

(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
07. März 2019 (07.03.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/042829 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04B 25/00 (2006.01) *F04B 27/053* (2006.01)
F04B 27/04 (2006.01) *F04B 39/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/072573

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. August 2018 (21.08.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 120 000.2
31. August 2017 (31.08.2017) DE

(71) Anmelder: **KNORR-BREMSE SYSTEME FÜR
SCHIENENFAHRZEUGE GMBH** [DE/DE]; Moosacher
Str. 80, 80809 München (DE).

(72) Erfinder: **HARTL, Michael**; Hallstattweg 17, 82008 Unterhaching (DE). **SCHNEIDER, Stefan**; Schneeglöckchenstr. 28a, 80995 München (DE).

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

(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,

(54) Title: LOW-VIBRATION MULTISTAGE PISTON COMPRESSOR, PARTICULARLY FOR RAIL VEHICLES

(54) Bezeichnung: SCHWINGUNGSARMER MEHRSTUFIGER KOLBENKOMPRESSOR, INSBESONDERE FÜR SCHIENENFAHRZEUGE

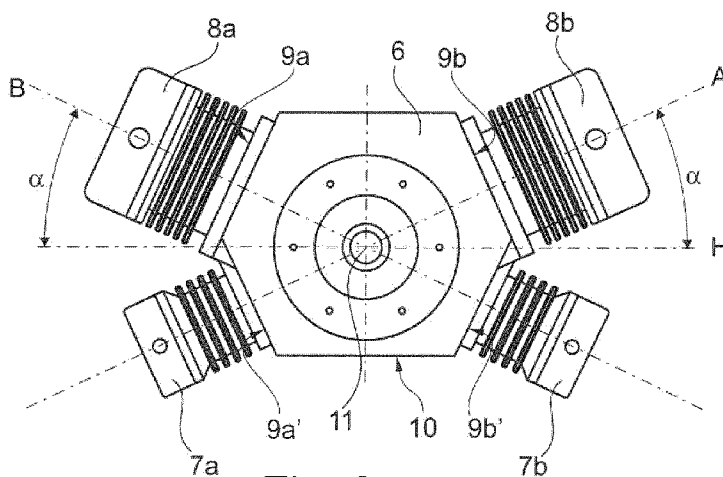


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a multistage piston compressor, particularly for rail vehicles, comprising a low-pressure stage and at least one subsequent high-pressure stage for the multistage compression of sucked-in air, for which a drive unit (1) used to produce a rotational movement drives a downstream compressor unit (2) comprising a plurality of pot-type low-pressure or high-pressure cylinders (7a, 7b, 8a, 8b) for internal pistons (12), arranged on a compressor housing (6) for receiving a crankshaft (11), the crankshaft (11) driven by the drive unit (1) converting a rotational movement by means of a plurality of connecting rods arranged on at least one crankthrow into a linear movement for each associated piston (11) for the compression of the air, an even number of low-pressure and high-pressure cylinders (7a, 7b, 8a, 8b) being arranged in a star shape on the compressor housing (8), each high-pressure cylinder (7a; 7b) respectively facing a low-pressure cylinder (8a; 8b) on the same longitudinal axis (A or B), and a respective crankthrow (14a to 14d) of the crankshaft (11) being associated with each connecting rod (13) provided with a piston (12).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen mehrstufigen Kolbenkompressor, insbesondere für Schienenfahrzeuge, mit einer Niederdruckstufe und mindestens einer darauffolgenden Hochdruckstufe zum mehrstufigen Komprimieren von angesaugter Luft, wofür eine Antriebseinheit (1) zur Erzeugung einer Drehbewegung eine nachgeschaltete Verdichtereinheit (2) antreibt, welche mehrere

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)

an einem Verdichtergehäuse (6) zur Unterbringung einer Kurbelwelle (11) angeordnete topfartige Nieder- oder Hochdruckzylinder (7a, 7b, 8a, 8b) für innenliegende Kolben (12) aufweist, wobei die über die Antriebseinheit (1) angetriebene Kurbelwelle (11) eine Drehbewegung über mehrere auf mindestens einer Kröpfung angeordnete Pleuel (13) in eine lineare Bewegung für je einen zugeordneten Kolben (11) zum Komprimieren der Luft umwandelt, wobei eine gerade Anzahl von Nieder- und Hochdruckzylindern (7a, 7b, 8a, 8b) sternförmig am Verdichtergehäuse (8) angeordnet ist, wobei jeweils ein Hochdruckzylinder (7a; 7b) einem Niederdruckzylinder (8a; 8b) auf derselben Längsachse (A bzw. B) gegenübersteht, und jedem mit einem Kolben (12) versehenen Pleuel (13) eine eigene Kröpfung (14a bis 14d) der Kurbelwelle (11) zugeordnet ist.

BESCHREIBUNG

Schwingungsarmer mehrstufiger Kolbenkompressor, insbesondere für Schienenfahrzeuge

5

Die Erfindung betrifft einen mehrstufigen Kolbenkompressor, insbesondere für Schienenfahrzeuge, mit einer Niederdruckstufe und mindestens einer darauffolgenden Hochdruckstufe zum mehrstufigen Komprimieren von angesaugter Luft, wobei eine

10 Antriebseinheit zur Erzeugung einer Drehbewegung eine nachgeschaltete Verdichtereinheit antreibt, welche mehrere an einem Verdichtergehäuse zur Unterbringung einer Kurbelwelle angeordnete topfartige Zylinder für innenliegende Kolben aufweist, wobei die über die Antriebseinheit angetriebene Kurbelwelle eine Drehbewegung über mehrere auf mindestens einer Kröpfung angeordnete Pleuel in

15 eine lineare Bewegung für je einen zugeordneten Kolben zum Komprimieren der Luft umwandelt, wobei ferner eine gerade Anzahl von Nieder- und Hochdruckzylindern sternförmig am Verdichtergehäuse angeordnet ist.

Das Einsatzgebiet der Erfindung erstreckt sich vornehmlich auf den Fahrzeugbau, insbesondere den Schienenfahrzeugbau. Schienenfahrzeuge sind in der Regel mit Druckluftverbrauchern, wie insbesondere einer druckluftbetriebenen Bremse, ausgestattet, was einen Kompressor zur Erzeugung der benötigten Druckluft erforderlich macht. Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung interessierenden Kolbenkompressoren sind dabei meist mehrstufig ausgeführt und besitzen insoweit eine

20 Niederdruckstufe und mindestens eine darauffolgende Hochdruckstufe, um die aus der Umgebung angesaugte Luft durch mehrstufige Kompression auf das gewünschte Druckniveau zu bringen.

Durch eine Fortentwicklung der elektrischen Umrichtertechnik sind vermehrt

30 Kolbenkompressoren gebräuchlich, deren elektrische Antriebseinheit drehzahlregelt betrieben wird, um die Druckluft bedarfsgerecht - also mit variabler Förderleistung - zu erzeugen. So kann beispielsweise in Betriebssituationen mit niedrigem Druckluftbedarf

die Drehzahl des Kompressors und damit auch dessen Schallabstrahlung auf ein Minimum reduziert werden.

Zudem bietet der Einsatz von Kolbenkompressoren im Schienenfahrzeugbau

5 gegenüber ebenfalls gebräuchlichen Rotationsverdichtern eine Reihe von technischen Vorteilen. Durch die Einführung ölfreier Kolbenkompressoren hat sich ein Trend weg von Rotationsverdichtern und hin zu robusten Kolbenkompressoren entwickelt.

Allerdings verursacht die Überschneidung dieses Trends mit dem Trend in Richtung drehzahlgeregelter Drucklufterzeugung neue Probleme hinsichtlich auftretender

10 Vibrationen, welche den Fahrkomfort beeinträchtigen können. Denn Kolbenmaschinen erzeugen - hervorgerufen durch die oszillierenden Massen am Kurbeltrieb - bauartbedingt Massenkräfte und -momente, welche sich je nach gewählter Bauform zumindest in der 1. Ordnung gut ausgleichen lassen. Dabei sinkt die Größe der freien Massenkräfte und -momente bei sinkender Drehzahl entsprechend.

15

Größere Probleme treten allerdings hinsichtlich Schwingungserregungen auf, die aus den Verdichtungskräften resultieren, insbesondere beim Einsatz von zweistufigen Kolbenverdichtern der hier vorzugsweise interessierenden Art. Denn die Zweistufigkeit der Verdichtung erzeugt bei den meisten Bauformen von Kolbenkompressoren ein in

20

besonderem Maße ungleichförmiges Drehmoment. Dieses ungleichförmige Drehmoment aus der Verdichtung wirkt als Pendelmoment um die

Kompressordrehachse und erzeugt somit Vibrationen an den Befestigungsstellen des Kompressors, was zu einer Beeinträchtigung des Fahrkomforts führt. Diese verdichtungsbedingten ungleichförmigen Drehmomente sinken nicht bei fallender

25

Drehzahl, sondern können bei entsprechender Massenverteilung sogar ansteigen und dazu führen, dass bei niedriger Drehzahl Resonanzen der elastischen

Befestigungsstellen angeregt und sogar überhört werden. Versuche haben ergeben, dass sich besonders schädlich bei diesen verdichtungsbedingten ungleichförmigen Drehmomenten die Anteile 1. Ordnung auswirken, welche durch Druckspitzen bei einer

30

Umdrehung einmal wirken.

Aus dem allgemein bekannten Stand der Technik gehen Bauformen von Kolbenverdichtern hervor, bei denen das Schwingungsverhalten im Bereich höherer

Drehzahlen stark verbessert ist, weil der Anteil der 1. Ordnung bei dem aus den Verdichtungskräften resultierenden Momenten stark reduziert wird. Allerdings ist ein Moment 1. Ordnung immer noch vorhanden und wirkt sich bei niedrigen Drehzahlen nach wie vor schädlich auf das Schwingungsverhalten aus.

5

Die DE 100 58 924 A1 offenbart einen mehrstufigen Kolbenkompressor, dessen Schwingungsverhalten kein Moment 1. Ordnung mehr beinhaltet. Hierbei sind auf jeder Kröpfung der Kurbelwelle zwei Pleuel angeordnet, welche gegenüberliegenden Kolben zugeordnet sind, wobei benachbarte Kröpfungen im Wesentlichen 180° zueinander versetzt angeordnet sind. Hierdurch ergibt sich eine Reihenanordnung von Nieder- und Hochdruckzylindern, wobei die beiden einander gegenüberliegenden Zylinderreihen eine Art Boxeranordnung bilden. Durch diese boxerartige Reihenanordnung von Nieder- und Hochdruckzylindern ist eine luftgekühlte Bauweise, wie diese im Schienenfahrzeugbau üblich ist, allerdings nicht mehr effizient umsetzbar. Außerdem

10

erfordert diese spezielle Bauform für eine mehrstufige schwingungsarme Verdichtung mindestens sechs Zylinder, was zu einem recht hohen Herstellungsaufwand führt.

15

Die WO 2015/172144 A1 offenbart eine Art Sternbauform für einen mehrstufigen Kolbenverdichter, der als besonders laufruhig beschrieben wird. Das Verdichtergehäuse

20

ist im Grundquerschnitt fünfeckig, wobei eine untere Seitenfläche Befestigungsmittel zum Anbau an eine Trägerstruktur aufweist. Den anderen vier Seitenflächen ist je ein Hoch- oder Niederdruckzylinder zugeordnet. Hierdurch entsteht eine ungleichachsige Zylinderanordnung, da jeder Zylinder eine eigene Längsachse aufweist, welche im Winkelversatz zu den Längsachsen der übrigen Zylinder steht.

25

Ferner liegen bei dieser vorbekannten Bauform alle Pleuel auf derselben umlaufenden Kröpfung der Kurbelwelle. Somit bilden alle vier Kurbeltriebe dieses mehrstufigen Kolbenkompressors eine umlaufende Unwucht, welche sich dynamisch schwer ausgleichen lässt. Außerdem ergibt sich im Drehkraftdiagramm ein verbleibender Anteil

30

1. Ordnung. Wie bereits vorstehend erläutert, verschlechtern insbesondere Anteile 1. Ordnung das Schwingungsverhalten und haben einen negativen Einfluss auf die elektrische Antriebseinheit in Form von Drehschwingungen und Drehungleichförmigkeiten. Dies führt bei der elektrischen Antriebseinheit zu einer erhöhten

Stromaufnahme, harmonischen Anteilen im elektrischen Strom und einem reduzierten Leistungsfaktor mit hoher thermischer Belastung der elektrischen Antriebseinheit.

Darüber hinaus weist die Sternbauform dieses vorbekannten mehrstufigen

5 Kolbenkompressors im Vergleich zum vorstehend diskutierten Stand der Technik mit Boxerbauform eine recht große Bauhöhe auf, so dass dieser sternförmige mehrstufige Kolbenkompressor nur bedingt für einen Unterflureinbau im Schienenfahrzeug geeignet ist.

10 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen für den Schienenfahrzeugbau geeigneten mehrstufigen Kolbenkompressor zu schaffen, welcher sich durch ein minimales Schwingungsverhalten, eine geringe Bauhöhe sowie eine einfache Kühlbarkeit per Luftstrom auszeichnet.

15 Die Aufgabe wird ausgehend von einem mehrstufigen Kolbenkompressor gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 in Verbindung mit dessen kennzeichnenden Merkmalen gelöst. Die nachfolgenden abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung wieder.

20 Die Erfindung schließt die technische Lehre ein, dass bei einem mehrstufigen Kolbenkompressor in Sternbauform jeweils ein Niederdruckzylinder einem Hochdruckzylinder auf derselben Längsachse gegenübersteht und jedem mit einem Kolben versehenen Pleuel eine eigene Kröpfung der Kurbelwelle zugeordnet ist, welche
25 derart winkelfersetzt zu zumindest einer benachbarten Kröpfung angeordnet ist, dass die Kurbelwelle in eine Position bringbar ist, in welcher einer der Hochdruckzylinder in der oberen Totpunktstellung ist, während der andere Hochdruckzylinder in der unteren Totpunktstellung ist, und wobei gleichzeitig ein Niederdruckzylinder in der oberen Totpunktstellung ist, während der andere Niederdruckzylinder in der unteren Totpunktstellung ist.

30

Es verdichten also nicht alle Kolben gleichzeitig, sondern jeweils die vorzugsweise beiden Niederdruckkolben um 180° versetzt und die vorzugsweise beiden Hochdruckkolben um 180° versetzt zueinander. Durch die erfindungsgemäße Lösung

entsteht eine Verdichtungsfolge, die zu dem Ergebnis führt, dass jedes Ereignis einer Verdichtung in Bezug auf eine Umdrehung der gesamten Verdichtereinheit zweimal vorkommt, das aus den Gaskräften resultierende Drehmoment ist dabei frei von Anteilen 1. und 3. Ordnung. Dies ermöglicht den Betrieb eines mehrstufigen

5 Kolbenkompressors im Bereich niedrigster Drehzahlen ohne störende Schwingungsüberhöhungen.

Die demgegenüber bei herkömmlichen Kolbenkompressoren vorhandenen Drehungleichförmigkeiten werden durch die elektrische Antriebseinheit sogar noch

10 zusätzlich verstärkt, weil die Reaktion der Antriebseinheit auf eine Lastspitze phasenversetzt zu einem Zeitpunkt erfolgt, in welchem der Momentbedarf des Kolbenkompressors niedriger ist. Die daraus resultierenden verstärkten Drehzahlschwankungen über eine Umdrehung können bei herkömmlichen zweistufigen Kolbenkompressoren bis zu $\pm 14\%$ betragen. Dieser Effekt kann bisher nur durch den

15 Einsatz großer Schwungmassen reduziert werden. Durch die demgegenüber erfindungsgemäß starke Reduzierung des Anteils 1. Ordnung im Lastmoment wird dieser Effekt reduziert. Die Drehungleichförmigkeit wird verringert, so dass auch die Stromaufnahme der elektrischen Antriebseinheit sinkt. Der Leistungsfaktor erhöht sich dementsprechend beträchtlich, so dass Bedingungen erreicht werden, die einem

20 annähernd konstanten Momentenbedarf (Nennlastbedingungen) entsprechen. Dies hat zur Folge, dass elektrische Antriebseinheiten nicht mehr überdimensioniert werden müssen, sondern entsprechend dem Leistungsbedarf des Kolbenkompressors ausgelegt werden können.

25 Diese Auswirkungen der erfindungsgemäßen Lösung bilden die Voraussetzung dafür, dass als elektrische Antriebseinheit vorzugsweise ein Synchronreluktanzmotor eingesetzt werden kann, bei dem der Läufer über eine recht geringe Masse verfügt. Außerdem ist ein solcher Synchronreluktanzmotor auch bei niedrigen Drehzahlen mit hohem Moment betreibbar. Eine variable Drehzahl kann mittels vorgeschaltetem

30 Umrichter zwischen 15 Hz und 80 Hz geregelt werden.

Da bei der erfindungsgemäßen Lösung auf zusätzliche Schwungmassen weitestgehend verzichtet werden kann, außer zum Unwuchtausgleich, kann der Läufer des

Synchronreluktanzmotors direkt auf dem Kurbelwellenende der Verdichtereinheit und der Stator des Motors direkt am Verdichtergehäuse befestigt werden. Hierdurch entsteht eine besonders kompakte Bauform.

- 5 Gemäß einer weiteren die Erfindung hinsichtlich der Kompaktheit verbessernden Maßnahme wird vorgeschlagen, dass die Längsachsen von Nieder- und Hochdruckzylindern sternförmig mit einem Winkel α zur Horizontalen H von $25^\circ \pm 10^\circ$ angeordnet sind. Hierdurch ist eine platzsparende Anordnung des mehrstufigen Kolbenkompressors im Unterflurbereich eines Schienenfahrzeuges möglich, bei dem
- 10 die Einbausituation insbesondere hinsichtlich der Einbauhöhe beschränkt ist. Die Anordnung der Zylinder in dem angegebenen Winkelstellungsbereich gewährleistet eine weitestgehend flache Bauweise des mehrstufigen Kolbenkompressors. Vorzugsweise sind die Hochdruckzylinder unterhalb der Horizontalen H und die Niederdruckzylinder oberhalb der Horizontalen H positioniert. Bei dieser Anordnung kann Kondensat,
- 15 welches sich bei ungünstigen Verhältnissen in der Hochdruckstufe bilden kann, an der Zylinderwandung ablaufen. Außerdem kann die von den Niederdruckzylindern erzeugte Wärme nach oben hin aufsteigen und abgeführt werden. Bei einer bevorzugten vierzylindrigen Ausführungsform der Verdichtereinheit kommen zwei Hochdruckzylinder sowie zwei Niederdruckzylinder zum Einsatz.

20

- Gemäß einer weiteren die Erfindung verbessernden Maßnahme wird vorgeschlagen, dass die Pleuel und/oder die Kolben der Hochdruckstufe aus einem Material - vorzugsweise Metall - gefertigt sind, das gegenüber den Pleuel und/oder den Kolben der Niederdruckstufe ein höheres spezifisches Gewicht aufweist. Zusätzlich können die
- 25 Pleuel der Niederdruckstufe länger als die Pleuel der Hochdruckstufe ausgebildet werden und der Schwerpunkt der Pleuel der Niederdruckseite sollte kolbennäher als der Schwerpunkt der Pleuel der Hochdruckstufe liegen. Vorzugsweise sind die Pleuel der Niederdruckstufe um mindestens den Faktor 1,1 länger als die Pleuel der Hochdruckstufe. Insgesamt ergibt sich durch diese konstruktiven Maßnahmen eine
- 30 schwingungsarme Masseverteilung.

Sollte dennoch ein geringfügiger Massenausgleich der Kurbeltriebe, beispielsweise zur Behebung von Unwuchten, erforderlich sein, so reicht es aus, dass an den betreffenden

Pleuel Zusatzmassen angebracht werden. Hierdurch braucht der Massenausgleich nicht an der Kurbelwelle vorgenommen werden.

Durch die vorstehend erläuterten Maßnahmen lassen sich die Kurbeltriebe der zweistufigen Verdichtereinheit derart ausführen, dass der Anteil der 1. Ordnung im Drehkraftdiagramm einen Wert von kleiner 10% des Anteils der 2. Ordnung beträgt. Da der erfindungsgemäße mehrstufige Kolbenkompressor insoweit nur Schwingungen in höheren Ordnungen erzeugt, kann eine relativ steife Lagerung an einer Trägerstruktur des Fahrzeuges eingesetzt werden, die dennoch eine hinreichende Schwingungsisolierung bietet.

Die sternförmige Zylinderanordnung des erfindungsgemäßen mehrstufigen Kolbenkompressors bietet die Voraussetzung dafür, dass alle Zylinder von einem Axiallüfter mit Kühlluft versorgt werden können. Eine Windschattensituation wird also vermieden. Dabei befindet sich die Ebene, durch welche jeweils zwei benachbarte Zylinder - insbesondere Hoch- und Niederdruckzylinder - gehen, senkrecht zur Strömungsrichtung der vom Axiallüfter erzeugten Kühlluft. Bei Bedarf können am Verdichtergehäuse zusätzliche Luftleitbleche angeordnet werden, welche die Kühlluft gleichmäßig in Richtung der Rippen der Zylinder leiten.

Weitere die Erfindung verbessernde Maßnahmen werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Figuren näher dargestellt.

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Außenansicht eines mehrstufigen Kolbenkompressors in 4-Zylinderbauform,

Fig. 2 zeigt eine stirnseitige Ansicht des mehrstufigen Kolbenkompressors nach Fig. 1,

Fig. 3 zeigt eine teilweise aufgebrochene Draufsicht des mehrstufigen Kolbenkompressors nach Fig. 1,

Fig. 4 zeigt eine perspektivische Darstellung einer Kurbelwelle der Verdichtereinheit dieses Kolbenkompressors,

Fig. 5 zeigt eine grafische Darstellung des Momentenverlaufs an der Kurbelwelle, und

5

Fig. 6 zeigt eine Fourier-Analyse der Lastmomente aus der grafischen Darstellung gemäß Fig. 5.

- 10 Nach **Fig. 1** besteht der mehrstufige Kolbenkompressor im Wesentlichen aus einer Antriebseinheit 1, welche hier als elektrischer Synchronreluktanzmotor ausgebildet ist. Die Antriebseinheit 1 erzeugt eine Drehbewegung zum Antrieb einer direkt hieran angeflanschten Verdichtereinheit 2, welche über eine Niederdruckstufe und eine darauffolgende Hochdruckstufe zum mehrstufigen Komprimieren von aus der
- 15 Umgebung angesaugter Luft verfügt. Für die Kühlung der bei der Kompressionsarbeit entstehenden Wärme sorgt eine Kühleinheit 3 mit stirnseitig an der Verdichtereinheit 2 positioniertem Axiallüfter 4. Der mehrstufige Kolbenkompressor ist über elastische Befestigungsmittel 5a an der Verdichtereinheit 2 sowie Befestigungsmittel 5b an der elektrischen Antriebseinheit 1 an einer – nicht weiter dargestellten – Trägerstruktur
- 20 eines Fahrzeugs befestigt.

Die Verdichtereinheit 2 weist ein Verdichtergehäuse 6 auf, an welchem sternförmig mehrere topfartige größere Niederdruckzylinder 8a (exemplarisch) sowie kleinere Hochdruckzylinder 7a und 7b angeordnet sind. Es handelt sich hier um einen

25 mehrstufigen Kolbenkompressor in 4-Zylinderbauform.

Aus der in **Fig. 2** ersichtlichen Stirnseitenansicht geht die erfindungsgemäß sternförmige Anordnung der Hochdruckzylinder 7a, 7b in Kombination mit den Niederdruckzylindern 8a, 8b am Verdichtergehäuse 6 hervor. Dementsprechend steht

30 auf einer Längsachse A ein Hochdruckzylinder 7a einem Niederdruckzylinder 8b gegenüber. Auf der anderen Längsachse B steht ein Hochdruckzylinder 7b einem Niederdruckzylinder 8a gegenüber. Die Längsachsen A und B von Nieder- und Hochdruckzylindern 7a, 7b, 8a, 8b sind sternförmig mit einem Winkel α zur Horizontalen

H von hier 25° angeordnet. Die beiden Niederdruckzylinder 8a und 8b der 4-Zylinderanordnung sind oberhalb der Horizontalen H angeordnet, wogegen die beiden Hochdruckzylinder 7a und 7b unterhalb der Horizontalen H angeordnet sind.

- 5 Das Verdichtergehäuse 6 weist einen hexagonalen Grundquerschnitt auf, wobei sowohl der linksseitige Niederdruckzylinder 8a und der linksseitige Hochdruckzylinder 7a an zueinander benachbarten Seitenflächen 9a und 9a' des Verdichtergehäuses 6 angeordnet sind. Gegenüberliegend sind spiegelsymmetrisch hierzu der rechtsseitige Niederdruckzylinder 8b und der rechtsseitige Hochdruckzylinder 7b an benachbarten
10 Seitenflächen 9b sowie 9b' angeordnet. Eine hiervon verschiedene untere Seitenfläche 10 dient der Anordnung der – nicht weiter dargestellten – Befestigungsmittel 5a am hexagonalen Verdichtergehäuse 6.

Gemäß **Fig. 3** dient das Verdichtergehäuse 6 der Verdichtereinheit 2 der Unterbringung
15 einer Kurbelwelle 11 zum Antrieb der verschiedenen jeweils aus Kolben 12, 12' und Pleuel 13, 13' (exemplarisch) bestehenden Kurbeltriebe der Hoch- bzw. Niederdruckstufe.

Nach **Fig. 4** ist bei der Kurbelwelle 11 jedem Kurbeltrieb eine eigene Kröpfung 14a bis
20 14d zugeordnet, welche gegenüber der benachbarten Kröpfung, beispielsweise 14a zu 14b, um einen Winkel β von 30° winkelfersetzt zueinander angeordnet sind. Dieser Winkelversatz besteht zwischen allen benachbarten Kröpfungen 14a bis 14d. Hierdurch ist die Kurbelwelle 11 in eine Position bringbar, in welche jeder der vier Kolben 12 (exemplarisch) gleichzeitig die untere Totpunktstellung einnimmt.

25

Aus dem in **Fig. 5** dargestellten Momentenverlauf im Bereich des Drehwinkels γ einer Umdrehung geht das Moment M_G aus Gaskräften, das Moment M_m aus Massenkräften sowie das Summenmoment M_s aus Massen- und Gaskräften hervor. Die Verdichtungsfolge des zweistufigen Kolbenverdichters wird erfindungsgemäß so
30 gewählt, dass jedes Ereignis innerhalb einer Umdrehung zweimal erfolgt, und so der Anteil 1. Ordnung im Drehkraftdiagramm gegen 0 geht.

Wie aus der Fourier-Analyse des Lastmoments nach **Fig. 6** hervorgeht, beträgt der Anteil 1. Ordnung 0, der Anteil 2. Ordnung 27 Nm, der Anteil 3. Ordnung 0 und der Anteil 4. Ordnung 15 Nm.

- 5 Die Erfindung ist nicht beschränkt auf das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel. Es sind auch Abwandlungen hiervon denkbar, die unter den Schutzbereich der nachfolgenden Ansprüche fallen. So ist es beispielsweise auch möglich, dass eine Bauart mit mehr als 4 Zylindern, beispielsweise mit 6 oder 8 Zylindern, zum Einsatz kommt.

BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Antriebseinheit
	2	Verdichtereinheit
5	3	Kühlereinheit
	4	Axiallüfter
	5	Befestigungsmittel
	6	Verdichtergehäuse
	7	Hochdruckzylinder
10	8	Niederdruckzylinder
	9	seitliche Seitenfläche
	10	untere Seitenfläche
	11	Kurbelwelle
	12	Kolben
15	13	Pleuel
	14	Kröpfung
	A	erste Längsachse
	B	zweite Längsachse
20	H	Horizontale
	α	Horizontalwinkel
	β	Kröpfungswinkel
	γ	Winkelstellung Kurbelwelle
	M	Drehmoment
25	f	Frequenz

PATENTANSPRÜCHE

1. Mehrstufiger Kolbenkompressor, insbesondere für Schienenfahrzeuge, mit einer

5 Niederdruckstufe und mindestens einer darauffolgenden Hochdruckstufe zum

mehrstufigen Komprimieren von angesaugter Luft, wofür eine Antriebseinheit (1) zur

Erzeugung einer Drehbewegung eine nachgeschaltete Verdichtereinheit (2) antreibt,

welche mehrere an einem Verdichtergehäuse (6) zur Unterbringung einer Kurbelwelle

(11) angeordnete topfartige Nieder- oder Hochdruckzylinder (7a, 7b, 8a, 8b) für

10 innenliegende Kolben (12) aufweist, wobei die über die Antriebseinheit (1) angetriebene

Kurbelwelle (11) eine Drehbewegung über mehrere auf mindestens einer Kröpfung

angeordnete Pleuel (13) in eine lineare Bewegung für je einen zugeordneten Kolben

(11) zum Komprimieren der Luft umwandelt, wobei eine gerade Anzahl von Nieder- und

Hochdruckzylindern (7a, 7b, 8a, 8b) sternförmig am Verdichtergehäuse (6) angeordnet

15 ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- jeweils ein Hochdruckzylinder (7a ; 7b) einem Niederdruckzylinder (8a ; 8b) auf derselben Längsachse (A bzw. B) gegenübersteht, und

- jedem mit einem Kolben (12) versehenen Pleuel (13) eine eigene Kröpfung (14a bis 14d) der Kurbelwelle (11) zugeordnet ist, welche derart winkelfersetzt zu mindestens einer benachbarten Kröpfung (14a bis 14d) angeordnet ist, dass

- die Kurbelwelle (11) in eine Position bringbar ist, in welcher einer der Hochdruckzylinder (7a ; 7b) in der oberen Totpunktstellung ist, während der andere Hochdruckzylinder (7b ; 7a) in der unteren Totpunktstellung ist, wobei gleichzeitig ein Niederdruckzylinder (8a ; 8b) in der oberen Totpunktstellung ist, während der andere Niederdruckzylinder (8b ; 8a) in der unteren Totpunktstellung ist.

25

2. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass die Längsachsen (A; B) von Nieder- und

30 Hochdruckzylindern (7a, 7b, 8a, 8b) sternförmig mit einem Winkel (α) zur Horizontalen (H) von $25^\circ \pm 10^\circ$ angeordnet sind.

3. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die Niederdruckzylinder (8a, 8b) oberhalb der Horizontalen (H) und die Hochdruckzylinder (7a, 7b) unterhalb der Horizontalen (H) angeordnet sind.

5

4. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass eine vierzylindrige Ausführung der Verdichtereinheit (2) aus zwei Niederdruckzylindern (8a, 8b) sowie zwei Hochdruckzylindern (7a, 7b) besteht.

10

5. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebseinheit (1) als ein elektrischer Synchronreluktanzmotor ausgebildet ist.

15

6. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Pleuel (13') und/oder die Kolben (12') der Hochdruckstufe aus einem Material gefertigt sind, das gegenüber den Pleuel (13) und/oder den Kolben (12) der Niederdruckstufe ein höheres spezifisches Gewicht aufweist.

20

7. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die Pleuel (13) der Niederdruckstufe länger als die Pleuel (13') der Hochdruckstufe ausgebildet sind.

25

8. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass der Schwerpunkt der Pleuel (13) der Niederdruckstufe kolbennäher als der Schwerpunkt der Pleuel (13') der Hochdruckstufe liegt.

30

9. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass ein Massenausgleich der Kurbeltriebe über nur an mindestens einem Pleuel (13 ; 13') anbringbare Zusatzmassen erfolgt.

10. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass jeder aus Kolben (12) und Pleuel (13) bestehender
Kurbeltrieb der zweistufigen Verdichtereinheit (2) derart ausgeführt ist, dass der Anteil
der 1. Ordnung im Drehkraftdiagramm einen Wert von kleiner als 10% des Anteils der
5 2. Ordnung beträgt.

11. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichtergehäuse (6) einen hexagonalen
Grundquerschnitt aufweist.

10

12. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass bei einer vierzylindrigen Ausführung der
Verdichtereinheit (2) ein Niederdruckzylinder (8a; 8b) und ein Hochdruckzylinder (7a;
7b) an zueinander benachbarten Seitenflächen (9a, 9a' ; 9b, 9b') des hexagonalen
15 Verdichtergehäuses (6) angeordnet sind, wobei zumindest an einer hiervon
verschiedenen unteren Seitenfläche (10) Befestigungsmittel (5a) der Verdichtereinheit
(2) angeordnet sind.

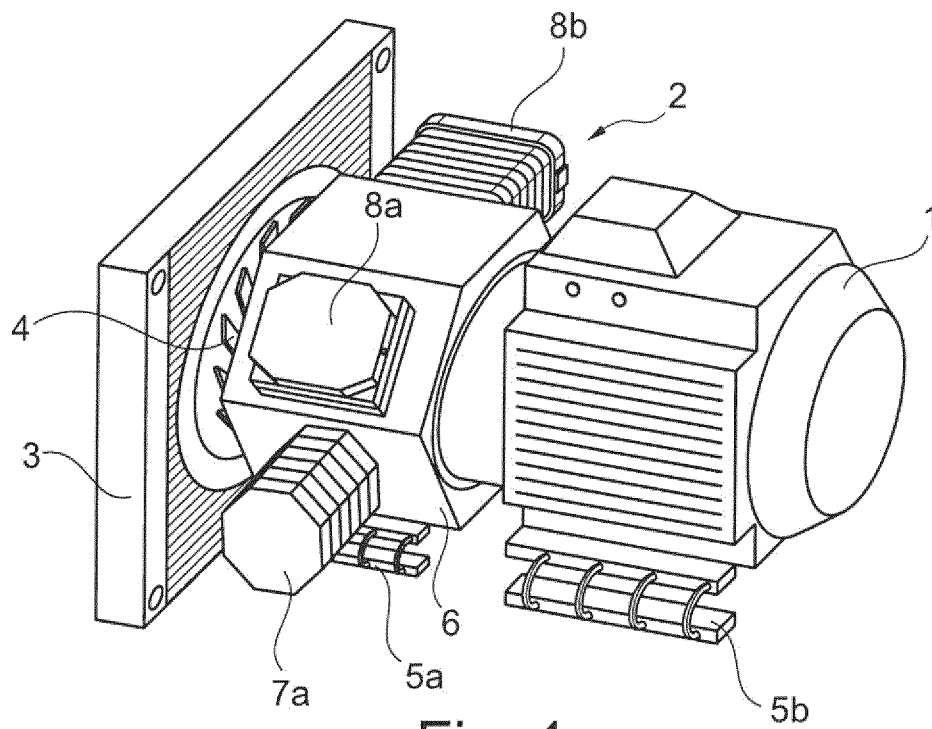


Fig. 1

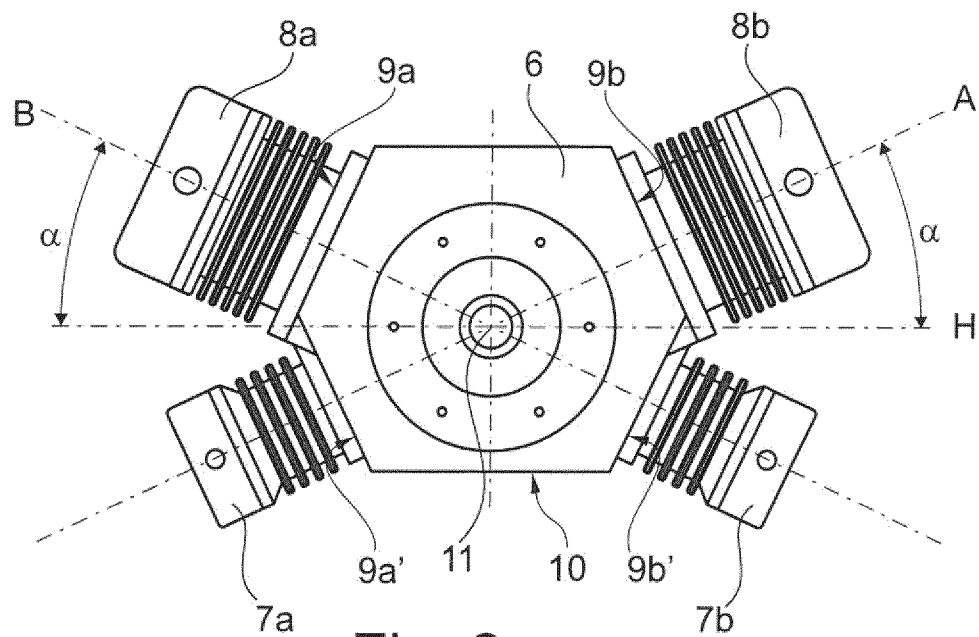


Fig. 2

2/3

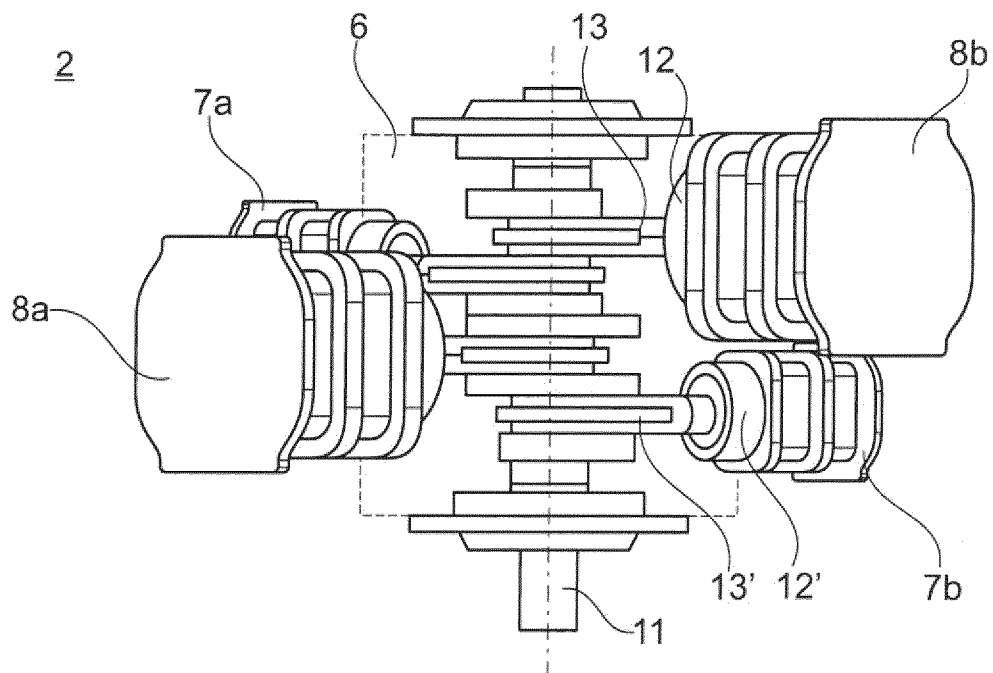


Fig. 3

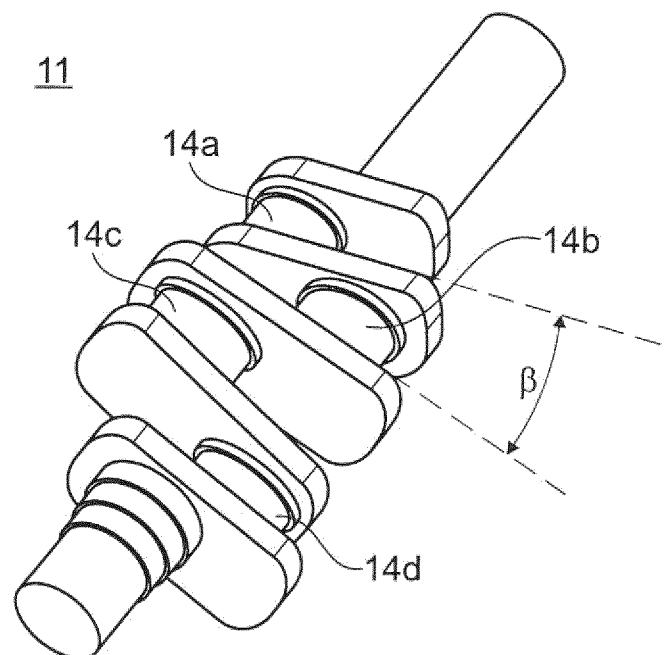


Fig. 4

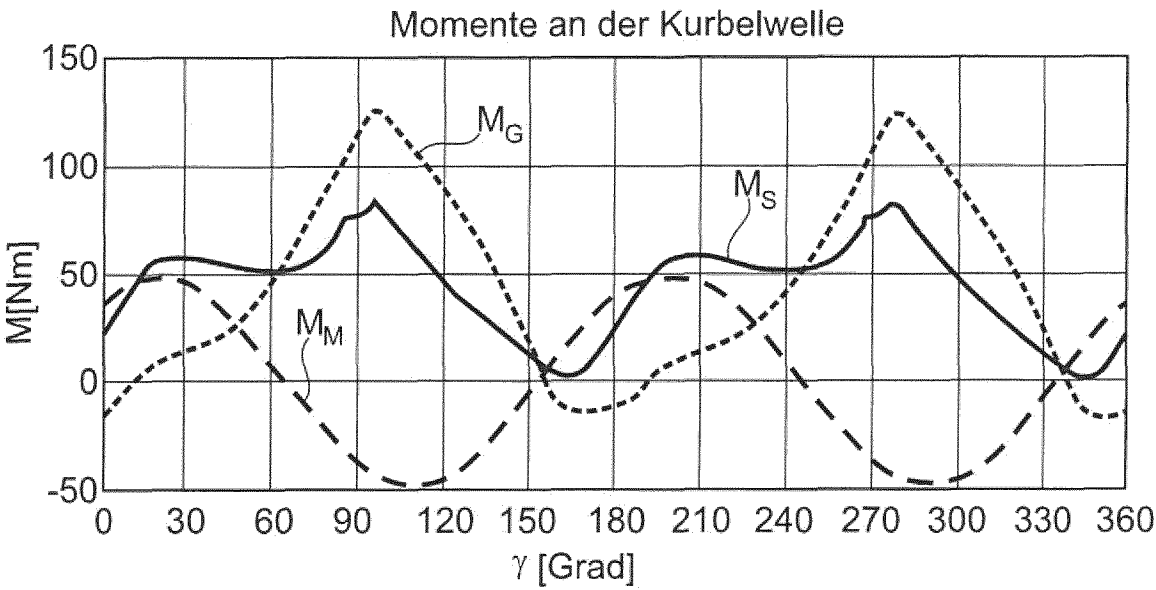


Fig. 5

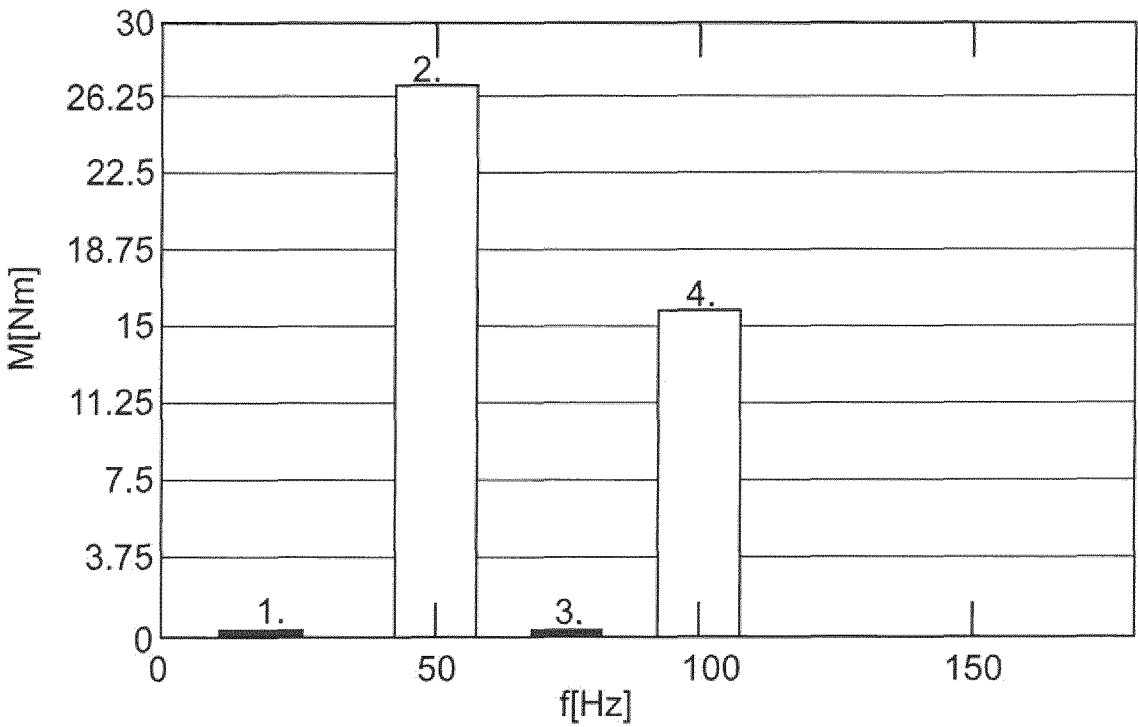


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/072573**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F04B 25/00**(2006.01)i; **F04B 27/04**(2006.01)i; **F04B 27/053**(2006.01)i; **F04B 39/00**(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.
X	US 2578146 A (NEWTON ALWIN B) 11 December 1951 (1951-12-11) abstract; column 2, lines 18-36; figure 1	1-12
X	CN 106194651 A (RUILI GROUP RUIAN AUTO PARTS) 07 December 2016 (2016-12-07) figures page 2	1-12
A	WO 2015172144 A1 (WESTINGHOUSE AIR BRAKE TECHNOL [US]) 12 November 2015 (2015-11-12) cited in the application abstract; figures 1, 2, 3, 4, 10 paragraph [0035]	1-12

☐ 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

18 October 2018

Date of mailing of the international search report

14 November 2018

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

Pinna, Stefano

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/072573

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2578146	A	11 December 1951	NONE			
CN	106194651	A	07 December 2016	NONE			
WO	2015172144	A1	12 November 2015	AU	2015255665	A1	20 October 2016
				AU	2015255672	A1	13 October 2016
				CA	2947305	A1	12 November 2015
				CA	2948495	A1	12 November 2015
				JP	2017515044	A	08 June 2017
				JP	2017515045	A	08 June 2017
				US	2015322933	A1	12 November 2015
				US	2015322997	A1	12 November 2015
				WO	2015172137	A1	12 November 2015
				WO	2015172144	A1	12 November 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F04B25/00 F04B27/04 F04B27/053 F04B39/00 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.
X	US 2 578 146 A (NEWTON ALWIN B) 11. Dezember 1951 (1951-12-11) ZusammenfassungSpalte 2, Zeilen 18-36; Abbildung 1	1-12
X	----- CN 106 194 651 A (RUILI GROUP RUIAN AUTO PARTS) 7. Dezember 2016 (2016-12-07) Abbildungen Seite 2	1-12
A	----- WO 2015/172144 A1 (WESTINGHOUSE AIR BRAKE TECHNOL [US]) 12. November 2015 (2015-11-12) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,3,4,10 Absatz [0035] -----	1-12
☐ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
18. Oktober 2018		14/11/2018
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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/072573

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2578146	A	11-12-1951	KEINE
CN 106194651	A	07-12-2016	KEINE
WO 2015172144	A1	12-11-2015	AU 2015255665 A1 20-10-2016
			AU 2015255672 A1 13-10-2016
			CA 2947305 A1 12-11-2015
			CA 2948495 A1 12-11-2015
			JP 2017515044 A 08-06-2017
			JP 2017515045 A 08-06-2017
			US 2015322933 A1 12-11-2015
			US 2015322997 A1 12-11-2015
			WO 2015172137 A1 12-11-2015
			WO 2015172144 A1 12-11-2015