



(10) **DE 11 2020 003 445 T5** 2022.03.31

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/015670**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 003 445.3**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SG2020/050401**  
(86) PCT-Anmeldetag: **13.07.2020**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **28.01.2021**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **31.03.2022**

(51) Int Cl.: **H02K 41/02** (2006.01)  
**H02K 7/08** (2006.01)  
**F16C 32/06** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**10201906690X**      **19.07.2019**      **SG**

(71) Anmelder:  
**Akribis Systems Pte. Ltd., Singapore, SG**

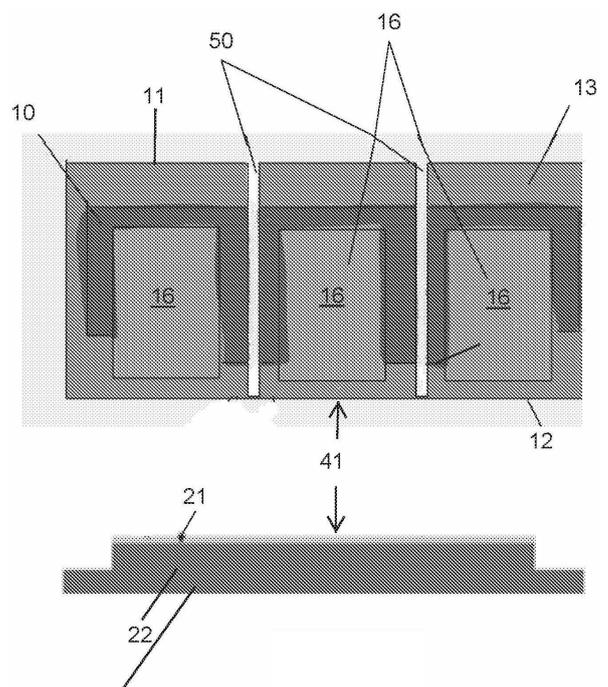
(74) Vertreter:  
**Puschmann Borchert Kaiser Klettner**  
**Patentanwälte Partnerschaft mbB, 82041**  
**Oberhaching, DE**

(72) Erfinder:  
**Lee, Shien Yang, Singapore, SG; Tan, Wei Jie,**  
**Singapore, SG**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Eisenbehalteter Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein eisenbehalteter Linearmotor-Forcer (100) mit integrierter Luftlagerführung offenbart. Dabei umfasst der Motorforcer (100) (i) einen Eisenkern (10), der von einem Gehäuse (13) mit einer Oberseite (11) und einer Unterseite (12) umschlossen ist, wobei auf dem Eisenkern (10) eine Vielzahl von Spulenwicklungen (16) angebracht ist, und eine Vielzahl von Luftzufuhrkanälen (50) im Wesentlichen vertikal von der Oberseite (11) zur Unterseite (12) des Gehäuses (13) verlaufend vorgesehen ist, und jeder der Luftzufuhrkanäle (50) an der Unterseite (12) in einer oder mehreren Düsenöffnungen (32) ausläuft; und (ii) einen Linearmotor-Stator (20) mit einer Statoroberfläche (22). Der eisenbehaltete Linearmotor (100) bewegt sich reibungsfrei auf dem Motor-Stator (20).



**Beschreibung**

## VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Für die vorliegende Patentanmeldung wird die Priorität der vorläufigen Anmeldungen in Singapur mit jeweils Anmeldenr. 10201906690X, eingereicht am 19. Juli 2019, und Anmeldenr. 10201911803U vom 07. Dezember 2019 beansprucht. Beide vorgenannte Anmeldungen sind durch diesen Verweis in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen.

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein das Gebiet der Luftlagerführung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung zur Bildung einer modularen Baueinheit mit Selbstregulierung des Laufspiels zwischen Forcer und Stator des Linearmotors.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0003]** Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die magnetische Anziehungskraft zwischen Forcer und Stator eines offenseitigen eisenbehafteten Linearmotors als Vorspannungsquelle für Luftlager genutzt werden kann. Dies ist im US-Patent Nr. 6150740 offenbart, das ein System und ein Verfahren zum Vorspannen von linearen Lagern beschreibt, welche angeordnet sind, sich zwischen zwei orthogonalen Oberflächen jeweils einer Schiene und eines diese überlappenden Schlittens zu bewegen, wobei ein elektrischer Linearmotor mit Permanentmagnet mit hoher Anziehungskraft zwischen den Spulen und den Magneten in einem spitzen Winkel zu den Oberflächen geneigt angeordnet ist, sodass sich berührungsfreie lineare Bewegungsachsen ergeben. Der Stand der Technik beruht jedoch auf der Kombination von einzelnen Luftlagerelementen mit eisenbehafteten Linearmotoren in einer Baugruppe. Bei einer derartigen Konstruktion wird eine Vorspannkraft an einer anderen Stelle als der Luftfilm des Lagers angelegt, und aufgrund der Motorbeschleunigung wirken Kräfte vom Steifigkeitszentrum jedes Lagerelements weg, sodass im Hinblick auf günstige Systemdynamik und hohe geometrische Genauigkeit eine sorgfältige mechanische Ausführung erforderlich ist.

**[0004]** Im deutschen Patent Nr. DE102007057833 ist eine Linearführung mit integriertem Linearmotor mit einem ortsfesten, in Führungsrichtung verlaufenden Träger, einem in Führungsrichtung beweglichen Tisch und einem Linearmotor, dessen beweglicher Teil mit dem Tisch und dessen ortsfester Teil mit dem Träger verbunden ist, offenbart. Die Linearführung verfügt zudem über ein integriertes Position-

messsystem mit Maßstab und Abtastköpfen, mit dem die Position des Tisches sowohl in Führungsrichtung als auch in einer Abweichungsrichtung, die quer zur Führungsrichtung und parallel zu einer Ebene eines Luftspalts des Linearmotors verläuft, erfassbar ist.

**[0005]** Im US-Patent Nr. 6707200 ist ein Motor mit integriertem Magnetlager offenbart, welcher einen Rotor mit einer Vielzahl von Permanentmagneten und einen Stator mit einer Vielzahl von unabhängig gesteuerten Spulensegmenten, die magnetisch mit den Permanentmagneten gekoppelt sind, umfasst. Die Motorsegmente sind ausgelegt, um Tangentialkräfte zu erzeugen, wodurch infolge der Tangentialkräfte sowohl Drehmoment- als auch Lagerkräfte auf den Stator und den Rotor erzeugt werden.

**[0006]** Im europäischen Patent Nr. EP 3460273 ist ein aktives Luftlager offenbart, das eine untere Platte mit einem zentralen Aussparungsbereich mit einer Düsenöffnung umfasst, die eine Einlassdrossel für Druckluft aus einer zentralen Düse bildet. Ein Luftspalt ist zwischen einer Führungsfläche und der unteren Platte gebildet. Das aktive Luftlager umfasst einen Kraft-Aktuator, der unter Verformung der unteren Platte die Form des Luftspalts verändert. Der Aktuator bewirkt eine konische Verformung der ersten Platte. Vorzugsweise bilden die erste Platte, eine zweite Platte und vier Drehpunkte ein Parallelogramm, wobei die Form des Parallelogramms durch Betätigung des Aktuators verändert werden kann.

## ZUSAMMENFASSUNG DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

**[0007]** Eine Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem das Lagerelement, das Vorspannelement und das Betätigungselement zu einer einzigen Einheit kombiniert sind. Eine solche kombinierte Einheit ergibt ein in sich geschlossenes Bewegungselement mit inhärenter Ausrichtung zwischen dem Trägheitszentrum, dem Steifigkeitszentrum und dem Kraftzentrum. Diese inhärent ausbalancierten Elemente sind ohne weiteres in Systeme integrierbar, reduzieren die Gesamtzahl der Teile und haben geringere Masse und Größe - alles Eigenschaften mit erheblichem potenziellen Nutzen bei der Konstruktion von Präzisionsbewegungssystemen.

**[0008]** Eine weitere Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, der Folgendes umfasst:

- (i) einen Eisenkern, der von einem Gehäuse mit einer Oberseite und einer Unterseite umschlossen ist, wobei auf dem Eisenkern eine Vielzahl von Spulenwicklungen montiert ist, und eine

Vielzahl von Luftzufuhrkanälen im Wesentlichen vertikal von der Oberseite zur Unterseite des Gehäuses vorgesehen ist, und jeder der Luftzufuhrkanäle an der Unterseite in einer oder mehreren Düsenöffnungen ausläuft; und

(ii) einen Linearmotor-Stator mit einer Statoroberfläche;

wodurch Druckluft über die Vielzahl der Luftzufuhrkanäle und durch die Düsenöffnungen in einen magnetischen Luftspalt eingeblasen wird, der zwischen der Unterseite und der Statoroberfläche des Motor-Stators gebildet ist, sodass ein vorgespannter tragender Luftfilm erzeugt wird, und sich der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer reibungsfrei auf dem Motor-Stator bewegt.

**[0009]** Eine weitere Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, der Folgendes umfasst:

(i) einen Eisenkern, der von einem Gehäuse mit einer Oberseite und einer Unterseite umschlossen ist, wobei auf dem Eisenkern eine Vielzahl von Spulenwicklungen montiert ist;

(ii) eine Vielzahl von Injektionsleitungen mit jeweils einem Innenvolumen, die an der Unterseite angebracht ist, und einer Vielzahl von Düsenöffnungen, die zwischen dem Innenvolumen der Injektionsleitungen und der Unterseite ausgebildet ist; und

(iii) einen Linearmotor-Stator mit einer Statoroberfläche;

wodurch Druckluft über die Injektionsleitungen in einen magnetischen Luftspalt eingeblasen wird, der zwischen der Unterseite und der Statoroberfläche gebildet ist, um einen vorgespannten tragenden Luftfilm zu erzeugen, sodass sich der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer reibungsfrei auf dem Motor-Stator bewegt.

**[0010]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftführung zur Verfügung zu stellen, bei dem die Vielzahl von Düsenöffnungen an den Injektionsleitungen an der Unterseite des Linearmotor-Forcers mittels einem Lasergerät oder dergleichen erzeugt wird.

**[0011]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Linearmotor mit Eisenkern und integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem die Injektionsleitung unterhalb der Unterseite des Eisenkerns vorgesehen ist.

**[0012]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen eisenbehafteten Linearmo-

tor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem die obere abriebfeste Schicht und die untere abriebfeste Schicht ein hohes Maß an Ebenheit aufweisen.

**[0013]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem der Linearmotor-Stator eine Anordnung von Permanentmagneten enthält und der Forcer sich relativ zum Linearmotor-Stator bewegt, und die Statoroberfläche des Linearmotor-Stators ein hohes Maß an Ebenheit und Oberflächengüte aufweist.

**[0014]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem die Oberfläche des Linearmotor-Stators als Führung für den Eisenkern-Forcer fungiert.

**[0015]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem die Oberseite des Linearmotor-Stators und die Unterseite als Laufflächen für das Luftlager dienen. Zwischen diesen beiden Oberflächen befindet sich ein Luftfilm, der durch die magnetische Anziehungskraft zwischen Forcer und Stator vorgespannt ist und dessen Dicke vorzugsweise zwischen 0,1 Mikrometer und 100 Mikrometer beträgt.

**[0016]** Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen eisenbehafteten Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung bereitzustellen, bei dem zwischen dem Linearmotor-Stator und der Unterseite des Forcers ein vorgespannter Zwischenraum-Luftfilm oder ein Luftspalt-Luftfilm vorgesehen ist, sodass der Linearmotor in geeigneter magnetischer Luftspalthöhe läuft.

**[0017]** Bei Vorstehendem handelt es sich lediglich um eine Zusammenfassung, die zwangsläufig Vereinfachungen und Verallgemeinerungen enthält und bei der Einzelheiten ausgelassen wurden; der Fachmann wird daher verstehen, dass die Zusammenfassung lediglich der Veranschaulichung dient und in keiner Weise als Einschränkung gedacht ist.

**[0018]** Weitere Aspekte, Erfindungsmerkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung, die ausschließlich durch die Ansprüche definiert sind, ergeben sich nachstehend aus der nicht einschränkenden detaillierten Beschreibung.

#### Figurenliste

**[0019]** Die beigefügten Zeichnungen dienen dem besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung sowie der Verdeutlichung ihrer zahlreichen Aufgaben, Merkmale und Vorteile für den Fachmann.

Soweit in verschiedenen Zeichnungen dieselben Bezugszeichen verwendet werden, bezeichnen diese ähnliche oder identische Elemente.

[0020] Es zeigen:

**Fig. 1** eine Schnittansicht eines eisenbehafteten Linearmotor-Forcers mit integriertem Luftlager gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei auf dem Forcer eine Vielzahl von Luftzufuhrkanälen zum Einblasen von Druckluft in den magnetischen Luftspalt des eisenbehafteten Linearmotors ausgebildet ist;

**Fig. 1A** eine Schnittansicht der Düsenöffnung der Luftzufuhrkanäle gemäß vorliegender Erfindung;

**Fig. 2** eine Schnittansicht eines eisenbehafteten Linearmotor-Forcers mit integriertem Luftlager gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei dem eine Vielzahl von Injektionsleitungen an der Unterseite des Forcers zum Einblasen von Druckluft in den magnetischen Luftspalt des eisenbehafteten Linearmotors ausgebildet ist;

**Fig. 3** ein Diagramm, das die Tragfähigkeit des Luftfilms in Abhängigkeit von der Luftfilmdicke für ein Luftlager mit düsenöffnungskompensiertem Druck gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;

**Fig. 4** ein Diagramm, das die Stator-Forcer-Anziehungskraft in Abhängigkeit von dem Luftspalt eines eisenbehafteten Linearmotors gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG EINER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0021] Die folgenden Ausführungen dienen lediglich der detaillierten Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung und sind keineswegs als Einschränkung der Erfindung an sich gedacht. Vielmehr kann eine beliebige Anzahl von Varianten in den Anwendungsbereich der Erfindung fallen, wie er in den auf die Beschreibung folgenden Ansprüchen definiert ist.

[0022] **Fig. 1** zeigt eine Schnittansicht eines eisenbehafteten Linearmotor-Forcers (100) mit integriertem Luftlager gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der auf dem Forcer (100) eine Vielzahl von Luftzufuhrkanälen (50) zum Einblasen von Druckluft in den magnetischen Luftspalt des eisenbehafteten Linearmotors ausgebildet ist. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform umfasst der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer (100) mit integrierter Luftlagerführung (i) einen von einem Gehäuse umschlossenen Eisenkern (10); und (ii) einen Linearmotor-Stator (20) mit

einer Statoroberfläche. Der Eisenkern (10) ist in dem Gehäuse (13) mit einer Oberseite (11) und einer Unterseite (12) angebracht. Mehrere Spulenwicklungen (16) sind auf dem Eisenkern (10) vorgesehen, wobei mehrere Luftzufuhrkanäle (50) im Wesentlichen senkrecht von der Oberseite (11) zur Unterseite (12) des Gehäuses (13) verlaufen. Jeder der Luftzufuhrkanäle (50) läuft an der Unterseite (12) in einer oder mehreren Düsenöffnungen (32) aus, wie es in **Fig. 1A** zu sehen ist, die die Düsenöffnung (32) der Luftzufuhrkanäle (50) gemäß vorliegender Erfindung zeigt. Über die Vielzahl der Luftzufuhrkanäle (50) wird Druckluft in einen zwischen der Unterseite (12) des Forcers (100) und der Statoroberfläche (22) des Motor-Stators (20) gebildeten magnetischen Luftspalt eingeblasen, wodurch ein vorgespannter tragender Luftfilm (41) erzeugt wird. Der Linearmotor (100) mit Eisenkern (10) bewegt sich reibungsfrei auf dem Motor-Stator (20).

[0023] **Fig. 2** zeigt eine Schnittansicht eines eisenbehafteten Linearmotor-Forcers mit integriertem Luftlager gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei dem an der Unterseite des Forcers eine Vielzahl von Injektionsleitungen zum Einblasen von Druckluft in den magnetischen Luftspalt des eisenbehafteten Linearmotors ausgebildet ist. Der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer (100) umfasst einen Eisenkern (10); eine Vielzahl von Spulenwicklungen (16); eine Vielzahl von Injektionsleitungen (30) mit jeweils einem Innenvolumen, die unterhalb der Unterseite (12) des Eisenkerns (10) angebracht sind. Der Eisenkern (10) ist von einem Gehäuse (13) umschlossen und hat eine Oberseite (11) und eine Unterseite (12), und der Eisenkern (10) ist mit einer Vielzahl von Spulenwicklungen (16) versehen. Die Vielzahl der Injektionsleitungen (30) befindet sich an der Unterseite (12) des Eisenkerns (10), und jede der Injektionsleitungen (30) läuft einzeln in einer Düsenöffnung (32) an der Unterseite (12) aus. Der Stator (20) des Linearmotors hat eine Statoroberfläche (22) mit einem hohen Maß an Ebenheit und Oberflächenqualität. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform wird Druckluft über die Injektionsleitungen (30) in einen magnetischen Luftspalt eingeblasen, der zwischen der Unterseite (12) und der Statoroberfläche (22) gebildet ist, sodass ein vorgespannter tragender Luftfilm (41) erzeugt wird, und sich der Eisenkern (10) reibungsfrei auf dem Motor-Stator (20) bewegt.

[0024] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann eine obere abriebfeste Schicht (121) an der Unterseite (12) des Eisenkerns (10) und eine untere abriebfeste Schicht (21) an der Statoroberfläche (22) des Linearmotor-Stators (20) vorgesehen sein. Sowohl die obere abriebfeste Schicht (121) als auch die untere abriebfeste Schicht (21) sind mit einem hohen Maß an Ebenheit und Oberflächenqualität ausgeführt, sodass sie als Luftlagerfläche dienen.

Über die Vielzahl von Düsenöffnungen (32) ist das Innenvolumen der Injektionsleitungen (30) mit der Unterseite (12) des Forcers (100) verbunden.

**[0025]** Die Düsenöffnungen (32) verbinden die Injektionsleitung (30) mit dem Luftfilm (41) des Luftlagers, und die Düsenöffnungen (32) der Injektionsleitung (30) an der Unterseite (12) des Eisenkerns (10) werden mittels eines Lasergeräts oder dergleichen gebildet.

**[0026]** Wie in den **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigt, ist eine Vielzahl von Spulenwicklungen (16) in den Eisenkern (10) eingebettet, und der Eisenkern (10) ist von dem Gehäuse (13) umschlossen. Das Gehäuse (13) besteht aus Polymermaterial. Die Injektionsleitung (30) ist unterhalb der Unterseite des Eisenkerns (10) vorgesehen.

**[0027]** Die obere abriebfeste Schicht (121) und die untere abriebfeste Schicht (21) weisen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein hohes Maß an Ebenheit auf.

**[0028]** Im Betrieb bewegt sich der Linearmotor-Forcer (100) relativ zum Linearmotor-Stator (20), der eine Anordnung von Permanentmagneten enthält. Die Statoroberfläche des Stators (20), die der Luftlagerschicht (41) auf dem Forcer (100) gegenüberliegt, ist ebenfalls mit einem hohen Maß an Ebenheit und Oberflächengüte ausgeführt, sodass sie als Führung für den eisenbehafteten Forcer mit integrierter Luftlager dient. Die geometrische Genauigkeit der Verlaufsbahn des geführten Forcers hängt vom Maß der Ebenheit der gegenüberliegenden Lagerflächen (12, 22) am Forcer (100) bzw. am Stator (20) ab.

**[0029]** Bei den bevorzugten Ausführungsformen gemäß **Fig. 1** und **Fig. 2** sind diese Präzisionsoberflächen (12, 22) durch Polymerreplikation gemäß präzisionsgefertigter Vorlage hergestellt. Um günstige Trockenlaufeigenschaften zu erzielen, werden Polymermischungen verwendet, die für die Nachbildung von Gleitlageroberflächen ausgelegt sind. Alternative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind Luftlager- und Führungsflächen, die auf andere Weise, beispielsweise durch Schleifen, Läppen, Polieren usw., hergestellt werden.

**[0030]** **Fig. 3** zeigt ein Diagramm, das die Tragfähigkeit des Luftfilms in Abhängigkeit von der Luftfilmdicke für ein Luftlager mit düsenöffnungskompensierten Druck gemäß vorliegender Erfindung zeigt. Bei jeder individuellen Luftlagerausführung wird die Dicke des Luftfilms durch die Größe der zur Kompression des Luftfilms wirkenden Kraft bestimmt. Für bestimmte Präzisionsbewegungs-Anwendungen ist es wünschenswert, das Luftlager in einem Luftfilmmumfang mit einer hohen Steifigkeit entsprechenden Dicken zu betreiben.

**[0031]** Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung im Hinblick auf eine Maximierung der Steifigkeit und geometrischen Genauigkeit des Luftlagers konstruiert, um ein hohes Maß an geometrischer Genauigkeit und Bewegungswiederholbarkeit zu geringeren Kosten als bei herkömmlichen Bewegungstischkonstruktionen zu erzielen.

**[0032]** Im Vergleich zu Bewegungstischen mit eigenständigen Linearmotoren und Lagern lässt sich der eisenbehaftete Linearmotor-Forcer mit integrierter Luftlagerführung durch die effiziente Nutzung des herkömmlicherweise nicht genutzten magnetischen Luftspaltvolumens in kleinerer Baugröße ausführen. Die Integration von Luftlagern und Aktuatoren in nur einer Baueinheit führt auch zu einer verringerten Anzahl der Teile einer Einheit und niedrigeren Kosten im Vergleich zu eigenständigen Konstruktionen. Wie bereits erwähnt, führt die enge Integration von Spulenwicklung und Luftlagern auch zu einer inhärenten Abstimmung der Trägheits-, Steifigkeits- und Kraftzentren aufeinander, was eine Verbesserung der Dynamik zur Folge hat.

**[0033]** **Fig. 4** zeigt ein Diagramm, das die Stator-Forcer-Anziehungskraft in Abhängigkeit von dem magnetischen Luftspalt eines eisenbehafteten Linearmotors gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt. Je nach Linearmotorkonstruktion hängt die Größe der Anziehungskraft zwischen dem Forcer und dem Stator vom Abstand zwischen diesen ab. Dieser Abstand wird als magnetischer Luftspalt bezeichnet und hat Auswirkungen auf die Leistungsmerkmale des Motors, beispielsweise dessen Kraftkonstante. Je nach Linearmotorkonstruktion gibt es eine Reihe von vorteilhaften magnetischen Luftspalten.

**[0034]** Bei der vorliegenden Erfindung kann die geometrische Beziehung zwischen magnetischem Luftspalt und Luftfilmdicke während des Herstellungsprozesses bestimmt werden, was unter kontrollierten Bedingungen problemlos erfolgen kann. Dies stellt eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik dar, bei dem die Einstellung des magnetischen Luftspalts von Linearmotoren eine Präzisionsbearbeitung und sorgfältige Montage erfordert. Bei der vorliegenden Erfindung stellt sich die Größe der Lagerluftfilmdicke von selbst ein. Dies ist bedingt durch ein statisches Kräftegleichgewicht zwischen der Tragfähigkeit des Luftfilms und der magnetischen Anziehungskraft zwischen dem Eisenkern des Forcers und den Permanentmagneten im Stator (20). Die magnetische Anziehungskraft ändert sich annähernd quadratisch in Abhängigkeit vom Abstand zwischen dem Stator (20) und dem Forcer-Eisenkern (10), wie es in **Fig. 4** dargestellt ist, während sich die Tragfähigkeit des Luftfilms in der charakteristischen nichtlinearen Weise ändert, wie es in **Fig. 3** darge-

stellt ist. Die Gleichgewichtsdicke des Luftfilms wird durch die Wahl eines geeigneten Abstands zwischen dem Forcer-Eisenkern (10) und der Unterseite (12) des Forcers eingestellt. Je nach Konstruktionsziel kann der Gleichgewichtsluftfilm frei in unterschiedlichen Dicken eingestellt werden (beispielsweise im Hinblick auf maximale Steifigkeit, Schwingungsdämpfung usw.). Diese selbstregulierende Eigenschaft vereinfacht die Montage von Bewegungsteilen erheblich, da der Abstand zwischen den magnetischen Vorspannelementen sowie zwischen den Luftlager-elementen nicht mehr einzeln und präzise eingestellt werden muss.

**[0035]** Schließlich kann der Linearmotor aufgrund der direkten Nutzung der Stator- (20) und Forcer-Oberflächen als Luftlager-Lauflächen mit kleineren magnetischen Luftspalten betrieben werden als dies bei herkömmlichen Konstruktionen mit eigenständigen Motoren und Lagern möglich ist, da bei letzteren die Parallelität und ein gleichmäßiger Forcer-Stator-Abstand über den gesamten Hub des Tisches nicht ohne weiteres sichergestellt werden kann.

**[0036]** Gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verursacht jedwede Welligkeit in den Lauflächen des eisenbehafteten Linearmotors (100) und des Stators (20) entsprechende geometrische Fehler in der Forcer-Bahn, während die Dicke des Luftfilms (41) und der magnetische Luftspalt beibehalten bleiben. Diese Eigenschaft verhindert unerwünschte Kollisionen zwischen Forcer und Stator. Die Verkleinerung des dünnsten möglichen magnetischen Luftspalts erhöht die Gestaltungsfreiheit bei der Motorkonstruktion und kann zu Linearmotoren mit höherem Wirkungsgrad oder Kraftdichte beitragen.

**[0037]** Obwohl voranstehend bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung lediglich beispielhaft beschrieben sind, versteht es sich für den Fachmann, dass Änderungen an den beschriebenen Ausführungsformen vorgenommen werden können, ohne dabei vom Umfang der Erfindung abzuweichen, wie er in den beigefügten Ansprüchen definiert ist.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- US 6150740 [0003]
- DE 102007057833 [0004]
- US 6707200 [0005]
- EP 3460273 [0006]

**Patentansprüche**

1. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) mit integrierter Luftlagerführung, umfassend:

(i) einen Eisenkern, der von einem Gehäuse (13) mit einer Oberseite (11) und einer Unterseite (12) umschlossen ist, wobei auf dem Eisenkern (10) eine Vielzahl von Spulenwicklungen (16) angebracht ist, und eine Vielzahl von Luftzufuhrkanälen (50) im Wesentlichen vertikal von der Oberseite (11) zur Unterseite (12) des Gehäuses (13) vorgesehen ist, und jeder der Luftzufuhrkanäle (50) an der Unterseite (12) in einer oder mehreren Düsenöffnungen (32) ausläuft; und

(ii) einen Linearmotor-Stator (20) mit einer Statoroberfläche (22); wodurch Druckluft über die Vielzahl der Luftzufuhrkanäle (50) in einen magnetischen Luftspalt eingeblasen wird, der zwischen der Unterseite (12) und der Statoroberfläche (22) des Motor-Stators (20) gebildet ist, sodass ein vorgespannter tragender Luftfilm (41) erzeugt wird, und sich der eisenbehaffete Linearmotor-Forcer (100) reibungsfrei auf dem Motor-Stator (20) bewegt.

2. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) mit integrierter Luftlagerführung, umfassend:

(i) einen Eisenkern (10), der von einem Gehäuse (13) mit einer Oberseite (11) und einer Unterseite (12) umschlossen ist, wobei auf dem Eisenkern (10) eine Vielzahl von Spulenwicklungen (16) montiert ist;

(ii) eine Vielzahl von Injektionsleitungen (30) mit jeweils einem Innenvolumen, die an der Unterseite (12) angebracht ist, und einer Vielzahl von Düsenöffnungen (32), die die Innenvolumen der Injektionsleitungen (30) mit der Unterseite (12) verbinden; und

(iii) einen Linearmotor-Stator (20) mit einer Statoroberfläche (22); wodurch Druckluft über die Injektionsleitungen (30) in einen magnetischen Luftspalt eingeblasen wird, der zwischen der Unterseite (12) des Forcers und der Statoroberfläche (22) gebildet ist, sodass ein vorgespannter tragender Luftfilm (41) in dem magnetischen Luftspalt des Linearmotor-Stators erzeugt wird, und sich der eisenbehaffete Linearmotor-Forcer (100) reibungsfrei auf dem Motor-Stator (20) bewegt.

3. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Unterseite (12) des Forcers (100) und die Statorfläche (22) mit einem hohen Grad an Ebenheit ausgeführt sind.

4. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, des Weiteren umfassend eine obere abriebfeste Schicht (121) an der Unterseite (12) und eine untere abriebfeste Schicht (21) an der Statoroberfläche (22).

5. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 2, bei dem die Vielzahl von Düsenöffnungen (32) an der Injektionsleitung (30) an der Unterseite (12) mittels eines Lasergeräts gebildet wird.

6. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Stator (20) eine Anordnung von Permanentmagneten enthält und sich der Eisenkern (10) relativ zum Stator (20) bewegt.

7. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Statorfläche (22) des Linearmotor-Stators (20) und die Unterseite (12) als Lauffläche des Luftlagers dienen und die Dicke des Lagerluftfilms (41) zwischen 0,1 Mikrometer und 100 Mikrometer beträgt.

8. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ein vorgespannter Zwischenraum-Luftfilm (41) zwischen dem Linearmotor-Stator (20) und der Unterseite (12) des Forcers (100) vorgesehen ist, der so verläuft, dass der Linearmotor mit einem gewünschten magnetischen Luftspalt laufen kann.

9. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Statoroberfläche (22) des Stators (20) mit einem hohen Grad an Ebenheit und Oberflächengüte ausgeführt ist.

10. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 9, bei dem die Statorfläche des Linearmotor-Stators (20) als Führungsbahn für den eisenbehaffeten Forcer (100) dient.

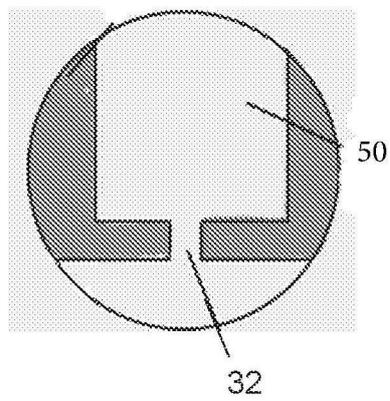
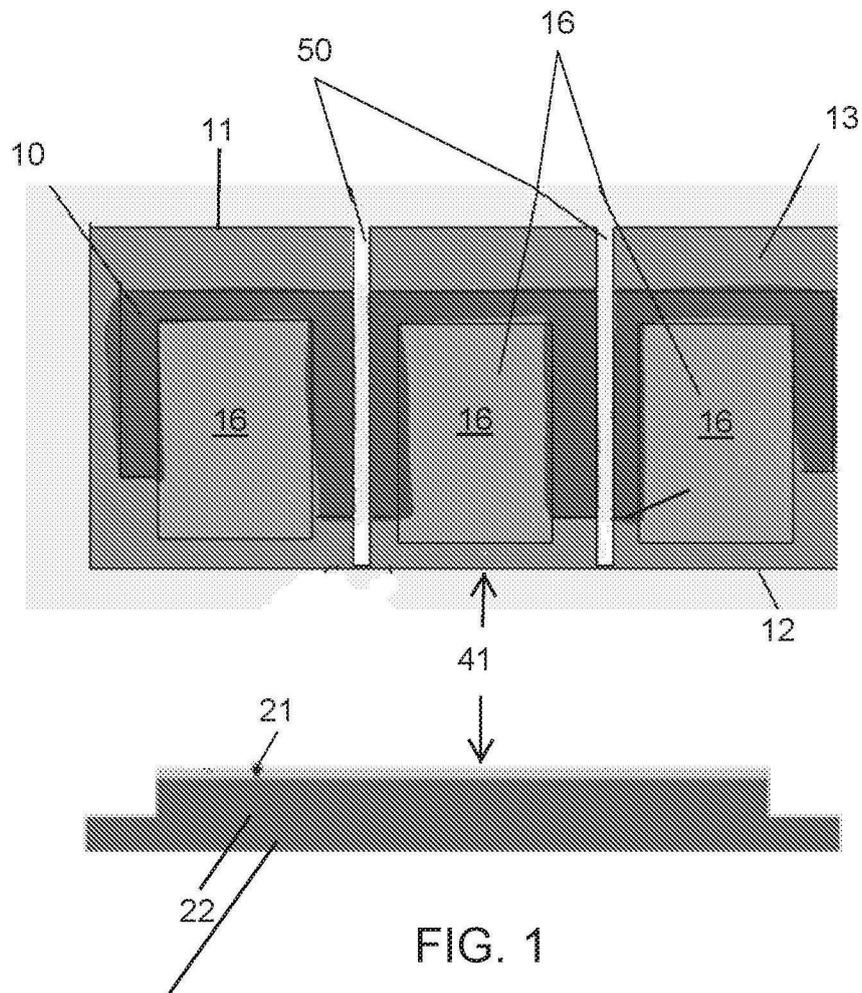
11. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 1, bei dem die Luftzufuhrkanäle (50) auf dem Eisenkern (10) durch Bohren, maschinelle Bearbeitung oder ein ähnliches Verfahren ausgebildet sind.

12. Eisenbehaffeter Linearmotor-Forcer (100) nach Anspruch 11, bei dem die Vielzahl von Luftzufuhrkanälen (50) im Körper des eisenbehaffeten Linearmotor-Forcers (100) angeordnet sind.

13. Eisenbehaffeter Linearmotor (100) nach Anspruch 1, bei dem die Luft in den Zufuhrkanälen (50) komprimiert und dann in den magnetischen Luftspalt zwischen der Unterseite (12) und der Statorfläche (22) des Motor-Stators (20) abgegeben wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



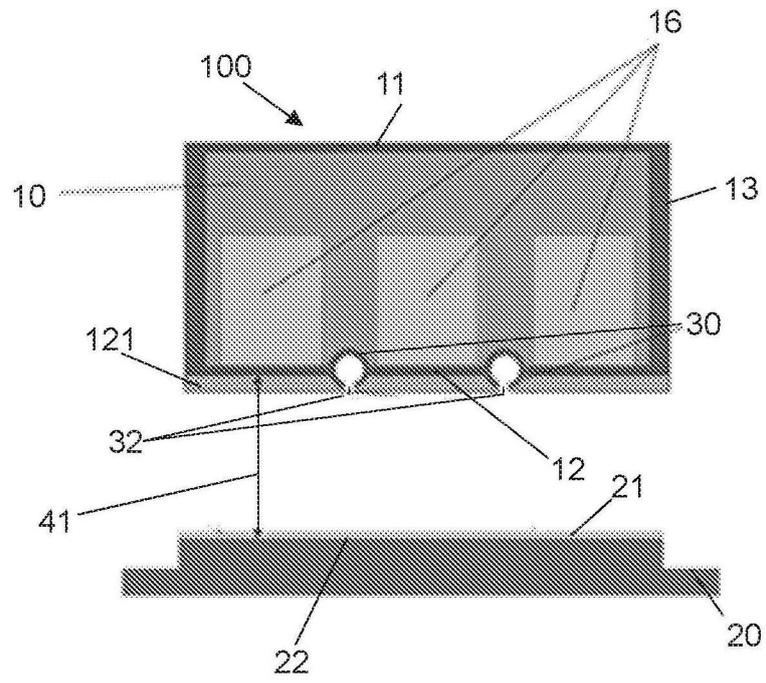


FIG. 2

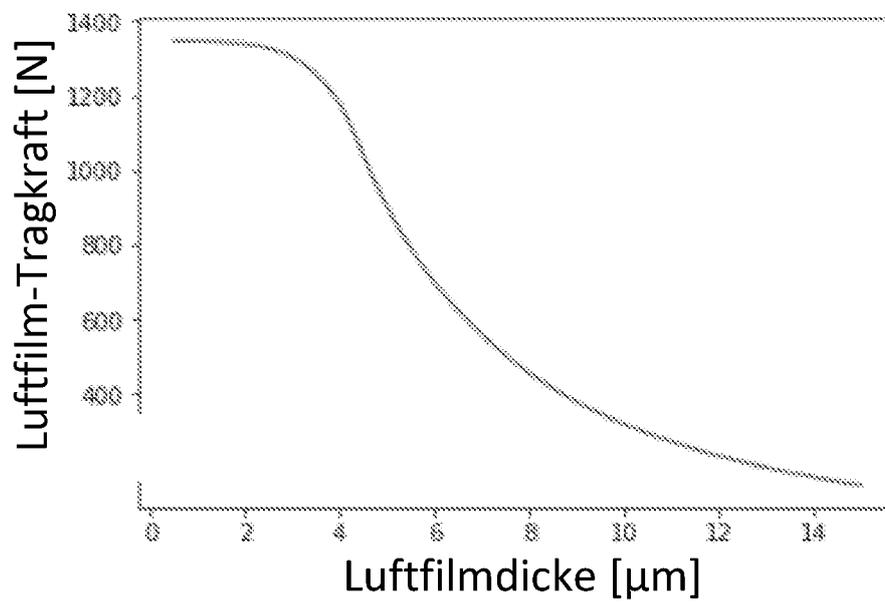


FIG. 3

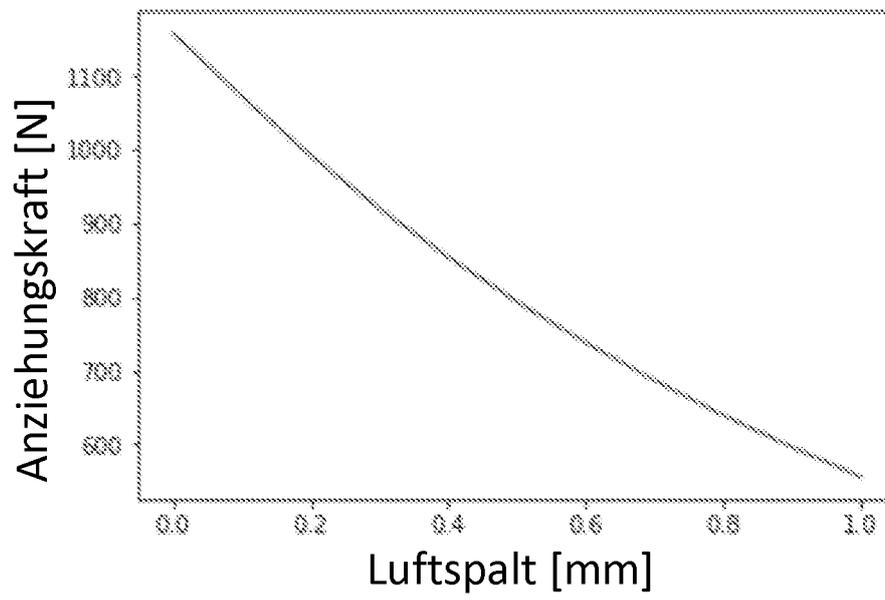


FIG. 4