

(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  
26. Januar 2017 (26.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/012747 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*G01C 19/5733* (2012.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/061713
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
24. Mai 2016 (24.05.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102015213452.0 17. Juli 2015 (17.07.2015) DE
- (71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder: **LASSL, Andreas**; Weilimdorfer Str. 26/2,  
71254 Ditzingen (DE). **KUHLMANN, Burkhard**; Auf  
Der Bloss 18, 72762 Reutlingen (DE). **BALSLINK,  
Thorsten**; Raichbergstr. 1/1, 72138 Kirchentellinsfurt  
(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, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

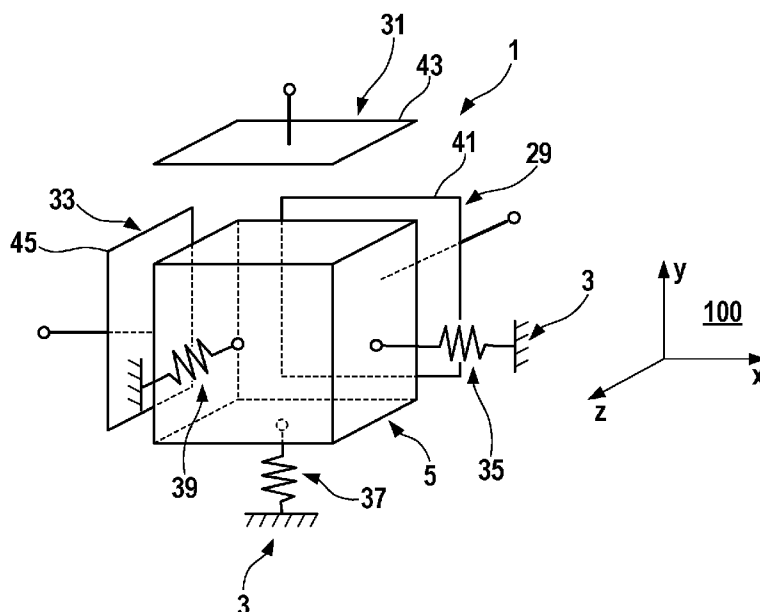
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,  
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,  
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,  
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, 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)

(54) Title: ROTATIONAL SPEED SENSOR AND OPERATION OF A ROTATIONAL SPEED SENSOR AT VARIOUS FREQUENCIES AND IN VARIOUS DIRECTIONS

(54) Bezeichnung : DREHRATENSSENSOR UND BETRIEB EINES DREHRATENSSENSORS BEI VERSCHIEDENEN FREQUENZEN UND IN VERSCHIEDENEN RICHTUNGEN



(57) Abstract: A rotational speed sensor with a substrate with a main extension plane and with a structure which is movable with respect to the substrate is proposed, wherein the rotational speed sensor comprises a first excitation unit for deflecting the structure from a position of rest essentially parallel to a first axis running parallel to the main extension plane, in such a way that the structure can be excited to oscillate at a first frequency with a movement component essentially along a direction parallel to the first axis, wherein the rotational speed sensor comprises a second excitation unit for deflecting the structure out of a position of rest essentially parallel to a second axis running parallel to the main extension plane and perpendicular to the first axis, in such a way that the structure can be excited to oscillate at a second frequency with a movement component essentially along a direction parallel to the second axis.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/012747 A1



---

Es wird ein Drehratensensor mit einem Substrat mit einer Haupterstreckungsebene und mit einer gegenüber dem Substrat beweglichen Struktur vorgeschlagen, wobei der Drehratensensor eine erste Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer parallel zu der Haupterstreckungsebene verlaufenden ersten Achse derart umfasst, dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse anregbar ist, wobei der Drehratensensor eine zweite Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer parallel zu der Haupterstreckungsebene verlaufenden und senkrecht zu der ersten Achse verlaufenden zweiten Achse derart umfasst, dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse anregbar ist.

## **Beschreibung**

### **Drehratensensor und Betrieb eines Drehratensensors bei verschiedenen Frequenzen und in verschiedenen Richtungen**

5

#### **Stand der Technik**

Die Erfindung geht aus von einem Drehratensensor nach dem Oberbegriff des  
10 Anspruchs 1.

Derartige Drehratensensoren sind allgemein bekannt. Diese Drehratensensoren  
umfassen üblicherweise mindestens eine Struktur, welche entlang einer festge-  
legten Antriebsrichtung mit einer bestimmten Frequenz und einer bestimmten  
15 Amplitude schwingt.

Um die Detektion von Drehraten um unterschiedliche Drehachsen zu ermög-  
lichen, werden üblicherweise bei den bekannten Drehratensensoren mehrere  
separate und in eine Linearschwingung versetzbare Strukturen miteinander ge-  
20 koppelt. Hierbei ist üblicherweise jede Struktur jeweils für die Detektion einer  
Drehrate um eine bestimmte Drehachse verantwortlich. Das bedeutet, dass für  
einen mehrkanaligen Drehratensensor, d.h. für einen Drehratensensor, welcher  
mehrere Drehraten um jeweils zueinander senkrechte Achsen messen kann,  
die benötigte Substratfläche für die mikromechanische Struktur entsprechend  
25 mit der Anzahl der Drehachsen um welche Drehraten detektiert werden sollen  
steigt.

#### **Offenbarung der Erfindung**

30

Der erfindungsgemäße Drehratensensor und das erfindungsgemäße Verfahren  
zum Betrieb eines Drehratensensors gemäß den nebengeordneten Ansprüchen  
hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass ein mehrkanaliger

Drehratensensor auf einer relativ zum Stand der Technik geringen Substratfläche ermöglicht wird, da für die mikromechanische Struktur lediglich eine relativ zum Stand der Technik geringe Substratfläche zur Detektion von Drehraten um mehrere Drehachsen benötigt wird. Hierbei wird auf die Verwendung von mehreren Strukturen zur Detektion mehrerer Drehraten um jeweils mehrere Drehachsen verzichtet. Es werden vielmehr Drehraten um bis zu drei gegeneinander senkrecht verlaufende Drehachsen in einem Substratbereich detektiert. Ferner wird ein gegenüber dem Stand der Technik besonders robuster Drehratensensor bereitgestellt. Die vorteilhafte Wirkung wird dadurch erreicht, dass der erfindungsgemäße Drehratensensor im Gegensatz zum Stand der Technik eine zweite Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer parallel zu der Haupterstreckungsebene verlaufenden und senkrecht zu der ersten Achse verlaufenden zweiten Achse derart umfasst, dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse anregbar ist.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen entnehmbar.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehratensensor eine erste Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu einer im Wesentlichen senkrecht zu der Haupterstreckungsebene verlaufenden dritten Achse mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der ersten Achse und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der zweiten Achse aufweist. Hierdurch wird auf vorteilhafte Weise ein mehrkanaliger Drehratensensor vorgeschlagen, welcher auf einer relativ zum Stand der Technik geringen Substratfläche Drehraten um mehr als eine Drehachse in einem Substratbereich detektiert. Ferner werden auf vorteilhafte Weise mithilfe nur einer Detektionseinheit Drehraten um mehr als eine Drehachse detektiert.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehratensensor eine dritte Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer senkrecht zu der Hauptstreckungsebene verlaufenden dritten Achse derart umfasst, dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der dritten Achse anregbar ist. Mithilfe des Anregens der Struktur in eine Schwingung bei einer dritten Frequenz wird auf vorteilhafte Weise die Detektion zweier Drehraten um jeweils zwei Achsen, welche jeweils im Wesentlichen parallel zu der ersten Achse und parallel zu der zweiten Achse verlaufen, anhand der dritten Frequenz ermöglicht.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehratensensor eine zweite Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der zweiten Achse mit der ersten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der ersten Achse und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der dritten Achse aufweist. Auf vorteilhafte Weise wird somit ein mehrkanaliger Drehratensensor zum Messen von bis zu drei Drehraten um jeweils senkrecht zueinander verlaufende Achsen auf mechanisch robuste, kostengünstige und besonders einfache Weise bereitgestellt. Ferner wird somit vorteilhaft ermöglicht, dass mehrere Messsignale für jeweils mindestens eine Drehrate ermittelbar sind und somit ein fehlerfreier Betrieb des Drehratensensors überprüfbar ist. Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehratensensor eine dritte Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der ersten Achse mit der zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der zweiten Achse und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der dritten Achse aufweist. Hierdurch wird vorteilhaft ermöglicht, dass mehrere Messsignale für mindestens drei Drehraten um drei zuei-

inander senkrecht verlaufende Achsen ermittelbar sind und somit ein fehlerfreier Betrieb eines dreiachsigen Drehratensensors überprüfbar ist.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehraten-  
sensor mindestens ein erstes Aufhängemittel und/oder mindestens ein zweites  
Aufhängemittel und/oder mindestens ein drittes Aufhängemittel zum relativ zum  
Substrat beweglichen Aufhängen der Struktur derart umfasst, dass die Struktur  
zu einer Schwingung bei einer ersten Frequenz mit einer Bewegungskompo-  
10 nente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse  
und/oder dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz mit  
einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel  
zu der zweiten Achse und/oder dass die Struktur zu einer Schwingung bei einer  
dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang  
15 einer Richtung parallel zu der dritten Achse anregbar ist. Hierdurch wird vorteil-  
haft ermöglicht, dass die Struktur relativ zum Substrat derart beweglich aufge-  
hängt ist, dass das Schwingverhalten des erfindungsgemäßen Drehratensens-  
sors ermöglicht wird.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die erste Detek-  
20 tionseinheit mindestens eine erste Elektrode umfasst, wobei die erste Elektrode  
im Wesentlichen plattenförmig ausgebildet ist, wobei sich die erste Elektrode im  
Wesentlichen parallel zu einer die erste Achse und die zweite Achse umfassen-  
den Ebene erstreckt, wobei die zweite Detektionseinheit mindestens eine zwei-  
te Elektrode umfasst, wobei die zweite Elektrode im Wesentlichen plattenförmig  
25 ausgebildet ist, wobei sich die zweite Elektrode im Wesentlichen parallel zu ei-  
ner die erste Achse und die dritte Achse umfassenden Ebene erstreckt, wobei  
die dritte Detektionseinheit mindestens eine dritte Elektrode umfasst, wobei die  
dritte Elektrode im Wesentlichen plattenförmig ausgebildet ist, wobei sich die  
dritte Elektrode im Wesentlichen parallel zu einer die zweite Achse und die drit-  
30 te Achse umfassenden Ebene erstreckt. Auf vorteilhafte Weise wird somit er-  
möglicht, dass die auf die Struktur wirkenden Kräfte kapazitiv erfasst werden  
können.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehraten-  
sensor eine gegenüber dem Substrat bewegliche weitere Struktur umfasst, wo-  
bei die weitere Struktur in eine gegenüber der Struktur gegenphasige Schwin-  
gung bei der ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentli-  
chen entlang einer Richtungen parallel zu der ersten Achse und/oder bei der  
5 zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang  
einer Richtung parallel zu der zweiten Achse und/oder bei der dritten Frequenz  
mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung pa-  
rallel zu der dritten Achse anregbar ist. Bevorzugt sind die Struktur und die wei-  
10 tere Struktur untereinander mechanisch gekoppelt. Hierdurch wird vorteilhaft  
ermöglicht, dass auf einer relativ zum Stand der Technik geringen Substratflä-  
che Drehraten um eine Drehachse und/oder zwei zueinander senkrechten  
Drehachsen und/oder drei zueinander senkrechten Drehachsen in einem Sub-  
stratbereich inklusive Reduktion der Kraftauskopplung der schwingenden Mas-  
15 sen und auf eine gegenüber Linearbeschleunigungen robuste Weise detektiert  
werden können.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Drehraten-  
sensor eine weitere erste Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung  
20 auf die weitere Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der  
dritten Achse mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz auf-  
grund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der ers-  
ten Achse und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine  
Achse parallel zu der zweiten Achse aufweist, wobei der Drehratensensor eine  
25 weitere zweite Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die  
weitere Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der zweiten  
Achse mit der ersten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund ei-  
ner Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der ersten Achse  
und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel  
30 zu der dritten Achse aufweist, wobei der Drehratensensor eine weitere dritte  
Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die weitere Struktur  
entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der ersten Achse mit der  
zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate

des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der zweiten Achse und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors um eine Achse parallel zu der dritten Achse aufweist. Hierdurch wird vorteilhaft ermöglicht, dass mehrere Messsignale für drei Drehraten um drei zueinander senkrecht verlaufende Achsen ermittelbar sind und somit ein fehlerfreier Betrieb eines dreiachsigen Drehratensensors mit reduzierter Kraftauskopplung der schwingenden Massen und auf eine gegenüber Linearbeschleunigungen robuste Weise überprüfbar ist.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines erfindungsgemäßen Drehratensensors, wobei

-- in einem ersten Verfahrensschritt die Struktur und/oder die weitere Struktur aus einer Ruhelage der Struktur und/oder aus einer Ruhelage der weiteren Struktur mithilfe mindestens eines Antriebssignals derart ausgelenkt

wird/werden, dass die Struktur und/oder die weitere Struktur zu einer Schwin-

gung, bzw. zu einer zueinander im Wesentlichen gegenphasigen Schwingung,

bei der ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse und/oder bei der zweiten Frequenz mit einer

Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse und/oder bei der dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang

einer Richtung parallel zu der dritten Achse angeregt wird/werden, wobei

-- in einem zweiten Verfahrensschritt mithilfe der ersten Detektionseinheit und/oder der zweiten Detektionseinheit und/oder der dritten Detektionseinheit und/oder mithilfe der weiteren ersten Detektionseinheit und/oder der weiteren zweiten Detektionseinheit und/oder der weiteren dritten Detektionseinheit min-

destens ein Detektionssignal detektiert wird, wobei

-- in einem dritten Verfahrensschritt das mindestens eine Detektionssignal mithilfe von Synchrondemodulation mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz und mithilfe von Tiefpassfilterung aufbereitet wird, wobei

-- in einem vierten Verfahrensschritt aus dem aufbereiteten mindestens einen Detektionssignal mindestens eine der ersten Frequenz und/oder der zweiten Frequenz und/oder der dritten Frequenz zuordnungsbar Drehrate ermittelt wird. Hierdurch wird vorteilhaft ermöglicht, dass auf einer relativ zum Stand der

Technik geringen Substratfläche mehrere Messsignale für Drehraten um eine Drehachse und/oder zwei zueinander senkrechten Drehachsen und/oder drei zueinander senkrechten Drehachsen in einem Substratbereich ermittelt werden können und somit ein fehlerfreier Betrieb eines dreiachsigen Drehratensensors überprüfbar ist.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**Figur 1** zeigt in einer schematischen Darstellung einen Drehratensensor gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

### Ausführungsformen der Erfindung

Gleiche Teile sind stets mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden daher in der Regel auch jeweils nur einmal benannt bzw. erwähnt.

In **Figur 1** ist eine schematische Darstellung eines Drehratensensors 1 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt, wobei der Drehratensensor 1 ein mithilfe von Substratanbindungen angedeutetes Substrat 3 mit einer Haupterstreckungsebene 100 und mit einer gegenüber dem Substrat 3 beweglichen Struktur 5 umfasst. Eine nicht dargestellte erste Anregungseinheit ist zum Auslenken der Struktur 5 vorgesehen, sodass die Struktur 5 aus einer in der **Figur 1** dargestellten Ruhelage mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse X zu einer Schwingung bei einer ersten Frequenz anregbar ist. Des Weiteren umfasst der in der **Figur 1** dargestellte Drehratensensor 1 eine nicht dargestellte zweite Anregungseinheit zur Anregung der Struktur 5 aus der Ruhelage mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse Y zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz. Ferner umfasst der in der **Figur 1** dargestellte Drehratensensor 1 eine nicht dargestellte dritte Anregungseinheit zur Anregung der Struktur 5 zu einer Schwingung bei einer drit-

ten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der dritten Richtung Z. Bevorzugt wird hierbei die Struktur 5 über kapazitive Kräfte angeregt. Weiter bevorzugt wird über kapazitive Messaufnehmer die Schwingamplitude in den drei Raumrichtungen gemessen und mithilfe einer Elektronik, bevorzugt Automatic gain control (AGC) und phase-locked loop (PLL), eine konstante Schwingamplitude eingestellt. Bevorzugt wird über kapazitive Kräfte die Struktur 5 in den drei Raumrichtungen zu Schwingungen bei ihren Eigenfrequenzen angeregt. Beispielsweise wird hierbei die Schwingamplitude in den drei Raumrichtungen über kapazitive Messaufnehmer bestimmt.

Damit eine wie oben beschriebene Anregung der Struktur 5 möglich ist, umfasst der in der **Figur 1** dargestellte Drehratensensor 1 ein erstes Aufhängemittel 35, ein zweites Aufhängemittel 37 und ein drittes Aufhängemittel 39. Vorzugsweise handelt es sich bei den Aufhängemitteln um Federn.

Zur Detektion einer Kraftwirkung auf die Struktur 5 bei der ersten Frequenz und/oder bei der zweiten Frequenz und/oder bei der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors 1 um eine Achse parallel zu der ersten Achse X und/oder um eine Achse parallel zu der zweiten Achse Y und/oder um eine Achse parallel zu der dritten Achse Z, umfasst der in der **Figur 1** dargestellte Drehratensensor 1 ferner eine erste Detektionseinheit 29, eine zweite Detektionseinheit 31 sowie eine dritte Detektionseinheit 33. Die erste Detektionseinheit 29 umfasst erste Elektrode 41, die zweite Detektionseinheit 31 eine zweite Elektrode 43 und die dritte Detektionseinheit 33 eine dritte Elektrode 45.

Beispielsweise führt eine Drehrate des Drehratensensors 1 um eine Achse parallel zu der ersten Achse X zu Coriolis-Auslenkungen der Struktur 5 entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse Y bei der dritten Frequenz und zu Coriolis-Auslenkungen der Struktur 5 entlang einer Richtung parallel zu der dritten Achse Z bei der zweiten Frequenz. Beispielsweise führt eine Drehrate des Drehratensensors 1 um eine Achse parallel zu der ersten Achse X zu auf die Struktur 5 wirkende Coriolis-Beschleunigungen entlang einer Richtung parallel

zu der zweiten Achse Y bei der dritten Frequenz und entlang einer Richtung parallel zu der dritten Achse Z bei der zweiten Frequenz.

5 Eine Drehrate des Drehratensensors 1 um eine Achse parallel zu der zweiten Achse Y und eine Drehrate des Drehratensensors 1 um eine Achse parallel zu der dritten Achse Z führt beispielsweise zu entsprechenden Coriolis-Auslenkungen der Struktur 5, bzw. zu entsprechenden auf die Struktur 5 wirkende Coriolis-Beschleunigungen, entlang den entsprechenden Richtungen bei den entsprechenden Frequenzen. Hierbei werden die Coriolis-Auslenkungen  
10 bzw. Coriolis-Beschleunigungen beispielsweise kapazitiv erfasst, mit den jeweiligen Frequenzen demoduliert und tiefpassgefiltert. Das so aufbereitete Signal ist ein Maß für die angelegten Drehraten. Die erfasste Coriolis-Auslenkungen bzw. die Coriolis-Beschleunigungen hat eine andere Frequenz als das Signal der Anregungsschwingung in dieser Richtung. Durch Demodulation mit den  
15 entsprechenden Eigenfrequenzen können die Coriolis-Kräfte und die entsprechenden Drehraten detektiert werden.

Somit bietet der in **Figur 1** dargestellte Drehratensensor den Vorteil dass für die Messung von Drehraten in verschiedenen Raumrichtungen die gleiche Masse  
20 genutzt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch Auswertung der Coriolis-Beschleunigungen, die bei zwei Frequenzen ermittelt wurde, eine Erhöhung der Robustheit beim Messen einer Drehrate bereitgestellt wird. Wenn kein Fehler vorliegt müssen die zwei ermittelten Drehraten gleiche Werte anzeigen.

25 Der in der **Figur 1** dargestellten Drehratensensor 1 umfasst lediglich die Struktur 5. Jedoch ist insbesondere vorgesehen, dass der Drehratensensor 1 zusätzlich eine bevorzugt an die Struktur 5 mechanisch gekoppelte weitere Struktur umfasst. Hierbei wird die weitere Struktur in eine gegenüber der Struktur 5 gegenphasige Schwingung bei der ersten Frequenz, der zweiten Frequenz und  
30 der dritten Frequenz mit jeweils einer Bewegungskomponente in die jeweiligen Richtungen parallel zu der ersten Achse X, parallel zu der zweiten Achse Y und parallel zu der dritten Achse Z angeregt. Die für die weitere Struktur vorgesehenen weiteren Anregungseinheiten und weiteren Detektionseinheiten entspre-

chen im Wesentlichen denen für die Struktur 5 vorgesehenen Anregungseinheiten und Detektionseinheiten. Hierdurch eine Reduktion der Kraftauskopplung der schwingenden Massen und eine Erhöhung der Robustheit gegen Linearbeschleunigungen ermöglicht.

5

Ansprüche

1. Drehratensensor (1) mit einem Substrat (3) mit einer Hauptstreckungsebene (100) und mit einer gegenüber dem Substrat (3) beweglichen Struktur (5), wobei der Drehratensensor (1) eine erste Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur (5) aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer parallel zu der Hauptstreckungsebene (100) verlaufenden ersten Achse (X) derart umfasst, dass die Struktur (5) zu einer Schwingung bei einer ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse (X) anregbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine zweite Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur (5) aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel zu einer parallel zu der Hauptstreckungsebene (100) verlaufenden und senkrecht zu der ersten Achse (X) verlaufenden zweiten Achse (Y) derart umfasst, dass die Struktur (5) zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse (Y) anregbar ist.
2. Drehratensensor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine erste Detektionseinheit (29) zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur (5) entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu einer im Wesentlichen senkrecht zu der Hauptstreckungsebene (100) verlaufenden dritten Achse (Z) mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der ersten Achse (X) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der zweiten Achse (Y) aufweist.
3. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine dritte Anregungseinheit zum Auslenken der Struktur (5) aus einer Ruhelage im Wesentlichen parallel

zu einer senkrecht zu der Haupterstreckungsebene (100) verlaufenden dritten Achse (Z) derart umfasst, dass die Struktur (5) zu einer Schwingung bei einer dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der dritten Achse (Z) anregbar ist.

4. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine zweite Detektionseinheit (31) zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur (5) entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der zweiten Achse (Y) mit der ersten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der ersten Achse (X) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der dritten Achse (Z) aufweist.
5. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine dritte Detektionseinheit (33) zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die Struktur (5) entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der ersten Achse (X) mit der zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der zweiten Achse (Y) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der dritten Achse (Z) aufweist.
6. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) mindestens ein erstes Aufhängemittel (35) und/oder mindestens ein zweites Aufhängemittel (37) und/oder mindestens ein drittes Aufhängemittel (39) zum relativ zum Substrat (3) beweglichen Aufhängen der Struktur (5) derart umfasst, dass die Struktur (5) zu einer Schwingung bei einer ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse (X) und/oder dass die Struktur (5) zu einer Schwingung bei einer zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse (Y) und/oder dass die Struktur (5) zu einer

Schwingung bei einer dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der dritten Achse (Z) anregbar ist.

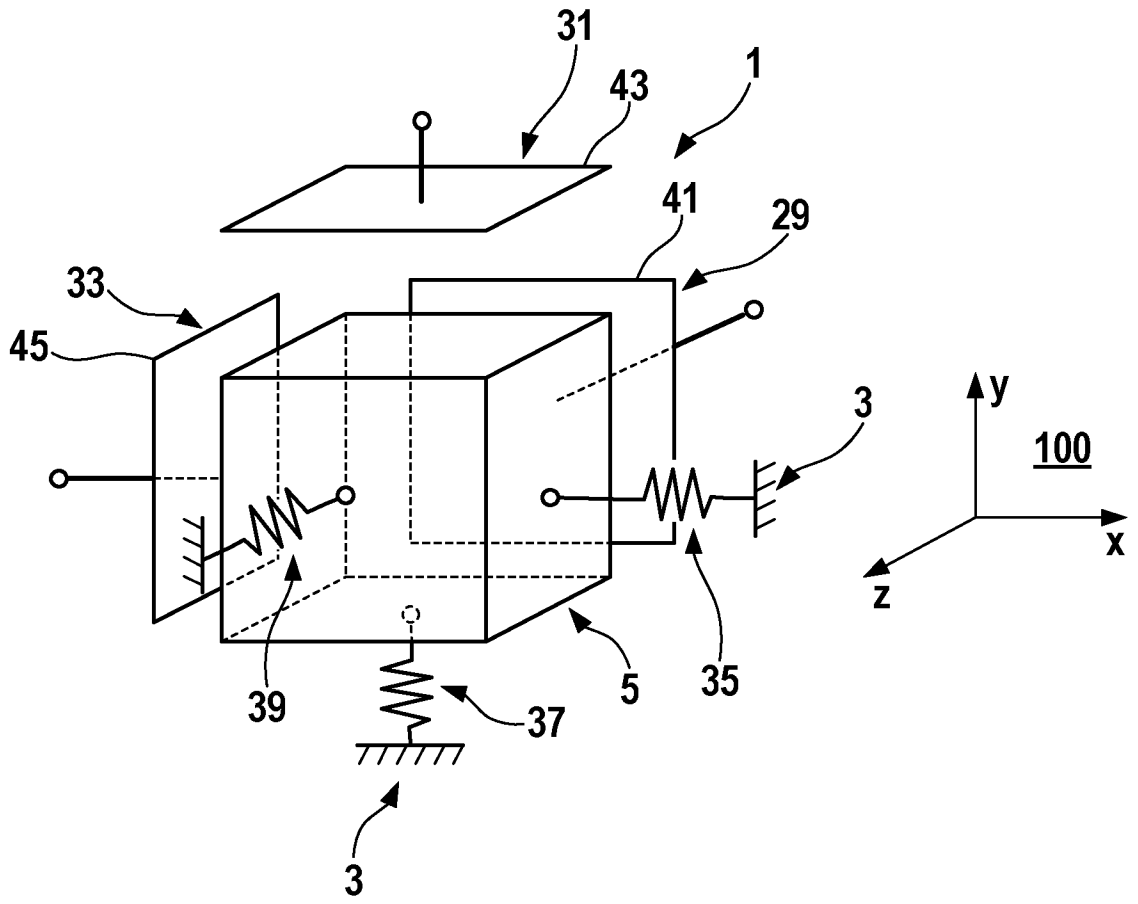
7. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Detektionseinheit (29) mindestens eine erste Elektrode (41) umfasst, wobei die erste Elektrode (41) im Wesentlichen plattenförmig ausgebildet ist, wobei sich die erste Elektrode (41) im Wesentlichen parallel zu einer die erste Achse (X) und die zweite Achse (Y) umfassenden Ebene erstreckt, wobei die zweite Detektionseinheit (31) mindestens eine zweite Elektrode (43) umfasst, wobei die zweite Elektrode (43) im Wesentlichen plattenförmig ausgebildet ist, wobei sich die zweite Elektrode (43) im Wesentlichen parallel zu einer die erste Achse (X) und die dritte Achse (Z) umfassenden Ebene erstreckt, wobei die dritte Detektionseinheit (33) mindestens eine dritte Elektrode (45) umfasst, wobei die dritte Elektrode (45) im Wesentlichen plattenförmig ausgebildet ist, wobei sich die dritte Elektrode (45) im Wesentlichen parallel zu einer die zweite Achse (Y) und die dritte Achse (Z) umfassenden Ebene erstreckt.
8. Drehratensensor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine gegenüber dem Substrat (3) bewegliche weitere Struktur umfasst, wobei die weitere Struktur in eine gegenüber der Struktur (5) gegenphasige Schwingung bei der ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtungen parallel zu der ersten Achse (X) und/oder bei der zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse (Y) und/oder bei der dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente im Wesentlichen entlang einer Richtung parallel zu der dritten Achse (Z) anregbar ist.
9. Drehratensensor (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehratensensor (1) eine weitere erste Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die weitere Struktur entlang einer Richtung im Wesentli-

chen parallel zu der dritten Achse (Z) mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der ersten Achse (X) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der zweiten Achse (Y) aufweist, wobei der Drehratensensor (1) eine weitere zweite Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die weitere Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der zweiten Achse (Y) mit der ersten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der ersten Achse (X) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der dritten Achse (Z) aufweist, wobei der Drehratensensor (1) eine weitere dritte Detektionseinheit zum Detektieren einer Kraftwirkung auf die weitere Struktur entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zu der ersten Achse (X) mit der zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der zweiten Achse (Y) und/oder aufgrund einer Drehrate des Drehratensensors (1) um eine Achse parallel zu der dritten Achse (Z) aufweist.

10. Verfahren zum Betrieb eines Drehratensensors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass
- in einem ersten Verfahrensschritt die Struktur (5) und/oder die weitere Struktur aus einer Ruhelage der Struktur (5) und/oder aus einer Ruhelage der weiteren Struktur mithilfe mindestens eines Antriebssignals derart ausgelenkt wird/werden, dass die Struktur (5) und/oder die weitere Struktur zu einer Schwingung, bzw. zu einer zueinander im Wesentlichen gegenphasigen Schwingung, bei der ersten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der ersten Achse (X) und/oder bei der zweiten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der zweiten Achse (Y) und/oder bei der dritten Frequenz mit einer Bewegungskomponente entlang einer Richtung parallel zu der dritten Achse (Z) angeregt wird/werden, wobei
  - in einem zweiten Verfahrensschritt mithilfe der ersten Detektionseinheit (29) und/oder der zweiten Detektionseinheit (31) und/oder der dritten Detekti-

onseinheit (33) und/oder mithilfe der weiteren ersten Detektionseinheit und/oder der weiteren zweiten Detektionseinheit und/oder der weiteren dritten Detektionseinheit mindestens ein Detektionssignal detektiert wird, wobei

- in einem dritten Verfahrensschritt das mindestens eine Detektionssignal mithilfe von Synchrondemodulation mit der ersten Frequenz und/oder mit der zweiten Frequenz und/oder mit der dritten Frequenz und mithilfe von Tiefpassfilterung aufbereitet wird, wobei
- in einem vierten Verfahrensschritt aus dem aufbereiteten mindestens einen Detektionssignal mindestens eine der ersten Frequenz und/oder der zweiten Frequenz und/oder der dritten Frequenz zuordnungsbar Drehrate ermittelt wird.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2016/061713

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01C19/5733  
ADD.  
  
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)  
G01C  
  
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 2013/205897 A1 (DEIMERLY YANNICK [FR] ET AL) 15 August 2013 (2013-08-15) paragraph [0007] - paragraph [0016]; claims 1-4, 15, 16; figures 1,2,8 -----	1-10
X	US 2009/205423 A1 (TAKAGI MAKOTO [JP] ET AL) 20 August 2009 (2009-08-20) paragraph [0048] - paragraph [0094]; figures 7,8a,8b -----	1-10
X	WO 2014/093727 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]; IZYUMIN IGOR [US]) 19 June 2014 (2014-06-19) paragraph [0037] - paragraph [0050] -----	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  
  
19 July 2016

Date of mailing of the international search report  
  
27/07/2016

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer  
  
Neering, Jan Julius

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/061713

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2013205897	A1	15-08-2013	EP 2600104 A2	05-06-2013
			FR 2983575 A1	07-06-2013
			US 2013205897 A1	15-08-2013
-----				
US 2009205423	A1	20-08-2009	JP 5247182 B2	24-07-2013
			JP 2009198206 A	03-09-2009
			US 2009205423 A1	20-08-2009
-----				
WO 2014093727	A1	19-06-2014	CN 104919275 A	16-09-2015
			EP 2932192 A1	21-10-2015
			US 2016003618 A1	07-01-2016
			WO 2014093727 A1	19-06-2014
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01C19/5733 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01C		
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 2013/205897 A1 (DEIMERLY YANNICK [FR] ET AL) 15. August 2013 (2013-08-15) Absatz [0007] - Absatz [0016]; Ansprüche 1-4, 15, 16; Abbildungen 1,2,8 -----	1-10
X	US 2009/205423 A1 (TAKAGI MAKOTO [JP] ET AL) 20. August 2009 (2009-08-20) Absatz [0048] - Absatz [0094]; Abbildungen 7,8a,8b -----	1-10
X	WO 2014/093727 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]; IZYUMIN IGOR [US]) 19. Juni 2014 (2014-06-19) Absatz [0037] - Absatz [0050] -----	1-10
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
19. Juli 2016		27/07/2016
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  Neering, Jan Julius

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/061713

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013205897 A1	15-08-2013	EP 2600104 A2 FR 2983575 A1 US 2013205897 A1	05-06-2013 07-06-2013 15-08-2013
US 2009205423 A1	20-08-2009	JP 5247182 B2 JP 2009198206 A US 2009205423 A1	24-07-2013 03-09-2009 20-08-2009
WO 2014093727 A1	19-06-2014	CN 104919275 A EP 2932192 A1 US 2016003618 A1 WO 2014093727 A1	16-09-2015 21-10-2015 07-01-2016 19-06-2014