

## (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  
06. September 2019 (06.09.2019)(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/166311 A1**(51) Internationale Patentklassifikation:  
*F04C 18/56* (2006.01)      *F04C 29/00* (2006.01)(74) Anwalt: PATENTANWÄLTE BAUER - VORBERG -  
KAYSER PARTNERSCHAFT MBB; Goltsteinstr. 87,  
50968 Köln (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/054282

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,  
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,  
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. Februar 2019 (21.02.2019)(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 001 519.0  
27. Februar 2018 (27.02.2018) DE

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder: STEFFENS, Ralf [DE/DE]; Abt-Fulrad-Str. 4,  
73728 Esslingen (DE).

(54) Title: MOUNTING AND DRIVE FOR A R718 COMPRESSOR

(54) Bezeichnung: LAGERUNG UND ANTRIEB FÜR EINEN R718-VERDICHTER

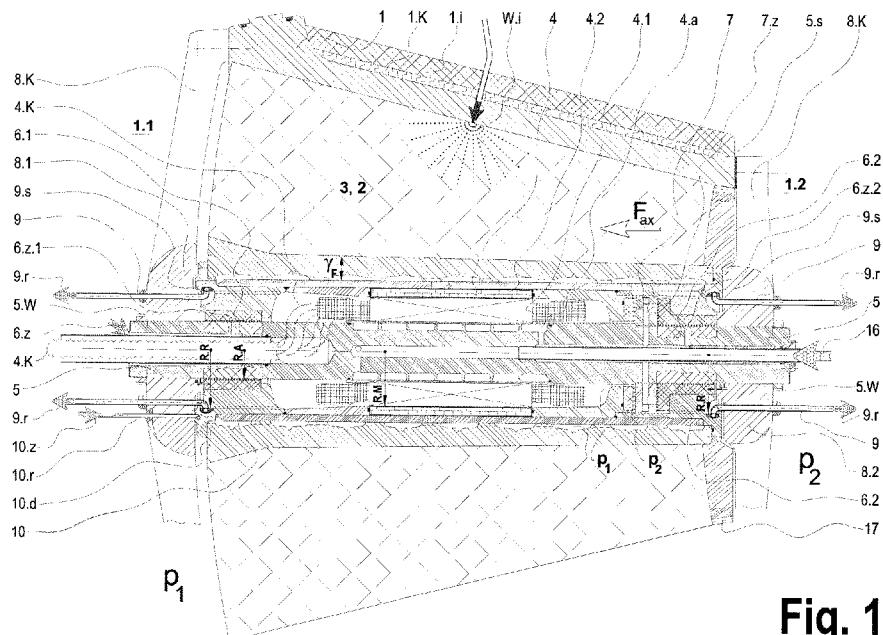


Fig. 1

(57) **Abstract:** In order to improve reliable and efficient operating behavior during compression of water vapor as R718, particularly for refrigeration, air conditioning and heat pump technology, while simultaneously reducing construction volume and reducing procurement and operating costs, according to the invention radial and axial water slide bearings (6 and 7) are provided for every spindle rotor (2 and 3) in a 2-shaft rotational displacement machine, on a stationary, continuous support axis (5) with an integrated external rotor motor per spindle rotor (2 and 3) with electronic motor pair synchronization (20), wherein pitot tube pumps (9) on every spindle rotor end receive the water escaping from the water slide bearings (6 and 7) and relieve the water pump (11) for pressurized water supply (16 and 6.z and 7.z) in a speed-dependent manner, wherein the separation between p<sub>1</sub> as inlet pressure and p<sub>2</sub> as outlet pressure of the compressor

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

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

occurs on the continuous support axis (5), preferably on the axial water slide thrust bearing (7, 2), and moreover the flexural rigidity is generated on each spindle rotor per support tube (12).

**(57) Zusammenfassung:** Um bei einer Verdichtung von Wasserdampf als R718 insbesondere für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpen-Technik das zuverlässige und effiziente Betriebsverhalten zu verbessern bei gleichzeitig geringerem Bauvolumen sowie reduzierten Anschaffungs- und Betriebs-Kosten, werden für eine 2-Wellen-Rotationsverdrängermaschine bei jedem Spindelrotor (2 und 3) Radial- und Axial-Wassergleitlager (6 und 7) auf einer feststehenden durchgehenden Trägerachse (5) mit integriertem Außenläufer-Motor je Spindelrotor (2 und 3) bei elektronischer Motorpaar-Synchronisation (20) vorgeschlagen, wobei Staurohrpumpen (9) an jedem Spindelrotorende das aus den Wassergleitlagern (6 und 7) austretende Wasser aufnehmen und drehzahlabhängig die Wasserpumpe (11) zur Druckwasserversorgung (16 sowie 6.z und 7.z) entlasten, wobei außerdem die Trennung zwischen p<sub>1</sub> als Einiass- und p<sub>2</sub> als Auslass-Druck des Verdichters an der durchgehenden Trägerachse (5) vorzugsweise am Axial-Wassergleit-Widerlager (7,2) erfolgt, sowie überdies an jedem Spindelrotor die Biegesteifigkeit per Trägerrohr (12) erzeugt wird.

## Lagerung und Antrieb für einen R718-Verdichter

Stand der Technik:

5

Der Kältemarkt ist aktuell im Wandel und so ist beispielsweise die sogen. "F-Gase-Verordnung" gemäß Verordnung (EG) Nr. 842/2006 und Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase als Herausforderung in aller Munde, um die vorherrschenden fluorierten Kältemittel (FKW, HFO) wegen ihrer Klima- und Umwelt-  
10 Schädlichkeit zurückzudrängen. Daher besteht in der Kältetechnik der starke Wunsch nach natürlichen Kältemitteln, wobei insbesondere Wasser durch seine guten thermodynamischen Eigenschaften besticht.

Bisher scheitert die durchgreifende Realisierung von Wasser als Kältemittel R718 jedoch daran, dass beispielsweise gegenüber Ammoniak in gleicher Funktion ein um  
15 rund 300-fach größerer Fördervolumenstrom bei gleicher Leistung erforderlich ist.

Indem zugleich das Druckverhältnis möglichst oberhalb von Faktor 10 recht hoch ist, steigen die Anforderungen an einen Verdichter enorm, der zugleich noch ölfrei sein muss und möglichst effizient im Unterdruck zu arbeiten hat, nämlich zwischen 6 mbar und 200 mbar und gegebenenfalls noch höher.

20 Der disruptive Charakter von Wasser als Kältemittel R718 ist unbestritten. Dieses Kältemittel wird die weltweit intensiv geführten Diskussionen zu den bekannten Umwelt- und Klima-Problemen bei heutigen Kältemitteln schlagartig beenden.

Bisher wird versucht, dieser Herausforderung über Turbo-Verdichter zu begegnen, wobei diese Maschinen trotz 2-stufiger Ausführung mit Zwischenkühlung nur  
25 geringere Druckverhältnisse von etwa 6 schaffen, so dass in dem Kältekreislauf die notwendige Wärmeabgabe am Kondensator (Verflüssiger) nur unbefriedigend umgesetzt wird. Hinzu kommt noch der schwerwiegende Nachteil bei einer Strömungsmaschine hinsichtlich der weichen Arbeitskennlinie (also Druckwerte über Volumenstrom), um für unterschiedliche Betriebspunkte stabile Betriebspunkte  
30 gewährleisten zu können.

Fraglos ist eine Verdrängermaschine für die Wasserdampf-Verdichtung die bessere Lösung, um diese Herausforderungen der Wasserdampf-Verdichtung in R718-Kältekreisläufen zu bewältigen. Dabei sind allerdings einige Schwächen heutiger Verdrängermaschinen für diese R718-Aufgabe zu beseitigen. So sind bekanntlich die

- Lager der Verdrängerkörper die größte Schwachstelle hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit wegen der erforderlichen Schmiermittel im Lagerkontaktbereich, insbesondere bei R718-Anwendungen, wenn der Wasserdampf im Lagerbereich kondensiert und damit die Lager-Schmiermittel auswäscht bzw. verdünnt, was
- 5 praktisch unweigerlich nach gewisser Zeit zum Lagerschaden und damit zum Totalausfall des Verdichters führt. Wenn es hier eine bessere Verdichter-Lösung gäbe, wäre R718 als Kreislaufmedium wegen seiner enormen Vorteile ein bedeutsamer Fortschritt gegenüber dem Stand der Technik. Demgemäß lässt sich die Aufgabe der vorliegenden Erfindung nachfolgend beschreiben.
- 10 Gegenüber dem Stand der Technik muss ein R718-Verdrängerverdichter somit bei folgende Merkmalen wesentlich umgestaltet werden:
- Zuverlässigkeit:  
Die gewünschte Verdrängermaschine muss in der vollkommen geschlossenen R718-Umgebung sowohl den rauen Industriebetrieb aushalten als auch möglichst unempfindlich sein gegen Fehlbedienung und sonstigen Abweichungen.  
15 Bekanntermaßen sind die Lager der Rotore bei jeder Verdrängermaschine die Schwachstelle schlechthin hinsichtlich Zuverlässigkeit, Robustheit und Lebensdauer, weil deren Schmierung insbesondere wegen der R718-Umgebung gefährdet ist. Bekannte Abhilfemaßnahmen wie der sogen. "Purge"-Betrieb (also  
20 Schutz der kritischen Lager-Bereiche per Inertgas) ist relativ aufwändig und führt potenziell immer zu Fehlermöglichkeiten durch Fehlbedienung und kritischen Verunreinigungen des R718-Prozess-Kreislaufs.
- Kompakt:  
Eine Verdrängermaschine braucht zur Erzeugung der gefordert hohen R718-  
25 Förderstromvolumina die Kombination aus den notwendigerweise beträchtlichen Geometrie-Abmessungen sowie möglichst hohe Drehzahlen. Dieser werden von der Schallgeschwindigkeit am Rotorkopf und maschinendynamisch von der biegekritischen Drehzahl begrenzt. Sowohl Geometrie als auch Drehzahlen müssen bestmöglich ausgereizt werden, ohne allerdings an technologische Grenzen gehen  
30 zu müssen, wie es bei heutigen Turboverdichtern durch die extrem hohen Drehzahlen der Fall ist.
- Preiswert:  
Sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb sind die Kosten zu minimieren:

○ Im Betrieb ist ein ständige "Purge"-Betrieb (also Schutz der kritischen Bereiche über ein Inertgas) mit entsprechend erforderlicher Überwachung ein kostenintensiver Eingriff in den geschlossenen R718-Kreislauf.

5 ○ In der Anschaffung sind die derzeit üblichen Hybrid-Wälzlager (also Keramik-Kugeln auf Edelstahl-Ringen laufend) recht teuer, wobei außerdem das Drehzahl-Potenzial zur biegekritischen Drehzahl nur unzureichend ausgenutzt werden kann, so dass eine derartige Maschine größer baut und folglich teurer wird.

- Sauberkeit:

10 Der geschlossene R718-Kreislauf ist empfindlich gegen Verunreinigungen des Fördermediums. Und indem der "Purge"-Betrieb (also Schutz der kritischen Lager-Bereiche über ein Inertgas) bei derzeit üblichen Hybrid-Lagern praktisch unumgänglich ist, sind Verunreinigungen des Fördermediums in dem geschlossenen R718-Kreislauf nicht verlässlich auszuschließen.

15 Aufgabe der Erfindung ist es daher, die aus dem Stand der Technik bekannten Verdränger Maschinen dahingehend zu verbessern, dass zumindest einige der Verbesserungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Preis und oder Sauberkeit erreicht werden.

20 Diese Aufgabe durch eine 2-Wellen-Rotationsverdrängermaschine zur Verdichtung von Wasserdampf bei Drücken unterhalb atmosphärischen Drucks gelöst, bei der das R718-Verdrängerverdichtersystem aus Verdampfer, Verdichter und Verflüssiger mit mindestens einem der folgenden Merkmale, vorzugsweise mehreren dieser Merkmale, ausgeführt ist:

25 **A)** Die Lagerung jedes Spindelrotors (2 und 3) wird als Wassergleitlager (6 und 7) ausgeführt, wobei die Radialkräfte an jedem Spindelrotorende über Laufbuchsen (6.b) drehend auf einer feststehenden und durchgehenden Trägerachse (5) mit geringer\*\* (\*\* in der Bezugszeichenliste benannt) Abstützlänge (a.L) abgestützt werden und die Axialkräfte jedes Spindelrotors über Axial-Wassergleitlager (7) vom gestellfesten Abstützring (7.3) ebenfalls von dieser Trägerachse (5) aufgenommen werden, wobei jede Trägerachse (5) über Achsträger (8) mit Kragarmen (8.K) am Verdichtergehäuse (1) befestigt ist.

30 **B)** Zur elektronischen Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation (20) wird der Antrieb für jeden Spindelrotor (2 und 3) als Außenläufer-Motor (4) ausgeführt,

vorzugsweise als Synchronmotor, wobei dessen Motorstator (4.1) mit seinen Wicklungen ebenfalls auf dieser Trägerachse (5) drehfest montiert ist und dessen Motorrotor (4.2) drehfest den Spindelrotor per Drehmoment antreibt, wobei die Motorverlustwärme über die Achswasserkühlung (4.a) maßgeblich abgeführt wird.

- 5
- C)** Der Außenläufer-Motor (4) steht zur Verbesserung der Wärmebilanz im Betrieb unter dem Druck  $p_1$  und seine Motorkabel (4.K) werden in einer Bohrung der Trägerachse (5) zur Einlass-Seite (1.1) herausgeführt.
  - D)** Der Außenläufer-Motor (4) wird (vorzugsweise) derart ausgeführt, dass sein Luftspalt-Radius R.M kleiner als der Staurinnenwasser-Radius R.R ist, wobei jegliches Wasser im Rotorinnenraum über ein stetiges Radius-Gefälle fliehkraftbedingt vom Motor (4) zur Staurinne (9.r) strömt und dabei Verlustwärme insbesondere durch seine teilweise Verdampfung abführt.
  - E)** Die Druckwasserversorgung für die Wassergleitlager erfolgt per Wasserpumpe (11), vorzugsweise über einen Sammelbehälter (15), der sich geodätisch oberhalb der Wasserpumpe (11) befindet, wobei die Wasserpumpe (11) insbesondere beim Starten des Verdichters zunächst für den nötigen hydrostatischen Wasserdruck in jedem Wassergleitlager (6 und 7) bei jedem Spindelrotor sorgt.
  - F)** Staurohrpumpen (9) nehmen an jedem Spindelrotorende das aus den Wassergleitlagern (6 und 7) austretende Wasser auf und führen es dem Sammelbehälter (15) zu, wobei die Wasserpumpe (11) mit zunehmender Verdichter-Drehzahl (vorzugsweise) durch die Staurohrpumpen (9) entlastet wird.
  - G)** Die Drucktrennung zwischen  $p_1$  und  $p_2$  an der durchgehenden Trägerachse (5) erfolgt vorzugsweise am Axial-Wassergleit-Widerlager (7.2) derart, dass am größeren Radius der höhere Druck  $p_2$  und am kleineren Radius der geringere Druck  $p_1$  anliegt.
  - H)** Jeder Spindelrotor wird mit einem Trägerrohr (12) derart ausgeführt, dass die erforderliche Biegsteifigkeit hinsichtlich der gewünscht hohen biegekritischen Drehzahl erzielt wird, wobei auf jedem Trägerrohr der Fördergewinderotor mit dem Gasförder-Außengewinde drehfest sitzt, der applikationsspezifisch (also für besondere Temperatur-Anforderungen) mit zylindrischer Rotorinnen-Verdampfer-

kühlung (10) unter dem Druck  $p_1$  mit Wasserversorgung mittels Zuführrohr (10.r) und Wasserdampf-Austritt (10.d) auf der Einlass-Seite (1.1) ausgeführt wird.

**I)** Das Außen-Fördergewinde je Spindelrotor (2 und 3) wird derart ausgeführt, dass  
5 der Winkel  $\gamma_F$  am Fußkreis längs der Rotorachse in einem Bereich zwischen  $0^\circ$  und vorzugsweise unter  $8^\circ$  liegt.

**J)** Bei jedem Staurohr (9) wird über dessen gekröpftes Rohrende (9.e) durch Drehung des Staurohrs bei der Montage mit dem Spaltabstand (s.r) zum Boden der Staurinne (9.s) die Eintauchtiefe in den durch die Fliehkräfte erzeugten  
10 Wasserring in der Staurinne derart gezielt eingestellt, dass über Anzahl und Positionierung der Staurohrpumpen deren geförderte Wassermenge (9.r) stets im Gleichgewicht zu den Wasserzuführmengen (6z und 7z) je Spindelrotorseite steht, wobei die Staurinne (9.r) mit dem austretenden Wasser der  
15 Wassergleitlager (6 und 7) gefüllt ist und dieses Wasser durch die Fliehkräfte einen Wasserring in der Staurinne (9.s) bildet, der an der Oberfläche den Staurinnenwasser-Radius R.R aufweist.

**K)** Je Spindelrotor wird die Trägerachse (5) an jedem Ende über Achsträger (8) drehfest gehalten, wobei vorzugsweise über Wellenmuttern (5.W) und/oder Schälscheiben (5.s) die axiale Positionierung insbesondere zur gezielten  
20 Spieleinstellung zwischen Spindelrotorkopf und Verdichtergehäuse-Arbeitsraumbohrung über die nichtzylindrische Spindelrotoraßenform erfolgt.

**L)** Jeder Spindelrotor (2 und 3) wird als fertig montierte und komplett gewuchtete Rotationseinheit ausgeführt, wobei die Notfall-Synchro.-Zahnräder (17) auf der Auslass-Seite positioniert werden.

**M)** Das Druckwasser (16 und als Zuführung 6.z und 7.z zu den Wassergleitlagern) wird im Betrieb gezielt reguliert an der Wasserpumpe (11) hinsichtlich Druck und Volumenstrom sowie temperaturmäßig über den Wärmetauscher (16.W) derart, dass die Lagerverluste minimiert werden.

Die Trägerachse (5) ist durchgehend ausgebildet. Dadurch wird die Fluchtung der  
30 Lagerstellen gewährleistet. Der elektrische Antrieb ist als integrierter Außenläufer-Motor je Spindelrotor ausgeführt. Damit wird die Kompaktheit erreicht bei zugleich hoher Biegeweichigkeit, denn eine Hohlwelle ist bei gleichem Gewicht immer deutlich biegesteifer als eine Vollwelle (wie bisher eingesetzt). Weil die Trägerachse (5)

durchgehend ausgeführt wird, ist eine Drucktrennung zwischen dem Druck  $p_1$  am Einlass und dem Druck  $p_2$  am Auslass Einlassdruck erforderlich, wobei diese Drucktrennung vorzugsweise vom Axiallager (7) übernommen wird. Die Einspritzung W.i ist vorgesehen und vorhanden, um die Verdichtungs-End-Temperatur 5 einzustellen und den Leistungsbedarf klein zu halten. Eine Einspritzung ist vorgesehen und beschrieben.

Erläuterungen zu den Zeichnungen bzw. Fig.-Darstellungen:

Das Gasförder-Außengewinde je Spindelrotor (2 und 3) ist als Schraffur unter der Bezeichnung "ANGLE" nach der Zeichnungs-Software AutoCAD dargestellt (also 10 unter  $45^\circ$  jeweils 2 Linien, rechtwinklig zueinander, stets fluchtend angeordnet).

Fig. 1 zeigt beispielhaft eine Längsschnitt-Darstellung durch einen Spindelrotor (3, 2) und gilt bei den erfindungsgemäßen Merkmalen sowohl für den 3z-Spindelrotor (3) als auch für den 2z-Spindelrotor (2), weshalb am Spindelrotor die Bezugszeichen- 15 Benennung (3, 2) gewählt wurde. Angegeben ist die Axialkraft  $F_{ax}$ , die im Betrieb bei jedem Spindelrotor durch die Druckdifferenz  $\Delta p$  des Verdichters als

$$\Delta p = p_2 - p_1$$

entsteht und vom Axial-Wassergleitlager (7) aufgefangen wird. Das sogen. "Lagerspiel" als Spalthöhe im Gleitlagerspalt (6.s) liegt im Bereich weniger  $\mu\text{m}$ , 20 beispielsweise bei einem Gleitlagerspalt-Radius von  $R.A = 20 \text{ mm}$  im Bereich von 15 bis  $35 \mu\text{m}$ . Als Material für die Gleitlagerbuchse (6.b) wird vorzugsweise Keramik gewählt und die Gegenlauffläche (6.g) auf der feststehenden Trägerachse wird derart gewählt, dass Reibung und Verschleiß minimal sind.

In der gezeigten Darstellung fließt der auslassseitige Druckwasserzufluss (16) 25 zunächst zur Motorachswasserkühlung (4.a) und danach über die Druckwasserzuführungen (7.z und 6.z) zum Axial- (7) sowie zum Radialwassergleitlager (6), wobei sich über Anzahl und Querschnitt dieser Zuführungen, die für jedes Lager notwendige Wassermenge ergibt. Gleichwohl ist es natürlich für einige Anwendungen auch umsetzbar, dass das Motorkühlwasser zur 30 Achswasserkühlung (4.a) als eigener Zu- und Abfluss erfolgt und die Druckwasserzuführungen (7.z und 6.z) zum Axial- (7) sowie zum Radial- Wassergleitlager (6) separat erfolgen, wenn beispielsweise die Wasser- Temperaturen für die Wassergleitlager bestimmten Bedingungen genügen müssen und die Temperatur-Anforderungen für Motorkühlung und Wassergleitlager zu weit 35 voneinander entfernt sind. Daher ist die gezeigte Darstellung nur beispielhaft.

Die dargestellte Rotorinnenkühlung (10) wird applicationsspezifisch nur bei besonderen Anforderungen an den Bauteile-Wärmehaushalt erforderlich sein, denn das an der rotierenden Innenwand von R.M nach R.R strömende Wasser wird über seinen verdampfenden Anteil schon nennenswert Wärme aus dem Rotorinnenraum 5 abführen.

Der Einlassbereich ist noch detaillierter in Fig. 3 dargestellt, und der Auslassbereich ist noch detaillierter in Fig. 4 dargestellt.

Fig. 2 zeigt beispielhaft eine Längsschnitt-Darstellung durch das erfindungsgemäße R718-Verdrängerverdichter-Gesamtsystem bei stehender Ausführung mit dem 10 Spindelrotorpaar (2 und 3) im umgebenden Verdichtergehäuse (1) und den feststehenden durchgehenden Trägerachsen (5) je Spindelrotor (2, 3), die mittels Achsträger (8) am Verdichtergehäuse (1) sowohl am Einlass (1.1) als auch am Auslass (1.2) beidseitig abgestützt werden.

Bei der Ausführung zum Antriebsmotor (4) im Verhältnis zu den wasserabführenden 15 Staurohren (9) an jedem Spindelrotor-Ende gilt stets die Zielsetzung, dass das Wasser fliehkraftbedingt zu den Staurinnen (9.s) strömt. Demzufolge ist also der Motorspalt-Radius R.M stets kleiner als der Radius zum Staurinnenwasser, also:

**R.M < R.R** insbesondere auch auf dem gesamten Wasserströmungsweg.

Diese Bedingung ist in dieser Fig. 2 beispielhaft für den 3-zähnigen Spindelrotor (3) 20 erfüllt, aber zu Demonstrationszwecken am 2z-Rotor (2) nicht erfüllt, indem dort der Fall  $R.M > R.R$  dargestellt ist, wenn beispielsweise ein sehr leistungsstarker Motor (4) erforderlich ist. Dann ist eine entsprechende Siphon-Verbindung (18) zur Wasser-Umführung am Motorrotor (4.2) vorzusehen, wobei über eine Austrittbohrung (18.a) gewährleistet wird, dass sich im Motorspalt zwischen 25 Motorstator (4.1) und Motorrotor (4.2) kein Restwasser ansammelt und somit unzulässige Reibung im Motorbereich ergäbe, indem dieses unvermeidbare Restwasser im Motorbereich über die Austrittbohrung (18.a) abfließt bzw. zum Teil verdampft. Dabei steht der gesamte Motor (4) unter dem Druck  $p_1$  und erfährt somit wegen der hohen Verdampfungsenthalpie eine gute Wärmeabführung, so dass die 30 Effizienz des Motors (4) verbessert wird.

Der Kreisbogen mit  $\varnothing G.1$  ist zur Demonstration des zylindrischen Übergangsbereiches am Verdichtergehäuse (1) reingeklappt dargestellt und dient der Trennung zwischen dem Verdampferraum (13) und dem Verflüssigerraum (14) am Verdichtergehäuse (1) in diesem vorzugsweise zylindrischen Bereich.

Die Regulierung an der Wasserpumpe (11) hinsichtlich Druck und Volumenstrom ist dargestellt über einen Pfeil, der durch das Symbolzeichen für eine Wasserpumpe läuft.

Neben Druck und Volumenstrom wird dann über die Wärmetauscher (16.W) der jeweilige Wasserstrom auch noch hinsichtlich Temperaturniveau für jeden Betriebspunkt reguliert. Dabei gelten folgende Bezeichnungen:

**WL** steht für Wasser zu den Wassergleitlagern (6 und 7)

**Δh** steht für die Höhen-Differenz, um den der Sammelraum (15) über der Wasserpumpe (11) steht

**MK** steht für das Wasser zur Motorkühlung (4.a)

**S.W** steht für das Systemwasser zur Erfüllung der R718-Aufgabenstellung

**W.i** steht für das Wasser zur Einspritzung in den Arbeitsraum

**W.C** steht für Kondenswasser aus dem Verflüssigerraum (14),

wobei dieses Kondenswasser (W.C) für die oftmals gewünschte "Direktverflüssigung" 15 zur Wärmeabführung an einen externen Wärmetauscher (16.C) geführt wird, indem ein Teil dieses Kondenswassers nach seiner externen Wärmeabführung zwecks Oberflächenmaximierung als "Regentropfenwald" (R.T) zur direkten Kontakt-Kondensation genutzt wird. In dieser Fig. 2 ist dieser "Regentropfenwald" (R.T) im Verflüssigerraum (14) aus Darstellungsgründen vereinfachend nur auf einer Seite 20 gezeigt, wird aber sehr wohl im gesamten Verflüssigerraum (14) umgesetzt.

Das potenzielle Problem zum Frostschutz für dieses am externen Wärmetauscher (16.C) zu kühlende Kondenswasser (W.C) wird dabei vorzugsweise derart gelöst, dass im Betriebsstillstand das in den Leitungen noch befindliche Rest-Kondenswasser beispielsweise in den zumeist frostsichereren Innenbereich zurückfließt und/oder 25 hinreichende Ausdehnungsbereiche erhält, die nicht zu Materialschäden durch Eisbildung wegen der Ausdehnung führen.

Bei den gewählten Bezeichnungen gilt grundsätzlich:

Einlass-Seite mit Index 1 und Auslass-Seite mit Index 2, sowie dem Folgeindex 2 für den 2z-Rotor und dem Folgeindex 3 für den 3z-Rotor, so dass für die jeweilige 30 Druckwasser-Zuführung je Spindelrotor und je Druckseite folgende Bezeichnungen gelten:

- 6.z.1.2 = Wasserzuführung auf der Einlass-Seite zum 2z-Rotor
- 6.z.1.3 = Wasserzuführung auf der Einlass-Seite zum 3z-Rotor

Auf der Auslass-Seite gilt für die (6.z)-Wasserzuführung als Teilstrom vom 35 Druckwasser (16)

- 6.z.2.2 = Wasserzuführung auf der Auslass-Seite zum 2z-Rotor
- 6.z.2.3 = Wasserzuführung auf der Auslass-Seite zum 3z-Rotor

Bei dem auf der Auslass-Seite (1.2) dargestellten Druckwasser (16) sind je Spindelrotor folgende Bezeichnungen zu unterscheiden:

5     • 16.2 = Druckwasser zum 2z-Rotor (2)

16.3 = Druckwasser zum 3z-Rotor (3)

Die Aufteilung zwischen 7.z und 6.z je Spindelrotor erfolgt über die Querschnitte und Bohrungsanzahl bei den Zuführungen.

Durch die Regulierbarkeit jedes Wasserstroms hinsichtlich Volumenstrom, Druck und 10 Temperatur wird im Betrieb die jeweils effizienteste, also der geringste Gesamt-Energiebedarf, Arbeitsweise im Betrieb erreicht.

In den nachfolgenden Figuren 3 und 4 sind die beiden Spindelrotor-Endbereiche, also Einlass- und Auslass-Seite, noch vergrößert dargestellt.

Fig. 3: Diese beispielhafte Schnitt-Darstellung als Detail-Vergrößerung zu Fig. 1 zeigt 15 im Einlass-Bereich (1.1) sowohl für den 2z-Rotor (2) als auch den 3z-Rotor (3) das Radial-Wassergleitlager (6.1) mit der Druckwasser-Zuführung (6.z.1 und 6.z) in dem nur wenige  $\mu\text{m}$ -dicken Gleitlagerspalt (6.s) mit der Abstützlänge (a.L), die mindestens um den Faktor 3 bis 5 kleiner als der Gleitlagerradius R.A ist.

Außerdem ist der am Staurohr-Ende (9.e) eingestellte Spaltabstand s.r zur Staurohr-20 Positionierung dargestellt, um über den eintauchenden Querschnitt das geförderte Staurohwasser hinsichtlich Druck und Menge bei der bekannten Drehzahl-Abhängigkeit an jedem Staurohr (9) einzustellen, wobei je Staurinne (9.s) vorzugsweise mehrere Staurohre (9) am Umfang eintauchen.

Der Abstand  $\Delta$  zur Abtropfnase (8.n) sorgt abhängig von der 25 Aufstellungsorientierung des Verdichters (stehend oder liegend) dafür, dass Leckagewasser der Staurinne (9.s) wieder zugeführt wird.

Fig. 4: Beispielhaft dargestellt als vergrößerte Abbildung aus Fig. 1 für den Auslass-Bereich (1.2) strömt das zugeführte Druckwasser (16) zunächst zur Motorachswasserkühlung (4.a) und dann als Druckwasserzuführung (7z) zum Axial-30 Wassergleitlager (7) sowie als Druckwasserzuführung (6z) zum Radial-Wassergleitlager (6.2) auf der Auslass-Seite.

Dabei trägt das Axial-Wassergleit-Hauptlager (7.1) über den orts- und gestellfeste Abstützring (7.3) die Axialkraft  $F_{ax}$  mit dem Widerlager (7.2) zur axialen

Positionssicherung jedes Spindelrotors in Rotorlängsachsrichtung.

Dabei kann die Motorachswasserkühlung (4.a) natürlich alternativ über ein zusätzliches Innenrohr zur getrennten Zu- und Abführung auch als eigener Kreislauf ausgeführt werden und die Druckwasserzuführungen (6z und 7z) zum Axial-

5 Wassergleitlager sowie zum Radial-Wassergleitlager auf der Auslass-Seite unabhängig von der Motorachswasserkühlung (4.a) separat erfolgen, wenn beispielsweise besondere Temperatur-Anforderungen zu erfüllen sind.

Vorzugsweise können folgende Merkmale vorgesehen sein, einzelne oder mehrere von ihnen:

10 Das Trägerrohr (12) kann auch gleich als Spindelrotorkörper (2 und 3) ausgeführt werden. Die Rotorinnen-Verdampferkühlung (10) ist möglich, aber nur eine Option, weil die Einspritzung W.i wahrscheinlich ausreichen wird. Die Zähnezahl je Spindelrotor (2 und 3) ist vorzugsweise mit 2 zähnigem Gasförder-Außengewinde bzw. vorzugsweise mit 3 zähnigem Gasförder-Außengewinde. Vorzugsweise sind die 15 beiden Spindelrotoren jedoch 2-zähnig ausgeführt. Dadurch ergibt sich ein Vorteil identischer Bauteile. Die Radial- und Axial-Wassergleitlager (6 und 7) sind ein wichtiges Merkmal. Gleichwohl ist es möglich, dass statt dieser Wassergleitlager einfach klassische Wälzlager kinematisch invers verwendet werden, also Lagerinnenring stehend und Lageraußenring drehend ausgeführt. Das Radial- und 20 Axial-Wassergleitlager (6 und 7) ist also nur die beste Option, aber nicht die einzige Ausführung. In der ausführlichen Beschreibung der einzelnen Elemente sind die Merkmale der vorliegenden Erfindung mit den nachfolgenden Erläuterungen zu den Zeichnungen bzw. Fig. Darstellungen nicht einschränkend dargestellt.

Ein Verdichtergehäuse 1 ist vorzugsweise mit einer Einlass-Seite (1.1) mit Druck p1 25 und einer Auslass-Seite (1.2) mit p2 bei einlassseitig mind. 15%-ig größerem Abstand der Spindelrotorachsen als auslassseitig ausgeführt, wobei das Verdichtergehäuse vorzugsweise zugleich den Verdampferraum (13) mit dem Druck p1 und der Verdampfungs-Temperatur t0 vom Verflüssigerraum (14) mit dem Druck p2 und der Kondensations-Temperatur tC über eine in diesem Bereich vorzugsweise 30 zylindrische ØG.1-Gehäuseform trennt, wobei das für einige Anwendungen per Kühlstrom (1.K) gekühlte Verdichtergehäuse vorzugsweise mit einer Isolierung (1.i) zum Verflüssigerraum (14) versehen wird.

Ein Spindelrotor 2 ist vorzugsweise mit 2-zähnigem Gasförder-Außengewinde, welches vorzugsweise aus einer Alu-Legierung besteht, kurz "2z-Rotor" genannt,

ausgeführt und an jedem stirnseitigen Ende über Wassergleitlagerbuchsen (6) auf seiner eigenen Trägerachse (5) abgestützt.

Ein Spindelrotor 3 ist vorzugsweise mit 3-zähnigem Gasförder-Außengewinde, welches vorzugsweise aus einer Alu-Legierung besteht, kurz "3z-Rotor" genannt,  
5 ausgeführt und an jedem stirnseitigen Ende über Wassergleitlagerbuchsen (6) auf seiner eigenen Trägerachse (5) abgestützt.

Ein Außenläufer-Motor 4 für jeden Spindelrotor ist vorzugsweise als Synchronmotor ausgeführt und/oder zwischen beiden Spindelrotor-Lagern (6) im Rotorinneren (also unterhalb des Gasförder-Außengewinde-Fußkreises) positioniert. Dabei können die  
10 Motorkabel (4.K) per Zentralbohrung in der Trägerachse (5) aus dem Verdichter geführt werden. Es kann eine elektronische Motorpaar-Synchronisation (20) für den berührungsfreien Arbeitslauf der Spindelrotorpaarung im Betrieb ausgeführt sein.

Ein Motorstator 4.1 ist vorzugsweise mit Motorkabeln (4.K) und vorzugsweise vergossenen Motorwicklungen ausgeführt, wobei dann vorzugsweise das Statorpaket  
15 dreh- und ortsfest auf jeder Trägerachse (5) sitzt und vorzugsweise unter dem Druck p1 steht und über die Motorachswasserkühlung (4.a) die Motorverlustwärmе über den Druckwasserstrom (16) abgeführt wird.

Ein Motorrotor 4.2 ist vorzugsweise drehfest mit dem jeweiligen Spindelrotor (2, 3) verbunden, vorzugsweise ist er mit Permanentmagneten ausgeführt, mit dem Innen-  
20 Radius R.M und hinsichtlich der Zentrifugalkräfte entsprechend gesichert

Eine gestell-/ortsfeste Trägerachse 5 für jeden Spindelrotor ist vorzugsweise über die gesamte Rotorlänge durchgehend ausgebildet und je Seite von Achsträgern (8.1 und 8.2) gehalten, die sich am Verdichtergehäuse (1) abstützen, wobei vorzugsweise zur gezielten Spieleinstellung die axiale Positionierung jedes  
25 Spindelrotors im Verdichtergehäuse vorzugsweise über Wellenmuttern (5.W) an jedem Ende der Trägerachse (5) und/oder über Schälscheiben (5.s) zwischen den Achsträgern (8) und dem Verdichtergehäuse (1) erfolgt.

Ein Radial-Wassergleitlager 6 ist vorzugsweise als Gleitlager mit dem Prozesswasser als Schmiermedium zur Aufnahme der Spindelrotor-Radialkräfte mit einer rotorfest  
30 drehenden Gleitlagerlaufbuchse (6.b) mit kurzer Abstützlänge (a.L) ausgeführt, wobei "kurz" kleiner (also vorzugsweise etwa mindestens um Faktor 3 bis 5 kleiner) als der Gleitlagerradius R.A beim Gleitlagerspalt (6.s) bedeutet, und einer vorzugsweise gezielt angepassten Gegenlauffläche (6.g) auf der Trägerachse (5)

sowie mit Druckwasserzuführung (6.z), wobei als Gleitlager-Werkstoff vorzugsweise ein Keramik-Material zu wählen ist.

Ein Axial-Wassergleitlager 7 dient zur Aufnahme der Axialkräfte jedes Spindelrotors. Das Axial-Wassergleit-Hauptlager 7.1 dient zur Aufnahme der Axialkräfte, die im 5 Betrieb des Verdichters durch die Druckdifferenz  $\Delta p = p_2 - p_1$  sowie abhängig von der Verdichter-Aufstellung (stehend / liegend) durch die Gewichtskräfte erzeugt werden. Das Axial-Wassergleit-Widerlager 7.2 dient zur axialen Rotorgegenpositionierung und als Widerlager zum Axial-Wassergleit-Hauptlager (7.1), wobei an dieser Lagerstelle am kleineren Innen-Durchmesser der Druck  $p_1$  10 anliegt und am Außen-Durchmesser der Druck  $p_2$  herrscht, also die nötige Drucktrennung bei der (vorzugsweise) durchgehenden Trägerachse (5) erfolgt.

Ein mit der Trägerachse fest verbundener Abstützring 7.3 hat Druckwasserzuführungen (7.z) zu jeder Axialgleitlagerfläche, wobei über die Querschnitte und Anzahl dieser Zuführungen die jeweilige Druckwassermenge 15 spezifisch zu jedem Wassergleitlager eingestellt wird.

Ein Achsträger 8 dient zur Fixierung und Aufnahme jedes Trägerachs-Endes mit Abstützung am Verdichter-gehäuse (1) auslassseitig als (8.2) und einlassseitig als (8.1) und ist über Kragarme (8.K) ausgeführt, um insbesondere am Einlass (1.1) den Durchtritt des Fördermediums zu ermöglichen.

20 Staurohre 9 dienen zur Rückführung (9.r) des aus den Gleitlagern austretenden Lagerschmierungswassers mit Staurinne (9.s) zur Sammlung dieses Wassers über die Durchlass-Öffnungen (9.d), die sowohl Wasser als auch Wasserdampf aus dem Rotorinnen-Achsraum passieren lassen, vorzugsweise mit Ausbildung des Zentrifugal-Wasserrings, in den die gekröpften Staurohr-Enden (9.e) zielgerecht eintauchen, wobei die zum Sammelbehälter (15) zurückzuführende Wassermenge 25 (9.r) über Anzahl, Querschnitt und jeweilige Eintauchtiefe der Staurohre angepasst wird, und zudem Leckagewasser per Abstand  $\Delta$  zur Abtropfnase (8.n) der Staurinne (9.s) zugeführt wird, und über unterschiedlich tiefes Eintauchen sowie entsprechende Querschnitts-Gestaltung die abzuführende Wassermenge eingestellt wird, wobei das gekröpfte Staurohrende (9.e) sowohl die Montage als auch die Positionierung (insbes. die Eintauchtiefe mit dem Spaltabstand s.r zum Rinnenboden) gezielt ermöglicht.

Die Rotorinnen-Verdampferkühlung ist für alle Applikationen mit besonderen Temperatur-Anforderungen zylindrisch ausgeführt unter den Druck  $p_1$  mit gezielter

Wasser-Zuführung (10.z) per Zuführrohr (10.r) und Dampfaustritt (10.d) auf der Einlass-Seite (1.1).

Mindestens eine Wasserpumpe 11 ist extern (separat) zur Versorgung der Gleitlager mit Druckwasser reguliert hinsichtlich Druck und Volumenstrom, z.B. mit 7 bar bei 6

- 5 Liter/min vorgesehen, wobei üblicherweise das Axialgleitlager (7) mehr Wasser als das Radialgleitlager (6) benötigt, was über die Ausführung hinsichtlich Durchmesser und Anzahl der Zuführbohrungen (6.z und 7.z) erfolgt, wobei die Wasserpumpe (11) insbesondere beim Start des Verdichters zunächst den Wassergleitlagern (6 und 7) die erforderliche Wassermenge für den sogen. "hydrostatischen" Schmierfilmaufbau 10 zuführt, was besonders beim Starten für ein Radiallager mit stehender Achse und rotierender Laufbuchse wichtig ist, weil der Aufbau des hydrodynamischen Schmierfilms durch die Rotationsbewegung anders als bei zentral drehender Welle erfolgt. Die Wasserpumpe (11) bedient sich aus dem Sammelbehälter (15), der geodätisch um die Höhendifferenz  $\Delta h$  oberhalb der Wasserpumpe (11) angeordnet 15 ist, wobei mit zunehmender Verdichter-Drehzahl die Wasserpumpe (11) durch die Staurohrpumpen (9) entlastet wird, indem die Staurohrpumpen (9) drehzahlabhängig zunehmend mehr Wasserdruck aufbauen.

- Das Trägerrohr 12 dient zur Erzeugung der erforderlichen Biegesteifigkeit, insbesondere durch die Materialwahl (beispielsweise als rostfreier Stahl) für jede 20 Spindelrotor-Rotationseinheit, wobei der Spindeltotor-außengewindekörper (vorzugsweise aus einer Alu-Legierung bestehend) sich auf diesem Träger-rohr außen drehfest abstützt und dieses Trägerrohr auf der Innenseite sowohl die Wassergleitlager hält als auch den Motorrotor (4.2) zur Einleitung der Antriebsleistung in den Spindelrotor, um die Verdichteraufgabe zu erfüllen.

- 25 Der Verdampferraum 13 steht im Betrieb unter dem Druck p1 und hat eine Topfhaube (13.h) am Verdichtergehäuse (1), über dessen vorzugsweise ØG.1-Gehäusegestaltung er in diesem Bereich abdichtend gehalten wird, er ist vorzugsweise mit einer wärmetechnischen Isolierung (13.i) versehen.

- Der Verflüssigerraum 14 steht im Betrieb unter dem Druck p2 steht. Er hat eine 30 Topfhaube (14.h) am Verdichtergehäuse (1), über dessen vorzugsweise ØG.1-Gehäusegestaltung er in diesem Bereich abdichtend gehalten wird.

Der Sammelbehälter 15 für das Prozesswasser steht geodätisch um  $\Delta h$  über der Wasserpumpe (11), er ist vorzugsweise nicht nur für das Rückführwasser (9.r), sondern auch für Systemwasser (S.W) vorgesehen.

Der Druckwasserstrom 16 wird von der Wasserpumpe (11) gefördert und am auslassseitigen Ende jeder Trägerachse (5) zentral zugeführt. Wobei dieses Wasser vorzugsweise zunächst die Motorachswasser-kühlung (4.a) durchströmt und dann über Zuführungen (7.z) zum Axial-Wassergleitlager (7) sowie über die Zuführung 5 (6.z) zum auslassseitigen Radial-Wassergleitlager (6.2) an jedem Spindelrotor strömt. Wobei am einlassseitigen Ende jeder Trägerachse die Wasserzuführung (6.z) ebenfalls von der Wasserpumpe reguliert unter dem geforderten Druck und Volumenstrom erbracht wird, wobei applikationsspezifisch per Wärmetauscher 10 (16.W) die Wassertemperatur je Teilstrom zur Leistungs-optimierung gezielt eingestellt wird, und außerdem die Wasserpumpe auch die Wasser-Einspritzung (W.i) mit Sprühnebel-Bildung in den Verdichter-Arbeitsraum übernimmt, um die Verdichter-Effizienz zu erhöhen, wobei die Wasserpumpe (11) für die verschiedenen Betriebsbedingungen gezielt regulierbar ist (dargestellt durch den Pfeil in dem Symbol) hinsichtlich Volumenstrom und erzeugtem Druck, wobei jeder 15 Wärmetauscher (16.W) in jedem der genannten Druckwasser-Teilströme die Wassertemperatur in jedem Betriebspunkt einstellt, um den geringsten Gesamtenergiebedarf zu erreichen.

Der Wärmetauscher 16.C dient zur externen Wärmeabführung bei "Direktverflüssigung" über Kühlung für kondensiertes Wasser (W.C), welches dann zurückgeführt als "Regentropfenwald" (R.T) zur direkten Kontakt-Kondensation im Verflüssigerraum (14) genutzt wird.

Ein Wärmetauscher 16.W ist in den Druckwasser-Zuführungen zu folgenden Stellen angeordnet:::

- Druckwasserzufluss (6.z.1) zum Radial-Wassergleitlager (6.1) auf der Einlass-Seite
  - Druckwasserzufluss (6.z.2) zum Radial-Wassergleitlager (6.2) auf der Auslass-Seite
  - Druckwasserzufluss (7.z) zum Axial-Wassergleitlager (7)
  - Druckwasserzufluss (16) zum Motorachswasserkühlung (4.a)
  - Druckwasserzufluss (W.i) zur Einspritzung in den Verdichter-Arbeitsraum
- 30 sowie applikationsspezifisch außerdem mit gezielter (Kühl-)Wasserzuführung zu folgenden Stellen:
- Rotorinnenkühlung (10)

- Gehäusekühlung (1.K).

Wenn beispielsweise bei Stromausfall die elektronische Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation 20 zunächst zwar in generatorischen Betrieb geht, um synchronisiert (also ohne mechanische Berührung zwischen den Spindelrotoren)

- 5 gezielt herunterzufahren, aber bei geringen Drehzahlen die kinetische Energie zur Stromversorgung nicht mehr ausreicht, dann sorgt eine Notfall-Synchro-Verzahnung 17 dafür, dass die kritische Berührung zwischen den Arbeitskammerflanken des Gasförder-Außengewindes beider Spindelrotoren (2 und 3) vermieden wird, wobei es bei der Ausführung zur elektronischen Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation (20)
- 10 auch Lösungen gibt, bei denen diese Notfall-Synchro.-Verzahnung entfällt, also gar nicht mehr eingebaut wird.

Eine Siphon-Verbindung oder weiterreden dient 18 zur Wasser-Umführung am Motor mit zur Einlass-Seite führenden Austritt-bohrungen (18.a) für den Fall, dass der Motor (4) größer auszuführen ist, also wenn  $R.M > R.R$  ist.

- 15 Anzustreben ist insbesondere bei der Motorauslegung jedoch vorzugsweise folgende Bedingung:

$$R.M < R.R.$$

Eine Vakuumpumpe 19 mit entsprechender Wasserdampfverträglichkeit wird zur Erzeugung des Unterdrucks in dem R718-Gesamtsystem, insbesondere genutzt, um

- 20 Fremdgase, die in das R718-Vakumsystem eingedrungen sind, als Evakuierungsvorgang bei Betriebsstillstand wieder abzupumpen.

- Eine elektronische Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation 20 (als Blockkasten mit  $\mu C + 2FU$  dargestellt) hat einen Mikro-Controller (als  $\mu C$  gezeigt), der die beiden Frequenzumrichter (als FU benannt) zu jedem Antriebsmotor (4) für jeden 25 Spindelrotor (2 und 3) derart reguliert (steuert), dass die beiden Spindelrotoren im Betrieb ohne Berührung gegensinnig rotierend arbeiten.

- Wenn der Außenläufer-Motor (4) einen Luftspalt-Radius  $R.M$  kleiner als der Staurinnenwasser-Radius  $R.R$  hat, strömt jegliches Wasser im Rotorinnenraum über 30 ein stetiges Radius-Gefälle fliehkraftbedingt vom Motor (4) zur Staurinne (9.r) und führt dabei Verlustwärme insbesondere durch seine teilweise Verdampfung ab.

Vorzugsweise ist mindestens ein Achsträger (8) vorgesehen und ist je Spindelrotor die Trägerachse (5) an jedem Ende über Achsträger (8) drehfest gehalten. Dabei

wird vorzugsweise die axiale Positionierung insbesondere zur gezielten Spieleinstellung zwischen Spindelrotorkopf und Verdichtergehäuse-Arbeitsraumbohrung über eine nichtzylindrische Spindelrotoraßenform erreicht und erfolgt vorzugsweise über Wellenmuttern (5.W) und/oder Schälscheiben (5.s).

5

Um bei einer Verdichtung von Wasserdampf als R718 insbesondere für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpen-Technik das zuverlässige und effiziente Betriebsverhalten zu verbessern bei gleichzeitig geringerem Bauvolumen sowie reduzierten Anschaffungs- und Betriebs-Kosten, werden für eine 2-Wellen-

10 Rotationsverdrängermaschine bei jedem Spindelrotor (2 und 3) Radial- und Axial-Wassergleitlager (6 und 7) auf einer feststehenden durchgehenden Trägerachse (5) mit integriertem Außenläufer-Motor je Spindelrotor (2 und 3) bei elektronischer Motorpaar-Synchronisation (20) vorgeschlagen, wobei Staurohrpumpen (9) an jedem Spindelrotorende das aus den Wassergleitlagern 15 (6 und 7) austretende Wasser aufnehmen und drehzahlabhängig die Wasserpumpe (11) zur Druckwasserversorgung (16 sowie 6.z und 7.z) entlasten, wobei außerdem die Trennung zwischen p1 als Einlass- und p2 als Auslass-Druck des Verdichters an der durchgehenden Trägerachse (5) vorzugsweise am Axial-Wassergleit-Widerlager (7.2) erfolgt, sowie überdies an 20 jedem Spindelrotor die Biegesteifigkeit per Trägerrohr (12) erzeugt wird.

### Bezugszeichenliste

- 1 Verdichtergehäuse
- 1.1 Verdichter-Einlass-Seite im Betrieb mit dem Druck p1
- 1.2 Verdichter-Auslass-Seite im Betrieb mit dem Druck p2
- 1.K Gehäuse-Kühlstrom
- 1.i Gehäuse-Isolierung
- 2 Spindelrotor
- 3 Spindelrotor
- 4 Außenläufer-Motor
  - 4.1 Motorstator
  - 4.2 Motorrotor
  - 4.a Motorachswasserkühlung
  - 4.K Motorkabel
- 5 Trägerachse
- 5.s Schälscheiben
- 5.W Wellenmuttern
- 6 Radial-Wassergleitlager
  - 6.1 Radial-Wassergleitlager auf der Verdichter-Einlass-Seite (1.1), wo der Druck p1 herrscht

- 6.2 Radial-Wassergleitlager auf der Verdichter-Auslass-Seite (1.2), wo der Druck p2 herrscht
- 6.b Gleitlagerlaufbuchse, drehfest am jedem Ende des jeweiligen Spindelrotors (2, 3)
- 6.g Gegenlauffläche auf der gestellfesten Trägerachse (5)
- 6.s Gleitlagerspalt zwischen Gleitlagerlaufbuchse (6.b) und Gegenlauffläche (6.g)
- 6.z Druckwasserzuführungen zum Radial-Wassergleitlager
- 7 Axial-Wassergleitlager
- 7.1 Axial-Wassergleit-Hauptlager
- 7.2 Axial-Wassergleit-Widerlager
- 7.3 Abstützring
- 7.z Druckwasserzuführungen zum Axial-Wassergleitlager
- 8.K Kragarme
- 8.1 einlassseitige Kragarme
- 8.2 auslassseitige Kragarme
- 8.n Abtropfnase
- 9 Staurohre
- 9.d Durchlass-Öffnungen
- 9.e Staurohr-Ende
- 9.r Wasserrückführung per Staurohr
- 9.s Staurinne

- 10 Rotorinnen-Verdampferkühlung
- 10.d Dampfaustritt
- 10.r Zuführrohr
- 10.z Wasserzuführung
- 11 Wasserpumpe
- 12 Trägerrohr
- 13 Verdampferraum
- 13.h Verdampferraum-Topfhaube
- 13.i Verdampferraum-Isolierung
- 14 Verflüssigerraum
- 14.h Verflüssigerraum-Topfhaube
- 15 Sammelbehälter
- 16 Druckwasserstrom
- 16.C Wärmetauscher
- 16.W Wärmetauscher
- 17 Notfall-Synchro.-Verzahnung
- 18 Siphon-Verbindung
- 19 Vakuumpumpe
- 20 Elektronische Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation

Liste der Kennzeichnungen:

- ØG.1 Durchmesser am Verdichtergehäuse (1) im vorzugsweise zylindrischen Trenn-Bereich von Verdampferraum (13) und Verflüssigerraum (14)
- a.L Abstützlänge zwischen Gleitlagerbuchse (6.b) und Achsträger (8), wobei der Wert für (a.L) vorzugsweise um mindestens Faktor 3 bis 5 kleiner ist als der Gleitlagerspalt-Radius (R.A)
- Δ Abstand zwischen Abtropfnase (8.n) und Staurinne (9.s), um abhängig von der Aufstellungsorientierung der Verdichtermaschine (stehend oder liegend) Leckagewasser der Staurinne (9.s) zuzuführen
- Δh geodätische Höhendifferenz, um die der Sammelbehälter (15) über der Wasserpumpe (11) steht
- $F_{ax}$  Axialkräfte je Spindelrotor, entstehend durch die Druckdifferenz zwischen  $p_2$  und  $p_1$  sowie abhängig von der Verdichteraufstellung (also stehend oder liegend) die Rotorgewichtskräfte
- R.A Radius im Gleitlagerspalt (6.s) am Radial-Wassergleitlager (6)
- R.M Innen-Radius (auch Luftspalt-Radius) des Motorrotors (4.2), der vorzugsweise stets kleiner als der Staurinnenwasser-Radius R.R ausgeführt wird.
- R.R Radius zum Staurinnenwasser, welches von mehreren Staurohren (9) als Rückstrom (9.r) gefördert wird, wobei der Wert für R.R vorzugsweise nicht kleiner als R.M ausgeführt wird, damit im Motorbereich das Wasser fliehkraftbedingt zu jeder Staurinne (9.s) an jedem Spindelrotorende getrieben wird.
- R.T Regentropfenwald als Oberflächen-Maximierung zur direkten Kontakt-Kondensation im Verflüssigerraum (14)
- s.r Spaltabstand des jeweiligen Staurohr-Endes (9.e) zum Boden der Staurinne (9.r)

S.W Systemwasser zur Erfüllung der Kernaufgabe des R718-Verdrängerverdichtersystems:

- Verdampfung mit Wärmeaufnahme im Verdampferraum (13) unter dem Druck  $p_1$
- Verdichtung von R718 vom Druck  $p_1$  auf Druck  $p_2$  in der Verdrängermaschine mit den beiden gegenläufigen Spindelrotoren (2 und 3)
- Verflüssigung (vorzugsweise als "Direktverflüssigung" ausgeführt) mit Wärmeabgabe im Verflüssigerraum (14) unter dem Druck  $p_2$

W.C Kondensiertes Wasser zur "Direktverflüssigung" über den externen Wärmetauscher (16.c) gekühlt und dann zurückgeführt als "Regentropfenwald" (R.T) im Verflüssigerraum (14) zur direkten Kontakt-Kondensation unter dem Druck  $p_2$  genutzt

W.i Wassereinspritzung in den Verdichter-Arbeitsraum, vorzugsweise als feiner Sprühnebel und etwa im Bereich der halben Rotorlänge mit  $\pm 30\%$

## Patentansprüche

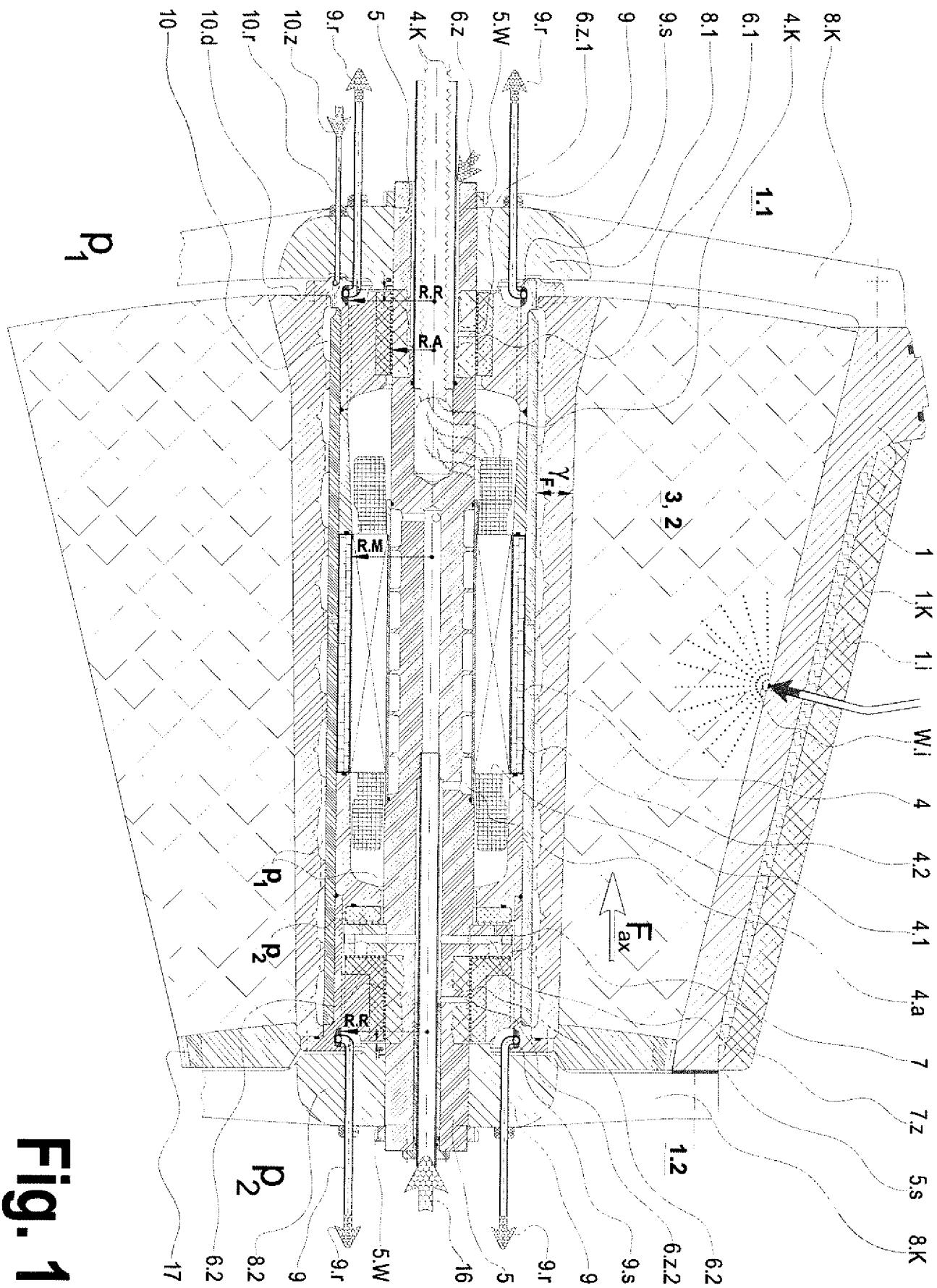
1. R718-Verdichter mit einer 2-Wellen-Rotations-Verdrängermaschine zur Förderung und Verdichtung gasförmiger Fördermedien, vorzugsweise Wasserdampf, die ein Verdichtergehäuse (1), das einen Verdichter-Einlass (1.1) und einen Verdichter-Auslass (1.2) hat, und ein in diesem Verdichtergehäuse (1) gelagertes Spindelrotorpaar (2 und 3) aufweist, wobei im Betrieb ein Druck  $p_1$  am Verdichter-Einlass (1.1) und ein gegenüber  $p_1$  höherer Druck  $p_2$  am Verdichter-Auslass (1.2) herrschen,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
für jeden Rotor (2, 3) des Spindelrotorpaars (2 und 3) eine feststehende und durchgehende Trägerachse (5) im Verdichtergehäuse (1) angeordnet ist, und zur elektronischen Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation (20) der Antrieb jedes Spindelrotors (2 und 3) jeweils als Außenläufer-Motor (4), vorzugsweise als Synchronmotor, ausgeführt ist, wobei ein Motorstator (4.1) des Außenläufer-Motors (4) mit seinen Wicklungen auf der Trägerachse (5) fest montiert ist und ein Motorrotor (4.2) des Außenläufer-Motors (4) drehfest mit dem Spindelrotor verbunden ist.
2. R718-Verdichter nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Verdichter Wassergleitlager (6 und 7) für die Lagerung jedes Spindelrotors (2 und 3) aufweist, wobei jeweils an jedem Ende eines jeden Rotors (2, 3) ein Wassergleitlager (6 und 7) vorgesehen ist, dass jedes Wassergleitlager (6 und 7) eine Laufbuchse (6.b), die drehbar auf der Trägerachse (5) angeordnet ist, und ein Axial-Wassergleitlager (7) aufweist, das einen im Verdichtergehäuse (1) befestigten Abstützring (7.3) hat.
3. R718-Verdichter nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Außenläufer-Motor (4) einen Luftspalt-Radius R.M kleiner als der Staurinnenwasser-Radius R.R hat.

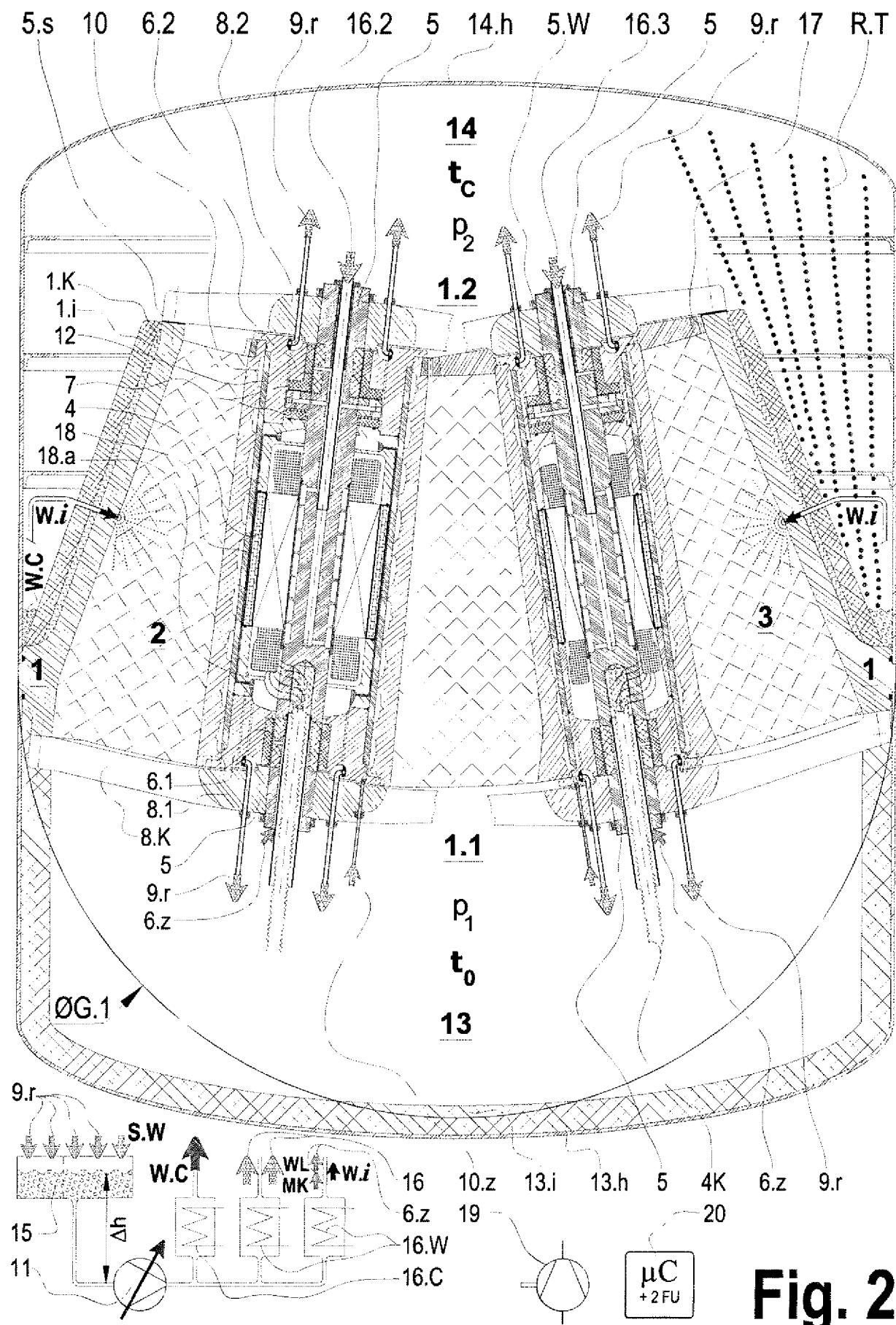
4. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Wasserpumpe (11) für die Druckwasserversorgung der Wassergleitlager (6 und 7) vorgesehen ist, dass die Druckwasserversorgung vorzugsweise einen Sammelbehälter (15), der sich geodätisch oberhalb der Wasserpumpe (11) befindet, aufweist, und dass vorzugsweise die Wasserpumpe (11) insbesondere beim Starten des Verdichters für den nötigen hydrostatischen Wasserdruck in jedem Wassergleitlager (6 und 7) bei jedem Spindelrotor sorgt.
5. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
mindestens eine Staurohrpumpe (9) vorgesehen ist, die an jedem Spindelrotorende das aus den Wassergleitlagern (6 und 7) austretende Wasser aufnehmen und dem gegebenenfalls vorhandenen Sammelbehälter (15) zuführen, und dass vorzugsweise die Wasserpumpe (11) mit zunehmender Verdichter-Drehzahl (vorzugsweise) durch die Staurohrpumpen (9) entlastet wird.
6. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Drucktrennung zwischen  $p_1$  und  $p_2$  an der durchgehenden Trägerachse (5) am Axial-Wassergleit-Widerlager (7.2) erfolgt, und dass vorzugsweise am größeren Radius der höhere Druck  $p_2$  und am kleineren Radius der geringere Druck  $p_1$  anliegt.
7. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
mindestens ein Achsträger (8) vorgesehen ist, und dass je Spindelrotor die Trägerachse (5) an jedem Ende über Achsträger (8) drehfest gehalten ist, und dass vorzugsweise die axiale Positionierung insbesondere zur gezielten Spieleinstellung zwischen Spindelrotorkopf und Verdichtergehäuse-Arbeitsraumbohrung über die nichtzyldrische Spindelrotoraßenform vorzugsweise über Wellenmuttern (5.W) und/oder Schälscheiben (5.s) erfolgt.

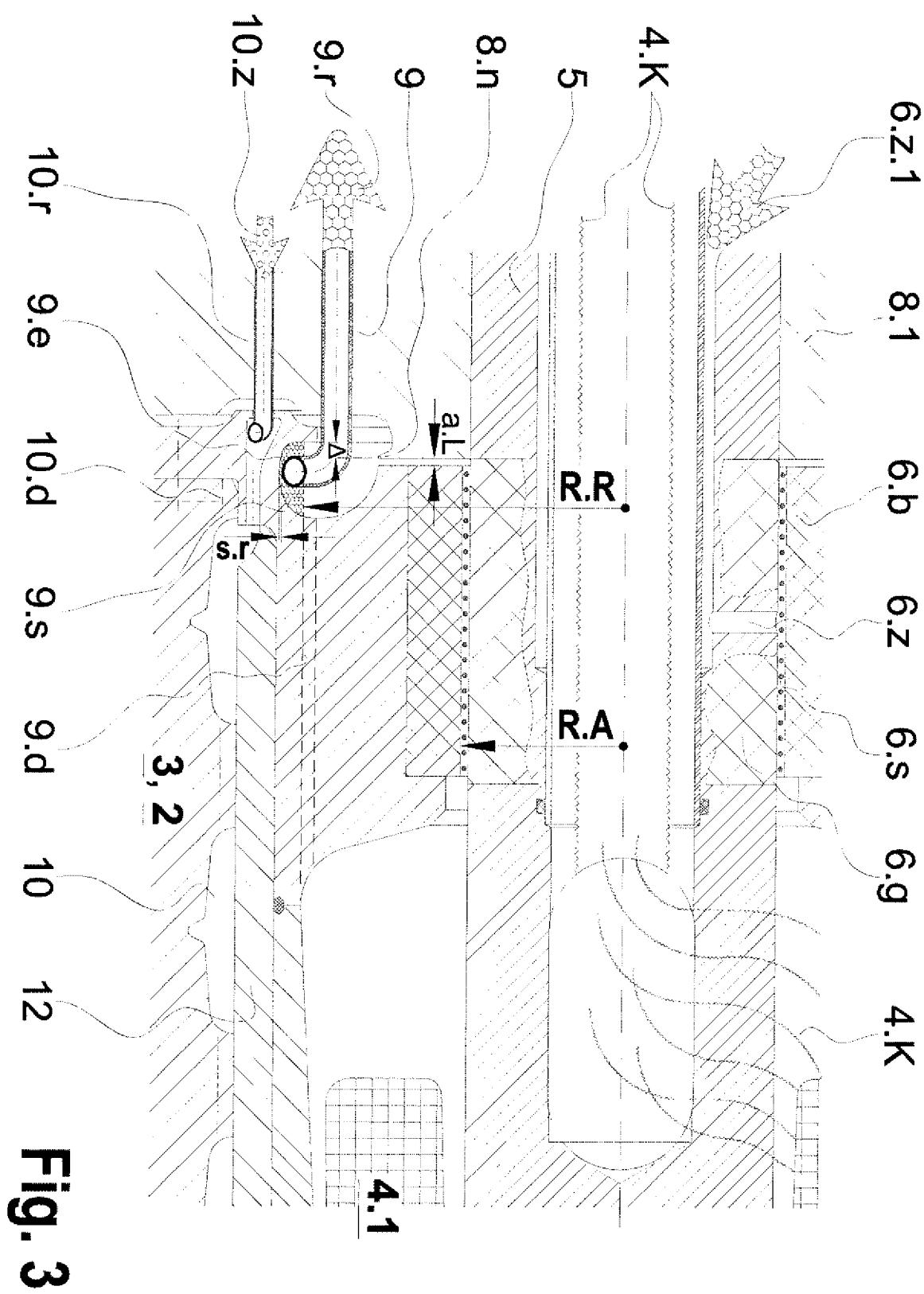
8. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
jeder Spindelrotor (2, 3) mit einem Trägerrohr (12) derart ausgestattet ist, dass die erforderliche Biegesteifigkeit erzielt wird, wobei auf jedem Trägerrohr der Fördergewinderotor mit dem Gasförder-Außengewinde drehfest sitzt, der applikationsspezifisch mit zylindrischer Rotorinnen-Verdampferkühlung (10) unter dem Druck  $p_1$  mit Wasserversorgung mittels Zuführrohr (10.r) und Wasserdampf-Austritt (10.d) auf der Einlass-Seite (1.1) ausgeführt wird.
9. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
bei jedem Staurohr (9) über dessen gekröpftes Rohrende (9.e) durch Drehung des Staurohrs bei der Montage mit dem Spaltabstand (s.r) zum Boden der Staurinne (9.s) die Eintauchtiefe in den durch die Fliehkräfte erzeugten Wasserring in der Staurinne (9.s) derart gezielt eingestellt wird, dass über Anzahl und Positionierung der Staurohrpumpen deren geförderte Wassermenge (9.r) stets im Gleichgewicht zu den Wasserzuführmengen (6z und 7z) je Spindelrotorseite steht, wobei die Staurinne (9.r) mit dem austretenden Wasser der Wassergleitlager (6 und 7) gefüllt ist und dieses Wasser durch die Fliehkräfte einen Wasserring in der Staurinne (9.s) bildet.
10. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
jeder Spindelrotor (2 und 3) als fertig montierte und komplett gewuchtete Rotationseinheit ausgeführt wird, wobei für den Fall, dass die Notfall-Synchro.-Zahnräder (17) für die elektronische Motorpaar-Spindelrotor-Synchronisation (20) benötigt werden, diese Notfall-Synchro.-Zahnräder (17) auf der Auslass-Seite jedes Spindelrotors positioniert werden.
11. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das eine Steuerung für des von der Wasserpumpe (11) gelieferten

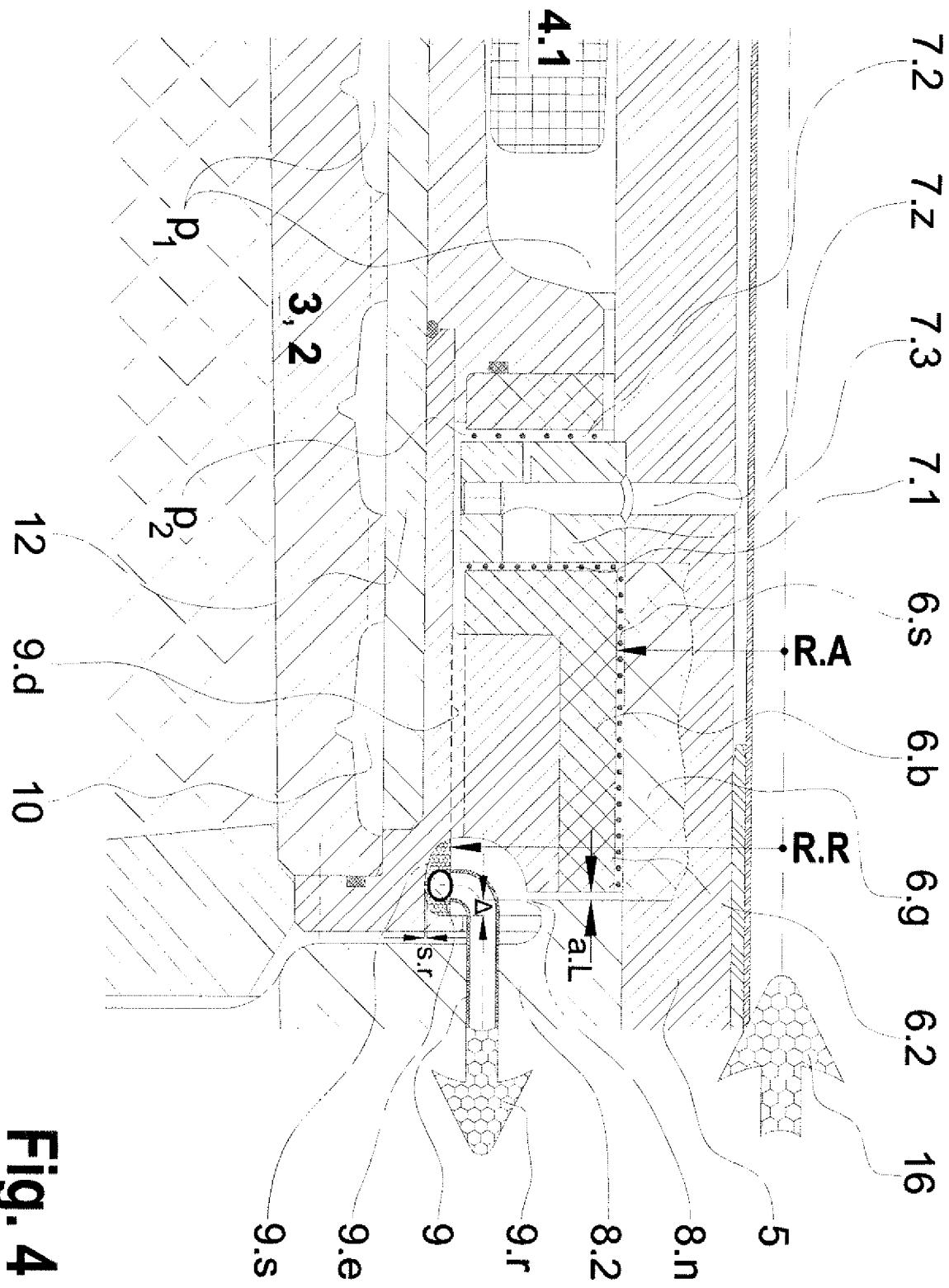
Druckwassers (16 und als Zuführung 6.z und 7.z zu den Wassergleitlagern) vorgesehen ist, die vorzugsweise so arbeitet, dass im Betrieb gezielt die Wasserpumpe (11) hinsichtlich Druck und Volumenstrom sowie temperaturmäßig über den Wärmetauscher (16.W) derart reguliert wird, dass die Lagerverluste minimiert werden.

12. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Radialkräfte an jedem Spindelrotor-Ende über Laufbuchsen (6.b) drehend auf einer feststehenden und durchgehenden Trägerachse (5) mit geringer\*<sup>\*\*</sup>(\*<sup>\*\*</sup> in der Bezugszeichenliste benannt) Abstützlänge (a.L) abgestützt werden und die Axialkräfte jedes Spindelrotors über Axial-Wassergleitlager (7, als 7.1 und 7.2) vom gestellfesten Abstützring (7.3) ebenfalls von dieser Trägerachse (5) aufgenommen werden, wobei jede Trägerachse (5) über Achsträger (8) mit Kragarmen (8.K) am Verdichtergehäuse (1) befestigt ist,
13. R718-Verdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Motorverlustwärme über die Achswasserkühlung (4.a) maßgeblich abgeführt wird und der Außenläufer-Motor (4) im Betrieb unter dem Druck p1 steht und seine Motorkabel (4.K) in einer Bohrung der Trägerachse (5) vorzugsweise zur Einlass-Seite (1.1) herausgeführt werden.

**Fig. 1**

**Fig. 2**





**Fig. 4**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/054282

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**F04C 18/56**(2006.01)i; **F04C 29/00**(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)

F04C

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	WO 2016048773 A1 (AFSHARI THOMAS [US]) 31 March 2016 (2016-03-31)	1,10
A	paragraphs [0007], [0024], [0027], [0028], [0031] paragraphs [0038], [0051] - [0056], [0063], [0073] figures 1,4,5	2-9,11-13
A	WO 9913224 A1 (SVENSKA ROTOR MASKINER AB [SE]; TIMUSKA KARLIS [SE] ET AL.) 18 March 1999 (1999-03-18) page 5, line 3 - page 8, line 24 figures 3,7	1-13
A	DE 19809957 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 09 September 1999 (1999-09-09) column 2, line 62 - column 3, line 40 figure 2	1-13
A	US 2016186757 A1 (COLLINS JAMES CHRISTOPHER [US]) 30 June 2016 (2016-06-30) paragraphs [0010], [0011]; claims 1,2	1-13
A	DE 102013009040 A1 (STEFFENS RALF [DE]) 04 December 2014 (2014-12-04) paragraphs [0012], [0024] claim 1; figures 1,4	1-13

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  <b>14 May 2019</b>	Date of mailing of the international search report  <b>22 May 2019</b>
---	--

Name and mailing address of the ISA/EP  <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b>  Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016	Authorized officer  <b>Bocage, Stéphane</b>  Telephone No.
---	--

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

**PCT/EP2019/054282****C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102014008288 A1 (STEFFENS RALF [DE]) 03 December 2015 (2015-12-03) claim 1; figures	1-13

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/054282**

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
WO	2016048773	A1		31 March 2016		AU	2015321757	A1	04 May 2017
						BR	112017005617	A2	19 December 2017
						CA	2962073	A1	31 March 2016
						CN	208474100	U	05 February 2019
						EP	3198146	A1	02 August 2017
						EP	3467310	A1	10 April 2019
						JP	2017529506	A	05 October 2017
						KR	20170063776	A	08 June 2017
						RU	2017113738	A	24 October 2018
						SG	11201702336R	A	27 April 2017
						WO	2016048773	A1	31 March 2016
WO	9913224	A1		18 March 1999		DE	69817369	T2	24 June 2004
						EP	1007853	A1	14 June 2000
						JP	4121247	B2	23 July 2008
						JP	2001515992	A	25 September 2001
						KR	20010023249	A	26 March 2001
						US	6302667	B1	16 October 2001
						WO	9913224	A1	18 March 1999
DE	19809957	A1		09 September 1999		AT	278110	T	15 October 2004
						DE	19809957	A1	09 September 1999
						EP	0942172	A1	15 September 1999
						JP	4282809	B2	24 June 2009
						JP	H11294358	A	26 October 1999
						US	6241490	B1	05 June 2001
US	2016186757	A1		30 June 2016		NONE			
DE	102013009040	A1		04 December 2014		DE	102013009040	A1	04 December 2014
						WO	2014191362	A1	04 December 2014
DE	102014008288	A1		03 December 2015		AU	2015270514	A1	22 December 2016
						CA	2951067	A1	10 December 2015
						CN	106536935	A	22 March 2017
						DE	102014008288	A1	03 December 2015
						EP	3152441	A1	12 April 2017
						JP	2017518463	A	06 July 2017
						KR	20170013345	A	06 February 2017
						US	2017089342	A1	30 March 2017
						WO	2015185624	A1	10 December 2015

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/054282

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. F04C18/56 F04C29/00  
 ADD.

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

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**F04C**

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	WO 2016/048773 A1 (AFSHARI THOMAS [US]) 31. März 2016 (2016-03-31)	1,10
A	Absätze [0007], [0024], [0027], [0028], [0031] Absätze [0038], [0051] - [0056], [0063], [0073] Abbildungen 1,4,5	2-9, 11-13
A	----- WO 99/13224 A1 (SVENSKA ROTOR MASKINER AB [SE]; TIMUSKA KARLIS [SE] ET AL.) 18. März 1999 (1999-03-18) Seite 5, Zeile 3 - Seite 8, Zeile 24 Abbildungen 3,7	1-13
A	----- DE 198 09 957 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 9. September 1999 (1999-09-09) Spalte 2, Zeile 62 - Spalte 3, Zeile 40 Abbildung 2	1-13
	----- -/-	



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
14. Mai 2019	22/05/2019
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  Bocage, Stéphane

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/054282

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2016/186757 A1 (COLLINS JAMES CHRISTOPHER [US]) 30. Juni 2016 (2016-06-30) Absätze [0010], [0011]; Ansprüche 1,2 -----	1-13
A	DE 10 2013 009040 A1 (STEFFENS RALF [DE]) 4. Dezember 2014 (2014-12-04) Absätze [0012], [0024] Anspruch 1; Abbildungen 1,4 -----	1-13
A	DE 10 2014 008288 A1 (STEFFENS RALF [DE]) 3. Dezember 2015 (2015-12-03) Anspruch 1; Abbildungen -----	1-13
1		

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/054282

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
WO 2016048773 A1	31-03-2016	AU 2015321757 A1 BR 112017005617 A2 CA 2962073 A1 CN 208474100 U EP 3198146 A1 EP 3467310 A1 JP 2017529506 A KR 20170063776 A RU 2017113738 A SG 11201702336R A WO 2016048773 A1			04-05-2017 19-12-2017 31-03-2016 05-02-2019 02-08-2017 10-04-2019 05-10-2017 08-06-2017 24-10-2018 27-04-2017 31-03-2016
WO 9913224 A1	18-03-1999	DE 69817369 T2 EP 1007853 A1 JP 4121247 B2 JP 2001515992 A KR 20010023249 A US 6302667 B1 WO 9913224 A1			24-06-2004 14-06-2000 23-07-2008 25-09-2001 26-03-2001 16-10-2001 18-03-1999
DE 19809957 A1	09-09-1999	AT 278110 T DE 19809957 A1 EP 0942172 A1 JP 4282809 B2 JP H11294358 A US 6241490 B1			15-10-2004 09-09-1999 15-09-1999 24-06-2009 26-10-1999 05-06-2001
US 2016186757 A1	30-06-2016	KEINE			
DE 102013009040 A1	04-12-2014	DE 102013009040 A1 WO 2014191362 A1			04-12-2014 04-12-2014
DE 102014008288 A1	03-12-2015	AU 2015270514 A1 CA 2951067 A1 CN 106536935 A DE 102014008288 A1 EP 3152441 A1 JP 2017518463 A KR 20170013345 A US 2017089342 A1 WO 2015185624 A1			22-12-2016 10-12-2015 22-03-2017 03-12-2015 12-04-2017 06-07-2017 06-02-2017 30-03-2017 10-12-2015