

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. August 2020 (13.08.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/161210 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04B 17/03 (2006.01) *F04B 49/06* (2006.01)
F04B 35/04 (2006.01) *F04B 19/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/052913

(22) Internationales Anmeldedatum:
05. Februar 2020 (05.02.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
19155631.5 05. Februar 2019 (05.02.2019) EP

(71) Anmelder: **BURCKHARDT COMPRESSION AG**
[CH/CH]; Franz-Burckhardt-Strasse 5, 8404 Winterthur
(CH).

(72) Erfinder: **VALÄR, Adrian, Luzi**; Neuburgstrasse 80,
8408 Winterthur (CH).

(74) Anwalt: **DR. GRAF & PARTNER AG INTELLEC-
TUAL PROPERTY**; Herrenacker 15, 8201 Schaffhausen
(CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A LINEAR MOTOR COMPRESSOR, AND LINEAR MOTOR COMPRESSOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES LINEARMOTORVERDICHTERS SOWIE LINEARMOTORVERDICHTER

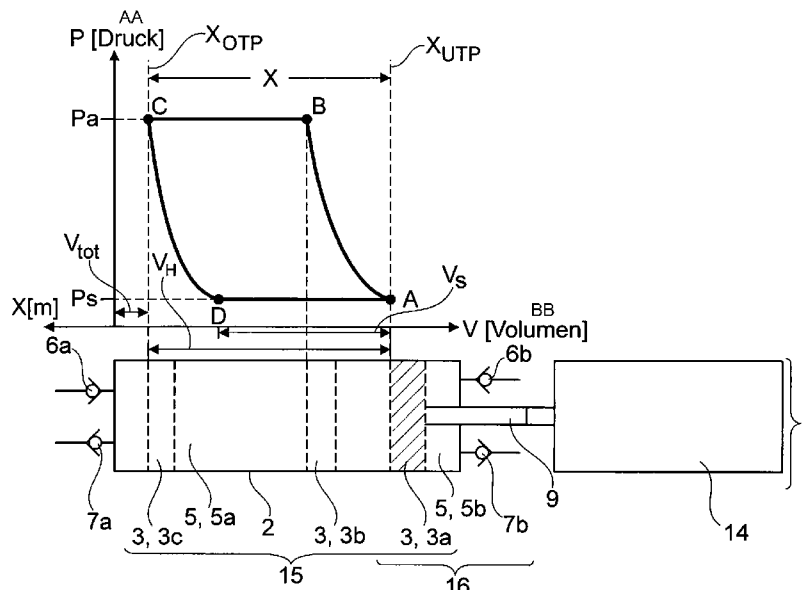


Fig. 1

AA pressure
BB volume

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating a linear motor compressor (1) comprising an electric linear motor (14), a cylinder (2), and a linearly movable free piston assembly (16) comprising a piston (3). The cylinder (2) and the piston (3) form a compression chamber (5), and a free piston assembly (16) is directly driven by the linear motor (14) and is moved back and forth between an upper dead center (X_{OTP}) and a lower dead center (X_{UTP}) along a stroke path (X). The compression chamber (5) is supplied with a fluid from the outside, and the supplied fluid is compressed or expanded in the compression chamber (5) and subsequently dispensed back outside. At least one state variable (Z_{target}) is specified for the linear motor compressor (1), and the linear



WO 2020/161210 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

motor (14) is actuated such that the linear motor compressor (1) exhibits the specified state variable (Z_{target}).

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren zum Betreiben eines Linearmotorverdichters (1) umfasst einen elektrischen Linearmotor (14), einen Zylinder (2) sowie eine linearbewegliche Freikolbenanordnung (16) mit einem Kolben (3), wobei der Zylinder (2) und der Kolben (3) eine Verdichtungskammer (5) ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung (16) direkt vom Linearmotor (14) angetrieben wird und entlang eines Hubwegs (X) zwischen einem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und einem unteren Totpunkt (X_{UTP}) hin- und herbewegt wird, wobei der Verdichtungskammer (5) von Aussen ein Fluid zugeführt wird, wobei das zugeführte Fluid in der Verdichtungskammer (5) verdichtet oder entspannt wird und anschliessend wieder nach Aussen abgegeben wird, wobei dem Linearmotorverdichter (1) zumindest eine Zustandsgrösse (Z_{soil}) vorgegeben wird, und dass der Linearmotor (14) derart angesteuert wird, dass der Linearmotorverdichter (1) die vorgegebene Zustandsgrösse (Z_{soil}) aufweist.

VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES LINEARMOTOR- VERDICHTERS SOWIE LINEARMOTORVERDICHTER

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines
5 Linearmotorverdichters. Die Erfindung betrifft weiter einen
Linearmotorverdichter.

Stand der Technik

10 Es ist bekannt ein Gas mittels eines Linearmotorverdichters zu verdichten.
Das Dokument US2018/0051690A1 offenbart einen Freikolben-
Linearmotorverdichter, bei welchem der Verdichter als ein
Hubkolbenverdichter ausgestaltet ist, wobei der Linearmotor zweipolig
ausgestaltet ist, und wobei der ganze Freikolben-Linearmotorverdichter bei
15 einer Resonanzfrequenz betrieben wird. Dieser Linearmotorverdichter dient
zum Verdichten eines gasförmigen Prozessfluides, insbesondere Erdgas. Dieser
Linearmotorverdichter wird während des Betankens eines Erdgasfahrzeuges
kontinuierlich und mit einer sinusförmigen Resonanzfrequenz betrieben. Die
Betriebsmöglichkeiten dieses Linearmotorverdichters sind äusserst beschränkt
20 und wirtschaftlich nachteilig.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es einen Linearmotorverdichter mit einem
25 vorteilhafteren Betriebsverfahren zum Verdichten und/oder Expandieren eines
gasförmigen Prozessfluides zu betreiben. Zudem ist es Aufgabe der Erfindung
einen wirtschaftlich vorteilhafteren Linearmotorverdichter zum Verdichten
und/oder Expandieren eines gasförmigen Prozessfluides auszubilden.

- 2 -

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren aufweisend die Merkmale von Anspruch 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche 2 bis 18 betreffen weitere vorteilhafte Verfahrensschritte. Die Aufgabe wird weiter gelöst mit einem Linearmotorverdichter aufweisend die Merkmale von Anspruch 19. Die davon
5 abhängigen Ansprüche 20 und 21 betreffen weitere, vorteilhafte Ausgestaltungen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst mit einem Verfahren zum Betreiben eines Linearmotorverdichters umfassend einen elektrischen Linearmotor,
10 einen Zylinder sowie eine linearbewegliche Freikolbenanordnung mit einem Kolben, wobei der Zylinder und der Kolben eine Verdichtungskammer ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung direkt vom Linearmotor angetrieben wird und entlang eines Hubwegs zwischen einem oberen Totpunkt und einem unteren Totpunkt hin- und herbewegt wird, wobei der
15 Verdichtungskammer von Aussen ein Fluid zugeführt wird, wobei das zugeführte Fluid in der Verdichtungskammer verdichtet oder entspannt wird und anschliessend wieder nach Aussen abgegeben wird, wobei dem Linearmotorverdichter zumindest eine Zustandsgrösse vorgegeben wird, und wobei der Linearmotor derart angesteuert wird, dass der
20 Linearmotorverdichter die vorgegebene Zustandsgrösse aufweist.

Die Aufgabe wird weiter insbesondere gelöst mit einem Linearmotorverdichter umfassend zumindest einen elektrischen Linearmotor, einen Zylinder sowie eine linearbewegliche Freikolbenanordnung mit zumindest einem Kolben,
25 wobei der Zylinder und der Kolben zumindest eine Verdichtungskammer ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung direkt vom Linearmotor angetrieben ist, wobei die Verdichtungskammer über ein Auslassventil und ein Einlassventil Fluid leitend nach Aussen verbunden ist, wobei eine Ansteuervorrichtung den Linearmotor derart angesteuert, dass die
30 Freikolbenanordnung mit einer vorgegebenen Zustandsgrösse zwischen einem oberen Totpunkt und einem unteren Totpunkt hin- und herbewegt wird.

Vorzugsweise wird als Zustandsgrösse zumindest ein Hubwegpunkt entlang des Hubs oder zumindest ein Hubwegzeitpunkt und diesem zugeordnet eine

- 3 -

Sollgeschwindigkeit oder eine Sollbeschleunigung oder eine Sollkraft vorgegeben. Vorzugsweise wird als vorbestimmte Zustandsgrösse eine Relation zwischen dem Hubweg der Freikolbenanordnung und deren Geschwindigkeit vorgegeben, nachfolgend auch als Geschwindigkeits-Weg-Verlauf bezeichnet.

5 Dieser Geschwindigkeits-Weg-Verlauf kann zumindest einen Punkt umfassen, einen Hubweg und eine vorgegebene, zugeordnete Geschwindigkeit, und umfasst vorzugsweise eine Mehrzahl von Punkten, wobei jeder Punkt einen Stelle entlang des Hubwegs und eine dieser Stelle zugeordnete Geschwindigkeit umfasst.

10 Vorteilhafterweise wird als Zustandsgrösse ein entlang zumindest eines Teilabschnittes des gesamten Hubweges, und vorzugsweise ein entlang des gesamten Hubwegs einzuhaltender Weg-Sollwert-Verlauf, das heisst ein Sollprofil betreffend Hubweg und Sollgeschwindigkeit, Sollbeschleunigung
15 und/oder Sollkraft vorgegeben.

Vorteilhafterweise wird als Zustandsgrösse ein während einer Teilzeitdauer bzw. eines Teilabschnittes des gesamten Hubwegs, und vorzugsweise eine während der Zeitdauer des gesamten Hubwegs erforderlichen Hubzeit
20 einzuhaltender Zeit-Sollwertverlauf, das heisst ein Sollprofil betreffend Sollgeschwindigkeit, Sollbeschleunigung und/oder Sollkraft in Funktion der Hubzeit vorgegeben.

Um während des Betriebes des Linearmotorverdichters die vorgegebene
25 Zustandsgrösse zu erlangen wird der Linearmotorverdichter vorteilhafterweise mit einer Regelungsstrategie betrieben, bei welcher die Freikolbenanordnung sich aufgrund der in der Verdichtungskammer wirkenden Kräfte und gegebenenfalls zusätzlich noch einwirkenden Reibungskräften "frei" bewegen lässt, wobei der Linearmotor eine ansteuerbare Kraft auf die
30 Freikolbenanordnung ausüben kann und dadurch die freie Bewegung der Freikolbenanordnung von Aussen beeinflusst und vorzugsweise auf eine vorgegebene Weise beeinflusst. Vorzugsweise wird dem Linearmotor ein Geschwindigkeitsprofil oder Kraftprofil in einer Wegabhängigkeit bzw. in einer Zeitabhängigkeit vorgegeben, wobei dieses Kraftprofil während dem Betrieb des

- 4 -

Linearmotorverdichters durch einen Regelungseingriff modifiziert werden kann, um sicherzustellen, dass die Freikolbenanordnung die vorgegebene Zustandsgrösse aufweist, bzw. dass sich das Verhalten der Freikolbenanordnung auf Grund des Regelungseingriffs der vorgegebenen
5 Zustandsgrösse annähert.

Bei einer vorteilhaften Regelstrategie wird die Weg-Zeit-Abhängigkeit der Bewegung der Freikolbenanordnung und somit die Weg-Zeit Abhängigkeit der Kolbenbewegung nicht direkt geregelt, das heisst es wird kein vorgegebener
10 Weg-Zeit-Verlauf für die Bewegung der Freikolbenanordnung vorgegeben, sondern der Bewegungsverlauf der Freikolbenanordnung bzw. des Kolbens ergibt sich als Konsequenz aus dem verwendeten bzw. sich auf Grund der einwirkenden Kräfte ergebenden Kraftprofil. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird somit über die Vorgabe eines Kraftprofils letztendlich die vorgegebene
15 Zustandsgrösse erreicht. Das verwendete Kraftprofil ist insbesondere an die entsprechende Anwendung und das entsprechende Betriebsverfahren des Linearmotorverdichters angepasst. Der Linearmotorverdichter kann als Anwendung beispielsweise als Verdichter oder als Expander eines Gases betrieben werden. Bevorzugt wird der Linearmotorverdichter zum Verdichten
20 eines Gases betrieben. Bei der Anwendung als Verdichter kann das Betriebsverfahren beziehungsweise das Kraftprofil beispielsweise dahingehend optimiert werden, dass die Freikolbenanordnung während der Verdichtungsphase des Gases relativ schnell, insbesondere mit einer höheren mittleren Geschwindigkeit bewegt wird, und dass die Freikolbenanordnung
25 während der anschliessenden Ausstossphase des Gases mit reduzierter Geschwindigkeit, insbesondere mit einer tieferen mittlere Geschwindigkeit bewegt wird, was den Strömungswiderstand beim Ausströmen des Gases aus der Verdichtungskammer reduziert. Somit ist es beispielweise möglich die Zeit für einen kompletten Zyklus der Verdichtung konstant zu halten, aber, indem
30 die Verdichtungsphase schneller durchlaufen wird und die Ausstossphase langsamer durchlaufen wird, kann der Strömungswiderstand des Gases beim Ausströmen reduziert werden, und damit auch die Energie, welche erforderlich ist, um das Gas aus der Verdichtungskammer zu drücken.

- 5 -

Auf Grund der vorgegebenen Zustandsgrösse kann die Freikolbenanordnung und somit der gesamte Linearmotorverdichter, abhängig von der erwünschten, zu optimierenden Grösse, auf unterschiedlichste Weise betrieben werden.

Nebst dem bereit beschriebenen Ausführungsbeispiel kann die Zustandsgrösse
5 beispielsweise derart gewählt sei, dass die maximal vom Linearmotor abzugebende Kraft oder die maximal vom Linearmotor abzugebende Leistung begrenzt ist, oder die zum Betrieb des Linearmotorverdichters erforderliche Energie minimiert wird, indem dem Linearmotor während des Zyklus abschnittsweise auch Energie entzogen wird und zeitversetzt wieder dem
10 Linearmotor zugeführt wird. Das erfindungsgemässe Verfahren weist daher den Vorteil auf, dass der Linearmotorverdichter mit einer Vielzahl möglicher, vorgegebener Zustandsgrössen betrieben werden kann. Ein aus dem Stand der Technik bekannter Hubkolbenverdichter, dessen Kolben von einem Kolbentrieb über einen Kreuzkopf angetrieben wird, weist den Nachteil auf,
15 dass die Bewegung des Kolbens starr an die Drehzahl der Kurbelwelle gekoppelt ist, und dass die Geschwindigkeit des Kolbens in Funktion des Drehwinkels der Kurbelwelle insbesondere auch durch die geometrische Anordnung von Kurbelwelle und Kreuzkopf bestimmt wird. Im Gegensatz dazu kann der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter durch eine entsprechende
20 Vorgabe einer Zustandsgrösse wie beispielsweise die Sollgeschwindigkeit, die Sollbeschleunigung oder die Sollkraft in Abhängigkeit des Hubs entsprechend dieser Vorgabe auf unterschiedlichste Weise und insbesondere unabhängig von durch eine Kurbelwelle vorgegebene Bewegungsabläufe betrieben werden. Zudem kann das Betriebsverfahren, je nach Erfordernis, auf eine Grösse wie
25 Energieverbrauch, maximale Linearmotorleistung oder maximale Linearmotorkraft optimiert werden.

Der Linearmotorverdichter kann eine einzige Verdichtungskammer umfassen. Besonders vorteilhaft umfasst der Linearmotorverdichter zwei
30 Verdichtungskammern, eine erste und eine zweite Verdichtungskammer. Die Freikolbenanordnung weist vorzugsweise an jeder der zwei in Hubrichtung beabstandeten Stirnseiten einen Kolben auf, wobei diese beiden Kolben von der Freikolbenanordnung gegenläufig bzw. gegengleich betrieben werden, sodass abwechslungsweise in der einen Verdichtungskammer, beispielsweise

- 6 -

der erste Verdichtungskammer, ein Verdichten und anschliessend ein Ausstossen eines Fluides, und in der anderen Verdichtungskammer, beispielsweise der zweiten Verdichtungskammer, gleichzeitig ein Entspannen und anschliessend ein Ansaugen des Fluides stattfindet, und umgekehrt.

5

Der Linearmotor bzw. die Freikolbenanordnung weist besonders bevorzugt eine Hublänge im Bereich zwischen 50 mm und 500 mm auf. Der Linearmotor weist in Hubrichtung nacheinander folgend angeordnet zumindest drei aktiv ansteuerbare Magnetpole auf, und vorzugsweise zwischen 5 bis 50 aktiv

10

ansteuerbare Magnetpole, und besonders vorteilhaft zwischen 10 und 20 ansteuerbare Magnetpole. Eine derartige Anzahl aktiv ansteuerbarer Magnetpole ergibt den Vorteil, dass die vom Linearmotor auf die

15

Freikolbenanordnung bewirkte Kraft während der Bewegung entlang des Hubweges in Funktion des Hubweges oder in Funktion der Zeit durch eine entsprechende selektive Anregung der einzelnen oder gruppenweise geschalteten Magnetpole ansteuerbar ist. In einem vorteilhaften

20

Betriebsverfahren wird dem Linearmotor nur positive elektrische Leistung zugeführt, um dadurch die Freikolbenanordnung anzutreiben. In einem weiteren vorteilhaften Betriebsverfahren wird aus dem Linearmotor entlang zumindest eines Teilabschnittes des gesamten Hubweges elektrische Leistung abgeführt, sodass der Linearmotor innerhalb dieses Teilabschnitts eine Bremswirkung erzeugt, um dadurch die Freikolbenanordnung durch den Linearmotor abzubremesen. Vorteilhafterweise ist die Bremswirkung bzw. die abgegebene Bremsleistung zudem noch in Abhängigkeit des Hubweges

25

ansteuerbar. Der Linearmotor kann somit nur antreibend, oder antreibend und abbremsend, oder in einer Kombination von zumindest zwei der Eigenschaften antreibend, abbremsend und neutral betrieben werden, wobei unter neutral verstanden wird, dass der Linearmotor weder eine antreibende noch eine bremsende Kraft bewirkt. In einem besonders vorteilhaften

30

Betriebsverfahren wird die vom Linearmotor abgeführte elektrische Leistung in einem elektrischen Speicher zwischengespeichert, und anschliessend dem Linearmotor zeitversetzt wieder zugeführt. Dies ermöglicht einen besonders energieeffizienten Betrieb des erfindungsgemässen Linearmotorverdichters. Der Linearmotorverdichter wird vorzugsweise mit einer Drehzahl im Bereich

- 7 -

zwischen 200 bis 1000 Umdrehungen pro Minute betrieben beziehungsweise mit einer Hubfrequenz von 200 bis 1000 Perioden bzw. Hin- und Herbewegungen pro Minute betrieben.

- 5 Eine Periode der Bewegung der Freikolbenanordnung ist ein kompletter Zyklus einer Bewegung beginnend von einem Startpunkt, wobei einmal der obere Totpunkt und der untere Totpunkt der Kolbenbewegung durchlaufen wird. Eine Periode einer Kolbenbewegung umfasst für die Bewegung vom unteren Totpunkt bis zum oberen Totpunkt eine Verdichtungsphase in der
- 10 Verdichtungskammer und anschliessend eine Ausstossphase, und umfasst anschliessend für die Bewegung vom oberen Totpunkt bis zum unteren Totpunkt eine Entspannungsphase in der Verdichtungskammer und anschliessend eine Ansaugphase für das zu fördernde Fluid. Der Startpunkt ist dabei grundsätzlich beliebig. Beispielsweise ist der Startpunkt der untere
- 15 Totpunkt.

Die Freikolbenanordnung wird vorzugsweise mit einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf zwischen dem oberen Totpunkt und dem unteren Totpunkt hin- und herbewegt.

20

- Vorzugsweise wird die Freikolbenanordnung ausgehend von einem unteren Totpunkt während einer Verdichtungsphase, bis zum Öffnungspunkt des Auslassventils, derart mit einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf bewegt, dass der Linearmotor eine konstanten oder im Wesentlichen konstante
- 25 Leistung abzugeben hat. Dies ergibt den Vorteil, dass während der elektrischen Versorgung des Linearmotors keine hohen und allenfalls unvorhersehbaren Stromspitzen auftreten.

- Vorzugsweise wird die Freikolbenanordnung ausgehend vom unteren Totpunkt
- 30 während einer Verdichtungsphase bis zum Öffnungspunkt des Auslassventils und anschliessend während einer Ausstossphase bis zum Schliesspunkt des Auslassventils derart mit einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf angetrieben wird, dass die mittlere Geschwindigkeit während der Verdichtungsphase höher ist als während der Ausstossphase und/oder dass

- 8 -

die mittlere Geschwindigkeit während der Entspannungsphase höher ist als während der Ansaugphase.

In einer vorteilhaften Verfahren weist der vorbestimmten Geschwindigkeits-
5 Weg-Verlauf oder der vorbestimmte Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf der
Freikolbenanordnung zumindest im Bereich von einem der Schaltpunkte:
Öffnen des Auslassventils, Schliessen des Auslassventils, Öffnen des
Einlassventils und Schliessen des Einlassventils eine im Vergleich zum
übrigen Geschwindigkeits-Weg-Verlauf reduzierte Geschwindigkeit auf, sodass
10 das sich bei reduzierter Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung öffnende
oder schliessende Auslass- oder Einlassventil mit reduzierter Geschwindigkeit
bewegt wird. Die reduzierte Geschwindigkeit des sich öffnenden oder
schliessenden Ventils hat vorzugsweise einen reduzierten Verschleiss des
Ventils zur Folge, woraus sich vorteilhafterweise eine erhöhte Einsatzdauer
15 bzw. Standzeit des Ventils ergibt.

In einem vorteilhaften Verfahren weist die Verdichtungskammer zwischen
einem Schliesspunkt des Auslassventils und dem Öffnungspunkt des
Einlassventils einer Expansionsphase auf, wobei der Linearmotor derart
20 angesteuert wird, dass dieser die Freikolbenanordnung während der gesamten
Expansionsphase aktiv antreibt.

In einem vorteilhaften Verfahren wird das vom Linearmotorverdichter
geförderte Volumen verändert, indem der maximale Hub des Linearmotors
25 beziehungsweise der Ort des oberen Totpunkts und/oder der Ort des unteren
Totpunkts verändert wird, sodass das geförderte Volumen kurz oder auch
langfristig verändert werden kann, indem dies z.B. reduziert oder erhöht wird.

In einem vorteilhaften Verfahren wird die Freikolbenanordnung während der
30 Hin- und Herbewegung zwischen dem oberen Totpunkt und dem unteren
Totpunkt zumindest abschnittsweise abgebremst, indem der Linearmotor als
Generator betrieben wird. Dadurch ist eine besonders schnelle
Geschwindigkeitsreduktion der Freikolbenanordnung möglich. Vorzugsweise

- 9 -

wird die freiwerdende Bremsenergie in elektrische Energie gewandelt und für eine spätere Verwendung zwischengespeichert.

In einem vorteilhaften Verfahren wird die linearbewegliche Kolbenanordnung
5 als Expander für ein Fluid betrieben, und der Linearmotor dabei zumindest
während eines Teilabschnittes einer Bewegung in Hubrichtung X als Generator
betrieben, indem der Verdichtungskammer Linearmotorverdichters nun als
Expansionskammer genutzt wird, indem der Expansionskammer über das
Auslassventil ein unter Druck stehendes Fluid zugeführt wird, das Fluid in der
10 als Expansionskammer betriebenen Verdichtungskammer expandiert wird,
und anschliessend über das Einlassventil ausgestossen wird, und indem die
Freikolbenanordnung des als Generator betriebenen Linearmotors mit einem
vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg Verlauf oder einem vorbestimmten
Geschwindigkeits-Zeit Verlauf hin- und herbewegt wird. Dabei wird in einem
15 vorteilhaften Verfahren das Öffnen und Schliessen von Auslassventil und/oder
Einlassventil in Abhängigkeit der Stellung der Freikolbenanordnung aktiv
angesteuert.

Vorteilhafterweise umfasst der Linearmotorverdichter zumindest einen
20 elektrischen Linearmotor, einen Zylinder sowie eine linearbewegliche
Freikolbenanordnung mit zumindest einem Kolben, wobei der Zylinder und der
Kolben zumindest eine Verdichtungskammer ausbilden, wobei die
Freikolbenanordnung direkt vom Linearmotor angetrieben wird, wobei die
Verdichtungskammer über ein Auslassventil und ein Einlassventil Fluid
25 leitend nach Aussen verbunden ist, wobei eine Ansteuervorrichtung den
Linearmotor derart angesteuert, dass die Freikolbenanordnung vorzugsweise
mit einem vorbestimmten Motor- und/oder Generatorleistungsverlauf
zwischen einem oberen Totpunkt und einem unteren Totpunkt hin- und
herbewegt wird.

30

Vorteilhafterweise umfasst der Linearmotorverdichter eine erste und eine
zweite Verdichtungskammer, die bezüglich der Freikolbenanordnung
gegenläufig angeordnet sind, sodass diese gegengleich wirken.

- 10 -

Vorteilhafterweise ist der Linearmotor des Linearmotorverdichters als Motor und/oder als Generator betreibbar, wobei die Ansteuervorrichtung den Linearmotor derart ansteuert, dass die Freikolbenanordnung einen vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf oder einen vorbestimmten
5 Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf bei der Bewegung zwischen einem oberen Totpunkt und einem unteren Totpunkt aufweist.

Der Linearmotor umfasst zumindest drei Polpaare, und vorzugsweise zwischen 5 und 50 in Längsrichtung des Linearmotors verteilt bzw. gegenseitig
10 beabstandet angeordnete Polpaare.

Der Linearmotorverdichter umfasst zumindest einen elektrischen Linearmotor, einen Zylinder sowie eine linearbewegliche Freikolbenanordnung mit zumindest einem Kolben, wobei der Zylinder und der Kolben zumindest eine
15 Verdichtungskammer ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung direkt vom Linearmotor angetrieben ist, wobei die Verdichtungskammer über ein Auslassventil und ein Einlassventil Fluid leitend nach Aussen verbunden ist, wobei eine Ansteuervorrichtung den Linearmotor derart angesteuert, dass die Freikolbenanordnung mit einer vorgegebenen Zustandsgrösse Z_{soll} zwischen
20 einem oberen Totpunkt und einem unteren Totpunkt hin- und herbewegt wird.

Der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter weist den Vorteil auf, dass dieser in einer bevorzugten Ausgestaltung mit Ausnahme der Ventile und der Freikolbenanordnung keine beweglichen Teile aufweist, was die Lebensdauer
25 und den Wirkungsgrad des Linearmotorverdichters verbessert, und zudem die Herstellungskosten, die Installation und die Wartung reduziert. Zudem ist der Linearmotorverdichter vorzugsweise ölfrei ausgestaltet, das heisst es ist kein Öl für Schmierzwecke erforderlich. Der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter ist insbesondere zum Verdichten von Gasen wie Erdgas,
30 andere Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff oder Luft geeignet. Der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter ist jedoch auch zum Expandieren von unter Druck stehenden Gasen geeignet, wobei insbesondere beim Expandieren der Linearmotor zumindest zeitweise als Generator betrieben werden kann. Des Weiteren ist der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter

auch geeignet gleichzeitig ein Gas zu verdichten und ein Gas zu entspannen bzw. zu expandieren, indem in der einen Kammer des Linearmotorverdichters ein Gas entspannt wird und gleichzeitig in der anderen Kammer des Linearmotorverdichters ein Gas komprimiert wird.

5

Eine Kombination des Linearmotors in einen Freikolbenverdichter ermöglicht den Bau eines kompakten Linearmotorverdichters. Durch die direkte mechanische Verbindung der beiden Systeme ist das statische und dynamische Verhalten gekoppelt. Daher können eine gute Leistung und ein

10

hoher Wirkungsgrad des Linearmotorverdichters vorzugsweise erreicht werden, wenn Verdichter und Linearmotor so ausgelegt sind, dass sie optimal zusammenarbeiten und vorzugsweise im Bereich einer Resonanzfrequenz betrieben werden. Vorzugsweise unter solchen Betriebsbedingungen kann der Freikolbenverdichter seine Vorteile voll ausschöpfen. Ein Vorteil neben der

15

kompakten Bauweise ist die Tatsache, dass der Kolben auf relativ einfache Weise und daher auch kostengünstig hermetisch gegen Aussen abgedichtet werden kann, weil die beiden Zylinder, in welchen sich die beiden Kolben befinden, kostengünstig dicht gegen Aussen ausgestaltet sein können, was ein Verdichtung von Gasen bei hohen Anforderungen an Umgebungsbedingungen

20

ermöglicht, da am Linearmotorverdichter nur eine äusserst geringe oder keine Leckage des geförderten Gases auftritt. Vorteilhafterweise bilden die beiden Zylinder sowie der Stator des Linearmotors eine gasdichte Aussenhülle.

25

Außerdem sind keine Kurbelmechanismen erforderlich, wie diese bei konventionellen Kolbenverdichtern erforderlich sind. Dadurch entfallen schmierungsbedürftige Teile, die mechanische Energieumwandlungsverluste aufweisen. Durch die Möglichkeit auf Schmierstoffe zu verzichten ist der erfindungsgemässe Linearmotorverdichter auch für Anwendungen mit hohen Reinheitsanforderungen geeignet.

30

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch einen Linearmotorverdichter sowie das zugehörige Druck-Volumen-Diagramm;
- Fig. 2 schematisch einen Längsschnitt eines weiteren, doppelwirkenden
5 Linearmotorverdichters;
- Fig. 3 schematisch einen Längsschnitt entlang der Schnittlinie F-F durch den Linearmotor des Linearmotorverdichters gemäss Fig. 2;
- Fig. 4 schematisch einen Querschnitt entlang der Schnittlinie E-E durch den Linearmotor des Linearmotorverdichters gemäss Fig. 3;
- 10 Fig. 5 vier Diagramme eines Betriebsverfahrens eines leerlaufenden Linearmotorverdichters aufzeigend Hub, Geschwindigkeit, Beschleunigung sowie Motorkraft in Funktion der Zeit;
- Fig. 6 vier Diagramme eines weiteren Betriebsverfahrens eines leerlaufenden Linearmotorverdichters aufzeigend Hub, Geschwindigkeit,
15 Beschleunigung sowie Motorkraft in Funktion der Zeit;
- Fig. 7 ein Geschwindigkeits-Weg-Diagramm der beiden Kolben des Linearmotorverdichters nach Figur 2 gemäss eines ersten Betriebsverfahrens;
- Fig. 8 ein Geschwindigkeits-Weg-Diagramm gemäss eines zweiten
20 Betriebsverfahrens;
- Fig. 9 ein Geschwindigkeits-Weg-Diagramm gemäss eines dritten Betriebsverfahrens;
- Fig. 9a ein Detailaspekt des dritten Betriebsverfahrens;
- Fig. 9b ein weiterer Detailaspekt des dritten Betriebsverfahrens;
- 25 Fig. 10 eine Ansteuervorrichtung für einen Linearmotorverdichter gemäss Fig. 2.

Grundsätzlich sind in den Zeichnungen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

30

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt schematisch einen Linearmotorverdichter 1 umfassend einen Linearmotor 14 sowie umfassend einen doppelwirkenden Hubkolbenverdichter

15. Der Hubkolbenverdichter 15 umfasst einen Zylinder 2, in welchem ein linear beweglicher Kolben 3 angeordnet ist, der über eine Kolbenstange 9 direkt mit dem Linearmotor 14 verbunden und von diesem direkt angetrieben ist. Unter direkt verbunden oder direkt angetrieben wird hierin verstanden, dass zwischen dem Kolben 3 und dem Linearmotor 14 kein Getriebe angeordnet ist, sodass die Kraft zwischen Linearmotor 14 und Kolben 3 direkt und somit ohne dazwischen geschaltetes Getriebe übertragen wird. In einer möglichen Ausgestaltung könnte zwischen dem Kolben 3 und dem Linearmotor 14 zudem eine flexible Kupplung angeordnet sein, welche vorzugsweise eine unabhängige Ausrichtung von Kolben 3 und Linearmotor 14 erlaubt. Der Zylinderinnenraum 5 wird durch den Kolben 3 in eine erste Verdichtungskammer 5a und eine zweite Verdichtungskammer 5b unterteilt, wobei die erste und die zweite Verdichtungskammer 5a, 5b, bedingt durch die geometrische Anordnung, während des Betriebs gegenläufig betrieben werden. Die erste sowie die zweite Verdichtungskammer 5a, 5b sind jeweils über ein Einlassventil 7a, 7b sowie über ein Auslassventil 6a, 6b Fluid leitend mit einem Aussenraum ausserhalb des Zylinderinnenraums 5 verbunden. Üblicherweise sind nach den Ventilen 6a, 6b, 7a, 7b, wie in Figur 1 andeutungsweise dargestellt, Fluidleitungen angeordnet, welche das Fluid an nachgeordnete Vorrichtungen weiterleiten oder vor vorgeordneten Vorrichtungen zuführen. Aus der Vielzahl möglicher Kolbenstellungen, die der Kolben 3 während dessen Betrieb im Zylinderinnenraum 5 annehmen kann, zeigt Figur 1 drei beispielhafte Stellungen des Kolbens 3, eine erste Kolbenstellung 3a beim unteren Totpunkt X_{UTP} , einer zweite Kolbenstellung 3c beim oberen Totpunkt X_{OPT} , sowie einer dritten Kolbenstellung 3b, wobei die dritte Kolbenstellung 3b derjenigen Stellung entspricht, bei welcher das Auslassventil 6a idealerweise im Öffnungspunkt B geöffnet wird. Auf Grund vorhandener Reibung wird das Auslassventil 6a üblicherweise leicht später bzw. bei einem leicht höheren Druck als der in Fig 1 dargestellte Druck P_a geöffnet, das heisst im Bereich des dargestellten Öffnungspunkts B.

Oberhalb des Hubkolbenverdichters 15 ist das zugehörige, idealisierte p-V-Diagramm, auch als Druck-Volumen-Diagramm bezeichnet, dargestellt, das den Druck P eines vom Hubkolbenverdichter 15 in der ersten

Verdichtungskammer 5a komprimierten Gases in Funktion des Volumens der ersten Verdichtungskammer 5a zeigt. Die erste Verdichtungskammer 5a weist ein Hubvolumen V_H , ein Saugvolumen V_S sowie ein Totraumvolumen V_{tot} auf, wobei sich das Volumen V gegen rechts vergrössert. Dasselbe Diagramm stellt

5 auch den Druck P des Gases in der ersten Verdichtungskammer 5a in Funktion des Hubs X des Kolbens 3 dar, wobei sich der Hub X im dargestellten Diagramm gegen links positiv vergrössert, sodass die positive Richtung des Hubs X gegen links verläuft. Figur 1 zeigt den Kolben 3 in der ersten Kolbenstellung 3a, bei welcher sich der Kolben 3 im unteren

10 Totpunktes X_{UTP} befindet, wobei das Gas in der ersten Verdichtungskammer 5a einen Saugdruck P_s aufweist. Nachfolgend wird der Verlauf des idealisierten p - V -Diagramms kurz erklärt. Ausgehend vom unteren Totpunkt X_{UTP} wird der Kolben 3 in positiver X -Richtung bewegt, wobei das Einlassventil 7a auf Grund des zunehmenden Drucks in der ersten Verdichtungskammer 5a

15 idealisiert beim Schliesspunkt A selbsttätig geschlossen wird, und das sich in der ersten Verdichtungskammer 5a befindliche Gas während einer Verdichtungsphase BA auf einen Auslassdruck P_a verdichtet wird, wobei das Auslassventil 6a beim Auslassdruck P_a , das heisst idealisiert beim Öffnungspunkt B selbsttätig geöffnet wird. Während der anschliessenden

20 Ausstoss- oder Ausschubphase BC wird der Kolben 3 zum oberen Totpunkt X_{OTP} hin bewegt, sodass das sich in der ersten Verdichtungskammer 5a befindliche Gas über das Auslassventil 6a ausgestossen wird, bis der Kolben 3 die Stellung des oberen Totpunkts X_{OTP} erreicht hat, und das Auslassventil 6a idealisiert beim Schliesspunkt C geschlossen wird. Während der

25 anschliessenden Entspannungsphase CD wird der Kolben 3 in Richtung zum unteren Totpunkt X_{UTP} hin bewegt, wobei das sich noch in der ersten Verdichtungskammer 5a befindliche Restgas auf einen Saugdruck P_s entspannt wird, sodass das Einlassventil 7a idealisiert beim Öffnungspunkt D selbsttätig geöffnet wird. Während der anschliessenden Ansaugphase DA wird

30 Gas über das Einlassventil 7a in die erste Verdichtungskammer 5a angesaugt, bis der Kolben 3 den unteren Totpunktes X_{UTP} erreicht hat, und das Einlassventil 7a idealisiert beim Schliesspunkt A geschlossen wird. Der Begriff idealisiert im Zusammenhang mit den Punkten A, B, C und D bringt zum Ausdruck, dass diese Punkte im realen Betrieb, bedingt zum Beispiel durch

vorhandene Reibungen der Ventile, nicht genau an den in Figur 1 angegebenen Positionen liegen sondern in einem nahen Bereich um die Punkte.

- 5 Während des Betriebs des Hubkolbenverdichters 15 wird der in Figur 1 dargestellte, zwischen den Punkten A, B, C und D ablaufende Prozess, ständig wiederholt. Derselbe Prozess läuft zudem in der zweiten Verdichtungskammer 5b derart gegenläufig ab, dass sich die zweite Verdichtungskammer 5b in der Entspannungsphase oder der Saugphase befindet, während sich die erste
10 Verdichtungskammer 5a in der Verdichtungsphase oder der Ausstossphase befindet, und umgekehrt.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung öffnen und schliessen sich die Einlassventile 7a, 7b und die Auslassventile 6a, 6b selbsttätig. Es kann sich
15 jedoch auch als vorteilhaft erweisen die Einlassventile 7a, 7b und/oder die Auslassventil 6a, 6b angesteuert zu öffnen und/oder zu schliessen. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn der Linearmotorverdichter 1 zum Entspannen eines unter einem Druck P_a stehenden Gases verwendet wird, indem der in Figur 1 dargestellte Kreisprozess in Umgekehrter Richtung
20 durchlaufen wird, das heisst entlang der Punkte A,D,C und B zurück zu A, indem das Auslassventil 6a angesteuert geöffnet wird, und Gas unter dem Druck P_a in die ersten Verdichtungskammer 5a einströmt und diese vergrössert, indem sich der Kolben 3 entlang der Linie CB bewegt, bis das Auslassventil 6 im Punkt B geschlossen wird, und das sich in der ersten
25 Verdichtungskammer 5a befindliche Gas entlang der Linie BA entspannt wird, bis der Kolben 3 den unteren Tiefpunkt X_{UTP} erreicht hat, beziehungsweise das Einlassventil 7a im Punkt A angesteuert geöffnet wird. Danach wird der Kolben 3 entlang der Linie AD bewegt, das Gas aus der ersten Verdichtungskammer 5a ausgestossen, und das Einlassventil 7a im Punkt D
30 angesteuert geschlossen. Das sich in der ersten Verdichtungskammer 5a befindliche Restgas wird entlang der Linie DC auf einen Druck P_a komprimiert und das Auslassventil 6 im Punkt C angesteuert geöffnet, sodass wiederum Gas unter Druck P_a in die erste Verdichtungskammer 5a strömt. Besonders vorteilhaft wird der vorhin beschriebene Kreisprozess in Richtung der

- 16 -

nacheinander folgenden Punkte A, D, C und B mit einem doppelwirkenden Hubkolbenverdichter 15 aufweisend eine erste und eine zweite Verdichtungskammer 5a, 5b betrieben, wie in Figur 1 dargestellt. Der Kreisprozess in Richtung der nacheinander folgenden Punkte A, D, C und B weist den Vorteil auf, dass der Linearmotor 14 als Lineargenerator betreibbar ist, sodass durch das beschriebene Entspannen des Gases mechanische Energie in elektrische Energie umwandelbar ist. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Linearmotorverdichter 1 somit je nach Bedarf zum Verdichten oder zum Entspannen eines Fluides, oder in einem Mischbetrieb mit zeitweise Verdichten und zweiweise Entspannen des Fluides betrieben werden, wobei dem Linearmotor 15 abhängig von der Betriebsart elektrische Energie zugeführt wird oder elektrische Energie abgeführt wird. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Linearmotorverdichter 1 auch derart betrieben werden, dass jeweils ein Fluid in der ersten Verdichtungskammer 5a verdichtet und ein Fluid in der zweiten Verdichtungskammer 5b entspannt wird, sodass die in der ersten Verdichtungskammer 5a freigesetzte Entspannungsenergie zur Kompression des sich in der zweiten Verdichtungskammer 5b befindlichen Fluids verwendet werden kann.

Der Linearmotorverdichter 1 kann auch umgekehrt betrieben werden, indem ein Fluid in der ersten Verdichtungskammer 5a verdichtet und in der zweiten Verdichtungskammer 5b entspannt wird, nach Bedarf zum Verdichten oder zum Entspannen. Dem Linearmotor 15 kann abhängig von der Betriebsart elektrische Energie zugeführt oder elektrische Energie abgeführt werden, oder kann ohne Zufuhr elektrischer Energie im Leerlauf betrieben werden.

In einer weiteren möglichen Ausführungsform des Hubkolbenverdichters 15 könnte auf die zweite Verdichtungskammer 5b verzichtet werden, sodass der Hubkolbenverdichter 15 nur eine erste Verdichtungskammer 5a jedoch keine zweite gegengleich betreibbare Verdichtungskammer 5b aufweist.

Die Figuren 2 bis 4 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Linearmotorverdichters 1. Dieser Linearmotorverdichter 1 umfasst eine Freikolbenanordnung 16, umfassend einen Linearmotorläufer 10 sowie einen

- 17 -

ersten Kolben 3 und einen zweiten Kolben 4. Ein Stator 8 bildet zusammen mit dem Linearmotorläufer 10 einen linearen Permanentmagnet-Synchronmotor 14. Der Linearmotorverdichter 1 umfasst einen Zylinder 2 mit zwei Zylinderinnenräumen 5, wobei eine erste Verdichtungskammer 5a durch einen ersten Zylinder 2a und den ersten Kolben 3 ausgebildet ist, und wobei
5 eine zweite Verdichtungskammer 5b durch einen zweiten Zylinder 2b und den zweiten Kolben 4 ausgebildet ist. Die erste Verdichtungskammer 5a ist über ein erstes Auslassventil 6a sowie ein erstes Einlassventil 7a Fluid leiten nach Aussen verbunden. Die zweite Verdichtungskammer 5b ist über ein zweites
10 Auslassventil 6b sowie ein zweites Einlassventil 7b Fluid leiten nach Aussen verbunden. Die erste und die zweite Verdichtungskammer 5a, 5b werden über die Freikolbenanordnung 16 gegenläufig betrieben. Vorzugsweise sind am ersten und zweiten Kolben 3,4 zudem Dichtungsringe und/oder Lagerringe angeordnet, zum Lagern der Freikolbenanordnung 16 innerhalb der
15 Linearmotorverdichters 1, sowie zum Abdichten der Kolben 3,4 bezüglich der Verdichtungskammern 5a,5b, wobei solche Ringe allgemein bekannt sind und in Figur 2 nicht dargestellt sind. Die Kolben 3,4 könnten auch als Labyrinthkolben ausgestaltet sein, sodass auf Dichtungsringe verzichtet werden kann, weil die Labyrinthstruktur an der Oberfläche des Kolbens 3,4
20 die Dichtfunktion bewirkt. Figur 3 zeigt einen Längsschnitt entlang der Schnittlinie F-F durch den linearen Permanentmagnet-Synchronmotor 14 umfassend einen Stator 8 mit laminierten Statorsegmenten 8a, umfassend eine Mehrzahl von vorzugsweise individuell ansteuerbaren Statorwicklungen 12a, 12b, 12c, 12d, 12e, 12f zum Erzeugen von aktiv ansteuerbaren
25 Magnetpolen 13a – 13f bzw. Magnetfeldern, und umfassend einen Linearmotorläufer 10 mit einer Mehrzahl von in Längsrichtung gegenseitig beabstandet angeordneten Permanentmagneten 10a, wobei der Linearmotorläufer 10 Teil der Kolbenstange 9 bildet. Die Kolbenstange 9 umfasst Befestigungsabschnitte 9a, mit welchen der erste bzw. der zweite
30 Kolben 3,4 verbunden ist. Zudem umfasst der lineare Permanentmagnet-Synchronmotor 14 vorteilhafterweise zwei Radiallager 11 zum Führen der Kolbenstange 9.

- 18 -

Figur 4 zeigt einen Schnitt entlang der Schnittlinie E-E durch den linearen Permanentmagnet-Synchronmotor 14, mit einem Schnitt durch das Statorsegment 8 und die zweite Statorwicklung 12b, sowie einem Schnitt durch die Kolbenstange 9 und den Permanentmagneten 10a.

5

Als Linearmotor 14 ist beispielsweise auch ein Permanentmagnetmotor, ein Asynchronmotor oder ein Reluktanzmotor geeignet. Der Linearmotor 14 und somit auch die angetriebenen Kolben 3,4 weist vorteilhafterweise einen maximalen Hub X_L im Bereich zwischen 50 mm bis 500 mm auf. Der

10 Linearmotor 14 erlaubt somit relativ langhubige Bewegungen.

Der in den Figuren 2 bis 4 dargestellte Linearmotor 14 umfasst sechs aktiv ansteuerbare Magnetpole 13a – 13f, wobei jeder Pol von einer Statorwicklung 12a - 12f umgeben ist, wobei vorzugsweise jede Statorwicklung 12a - 12f

15 individuell ansteuerbar ist. Der Linearmotor 14 weist vorzugsweise zwischen drei und zehn aktiv ansteuerbare Magnetpole 13a – 13f, oder vorzugsweise zwischen 10 bis 50 aktiv ansteuerbare Magnetpole 13a – 13f auf. Die Anzahl aktiv ansteuerbarer Magnetpole 13a – 13f ist insbesondere abhängig von der Länge des maximalen Hubs X_L . Die Anzahl aktiv ansteuerbarer Magnetpole

20 13a – 13f kann auch einen Einfluss haben wie präzise die vom Stator 8 auf den Linearmotorläufer 10 bewirkte Kraft in Funktion der Zeit beziehungsweise in Funktion des Hubes X ansteuerbar ist.

Figur 5 zeigt beispielhaft Kennlinien 30 bis 33 einer möglichen Ansteuerung

25 eines wie in Figur 1 oder in Figur 2 dargestellten Linearmotors 14, wobei die dargestellten Kennlinien den Fall zeigen, bei welchem der Linearmotor 14 nicht mit dem Hubkolbenverdichter 15 verbunden ist, sondern nur allein und unabhängig vom Hubkolbenverdichter 15 betrieben wird. Die Kennlinie 30 zeigt den Hub X des Linearmotors 14 in Funktion der Zeit t während eines

30 kompletten Zyklus vom unteren Totpunkt X_{UTP} zum oberen Totpunkt X_{OTP} und zurück. Die Kennlinie 31 zeigt die Geschwindigkeit des Linearmotorläufers 10 in Funktion der Zeit t , wobei der Linearmotor 14 derart angesteuert wird, dass die Geschwindigkeit des Linearmotorläufers 10 in Funktion der Zeit im Abschnitt 31a linear zunimmt, im Abschnitt 31b konstant ist, in Abschnitt 31c

linear abnimmt und im Abschnitt 13d null ist, sodass der Linearmotorläufer 10 im Stillstand ist. Beim Stillstand des Linearmotorläufer 10 hat dieser, wie aus der Kennlinie 30 ersichtlich, den oberen Totpunkt X_{OTP} erreicht. Bei der Rückbewegung zum unteren Totpunkt X_{UTP} nimmt die Geschwindigkeit des

5 Linearmotorläufers 10 im Abschnitt 31e mit negativem Vorzeichen linear zu, bleibt im Abschnitt 31f konstant, und nimmt im Abschnitt 13g linear ab, bis der Linearmotorläufer 10 beim unteren Totpunkt X_{UTP} zum Stillstand gelangt. Die Kennlinie 32 zeigt die Beschleunigung des Linearmotorläufers 10 in

10 Funktion der Zeit t , wobei der Linearmotorläufer 10 in den Abschnitt 32a und 32g mit konstanter, positiver Beschleunigung beschleunigt wird, in den Abschnitten 32c, 32e mit konstanter negativer Beschleunigung abgebremst wird, und in den Abschnitten 32b, 32d und 32f ohne Beschleunigung bewegt wird. Die Kennlinie 33 zeigt die vom Linearmotor 14 auf den Linearmotorläufer

15 10 bewirkte Kraft in Funktion der Zeit t , wobei im Abschnitt 33a eine konstante Beschleunigungskraft anliegt, wobei im Abschnitt 33b eine geringe konstante Kraft anliegt zur Überwindung der beim Bewegen der

Linearmotorläufers 10 anliegenden Reibungskräfte, und wobei im Abschnitt 33c eine negative Kraft anliegt um den Linearmotorläufer 10 beim oberen

20 Totpunkt X_{OTP} zum Stillstand zu bringen. Während des Stillstands, das heisst während des Abschnitts 33d, liegt keine Beschleunigung an. Danach wird der Linearmotorläufer 10 im Abschnitt 33e durch eine konstante Kraft wieder beschleunigt, durch die im Abschnitt 33f wirkende geringe konstante Kraft zur

Überwindung der anliegenden Reibungskräfte in Bewegung gehalten, und durch die im Abschnitt 33g wirkende, konstante Kraft beim unteren Totpunkt

25 X_{UTP} bis zum Still abgebremst. Während den Abschnitten 33c und 33g bremst der Linearmotor 14 den Linearmotorläufer 10 ab, wobei die dabei freigesetzte Energie in Wärme umgewandelt werden kann, wobei der Linearmotor 14

vorzugsweise während den Abschnitten 33c und 33g als Generator betrieben wird, und die dabei freigesetzte elektrische Energie in einem Energiespeicher,

30 vorzugsweise in der Ansteuervorrichtung zwischengespeichert wird.

Der Linearmotor 14 kann über eine entsprechende Ansteuerung durch eine Vielzahl von Möglichkeiten in Funktion der Zeit t oder des Hubs X angesteuert werden, wobei vorzugsweise zumindest eine der Kennlinien von Hub,

- 20 -

Geschwindigkeit, Beschleunigung und Motorkraft in Funktion der Zeit t vorgegeben wird, wobei die Ansteuervorrichtung den Linearmotor 14 derart ansteuert, dass sich dieser zumindest annähernd entsprechend der vorgegebenen Kennlinie bewegt. Die Figur 6 zeigt ein weiteres Beispiel einer

5 Ansteuerung des Linearmotors 14. Die Kennlinie 34 zeigt den Hub X des Linearmotors 14 in Funktion der Zeit t während eines kompletten Zyklus. Die Kennlinie 35 zeigt die Geschwindigkeit, die Kennlinie 36 die Beschleunigung und die Kennlinie 37 die Motorkraft des Linearmotors 14 in Funktion der Zeit t . Bis zum Zeitpunkt t_1 weist der Kennlinienverlauf gemäss Figur 6 einen

10 ähnlichen Verlauf auf wie der Kennlinienverlauf gemäss Figur 5, wobei die Zeitachse in Figur 6 wesentlich kürzer ist, d.h. die Bewegung in Figur 6 wesentlich schneller abläuft, was auch daraus erkennbar ist, dass die Werte für Geschwindigkeit, Beschleunigung und Motorkraft in Figur 6 im Vergleich zu Figur 5 wesentlich höher sind.

15 Die in Figur 6 zwischen dem Zeitpunkt t_1 und dem Gesamtzykluszeitpunkt T , dem Abschluss des kompletten Zyklus, dargestellten Kennlinienverläufe zeigen ein weiteres Ansteuerungsbeispiel des Linearmotors 14. Dieses Ansteuerungsverfahren weist den Vorteil auf, dass alle Kennlinien 34, 35, 36, und 37 zwischen dem Zeitpunkt t_2 und dem Zeitpunkt t_3 sich kontinuierlich

20 verändern und dabei keine Knickstellen aufweisen, was zur Folge hat, dass der Linearmotor 14 sanfter betrieben wird, da Knickstellen üblicherweise eine schlagartige Veränderung des Betriebsverhaltens verursachen, was eine erhöhte mechanische Belastung zur Folge hat. Das in Figur 6 dargestellte Ansteuerungsbeispiel ist nur ein Beispiel aus einer Vielzahl von Möglichkeiten

25 den Linearmotor 14 anzusteuern. Die Möglichkeit den Linearmotor 14 mit einer Vielzahl unterschiedlicher Kennlinienverläufe in Funktion der Zeit zu betreiben ergibt den Vorteil, dass ein Hubkolbenverdichter 15, der von einem solchen Linearmotor 14 angetrieben ist, in einer Vielzahl von Möglichkeiten betreibbar ist. Vorzugsweise wird der Linearmotor 14 derart betrieben, dass

30 der linearbeweglichen Freikolbenanordnung 16 zumindest eine Zustandsgrösse Z_{soll} in Funktion der Zeit t oder in Funktion des Hubes X vorgegeben wird, wobei der Linearmotor 14 derart geregelt angesteuert wird, dass die Freikolbenanordnung 16 die vorgegebene Zustandsgrösse Z_{soll} aufweist oder zumindest annäherungsweise einnimmt. Diese

Ansteuerverfahren erlaubt es den Betrieb des Linearmotorverdichters 1 zum Beispiel bezüglich vorgegebener Kennzahlen zu optimieren, indem beispielsweise die maximal vom Linearmotor 14 abzugebende Kraft, die maximal zum Betrieb des Linearverdichters 1 erforderliche Leistung, die maximal auftretende Beschleunigung und/oder die maximal auftretende Geschwindigkeit vorgegeben wird, welche während des Betriebs nicht überschritten werden darf.

Wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt umfasst der Linearmotorverdichter 1 einen elektrischen Linearmotor 14 sowie einen von diesem angetriebenen Hubkolbenverdichter 15. Die Gesamtdynamik der Bewegung des Linearmotorverdichters 1 wird somit im Wesentlichen bestimmt durch die Dynamik des Linearmotors 14 in Kombination mit der Dynamik des mit dem Linearmotor 14 verbundenen Hubkolbenverdichters 15, wobei die Gesamtdynamik im Wesentlichen bestimmt wird durch die angreifenden Trägheitskräfte, durch die vom Linearmotor 14 bewirkten elektromagnetischen Kräfte, durch die vom Hubkolbenverdichter 15 verursachten bzw. im Hubkolbenverdichter 15 wirkenden Gaskräfte, sowie durch die Bewegung des Kolbens und des Linearmotors 14 verursachten Reibungskräfte.

Nachfolgend wird die Dynamik der Bewegung der Freikolbenanordnung 16 näher beschrieben, indem eine Bewegungsgleichung aufgestellt wird.

Wie in Figur 2 dargestellt, werden die beiden Kolben 3,4 durch die vom Linearmotor 14 bewirkte Kraft in einer in Hubrichtung X verlaufenden Hin- und Herbewegung angetrieben. Der erste Kolben 3 bewegt sich in eine positive Hubrichtung X im Bereich zwischen dem unteren Totpunkt X_{UTP} und dem oberen Totpunkt X_{OTP} hin und her. Der zweite Kolben 4 bewegt sich gegenläufig zum ersten Kolben 3 und, wie in Fig 2 dargestellt, in einer positiven Hubrichtung X, im Bereich zwischen dem oberen Totpunkt X_{OTP} und dem unteren Totpunkt X_{UTP} . Da die beiden Kolben 3,4 gegenläufig bewegt werden, wird die Bewegungsanalyse der Freikolbenanordnung 16 nur für den Zyklus des ersten Kolbens 3 betrachtet, der sich in positiver X-Richtung vom unteren Totpunkt X_{UTP} zum oberen Totpunkt X_{OTP} und wieder zurück zum unteren

- 22 -

Totpunkt X_{UTP} bewegt. Nach diesem vereinfachten Modell lautet die Gleichung für die zum Bewegen der Freikolbenanordnung 16 durch den Linearmotor 14 aufzubringende Antriebskraft F_{LM} wie folgt:

$$m_g \ddot{x} = F_{LM} + F_{pr} - F_{pl} - F_{fr} - F_{fl}$$

5

wobei m_g die Gesamtmasse der Freikolbenanordnung 16 ist, x die Verschiebung bzw. der Hub der Freikolbenanordnung ist, F_{pr} und F_{pl} die Kräfte sind, welche durch den Gasdruck in der rechten, zweiten bzw. der linken, ersten Verdichtungskammer 5b, 5a auf den ersten bzw. zweiten Kolben 3,4
 10 einwirken, und F_{fr} und F_{fl} die Reibungskräfte des rechten, zweiten Kolbens 4 bzw. des linken, ersten Kolbens 3 sind.

Die durch den Gasdruck auf den ersten bzw. zweiten Kolben 3,4 bewirkte Kraft kann entsprechend der folgenden Gleichung berechnet werden:

15

$$F_{pi} = \frac{\pi}{4} d_p^2 P_i$$

wobei d_p der Durchmesser des ersten bzw. zweiten Kolbens 3,4 und P_i der Gasdruck in der zweiten, rechten Verdichtungskammer 5b ($i = l$) bzw. im der ersten, linken Verdichtungskammer 5a ($i = r$) ist.

20 In Anbetracht der bekannten Gesamtdynamik des Linearmotorverdichters 1 kann der Ansteuervorrichtung eine Zustandsgrösse Z_{soll} vorgegeben werden, wobei die Ansteuervorrichtung den Linearmotor 14 derart angesteuert, dass der Linearmotorverdichter 1 die vorgegebene Zustandsgrösse Z_{soll} zumindest annäherungsweise aufweist.

25

Als Zustandsgrösse Z_{soll} kann im einfachsten Fall ein Hubwegpunkt X_1 , das heisst ein definierter Punkt entlang des Hubs X , und diesem Hubwegpunkt zugeordnet eine Sollgeschwindigkeit v_{soll} und/oder eine Sollbeschleunigung a_{soll} und/oder eine Sollkraft F_{soll} der Freikolbenanordnung 16 vorgegeben

30

werden. Anstelle des Hubwegpunktes X_1 könnte auch ein Hubwegzeitpunkt T_{L1} vorgegeben werden, das heisst ein definierter Zeitpunkt innerhalb der Gesamtzykluszeit T , wobei als Referenz der Zeitmessung vorzugsweise der untere Totpunkt X_{UTP} verwendet wird. Als Zustandsgrösse Z_{soll} kann somit im

einfachsten Fall auch ein Hubwegzeitpunkt T_{L1} und diesem zugeordnet eine Sollgeschwindigkeit v_{soll} und/oder eine Sollbeschleunigung a_{soll} und/oder eine Sollkraft F_{soll} der Freikolbenanordnung 16 vorgegeben werden. Falls es, wie in Figur 9 dargestellt, zum Beispiel darum geht sicherzustellen, dass die

5 Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung 16 im Bereich der Punkte B und D reduziert ist, so würde eine Zustandsgrösse Z_{soll} genügen, welche am Hubwegpunkt X_1 die Geschwindigkeit v_{soll} und am Hubwegpunkt X_2 die Geschwindigkeit $-v_{soll}$ vorgibt. Auf ähnliche Weise könnte natürlich auch eine Sollbeschleunigung a_{soll} und/oder eine Sollkraft F_{soll} an einem Hubwegpunkt

10 vorgegeben werden.

Vorteilhafterweise wird als Zustandsgrösse Z_{soll} ein entlang zumindest eines Teilabschnittes des Hubweges X , und vorzugsweise ein entlang des gesamten Hubweges X_L einzuhaltender Verlauf der Zustandsgrösse Z_{soll} vorgegeben.

15

In einem weiteren vorteilhaften Verfahren wird als Zustandsgrösse Z_{soll} ein während einem Teil der Gesamtzykluszeit T und vorzugsweise ein während der Gesamtzykluszeit T einzuhaltender Verlauf der Zustandsgrösse Z_{soll} vorgegeben.

20

In einem weiteren vorteilhaften Verfahren wird als Zustandsgrösse Z_{soll} ein Geschwindigkeits-Weg-Verlauf zwischen dem unteren Totpunkt X_{UTP} und dem oberen Totpunkt X_{OTP} und/oder dem oberen Totpunkt X_{OTP} und dem unteren Totpunkt X_{UTP} vorgegeben, gemäss dem die Freikolbenanordnung 16 während

25 des Betriebs des in Figur 2 dargestellten Linearmotorverdichters 1 hin- und herbewegt wird. Figur 7 zeigt ein Beispiel eines solchen Betriebsverfahrens des Linearmotorverdichters 1 umfassend sowohl den Linearmotor 14 als auch den Hubkolbenverdichter 15. Figur 7 zeigt als Zustandsgrösse Z_{soll} Geschwindigkeits-Weg-Verläufe G_1, G_2, G_3, G_4 gemäss einem

30 erfindungsgemässen Betriebsverfahren, das mit Hilfe von Figur 2 erklärt wird. Das Diagramm gemäss Figur 7 zeigt auf der linken Seite, links vom Punkt A, die Bewegung des ersten Kolbens 3, der ausgehend vom Punkt A, dem unteren Totpunkt X_{PTU} , sich gemäss dem Verlauf G_1 über den in Figur 1 dargestellten Punkt B zum Punkt C bewegt, dem oberen Totpunkt X_{OTP} , und der sich

- 24 -

gemäss dem Verlauf G_2 über den Punkt D wieder zurück zum Punkt A, dem unteren Totpunkt X_{PTU} bewegt. Das Diagramm gemäss Figur 7 zeigt auf der rechten Seite, rechts vom Punkt A, als Zustandsgrösse Z_{soll} die Geschwindigkeits-Weg-Verläufe G_3 , G_4 des zweiten Kolbens 4. Da der zweite Kolben 4 gegenläufig zum ersten Kolben 3 bewegt wird, führt der zweite Kolben 4 bezüglich dem ersten Kolben 3 eine gegengleiche Bewegung aus, indem der zweite Kolben 4 ausgehend vom Punkt C, dem oberen Totpunkt X_{OTP} , sich gemäss dem Verlauf G_3 über den in Figur 1 dargestellten Punkt D zum Punkt A bewegt, dem unteren Totpunkt X_{UTP} , und der sich gemäss dem Verlauf G_4 über den Punkt B wieder zurück zum Punkt C, dem oberen Totpunkt X_{OTP} , bewegt. Da der erste und der zweite Kolben 3,4 fest miteinander verbunden sind und daher dieselbe Geschwindigkeit aufweisen, mit Ausnahme des unterschiedlichen Vorzeichens der Geschwindigkeit, weisen die Verläufe G_1 und G_3 ansonsten einen identischen Verlauf auf. Aus denselben Gründen weisen auch die Verläufe G_2 und G_4 , mit Ausnahme des unterschiedlichen Vorzeichens der Geschwindigkeit, einen identischen Verlauf aus. Vorzugsweise wird der Linearmotorverdichter 1 zwischen dem unteren Totpunkt X_{UTP} und dem oberen Totpunkt X_{OTP} sowie auf dem Rückweg zwischen dem oberen Totpunkt X_{OTP} und dem unteren Totpunkt X_{UTP} mit derselben Zustandsgrösse Z_{soll} beziehungsweise mit demselben Geschwindigkeits-Weg-Verlauf bewegt, sodass alle Verläufe, mit Ausnahme der unterschiedlichen Vorzeichen betreffen Geschwindigkeit, denselben Verlauf G_1 , G_2 , G_3 , G_4 aufweisen. Wie in Figur 7 dargestellt, weist der erste Kolben 3 zwischen den Punkten A und B, der Verdichtungsphase AB, eine erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} auf, und weist der Kolben 3 zwischen den Punkten B und C, der Ausstossphase BC, eine zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} auf, wobei die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} grösser ist als die zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} . Unter der mittleren Geschwindigkeit wird der gemittelte Geschwindigkeitswert des Kolbens 3 bzw. 4 zwischen zwei Punkten verstanden. Die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} entspricht somit der gemittelten Geschwindigkeit zwischen den Punkten A und B, beziehungsweise entspricht die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} dem zeitlichen Integral der Geschwindigkeit $V(t)$ zwischen den Punkten A und B, geteilt durch die Zeit, welche zur Bewegung des Kolbens 3 zwischen den Punkten A und B erforderlich ist, beziehungsweise entspricht

- 25 -

die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} dem Integral der Geschwindigkeit $V(X)$ entlang des Wegs X zwischen den Punkten A und B, geteilt durch die Wegstrecke A-B, welche zur Bewegung des Kolbens 3 zwischen den Punkten A und B erforderlich ist. Desgleichen entspricht die zweite mittlere

5 Geschwindigkeit V_{m2} somit der gemittelten Geschwindigkeit zwischen den Punkten B und C, beziehungsweise entspricht die zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} dem Integral der Geschwindigkeit $V(t)$ bzw. $V(X)$ zwischen den Punkten B und C, geteilt durch die Zeit beziehungsweise die Wegstrecke B-C, welche zur Bewegung des Kolbens 3 zwischen den Punkten B und C

10 erforderlich ist.

Wie in Figur 7 dargestellt, weist der erste Kolben 3, während der Rückbewegung vom Punkt C zum Punkt A, zwischen den Punkten C und D, der Entspannungsphase CD, eine dritte mittlere Geschwindigkeit V_{m3} auf, und

15 weist der Kolben 3 zwischen den Punkten D und A, der Ansaugphase DA, eine vierte mittlere Geschwindigkeit V_{m4} auf, wobei die dritte mittlere Geschwindigkeit V_{m3} grösser ist als die vierte mittlere Geschwindigkeit V_{m4} . Die dritte mittlere Geschwindigkeit V_{m3} entspricht somit der gemittelten Geschwindigkeit zwischen den Punkten C und D, beziehungsweise entspricht

20 die dritte mittlere Geschwindigkeit V_{m3} dem Integral der Geschwindigkeit $V(t)$ bzw. $V(X)$ zwischen den Punkten C und D, geteilt durch die Zeit beziehungsweise die Wegstrecke C-D, welche zur Bewegung des Kolbens 3 zwischen den Punkten C und D erforderlich ist. Desgleichen entspricht die vierte mittlere Geschwindigkeit V_{m4} somit der gemittelten Geschwindigkeit

25 zwischen den Punkten D und A, beziehungsweise entspricht die vierte mittlere Geschwindigkeit V_{m4} dem Integral der Geschwindigkeit $V(t)$ bzw. $V(X)$ zwischen den Punkten D und A, geteilt durch die Zeit beziehungsweise die Wegstrecke D-A, welche zur Bewegung des Kolbens 3 zwischen den Punkten D und A erforderlich ist.

30

Der Linearmotorverdichter 1 wird vorzugsweise derart betrieben, dass die Kolben 3 und 4 auf deren Hin- und Herbewegung, abgesehen von den an den Achsen gemäss Figur 7 erforderlichen Spiegelungen, identische Geschwindigkeits-Weg-Verläufe G_1 und G_4 , beziehungsweise identische

- 26 -

Geschwindigkeits-Weg-Verläufe G_2 und G_3 aufweisen. In einer weiteren möglichen Betriebsart ist es auch möglich, dass die beiden Kolben 3 und 4 auf deren Hin- und Herbewegung je einen unterschiedlichen Geschwindigkeits-Weg-Verlauf aufweisen, beispielsweise bei deren Bewegung von rechts nach links einen anderen, unterschiedlichen Geschwindigkeits-Weg-Verlauf als bei deren Bewegung von links nach rechts.

Aus dem in Figur 7 dargestellten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf G_1 ist beispielsweise auch die Interaktion von Linearmotor 14 und Hubkolbenverdichter 15 nachvollziehbar. Der Verlauf G_1 weist ausgehend vom Punkt A bis zum Hubpunkt X_3 einen relativ schnellen Anstieg auf, was insbesondere darin begründet ist, dass im Hubkolbenverdichter 15 zu Beginn der Kompressionsphase noch kleine Kräfte erforderlich sind. Zudem befindet sich die zweite Verdichtungskammer 5b beziehungsweise das sich darin befindliche Gas in einer Entspannungsphase, sodass dieses Gas den zweiten Kolben 4 antreibt, sodass die Kombination von antreibender Kraft des Linearmotors 14 und die auf den zweiten Kolben 4 wirkende Entspannungskraft ein schnelles Bewegen, d.h. eine zunehmende Geschwindigkeit V bzw. eine Beschleunigung der Freikolbenanordnung 16 zur Folge haben. In einem weiteren vorteilhaften Verfahren wird die Freikolbenanordnung 16 durch den Linearmotor 14 derart schnell angetrieben, dass die Entspannungskraft vernachlässigbar klein oder gar keinen Beitrag an die Bewegung der Freikolbenanordnung 16 leistet. In Hubrichtung X nach dem Hubpunkt X_3 nimmt die vom Hubkolbenverdichter 15 aufgenommene Kompressionsleistung ständig zu, sodass die Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung 16 reduziert wird, was insbesondere gilt, wenn der Linearmotor 14 mit konstanter Leistung betrieben wird. Nach dem Punkt B wird das Auslassventil 6a geöffnet, wobei die Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung 16 bedingt durch den am Auslassventil 6a auftretenden Strömungswiderstand weiter abnimmt. Beginnend mit dem Hubpunkt X_4 muss die Freikolbenanordnung 16 abgebremst und bis zum oberen Totpunkt X_{OTP} zum Stillstand gebracht werden, was vorzugsweise dadurch erfolgt, dass der Linearmotor 14 eine Bremskraft erzeugt, und vorteilhafterweise als Generator betrieben wird, wobei

die erzeugte elektrische Energie vorzugsweise in einer Ansteuervorrichtung zwischengespeichert wird, beispielsweise um die Freikolbenanordnung 16 im Abschnitt A- X_3 wieder zu beschleunigen.

- 5 Die Figur 7 zeigt als Zustandsgrösse Z_{soll} ein Geschwindigkeits-Weg-Diagramm (v-x-Diagramm). Anstelle eines Geschwindigkeits-Weg-Diagramms könnte als Zustandsgrösse Z_{soll} beispielsweise auch eine der in den Figuren 5 oder 6 dargestellten Kennlinien 30 bis 37 vorgegeben werden, zum Beispiel Hub, Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Kraft in Funktion der Zeit. Zudem
- 10 könnte auch eine Kombination von mehreren der in den Figuren 5 oder 6 dargestellten Kennlinien 30 bis 37 vorgegeben werden, beispielsweise indem die Zustandsgrösse Z_{soll} so gewählt wird, dass beispielsweise eine maximale Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung und/oder vom Linearmotor 14 abzugebende Kraft und/oder vom Linearmotor 14 verbrauchte elektrische
- 15 Energie nicht überschritten wird.

In einem vorteilhaften Verfahren wird die Freikolbenanordnung 16 ausgehend vom unteren Totpunkt X_{UTP} während einer Verdichtungsphase AB, bis zum Öffnungspunkt B des Auslassventils 6, derart mit einem vorbestimmten

20 Geschwindigkeits-Weg-Verlauf G_1 bewegt, dass der Linearmotor 14 eine konstanten oder im Wesentlichen konstante Leistung abzugeben hat. Die Leistung berechnet sich aus der vom Linearmotor 14 aufzubringenden Antriebskraft F_{LM} multipliziert mit der Geschwindigkeit V der Freikolbenanordnung 16. Bei vorgegebener konstanter Leistung kann der

25 vorbestimmte Geschwindigkeits-Weg-Verlauf G_1 somit berechnet werden. Dieses Verfahren weist den Vorteil auf, dass der Linearmotorverdichter auch mit geringerer Leistung sicher betrieben werden kann.

Während des kontinuierlichen Betriebs des Linearmotorverdichters 1 weist

30 dieser zwischen den Punkten C und D eine Entspannungsphase CD auf, während welcher das sich im Totvolumen V_{tot} befindliche Gas entspannt wird. In einem möglichen Verfahren kann der Linearmotor 14 zumindest entlang eines Teilabschnittes der Entspannungsphase CD als Generator betrieben werden, indem der Linearmotor 14 die durch die Entspannungskräfte

verursachte Bewegung des Kolbens 3,4 durch einen Generatorbetrieb
abbremst, wobei die dabei erzeugte elektrische Energie vorzugsweise
zwischen gespeichert wird. In einem besonders vorteilhaften Verfahren wird der
Linearmotor 14 entlang zumindest eines Teilabschnittes der
5 Entspannungsphase CD und vorzugsweise während der gesamten
Entspannungsphase CD derart angesteuert, dass der Linearmotor 14 während
der gesamten Entspannungsphase CD keine aktiv bremsende Wirkung auf die
Freikolbenanordnung 16 ausübt, vorzugsweise derart, dass der Linearmotor
14 während der gesamten Entspannungsphase CD und vorzugsweise während
10 den Punkten C und A, d.h. der gesamten Phase CA eine positive, in Richtung
zum unteren Totpunkt X_{UTP} hin wirkende Kraft auf die Freikolbenanordnung
16 ausüben. Durch dieses Verfahren ist sichergestellt, dass die von dem sich
im Totraum V_{tot} befindlichen Gas während des Entspannens entlang der
Entspannungsphase CD freigesetzte Energie vorzugsweise vollständig in eine
15 Bewegungsenergie der Freikolbenanordnung 16 gewandelt wird, die ein
Verdichten des sich in der zweiten Verdichtungskammer 5b befindlichen Gas
unterstützt, indem die kinetische Energie der Freikolbenanordnung 16 über
den zweiten Kolben 4 auf das Gas übertragen wird.

20 Figur 8 zeigt ein weiteres, vorteilhaftes Betriebsverfahren des in Figur 2
dargestellten Linearmotorverdichters 1. Figur 8 zeigt ein eher schematisches,
d.h. geringfügig idealisiert dargestelltes Geschwindigkeits-Weg-Diagramm des
ersten Kolbens 3, wobei das Diagramm zur vereinfachten Veranschaulichung
des ablaufenden Verfahrens die Geschwindigkeit des ersten Kolbens 3 in
25 Funktion des Hubs X während der Phase AC zeigt, und wobei das Diagramm
anschliessend nach rechts die Geschwindigkeit des ersten Kolbens 3 in
Funktion des Hubs X während der Phase CA zeigt, wobei zur besseren
Veranschaulichung der Hub X während der Phase CA nach rechts verlaufend
dargestellt ist, im Unterschied zur Figur 7. An sich befindet sich der erste
30 Kolben 3 sowohl am Anfang als auch am Ende des in Figur 8 dargestellten
Diagramms im unteren Totpunkt X_{UTP} . Als vorbestimmten Zustandsgrösse Z_{soll}
werden die Verläufe G_1 und G_2 für die Freikolbenanordnung 16 vorgegeben,
nämlich Geschwindigkeits-Weg-Verläufe wie in Figur 8 dargestellt. Die
Verdichtungsphase AB wird mit relativ hoher Geschwindigkeit, insbesondere

- 29 -

mit einer relativ hohen ersten mittleren Geschwindigkeit V_{m1} , und somit zeitlich relativ schnell durchlaufen. Im Bereich des Öffnungspunktes B des Auslassventils 6 wird die Geschwindigkeit v reduziert, sodass die Freikolbenanordnung 16 während der Ausstossphase BC mit reduzierter

5 Geschwindigkeit, beziehungsweise mit einer im Vergleich zur Verdichtungsphase AB tieferen zweiten mittleren Geschwindigkeit V_{m2} bewegt wird. Die Freikolbenanordnung 16 wird ausgehend vom unteren Totpunkt X_{UTP} während einer Verdichtungsphase AB bis zum Öffnungspunkt B des Auslassventils 6 und anschliessend während einer Ausstossphase BC bis zum

10 Schliesspunkt C des Auslassventils 6 derart mit einer vorbestimmten Zustandsgrösse Z_{soll} , einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf oder einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf, angetrieben, dass die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} während der Verdichtungsphase AB höher ist als die zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} während der Ausstossphase BC

15 und/oder dass die Zeitdauer der Verdichtungsphase AB kürzer ist als die Zeitdauer der Ausstossphase BC. Dieses Verfahren weist insbesondere den Vorteil auf, dass es möglich ist die zeitliche Dauer der Ausstossphase BC zu erhöhen. Diese Verfahren weist den Vorteil auf, dass die Freikolbenanordnung 16 während der Ausstossphase BC, das heisst während dem Ausströmen des

20 Gases aus dem Auslassventil 6a mit reduzierter Geschwindigkeit betrieben werden kann, was den durch das Auslassventil 6a verursachten Ausströmwiderstand reduziert, und was somit auch die durch das Ausströmen bewirkte Verlustenergie reduziert. Da während der Verdichtungsphase AB kein Ausströmen stattfindet kann die Verdichtungsphase AB ohne oder mit

25 äusserst geringer Mehrenergie mit erhöhter Geschwindigkeit bzw. mit einer höheren mittleren Geschwindigkeit durchfahren werden, sodass dafür die Ausstossphase BC vorzugsweise zeitlich verlängert werden kann indem die Ausstossphase BC mit im Vergleich zur Verdichtungsphase AB tieferen mittleren Geschwindigkeit durchfahren wird. Dieses Verfahren weist den

30 Vorteil auf, dass die durch das Ausströmen des Gases über das Auslassventil bewirkte Verlustenergie reduziert werden kann. Bei einer vorgegebenen Zykluszeit T_z einer vollständigen Hin- und Herbewegung des Linearmotorverdichters wird dieser vorteilhafterweise derart betrieben, dass die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} während der Verdichtungsphase AB

- 30 -

hoch, vorzugsweise möglichst hoch vorgegeben wird, und dass die zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} tiefer als die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} vorgegeben wird, vorzugsweise möglichst tief, jedoch derart, dass die vorgegebenen Zykluszeit T_z einer vollständigen Hin- und Herbewegung

5 eingehalten wird. Durch dieses Verfahren kann somit, bei vorgegebener Zykluszeit T_z , die zeitliche Dauer der Ausstossphase BC verlängert werden beziehungsweise die Ausfliessgeschwindigkeit des Gases aus dem Zylinderinnenraum beim Auslassventil 6a reduziert werden, was die am Auslassventil auftretende Verlustenergie reduziert. Dieses Verfahren

10 ermöglicht es den Wirkungsgrad des Linearmotorverdichters zu steigern. In einem besonders vorteilhaften Verfahren treibt der Linearmotor 8 die Freikolbenanordnung 16 zumindest während eines Teilabschnitts der Verdichtungsphase AB motorisch an, wobei der Linearmotor 8 die Freikolbenanordnung 16 zumindest während eines Teilabschnitts der

15 Ausstossphase BC abbremst, und dabei vorzugsweise als Generator betrieben wird, welcher elektrische Energie freisetzt, die vorzugsweise zwischengespeichert wird und vorzugsweise wieder verwendet wird zur Speisung des Linearmotors 8 mit elektrischer Energie während der Verdichtungsphase AB. Durch diese kurzfristige Zwischenspeicherung von

20 elektrischer Energie kann der Linearmotorverdichter besonders effizient betrieben werden und dabei insbesondere gewährleisten, dass die erste mittlere Geschwindigkeit V_{m1} während der Verdichtungsphase AB höher ist als die zweite mittlere Geschwindigkeit V_{m2} während der Ausstossphase BC. Die Zustandsgrösse Z_{soll} gemäss dem Verlauf G_2 zeigt die Bewegung der

25 Freikolbenanordnung 16 während der Phase CA, beziehungsweise die Bewegung des ersten Kolbens 3 vom oberen Totpunkt X_{OTP} zum unteren Totpunkt X_{UTP} . Sofern der Linearmotorverdichter 1 eine erste und eine Verdichtungskammer 5a, 5b aufweist, die, wie in Figur 2 dargestellt, über gegenläufige Kolben 3,4 verdichtet werden, weisen die beiden Verläufe G_1 , G_2

30 denselben Verlauf auf, mit Ausnahme des Vorzeichens der Geschwindigkeit v , wie in Figur 8 dargestellt. Falls der Linearmotorverdichter 1 nur eine einzige, erste Verdichtungskammer 5a aufweist, können die beiden Verläufe G_1 und G_2 auch einen unterschiedlichen Verlauf aufweisen. Die mittlere Geschwindigkeit

V_{m3} der Entspannungsphase CD ist wie in Figur 8 dargestellt höher als die mittlere Geschwindigkeit V_{m4} der Ansaugphase DA.

Figur 9 zeigt ein weiteres Betriebsverfahren des in Figur 2 dargestellten
5 Linearmotorverdichters 1. Figur 9 zeigt ein Geschwindigkeits-Weg-Diagramm
des ersten Kolbens 3. Als vorbestimmte Zustandsgrösse Z_{soll} werden die
Verläufe G_1 und G_2 für die Freikolbenanordnung 16 vorgegeben. Diese
Verläufe G_1 und G_2 sind derart gewählt, dass sich der erste bzw. der zweite
Kolben 3,4 im Bereich der Punkte A, B, C und D mit geringer bzw. reduzierter
10 Geschwindigkeit v bewegt, wobei die Geschwindigkeit in den Punkten C und A
auf 0 m/s reduziert wird, da die Freikolbenanordnung an dieses
Umkehrpunkten kurzfristig zum Stillstand kommt. Vorzugsweise wird die
Geschwindigkeit im Bereich der Punkte C und A, d.h. insbesondere
unmittelbar vor dem Erreichen der Punkte C und A, besonders stark reduziert,
15 sodass diese Geschwindigkeit geringer ist wie in den Punkten B und D. Die
Figuren 9a und 9b zeigen die Geschwindigkeit der Figur 9 im Bereich des
Punktes C bzw. A im Detail. In einem vorteilhaften Verfahren ist die
Geschwindigkeit in den Punkten C und A sehr gering, und liegt beispielsweise
unter 0,1 m/s. Die reduzierte Geschwindigkeit in den Punkten C und A hat
20 zur Folge, dass das Einlassventil 7a bzw. das Auslassventil 6a mit geringer
Geschwindigkeit geschlossen wird, was zur Folge hat, dass diese Ventile durch
dieses sanfte Schliessen mechanisch nur gering beansprucht werden, sodass
die Ventile während langer Zeit zuverlässig und vorzugsweise wartungsfrei
betreibbar sind. Wie in Figur 9b dargestellt wird die Freikolbenanordnung 16
25 gegen das Ende des Hubs, zum unteren Totpunkt X_{UTP} hin, zuerst mit einer
grösseren negativen Beschleunigung abgebremst, und anschliessend mit einer
reduzierten negativen Beschleunigung abgebremst, wobei die
Freikolbenanordnung 16 beim Totpunkt X_{UTP} mit reduzierter negativen
Beschleunigung bis zum Stillstand abgebremst wird und anschliessend in der
30 entgegengesetzten Richtung wieder beschleunigt wird. Wie in Figur 9a
dargestellt wird die Freikolbenanordnung 16 gegen das Ende des Hubs, zum
oberen Totpunkt X_{OTP} hin, zuerst mit einer grösseren negativen
Beschleunigung abgebremst, und anschliessend mit einer reduzierten
negativen Beschleunigung abgebremst, wobei die Freikolbenanordnung 16

beim oberen Totpunkt X_{OTP} mit reduzierter negativen Beschleunigung bis zum Stillstand abgebremst wird, und anschliessend in der entgegengesetzten Richtung wieder beschleunigt wird. Eine Zustandsgrösse Z_{soll} kann im einfachsten Fall nur aus einem einzigen Punkt bestehen, beispielsweise wie in

5 Figur 9 dargestellt den Hubwegpunkt X_1 mit dem Wert v_{soll} . Die Ansteuerung erfolgt somit derart, dass die Freikolbenanordnung 16 beim Hubwegpunkt X_1 die Geschwindigkeit v_{soll} aufweist. Dadurch ist sichergestellt, dass die Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung 16 beim Hubwegpunkt X_1 die gewünschte, tiefe Geschwindigkeit v_{soll} aufweist.

10

Figur 10 zeigt eine Ansteuervorrichtung 20 zum Betrieb eines Linearmotorverdichters 1. Eine Regelungsvorrichtung 27 erfasst mit zumindest einem Sensor 21 über eine Signalleitung eine Ist-Zustandsgrösse 29a

zumindest eine Ist-Zustandsgrösse des Linearmotorverdichters 1,

15 vorzugsweise den Hub X und/oder die Geschwindigkeit v und/oder die Beschleunigung und/oder die angreifende Kraft F der Freikolbenanordnung 16. Über eine Sollwertvorgabevorrichtung ist der Sollwert einer Zustandsgrösse Z_{soll} vorgegeben. Die Regelungsvorrichtung 27 berechnet aus der Ist-Zustandsgrösse 29a und der Sollzustandsgrösse Z_{soll} 29e ein

20 Ansteuersignal 29b, das einer Inverteransteuerungsvorrichtung 26 zugeleitet wird. Die Inverteransteuerungsvorrichtung 26 steuert über Steuerleitungen 29c, 29d eine Energieversorgung 23 sowie einen Inverter 22 an, wobei der Inverter 22 eine Mehrzahl von Ansteuerungen umfasst, um über elektrische

Leiter 24a, 24b, 24c, 24d eine Mehrzahl von Statorwicklungen 12a, 12b, 12c,

25 12d individuell anzusteuern. Die Energieversorgung 23 ist über eine Energieleitung 25 mit dem Inverter 22 verbunden. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die Energieversorgung 23 einen Energiespeicher, wobei der Inverter 22 derart ansteuerbar ist, dass elektrische

Energie dem Linearmotorverdichter 1 entzogen werden kann und über dem

30 Inverter 22 der Energieversorgung 23 zuführbar ist, in welcher die elektrische Energie gespeichert wird, vorzugsweise kurzfristig, während einem Zeitraum von vorzugsweise weniger als einer Sekunde oder weniger als einer Minute.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben eines Linearmotorverdichters (1) umfassend einen elektrischen Linearmotor (14), einen Zylinder (2) sowie eine linearbewegliche Freikolbenanordnung (16) mit einem Kolben (3), wobei der Zylinder (2) und der Kolben (3) eine Verdichtungskammer (5) ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung (16) direkt vom Linearmotor (14) angetrieben wird und entlang eines Hubwegs (X) zwischen einem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und einem unteren Totpunkt (X_{UTP}) hin- und herbewegt wird, wobei der Verdichtungskammer (5) von aussen ein Fluid zugeführt wird, wobei das zugeführte Fluid in der Verdichtungskammer (5) verdichtet oder entspannt wird und anschliessend wieder nach Aussen abgegeben wird, wobei dem Linearmotorverdichter (1) zumindest eine Zustandsgrösse (Z_{soll}) vorgegeben wird, und wobei der Linearmotor (14) derart angesteuert wird, dass der Linearmotorverdichter (1) die vorgegebene Zustandsgrösse (Z_{soll}) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) ausgehend vom unteren Totpunkt (X_{UTP}) während einer Verdichtungsphase (AB) bis zum Öffnungspunkt (B) des Auslassventils (6) und anschliessend während einer Ausstossphase (BC) bis zum Schliesspunkt (C) des Auslassventils (6) derart mit einer vorbestimmten Zustandsgrösse (Z_{soll}), einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf, angetrieben wird, dass die mittlere Geschwindigkeit (V_{m1}) während der Verdichtungsphase (AB) höher ist als die mittlere Geschwindigkeit (V_{m2}) während der Ausstossphase (BC).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) ausgehend vom oberen Totpunkt (X_{OTP}) während einer Entspannungsphase (CD) bis zum Öffnungspunkt (D) des Einlassventils (7) und anschliessend während einer Ansaugphase (DA) bis zum Schliesspunkt (A) des Einlassventils (7) derart mit einer vorbestimmten Zustandsgrösse (Z_{soll}), einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf, angetrieben wird, dass die mittlere Geschwindigkeit (V_{m3}) während der Entspannungsphase (CD) höher ist als die mittlere Geschwindigkeit (V_{m4}) während der Ansaugphase (DA).

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit der Freikolbenanordnung (16) im Bereich des Öffnungspunkts (B) des Auslassventils (6) reduziert wird auf eine Geschwindigkeit kleiner als die mittlere Geschwindigkeit (V_{m1}) während der Verdichtungsphase (AB).
5
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Geschwindigkeit die Freikolbenanordnung (16) im Bereich des Öffnungspunkts (D) des Einlassventils (7) reduziert wird auf eine Geschwindigkeit kleiner als die mittlere Geschwindigkeit (V_{m3}) während der Entspannungsphase (CD).
10
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) nach dem Öffnungspunkts (B) des Auslassventils (6) wieder beschleunigt wird, und/oder dass die Freikolbenanordnung (16) nach dem Öffnungspunkt (D) des
15 Einlassventils (7) wieder beschleunigt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) gegen das Ende des Hubs, zum unteren Totpunkt (X_{UTP}) hin, zuerst mit einer grösseren negativen Beschleunigung abgebremst wird, und anschliessend mit einer reduzierten negativen Beschleunigung abgebremst wird, wobei die
20 Freikolbenanordnung (16) beim Totpunkt (X_{UTP}) mit reduzierter negativer Beschleunigung bis zum Stillstand abgebremst wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) gegen das Ende des Hubs, zum oberen Totpunkt (X_{OTP}) hin, zuerst mit einer grösseren negativen Beschleunigung abgebremst wird, und anschliessend mit einer reduzierten negativen Beschleunigung abgebremst wird, wobei die
25 Freikolbenanordnung (16) beim oberen Totpunkt (X_{OTP}) mit reduzierter negativer Beschleunigung bis zum Stillstand abgebremst wird.
- 30 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Zustandsgrösse (Z_{soll}) ein Hubwegpunkt (X_1) und

- 35 -

diesem zugeordnet eine Sollgeschwindigkeit (V_{soll}) der Freikolbenanordnung (16) vorgegeben wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Zustandsgrösse (Z_{soll}) ein entlang zumindest eines Teilabschnittes des Hubweges (X), und vorzugsweise entlang des gesamten Hubweges (X_L) einzuhaltendes Sollprofil (S_{soll}) vorgegeben wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Zustandsgrösse (Z_{soll}) ein während einer für den gesamten Hubweg (X_L) erforderlichen Hubzeit (T_L) einzuhaltendes Sollprofil (S_{soll}) vorgegeben wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotorverdichter (1) eine erste und eine zweite Verdichtungskammer (5a, 5b) umfasst, die von der Freikolbenanordnung (16) gegenläufig betrieben werden.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Zustandsgrösse (Z_{soll}) ein Geschwindigkeits-Weg-Verlauf zwischen dem unteren Totpunkt (X_{UTP}) und dem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und/oder dem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und dem unteren Totpunkt (X_{UTP}) vorgegeben wird, gemäss dem die Freikolbenanordnung (16) hin- und herbewegt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16), ausgehend vom unteren Totpunkt (X_{UTP}), während einer Verdichtungsphase (AB), bis zum Öffnungspunkt (B) des Auslassventils (6), derart mit einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf bewegt wird, dass der Linearmotor (14) eine konstanten oder im Wesentlichen konstante Leistung in Funktion der Zeit abzugeben hat.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmte Zustandsgrösse (Z_{soll}), ein vorbestimmter Geschwindigkeits-Weg-Verlauf zumindest im Bereich einer der nachfolgenden Punkte:
 - Öffnungspunkt (B) des Auslassventils (6),

- 36 -

- Schliesspunkt (C) des Auslassventils (6),
- Öffnungspunkt (D) des Einlassventils (7),
- Schliesspunkt (A) des Einlassventils (7),

5 eine im Vergleich zum übrigen Geschwindigkeits-Weg-Verlauf reduzierte Geschwindigkeit aufweist, sodass das Auslass- oder Einlassventil (6,7) mit reduzierter Geschwindigkeit bewegt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (14) während der gesamten Entspannungsphase (CD) und vorzugsweise während der
10 Entspannungsphase (CD) und der Ansaugphase (DA) eine positive, in Richtung zum unteren Totpunkt (X_{UTP}) hin wirkende Kraft auf die Freikolbenanordnung (16) ausübt.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das vom Linearmotorverdichter (1) geförderte
15 Volumen verändert wird, indem der maximale Hub (X_L) des Linearmotors (14) beziehungsweise der Ort des oberen Totpunkts (X_{OTP}) und/oder der Ort des unteren Totpunkts (X_{UTP}) verändert wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freikolbenanordnung (16) während der Hin-
20 und Herbewegung zwischen dem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und dem unteren Totpunkt (X_{UTP}) zumindest abschnittsweise abgebremst wird, indem der Linearmotor (14) als Generator betrieben wird.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (14) als Generator betrieben wird,
25 indem der Verdichtungskammer (5) über das Auslassventil (6) ein unter Druck stehendes Fluid zugeführt wird, das Fluid in der Verdichtungskammer (5) expandiert wird, und anschliessend über das Einlassventil (7) ausgestossen wird, und dass die Freikolbenanordnung (16) des als Generator betriebenen Linearmotors (14) mit einem
30 vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg Verlauf hin- und herbewegt wird.
19. Linearmotorverdichter (1) umfassend zumindest einen elektrischen Linearmotor (14), einen Zylinder (2) sowie eine linearbewegliche

- 37 -

Freikolbenanordnung (16) mit zumindest einem Kolben (3), wobei der Zylinder (2) und der Kolben (3) zumindest eine Verdichtungskammer (5) ausbilden, wobei die Freikolbenanordnung (16) direkt vom Linearmotor (14) angetrieben ist, wobei die Verdichtungskammer (5) über ein Auslassventil (6) und ein Einlassventil (7) Fluid leitend nach Aussen verbunden ist, wobei eine Ansteuervorrichtung (20) den Linearmotor (14) derart angesteuert, dass die Freikolbenanordnung (16) mit einer vorgegebenen Zustandsgrösse (Z_{sol}) zwischen einem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und einem unteren Totpunkt (X_{UTP}) hin- und herbewegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuervorrichtung (20) die Freikolbenanordnung (16) ausgehend vom unteren Totpunkt (X_{UTP}) während einer Verdichtungsphase (AB) bis zum Öffnungspunkt (B) des Auslassventils (6) und anschliessend während einer Ausstossphase (BC) bis zum Schliesspunkt (C) des Auslassventils (6) derart mit einem vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf, ansteuert, dass die mittlere Geschwindigkeit (V_{m1}) während der Verdichtungsphase (AB) höher ist als die mittlere Geschwindigkeit (V_{m2}) während der Ausstossphase (BC).

20. Linearmotorverdichter (1) nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Linearmotor (14) als Motor und als Generator betreibbar ist, und dass die Ansteuervorrichtung (20) den Linearmotor (14) derart ansteuert, dass die Freikolbenanordnung (16) mit einen vorbestimmten Geschwindigkeits-Weg-Verlauf angetrieben wird bei der Bewegung zwischen einem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und einem unteren Totpunkt (X_{UTP}).

Linearmotorverdichter (1) nach einem der Ansprüche 19 und 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuervorrichtung (20) ausgestaltet ist den Linearmotor (14) entlang des Hubwegs (X), zwischen dem oberen Totpunkt (X_{OTP}) und dem unteren Totpunkt (X_{UTP}) oder umgekehrt, abschnittsweise als Generator und abschnittsweise als Motor zu betreiben, wobei die Ansteuervorrichtung (20) einen Energiespeicher umfasst, zur Zwischenspeicherung der durch den Generator gewonnenen elektrischen Energie.

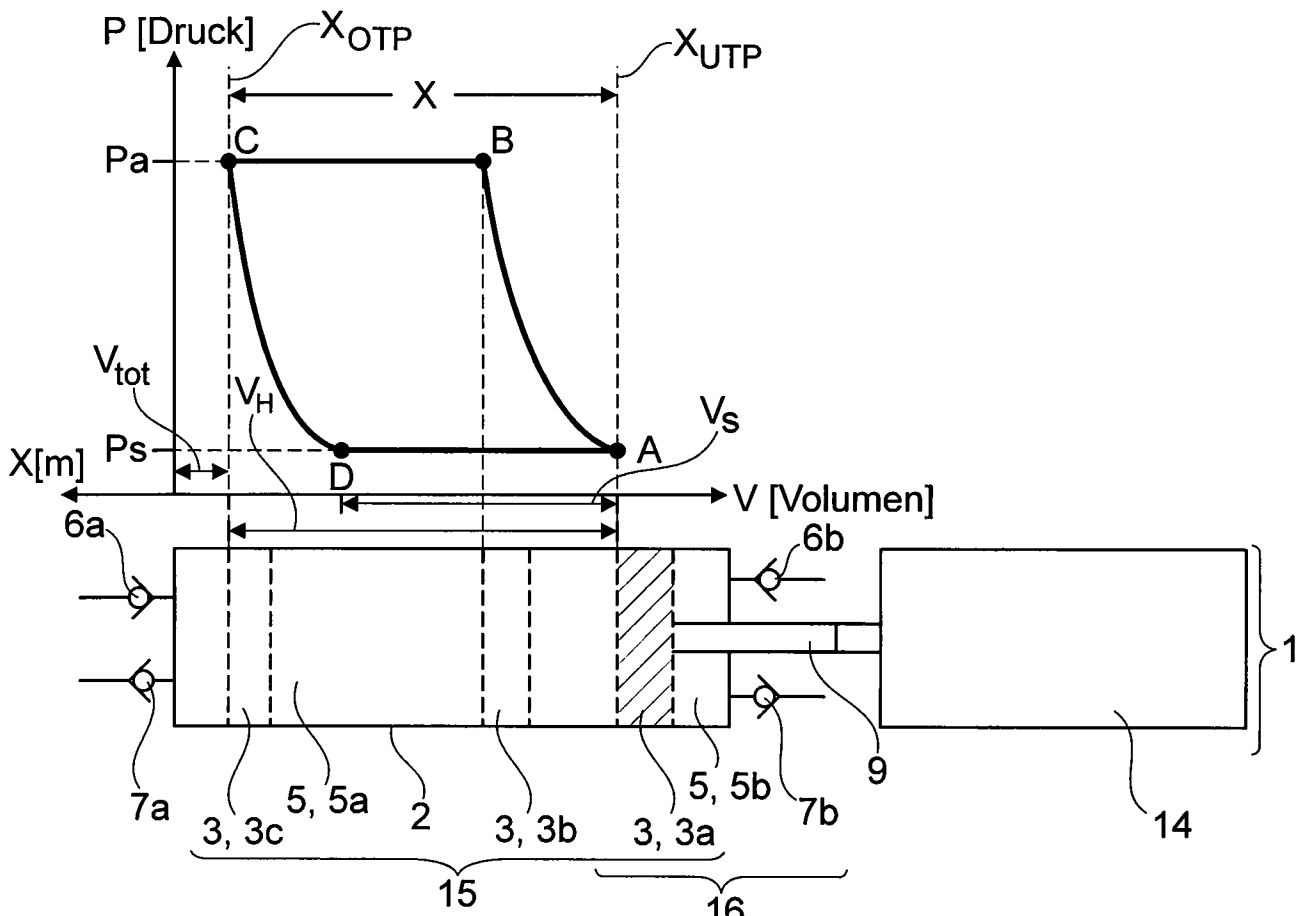


Fig. 1

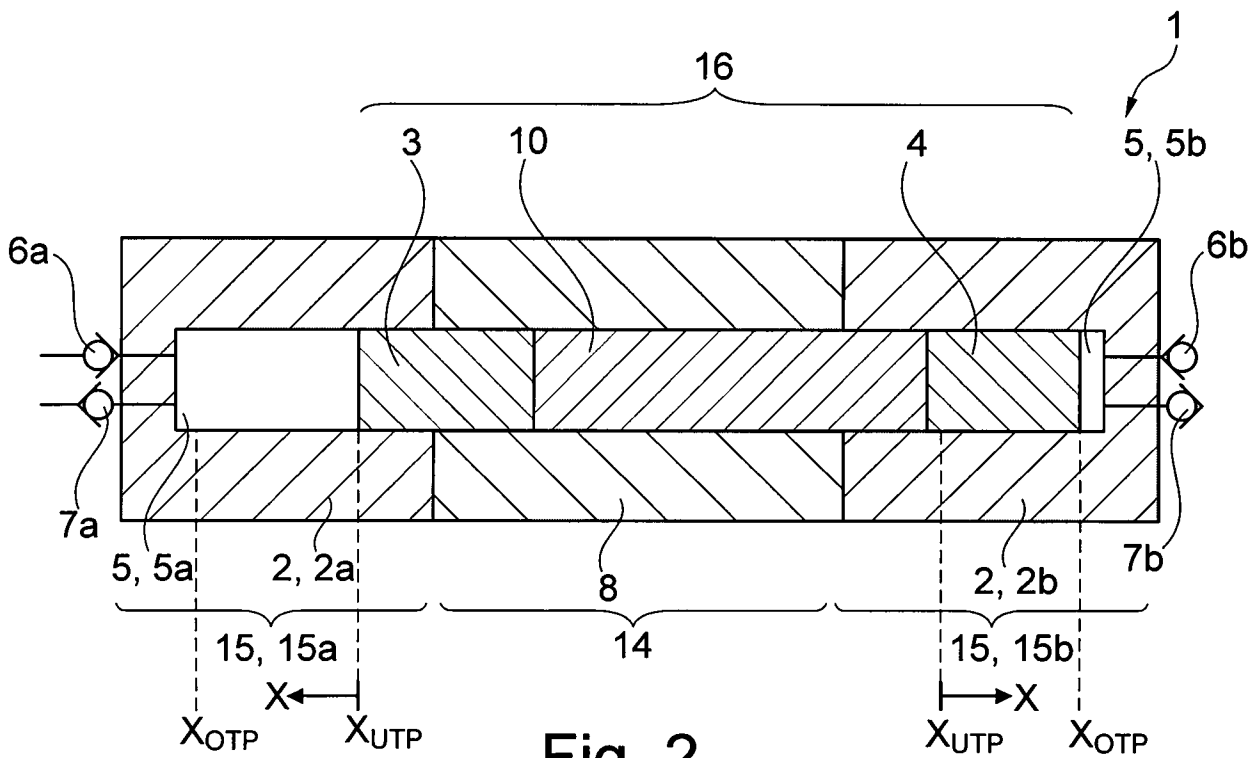


Fig. 2

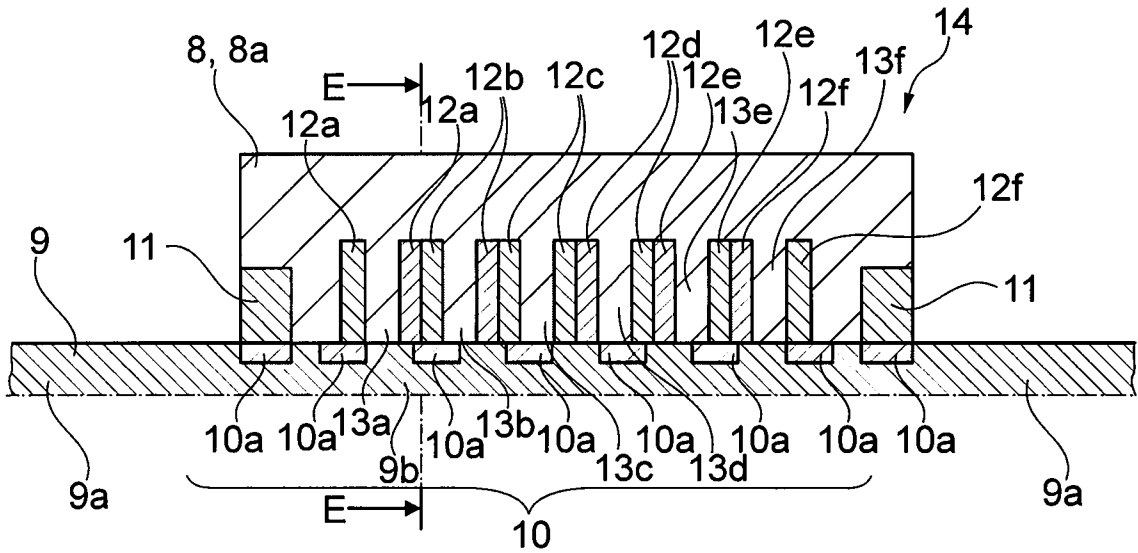


Fig. 3 (F - F)

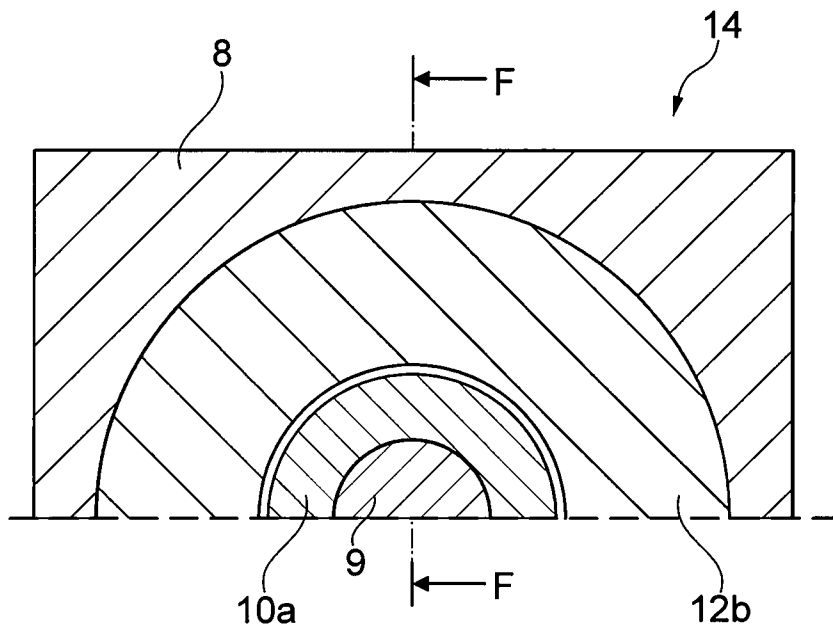


Fig. 4 (E - E)

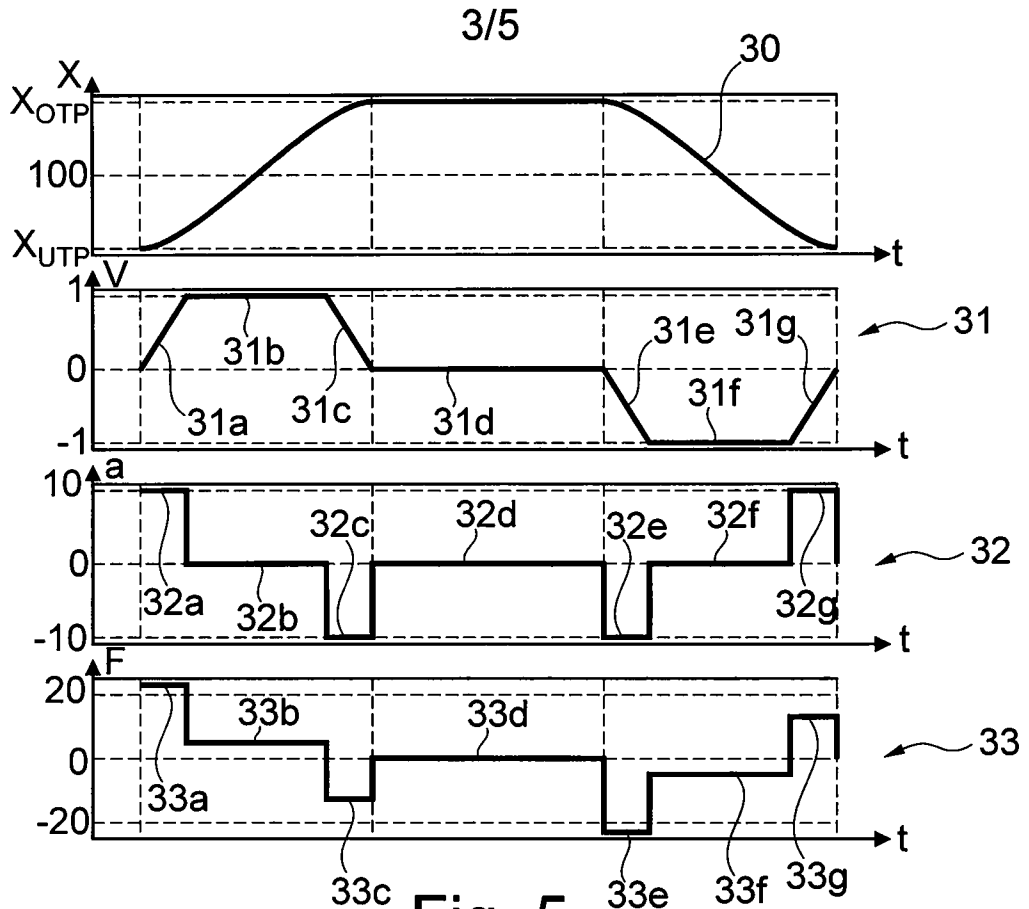


Fig. 5

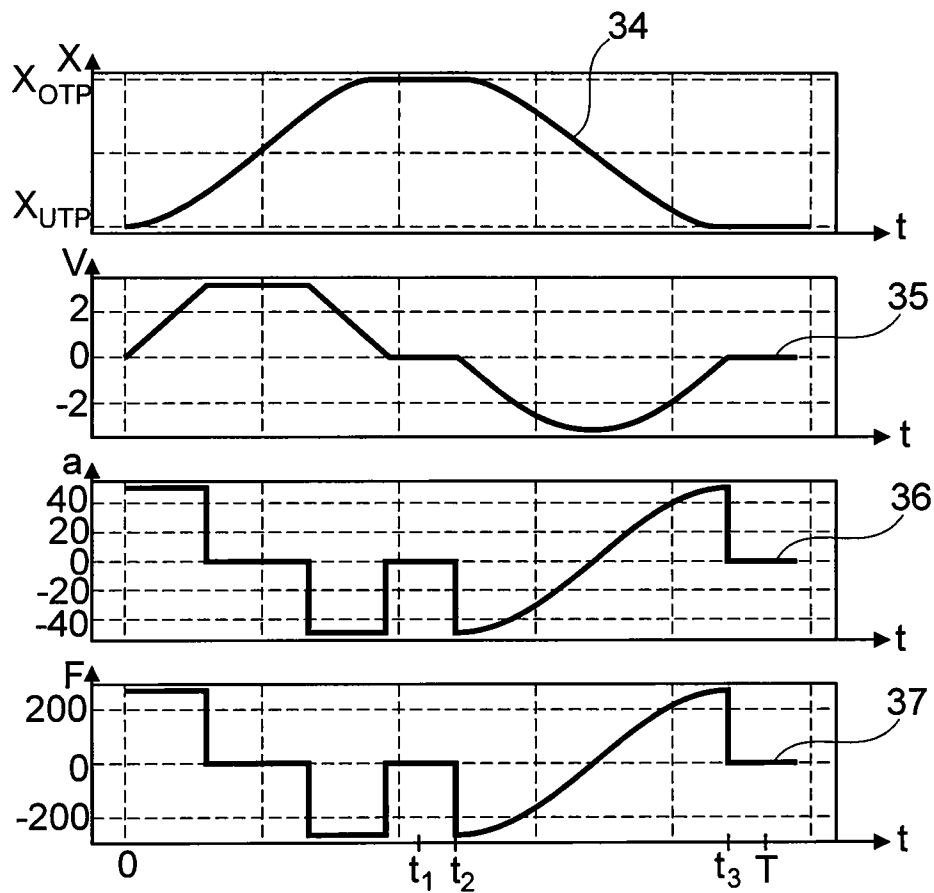


Fig. 6

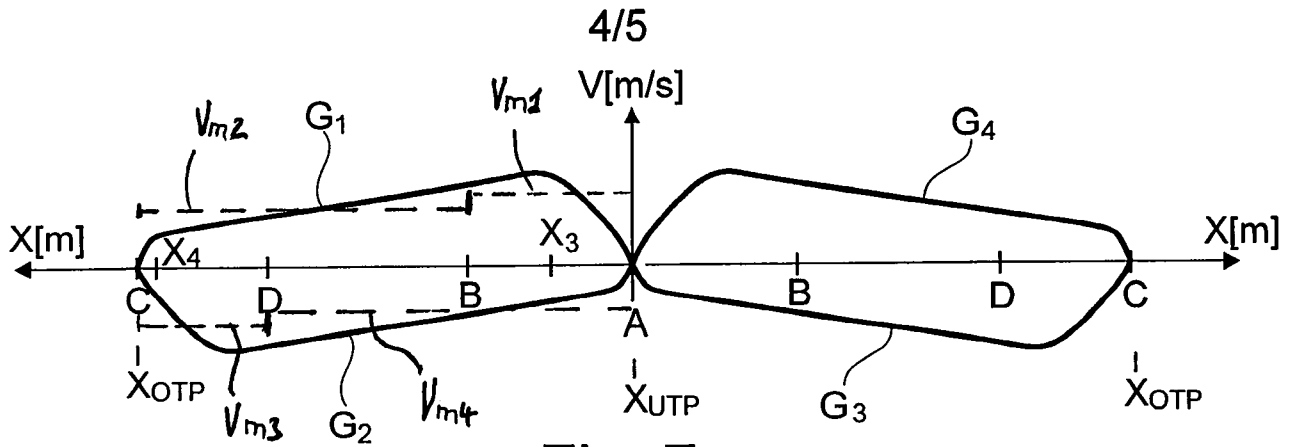


Fig. 7

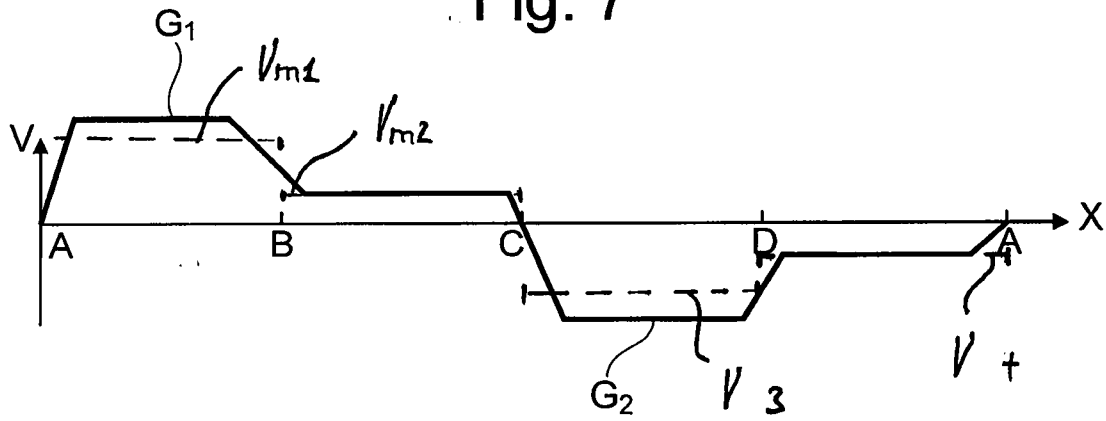


Fig. 8

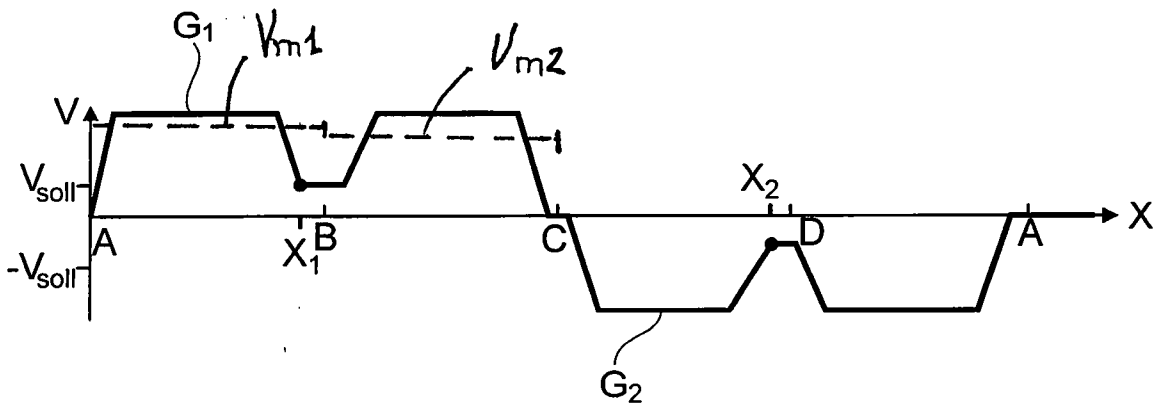


Fig. 9

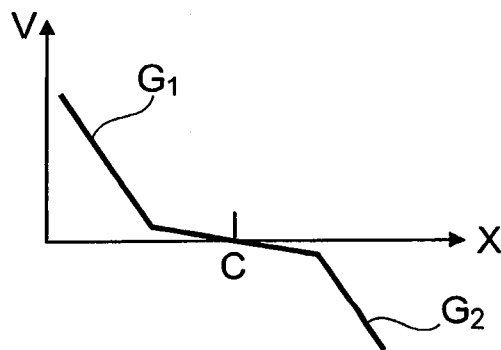


Fig. 9a

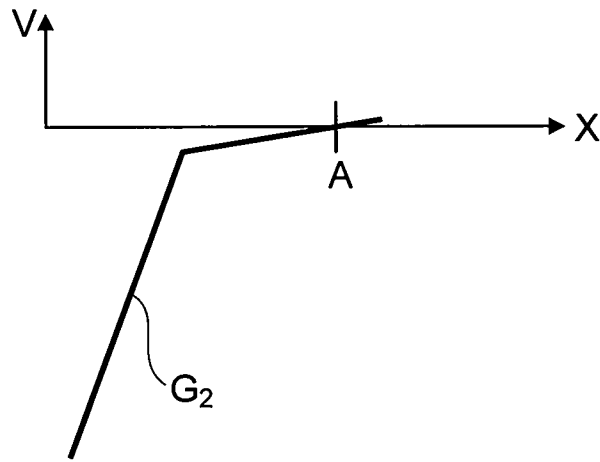


Fig. 9b

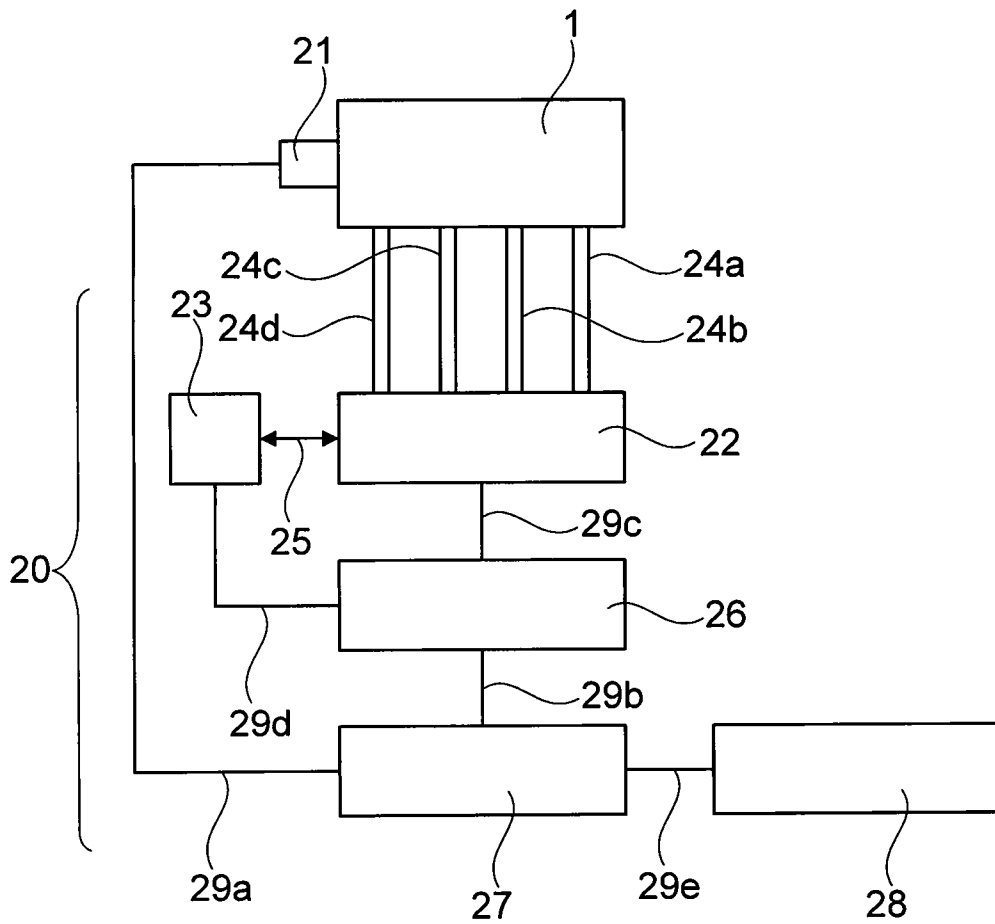


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/052913

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
F04B 17/03 (2006.01)i; F04B 35/04 (2006.01)i; F04B 49/06 (2006.01)i; F04B 19/00 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F04B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2018051690 A1 (STAIR JASON [US] ET AL) 22 February 2018 (2018-02-22) cited in the application paragraph [0053] - paragraph [0055]; claims 1-19; figures 3,4	1-20
A	US 7456592 B2 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 25 November 2008 (2008-11-25) claims 1-24	1-20
A	WO 03044365 A1 (FISHER & PAYKEL APPLIANCES LTD [NZ]; MCGILL IAN CAMPBELL [NZ] ET AL.) 30 May 2003 (2003-05-30) claims 1-13	1-20
A	DE 102007034293 A1 (BSH BOSCH SIEMENS HAUSGERAETE [DE]) 29 January 2009 (2009-01-29) paragraph [0001] - paragraph [0008]	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 16 March 2020		Date of mailing of the international search report 25 March 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Fistas, Nikolaos Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/052913

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2018051690	A1	22 February 2018	NONE	
US	7456592	B2	25 November 2008	BR PI0404640 A	30 August 2005
				CN 1629482 A	22 June 2005
				DE 102004051320 A1	14 July 2005
				JP 4842532 B2	21 December 2011
				JP 2005180417 A	07 July 2005
				US 2005137722 A1	23 June 2005
WO	03044365	A1	30 May 2003	AR 037547 A1	17 November 2004
				AT 306616 T	15 October 2005
				AU 2002356467 A1	10 June 2003
				BR 0214292 A	21 September 2004
				CA 2466304 A1	30 May 2003
				CN 1589371 A	02 March 2005
				DE 60206651 T2	22 June 2006
				DK 1446579 T3	17 July 2006
				EP 1446579 A1	18 August 2004
				ES 2246427 T3	16 February 2006
				HK 1064146 A1	24 March 2006
				JP 3989901 B2	10 October 2007
				JP 2005509796 A	14 April 2005
				KR 20050044555 A	12 May 2005
				MX PA04004585 A	13 August 2004
				NZ 515578 A	26 March 2004
				TW 580536 B	21 March 2004
				US 2003173834 A1	18 September 2003
				US 2004263005 A1	30 December 2004
				US 2005168179 A1	04 August 2005
				WO 03044365 A1	30 May 2003
DE	102007034293	A1	29 January 2009	CN 101755124 A	23 June 2010
				DE 102007034293 A1	29 January 2009
				EP 2171274 A1	07 April 2010
				RU 2010103529 A	27 August 2011
				US 2010183450 A1	22 July 2010
				WO 2009013131 A1	29 January 2009

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/052913

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F04B17/03 F04B35/04 F04B49/06 F04B19/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F04B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2018/051690 A1 (STAIR JASON [US] ET AL) 22. Februar 2018 (2018-02-22) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0053] - Absatz [0055]; Ansprüche 1-19; Abbildungen 3,4 -----	1-20
A	US 7 456 592 B2 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 25. November 2008 (2008-11-25) Ansprüche 1-24 -----	1-20
A	WO 03/044365 A1 (FISHER & PAYKEL APPLIANCES LTD [NZ]; MCGILL IAN CAMPBELL [NZ] ET AL.) 30. Mai 2003 (2003-05-30) Ansprüche 1-13 -----	1-20
A	DE 10 2007 034293 A1 (BSH BOSCH SIEMENS HAUSGERAETE [DE]) 29. Januar 2009 (2009-01-29) Absatz [0001] - Absatz [0008] -----	1-20

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
16. März 2020	25/03/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Fistas, Nikolaos
--	---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/052913

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2018051690	A1	22-02-2018	KEINE
US 7456592	B2	25-11-2008	BR PI0404640 A CN 1629482 A DE 102004051320 A1 JP 4842532 B2 JP 2005180417 A US 2005137722 A1
WO 03044365	A1	30-05-2003	AR 037547 A1 AT 306616 T AU 2002356467 A1 BR 0214292 A CA 2466304 A1 CN 1589371 A DE 60206651 T2 DK 1446579 T3 EP 1446579 A1 ES 2246427 T3 HK 1064146 A1 JP 3989901 B2 JP 2005509796 A KR 20050044555 A MX PA04004585 A NZ 515578 A TW 580536 B US 2003173834 A1 US 2004263005 A1 US 2005168179 A1 WO 03044365 A1
DE 102007034293	A1	29-01-2009	CN 101755124 A DE 102007034293 A1 EP 2171274 A1 RU 2010103529 A US 2010183450 A1 WO 2009013131 A1