

(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  
02. April 2020 (02.04.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/064799 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

F16C 17/02 (2006.01) F16C 32/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/075806

(22) Internationales Anmeldedatum:

25. September 2019 (25.09.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 216 520.3

26. September 2018 (26.09.2018) DE

(71) Anmelder: EBM-PAPST MULFINGEN GMBH & CO.

KG [DE/DE]; Bachmühle 2, 74673 Mulfingen (DE).

(72) Erfinder: SCHIFFMANN, Jürg; Ralligweg 2, 3012 Bern (CH). GUENAT, Eliot; Rue de l'Ecluse 48, 2002 Neuchâtel (CH). SHALASH, Karim; Rue Caselle 3, 2002 Neuchâtel (CH).

(74) Anwalt: JOSTARNDT PATENTANWALTS-AG; Philippsstraße 8, 52068 Aachen (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, 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,

(54) Title: FILM GAS BEARING DEVICE FOR MOUNTING A ROTOR AND METHOD AND USE

(54) Bezeichnung: FOLIENGASLAGERVORRICHTUNG ZUM LAGERN EINES ROTORS SOWIE VERFAHREN UND VERWENDUNG

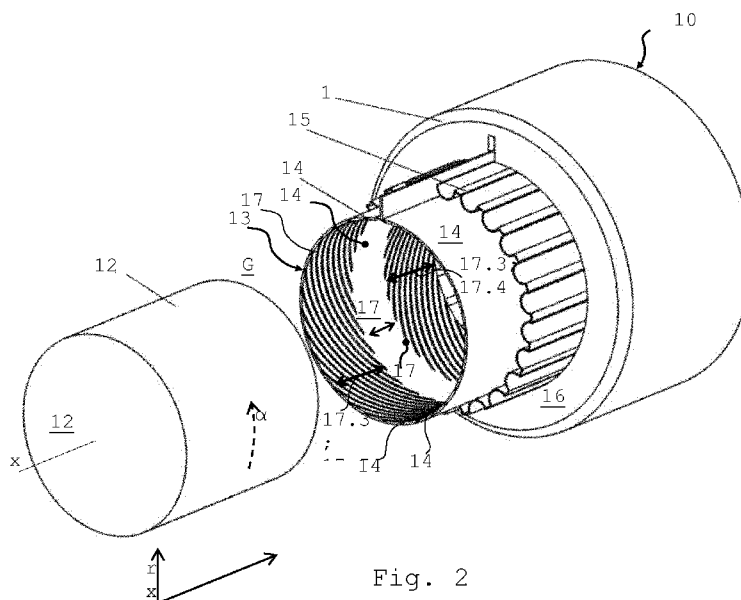


Fig. 2

(57) Abstract: In the case of film gas bearings for rotors, there is an interest in high load-bearing capability and robust mounting, in particular even at high rotational speeds. Stability and positional tolerance in the radial direction are further important requirements. A film gas bearing device (10) is provided for mounting a rotor (12) by means of gas (G), with a rotor-side top film device (14) and with a bump film device (15) which supports the top film device in a bearing bush, wherein the film gas bearing device comprises a plurality of recesses (17) which run obliquely with respect to the axial direction (x) and obliquely with respect to the circumferential direction (α), are arranged in at least one axial section (17.3, 17.4, 17.5) of the bearing system, and are set up to build up a pressure in a radial gap (13) of the bearing system, which radial gap (13) is formed between the rotor and the top film device, in particular even in an unstructured

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, 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).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

axial section (17.6). As a result, a robust and tolerant bearing with a high load-bearing capability in the radial direction and also for high rotational speeds can be provided. Furthermore, the invention relates to a method and to a use for a film gas bearing device of this type.

(57) **Zusammenfassung:** Bei Foliengaslagern für Rotoren besteht Interesse an hoher Tragfähigkeit und robuster Lagerung, insbesondere auch bei hohen Drehzahlen. Stabilität und Lagetoleranz in radialer Richtung sind weitere wichtige Anforderungen. Bereitgestellt wird eine Foliengaslagervorrichtung (10) zum Lagern eines Rotors (12) mittels Gas (G), mit einer rotorseitigen Top-Folieneinrichtung (14) und mit einer die Top-Folieneinrichtung in einer Lagerbuchse abstützenden Bump-Folieneinrichtung (15), wobei die Foliengaslagervorrichtung eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung (x) und schräg zur Umfangsrichtung ( $\alpha$ ) verlaufende Ausnehmungen (17) umfasst, die in wenigstens einem axialen Abschnitt (17.3, 17.4, 17.5) der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt (13) der Lagerung, insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6). Hierdurch kann ein robustes und tolerantes Lager mit hoher Tragfähigkeit in radialer Richtung und auch für hohe Drehzahlen bereitgestellt werden. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren und eine Verwendung für eine derartige Foliengaslagervorrichtung.

## **Foliengaslagervorrichtung zum Lagern eines Rotors sowie Verfahren und Verwendung**

5

### **TECHNISCHES GEBIET**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Lagern eines Rotors bzw. einer Welle mittels Gas, z.B. zur Luftlagerung, insbesondere zur ölfreien Lagerung. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Lagern eines Rotors in radialer Richtung und/oder bei hohen Drehgeschwindigkeiten. Nicht zuletzt betrifft die vorliegende Erfindung auch die Verwendung von radialen Foliengaslageren. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des jeweiligen unabhängigen Anspruchs.

### **HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

Zum Lagern eines Rotors bzw. einer Welle insbesondere in radialer Richtung und/oder bei hohen Drehgeschwindigkeiten haben sich so genannte Foliengaslager bzw. Folienlager als zweckdienlich erwiesen. Foliengaslager werden beispielsweise bei Pumpen bei hohen Drehgeschwindigkeiten des jeweiligen Rotors eingesetzt. Mittels Foliengaslageren können vergleichsweise kleine Reibungsverluste und/oder vergleichsweise hohe Lebensdauern realisiert werden. Insbesondere bei einer Lagerung in radialer Richtung können auch Lagetoleranzen ausgeglichen werden. Mittels Foliengaslageren können insbesondere auch Lastschwankungen in radialer Richtung (quer zur Drehachse des Rotors) aufgefangen werden, so dass von Foliengaslageren auch eine dämpfende Funktion übernommen werden kann.

Herkömmliche Foliengaslager bestehen aus Folienlagen mit weitgehend flächigen, planen Oberflächen. Eine insbesondere statisch relativ zum Rotor angeordnete Fläche (Top-Folie bzw. so genannte Top Foil) begrenzt einen Luftspalt und ist elastisch verformbar und gibt einem im Luftspalt insbesondere in Abhängigkeit von einer Rotationsgeschwindigkeit generiertem Druck nach. Die Top-Folie wird durch die Druckverhältnisse und durch Bewegungen des Rotors in radialer Richtung deformiert. Hierdurch kann der Rotor bzw. die Welle in radialer Richtung lagertolerant gelagert werden. Insbesondere führt ein Druckfeld innerhalb eines Lagerspaltes

zwischen dem Rotor und der angrenzenden Top-Folie zu einer Verformung der Top-Folie. Die Art und Weise der Dämpfung durch die Top-Folie definiert dabei auch die Eigenschaften des gesamten Lagers. Die Top-Folie ist auf einer weiteren Folie (Bump-Folie bzw. so genannte Bump Foil) gelagert, die auf einem Träger

(beispielsweise Lagerbuchse) abgestützt ist. Die Eigenschaften des Foliengaslagers, insbesondere auch die Tragfähigkeit in radialer Richtung, werden daher stark durch die Ausgestaltung der Folien (Top-Folie und Bump-Folie) und durch das Interagieren des Rotors mit den Folien vordefiniert. Bei der Auslegung und Optimierung von Foliengaslager besteht daher Interesse daran, die Effekte der Folien auf den Rotor und auf die Ausbildung der Druckverhältnisse insbesondere auch in radialer Richtung möglichst exakt beeinflussen und optimieren zu können.

Die Patentschrift EP 2 375 089 B1 beschreibt ein dynamisches Foliengaslager mit bahnartigen Folien mit Halteflächen und Verbindungsflächen.

Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht Interesse an einer Verbesserung der technischen Möglichkeiten und Merkmale von Folienlagern, insbesondere hinsichtlich der Anforderungen bei radialer Lagerung.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe ist, eine Vorrichtung zur Gaslagerung bzw. Luftlagerung eines Rotors (bzw. einer Welle) bereitzustellen, womit der Rotor insbesondere in radialer Richtung und/oder insbesondere bei hohen Drehgeschwindigkeiten mit hoher Tragfähigkeit gelagert werden kann. Insbesondere besteht die Aufgabe darin, eine effiziente ölfreie Lagerung eines hochdrehenden Rotors zumindest in radialer Richtung derart zu ermöglichen, dass der Rotor mit einer vergleichsweise hohen radialen Kraft beaufschlagt werden kann und dabei auch lagetolerant gelagert werden kann, insbesondere auch bei vorteilhaften Nebeneffekten hinsichtlich Reibung bzw. Wärmeentwicklung und hinsichtlich Stabilität.

Diese Aufgabe wird durch eine Foliengaslager Vorrichtung gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß dem jeweiligen nebengeordneten Verfahrensanspruch gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den jeweiligen Unteransprüchen erläutert. Die Merkmale der im Folgenden beschriebenen

Ausführungsbeispiele sind miteinander kombinierbar, sofern dies nicht explizit verneint ist.

Bereitgestellt wird eine Foliengaslagervorrichtung eingerichtet zum Lagern eines Rotors mittels Gas, mit einer rotorseitigen Top-Folieneinrichtung zur radialen Lagerung des Rotors in einer Lagerbuchse, und mit einer die Top-Folieneinrichtung in der Lagerbuchse in radialer Richtung auf einem Träger abstützenden Bump-Folieneinrichtung. Die Bump-Folieneinrichtung ist bevorzugt eingerichtet für eine dämpfende Deformation der Top-Folieneinrichtung, in Reaktion auf einen auf die Lagerebene bzw. vom Rotor ausgeübten Druck.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, dass die Foliengaslagervorrichtung eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung  $x$  und schräg zur Umfangsrichtung  $\alpha$  verlaufende Ausnehmungen umfasst, die in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt der Lagerung, insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt. Dies liefert insbesondere auch bei hohen Drehzahlen eine robuste, lagetolerante, stabile Lagerung, auch bei hohen Lasten.

Es hat sich gezeigt, dass die Ausnehmungen insbesondere in der erfindungsgemäßen Anordnung den Druck im Lager erhöhen können. Der Rotor hebt dadurch bereits bei einer vergleichsweise geringen Drehzahl und wird bereits bei einer geringen Drehzahl kontaktlos zur Top-Folie, so dass auch eine Reibung reduziert werden kann, insbesondere bei Start-Stopp-Anwendungen. Dies wirkt sich auch positiv auf die Lebensdauer des Lagers aus. Die erfindungsgemäße Anordnung liefert Vorteile insbesondere auch beim Anfahr-Verhalten von radialen Folienlagern.

Im Gegensatz zu bisher erprobten Technologien, insbesondere im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Folienlagern, kann erfindungsgemäß mit einfachen Mitteln auch eine Erweiterung des Einsatzgebietes der Foliengaslager bei hoher Systemsicherheit erzielt werden. Dabei kann auch eine hohe radiale Tragfähigkeit realisiert werden. Ferner kann der Reibungsverlust des Lagers minimiert werden. Insbesondere eine Kombination der technischen Merkmale „Ausnehmungen“ und „unstrukturierter axial insbesondere zentrisch angeordneter Axialabschnitt“ ermöglicht eine Verbesserung

der Lager-Eigenschaften. Insbesondere kann dafür ein radiales Folienlager mit Ausnehmungen in Ausgestaltung als Spiralnuten bereitgestellt werden.

Üblicherweise weist ein herkömmliches radiales Foliengaslager zwei Folien-Teile auf: die so genannte Top Foil (Top-Folie), und die so genannte Bump Foil (Bump-Folie), wobei die Top Foil auf der flexiblen, dämpfenden Bump Foil aufliegt, und wobei die Top Foil zusammen mit dem Rotor den Gasfilm in radialer Richtung beidseitig begrenzt bzw. abgrenzt. Die flexible Bump Foil kann dabei eine (elastische) Deformation der Top Foil ermöglichen und die Art und Weise einer Dämpfung vordefinieren, insbesondere auch bei Druckbeaufschlagung oder Druckeinwirkung (Druckfeld des Gasfilms) bei hohen Drehgeschwindigkeiten. Dadurch kann auch eine vergleichsweise große Lagetoleranz ermöglicht werden (relativ hohe Auslenkung der Welle, ohne dass mechanischer Kontakt riskiert wird). Dies hat auch Vorteile hinsichtlich Ausrichtungsfehlern, Fertigungstoleranzen oder thermischer Effekte (Wärmedehnung).

Eine technische Schwierigkeit wird durch die Tatsache begründet, dass Folienlager vergleichsweise sensibel auf aerodynamische Instabilitäten reagieren. Eine dämpfende Wirkung, die im Zusammenhang mit Reibkräften zwischen Top-Folie und Rotor hervorgerufen werden kann, liefert allein für sich erfahrungsgemäß noch keine ausreichend effektive Maßnahme, um diese aerodynamische Instabilität besser in den Griff zu bekommen. Es besteht daher weiterer Optimierungsbedarf.

Davon ausgehend beruht die Erfindung auf dem Konzept, eine hohe Stabilität und gute Dämpfungs- und Tragfähigkeits-Eigenschaften hervorzurufen, indem auf der Oberseite der Top-Folieneinrichtung und/oder auf dem Rotor Ausnehmungen vorgesehen werden, insbesondere Ausnehmungen in Form von Nuten, welche Ausnehmungen eingerichtet sind, bei relativer Drehbewegung zwischen Rotor und Top-Folieneinrichtung Gas nach axial innen zu pumpen.

Die Ausnehmungen können bereits allein in statischer Anordnung (als statische Nuten) wirken, also allein basierend auf einer Rotation des Rotors relativ zur Top-Folieneinrichtung. Die Ausnehmungen können jedoch auch in dynamischer Anordnung wirken, also dann, wenn sie zusammen mit dem Rotor rotiert werden. Die

Ausnehmungen sind eingerichtet, Gas in den Luftspalt des Lagers zu befördern (insbesondere im Sinne von: Gas pumpen), insbesondere mit dem Effekt, den Druck des Gasfilms im Luftspalt zu steigern, insbesondere an wenigstens einer vordefinierbaren Axialposition.

5

Die Ausnehmungen bzw. Nuten sind vorteilhafter Weise spiralförmig angeordnet, zumindest abschnittsweise. Die Ausnehmungen können als einwärts (axial nach innen) pumpende Nuten ausgebildet bzw. angeordnet sein. Die Ausnehmungen können insbesondere exakt außen an der jeweiligen Außenkante beginnen. Die

10

Ausnehmungen können insbesondere nach axial innen bis hin zu einer zentrischeren Axialposition verlaufen bzw. angeordnet sein. Beispielsweise erstrecken sich die Ausnehmungen bis kurz vor die Hälfte der gesamten axialen Erstreckung der Lagerungsfläche (nahezu halbe axiale Länge des Lagers bzw. des Lagerspaltes).

15

Die Ausnehmungen, insbesondere Nuten sind vorteilhafter Weise in einem axial äußeren Winkel (an einer axialen Außenkante) von 110 bis 175° angeordnet, insbesondere größer 115° oder größer 120° oder größer 125° in Bezug auf die Umfangsrichtung. Die Ausnehmungen, insbesondere Nuten sind vorteilhafter Weise in einem axial inneren Winkel (insbesondere an einer Axialposition angrenzend zu einem unstrukturierten Axialabschnitt) von 115 bis 155° angeordnet, insbesondere größer 120° oder größer 130° oder größer 135° in Bezug auf die Umfangsrichtung. Dies liefert jeweils hohe Effizienz, insbesondere eine optimale Pumpwirkung.

20

Dabei kann ein äußerer Winkel  $\beta$  an einer/der axialen Außenkante der Ausnehmungen relativ zur Umfangsrichtung kleiner sein als ein innerer Winkel  $\gamma$  an einer inneren Axialposition bzw. einem inneren Ende der Ausnehmungen, insbesondere in Bezug auf die axiale Richtung. Dies ermöglicht insbesondere ein zweckdienliches Ausrichten eines Gasfilms (Vorgabe eines Strömungspfades) in Umfangsrichtung, insbesondere in einem unstrukturierten Axialabschnitt.

25

30

Die Ausnehmungen, insbesondere Nuten können in einer Ausrichtung von innen gegen außen angeordnet bzw. eingebracht sein, zumindest teilweise und/oder in Umfangsrichtung abschnittsweise und/oder in axialer Richtung abschnittsweise. Die Ausnehmungen, insbesondere Nuten können gegenläufig angeordnet bzw.

eingebraucht sein, zumindest teilweise und/oder in Umfangsrichtung abschnittsweise und/oder radialer Richtung abschnittsweise.

5 Dank der erfindungsgemäßen Konfiguration kann beispielsweise auch die Geometrie der Ausnehmungen auf der Top-Folieneinrichtung bzw. auf dem Rotor auf einfache Weise optimiert und an den jeweiligen Anwendungsfall oder die gewünschten Druckverhältnisse oder Relativgeschwindigkeiten oder Gasdichten adaptiert werden, insbesondere zur Maximierung der Tragfähigkeit und/oder zur Steigerung der Effizienz (Verminderung von Wirkungsverlusten). Beispielsweise können eine  
10 Vielzahl von Axialabschnitten vorgesehen sein, insbesondere bei vergleichsweise großer axialer Erstreckung des Luftspaltes. Hierdurch kann auch der Wärmehaushalt optimiert werden. Anders ausgedrückt: Insbesondere die Abfuhr von Wärmeenergie kann auf einfachere Weise sichergestellt werden. Ferner können die erfindungsgemäßen Ausnehmungen auf vergleichsweise unkomplizierte Weise  
15 hergestellt werden, insbesondere in einem einfachen, kostengünstigen Fertigungsschritt.

Die erfindungsgemäßen Ausnehmungen, insbesondere in Ausgestaltung als Spiralnuten, in einer Anordnung auf einer statisch angeordneten, flexibel gelagerten  
20 Oberfläche eines Gaslagers und/oder in einer dynamisch rotierenden Anordnung auf der Oberfläche des Rotors (insbesondere integral im Material des Rotors vorgesehen), liefern insbesondere in Kombination mit wenigstens einem unstrukturierten Axialabschnitt eine spürbare Verbesserung hinsichtlich Tragfähigkeit und Lauf-Eigenschaften. Im Gegensatz zur vorliegenden Erfindung wurde bisher im  
25 Stand der Technik eine davon abweichende Anordnung zugrunde gelegt, nämlich es wurde eine im Wesentlichen ebene Oberseite der Top-Folie vorgesehen, oder eine Strukturierung irgendwelcher Oberflächen konnte keine ausreichenden zufriedenstellenden Verbesserungen der Lagercharakteristik sicherstellen.

30 Die Foliengaslagervorrichtung kann dabei speziell zur Aufnahme von im Wesentlichen radial ausgerichteten Kräften eingerichtet sein. Für diesen Fall kann die Foliengaslagervorrichtung auch als Foliengasradiallagervorrichtung bezeichnet werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Top-Folieneinrichtung auf deren Oberseite durch die Ausnehmungen strukturiert, indem die Ausnehmungen in eine Top-Folie der Top-Folieneinrichtung eingearbeitet sind, entsprechend einer statischen Anordnung der Ausnehmungen. Dies ermöglicht auch, die erfindungsgemäßen Vorteile unabhängig von einer Ausgestaltung des Rotors sicherzustellen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist der Rotor auf dessen Oberseite durch die Ausnehmungen strukturiert, indem die Ausnehmungen in die Oberfläche des Rotors eingearbeitet sind, entsprechend einer dynamischen, rotierenden Anordnung der Ausnehmungen. Dies ermöglicht auch, die erfindungsgemäßen Vorteile mittels des Rotors sicherzustellen oder ergänzend zusätzlich im Effekt zu unterstützen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel definieren die Ausnehmungen einen Strömungspfad nach axial innen, welcher vordefinierte Strömungspfad an einem unstrukturierten Axialabschnitt endet, in welchem sich ein Gasfilm ohne vorgegebene Struktur ausbilden kann. Dies ermöglicht einerseits eine gezielte Einflussnahme auf eine Pumpwirkung, andererseits bleibt die Möglichkeit, dass sich ein Gast Teppich je nach Betriebszustand der Lagerung frei ausbilden kann, insbesondere auch bei minimierter Reibung. Dies kann sich auch vorteilhaft auf die Tragfähigkeit auswirken.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen bei Rotation des Rotors eingerichtet zum Fördern von Gas in wenigstens eine axiale Richtung, insbesondere in beide entgegengesetzte axiale Richtungen. Die Förderung in entgegengesetzten Richtungen, insbesondere hin zu wenigstens einem unstrukturierten Axialabschnitt, liefert einen guten Effekt. Die erfindungsgemäßen Maßnahmen können dabei besonders effizient umgesetzt werden.

Im Folgenden werden vorteilhafte (insbesondere geometrische) Ausgestaltungen der Ausnehmungen näher beschrieben.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel verlaufen die Ausnehmungen von axial außen nach axial innen zu einem unstrukturierten Axialabschnitt der Foliengaslagervorrichtung und enden dort.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel verlaufen die Ausnehmungen beidseitig von axial außen nach axial innen zu einem unstrukturierten Axialabschnitt der Foliengaslagervorrichtung und enden dort in einem axialen Abstand zueinander. Diese Anordnung hat sich jeweils als besonders effektiv erwiesen. Gemäß einem

5 Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen dabei eingerichtet zum Aufbauen eines Drucks in einem/im unstrukturierten Axialabschnitt der Foliengaslagervorrichtung. Die Ausnehmungen können dabei bevorzugt vollumfänglich vorgesehen sein.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen in zwei axialen

10 Abschnitten angeordnet und gegenläufig ausgerichtet, insbesondere jeweils mit spiralförmigem Verlauf, insbesondere mit betragsmäßig zumindest annähernd demselben Winkel relativ zur axialen Richtung. Es hat sich gezeigt, dass die gegenläufige Ausrichtung der Ausnehmungen auch bei einer Top-Folie einen vorteilhaften Effekt hinsichtlich viskoser Pumpwirkung zur Druckerhöhung im Spalt

15 zwischen Top-Folie und Rotor liefern kann. Dies wirkt sich auch positiv auf die Stabilität der Lagerung in radialer Richtung aus.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen in zwei axialen Abschnitten angeordnet und münden in jedem der Abschnitte in einem/im

20 dazwischen angeordneten unstrukturierten Axialabschnitt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen in zwei axialen Abschnitten angeordnet, die axial zumindest annähernd gleich lang sind, und die Ausnehmungen münden in einem/im dazwischen angeordneten unstrukturierten Axialabschnitt, welcher axial zumindest annähernd so lang ist wie ein einzelner strukturierter

25 Abschnitt. Dies liefert jeweils auch vorteilhafte aerodynamische Eigenschaften bzw. kann gute Laufruhe und hohe Tragfähigkeit begünstigen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel bilden die Ausnehmungen zwei strukturierte axiale Abschnitte, die einen dazwischen angeordneten unstrukturierten

30 Axialabschnitt begrenzen, wobei die beiden axialen Abschnitte und der dazwischen angeordnete unstrukturierte Axialabschnitt über die gesamte axiale Länge des Rotors und/oder der Top-Folieneinrichtung vorgesehen sind oder auch darüber hinaus ragen können. Dies kann auch bei wenig axialem Bauraum ein besonders effektives, tragfähiges Lager bereitstellen.

Bei einer einzelnen Radiallagerstelle können die axialen Abschnitte auch über die Top-Folieneinrichtung hinaus ragen. Bei sehr kurzen Rotoren, insbesondere bei kleinem Verhältnis von axialer Länge zu Durchmesser, kann eine Radiallagerstelle bereits ausreichen. Bei Rotoren, deren axiale Gesamtlänge deutlich größer ist als deren Durchmesser, ist die axiale Erstreckung des Radiallagers kleiner als die Gesamtlänge, wobei üblicherweise zwei oder mehr Radiallagerstellen vorgesehen sind.

10 Gemäß einem Ausführungsbeispiel gehen die Ausnehmungen von einer Außenkante der Top-Folieneinrichtung und/oder des Rotors ab und verlaufen nach axial innen. Dies begünstigt auch eine Pumpwirkung.

15 Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen bei Rotation des Rotors eingerichtet zum Fördern (bzw. zum Pumpen) von Gas axial nach innen. Dies begünstigt auch das Erzeugen eines vergleichsweise hohen Gasdrucks oder Gasdurchflusses.

20 Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen als Nuten oder als Rillen ausgestaltet. Die Ausnehmungen können dadurch auch auf vergleichsweise einfache Art und Weise hergestellt werden. Nuten oder Rillen lassen sich dabei auch individuell in Geometrie, Verlauf und Tiefe ausgestalten.

25 Gemäß einem Ausführungsbeispiel weisen die Ausnehmungen eine konstante Tiefe auf, zumindest über einen Längenabschnitt größer der halben Länge der Ausnehmungen, insbesondere bis zu einem axial innen liegenden Ende der Ausnehmungen oder bis kurz davor. Dies ermöglicht auch weitgehend konstante Strömungsverhältnisse innerhalb der jeweiligen Ausnehmung.

30 Gemäß einem Ausführungsbeispiel weisen die Ausnehmungen an einem/am jeweiligen inneren Ende einen stetigen Auslaufbereich mit stetig abnehmender Tiefe auf. Dies begünstigt insbesondere auch eine Überleitung von Gasströmungen aus den Ausnehmungen heraus in einen Spalt zwischen zwei ebenen Oberflächen. Dies kann das Ausbilden eines stabilen Gasfilms begünstigen.

Im Folgenden werden vorteilhafte Ausrichtungen der Ausnehmungen näher beschrieben.

- 5    Gemäß einem Ausführungsbeispiel verlaufen die Ausnehmungen zumindest abschnittsweise in axialer Richtung. Dies ermöglicht ein effizientes Pumpen nach axial innen.

- 10   Gemäß einem Ausführungsbeispiel verlaufen die Ausnehmungen zumindest abschnittsweise gekrümmt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel verlaufen die Ausnehmungen zumindest abschnittsweise spiralförmig. Dies liefert jeweils auch Vorteile hinsichtlich Reibung, Impulserhaltung und möglichst homogener Ausbildung der Druckverhältnisse.

- 15   Gemäß einem Ausführungsbeispiel verläuft die jeweilige Ausnehmung zumindest abschnittsweise geradlinig ohne Krümmung (Krümmungsradius Null), insbesondere axial außen. Dies begünstigt auch das Einspeisen von Gas, insbesondere in Abhängigkeit einer Drehzahl oder einer Ausgestaltung des Rotors oder eines Abstandes zwischen der Top- Folieneinrichtung und dem Rotor.

- 20   Gemäß einem Ausführungsbeispiel beträgt ein äußerer Winkel an einer axialen Außenkante der Ausnehmungen größer 125° oder größer 130°, insbesondere in Bezug auf die Umfangsrichtung. Gemäß einem Ausführungsbeispiel beträgt ein innerer Winkel an einer Innenkante bzw. an einem axial inneren Ende der Ausnehmungen größer 130° oder größer 135°, insbesondere in Bezug auf die Umfangsrichtung. Dies liefert jeweils auch einen guten Effekt hinsichtlich Stabilität und Tragfähigkeit und Laufruhe.
- 25

- 30   Im Folgenden werden vorteilhafte Anordnungen der Ausnehmungen näher beschrieben.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel erstrecken sich die Ausnehmungen von einer/der Außenkante der Top-Folieneinrichtung bzw. des Rotors mindestens bis 1/3 der zur Verfügung stehenden axialen Lagerfläche. Dies ermöglicht auch, einen

stabilisierenden Effekt basierend auf strömungstechnischen Phänomenen zu erzeugen, insbesondere aufgrund variierender Querschnittsprofile in einzelnen Axialabschnitten. Die axiale Länge der Ausnehmungen kann dabei auch in Abhängigkeit der Ausgestaltung des Rotors gewählt werden.

5

Gemäß einem Ausführungsbeispiel erstrecken sich die Ausnehmungen von einer jeweiligen Außenkante mindestens bis auf  $\frac{1}{3}$  der axialen Länge der Top-Folieneinrichtung bzw. des Rotors. Dies ermöglicht auch ein effektives Einpumpen von Gas in Verbindung mit dem Ausbilden eines Gasfilms axial weiter innen. Je nach gewünschter Interaktion zwischen Top-Folieneinrichtung und Rotor kann ein mehr oder weniger breiter Gasfilm (insbesondere ohne Interaktion mit Ausnehmungen) gewünscht sein. Hierzu kann ein unstrukturierter Axialabschnitt in Größe und Position auf den jeweiligen Anwendungsfall adaptiert werden.

10

15

Gemäß einem Ausführungsbeispiel erstrecken sich die Ausnehmungen von einer Außenkante der Top-Folieneinrichtung oder des Rotors maximal bis auf  $\frac{2}{5}$  der axialen Länge der Top-Folieneinrichtung bzw. des Rotors. Dies lässt axial innen Raum für eine Ausbildung eines Gasfilms unabhängig von Ausnehmungen, insbesondere wenn der Gasfilm möglichst wenig turbulent sein soll oder möglichst wenig durch Ausnehmungen gestört werden soll.

20

Gemäß einem Ausführungsbeispiel erstrecken sich die Ausnehmungen eines Axialabschnittes von einer axialen Außenkante allesamt bis zu derselben Axialposition zu einem unstrukturierten Axialabschnitt. Dies kann eine sehr gezielte Einflussnahme auf den Gastransport nach axial innen ermöglichen, wobei auch eine Einflussnahme auf die Gasverteilung erleichtert werden kann, insbesondere in Abhängigkeit der Ausgestaltung oder Größe eines unstrukturierten axial zentrischer angeordneten Axialabschnittes. Nicht zuletzt kann auch die Reibung minimiert werden.

25

30

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Foliengaslagervorrichtung eingerichtet zum ölfreien radialen Lagern des Rotors ausschließlich mittels Gas, insbesondere mittels Luft. Hierdurch kann die Lagerung weiter vereinfacht bzw. optimiert werden. Ferner kann ein breites Anwendungsgebiet erschlossen werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist die Top-Folieneinrichtung flexibel. Die Top-Folieneinrichtung kann aus einem flexiblen Material bereitgestellt werden. Die Lager-Eigenschaften können dann auch durch die Materialeigenschaften und/oder durch  
5 die Art und Weise der Anordnung der Bump-Folieneinrichtung mitbestimmt werden. Hierdurch kann mittels der Top-Folieneinrichtung auch eine Dämpfungsfunktion erfüllt werden, insbesondere in Abhängigkeit der Art und Weise der Abstützung der Top-Folieneinrichtung durch die Bump-Folieneinrichtung.

10 Gemäß einem Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen der Top-Folieneinrichtung statisch angeordnet bzw. statisch anordenbar relativ zum Rotor. Die relative Drehbewegung wird dann ausschließlich durch die Art und Weise der Rotation des Rotors vorgegeben. Hierdurch kann nicht zuletzt auch eine einfache, robuste, wartungsarme Lageranordnung bereitgestellt werden.

15 Die zuvor genannte Aufgabe wird insbesondere auch gelöst durch eine Foliengaslagervorrichtung eingerichtet zum Lagern eines Rotors mittels Gas, mit einer rotorseitigen Top-Folieneinrichtung zur radialen Lagerung des Rotors in einer Lagerbuchse, und mit einer die Top-Folieneinrichtung in der Lagerbuchse in radialer  
20 Richtung auf einem Träger abstützenden Bump-Folieneinrichtung, wobei die Foliengaslagervorrichtung eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung  $x$  und schräg zur Umfangsrichtung  $\alpha$  verlaufende Ausnehmungen umfasst, die in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-  
25 Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt der Lagerung und auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt, wobei die Top-Folieneinrichtung auf deren Oberseite durch die Ausnehmungen strukturiert ist oder wobei der Rotor auf dessen Oberseite durch die Ausnehmungen strukturiert ist, wobei die Ausnehmungen einen Strömungspfad nach axial innen definieren, welcher vordefinierte Strömungspfad am  
30 unstrukturierten Axialabschnitt endet, wobei die Ausnehmungen beidseitig von axial außen nach axial innen zum unstrukturierten Axialabschnitt verlaufen und dort in einem axialen Abstand zueinander enden, wobei die Ausnehmungen vollumfänglich vorgesehen sind, wobei die Ausnehmungen als Nuten oder als Rillen ausgestaltet sind, wobei die Ausnehmungen in wenigstens zwei axialen Abschnitten angeordnet

sind und gegenläufig ausgerichtet sind, wobei die Ausnehmungen zumindest abschnittsweise spiralförmig verlaufen, und wobei die Foliengaslagervorrichtung eingerichtet ist zum ölfreien radialen Lagern des Rotors ausschließlich mittels Gas, insbesondere mittels Luft oder auch mittels gasförmigem Kältemittel. Hierdurch  
5 ergeben sich zahlreiche zuvor genannte Vorteile.

Die zuvor genannte Aufgabe wird auch gelöst durch Verwendung einer Foliengaslagervorrichtung, insbesondere einer zuvor beschriebenen Foliengaslagervorrichtung, zum radialen Lagern eines Rotors ölfrei ausschließlich  
10 mittels Gas, wobei eine Top-Folieneinrichtung der Foliengaslagervorrichtung relativ zum Rotor und relativ zur Drehrichtung des Rotors derart angeordnet wird, dass auf der Oberseite der Top-Folieneinrichtung und/oder auf der Oberseite des Rotors angeordnete oder darin eingebrachte Ausnehmungen schräg zur axialen Richtung  $x$  und schräg zur Umfangsrichtung  $\alpha$  verlaufen und in wenigstens einem axialen  
15 Abschnitt der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt der Lagerung und insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt, insbesondere Verwendung der Foliengaslagervorrichtung in einer Wärmepumpe oder in einer Vorrichtung mit Wärmepumpe. Hierdurch ergeben sich  
20 zuvor genannte Vorteile.

Die zuvor genannte Aufgabe wird auch gelöst durch eine Foliengaslagervorrichtung, insbesondere eine zuvor beschriebene Foliengaslagervorrichtung, hergestellt durch Strukturieren der Top-Folieneinrichtung und/oder des Rotors auf der jeweiligen  
25 Oberseite durch eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung  $x$  und schräg zur Umfangsrichtung  $\alpha$  verlaufende Ausnehmungen, die in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung derart angeordnet werden, dass die Foliengaslagervorrichtung eingerichtet ist zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt der  
30 Lagerung und insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt. Hierdurch ergeben sich zuvor genannte Vorteile.

Die zuvor genannte Aufgabe wird auch gelöst durch ein Verfahren zum Bereitstellen einer Foliengaslagervorrichtung, insbesondere einer zuvor beschriebenen Foliengaslagervorrichtung, zum Lagern eines Rotors mittels Gas, mit den Schritten: Bereitstellen einer auf einem Träger in einer Lagerbuchse abstützbaren Bump-Folieneinrichtung zum Abstützen einer Top-Folieneinrichtung in radialer Richtung; Anordnen und Befestigen der Top-Folieneinrichtung auf der Bump-Folieneinrichtung zur radialen Lagerung des Rotors; wobei das Anordnen der Top-Folieneinrichtung derart erfolgt, dass eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung  $x$  und schräg zur Umfangsrichtung  $\alpha$  verlaufende Ausnehmungen der Foliengaslagervorrichtung, die an der Oberseite der Top-Folieneinrichtung und/oder am Rotor vorgesehen sind, in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt der Lagerung, insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt. Hierdurch ergeben sich zuvor genannte Vorteile.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren auch das Strukturieren der Oberseite der Top-Folieneinrichtung (bzw. der Top-Folie) und/oder des Rotors durch Einbringen der Ausnehmungen. Hierdurch können die Eigenschaften der Foliengaslagervorrichtung jeweils noch spezifischer auf einen Anwendungsfall adaptiert werden. Insbesondere kann eine radiale Foliengaslagervorrichtung mit Ausnehmungen in Form von Spiralnuten bereitgestellt werden, insbesondere beidseitig gegenläufig angeordneten Spiralnuten.

## KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

In den nachfolgenden Zeichnungsfiguren wird die Erfindung noch näher beschrieben, wobei für Bezugszeichen, die nicht explizit in einer jeweiligen Zeichnungsfigur beschrieben werden, auf die anderen Zeichnungsfiguren verwiesen wird. Es zeigen: **Figur 1 und 2** jeweils in einer perspektivischen Ansicht seitlich von vorne in schematischer Darstellung einen axial fluchtend angeordneten Rotor (Welle) zur Anordnung und radialen Lagerung in einer Lagerbuchse einer Foliengaslagervorrichtung gemäß einem von zwei Ausführungsbeispielen.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

In Fig. 1 ist eine Foliengaslagervorrichtung 10 gezeigt, in welcher ein Rotor 12 (hier: Welle) in radialer Richtung  $r$  gelagert ist. Zwischen dem Rotor 12 und einer Top-Folieneinrichtung 14 ist ein Spalt bzw. Luftspalt 13 gebildet, der mit Gas  $G$ , insbesondere Umgebungsgas bzw. Umgebungsluft gefüllt ist. Die Top-

5 Folieneinrichtung 14 ist auf einer Bump-Folieneinrichtung 15 (so genannte Bump Foil; oder Compliant Foil) abgestützt und kann dadurch auch in gewissem Sinne gedämpft werden, und die Bump-Folieneinrichtung 15 ist auf einem Träger 16 in einer Lagerbuchse 1 abgestützt.

10 Der Rotor 12 dreht sich relativ zur Top-Folieneinrichtung 14. Die Drehrichtung  $\alpha$  des Rotors oder sinngemäß die Umfangsrichtung oder ein entsprechender Drehwinkel wird mit dem Strichlinien-Pfeil angedeutet. Die axiale Richtung wird durch den Pfeil  $x$  angedeutet (in  $x$ -Richtung gesehen entgegen dem Uhrzeigersinn), und die radiale Richtung wird durch den Pfeil  $r$  angedeutet.

15

Im Luftspalt 13 stellen sich Druckverhältnisse ein, je nach Umgebungsdruck, relativer Drehgeschwindigkeit und Lagerbelastung. Mittels der erfindungsgemäßen Anordnung kann Einfluss auf diese Druckverhältnisse genommen werden, wie im Folgenden näher erläutert.

20

In Fig. 1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel gezeigt. Auf der Oberseite 12a des Rotors 12 sind Ausnehmungen 17 vorgesehen, insbesondere in Ausgestaltung als Nuten, wobei die Ausnehmungen 17 in das Material des Rotors eingearbeitet sind. Die Ausnehmungen 17 sind in zwei axialen Abschnitten 17.4 und 17.5 angeordnet und  
25 verlaufen gegenläufig derart, dass die inneren Enden 17.1 der Ausnehmungen in einem unstrukturierten Axialabschnitt 17.6 münden, insbesondere zum Pumpen von Gas/Luft in diesen unstrukturierten Axialabschnitt 17.6, d.h., zum Einstellen der Druckverhältnisse insbesondere auch in einem Bereich mittig axial zentrisch in Bezug auf den gesamten axialen Lagerungsabschnitt 17.3, der zur radialen  
30 Lagerung des Rotors vorgesehen ist. Die Längenverhältnisse der einzelnen axialen Abschnitte sind durch die Bezugsziffern  $x1$ ,  $x2$ ,  $x3$  und  $x4$  angedeutet, wobei  $x0$  jeweils eine axiale Außenkante (Startpunkt) der jeweiligen Ausnehmung markiert. Diese axiale Außenkante kann dabei auch die Außenkante 12.3, 14.3 des Rotors bzw. der Top-Folieneinrichtung sein.

Beispielsweise sind  $x_1$  und  $x_4$  zumindest annähernd gleich groß. Beispielsweise ist der unstrukturierte Abschnitt 17.6 zumindest annähernd so groß wie  $x_1$  und/oder wie  $x_4$ . Insbesondere bei nur einer einzigen Lagerstelle kann  $x_3$  (absolute axiale Erstreckung der Ausnehmungen) zumindest annähernd so groß wie die absolute Länge des Rotors sein. Beispielsweise fallen die äußeren Endkanten (axialen Außenkanten)  $x_0$  der Ausnehmungen mit dem axialen Anfang bzw. Ende des Rotors zusammen. Dabei kann  $x_3$  auch größer sein als die axiale Erstreckung der Top-Folieneinrichtung. Bei langgestreckten Rotoren und mehreren Lagerstellen ist  $x_3$  deutlich kleiner als die absolute Rotor-Länge.

Es hat sich gezeigt, dass die axiale Gesamtlänge des jeweiligen strukturierten Radiallagers üblicherweise etwas größer gewählt werden kann als die absolute Länge der Top-Folieneinrichtung, insbesondere wenn die Ausnehmungen (Nuten) auf dem Rotor angeordnet sind. Die strukturierten Bereiche überragen dann die Enden links und rechts der feststehenden Buchse.

In Fig. 1 ist ferner ein äußerer Winkel  $\beta$  bzw. innerer Winkel  $\gamma$  der Ausnehmungen jeweils in Bezug auf die Umfangsrichtung angedeutet. Gemäß einer Variante sind die Winkel zumindest annähernd gleich groß (beispielsweise im Bereich von  $135^\circ$ ). Gemäß einer anderen Variante ist der innere Winkel größer, d.h., die Ausnehmung verläuft weiter innen in einem spitzeren Winkel zur Umfangsrichtung.

In Fig. 2 wird ein weiteres Ausführungsbeispiel beschrieben. Die Ausnehmungen 17 sind in die Top-Folieneinrichtung 14 integriert, nämlich in eine Top-Folie 14.2 auf der Oberseite 14a.

Die nach radial außen weisende Unterseite 14b kann unstrukturiert bleiben.

Die Top-Folieneinrichtung 14 definiert mit deren Oberseite 14a die Position der radialen Lagerung (im Sinne einer Lagerebene oder zylindrischen Lagermantelfläche).

Bei beiden Ausführungsbeispielen (Fig. 1 und Fig. 2) kann eine vorteilhafte Lager-Charakteristik eingestellt werden, indem beidseitig von axial außen nach axial innen

eine Pumpwirkung erzeugt wird, mit dem Effekt eines Druckaufbaus insbesondere im zumindest annähernd axial zentrisch angeordneten unstrukturierten Axialabschnitt 17.6. Dies liefert einerseits hohe Stabilität, andererseits auch eine sehr gutmütige, (Lage-)tolerante Lagercharakteristik.

5

Die Top-Folieneinrichtung 14 und/oder der Rotor weist also eine Vielzahl von einzelnen Ausnehmungen 17 auf, insbesondere jeweils in Ausgestaltung als Nuten, wobei sich die Ausnehmungen über wenigstens einen axialen Abschnitt 17.4, 17.5 erstrecken, der je nach Anforderungen deutlich kleiner sein kann als die absolute

10

Für eine derart strukturierte Top-Folie 14.2 bzw. für die strukturierte Top-Folieneinrichtung 14 ist folgende umgangssprachliche Bezeichnung denkbar: Grooved Top Foil.

15

In den gezeigten Varianten verlaufen die Ausnehmungen zumindest abschnittsweise spiralförmig und sind entlang des gesamten Umfangs vollumfänglich vorgesehen, sei es am/im Rotor, sei es in der Oberfläche der Top-Folieneinrichtung.

20

Mittels der Ausnehmungen 17 kann Gas bzw. Luft nach axial innen gepumpt werden, nämlich entlang eines durch die Ausnehmungen definierten Strömungspfad (angedeutet durch Punktlinie in Fig. 1), insbesondere um die Charakteristika eines sich zwischen Rotor 12 und Top-Folieneinrichtung 14 bildenden Gasfilms einstellen zu können, insbesondere zur Regelung der Strömungs- und Druckverhältnisse bei

25

relativer Drehung des Rotors relativ zu einer statisch angeordneten Top-Folieneinrichtung.

**Bezugszeichenliste**

|    |            |                                                                                              |
|----|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 1          | Lagerbuchse                                                                                  |
|    | 10         | Foliengaslagervorrichtung                                                                    |
| 5  | 12         | Rotor                                                                                        |
|    | 12a        | Oberseite                                                                                    |
|    | 12.3       | Außenkante                                                                                   |
|    | 13         | Spalt, insbesondere Luftspalt                                                                |
|    | 14         | Top-Folieneinrichtung (Grooved Top Foil)                                                     |
| 10 | 14a        | Oberseite (radial innen liegende Innenseite)                                                 |
|    | 14b        | Unterseite (radial außen liegende Außenseite)                                                |
|    | 14.2       | Top-Folie                                                                                    |
|    | 14.3       | Außenkante                                                                                   |
|    | 15         | Bump-Folieneinrichtung                                                                       |
| 15 | 16         | Träger                                                                                       |
|    | 17         | einzelne Ausnehmung, insbesondere Nut                                                        |
|    | 17.1       | inneres (axiales) Ende einer Ausnehmung in axialer Richtung                                  |
|    | 17.3       | axialer Lagerungs-Abschnitt (mit oder ohne Ausnehmungen)                                     |
|    | 17.4       | erster axialer Abschnitt, strukturiert mit Ausnehmungen                                      |
| 20 | 17.5       | zweiter axialer Abschnitt, strukturiert mit Ausnehmungen                                     |
|    | 17.6       | unstrukturierter Axialabschnitt                                                              |
|    | G          | Gas, insbesondere Umgebungsgas oder gasförmiges Kältemittel                                  |
|    | x0         | äußere Endkante (axiale Außenkante) von Ausnehmungen                                         |
| 25 | x1, x2, x4 | axiale Länge der Ausnehmungen bzw. innere Axialposition eines inneren Endes der Ausnehmungen |
|    | x3         | absolute axiale Erstreckung der Ausnehmungen (axialer Lagerungsabschnitt)                    |
|    | $\alpha$   | Drehrichtung des Rotors, oder Umfangsrichtung oder Drehwinkel                                |
|    | $\beta$    | äußerer Winkel der Ausnehmungen, insbesondere in Bezug auf die Umfangsrichtung               |
| 30 | $\gamma$   | innerer Winkel der Ausnehmungen, insbesondere in Bezug auf die Umfangsrichtung               |
|    | x          | axiale Richtung bzw. Drehachse des Rotors bzw. der Welle                                     |
|    | r          | radiale Richtung                                                                             |

**Patentansprüche**

1. Foliengaslagervorrichtung (10) eingerichtet zum Lagern eines Rotors (12) mittels Gas (G), mit einer rotorseitigen Top-Folieneinrichtung (14) zur radialen

5 Lagerung des Rotors in einer Lagerbuchse (1), und mit einer die Top-Folieneinrichtung in der Lagerbuchse in radialer Richtung auf einem Träger (16) abstützenden Bump-Folieneinrichtung (15),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Foliengaslagervorrichtung (10) eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung (x) und schräg zur Umfangsrichtung ( $\alpha$ ) verlaufende Ausnehmungen (17) umfasst, die in wenigstens einem axialen Abschnitt (17.3, 17.4, 17.5) der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt (13) der Lagerung, insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6).

15 2. Foliengaslagervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Top-Folieneinrichtung (14) auf deren Oberseite (14a) durch die Ausnehmungen (17) strukturiert ist, indem die Ausnehmungen (17) in eine Top-Folie (14.2) der Top-Folieneinrichtung (14) eingearbeitet sind; und/oder wobei der Rotor auf dessen Oberseite (12a) durch die

20 Ausnehmungen (17) strukturiert ist, indem die Ausnehmungen in die Oberfläche des Rotors (12) eingearbeitet sind.

3. Foliengaslagervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausnehmungen (17) einen Strömungspfad nach axial innen definieren, welcher

25 vordefinierte Strömungspfad an einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6) endet.

4. Foliengaslagervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausnehmungen (17) beidseitig von axial außen nach axial innen zu einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6) der Foliengaslagervorrichtung (10) verlaufen

30 und dort in einem axialen Abstand zueinander enden; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem/im unstrukturierten Axialabschnitt (17.6) der Foliengaslagervorrichtung; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) vollumfänglich vorgesehen sind; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) als Nuten oder als Rillen ausgestaltet sind.

5. Foliengaslagervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausnehmungen (17) in zwei axialen Abschnitten (17.4, 17.5) angeordnet sind und gegenläufig ausgerichtet sind, insbesondere jeweils mit spiralförmigem Verlauf, insbesondere mit betragsmäßig zumindest annähernd demselben Winkel relativ zur axialen Richtung; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) zwei strukturierte axiale Abschnitte (17.4, 17.5) bilden, die einen/den dazwischen angeordneten unstrukturierten Axialabschnitt (17.6) begrenzen, wobei die beiden axialen Abschnitte und der dazwischen angeordnete unstrukturierte Axialabschnitt über die gesamte axiale Länge des Rotors und/oder der Top-Folieneinrichtung vorgesehen sind; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) von einer Außenkante (12.3, 14.3) der Top-Folieneinrichtung und/oder des Rotors abgehen und nach axial innen verlaufen.

6. Foliengaslagervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausnehmungen (17) zumindest abschnittsweise gekrümmt verlaufen; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) zumindest abschnittsweise spiralförmig verlaufen; und/oder wobei die jeweilige Ausnehmung (17) zumindest abschnittsweise geradlinig ohne Krümmung verläuft, insbesondere axial außen.

7. Foliengaslagervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Foliengaslagervorrichtung (10) eingerichtet ist zum ölfreien radialen Lagern des Rotors (12) ausschließlich mittels Gas (G), insbesondere mittels Luft; und/oder wobei die Top-Folieneinrichtung (14) flexibel ist; und/oder wobei die Ausnehmungen (17) der Top-Folieneinrichtung statisch anordenbar sind.

8. Verwendung einer Foliengaslagervorrichtung, insbesondere einer Foliengaslagervorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zum radialen Lagern eines Rotors ölfrei ausschließlich mittels Gas, wobei eine Top-Folieneinrichtung (14) der Foliengaslagervorrichtung relativ zum Rotor (12) und relativ zur Drehrichtung des Rotors derart angeordnet wird, dass auf der Oberseite (14a) der Top-Folieneinrichtung (14) und/oder auf der Oberseite (12a) des Rotors (12) angeordnete oder darin eingebrachte Ausnehmungen (17) schräg zur axialen Richtung (x) und schräg zur Umfangsrichtung ( $\alpha$ ) verlaufen und in wenigstens einem

axialen Abschnitt (17.3, 17.4, 17.5) der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung gebildeten radialen Spalt (13) der Lagerung und insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6), insbesondere Verwendung der

5 Foliengaslagervorrichtung in einer Wärmepumpe oder in einer Vorrichtung mit Wärmepumpe.

9. Foliengaslagervorrichtung, insbesondere Foliengaslagervorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, hergestellt durch Strukturieren

10 der Top-Folieneinrichtung (14) und/oder des Rotors (12) auf der jeweiligen Oberseite (14a, 12a) durch

eine Mehrzahl von schräg zur axialen Richtung ( $x$ ) und schräg zur Umfangsrichtung ( $\alpha$ ) verlaufende Ausnehmungen (17), die in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung derart angeordnet werden, dass die Foliengaslagervorrichtung (10)

15 eingerichtet ist zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor (12) und der Top-Folieneinrichtung (14) gebildeten radialen Spalt (13) der Lagerung und insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6).

10. Verfahren zum Bereitstellen einer Foliengaslagervorrichtung, insbesondere

20 einer Foliengaslagervorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, zum Lagern eines Rotors (12) mittels Gas (G), mit den Schritten:

Bereitstellen einer auf einem Träger (16) in einer Lagerbuchse (1) abstützbaren Bump-Folieneinrichtung (15) zum Abstützen einer Top-Folieneinrichtung in radialer

25 Richtung;

Anordnen und Befestigen der Top-Folieneinrichtung (14) auf der Bump-Folieneinrichtung (15) zur radialen Lagerung des Rotors;

g e k e n n z e i c h n e t durch die Schritte:

wobei das Anordnen der Top-Folieneinrichtung derart erfolgt, dass eine Mehrzahl

30 von schräg zur axialen Richtung ( $x$ ) und schräg zur Umfangsrichtung ( $\alpha$ ) verlaufende Ausnehmungen (17) der Foliengaslagervorrichtung (10), die an der Oberseite der Top-Folieneinrichtung und/oder am Rotor (12) vorgesehen sind, in wenigstens einem axialen Abschnitt der Lagerung angeordnet sind und eingerichtet sind zum Aufbauen eines Drucks in einem zwischen dem Rotor und der Top-Folieneinrichtung (10)

gebildeten radialen Spalt (13) der Lagerung, insbesondere auch in einem unstrukturierten Axialabschnitt (17.6).

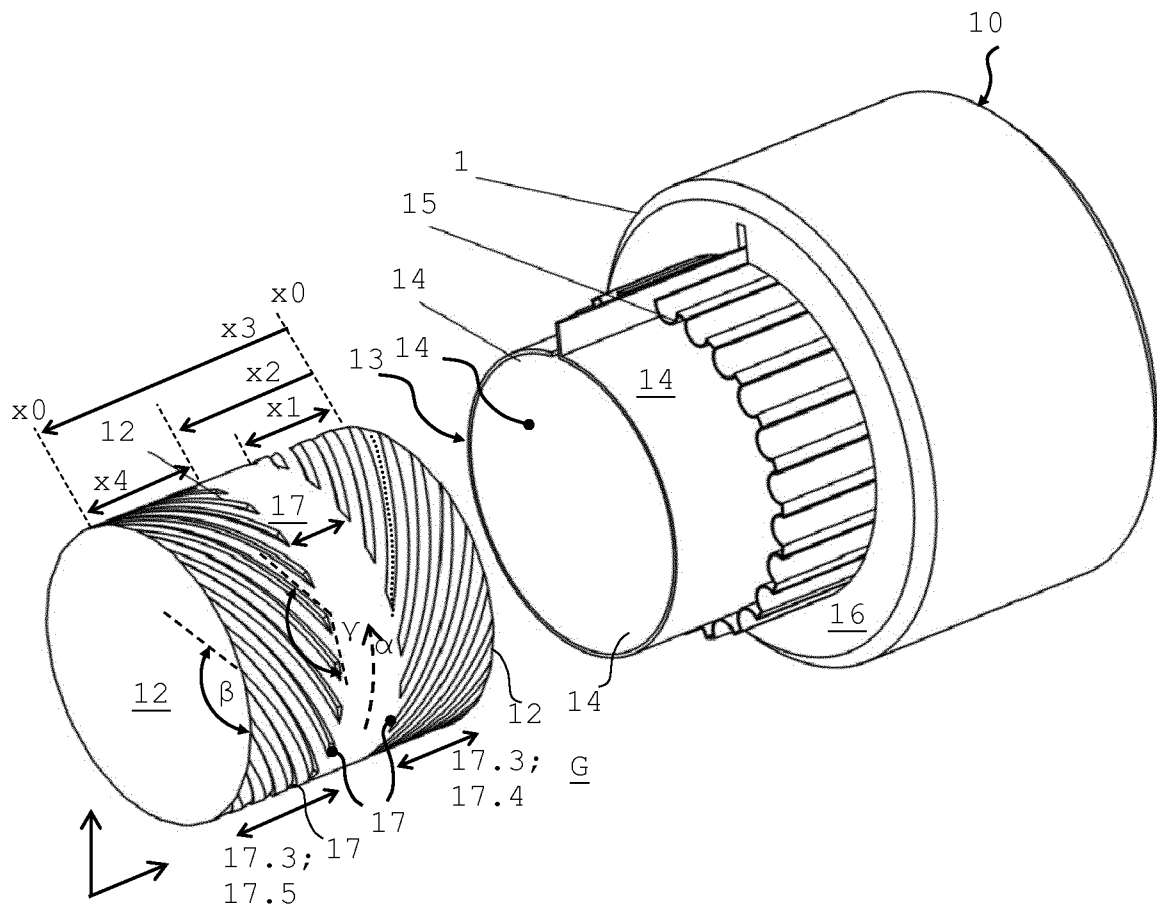
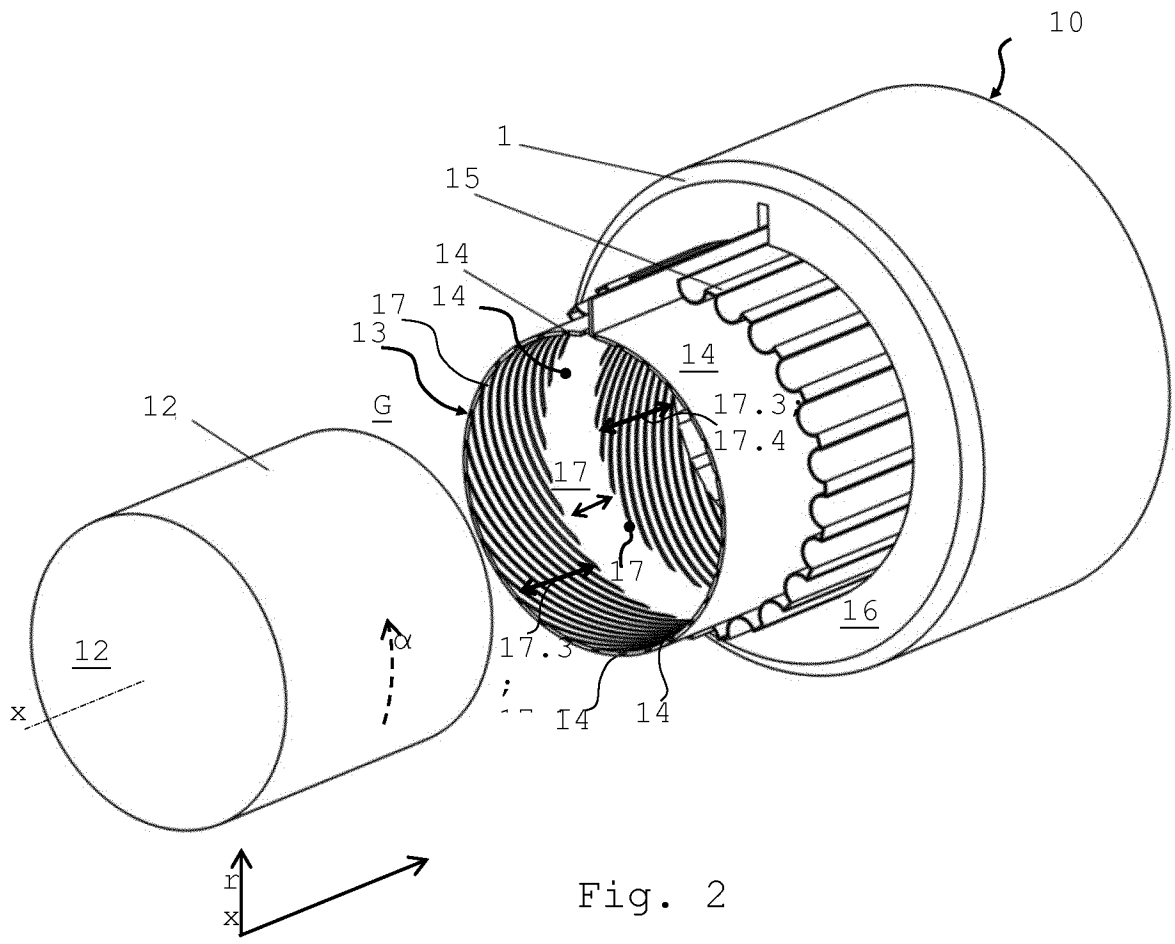


Fig. 1



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/075806

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F16C 17/02**(2006.01)i; **F16C 32/06**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | US 2015362012 A1 (ERMILOV YURY IVANOVICH [RU]) 17 December 2015 (2015-12-17)<br>paragraphs [0002] - [0007], [0045] - [0063], [0187] - [0207]; figures 1,4,16,18,19,22 | 1-10                  |
| X         | JP 2005265010 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND) 29 September 2005<br>(2005-09-29)<br>figures 1-3                                                                      | 1-10                  |
| X         | US 9004765 B1 (LEE YONG BOK [KR] ET AL) 14 April 2015 (2015-04-14)<br>column 2, line 25 - column 3, line 11; figures                                                  | 1-10                  |
| A         | EP 2375089 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 12 October 2011 (2011-10-12)<br>cited in the application<br>paragraphs [0008] - [0015]; figures                               | 1-10                  |

☐ 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

07 November 2019

Date of mailing of the international search report

14 November 2019

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

Daehnhardt, Andreas

Telephone No.

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

International application No.

**PCT/EP2019/075806**

| Patent document<br>cited in search report |            |    |                   | Publication date<br>(day/month/year) |            |    |                  | Patent family member(s) |            |    |                  | Publication date<br>(day/month/year) |            |    |                  |
|-------------------------------------------|------------|----|-------------------|--------------------------------------|------------|----|------------------|-------------------------|------------|----|------------------|--------------------------------------|------------|----|------------------|
| US                                        | 2015362012 | A1 | 17 December 2015  | US                                   | 2015362012 | A1 | 17 December 2015 | US                      | 2015362012 | A1 | 17 December 2015 | US                                   | 2015362012 | A1 | 17 December 2015 |
|                                           |            |    |                   | WO                                   | 2014070046 | A1 | 08 May 2014      |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
| JP                                        | 2005265010 | A  | 29 September 2005 | NONE                                 |            |    |                  |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
| US                                        | 9004765    | B1 | 14 April 2015     | KR                                   | 101508975  | B1 | 07 April 2015    |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
|                                           |            |    |                   | US                                   | 9004765    | B1 | 14 April 2015    |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
| EP                                        | 2375089    | A2 | 12 October 2011   | EP                                   | 2375089    | A2 | 12 October 2011  |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
|                                           |            |    |                   | JP                                   | 4961485    | B2 | 27 June 2012     |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
|                                           |            |    |                   | JP                                   | 2011208785 | A  | 20 October 2011  |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |
|                                           |            |    |                   | US                                   | 2011243485 | A1 | 06 October 2011  |                         |            |    |                  |                                      |            |    |                  |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. F16C17/02 F16C32/06  
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
F16C

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                      | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X          | US 2015/362012 A1 (ERMILOV YURY IVANOVICH [RU]) 17. Dezember 2015 (2015-12-17)<br>Absätze [0002] - [0007], [0045] - [0063],<br>[0187] - [0207]; Abbildungen<br>1,4,16,18,19,22<br>----- | 1-10               |
| X          | JP 2005 265010 A (ISHIKAWAJIMA HARIMA<br>HEAVY IND) 29. September 2005 (2005-09-29)<br>Abbildungen 1-3<br>-----                                                                         | 1-10               |
| X          | US 9 004 765 B1 (LEE YONG BOK [KR] ET AL)<br>14. April 2015 (2015-04-14)<br>Spalte 2, Zeile 25 - Spalte 3, Zeile 11;<br>Abbildungen<br>-----                                            | 1-10               |
| A          | EP 2 375 089 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP])<br>12. Oktober 2011 (2011-10-12)<br>in der Anmeldung erwähnt<br>Absätze [0008] - [0015]; Abbildungen<br>-----                                 | 1-10               |



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

7. November 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/11/2019

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

Daehnhardt, Andreas

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/075806

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |            |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |               |  | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|--|-------------------------------|
| US                                                 | 2015362012 | A1 | 17-12-2015                    | US                                | 2015362012 A1 |  | 17-12-2015                    |
|                                                    |            |    |                               | WO                                | 2014070046 A1 |  | 08-05-2014                    |
| -----                                              |            |    |                               |                                   |               |  |                               |
| JP                                                 | 2005265010 | A  | 29-09-2005                    | KEINE                             |               |  |                               |
| -----                                              |            |    |                               |                                   |               |  |                               |
| US                                                 | 9004765    | B1 | 14-04-2015                    | KR                                | 101508975 B1  |  | 07-04-2015                    |
|                                                    |            |    |                               | US                                | 9004765 B1    |  | 14-04-2015                    |
| -----                                              |            |    |                               |                                   |               |  |                               |
| EP                                                 | 2375089    | A2 | 12-10-2011                    | EP                                | 2375089 A2    |  | 12-10-2011                    |
|                                                    |            |    |                               | JP                                | 4961485 B2    |  | 27-06-2012                    |
|                                                    |            |    |                               | JP                                | 2011208785 A  |  | 20-10-2011                    |
|                                                    |            |    |                               | US                                | 2011243485 A1 |  | 06-10-2011                    |
| -----                                              |            |    |                               |                                   |               |  |                               |