

(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
12. Dezember 2024 (12.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/251562 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04B 35/04 (2006.01) F04B 39/04 (2006.01)
F04B 39/00 (2006.01) F04B 49/06 (2006.01)

(72) Erfinder: **KIRCHHOFF, Dirk**; An Der Schmau 24,
31028 Gronau/Leine (DE). **SEEGER, Marco**; Marie-Juch-
acz-Weg 1, 30855 Langenhagen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/064634

(74) Anwalt: **RABE, Dirk-Heinrich**; Am Lindener Hafen 21,
30453 Hannover (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

28. Mai 2024 (28.05.2024)

(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, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2023 114 839.7

06. Juni 2023 (06.06.2023) DE

(71) Anmelder: **ZF CV SYSTEMS EUROPE BV** [BE/BE];
Chaussée de la Hulpe 166, 1170 Brüssel (BE).

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A DRY-RUNNING PISTON COMPRESSOR, AND PISTON COMPRESSOR FOR
CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES TROCKENLAUFENDEN KOLBENKOMPRESSORS SOWIE
KOLBENKOMPRESSOR ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS

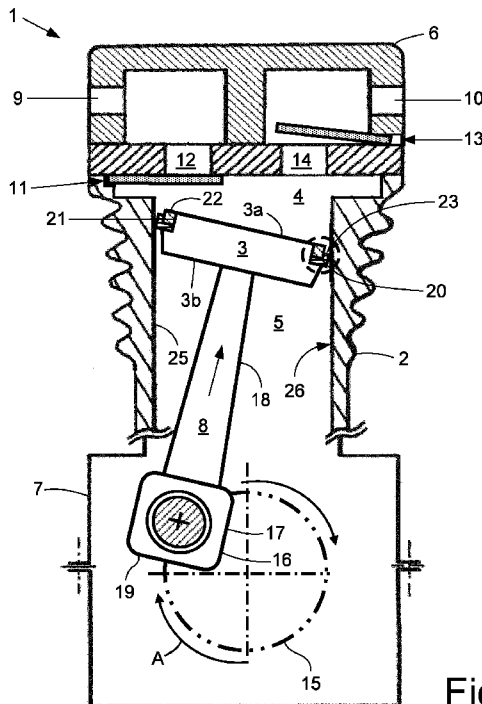


Fig. 6

(57) Abstract: The invention relates to a dry-running piston compressor (1) for supplying compressed air to a compressed air supply system (50) and to a method for controlling said piston compressor. The piston compressor has a piston (3) which can be axially moved in a cylinder housing (2) connected to a crankcase (7). A radially outer seal element (20) of the piston (3) sealingly rests against a cylinder running surface (26) of a cylinder bore (25) formed coaxially in the cylinder housing. Additionally, a rotatably mounted crankshaft (15) is arranged in the crankcase, said crankshaft being connected to a driveshaft of an electrically or electronically controllable electric drive machine (30) on the drive side and to the piston (3) by means of a connecting rod (8) on the output side. A connecting rod bearing eye (19) of a connecting rod bearing (17), said connecting rod bearing eye being formed at an axial end of the connecting rod, is rotatably mounted on an eccentric pin (16) of the crankshaft (15), and the other axial end of the connecting rod (8) is rigidly connected to the piston (3). The piston is driven by the electric drive machine (30) via the crankshaft (15) and the connecting rod in order to generate compressed air, and the piston is moved axially between a lower dead center (UT) and an upper dead center (OT) while carrying out a piston stroke movement and while changing the angular position thereof in the cylinder bore (25). According to the method, in order to increase the service life of the seal element (20), the electric drive machine (30) is actuated so as to reverse the rotational direction of the crankshaft (15) in an alternating manner and thus change the rotational direction of the piston compressor (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen trockenlaufenden Kolbenkompressor (1) zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage (50)

SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

mit Druckluft sowie ein Verfahren zur Steuerung dieses Kolbenkompressors. Der Kolbenkompressor weist einen Kolben (3) auf, der in einem mit einem Kurbelgehäuse (7) verbundenen Zylindergehäuse (2) axial bewegbar angeordnet ist. Der Kolben (3) liegt mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement (20) an einer Zylinderlauffläche (26) einer koaxial im Zylindergehäuse ausgebildeten Zylinderbohrung (25) dichtend an. Zudem ist in dem Kurbelgehäuse eine drehbar gelagerte Kurbelwelle (15) angeordnet, welche antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine (30) und abtriebsseitig mittels eines Pleuels (8) mit dem Kolben (3) verbunden ist. Hierbei ist ein an einem axialen Ende des Pleuels ausgebildetes Pleuellagerauge (19) eines Pleuellagers (17) drehbar auf einem Exzenterzapfen (16) der Kurbelwelle (15) gelagert, und das andere axiale Ende des Pleuels (8) ist mit dem Kolben (3) starr verbunden. Der Kolben wird zur Druckluftherzeugung über die Kurbelwelle (15) und das Pleuel von der elektrischen Antriebsmaschine (30) angetrieben, wobei der Kolben axial zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) unter Vollführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung (25) bewegt wird. Bei dem Verfahren ist zur Gebrauchsdauerverlängerung des Dichtelements (20) vorgesehen, dass die elektrische Antriebsmaschine (30) alternierend zur Drehrichtungsumkehr der Kurbelwelle (15) und damit zum Drehrichtungswechsel des Kolbenkompressors (1) angesteuert wird.

Verfahren zur Steuerung eines trockenlaufenden Kolbenkompressors sowie Kolbenkompressor zur Durchführung dieses Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines trockenlaufenden Kolbenkompressors zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage mit Druckluft, wobei der Kolbenkompressor einen Kolben aufweist, welcher in einem mit einem Kurbelgehäuse verbundenen Zylindergehäuse hin und her bewegbar angeordnet ist, wobei der Kolben mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement an einer Zylinderlauffläche einer koaxial im Zylindergehäuse ausgebildeten Zylinderbohrung dichtend anliegt, wobei in dem Kurbelgehäuse eine drehbar gelagerte Kurbelwelle angeordnet ist, wobei die Kurbelwelle antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine sowie abtriebsseitig mittels eines Pleuels mit dem Kolben verbunden ist, wobei ein an einem axialen Ende des Pleuels ausgebildetes Pleuellagerauge eines Pleuellagers drehbar auf einem Exzenterzapfen der Kurbelwelle gelagert ist, und wobei das andere axiale Ende des Pleuels mit dem Kolben starr verbunden ist. Der Kolben wird zur Druckluftherzeugung über die Kurbelwelle und das Pleuel von der elektrischen Antriebsmaschine angetrieben, wobei der Kolben axial zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt unter Vollführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung bewegt wird.

Außerdem betrifft die Erfindung einen trockenlaufenden Kolbenkompressor zur Durchführung eines solchen Verfahrens sowie ein Fahrzeug mit einem derartigen Kompressor.

Trockenlaufende, elektrisch angetriebene Kolbenkompressoren sind in verschiedenen Ausführungen bereits bekannt. Sie werden beispielsweise als kompakte Baueinheiten mit einem eigenen elektrischen Antrieb für die Druckluftversorgung von Druckluftverbrauchern in Fahrzeugen eingesetzt. Beispielsweise zeigen die WO 2009 033 556 A1 und die DE 10 2011 121 750 A1 derartige Kompressoren.

Demnach werden elektrisch angetriebene Kolbenkompressoren häufig als trockenlaufende, also schmierstofffreie Aggregate konzipiert. Da die bewegten Komponenten eines derartigen Kompressors, insbesondere der Kolben sowie die Zylinderlauffläche, an welcher der Kolben entlang bewegt wird, keine Schmiermittelversorgung benötigen, ist die erzeugte Druckluft vorteilhaft ölfrei. Zudem sind die Herstellungs- und Wartungskosten im Vergleich zu nasslaufenden Kompressoren mit Ölschmierung der bewegten Komponenten geringer, da aufwendige Filtereinrichtungen zur Ausfilterung von Ölpartikeln in der erzeugten Druckluft sowie regelmäßige Wartungsintervalle entfallen. Mit einem Elektromotor als Antriebsquelle, beispielsweise einem elektronisch kommutierten, bürstenlosen Gleichstrommotor mit einer Steuerungselektronik, können derartige Kompressoren als unabhängige Aggregate für viele Anwendungsgebiete, beispielsweise in Fahrzeugen mit verbrennungsmotorischen, hybriden oder elektrischen Antriebssträngen eingesetzt werden. Dort dienen sie für die Erzeugung und Bereitstellung von Druckluft für verschiedene Druckluftverbraucher, wie beispielsweise Bremsanlagen, Luftfederanlagen, Klimaanlage und Kupplungsaktuatoren. Zudem werden solche Kompressoren für die Niveauregelung von Luftfederungen an Fahrzeugen bevorzugt.

Bei einer bekannten Bauart eines Kolbenkompressors weist der Kompressor ein Saugventil und ein Druckventil mit jeweils einem Ventilsitz auf, wobei der jeweilige Ventilsitz zwischen einem Zylindergehäuse mit einem darin angeordneten Kolben und einem Zylinderkopf angeordnet ist. Der Kolben ist über eine Pleuelstange mit einer als Kurbelwelle ausgebildeten Antriebswelle verbunden. Der Zylinderkopf weist eine Eintrittskammer und eine Austrittskammer auf. Der Zylinderkopf ist beispielsweise über die Ventilsitze, an denen die zum Beispiel als elastische Lamellenventile ausgebildeten Saug- und Druckventile befestigt sind, mit dem Zylindergehäuse verbunden. Die Eintrittskammer ist über eine Filteranordnung mit der Umgebungsluft verbunden. Im Ansaugtakt des Kolbens wird die Eintrittskammer über eine Ventilöffnung durch das dann geöffnete Saugventil mit einem Kompressionsraum des Zylindergehäuses verbunden. Im Ausstoßtakt des Kolbens wird der Kompressionsraum des Zylindergehäuses über eine weitere Ventilöffnung durch ein dann geöffnetes Druckventil mit der Austrittskammer verbunden, welche mit einer Förderleitung der Druckluftversorgungsanlage in Verbindung steht.

Bei einem nasslaufenden Kolbenkompressor ist ein mit einem Schmiermittel versorgter Kolbenring am Außenumfang eines Kolbens angeordnet, welcher an der Zylinderlauf-
fläche im Zylindergehäuse druckdicht anliegt, um den Kompressionsraum gegen den
Atmosphärendruck im Kurbelgehäuse abzudichten, Bei einem trockenlaufenden Kol-
benkompressor ist am Außenumfang eines Kolbens vorzugsweise ein elastomeres
Dichtelement in Form eines Manschettendichtrings oder einer Dichtlippe angeordnet,
mittels dem der Kolben an der Zylinderlauffläche im Zylindergehäuse druckdicht anliegt.
Die schadensfreie Nutzungsdauer eines derartigen trockenlaufenden Kolbenkompres-
sors ist hauptsächlich durch den Verschleiß des Dichtelements bestimmt. Aufgrund der
fehlenden Schmierung kann der Verschleiß des Dichtelements nicht ohne weiteres ver-
ringert werden. Um die erwähnte Nutzungsdauer des Dichtelements zu verlängern
könnte bei einem Dichtelement in Form eines Manschettendichtrings dessen axiale
Länge vergrößert werden. Dies würde jedoch die Kontaktfläche zwischen dem Man-
schettendichtring und der Zylinderlauffläche vergrößern, wodurch die Reibungskräfte
bei der axialen Kolbenbewegung, welche dem Antrieb des Kurbeltriebs entgegenwirken,
erhöht würden. Dies hätte einen unnötig höheren Stromverbrauch des elektrischen An-
triebs zur Folge. Bei einem Dichtelement in Form einer ringförmigen Dichtlippe, könnte
die radiale Breite der Dichtlippe durch eine konstruktive Anpassung des Kolbens
und/oder des Zylindergehäuses vergrößert werden. Dies könnte jedoch dazu führen,
dass die Dichtlippe bei der Kolbenbewegung einknickt mit der Folge, dass eine Leckage
zwischen dem Kompressionsraum und dem Kurbelgehäuse entsteht.

Außerdem sind kompakte, trockenlaufende Kolbenkompressoren häufig in einer soge-
nannten Fix-Kolben Bauweise ausgeführt. Bei nasslaufenden Kolbenkompressoren ist
der Kolben üblicherweise mit dem Pleuel gelenkig verbunden, sodass der Kolben bei
der Hubbewegung coaxial im Zylindergehäuse auf und ab bewegt wird, wobei der Kol-
benring mit seinem radial äußeren Umfang parallel an der Zylinderlauffläche entlang-
läuft. Hingegen ist bei trockenlaufenden Kolbenkompressoren für einige pneumatische
Systeme, insbesondere für Systeme mit relativ geringem Druckluftverbrauch, wie Luft-
federanlagen oder Klimaanlage in Personenkraftwagen, der Kolben mit dem Pleuel
starr verbunden. Bedingt durch die starre Kolben-Pleuel-Verbindung vollführt der Kol-
ben während des Hubes im Zylindergehäuse eine geringe Taumelbewegung. Bei dieser
Taumelbewegung läuft der Kolben entfernt vom oberen Totpunkt und unteren Totpunkt
der Kolbenbewegung angewinkelt an der Zylinderlauffläche entlang, wobei der Kolben

bei seiner axialen Aufwärtsbewegung, also bei einem Kompressionshub mit der einen Längsseite und bei seiner axialen Abwärtsbewegung, also bei einem Ansaughub, mit der gegenüberliegenden anderen Längsseite zur Zylinderfläche unter sich kontinuierlich veränderndem Winkel geneigt ist.

Als problematisch wurde erkannt, dass sich das Dichtelement bei der Taumelbewegung des Kolbens an seinem radial äußeren Umfang ungleichmäßig abnutzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei jedem Kompressionshub des angewinkelt bewegten Kolbens durch den auf den kompressionsraumseitigen Kolbenboden wirkenden Kompressionsdruck ein der Drehrichtung des Kurbeltriebs entgegen gerichtetes Kippmoment wirksam ist, welches den Kolben zur Zylinderlauffläche hindrückt. In dessen Folge wird derjenige Umfangsbereich des Dichtelements, welcher durch den Kompressionsdruck an die Zylinderlauffläche gedrückt wird, bei der axialen Kompressionsbewegung des Kolbens stärker beansprucht als der übrige Umfangsbereich des Dichtelements. Bei jedem einzelnen Kompressionshub wird demnach immer der gleiche Umfangsbereich des Dichtelements gegen die Zylinderlauffläche gedrückt und dadurch intensiver abgenutzt. Da der am stärksten abgenutzte Bereich des Dichtelementes maßgeblich für dessen Haltbarkeit ist, wird die maximale Gebrauchsdauer des Dichtelements und damit die des Kolbenkompressors zusätzlich verkürzt. Die maximale Gebrauchsdauer eines trockenlaufenden Kolbenkompressors kann nur durch den Wechsel und/oder die Wartung des Dichtungselements verlängert werden. Dies ist oft nicht kosteneffizient, sodass bei einem zu starken Verschleiß des Dichtelements häufig der komplette Kompressor im Fahrzeug gewechselt werden muss.

Vor diesem Hintergrund lag der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Steuerung eines trockenlaufenden, elektrisch antreibbaren Kolbenkompressors der eingangs genannten Art vorzuschlagen, welches einen verschleißärmeren Betrieb des Kompressors ermöglicht. Insbesondere soll dafür eine längere Haltbarkeit des Dichtelements des Kolbens erreicht werden. Eine weitere Aufgabe bestand darin, einen für die Durchführung eines solchen Verfahrens geeigneten Kolbenkompressor vorzustellen.

Die Lösung dieser Aufgaben ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche, während vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen in den jeweils zugeordneten abhängigen Ansprüchen definiert sind.

Die Erfindung betrifft demnach zunächst ein Verfahren zur Steuerung eines trockenlaufenden Kolbenkompressors zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage mit Druckluft. Der Kolbenkompressor weist einen Kolben auf, welcher in einem mit einem Kurbelgehäuse verbundenen Zylindergehäuse hin und her bewegbar angeordnet ist. Dabei liegt der Kolben mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement an einer Zylinderlauffläche einer coaxial im Zylindergehäuse ausgebildeten Zylinderbohrung dichtend an. Zudem ist in dem Kurbelgehäuse eine drehbar gelagerte Kurbelwelle angeordnet, welche antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine sowie abtriebsseitig mittels eines Pleuels mit dem Kolben verbunden ist. Ein an einem axialen Ende des Pleuels ausgebildetes Pleuellagerauge eines Pleuellagers ist drehbar auf einem Exzenterzapfen der Kurbelwelle gelagert, und das andere axiale Ende des Pleuels ist mit dem Kolben starr verbunden. Zur Drucklufterzeugung wird der Kolben über die Kurbelwelle und das Pleuel von der elektrischen Antriebsmaschine angetrieben, wobei der Kolben axial zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt unter Vollführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung bewegt wird.

Zur Lösung der verfahrensbezogenen Aufgabe sieht die Erfindung vor, dass die elektrische Antriebsmaschine alternierend zur Drehrichtungsumkehr der Kurbelwelle und damit zum Drehrichtungswechsel des Kolbenkompressors angesteuert wird. Hierbei erfolgt jeweils eine Winkellagenveränderung des Kolbens.

Es sei hier kurz erwähnt, dass in der nachfolgenden Beschreibung als „eine Seite eines Dichtelements“ ein begrenzter erster Abschnitt eines radial äußeren Umfangs des Dichtelements verstanden wird. Unter der Bezeichnung „eine andere Seite des Dichtelements“ wird ein begrenzter zweiter Abschnitt des radial äußeren Umfangs des Dichtelements verstanden. Die beiden genannten Seiten beziehungsweise Abschnitte des Dichtelements liegen zueinander radial gegenüber und erstrecken sich jeweils über einen etwa gleich langen Kreisbogen.

Durch die Drehrichtung der Antriebswelle der elektrischen Maschine und der mit der Antriebswelle antriebsverbundenen Kurbelwelle ist die Drehrichtung des Kolbenkompressors bestimmt. Diese Drehrichtung des Kolbenkompressors bestimmt die Veränderung der Winkellage des Kolbens gegenüber der Zylinderbohrung in den Ansaugtakten

und Ausstoßtakten. Eine Drehrichtungsumkehr des Kolbenkompressors kehrt dementsprechend die Veränderung der Winkellage des Kolbens gegenüber der Zylinderbohrung in den Ansaugtakten und Ausstoßtakten um.

Der Erfindung lag die Erkenntnis zugrunde, dass die ungleichmäßige und insbesondere auf einer Seite verstärkte Abnutzung des Dichtelements des Kolbens aus einer Kompressionskraft resultiert, welche auf den angewinkelt an die Zylinderlauffläche anlaufenden Kolben wirkt, und weiter, dass diejenige Seite des Dichtelements, auf der dieser erhöhte Verschleiß an dem Dichtelement auftritt, mit der Drehrichtung des Kurbeltriebs korreliert ist.

Die Erfindung löst das technische Problem des beschriebenen einseitig starken Verschleißes nun auf überraschend einfache Weise, indem die Drehrichtung der Kurbelwelle wiederholt umgekehrt wird. Die Drehrichtungsumkehr erfolgt durch eine entsprechende Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine. Demzufolge ändert sich die Drehrichtung des Kolbenkompressors, also der Ablauf der Winkellagenänderung des Kolbens im Ansaugtakt und im Ausstoßtakt entsprechend oft. Dadurch ergibt sich ein gleichmäßiger Verschleiß des Dichtelements, da der Kolben in der Kompressionsphase nunmehr abwechselnd zur einen und zur anderen Seite angewinkelt an der Zylinderlauffläche anlauft. Hierdurch drückt die Kompressionskraft das Dichtelement des Kolbens abwechselnd an der einen Seite und an der anderen Seite an die Zylinderlauffläche. Die bisher stärker belastete Seite des Dichtelements wird dadurch entlastet, also weniger abgenutzt. Dafür wird die andere, bisher wenig belastete Seite des Dichtelements, etwas stärker belastet, also stärker abgenutzt. Im Idealfall werden beide Seiten im Laufe des Betriebs gleich viel abgenutzt.

Da das Dichtelement nun nicht mehr auf nur einer Seite, also einseitig vorzeitig verschleißt, sondern eine beidseitige und damit gleichmäßigere Abnutzung des Dichtelements an seinem Außenumfang erfolgt, wird eine längere schadlose Nutzungsdauer des Dichtelements erreicht. Die Wartungsintervalle des Kolbenkompressors hinsichtlich des Dichtelements können daher verlängert werden. Im Idealfall ist die maximale Gebrauchsdauer des Kolbenkompressors nun nicht mehr durch die Haltbarkeit des Dichtelements begrenzt.

Die Erfindung ermöglicht es demnach, die maximale Gebrauchsdauer eines trockenlaufenden Kolbenkompressors zu verlängern, indem die Drehrichtung für einen bestimmten Anteil der Betriebszeit des Kompressors umgekehrt wird. Alternativ dazu ermöglicht es die Erfindung, die geometrischen Abmessungen des Dichtelements bei gleichbleibender maximaler Gebrauchsdauer vorteilhaft zu verändern. Insbesondere könnte ein verkleinertes Dichtelement, beispielsweise ein Manschettendichtring mit einer verkürzten axialen Länge, die Reibung des Kolbens an der Zylinderlauffläche verringern und damit den Stromverbrauch des elektrischen Antriebs verringern. Dies kann bei Anlagen, bei denen der Energieverbrauch im Vordergrund steht, von Vorteil sein, etwa bei Fahrzeugen mit Elektroantrieb.

Die Umkehrung der Drehrichtung des Kolbenkompressors führt wie bereits gesagt dazu, dass sich der Verschleiß des Dichtelements auf zwei Bereiche des Dichtelements verteilt. Die maximal mögliche Gebrauchsdauerverlängerung würde sich grundsätzlich dann ergeben, wenn der Kolbenkompressor im zeitlichen Mittel in beiden Drehrichtungen im Verhältnis 1:1 der Anzahl von Kolbenhüben betrieben wird. Das Verfahren gemäß der Erfindung stellt darüber hinaus verschiedene Steuerungsstrategien für den Drehrichtungswechsel der elektrischen Maschine zur Verfügung, um die Haltbarkeit des Dichtelements unter Berücksichtigung verschiedener Zusammenhänge mittels der wiederholten Drehrichtungsumkehr des Kolbenkompressors zu optimieren.

Ein Drehrichtungswechsel kann immer dann erfolgen, wenn der Betrieb des Kolbenkompressors unterbrochen ist. Zweckmäßigerweise erfolgt ein Drehrichtungswechsel bevorzugt dann, wenn der Kompressorbetrieb ohnehin von der jeweiligen druckluftnutzenden Anwendung unterbrochen ist. Alternativ dazu kann der laufende Betrieb des Kompressors aktiv für die Durchführung bestimmter Ausführungsformen des Verfahrens sowie unter Berücksichtigung bestimmter Betriebsparameter unterbrochen werden, um die Drehrichtung des Kompressors umzuschalten. Während eines Laufzyklus des Kompressors, also zwischen einem Ansaugtakt und einem Ausstoßtakt, wird die Drehrichtung des Kompressors allerdings nicht umgekehrt. Eine geeignete Steuereinrichtung für die Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine wird weiter hinten noch beschrieben.

Gemäß einer ersten Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors vor oder nach jeder Aktivierung des Kolbenkompressors erfolgt.

Demnach kann beispielsweise vor oder nach jeder Befüllung eines Druckluftspeichers einer Druckluftanlage die Drehrichtung des Kolbenkompressors geändert werden, so dass bei einem erneuten Füllvorgang der Kolbenkompressor in die entgegengesetzte Richtung läuft. Mittels eines elektronischen Zählers in einer Steuerungselektronik kann die elektrische Maschine abwechselnd für einen Betrieb in der ersten Drehrichtung und in der zweiten Drehrichtung angesteuert werden. Unter der Annahme, dass der Kolbenkompressor jeweils bei einem bestimmten Füllstand des Druckspeichers aktiviert und bei jedem Füllvorgang mit der annähernd gleichen Drehzahl des Kurbeltriebs betrieben wird, kann dadurch eine annähernd gleichmäßige Abnutzung des Dichtelements auf beiden Seiten erreicht werden. Der Drehrichtungswechsel kann ebenso bei weiteren Aktivierungen, beispielsweise zum Nachfüllen von Luftfederbälgen, veranlasst werden.

Eine andere Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung sieht vor, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors jeweils nach einer vorgegebenen Anzahl von Aktivierungen des Kolbenkompressors erfolgt.

Demnach kann die Drehrichtung des Kolbenkompressors anhand des elektronischen Zählers nach einer bestimmten Anzahl von Aktivierungen in der ersten Drehrichtung umgeschaltet werden. Sodann kann die gleiche Anzahl von Aktivierungen des Kolbenkompressors zum Betreiben desselben in der zweiten Drehrichtung erfolgen. Alternativ dazu können auch unterschiedliche Anzahlen von Aktivierungen in den beiden Drehrichtungen eingestellt werden. Dadurch kann eine etwa gleichmäßige Abnutzung des Dichtelements mit einer reduzierten Anzahl von Steuerungsvorgängen erreicht werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors jeweils nach Ablauf einer vorgegebenen Laufzeit der elektrischen Antriebsmaschine erfolgt.

Demnach kann die Drehrichtung des Kolbenkompressors anhand eines elektronischen Zeitzählers nach einer bestimmten Laufzeit der elektrischen Antriebsmaschine in einer

ersten Drehrichtung umgeschaltet werden. Beispielsweise kann die elektrische Maschine jeweils für einen vorgegebenen Zeitraum der Laufzeit in der ersten Drehrichtung und für den gleichen oder einen unterschiedlichen Zeitraum in der zweiten Drehrichtung betrieben werden. Dadurch kann eine etwa gleichmäßige Abnutzung des Dichtelements mit einem besonders schonenden Betrieb der elektrischen Maschine kombiniert werden.

Gemäß einer anderen Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors in Abhängigkeit von einer angeforderten oder der aktuellen Drehzahl der elektrischen Antriebsmaschine erfolgt.

In bestimmten Betriebssituationen, beispielsweise bei deren Betrieb in einem Elektrofahrzeug, kann die elektrische Antriebsmaschine zur Energieeinsparung mit verringerter Drehzahl betrieben werden, in anderen Betriebssituationen kann eine hohe Drehzahl erforderlich sein, um in kurzer Zeit ausreichend pneumatischen Druck Verfügung zu stellen. Daher kann es zweckmäßig sein, die Drehrichtung des Kolbenkompressors abhängig von der Drehzahl der elektrischen Maschine bei einem bestimmten Drehzahlwert umzukehren und dafür den Kompressorbetrieb jeweils kurzzeitig zu unterbrechen. Dadurch kann ebenfalls eine gleichmäßige Abnutzung des Dichtelements erreicht werden.

Weiter kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors in Abhängigkeit von einem angeforderten Druckluftvolumen und/oder in Abhängigkeit von einem angeforderten Druckbetrag der Druckluft einer Druckluftanforderung mindestens eines pneumatischen Verbrauchers erfolgt.

Demnach kann die Drehrichtung des Kolbenkompressors abhängig von einem oder mehreren aktuell die Druckluft anfordernden Verbrauchern vor dem Einschalten des Kolbenkompressors vorgewählt werden. Beispielsweise kann bei einer zu erwartenden eher geringen Druckluftentnahme aus einem Druckluftvorratsbehälter zum Nachfüllen eines Faltenbalgs einer Luftfederung mit einem eher niedrigen Druck eine erste Drehrichtung und bei einem eher hohen Druckluftbedarf, beispielsweise zum Auffüllen des

Druckluftvorratsbehälters mit einem hohen Druck die andere Drehrichtung der elektrischen Maschine angesteuert werden.

Insbesondere kann bei der Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine zur Einstellung der Drehrichtung des Kolbenkompressors zwischen einem geschlossenen und einem offenen Druckluftsystem unterschieden werden. Während bei einem geschlossenen Regelkreislauf die Druckluft umgewälzt wird, wobei lediglich in geringem Maße Frischluft neu verdichtet werden muss, kann man bei einem offenen System von einem kontinuierlichen Bedarf an Druckluft ausgehen. Durch den Drehrichtungswechsel nach diesem Kriterium kann ein einseitiger Verschleiß des Dichtelements im Laufe der Zeit zumindest deutlich verringert werden.

Gemäß einer anderen Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur erfolgt. Demnach kann die elektrische Maschine in einem ersten Temperaturbereich, beispielsweise bis 15°C zum Drehen in der ersten Drehrichtung und oberhalb von 15°C zum Drehen in der zweiten Drehrichtung angesteuert werden. Die aktuelle Umgebungstemperatur kann beispielsweise auf einem CAN-Datenbus des Fahrzeugs zur Verfügung stehen und zur Steuerung der elektrischen Maschine ausgelesen werden. Bei einer üblichen mehrjährigen Betriebsdauer eines Kolbenkompressors kann dadurch ein einseitiger Verschleiß des Dichtelements im Laufe der Zeit ebenfalls verringert werden.

Weiter kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors kalendarisch gesteuert erfolgt. Demnach kann die Drehrichtung des Kompressors beispielsweise täglich, wöchentlich, monatlich oder halbjährlich wechseln. Möglich ist auch eine saisonale Steuerung, beispielsweise mit jeweils einem Drehrichtungswechsel zwischen Winterhalbjahr und Sommerhalbjahr. Dadurch kann ein einseitiger Verschleiß des Dichtelements im Laufe mehrerer Betriebsjahre des Kompressors weitgehend verhindert werden.

Gemäß einer anderen Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit eines mit dem Kolbenkompressor ausgestatteten Fahrzeugs erfolgt.

Demnach kann die elektrische Antriebsmaschine in einem ersten Fahrgeschwindigkeitsbereich eines mit dem Kolbenkompressor ausgestatteten Fahrzeugs, beispielsweise bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h in der ersten Drehrichtung und oberhalb von 60 km/h in der zweiten Drehrichtung betrieben werden.

Außer einer Verschleißreduzierung des Dichtelements liegt dieser Ausführung der Gedanke zu Grunde, dass bei zukünftigen trockenlaufenden Kolbenkompressoren unsymmetrische Kolben zum Einsatz kommen können, deren Geräuschentwicklung im Betrieb deutlich von der Drehrichtung abhängt. In die Steuerungssoftware für den Betrieb eines solchen Kolbenkompressors können dann ein sogenannter Ruhemodus und ein Leistungsmodus implementiert sein, um die Geräuschentwicklung des Fahrzeugs im Fahrbetrieb bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten in der betreffenden Drehrichtung zu verringern. Dadurch könnte die Lärmentwicklung durch Fahrzeuge in Städten und Wohngebieten mit Fahrzeugverkehr verringert werden. Entsprechend kann bei hohen Fahrgeschwindigkeiten die andere Drehrichtung der elektrischen Antriebsmaschine eingestellt sein, da hierbei die Geräuschentwicklung des Kompressors von eher untergeordneter Bedeutung ist.

Schließlich kann vorgesehen sein, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors in Abhängigkeit von der aktuellen Verfügbarkeit elektrischer Energie in einem elektrischen Bordnetz eines mit dem Kolbenkompressor ausgestatteten Fahrzeugs erfolgt.

Demnach ist es vorteilhaft, eine Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine zum Ändern der Drehrichtung des Kompressors zeitlich zu verschieben, wenn aktuell andere elektrische Verbraucher das Bordnetz des Fahrzeugs stark beanspruchen. Dadurch wird eine Überlastung des Bordnetzes durch einen hohen Einschaltstrom des Kompressors nach einer vorherigen Abschaltung vermieden. Dadurch wird die maximale Gebrauchsdauer des Kompressors zwar nicht erhöht beziehungsweise der vorzeitige Verschleiß des Dichtelements des Kolbens nicht vermieden, jedoch wird die Betriebssicherheit eines Fahrzeugs erhöht, in dem das Verfahren gemäß der Erfindung betrieben wird.

Zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine besondere Vorrichtung notwendig. Die Erfindung betrifft daher auch einen trockenlaufenden Kolbenkompressor, zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage mit Druckluft, welcher einen Kolben aufweist, der in einem mit einem Kurbelgehäuse verbundenen Zylindergehäuse hin und her bewegbar angeordnet ist, wobei der Kolben mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement an einer Zylinderlauffläche einer coaxial im Zylindergehäuse ausgebildeten Zylinderbohrung dichtend anliegt, wobei in dem Kurbelgehäuse eine drehbar gelagerte Kurbelwelle angeordnet ist, wobei die Kurbelwelle antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine sowie abtriebsseitig mittels eines Pleuels mit dem Kolben verbunden ist, wobei ein an einem axialen Ende des Pleuels ausgebildetes Pleuellagerauge eines Pleuellagers drehbar auf einem Exzenterzapfen der Kurbelwelle gelagert ist, wobei das andere axiale Ende des Pleuels mit dem Kolben starr verbunden ist, und bei dem der Kolben zur Druckluftherzeugung über die Kurbelwelle und das Pleuel von der elektrischen Antriebsmaschine angetrieben wird, wobei der Kolben axial zwischen einem unteren Totpunkt und einem oberen Totpunkt unter Volführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung bewegt wird.

Zur Lösung der vorrichtungsbezogenen Aufgabe sieht die Erfindung vor, dass die elektrische Antriebsmaschine als ein Gleichstrommotor mit einer Steuereinrichtung ausgebildet ist, wobei die Steuereinrichtung eine elektrische Schaltung oder ein elektronisches Steuergerät aufweist, mittels welcher die elektrische Antriebsmaschine zum Umschalten zwischen einer ersten Drehrichtung und einer zweiten Drehrichtung der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine und damit zum Wechseln der Drehrichtung des Kolbenkompressors ansteuerbar ist, und wobei die Steuerelektronik ein Computerprogramm aufweist, welches wenigstens eine Steuerstrategie zur Steuerung eines Drehrichtungswechsels des Kolbenkompressors mittels der elektrischen Schaltung oder mittels des elektronischen Steuergeräts beinhaltet.

Durch diese Anordnung wird ein Wechsel der Drehrichtung eines Kolbenkompressors ermöglicht. Das Ziel ist es, einen einseitigen erhöhten Verschleiß der Kolbenabdichtung zu vermeiden, um die maximale Gebrauchsdauer des Kolbenkompressors zu verlängern. Der mit dem Pleuel des Kurbeltriebs starr verbundene Kolben bewegt sich bei seinen axialen Hubbewegungen im Zylindergehäuse in den Ansaugphasen und in den

Kompressionsphasen angewinkelt an der Zylinderlauffläche, wodurch das Dichtelement des trockenlaufenden Kolbens einseitig abgenutzt wird. Durch die nun mögliche Umkehrung der Drehrichtung des Kolbens neigt sich der Kolben nunmehr in den besonders für den Verschleiß kritischen Kompressionsphasen abwechselnd zur einen und zur anderen Seite.

Um dies zu ermöglichen weist die Steuereinrichtung zum Umkehren der Drehrichtung der elektrischen Antriebsmaschine eine elektrische Schaltung oder ein elektronisches Steuergerät auf. Die elektrische Antriebsmaschine kann eine mit Schleifkontakten, wie zum Beispiel Kohlebürsten kommutierte Gleichstrommaschine sein. Bei einer solchen Gleichstrommaschine kann die Drehrichtung mittels einer einfachen elektrischen Relaisanordnung umgekehrt werden. Eine derartige Anordnung ist besonders kostengünstig herstellbar.

Alternativ dazu kann die elektrische Antriebsmaschine eine elektronisch kommutierte, bürstenlose Gleichstrommaschine sein. Deren Drehrichtung kann mittels eines elektronischen Steuergeräts umgekehrt werden. Eine Relaisschaltung ist dann nicht erforderlich. Geeignete Steuergeräte dafür sind an sich bekannt. Eine solche Anordnung mit einer bürstenlosen Gleichstrommaschine und einer Steuerelektronik ist zwar kostenaufwendiger in der Herstellung, sie weist aber den Vorteil auf, dass sie keinen verschleißbehafteten mechanischen Kommutator hat und daher über deren gesamte Nutzungsdauer wartungsfrei ist.

Weiter kann in der Steuereinrichtung ein elektronischer Zähler, wie ein Zeitzähler und/oder ein Ereigniszähler, enthalten sein. Die Steuereinrichtung kann zudem aktuelle Daten verwenden, welche beispielsweise auf einem CAN-Datenbus verfügbar sind, wie die Drehzahl der elektrischen Antriebsmaschine, die Umgebungstemperatur, sowie Betriebsparameter eines Antriebsstrangs eines Fahrzeugs, wie Motordrehzahl, Getriebeübersetzung, Fahrgeschwindigkeit, Druckluftanforderungen pneumatischer Verbraucher und vieles mehr. Dadurch sind vorteilhaft verschiedene Steuerstrategien möglich, um eine beidseitig gleichmäßige Abnutzung des Dichtelements zu erreichen. Diese Steuerstrategien sind in einem Computerprogramm der Steuereinrichtung zur Ansteuerung der elektrischen Maschine vorteilhaft enthalten.

Gemäß einer ersten Ausführungsform des Kolbenkompressors kann vorgesehen sein, dass in die elektrische Schaltung ein Polwechselrelais zum Umschalten der Drehrichtung der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine und damit zum Wechseln der Drehrichtung des Kolbenkompressors integriert ist, wobei das Polwechselrelais mit einem Einschaltrelais der Steuereinrichtung zum Einschalten und Ausschalten der elektrischen Antriebsmaschine zusammenwirkt.

Demnach kann zur Steuerung eines Bürsten aufweisenden Gleichstrommotors eine einfache elektrische Schaltung mit nur einem darin angeordneten Polwechselrelais vorgesehen sein, welches den Minuspol und den Pluspol zum Betrieb der elektrischen Antriebsmaschine wechselweise tauscht. Die elektrische Antriebsmaschine kann wie bisher eingeschaltet beziehungsweise ausgeschaltet werden. Beispielsweise kann dazu ein Einschaltrelais mit dem Polwechselrelais elektrisch in Reihe geschaltet sein. Bei inaktivem Polwechselrelais bleibt die bisherige Drehrichtung erhalten. Durch Schalten des Polwechselrelais wird die Drehrichtung umgeschaltet. Durch diese technisch einfache Anordnung ist ein solcher Gleichstrommotor mit der gewünschten Drehrichtungswechselfunktion ausgestattet.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass in die elektrische Schaltung ein erstes Steuerrelais und ein zweites Steuerrelais integriert sind, welche unabhängig voneinander schaltbar sind, sodass gleichzeitig die elektrische Antriebsmaschine einschaltbar oder ausschaltbar sowie wahlweise eine erste Drehrichtung oder eine zweite Drehrichtung der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine schaltbar ist.

Bei dieser Anordnung mit einer Bürsten aufweisenden Gleichstrommaschine sind die Funktionen zum Einschalten und Ausschalten derselben in die Steuerschaltung zur Drehrichtungsumkehr integriert. Demnach sind zwei Relais vorhanden, welche einzeln schaltbar sind. Dadurch kann die elektrische Gleichstrommaschine eingeschaltet oder ausgeschaltet werden, sowie beim Einschalten gleichzeitig die gewünschte Drehrichtung geschaltet werden.

Schließlich betrifft die Erfindung auch ein Fahrzeug, wie Personenkraftwagen oder Nutzfahrzeug, mit einem trockenlaufenden Kolbenkompressor zur Versorgung einer

Druckluftversorgungsanlage des Fahrzeugs mit Druckluft, Wobei der Kolbenkompressor gemäß einem der Vorrichtungsansprüche aufgebaut und zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Verfahrensansprüche betreibbar ist.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in der beigefügten Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 ein stark vereinfachtes Schema einer Druckluftversorgungsanlage mit einem Kolbenkompressor und einer elektrischen Antriebsmaschine für dessen Antrieb,
Fig. 2 eine erste Ausführungsform einer elektrischen Schaltung einer Steuereinrichtung zur Drehrichtungsumkehr eines Kolbenkompressors gemäß Fig. 1 zur Durchführung eines Verfahrens gemäß der Erfindung,
Fig. 3 eine zweite Ausführungsform einer elektrischen Schaltung einer Steuereinrichtung zur Drehrichtungsumkehr eines Kolbenkompressors gemäß Fig. 1 zur Durchführung eines Verfahrens gemäß der Erfindung,
Fig. 4 in einem schematischen Längsschnitt den Kolbenkompressor mit seinem Kolben bei einem Ansaughub in einer ersten Drehrichtung,
Fig. 5 den Kolbenkompressor gemäß Fig. 4 mit seinem Kolben an einem unteren Totpunkt der Kolbenbewegung,
Fig. 6 den Kolbenkompressor gemäß Fig. 4 mit seinem Kolben bei einem Kompressionshub in der ersten Drehrichtung,
Fig. 6b eine Draufsicht auf den Kolben gemäß Fig. 6 aus Richtung des Zylinderkopfes, mit einem ersten Verschleißbereich eines Dichtelements am Kolben,
Fig. 7 den Kolbenkompressor gemäß Fig. 4 mit seinem Kolben an einem oberen Totpunkt der Kolbenbewegung,
Fig. 8 den Kolbenkompressor gemäß Fig. 4 mit seinem Kolben bei einem Ansaughub in einer zweiten Drehrichtung,
Fig. 9 den Kolbenkompressor gemäß Fig. 4 mit dem Kolben bei einem Kompressionshub in der zweiten Drehrichtung,
Fig. 9b eine Draufsicht auf den Kolben aus Richtung des Zylinderkopfes gemäß Fig. 9, mit einem zweiten Verschleißbereich des Dichtelements am Kolben, und die
Figuren 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a unterschiedliche Arbeitsstellungen des Kolbens gemäß den Figuren 4 bis 9 bei unterschiedlichen Drehrichtungen einer antreibenden Kurbelwelle.

Einige Bauelemente in den Figuren stimmen überein, sodass sie mit denselben Bezugsziffern bezeichnet sind.

Demnach weist die in der Fig. 1 schematisch stark vereinfacht dargestellte Druckluftversorgungsanlage 50 eines nicht dargestellten Fahrzeugs einen Kolbenkompressor 1 zur Druckluftversorgung eines pneumatischen Verbrauchers 51, beispielsweise in Form einer elektronisch geregelten Luftfederniveaueinrichtung, auf. Der Kolbenkompressor 1 wird später noch näher beschrieben. Der Kolbenkompressor 1 der Druckluftversorgungsanlage 50 weist eingangsseitig einen Luftzufuhranschluss 9 zum Ansaugen von Frischluft aus der Umgebung auf. Der Kompressor 1 ist von einer elektrischen Antriebsmaschine 30 antreibbar, welche vorliegend als ein Bürsten aufweisender Gleichstrommotor ausgebildet und von einer Steuereinrichtung 31 ansteuerbar ist. Die Steuereinrichtung 31 weist eine elektrische Schaltung 32, 35 auf sowie nicht weiter dargestellte elektronische Datenspeicher und Prozessoren auf. Die elektrische Schaltung 32, 35 ist zum Umschalten der Drehrichtung einer nicht dargestellten Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine 30 zwischen einer ersten Drehrichtung A und einer entgegengesetzten zweiten Drehrichtung B ausgebildet. Die von dem Kompressor 1 verdichtete Frischluft wird an einem Druckluftauslass 10 des Kolbenkompressors 1 bereitgestellt. Der Druckluftauslass 10 ist über eine pneumatische Leitung 52 mit einer pneumatischen Leitungsgalerie 53 verbunden, an welche ein Druckluftspeicher 55 mit einem diesem vorgeschalteten Speicherventil 54 sowie der pneumatische Verbraucher 51 angeschlossen sind. Von dem Druckluftauslass 10 kann außerdem eine nicht dargestellte Abzweigung ausgehen, an welche zum über ein nicht dargestelltes Entlüftungsventil eine Entlüftung angeschlossen ist. Außerdem kann an die Abzweigung ein ebenfalls nicht dargestellter Lufttrockner angeschlossen sein, welcher über die pneumatische Leitung 52 zu der pneumatischen Leitungsgalerie 53 weiterführt.

Fig. 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer vereinfacht dargestellten elektrischen Schaltung 32 der Steuereinrichtung 31. Die elektrische Antriebsmaschine 30 ist demnach in einen Schaltkreis der ersten Schaltung 32 integriert. Die Funktionsweise eines Bürsten aufweisenden Gleichstrommotors ist an sich bekannt. Wichtig ist hier lediglich, dass die elektrische Antriebsmaschine 30 eine nicht dargestellte elektrische Spulenordnung aufweist, mit einem ersten elektrischen Anschluss 30a und mit einem zweiten elektrischen Anschluss 30b. Der Rotor der elektrischen Antriebsmaschine 30 kann als

ein Außenläufer oder als ein Innenläufer ausgebildet sein, welcher mit der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine 30 verbunden ist. Die Schaltung 32 weist ein Polwechselrelais 33 mit zwei Schaltstellungen auf. Das Polwechselrelais 33 ist durch ein nicht dargestelltes vorgeschaltetes Einschaltrelais der Steuereinrichtung 31 bestrombar beziehungsweise stromlos schaltbar, um die elektrische Antriebsmaschine 30 einzuschalten beziehungsweise auszuschalten. Die beiden Schaltstellungen entsprechen der ersten Drehrichtung A beziehungsweise der zweiten Drehrichtung B der Antriebswelle. In der in der Fig. 2 gezeigten ersten Schaltstellung ist der erste Anschluss 30a mit dem Minuspol und der zweite Anschluss 30b mit dem Pluspol einer nicht dargestellten Gleichspannungsquelle verbunden. Dadurch dreht die elektrische Antriebsmaschine 30 beispielsweise in der ersten Drehrichtung A. Durch Schalten des Polwechselrelais 33 wechseln die Polanschlüsse, sodass der erste Anschluss 30a mit dem Pluspol und der zweite Anschluss 30b mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle verbunden ist. Dadurch ändert sich die Drehrichtung und die Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine 30 dreht in der entgegengesetzten Drehrichtung B.

Die Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer vereinfacht dargestellten zweiten elektrischen Schaltung 35 der Steuereinrichtung 31 mit einem ersten Steuerrelais 36 und einem zweiten Steuerrelais 37. Diese Schaltung weist vier Schaltstellungen auf. In einer ersten Schaltstellung, welche in der Fig. 3 dargestellt ist, sind beide Steuerrelais 36, 37 inaktiv, also nicht angesteuert und dabei mit dem Minuspol einer Gleichspannungsquelle verbunden. Die elektrische Antriebsmaschine 30 ist dadurch ausgeschaltet. In einer zweiten Schaltstellung ist das erste Steuerrelais 36 durch die Steuereinrichtung 31 aktiviert und mit dem Pluspol verbunden. Das zweite Steuerrelais 37 ist weiterhin mit dem Minuspol verbunden. Dadurch ist die elektrische Maschine 30 eingeschaltet und gleichzeitig eine Drehrichtung, beispielsweise die erste Drehrichtung A, geschaltet. In einer dritten Schaltstellung ist das zweite Steuerrelais 37 durch die Steuereinrichtung 31 aktiviert und mit dem Pluspol verbunden. Das erste Steuerrelais 36 ist inaktiv und mit dem Minuspol verbunden. Dadurch ist die elektrische Antriebsmaschine 30 eingeschaltet und gleichzeitig die zweite Drehrichtung B geschaltet. In einer vierten Schaltstellung sind beide Steuerrelais 36, 37 aktiv, also angesteuert und mit dem Pluspol verbunden. Die elektrische Antriebsmaschine 30 ist dadurch wie in der ersten Schaltstellung ausgeschaltet.

Die Figuren 4 bis 9 zeigen den gleichen Kolbenkompressor 1 in verschiedenen Betriebssituationen. Zusätzlich sind auf einem Zeichnungsblatt die Figuren 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a dargestellt, in denen die jeweilige Stellung des Kolbens 3 bei unterschiedlichen Drehrichtungen der Kurbelwelle 15 erkennbar sind.

Demnach weist der Kompressor 1 ein Zylindergehäuse 2 mit einem darin angeordneten Kolben 3 sowie ein mit dem Zylindergehäuse 2 verbundenen Zylinderkopf 6 mit zwei daran angeordneten pneumatischen Ventilen 11, 13 auf. Der Kolben 3 unterteilt einen Innenraum des Zylindergehäuses 2 in einen Kompressionsraum 4 und einen Neutralraum 5. Das erste pneumatische Ventil 11 ist als ein Saugventil wirksam, welches im geschlossenen Zustand eine in dem Zylinderkopf 6 ausgebildete zugehörige erste Ventilöffnung 12 abdeckt, wodurch der Luftzufuhranschluss 9 von dem Kompressionsraum 4 getrennt ist. Im offenen Zustand des als Saugventil wirksamen ersten pneumatischen Ventils 11 ist der Luftzufuhranschluss 9 zum Ansaugen von Frischluft mit dem Kompressionsraum 4 pneumatisch verbunden. Das zweite pneumatische Ventil 13 ist als ein Druckventil wirksam, welches im geschlossenen Zustand eine in dem Zylinderkopf 6 ausgebildete zugehörige zweite Ventilöffnung 14 abdeckt, wodurch der Druckluftauslass 10 von dem Kompressionsraum 4 getrennt ist. Im offenen Zustand des als Druckventil wirksamen zweiten pneumatischen Ventils 13 ist der Druckluftauslass 10 zum Ausstoßen von verdichteter Frischluft mit dem Kompressionsraum 4 pneumatisch verbunden. Die beiden pneumatischen Ventile 11, 13 sind vorliegend als elastische, plattenförmige Lamellenventile ausgebildet, welche in Öffnungsrichtung pneumatisch betätigbar sind und ansonsten durch Federkraft geschlossen sind.

Der Kolben 3, welcher den Innenraum des Zylindergehäuses 2 in den Kompressionsraum 4 und den Neutralraum 5 unterteilt, weist vorliegend die Geometrie eines gleichschenkligen Trapezes auf, wobei die längere Grundseite des trapezförmigen Kolbenkörpers einen Kolbenboden 3a und die kürzere Grundseite einen Kolbendeckel 3b bildet. In den Figuren ist aus der Sicht des Betrachters der Kompressionsraum 4 oberhalb des Kolbens 3 angeordnet, und der Neutralraum 5 unterhalb des Kolbens 3. Zur pneumatischen Trennung des Kompressionsraumes 4 von dem Neutralraum 5 weist der Kolben 3 radial außen ein umlaufendes Dichtelement 20 auf, vorliegend in Form eines Manschettendichtrings. Zur Verbindung des Dichtelements 20 mit dem Kolben 3 ist in einem radial äußern Randbereich des Kolbenbodens 3a ein durchmessergeringerer

Absatz 21 ausgebildet, in welchem das Dichtelement 20 eingesetzt und mittels eines eingepressten Spannrings 22 am Kolben 3 festgelegt ist. Der Kolben 3 liegt mit dem daran angeordneten Dichtelement 20 an einer Zylinderlauffläche 26 einer koaxial in dem Zylindergehäuse 2 ausgebildeten Zylinderbohrung 25 druckdicht an.

Auf der von dem Kompressionsraum 4 abgewandten Seite des Kolbens 3 befindet sich neben dem Neutralraum 5 ein Kurbelgehäuse 7 des Kompressors 1. Das Innere des Kurbelgehäuses 7 ist mit dem Neutralraum 5 verbunden. Der Neutralraum 5 befindet sich somit auf dem Druckniveau des Inneren des Kurbelgehäuses 7. Der Neutralraum 5 kann auch Teil des Inneren des Kurbelgehäuses 7 sein. In dem Kurbelgehäuse 7 ist eine Kurbelwelle 15 angeordnet und drehbar gelagert. Die Kurbelwelle 15 ist antriebsseitig mit einer nicht dargestellten Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine 30 verbunden.

Die Kurbelwelle 15 weist einen Exzenterzapfen 16 zur gelenkigen Verbindung mit einem Pleuel 8 auf. Der Pleuel 8 besitzt einen Pleuelschaft 18, an dessen kurbelwellenseitigen axialen Ende ein Pleuellagerauge 19 angeordnet ist. Das Pleuellagerauge 19 ist über ein darin angeordnetes Pleuellager 17, beispielsweise in Form eines Wälzlagers, drehbar auf dem Exzenterzapfen 16 gelagert. An seinem dem Pleuellagerauge 19 entgegengesetzten anderem axialen Ende des Pleuelschaftes 18 ist der Kolben 3 mit seiner den Kolbendeckel 3b bildenden kürzeren Grundfläche befestigt. Dadurch ist der Kolben 3 starr mit dem Pleuel 8 verbunden. Vorliegend sind der Pleuel 8 und der Kolben 3 als ein einstückiges Bauteil ausgebildet. Der Pleuel 8 bildet mit der Kurbelwelle 15 einen Kurbeltrieb des Kolbenkompressors 1.

Die Funktionsweise des Kolbenkompressors 1 ist wie folgt:

Über eine Drehung der mittels der elektrischen Antriebsmaschine 30 angetriebenen Kurbelwelle 15 wird der Kolben 3 über das Pleuel 8 aufwärts oder abwärts bewegt. Eine Abwärtsbewegung entspricht einer Ansaugphase beziehungsweise einem Ansaugtakt des Kompressors 1, in welcher der Kompressionsraum 4 vergrößert wird. In der in Fig. 4 dargestellten Betriebssituation befindet sich der Kompressor 1 gerade im Ansaugtakt, wobei sich der Exzenterzapfen 16 gemäß der ersten Drehrichtung A im Uhrzeigersinn bewegt. Während des Ansaugtakts öffnet sich infolge eines im Kompressionsraum 4 entstehenden Unterdrucks das einlassseitige, als Saugventil wirksame erste

pneumatisches Ventil 11 des Kompressors 1. Infolge dessen strömt über den mit der Atmosphäre verbundenen Luftzufuhranschluss 9 des Kompressors 1 Umgebungsluft in den Kompressionsraum 4 bis der Kolben 3, wie in Fig. 5 erkennbar ist, einen unteren Totpunkt UT seiner Abwärtsbewegung erreicht hat.

Bei der in der Fig. 6 dargestellten anschließenden Aufwärtsbewegung des Kolbens 3, welche einer Kompressionsphase beziehungsweise einem Ausstoßtakt entspricht, verringert der Kolben 3 das Volumen des Kompressionsraumes 4. Hierbei bewegt sich der Exzenterzapfen 16 weiter im Uhrzeigersinn in der ersten Drehrichtung A. Die im Kompressionsraum 4 befindliche Luft wird dabei verdichtet, welches zu einer Druckerhöhung im Kompressionsraum 4 führt. Hierdurch schließt das einlassseitige erste pneumatische Ventil 11. Der Druck im Kompressionsraum 4 erhöht sich weiter, bis entweder das auslassseitige, als Druckventil wirksame zweite pneumatische Ventil 13 des Kolbenkompressors 1 öffnet und/oder, wie in Fig. 7 dargestellt, der Kolben 3 den oberen Totpunkt OT der Kolbenbewegung erreicht hat. Das auslassseitige zweite pneumatische Ventil 13 öffnet erst, wenn der Druck im Kompressionsraum 4 den Druck im Bereich eines Druckluftauslasses 10 des Kolbenkompressors 1 überschreitet. An dem Druckluftauslass 10 des Kolbenkompressors 1 steht dann die erzeugte Druckluft beispielsweise zur Füllung des Druckluftspeichers 55 für den oder die angeschlossenen pneumatischen Verbraucher 51 zur Verfügung. Anschließend beginnt der Arbeitszyklus mit Ansaugtakt und Ausstoßtakt von vorn.

Wie das Zeichnungsblatt mit den Figuren 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a verdeutlicht, vollführt der Kolben 3 bei seinen axialen Aufwärts- und Abwärtsbewegungen in dem Zylindergehäuse 2 eine Taumelbewegung. Der Kolben 3 läuft dabei mit seinem Dichtelement 20 unterschiedlich angewinkelt an der Zylinderlauffläche 26 entlang. Die Drehrichtung des Kolbenkompressors 1 und damit des Kolbens 3 ist dabei durch die Drehrichtung des Kurbeltriebs, also der Kurbelwelle 15, vorgegeben. Die Figuren 4a bis 6a zeigen einen weitgehend vollständigen Arbeitszyklus des Kolbenkompressors 1, bei dem der Exzenterzapfen 16 gemäß der ersten Drehrichtung A im Uhrzeigersinn bewegt wird. In jedem Ausstoßtakt, also in jeder Kompressionsphase, wirkt eine Kompressionskraft auf den Kolben 3, welche aufgrund der angewinkelten Kolbenstellung ein resultierendes Kippmoment zu einer ersten Seite 23 des Dichtelements 20 hin erzeugt und diesen Bereich verstärkt gegen die Zylinderlauffläche 26 drückt. Wie die Fig. 6a verdeutlicht, ist bei

Nutzung der ersten Drehrichtung A des Kolbenkompressors 1 die erste Seite 23 des Dichtelements 20 von dieser Belastung betroffen. Das Resultat ist eine seitlich verstärkte Reibung zwischen dem Dichtelement 20 und der Zylinderlauffläche 26 mit der Folge einer verstärkten einseitigen Abnutzung des Dichtelements 20. Der betroffene Bereich, nämlich die erste Seite 23 des Dichtelements 20, ist in der Draufsicht der Fig. 6b deutlich erkennbar.

Bei der Nutzung des Verfahrens gemäß der Erfindung wird die Drehrichtung des Kolbenkompressors 1 mittels der Steuereinrichtung 31 und durch Umschalten der zugehörigen elektrischen Schaltung 32, 35 wechselweise umgekehrt. Diese Drehrichtungsumkehr erfolgt wiederholt und nach wenigstens einer vorgegebenen Strategie. Beispielsweise wechselt die Drehrichtung jeweils nach einer vorgegebenen Anzahl von Aktivierungen des Kolbenkompressors 1. Die Figuren 8 und 8a zeigen hierzu einen Ansaugtakt in der gegen den Uhrzeigersinn gerichteten zweiten Drehrichtung B des Kolbenkompressors 1. Die Figuren 9 und 9a zeigen einen Ausstoßtakt bei dieser entgegengesetzten zweiten Drehrichtung B. Die Winkellagenveränderung des Kolbens 3 gegenüber der Zylinderbohrung 25 verläuft demnach bei den Kolbenhüben durch die Drehrichtungsumkehr genau umgekehrt. Wie insbesondere die Figuren 9 und 9b deutlicher zeigen, ist hierdurch die zur ersten Seite 23 des Dichtelements 20 gegenüberliegende zweite Seite 24 des Dichtelements 20 nun von der Abnutzung stärker betroffen. Ein wiederholter Drehrichtungswechsel des Kolbenkompressors 1 bewirkt somit, dass über dessen Nutzungsdauer hinweg die Abnutzung des Dichtelements 20 auf seinen beiden Seiten 23, 24 auftritt und somit auf beide Seiten 23, 24 verteilt wird. Dadurch wird ein vorzeitiger Verschleiß des Dichtelements 20 aufgrund einer starken einseitigen Abnutzung vorteilhaft verhindert.

Bezugszeichenliste (Teil der Beschreibung)

- 1 Kolbenkompressor, Kompressor
- 2 Zylindergehäuse
- 3 Kolben
- 3a Kolbenboden
- 3b Kolbendeckel
- 4 Kompressionsraum
- 5 Neutralraum
- 6 Zylinderkopf
- 7 Kurbelgehäuse
- 8 Pleuel
- 9 Luftzufuhranschluss
- 10 Druckluftauslass
- 11 Erstes pneumatisches Ventil, Saugventil
- 12 Erste Ventilöffnung
- 13 Zweites pneumatisches Ventil, Druckventil
- 14 Zweite Ventilöffnung
- 15 Kurbelwelle
- 16 Exzenterzapfen an der Kurbelwelle
- 17 Pleuellager
- 18 Pleuelschafft des Pleuels
- 19 Pleuellagerauge des Pleuels
- 20 Dichtelement, Manschettendichtring
- 21 Absatz am Kolbenboden des Kolbens
- 22 Spannring am Kolben
- 23 Erste Seite des Dichtelements
- 24 Zweite Seite des Dichtelements
- 25 Zylinderbohrung
- 26 Zylinderlaufläche
- 30 Elektrische Antriebsmaschine
- 30a Erster elektrischer Anschluss der elektrischen Antriebsmaschine
- 30b Zweiter elektrischer Anschluss der elektrischen Antriebsmaschine
- 31 Steuereinrichtung

- 32 Erste elektrische Schaltung der Steuereinrichtung (1. Ausführungsform)
- 33 Polwechselrelais (1. Ausführungsform)
- 35 Zweite elektrische Schaltung der Steuereinrichtung (2. Ausführungsform)
- 36 Erstes Steuerrelais (2. Ausführungsform)
- 37 Zweites Steuerrelais (2. Ausführungsform)
- 50 Druckluftversorgungsanlage
- 51 Pneumatischer Verbraucher, Luftfederniveaueanlage
- 52 Pneumatische Leitung
- 53 Pneumatische Leitungsgalerie
- 54 Speicherventil am Druckluftspeicher
- 55 Druckluftspeicher
- A Erste Drehrichtung der Kurbelwelle
- B Zweite Drehrichtung der Kurbelwelle
- OT Oberer Totpunkt des Kolbens
- UT Unterer Totpunkt des Kolbens

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines trockenlaufenden Kolbenkompressors (1) zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage (50) mit Druckluft, wobei der Kolbenkompressor (1) einen Kolben (3) aufweist, welcher in einem mit einem Kurbelgehäuse (7) verbundenen Zylindergehäuse (2) hin und her bewegbar angeordnet ist, wobei der Kolben (3) mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement (20) an einer Zylinderlauffläche (26) einer koaxial im Zylindergehäuse (2) ausgebildeten Zylinderbohrung (25) dichtend anliegt, wobei in dem Kurbelgehäuse (7) eine drehbar gelagerte Kurbelwelle (15) angeordnet ist, wobei die Kurbelwelle (15) antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine (30) sowie abtriebsseitig mittels eines Pleuels (8) mit dem Kolben (3) verbunden ist, wobei ein an einem axialen Ende des Pleuels (8) ausgebildetes Pleuellagerauge (19) eines Pleuellagers (17) drehbar auf einem Exzenterzapfen (16) der Kurbelwelle (15) gelagert ist, wobei das andere axiale Ende des Pleuels (8) mit dem Kolben (3) starr verbunden ist, und bei dem der Kolben (3) zur Druckluftherzeugung über die Kurbelwelle (15) und das Pleuel (8) von der elektrischen Antriebsmaschine (30) angetrieben wird, wobei der Kolben (3) axial zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) unter Vollführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung (25) bewegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Antriebsmaschine (30) alternierend zur Drehrichtungsumkehr der Kurbelwelle (15) und damit zum Drehrichtungswechsel des Kolbenkompressors (1) angesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) vor oder nach jeder Aktivierung des Kolbenkompressors (1) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) jeweils nach einer vorgegebenen Anzahl von Aktivierungen des Kolbenkompressors (1) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) jeweils nach Ablauf einer vorgegebenen Laufzeit der elektrischen Antriebsmaschine (30) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) in Abhängigkeit von einer angeforderten oder der aktuellen Drehzahl der elektrischen Antriebsmaschine (30) erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) in Abhängigkeit von einem angeforderten Druckluftvolumen und/oder in Abhängigkeit von einem angeforderten Druckbetrag der Druckluft einer Druckluftanforderung mindestens eines pneumatischen Verbrauchers (51) erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) kalendarisch gesteuert erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) in Abhängigkeit von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit eines mit dem Kolbenkompressor (1) ausgestatteten Fahrzeugs erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechsel der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) in Abhängigkeit von der aktuellen Verfügbarkeit elektrischer Energie in einem elektrischen Bordnetz eines mit dem Kolbenkompressor (1) ausgestatteten Fahrzeugs erfolgt.
11. Trockenlaufender Kolbenkompressor (1) zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage (50) mit Druckluft, welcher einen Kolben (3) aufweist, der in einem mit einem Kurbelgehäuse (7) verbundenen Zylindergehäuse (2) hin und her bewegbar ange-

ordnet ist, wobei der Kolben (3) mit einem daran radial außen angeordneten Dichtelement (20) an einer Zylinderlauffläche (26) einer coaxial im Zylindergehäuse (2) ausgebildeten Zylinderbohrung (25) dichtend anliegt, wobei in dem Kurbelgehäuse (7) eine drehbar gelagerte Kurbelwelle (15) angeordnet ist, wobei die Kurbelwelle (15) antriebsseitig mit einer Antriebswelle einer elektrisch oder elektronisch ansteuerbaren elektrischen Antriebsmaschine (30) sowie abtriebsseitig mittels eines Pleuels (8) mit dem Kolben (3) verbunden ist, wobei ein an einem axialen Ende des Pleuels (8) ausgebildetes Pleuellagerauge (19) eines Pleuellagers (17) drehbar auf einem Exzenterzapfen (16) der Kurbelwelle (15) gelagert ist, wobei das andere axiale Ende des Pleuels (8) mit dem Kolben (3) starr verbunden ist, und bei dem der Kolben (3) zur Drucklufterzeugung über die Kurbelwelle (15) und das Pleuel (8) von der elektrischen Antriebsmaschine (30) angetrieben wird, wobei der Kolben (3) axial zwischen einem unteren Totpunkt (UT) und einem oberen Totpunkt (OT) unter Vollführung eines Kolbenhubes sowie unter Veränderung seiner Winkellage in der Zylinderbohrung (25) bewegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Antriebsmaschine (30) als ein Gleichstrommotor mit einer Steuereinrichtung (31) ausgebildet ist, wobei die Steuereinrichtung (31) eine elektrische Schaltung (32, 35) oder ein elektronisches Steuergerät aufweist, mittels welcher die elektrische Antriebsmaschine (30) zum Umschalten zwischen einer ersten Drehrichtung (A) und einer zweiten Drehrichtung (B) der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine (30) und damit zum Wechseln der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) ansteuerbar ist, und wobei die Steuereinrichtung (31) ein Computerprogramm aufweist, welches wenigstens eine Steuerstrategie zur Steuerung eines Drehrichtungswechsels des Kolbenkompressors (1) mittels der elektrischen Schaltschaltung (32, 35) oder mittels des elektronischen Steuergeräts beinhaltet.

12. Kolbenkompressor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass in die elektrische Schaltung (32) ein Polwechselrelais (33) zum Umschalten der Drehrichtung der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine (30) und damit zum Wechseln der Drehrichtung des Kolbenkompressors (1) integriert ist, wobei das Polwechselrelais (33) mit einem Einschaltrelais der Steuereinrichtung (31) zum Einschalten und Ausschalten der elektrischen Antriebsmaschine (30) zusammenwirkt.

13. Kolbenkompressor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass in die elektrische Schaltung (35) ein erstes Steuerrelais (36) und ein zweites Steuerrelais (37) inte-

griert sind, welche unabhängig voneinander schaltbar sind, sodass gleichzeitig die elektrische Antriebsmaschine (30) einschaltbar oder ausschaltbar sowie wahlweise eine erste Drehrichtung (A) oder eine zweite Drehrichtung (B) der Antriebswelle der elektrischen Antriebsmaschine (30) schaltbar ist.

14. Fahrzeug, wie Personenkraftwagen oder Nutzfahrzeug, mit einem trockenlaufenden Kolbenkompressor (1) zur Versorgung einer Druckluftversorgungsanlage (50) des Fahrzeugs mit Druckluft, welcher gemäß einem der Vorrichtungsansprüche aufgebaut und zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Verfahrensansprüche betreibbar ist.

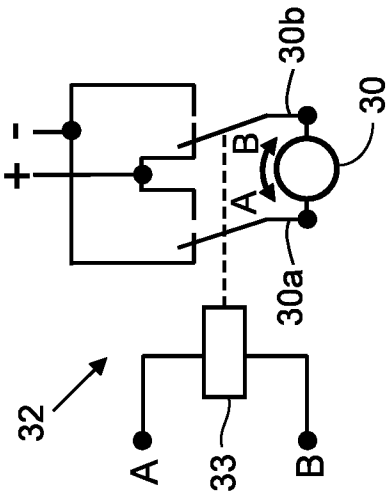


Fig. 2

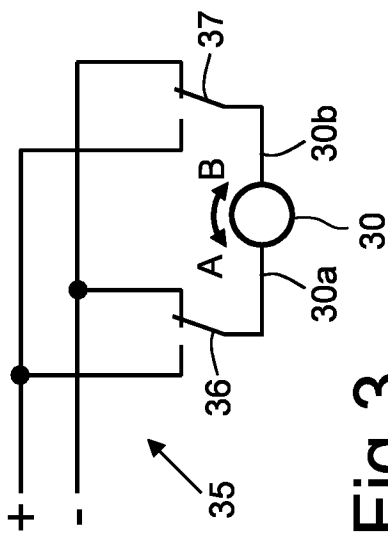


Fig. 3

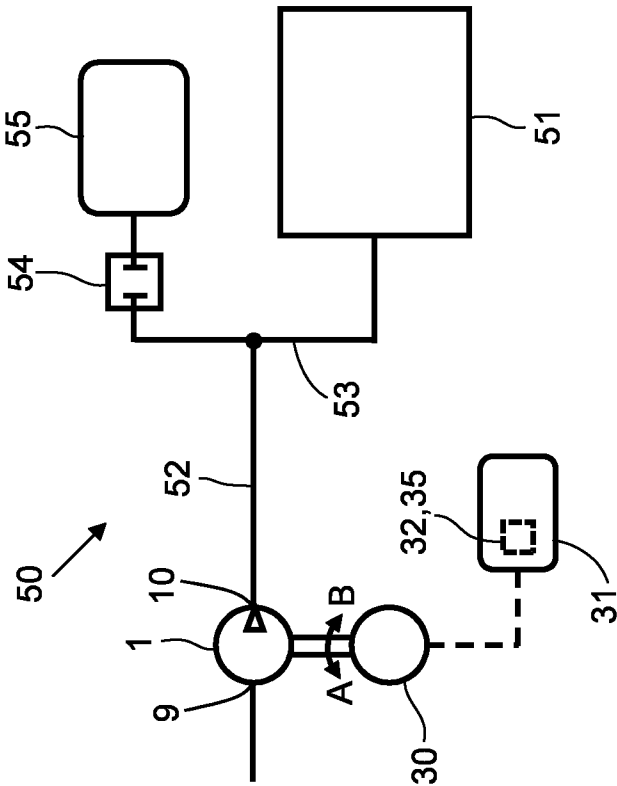


Fig. 1

2/8

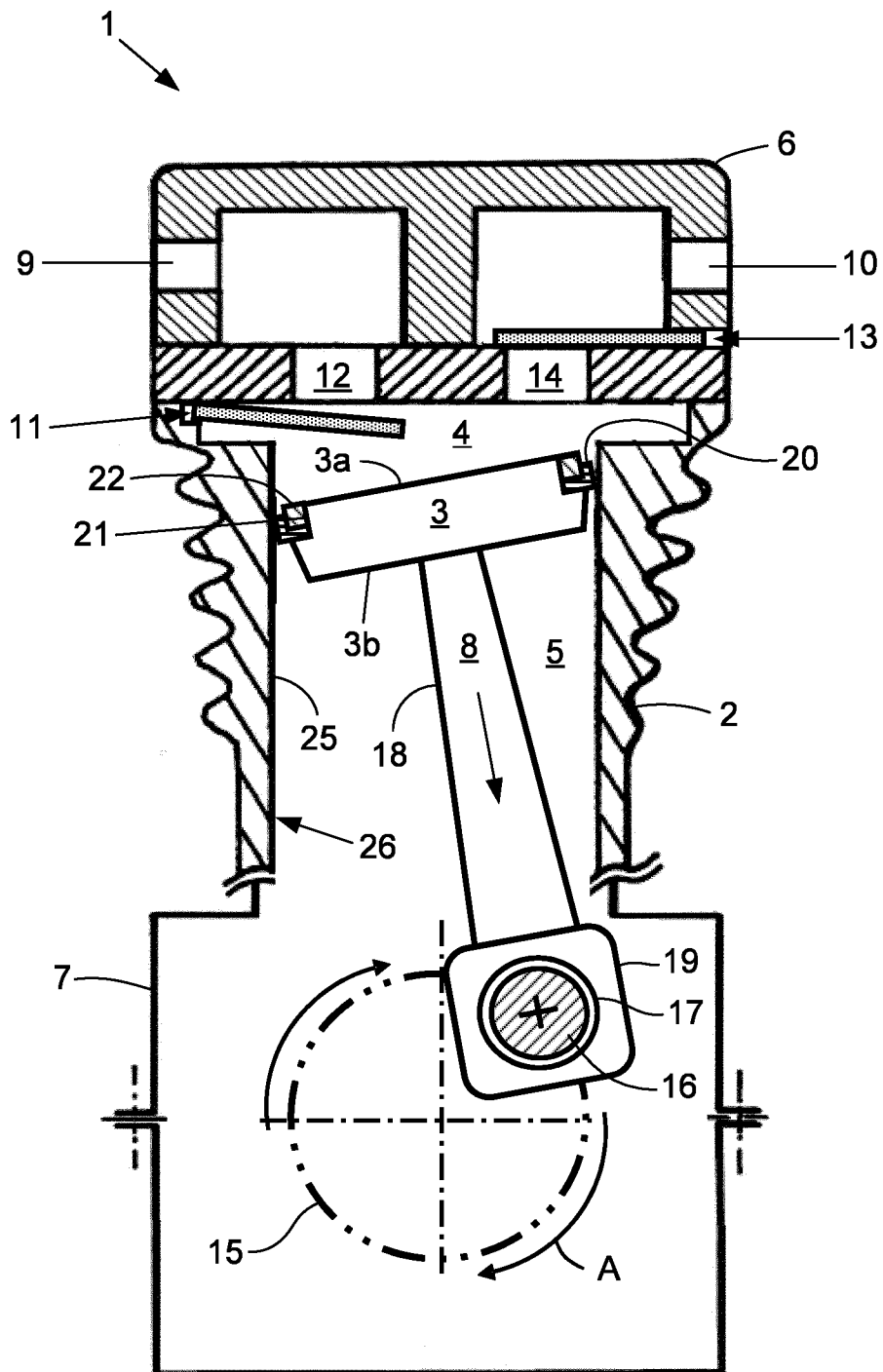
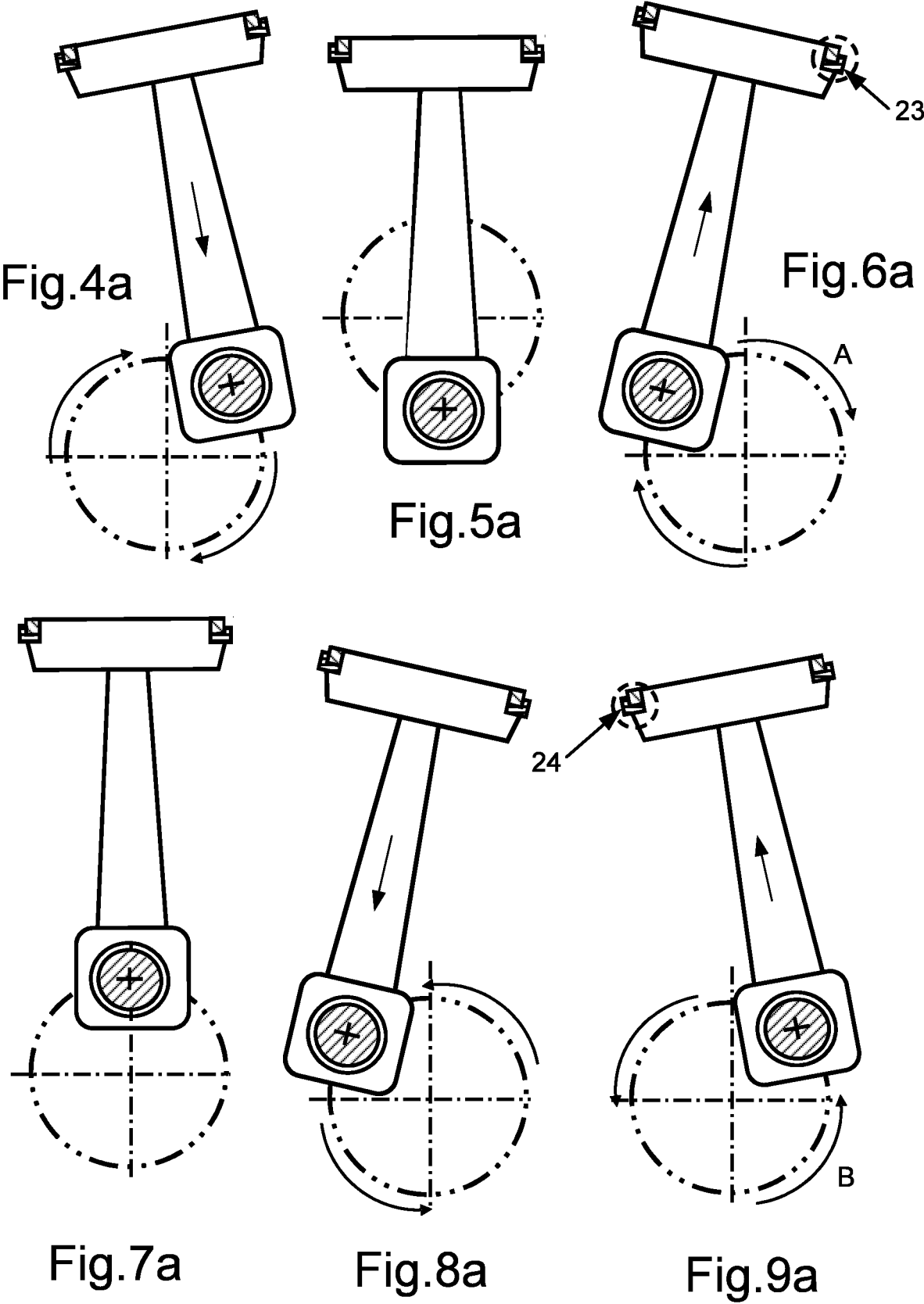


Fig.4



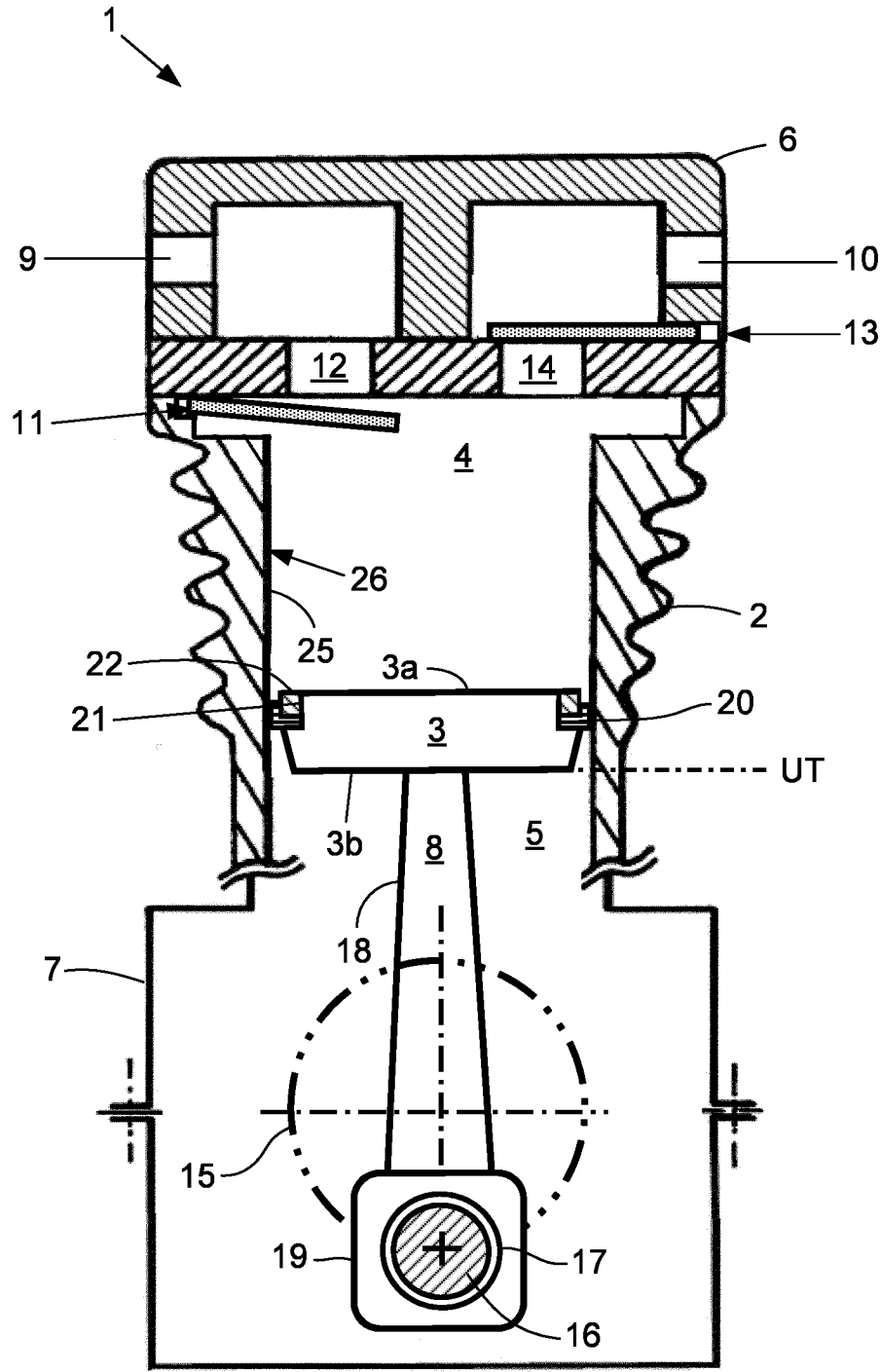


Fig.5

5/8

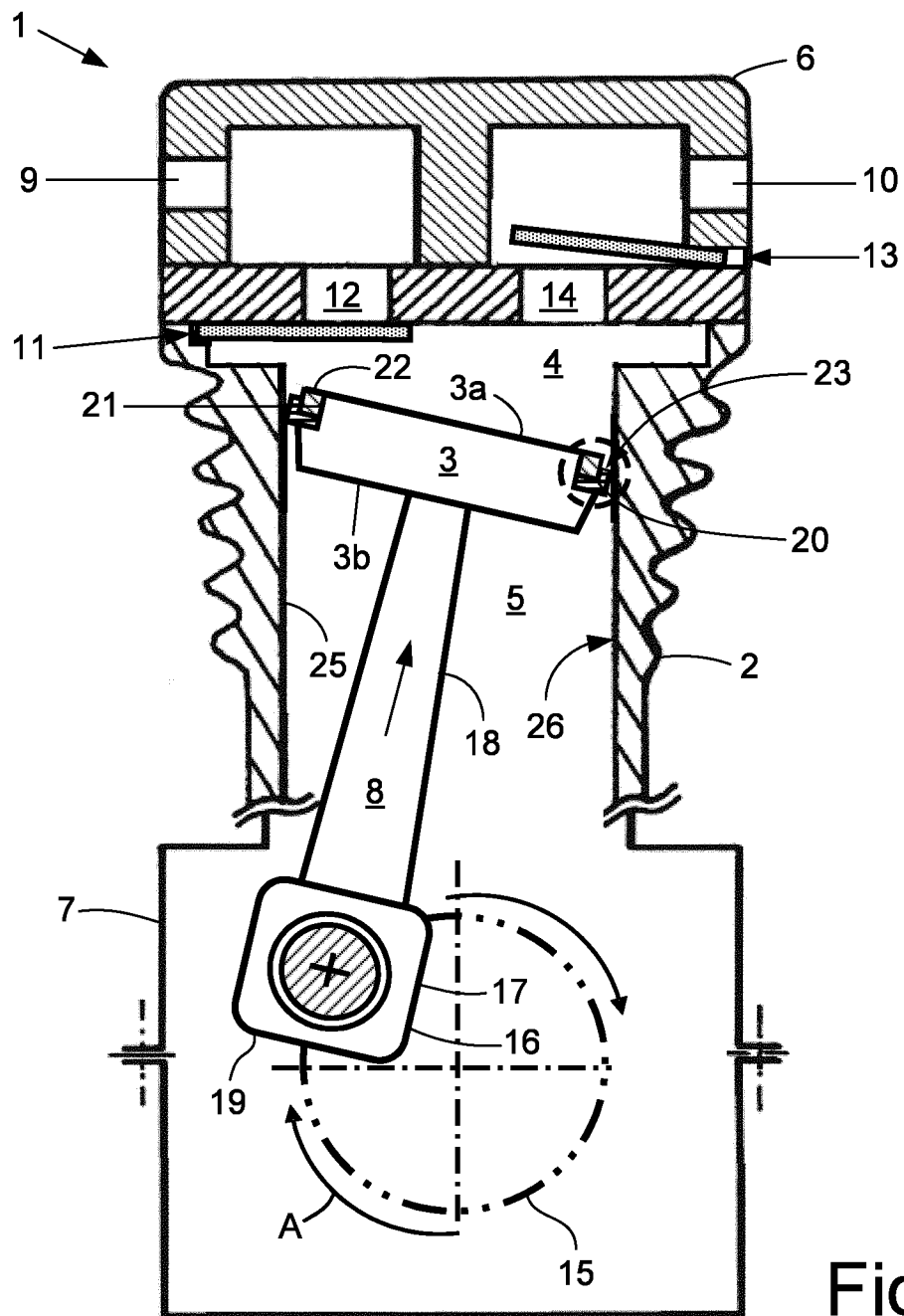


Fig. 6

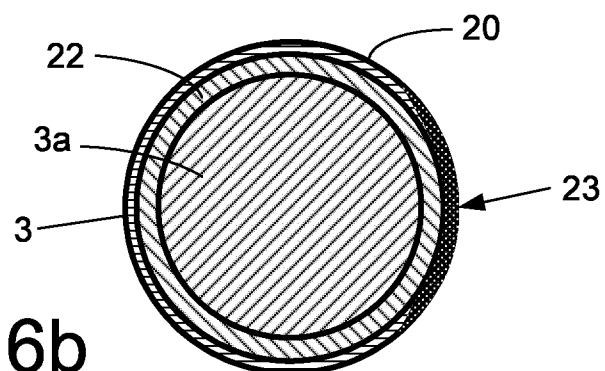


Fig. 6b

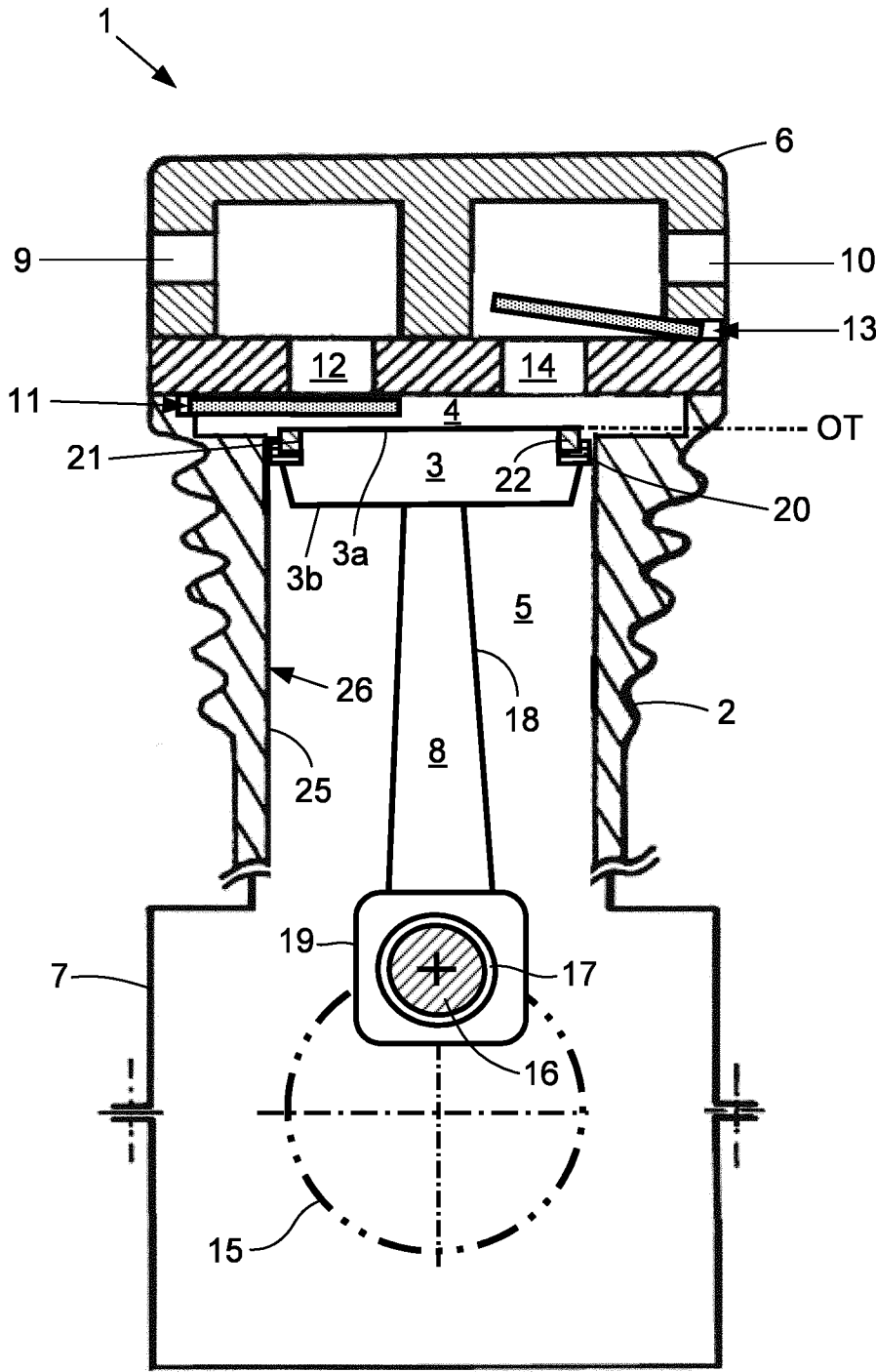


Fig. 7

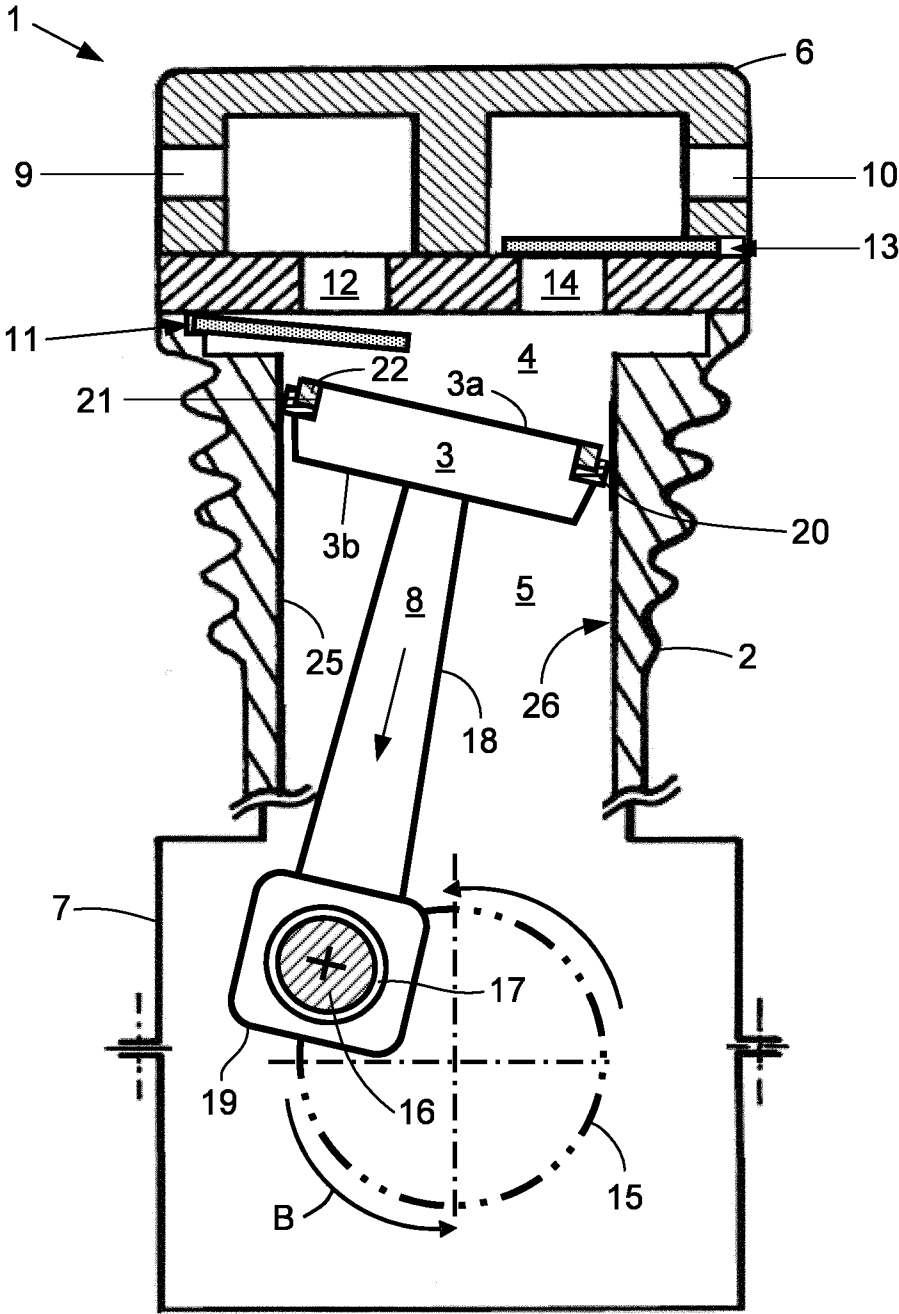
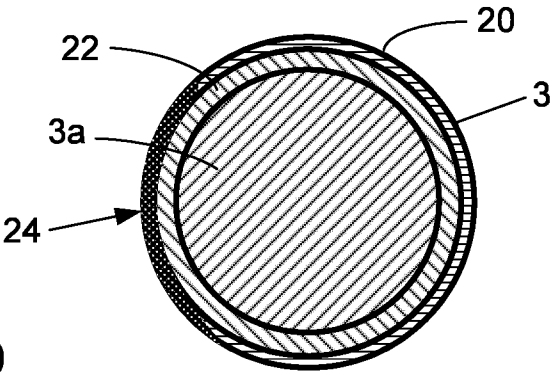
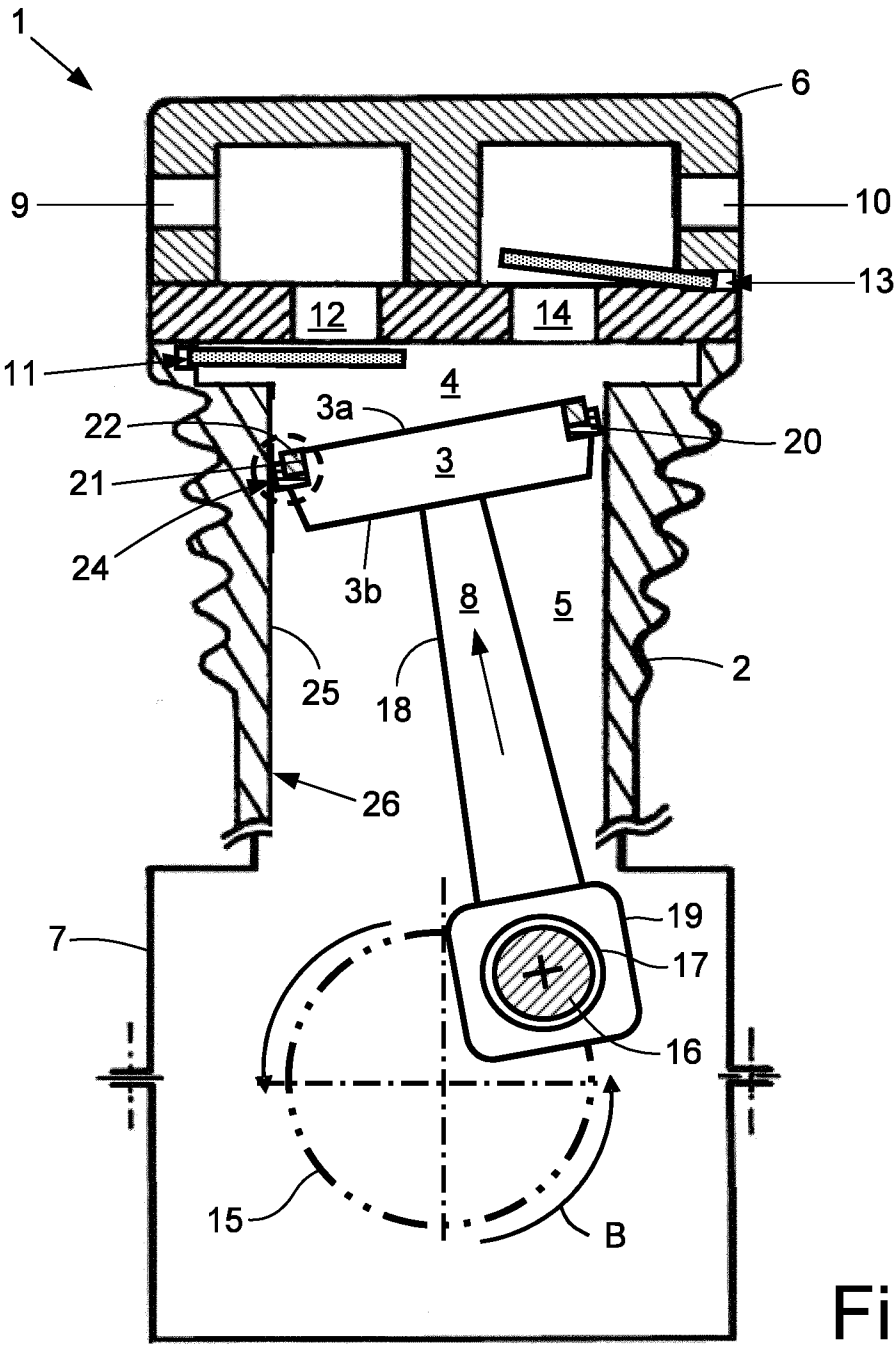


Fig.8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/064634

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F04B 35/04**(2006.01)i; **F04B 39/00**(2006.01)i; **F04B 39/04**(2006.01)i; **F04B 49/06**(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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007280833 A1 (MIYAKE SHINGO [JP] ET AL) 06 December 2007 (2007-12-06) paragraphs [0004], [0011], [0035], [0052], [0053], [0069], [0085], [0090] - [0101]; claims abstract	1-14
A	DE 102011121750 A1 (WABCO GMBH [DE]) 27 June 2013 (2013-06-27) abstract; paragraph 42; drawings	1-14
A	US 2006120898 A1 (ZEH STEFAN [DE]) 08 June 2006 (2006-06-08) claims 1-2; drawings	1
A	US 4979878 A (SHORT JAMES L [US] ET AL) 25 December 1990 (1990-12-25) column 7, lines 49-51; drawings	1
A	US 4540352 A (BECKER ERICH [DE]) 10 September 1985 (1985-09-10) claims; drawings	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ 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

25 June 2024

Date of mailing of the international search report

12 July 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Pinna, Stefano

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/064634

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
US	2007280833	A1	06 December 2007	KR	20070115716	A		06 December 2007	
				US	2007280833	A1		06 December 2007	
DE	102011121750	A1	27 June 2013	NONE					
US	2006120898	A1	08 June 2006	AT	E434727	T1		15 July 2009	
				CN	1782387	A		07 June 2006	
				DE	102004057467	B3		24 August 2006	
				EP	1662143	A2		31 May 2006	
				ES	2327133	T3		26 October 2009	
				PL	1662143	T3		29 January 2010	
				US	2006120898	A1		08 June 2006	
US	4979878	A	25 December 1990	NONE					
US	4540352	A	10 September 1985	FR	2532994	A1		16 March 1984	
				GB	2130338	A		31 May 1984	
				US	4540352	A		10 September 1985	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F04B35/04 F04B39/00 F04B39/04 F04B49/06 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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/280833 A1 (MIYAKE SHINGO [JP] ET AL) 6. Dezember 2007 (2007-12-06) Absätze [0004], [0011], [0035], [0052], [0053], [0069], [0085], [0090] - [0101]; Ansprüche Zusammenfassung -----	1 - 14
A	DE 10 2011 121750 A1 (WABCO GMBH [DE]) 27. Juni 2013 (2013-06-27) ZusammenfassungAbsatz 42; Abbildungen -----	1 - 14
A	US 2006/120898 A1 (ZEH STEFAN [DE]) 8. Juni 2006 (2006-06-08) Ansprüche 1-2; Abbildungen -----	1
A	US 4 979 878 A (SHORT JAMES L [US] ET AL) 25. Dezember 1990 (1990-12-25) Spalte 7, Zeilen 49-51; Abbildungen ----- - / - -	1
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "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) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "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 "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung:: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "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 "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 25. Juni 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 12/07/2024
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 Pinna, Stefano

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 540 352 A (BECKER ERICH [DE]) 10. September 1985 (1985-09-10) Ansprüche; Abbildungen -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/064634

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007280833 A1	06-12-2007	KR 20070115716 A	06-12-2007
		US 2007280833 A1	06-12-2007
DE 102011121750 A1	27-06-2013	KEINE	
US 2006120898 A1	08-06-2006	AT E434727 T1	15-07-2009
		CN 1782387 A	07-06-2006
		DE 102004057467 B3	24-08-2006
		EP 1662143 A2	31-05-2006
		ES 2327133 T3	26-10-2009
		PL 1662143 T3	29-01-2010
		US 2006120898 A1	08-06-2006
US 4979878 A	25-12-1990	KEINE	
US 4540352 A	10-09-1985	FR 2532994 A1	16-03-1984
		GB 2130338 A	31-05-1984
		US 4540352 A	10-09-1985