

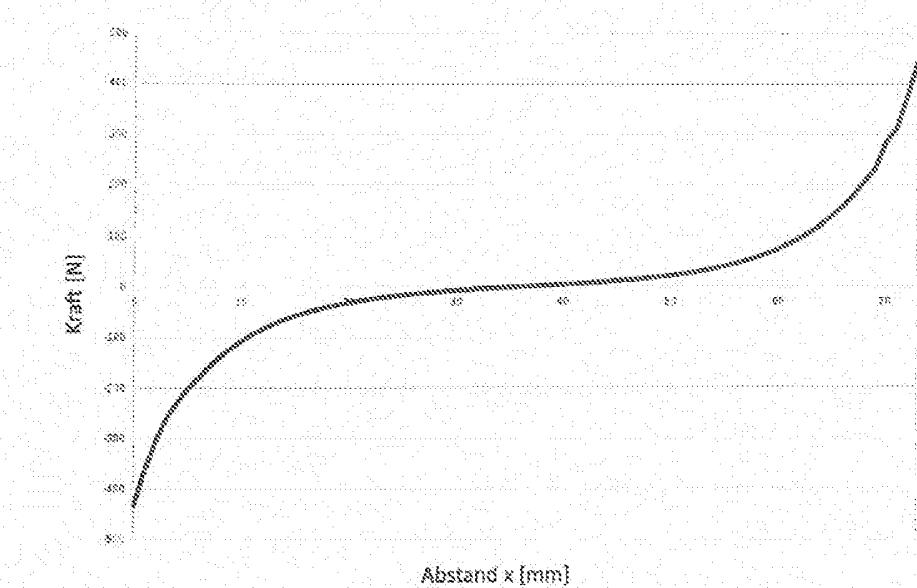




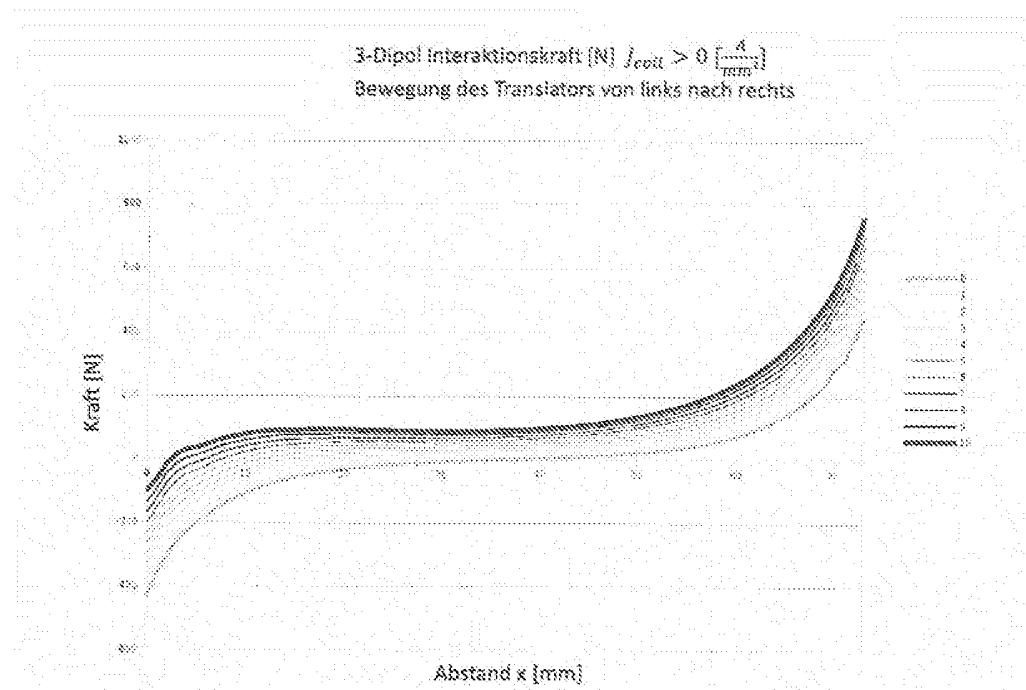
Figur 17

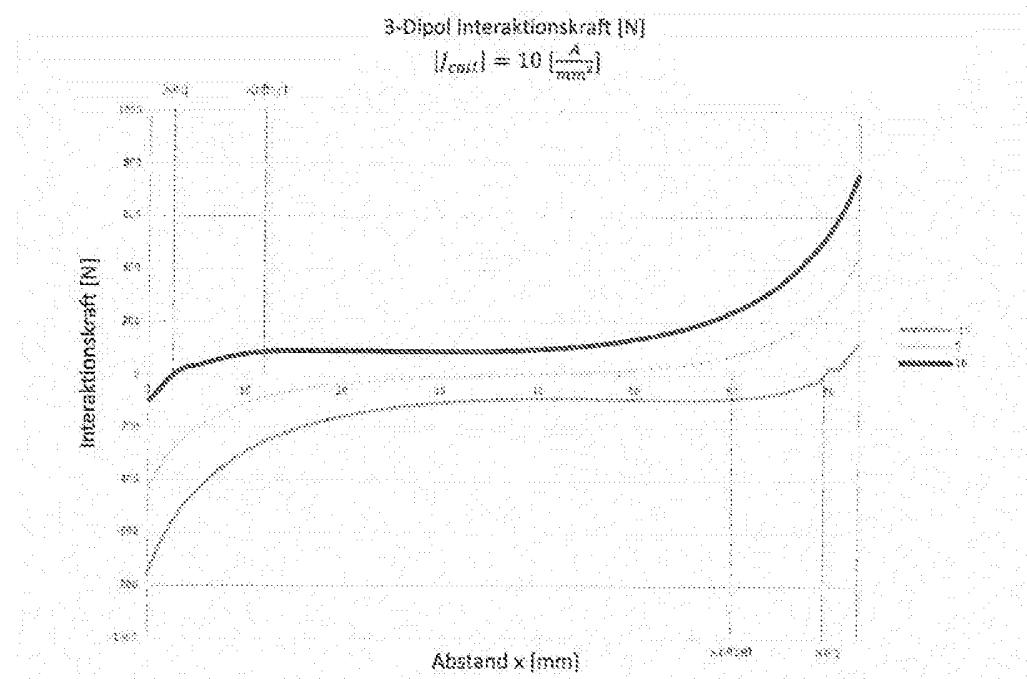
Interaktionskraft [N]

$$F_{int} = 0 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

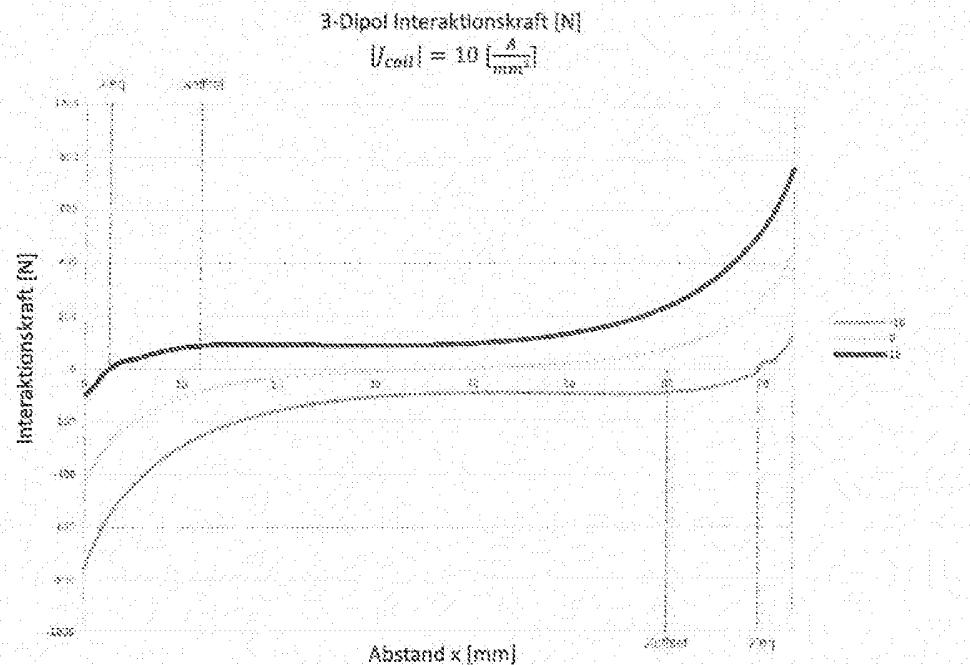


Figur 18

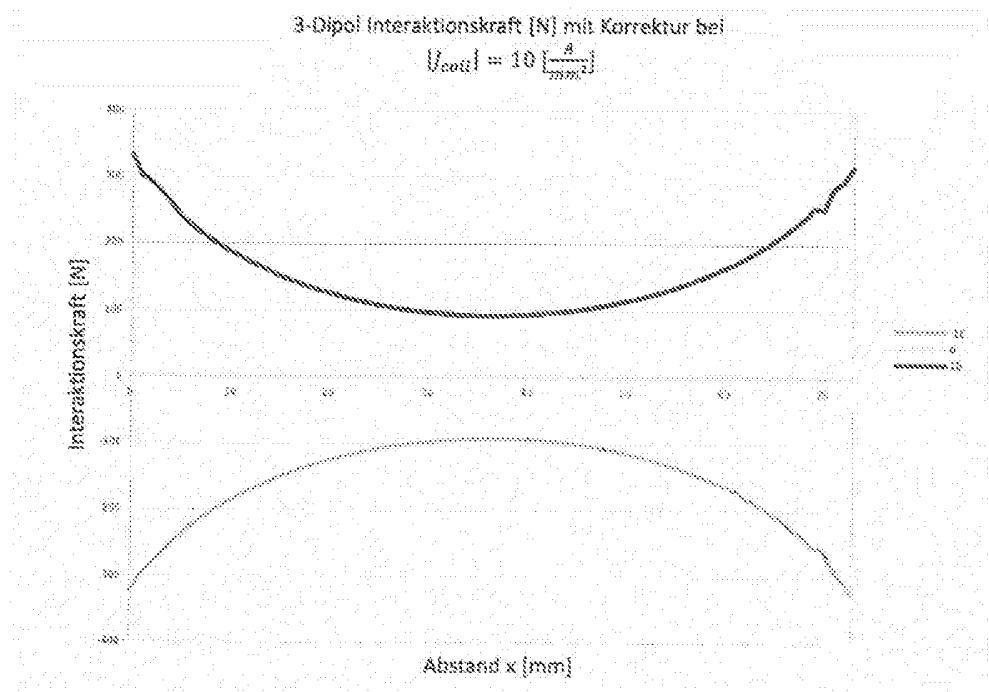




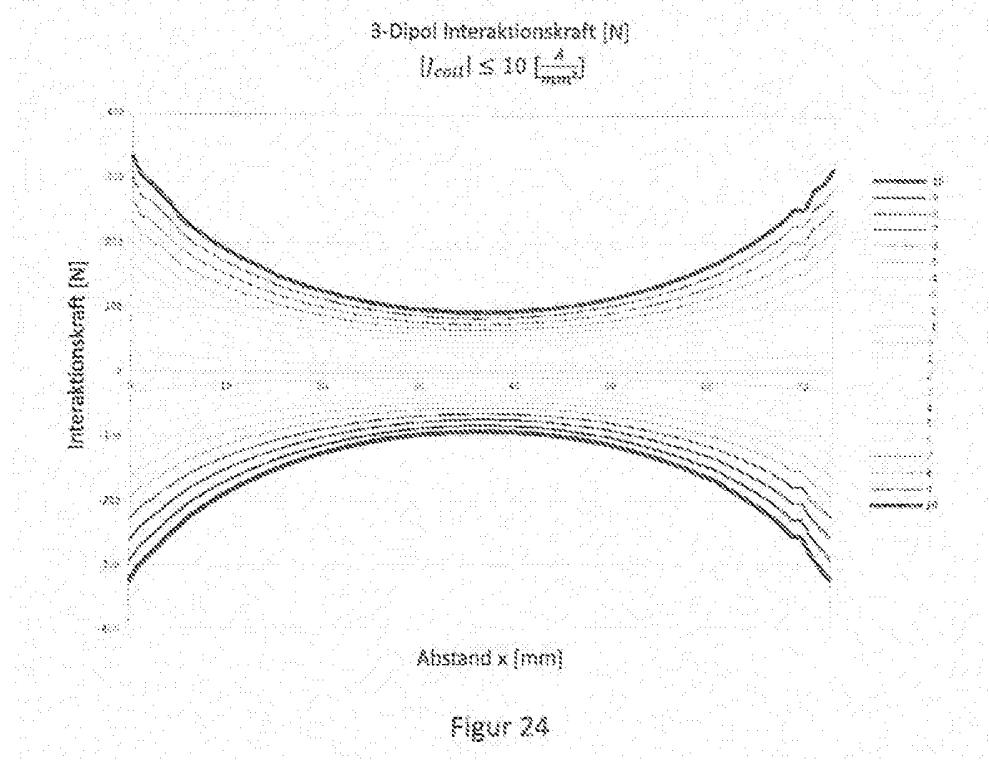
Figur 21



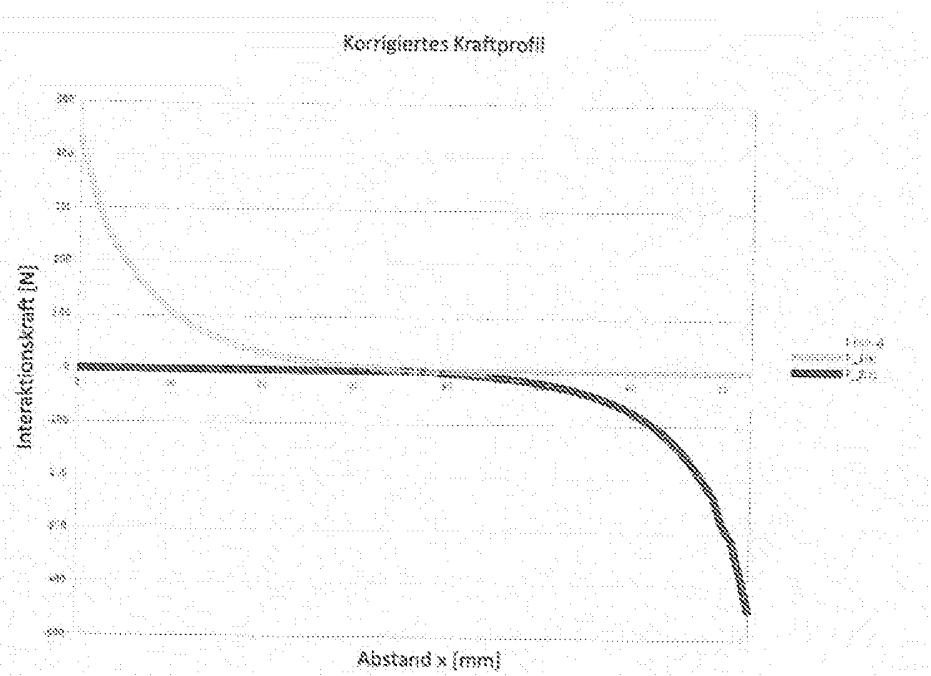
Figur 22



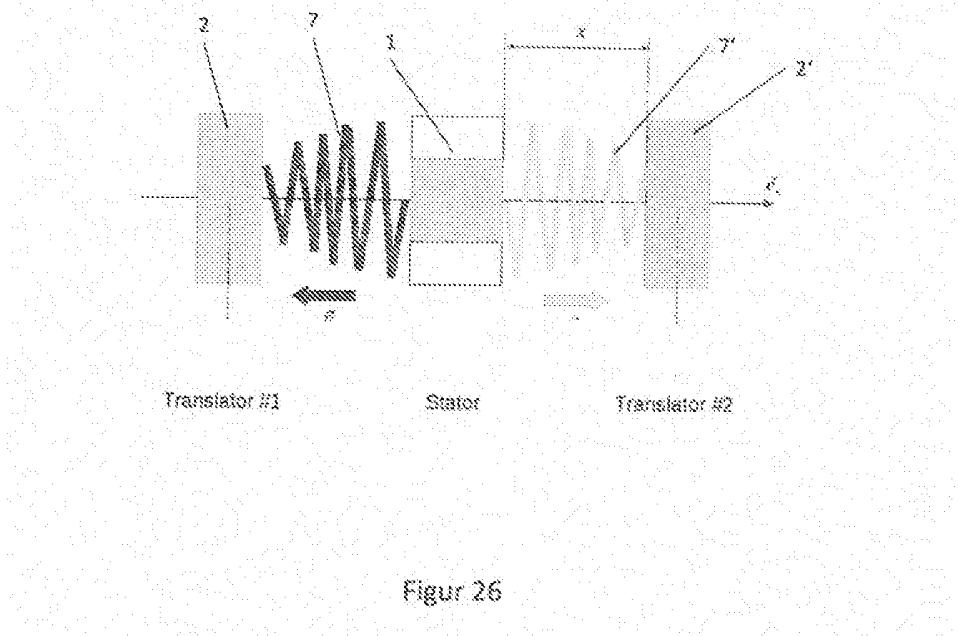
Figur 23



Figur 24



Figur 25



Figur 26

