



(10) **DE 10 2010 024 806 A1** 2011.12.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 024 806.1**

(22) Anmeldetag: **23.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **29.12.2011**

(51) Int Cl.: **G01L 3/10 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
51147, Köln, DE; Fraunhofer-Gesellschaft zur  
Förderung der angewandten Forschung e.V.,  
80686, München, DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner GbR, 30173, Hannover, DE**

(72) Erfinder:

**Wagner, Hannes, Dipl.-Ing., 38102, Braunschweig,  
DE; Biehl, Saskia, Dipl.-Ing., 38108,  
Braunschweig, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

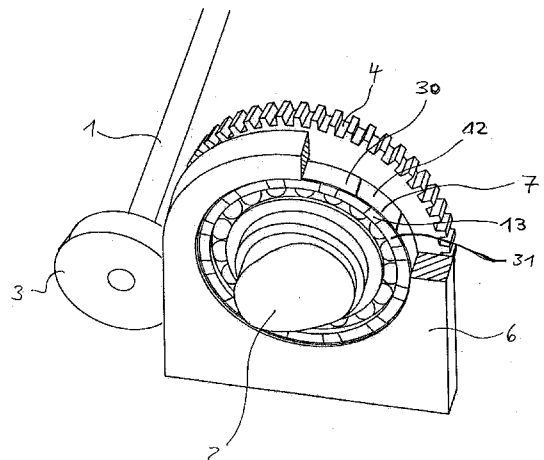
DE	198 54 687	A1
DE	195 22 543	A1
DE	102 28 216	A1
DE	42 18 949	A1
DE	89 06 483	U1
AT	0 08 410	U1
US	64 90 935	B1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Drehmoment-Messeinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Drehmoment-Messeinrichtung zur Messung des über eine erste Welle (2) übertragenen Drehmoments, mit einer zur ersten Welle (2) axial versetzt angeordneten zweiten Welle (1), die mit der ersten Welle (2) zur Übertragung des Drehmoments von der ersten auf die zweite Welle gekoppelt ist, mit einem an der Koppelstelle (3, 4) zwischen der ersten und der zweiten Welle angeordneten Lagerelement (7) zur Lagerung der ersten oder der zweiten Welle, wenigstens einem piezoresistiven Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71), der zwischen einem Gegenlager (6) des Lagerelements (7) und dem Lagerelement (7) angeordnet ist, und mit einer Drehmomentermittlungseinheit (11) zur Ermittlung des Drehmoments aus dem Ausgangssignal des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Messung des über eine erste Welle (2) übertragenen Drehmoments unter Verwendung einer Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das von wenigstens einem piezoresistiven Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) abgegebene Ausgangssignal erfasst wird und aus dem Ausgangssignal mittels eines Umrechnungsfaktors, der durch die geometrischen Verhältnisse der Einrichtung bestimmt ist, das Drehmoment bestimmt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Drehmoment-Messeinrichtung gemäß dem Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Messung des über eine erste Welle übertragenen Drehmoments gemäß Anspruch 11.

**[0002]** Zur Messung von Drehmomenten werden beispielsweise Drehmoment-Messwellen verwendet. Eine Drehmoment-Messwelle besteht typischerweise aus einem kurzen Wellenstück mit definiertem Querschnitt, das beidseitig über Kupplungen in einen Wellenstrang, dessen Drehmoment zu messen ist, integriert wird. Auf dem Wellenstück sind Dehnungsmessstreifen angeordnet, deren Widerstandsänderung ein Maß für das über das Wellenstück übertragene Drehmoment darstellt.

**[0003]** Eine solche Art der Drehmomentmessung hat den Nachteil, dass der zu vermessende Wellenstrang unterbrochen und die Drehmoment-Messwelle in der Unterbrechung montiert werden muss. Die Dehnungsmessstreifen sind zudem auf dem rotierenden Wellenstück angeordnet, was für die Übertragung der Messdaten eine Telemetrie erfordert. All dies führt zu einem relativ hohen Aufwand und hohen Kosten.

**[0004]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Drehmoment-Messeinrichtung zur Messung des über eine Welle übertragenen Drehmoments anzugeben, die einfacher und kostengünstiger in einem Wellenstrang zu integrieren und anzuwenden ist.

**[0005]** Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1 und 11 angegebene Erfindung gelöst. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung an.

**[0006]** Die Erfindung basiert auf der Überlegung, dass über eine Welle übertragene Drehmomente in vielen Fällen an bestimmten Koppelstellen auf eine andere Welle übertragen werden, z. B. über Zahnräder, um die Drehrichtung zu ändern oder um eine Untersetzung oder Übersetzung der Drehbewegung zu bewirken. Gemäß der Erfindung wird daher an einer Koppelstelle zwischen einer ersten Welle und einer zu der ersten Welle axial versetzt angeordneten zweiten Welle wenigstens ein piezoresistiver Messaufnehmer zwischen einem Lagerelement und einem Gegenlager angeordnet. Zudem ist eine Drehmomentermittlungseinheit mit dem wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmer zur Ermittlung des Drehmoments aus dem Ausgangssignal des Messaufnehmers verbunden. Ein solcher Aufbau hat den Vorteil, dass das Messelement, nämlich der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer, statisch angeordnet werden kann und damit konventionell lei-

tungsgebunden kontaktierbar ist. Damit kann auf eine Telemetrie verzichtet werden.

**[0007]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass piezoresistive Messaufnehmer im Vergleich zu Dehnungsmessstreifen robuster realisierbar und zudem weniger anfällig gegen Umwelteinflüsse sind.

**[0008]** Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Wellenstrang nicht wie bei Verwendung der bekannten Drehmoment-Messwelle unterbrochen werden muss. Stattdessen kann eine ohnehin vorhandene Koppelstelle zwischen zwei axial versetzten Wellen verwendet werden. Eine Welle ist an einer solchen Koppelstelle im Normalfall über ein Lagerelement gelagert. In Folge des axialen Versatzes zwischen den Wellen entsteht an dem Lagerelement eine aus dem übertragenen Drehmoment resultierende Kraft, die radial auf das Lagerelement und hierüber auf das Gegenlager des Lagerelements wirkt. Gemäß der Erfindung wird der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer in diesem Kraftfluss angeordnet, so dass die hierbei übertragene Kraft gemessen werden kann. Die hierbei gemessene Kraft ist direkt proportional zum übertragenen Drehmoment, wobei die Proportionalitätskonstante durch die geometrischen Verhältnisse zwischen der ersten und der zweiten Welle an der Koppelstelle bestimmt ist.

**[0009]** Zur Sensierung dieser durch die Drehmomentübertragung über die Koppelstelle entstehenden radialen Querkraft auf das Lagerelement ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer vorteilhaft an der Umfangsseite des Lagerelements bzw. in diesem Bereich zwischen dem Gegenlager und dem Lagerelement angeordnet. Bei Anordnungen mit einem drehenden Innenring eines Lagers wird der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer an einer Außenfläche des Lagerelements angeordnet. Bei Anordnungen mit drehendem Außenring wird entsprechend der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer auf einer Innenfläche des Lagerelements angeordnet. Hierdurch wird der piezoresistive Messaufnehmer an einem nicht drehenden Teil angeordnet, so dass eine Kontaktierung über Kabel möglich ist und eine Telemetrie vermieden wird.

**[0010]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer durch Beschichtung wenigstens eines bei der Rotation der ersten und der zweiten Welle kraftbeaufschlagten Bereichs einer bezüglich der Rotation statischen Oberfläche des Gegenlagers und/oder des Lagerelements in Dünnschichttechnik hergestellt. Eine solche Beschichtung in Dünnschichttechnik hat den Vorteil, dass sie praktisch keinen Bauraum einnimmt und daher in vorhandenen Anordnungen leicht applizierbar ist, z. B. auf der Außenseite eines vorhandenen Lagerelements, z. B. eines Kugellagers. Die Herstellung einer solchen Be-

schichtung kann zudem relativ kostengünstig ausgeführt werden. Daher erlaubt die Erfindung auch dann eine kostengünstige Realisierung, wenn beispielsweise eine Mehrzahl piezoresistiver Messaufnehmer über den Umfang des Lagerelements verteilt vorgesehen werden sollen.

**[0011]** Die Beschichtung in Dünnschichttechnik kann an der Oberfläche des Gegenlagers, an der Oberfläche des Lagerelements oder auch an beiden Oberflächen vorgesehen sein.

**[0012]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer in das Gegenlager und/oder in das Lagerelement integriert angeordnet. Ein Kriterium für die Anordnung ist, dass der Messaufnehmer im Kraftfluss liegt, der durch die Drehmomentübertragung von dem Lagerelement auf das Gegenlager übertragen wird.

**[0013]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist dem wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmer ein Temperaturkompensationselement zugeordnet. Hierdurch kann der Temperatureinfluss aus den Messergebnissen eliminiert werden, was zu einer höheren Messgenauigkeit führt.

**[0014]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist das Temperaturkompensationselement als Beschichtung in Dünnschichttechnik stirnseitig am Lagerelement und/oder an der der Stirnseite des Lagerelements gegenüberliegenden Seite des Gegenlagers angeordnet. Dies erlaubt vorteilhaft den Aufbau des Temperaturkompensationselements in derselben Technologie und Art wie der Messaufnehmer und damit eine einfache und kostengünstige Realisierung temperaturkompensierter Messaufnehmer. Vorteilhaft können der Messaufnehmer und das Temperaturkompensationselement in einem Herstellungsschritt als Beschichtung in Dünnschichttechnik aufgebracht werden. Vorteilhaft ist das Temperaturkompensationselement stirnseitig angeordnet und liegt daher nicht im Kraftfluss der von dem übertragenen Drehmoment erzeugten Kraft auf das Lagerelement. Zudem kann das Temperaturkompensationselement in einfacher Weise dicht bei dem zu kompensierenden piezoresistiven Messaufnehmer angeordnet sein, so dass von gleichen Temperaturen an dem Messaufnehmer und dem Temperaturkompensationselement ausgegangen werden kann. In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden wenigstens ein piezoresistiver Messaufnehmer und wenigstens ein zugeordnetes Temperaturkompensationselement zu einer Brückenschaltung verbunden und mit einer Messschaltung verbunden. Dies erlaubt eine einfache Implementation einer automatischen Temperaturkompensation für den piezoresistiven Messaufnehmer.

**[0015]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind jeweils zwei bezüglich des Umfangs des Lagerelements einander gegenüberliegende piezoresistive Messwertaufnehmer zur Erhöhung der Messempfindlichkeit zu einer Brückenschaltung miteinander verbunden. Hierdurch wird die Brückenspannung vergrößert, da ein Messwertaufnehmer belastet wird, während der an der gegenüberliegenden Stellen des Lagerelements angeordnete Messwertaufnehmer entlastet wird. Sofern von ungefähr gleichmäßiger Wärmeverteilung an dem Lagerelement ausgegangen werden kann, erfolgt durch diese Verschaltung auch gleichzeitig eine Temperaturkompensation. Hierdurch kann auf separate Temperaturkompensationselemente verzichtet werden. Durch Verschaltung jeweils zweier Messwertaufnehmer zu einer Brückenschaltung werden Temperatureinflüsse sozusagen automatisch herauskompensiert.

**[0016]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist wenigstens ein elektrischer Anschlusskontakt eines piezoresistiven Messaufnehmers stirnseitig am Lagerelement und/oder an der Stirnseite der dem Lagerelement gegenüberliegenden Seite des Gegenlagers angeordnet.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der piezoresistive Messaufnehmer und/oder das Temperaturkompensationselement durch Beschichtung mit folgenden Schichten hergestellt:

- a) eine mit Kohlen-Wasserstoff gebildete piezoresistive Sensorschicht auf der Oberfläche des Gegenlagers und/oder des Lagerelements,
- b) wenigstens eine auf die piezoresistive Sensorschicht aufgebraute Elektrode und
- c) eine die piezoresistive Sensorschicht und die Elektrode abdeckende Isolations- und Verschleißschicht.

**[0018]** Ein solcher Aufbau erlaubt eine einfache und kostengünstige Herstellung des piezoresistiven Messaufnehmers und/oder des Temperaturkompensationselements.

**[0019]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung hat die Elektrode eine derartige Struktur, dass ein im Kraftfluss liegender erster Bereich und ein zweiter außerhalb des Kraftflusses liegender viereckiger Bereich angrenzend an den ersten Bereich vorgesehen ist, wobei die Verkabelung der Messaufnehmer durch elektrisch leitende Verbindungen von Messleitungen mit dem viereckigen Bereich erfolgt.

**[0020]** Sofern nur ein Messaufnehmer verwendet wird, ist dieser vorteilhaft so auszurichten, dass er möglichst genau in dem Kraftfluss der von dem Drehmoment erzeugten Reaktionskraft liegt. Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind über den Umfang des Lagerelements verteilt eine Mehrzahl von piezoresistiven Messaufnehmern angeordnet.

net. Die piezoresistiven Messaufnehmer können, wie zuvor bereits erläutert, als Beschichtung auf dem Lagerelement und/oder als Beschichtung auf dem Gegenlager hergestellt sein, oder an einem anderen im Kraftfluss liegenden Bauteil. Die Verwendung einer Mehrzahl von über den Umfang des Lagerelements verteilten piezoresistiven Messaufnehmern hat den Vorteil, dass auf eine genaue Ausrichtung der Messaufnehmer auf den Kraftfluss verzichtet werden kann. Bei einer Mehrzahl von Sensoren kann eine Mehrzahl von Ausgangssignalen ausgewertet werden. Hierbei können die Ausgangssignale mit den größten Werten für die Drehmomentbestimmung herangezogen werden, so dass eine präzise Messung des Drehmoments rechnerisch durch Auswertung der mehreren Ausgangssignale erfolgt, ohne dass es auf eine genaue Positionierung der Messaufnehmer im Kraftfluss ankommt. Hieraus ergeben sich Montage- und Zeitvorteile bei der Integration der erfindungsgemäßen Messaufnehmer in eine vorhandene Einrichtung.

**[0021]** Bei einem Verfahren zur Messung des über eine erste Welle übertragenen Drehmoments ist vorgesehen, dass eine Einrichtung der zuvor beschriebenen Art verwendet wird. Hierbei wird das von dem wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmer abgegebene Ausgangssignal erfasst und aus dem Ausgangssignal mittels eines Umrechnungsfaktors, der durch die geometrischen Verhältnisse der Einrichtung bestimmt ist, das Drehmoment bestimmt. Dies erlaubt vorteilhaft eine einfache und wenig aufwendige Drehmomentbestimmung bei einer gegebenen Einrichtung.

**[0022]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das Ausgangssignal wenigstens eines Messaufnehmers oder die Ausgangssignale einer Mehrzahl von über den Umfang des Lagerelements verteilten Messaufnehmern erfasst. Aus dem einen Ausgangssignal oder der Mehrzahl von Ausgangssignalen werden wiederkehrende, charakteristische Signalmuster bestimmt. Aus einer Frequenz der Signalmuster wird die Drehzahl der ersten Welle bestimmt. Dies hat den Vorteil, dass die für die Drehmomentmessung vorgesehenen Messaufnehmer zusätzlich für eine Drehzahlmessung herangezogen werden können und somit eine Doppelfunktion erfüllen. Hierdurch kann auf gesonderte Sensoren zur Drehzahlerfassung verzichtet werden.

**[0023]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird aus den erfassten Signalmustern die Drehrichtung der ersten Welle bestimmt. Durch die Drehrichtungsbestimmung können die vorhandenen Messaufnehmer für die Erfassung einer weiteren physikalischen Größe herangezogen werden, ohne dass hierfür ein gesonderter Sensor erforderlich wäre.

**[0024]** Die Erfassung und Auswertung der Ausgangssignale und der Signalmuster kann beispielsweise durch die Drehmomentermittlungseinheit oder eine andere elektronische Einrichtung erfolgen.

**[0025]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Verwendung von Zeichnungen näher erläutert.

**[0026]** Es zeigen

**[0027]** Fig. 1 eine Anordnung mit einer ersten und einer zweiten Welle und

**[0028]** Fig. 2 Anordnungsmöglichkeiten von Messaufnehmern und

**[0029]** Fig. 3a und Fig. 3b eine Messschaltung und

**[0030]** Fig. 4 ein Dreischichtsystem und

**[0031]** Fig. 5 eine Messschaltung an einem Lagerelement und

**[0032]** Fig. 6 eine weitere Messschaltung an einem Lagerelement und

**[0033]** Fig. 7 eine Anordnung von Sensorstrukturen an einem Lagerelement.

**[0034]** In den Figuren werden gleiche Bezugszeichen für einander entsprechende Elemente verwendet.

**[0035]** Die Fig. 1 zeigt in schematisierter Darstellung eine erste Welle **2**, die in Fig. 1 lediglich als Wellenstummel dargestellt ist. Die erste Welle **2** ist in als Lagerelement verwendeten einem Kugellager **7** gelagert. Das Kugellager **7** ist in einem als Gegenlager wirkenden Lagerring **6** angeordnet. Auf der ersten Welle **2** ist ein Zahnrad **4** verdrehfest angeordnet. Des Weiteren ist eine zweite Welle **1** dargestellt, auf der ein zweites Zahnrad **3** verdrehfest angeordnet ist. Das zweite Zahnrad **3** ist mit dem ersten Zahnrad **4** im Eingriff. Über die Zahnräder **3**, **4** wird eine Drehbewegung von der ersten Welle **2** auf die zweite Welle **1** übertragen. Der Übergang von dem Zahnrad **4** auf das Zahnrad **3** bildet dabei eine Koppelstelle zwischen der ersten und der zweiten Welle.

**[0036]** Das Gegenlager **6** ist teilweise geschnitten dargestellt. In einem freigeschnittenen Bereich ist eine äußere Umfangsfläche **30** des Kugellagers **7** dargestellt. Zudem ist die stirnseitige Oberfläche **31** des Kugellagers **7** erkennbar. Auf der äußeren Umfangsfläche **30** ist ein erster piezoresistiver Messaufnehmer **12**, **13** in Form einer Beschichtung in Dünnschichttechnik aufgebracht. Auf der stirnseitigen Oberfläche **31** ist ein elektrischer Anschlussbereich **13** vorgesehen, der zur elektrischen Kontaktie-

zung eines Sensierbereichs **12** des Messaufnehmers vorgesehen ist. In gleicher Weise können weitere piezoresistive Messaufnehmer um das Kugellager **7** herum verteilt angeordnet sein.

**[0037]** Die Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf die erste Welle **2** sowie das Kugellager **7**. Gemäß Fig. 2a ist ein einziger piezoresistiver Messaufnehmer, dargestellt durch den Sensierbereich **12**, zwischen dem Kugellager **7** und dem Gegenlager **6** vorgesehen, wobei der Sensierbereich **12** in dem Kraftfluss der Reaktionskraft angeordnet ist, die durch die Übertragung des Drehmoments von der ersten Welle **2** auf die zweite Welle **1** erzeugt wird.

**[0038]** Die Fig. 2b zeigt eine vergleichbare Anordnung wie Fig. 2a, wobei eine Mehrzahl von Messaufnehmern dargestellt, deren Sensierbereiche **5**, **8**, **12** um das Kugellager **7** herum verteilt angeordnet sind. Die Messaufnehmer können vollständig um das Kugellager herum angeordnet sein.

**[0039]** Fig. 3a und Fig. 3b zeigen eine Skizze mit einem Schaltprogramm zur temperaturkompensierten Drehmomentenmessung mit einem Schaltbild einer Viertelbrücke zur Temperaturkompensation.

**[0040]** In der Skizze gemäß Fig. 3a ist ein Ausschnitt der äußeren Umfangsfläche **30** des Kugellagers **7** mit dem ersten im Kraftfluss liegenden Bereich **12** und dem zweiten außerhalb des Kraftflusses der rotierbaren Lageranordnung **6**, **7** liegenden Bereich **13** mit den dort gebildeten piezoresistiven Strukturen erkennen. Der Außenring **30**, **31** des Kugellagers **7** ist auf Basispotential, zum Beispiel Masse gelegt und wird mit einer Konstantspannungsquelle  $U$  mit einer konstanten Spannung versorgt.

**[0041]** Erkennbar ist, dass jeder piezoresistive Messaufnehmer einen Sensierbereich **12** hat, der im Lasteinflussbereich der rotierbaren Lageranordnung **6**, **7** liegt. Angrenzend an diesen im Kraftfluss liegenden Sensierbereich **12** ist ein weiterer Bereich **13** vorgesehen, der außerhalb des Lasteinflussbereichs liegt und zur elektrischen Kontaktierung dient. An der außerhalb des Lasteinflussbereichs liegenden stirnseitigen Oberfläche **31** des Kugellagers **7** ist gemäß Fig. 3a ein weiterer Bereich **10** dargestellt, der zur Temperaturkompensation dient. Die in den Bereichen **12**, **13** gebildeten piezoresistiven Messaufnehmer und die in den Bereich **10** gebildeten Temperaturkompensationselemente werden jeweils mittels Kabel mit einer Drehmomentermittlungseinheit **11** verbunden. Die piezoresistiven Messaufnehmer werden mittels einer geeigneten Konstantspannungsquelle mit Energie versorgt. Die eigentliche Temperaturkompensation der piezoresistiven Messaufnehmer erfolgt über eine geeignete Verschaltung der Bereiche **10**, **12** und **13** z. B. mit einer Brückenschaltung.

**[0042]** Die piezoresistive Sensorschicht kann homogen auf einen Grundkörper, hier z. B. den Außenring des Kugellagers **7**, aufgetragen werden. Zur Ausbildung einzelner piezoresistiver Messaufnehmer ist es notwendig, Bereiche zu definieren, in denen die eigentliche Messung der Kontaktkräfte stattfinden soll. Hierfür kann vorteilhaft eine elektrisch leitfähige Beschichtung in dedizierten Bereichen des Grundkörpers vorgesehen werden, und zwar in Form der anhand der Fig. 3a dargestellten Bereiche **10**, **12**, **13**. Vorteilhaft besteht jeder Sensorbereich aus zwei Elektroden  $F$ ,  $T$ . Die für die Kraftmessung ausgebildete Elektrode  $F$  ist als Kombination zwischen einem rechteckigem Bereich **13** und einem länglichen Bereich **12** ausgestaltet, wobei der längliche Bereich vorteilhaft in Form eines lang gestreckten Ovals ausgebildet sein kann. Wie in Fig. 3a zu erkennen ist, befindet sich nur der längliche Bereich **12** der Elektrode innerhalb der kraftbeaufschlagten äußeren Umfangsfläche **30** des Kugellagers **7**. Die Bereiche **13**, **10** der Elektroden befinden sich in dem nicht kraftbeaufschlagten Bereich **31**. Somit befindet sich von der gesamten Sensoranordnung nur der längliche Bereich **12** im Kraftfluss der mechanischen Konstruktion. Die zusätzlich neben der Elektrode  $F$  angeordnete rechteckförmige Elektrode  $T$  befindet sich vorteilhaft in unmittelbarer Nähe zur Elektrode  $F$ , ist mit dieser jedoch nicht leitfähig verbunden. Die rechteckförmigen Bereiche **10**, **13** der Elektroden dienen dabei zugleich der Kontaktierung der Anschlussdrähte zur Verbindung mit einer Messschaltung. Hierbei ist es vorteilhaft, dass der Bereich **10** der Elektrode  $T$  den gleichen Flächenbereich einnimmt wie die Bereiche **12** + **13** der Elektrode  $F$  zusammen. Hierdurch ist mittels der Elektrode  $T$  eine optimale Temperaturkompensation möglich.

**[0043]** Wie in der Fig. 3a ebenfalls erkennbar ist, ist der Außenring des Kugellagers **7** als metallischer Grundkörper eine elektrische Referenz für die Erfassung der Sensorsignale. Der Außenring des Kugellagers **7** liegt dabei beispielsweise auf Massepotential. Die Elektroden  $F$ ,  $T$  werden über eine Messschaltung mit einer Spannungsquelle verbunden, deren Potential höher liegt als das der elektrischen Masse des Außenrings des Kugellagers **7**. Hierdurch bildet sich ein Stromfluss aus, bei dem die Ladungsträger zunächst über eine Verbindungsstelle in die Elektroden  $T$ ,  $F$  fließen und von dort durch die Sensorschicht zur elektrischen Masse, d. h. über den metallischen Grundkörper des Außenrings des Kugellagers **7** zur Masse der Spannungsversorgung. Für die Funktion als Messaufnehmer kommen die Bereiche der Anordnung in Frage, in denen ein Stromfluss durch die piezoresistive Beschichtung fließt und eine Widerstandsänderung der Beschichtung messtechnisch erfasst werden kann. Die piezoresistive Sensorschicht ist prinzipbedingt sehr hochohmig. Aus diesem Grund kommt es nicht zu einem relevanten Stromfluss von einer Elektrode zur anderen, d. h. die Messungen

an den einzelnen Elektroden beeinflussen sich gegenseitig nicht. Aufgrund des hohen spezifischen Widerstands der piezoresistiven Sensorschicht fließen die Ladungsträger, sozusagen nach dem Prinzip des Wegs des geringsten Widerstands, von einer Elektrode durch die relativ dünne Sensorschicht zur elektrischen Masse des Grundkörpers. Ein Stromfluss über den wesentlich hochohmigeren Weg über benachbarte Elektroden ist vernachlässigbar. Daher kann jede Elektrode als ein separater, veränderlicher ohmscher Widerstand betrachtet werden.

**[0044]** Kommt es durch den Einfluss von Druck bzw. Kraft oder Temperatur zu einer Veränderung des elektrischen Widerstands der Sensorschicht, kann dieser lokal im Bereich der Elektroden erfasst werden, da er den Stromfluss dort direkt beeinflusst. Für die Anwendung zur Drehzahlmessung besteht ein Bedarf daran, dass die Messung nicht durch Temperatureinflüsse ungenau wird. Es ist daher eine temperaturstabilisierte Messung anzustreben. Zu diesem Zweck wird eine Messschaltung gemäß [Fig. 3a](#) bzw. [Fig. 3b](#) verwendet. Bei dieser Messschaltung wird in Reihe zu jeder Elektrode ein externer Widerstand geschaltet. Ergänzt mit einer Spannungsquelle kann dann eine Brückenschaltung aufgebaut werden. Die Querspannung  $U_b$  der Brückenschaltung steht dabei in folgendem Zusammenhang mit den übrigen Größen der Messschaltung:

$$U_b = U \left[ \frac{1}{1 + \frac{R_F}{R_{trimm}}} - \frac{1}{1 + \frac{R_T}{R_e}} \right]$$

**[0045]** Eine Änderung der Schichtwiderstände in der Sensorschicht macht sich daher in einer Änderung der Querspannung bemerkbar. Man kann erkennen, dass durch Anpassen des externen Widerstands  $R_{trimm}$  die Größenverhältnisse so eingestellt werden können, dass die Querspannung zwischen den Brückenzweigen zu Null wird. Ein solcher Abgleich kann einmalig erfolgen, z. B. im unbelasteten Zustand des Lagers. Kommt es nun zu einer Krafterwirkung auf die Elektrode F, reduziert sich an dieser Stelle der elektrische Widerstand der Sensorschicht. An der Elektrode T kann dies nicht erfolgen, da sie sich nicht innerhalb des Kontaktbereichs des Außenrings befindet. Die Elektrode T verändert daher ihren Widerstand kraftbedingt nicht. Beide Elektroden F, T unterliegen aber zusätzlich einer temperaturbedingten Widerstandsänderung. Durch in etwa flächenmäßig gleich große Ausbildung der Bereiche **10**, **13** und Anordnung der Bereiche **10**, **13** nah beieinander kann eine effiziente Temperaturkompensation erfolgen.

**[0046]** Als Folge der Kraftbeaufschlagung des Bereichs **12** ändert sich der Widerstand der darunter befindlichen Sensorschicht. Hierdurch sind die Wider-

standsverhältnisse der Brückenschaltung nicht mehr so abgestimmt, dass die Querspannung  $U_b$  den Wert Null hat. Es ergibt sich somit eine von Null verschiedene Querspannung. Dieser Spannungswert ist dann ein Maß für die einwirkende Kraft auf die Elektrode F, was von einer angeschlossenen Messeinheit bzw. einer Drehmomentermittlungseinheit **11** erfasst und verarbeitet werden kann.

**[0047]** Kommt es zu einer Temperaturveränderung im Bereich der Sensoren, wirkt sich diese Temperaturveränderung auf die gesamte Sensorschicht in diesem Bereich aus. Entsprechend ändert sich der Widerstand der Sensorschicht in diesem Bereich. Durch die identische Größe der Bereiche **10**, **13** der Elektroden kommt es dabei nicht zu einem Ungleichgewicht in der Messung, sondern zu einer Kompensation innerhalb der Brückenschaltung. Es bleibt das Widerstandsverhältnis in den Brückenzweigen gleich, so dass es auch nicht zu einer temperaturbedingten Änderung der Querspannung kommt. Die Schaltung ist somit automatisch temperaturkompensiert.

**[0048]** Deutlich wird, dass die Signale der beiden piezoresistiven Strukturen jeweils an eine Drehmomentermittlungseinheit **11** geführt werden. Die piezoresistiven Strukturen sind zudem über elektrische Widerstände  $R_{trimm}$  und  $R_e$  an die Konstantspannungsquelle  $U$  angeschlossen. Statt einer Konstantspannungsquelle kann auch eine Konstantstromquelle verwendet werden. Eine Konstantstromquelle bietet verschiedene Vorteile bei der Übertragung der Messsignale in die Messschaltung, wie z. B. die Möglichkeit zur Erkennung von Leitungsbrüchen oder ausgefallenen Sensoren.

**[0049]** [Fig. 3b](#) lässt mit dem Schalt diagramm erkennen, dass die durch die piezoresistiven Strukturen gebildeten Elektroden T, F mit den Widerständen  $R_{trimm}$  und  $R_e$  in einer Brückenschaltung (Wheatstone-Brücke) verschaltet sind. Hierbei entspricht der dargestellte Widerstand  $R_F$  dem Widerstand der Elektrode F, der Widerstand  $R_T$  entspricht dem Widerstand der Elektrode T.

**[0050]** Hiermit wird eine Temperaturkompensation der Messung erreicht, die notwendig ist, da die Temperatur im Einsatzbereich des Messsystems in der Regel beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein kann.

**[0051]** Die im Kraftfluss der rotierbaren Lageranordnung **6**, **7** liegende piezoresistive Struktur mit  $R_F$  ist dem Einfluss von Kraft und Temperatur unterworfen. Die zweite, außerhalb des Kraftflusses liegende piezoresistive Struktur mit der Elektrode  $R_e$  ist hingegen nur gegenüber Temperaturänderungen empfindlich. Die Temperaturkompensation der Messung wird durch die Anwendung einer Viertelbrückenschaltung realisiert. Hierbei werden die elektrischen Widerstän-

de  $R_T$  und  $R_F$  des jeweiligen Sensorpunktes durch zwei externe Widerstände  $R_{\text{trimm}}$  und  $R_E$  ergänzt, die in einem separaten Modul zusammen mit der zur Signalerfassung und -auswertung notwendigen Elektronik untergebracht sind und unter anderem auch die Abstimmung der Brückenspannung ermöglichen. Bei dieser Art der Temperaturkompensation wird davon ausgegangen, dass sowohl die externen Widerstände  $R_{\text{trimm}}$  und  $R_E$  wie auch die Strukturen des Sensorpunktes jeweils ein weitgehend identisches Temperaturverhalten zeigen und auch gleichen Temperaturen ausgesetzt sind. Auf diese Weise bleibt die Brückenspannung auch bei Änderung der Temperatur entweder im Elektronikmodul oder am Wälzlager konstant. Neben der Temperaturkompensation ist die Störuneempfindlichkeit dieser Schaltung ein weiterer Vorteil. Insbesondere Störungen im Massepotential koppeln durch den Aufbau als Brückenschaltung als Gleichtaktstörungen in beide Brückenarme synchron ein und verfälschen so nicht die gemessene Brückenspannung. Ein geringfügiger Nachteil hingegen ist die nicht lineare Kraft-Spannungs-Kennlinie. Der Linearitätsverlust beträgt je nach Schaltung circa 10%. Dieser kann jedoch elektronisch oder, nach erfolgter Analog-Digital-Wandlung des Messsignals, rechnerisch korrigiert werden, um eine lineare Kennlinie zu erhalten.

**[0052]** Der Stromfluss in dieser Viertelbrückenschaltung ist derart, dass an den piezoresistiven Sensorstrukturen der Strom durch die Kontaktstellen in die piezoresistive Schicht eintritt, diese durchdringt und über den metallischen Außenring des Kugellagers **7**, der als elektrische Masse dient, wieder abfließt. Da sich der Strom hierbei bedingt durch das Prinzip des geringsten Widerstands den kürzesten Weg, das heißt senkrecht durch die Schicht, sucht, kommt es trotz der homogenen auf den Außenring des Kugellagers **7** aufgetragenen piezoresistiven Sensorschicht nicht zu einer gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Sensorstrukturen.

**[0053]** Jeder piezoresistive Messaufnehmer, bestehend aus dem durch den außerhalb des Kraftflusses liegenden Bereich **10** und dem innerhalb des Kraftflusses liegenden Bereich **12** gebildeten Sensorpaar, liefert eine temperaturkompensierte Messung der an der Messstelle herrschenden Kontaktkraft zwischen dem Kugellager **7** und dem Gegenlager **6**. Die auf dem piezoresistiven Messprinzip beruhende Widerstandsänderung wird über die elektrische Spannung an jedem Sensorpaar gemessen, die als Maß für die einwirkende Kraft dient. Die Kontaktkraft wird durch die an den piezoresistiven Messaufnehmern vorbeierollenden Wälzkörper beeinflusst. Die aus der Pressung der Wälzkörper gegen den Lager-Außenring resultierende, lokale Verformung des Außenrings führt zu einem charakteristischen, drehrichtungsabhängigen Kontaktkraftverlauf.

**[0054]** Der Aufbau der piezoresistiven Messaufnehmer **12**, **13** ist in der **Fig. 4** skizziert. Die Temperaturkompensationsbereiche **10** sind gleichermaßen aufgebaut. Die äußere Oberfläche **30** des Kugellagers **7** dient als Substrat für eine flächig aufgebrachte piezoresistive Sensorschicht **14** bestehend aus einer dotierten oder undotierten Kohlenwasserstoffschicht. Als Dotierungsmaterialien kommen beispielsweise Metalle, wie Wolfram, Chrom, Silber, Titan, Gold, Platin etc. in Frage. Als Material für die Sensorschicht **14** sind auch reine oder amorphe Kohlenstoffschichten möglich.

**[0055]** Auf die piezoresistive Sensorschicht **14** sind strukturierte Elektroden **15** zur Kraftmessung und zur Temperaturkompensation aufgebracht. Diese strukturierten Elektroden **15** bestehen aus einer dünnen Metallschicht, wie z. B. Chrom, Titan, Chrom-Nickel-Verbindungen etc. Die strukturierten Elektroden haben die in **Fig. 3** gezeigte und diskutierte Form und bilden den länglichen Bereich **12** und den viereckigen Bereich **13** aus.

**[0056]** Die piezoresistive Sensorschicht **14** sowie die strukturierten Elektroden **15** sind mit einer Isolations- und Verschleißschutzschicht **16** abgedeckt, die z. B. aus einer siliziumdotierten Kohlenwasserstoffschicht gebildet ist. Denkbar ist auch die Verwendung von Silizium-Sauerstoff-, Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid-dotierten Kohlenwasserstoffschichten.

**[0057]** Bei dem dargestellten Schichtsystem haben alle Sensorstrukturen der piezoelektrischen Messaufnehmer dieselbe Masse, für die das metallische Ringsubstrat verwendet wird.

**[0058]** Ein piezoresistiver Dünnschichtsensor bestehend aus einer auf einem Träger angeordneten Kohlenwasserstoffschicht mit piezoresistiven Eigenschaften und Elektrodenstrukturen auf der piezoresistiven Sensorschicht ist zudem aus der DE 10 2006 019 942 A1 bekannt.

**[0059]** Die **Fig. 5** zeigt eine vergleichbare Anordnung wie **Fig. 2a**, wobei die elektrische Ankopplung einer Messschaltung an den piezoresistiven Messaufnehmer **12**, **13** sowie das Temperaturkompensationselement **10** dargestellt ist. Das Temperaturkompensationselement **10** ist, analog zu **Fig. 3a**, mit dem Widerstand  $R_E$  verbunden. Der piezoresistive Messaufnehmer **12**, **13** ist, ebenfalls gemäß **Fig. 3a**, mit dem einstellbaren Widerstand  $R_{\text{trimm}}$  verbunden. Hieraus ergibt sich die Brückenschaltung gemäß **Fig. 3b**. Als Versorgungsspannung wird über eine Konstantspannungsquelle die Spannung  $U$  an den Anschlüssen **50**, **51** eingespeist. Der Anschluss **50** ist als Masseanschluss mit dem Metall des äußeren Rings des Kugellagers **7** verbunden. Der Anschluss **51** ist mit der Brückenschaltung verbunden. An den Anschlüssen **52**, **53** kann eine Spannung  $U_T$

abgegriffen werden, die der in **Fig. 5** nicht dargestellten Drehmomentermittlungseinheit **11** zugeführt wird. Die Drehmomentermittlungseinheit **11** bestimmt das zu messende Drehmoment dann durch Analog/Digital-Wandlung der Spannung  $U_T$  und Berechnung des sich hieraus ergebenden Drehmomentwerts.

**[0060]** Die **Fig. 6** zeigt eine Ausführungsform einer Messschaltung einer Messschaltung bei Verwendung einer Mehrzahl piezoresistiver Messaufnehmer. Gemäß **Fig. 6** sind zwölf piezoresistive Messaufnehmer **5, 8, 12, 60, 61, 62** am Umfang verteilt um das Lager **7** herum angeordnet. Hierbei werden jeweils einander radial gegenüberliegende Messaufnehmer mit einer Brückenschaltung verbunden. Es sind somit keine separaten Temperaturkompensationselemente vorgesehen. An die nach dem Prinzip von **Fig. 5** für die Temperaturkompensationselemente vorgesehenen Anschlüsse der Brückenschaltung, die mit dem Widerstand  $R_e$  verbunden sind, sind gemäß **Fig. 6** die Messaufnehmer **60, 61, 62** angeschlossen. Die aus jeweils gegenüberliegenden Messaufnehmern bestehenden Paare sind jeweils einer Brückenschaltung zugeordnet, d. h. es sind sechs Brückenschaltungen vorgesehen, von denen in **Fig. 6** für eine übersichtlichere Darstellung nur drei Brückenschaltungen **66, 67, 68** dargestellt sind. Die Brückenschaltungen **66, 67, 68** werden von einer gemeinsamen Versorgungsspannung  $U$  über die Anschlüsse **50, 51** versorgt, wie entsprechend für die eine Brückenschaltung in **Fig. 5** dargestellt. Nach diesem Prinzip lassen sich bei Verwendung von  $n$  Messaufnehmern  $n/2$  Ausgangssignale der Brückenschaltungen erzeugen, die zur Signalverarbeitung verwendet werden können. Die erste Brückenschaltung **66** gibt als Ausgangssignal eine Spannung  $U_1$  an den Anschlüssen **63** ab. Die zweite Brückenschaltung gibt als Ausgangssignal eine Ausgangsspannung  $U_2$  an den Anschlüssen **64** ab. Die dritte Brückenschaltung gibt als Ausgangssignal eine Spannung  $U_3$  an den Anschlüssen **65** ab. Die Anschlüsse **63, 64, 65** sind mit einer Drehmomentermittlungseinheit verbunden, die gemäß der Drehmomentermittlungseinheit **11** aufgebaut ist, jedoch mehrkanalig zur Erfassung mehrerer Spannungssignale ausgelegt ist. Durch entsprechende Signalverarbeitung der Ausgangssignale  $U_1, U_2, U_3$  kann die Drehmomentermittlungseinheit auch ohne Berücksichtigung der exakten Einbaulage des Lagers **7** das auftretende Drehmoment mit hoher Genauigkeit erfassen.

**[0061]** Die **Fig. 7** zeigt als Lagerelement ein Kugellager **7**. Auf der äußeren Umfangsfläche des Kugellagers **7** sind Sensierbereiche **12, 5, 8** durch Beschichtung in Dünnschichttechnik, wie anhand der **Fig. 4** erläutert, aufgebracht. Auf der oberen Stirnseite des äußeren Rings des Kugellagers **7** sind Kontaktflächen **13, 70, 71** durch Dünnschicht-Beschichtung aufgebracht, die zur elektrischen Kontaktierung der Sensierbereiche **5, 8, 12** dienen. Sofern separate Temperaturkompensationselemente vorgesehen werden,

werden diese ebenfalls durch Dünnschicht-Beschichtung auf der oberen Stirnseite des äußeren Rings des Kugellagers **7** jeweils in unmittelbarer Nähe zu den Kontaktflächen **13, 70, 71** aufgebracht. Dargestellt sind in der **Fig. 7** beispielhaft Temperaturkompensationselemente **10, 72, 73**.



**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102006019942 A1 [\[0058\]](#)

### Patentansprüche

1. Drehmoment-Messeinrichtung zur Messung des über eine erste Welle (2) übertragenen Drehmoments, mit einer zur ersten Welle (2) axial versetzt angeordneten zweiten Welle (1), die mit der ersten Welle (2) zur Übertragung des Drehmoments von der ersten auf die zweite Welle gekoppelt ist, mit einem an der Koppelstelle (3, 4) zwischen der ersten und der zweiten Welle angeordneten Lagerelement (7) zur Lagerung der ersten oder der zweiten Welle, wenigstens einem piezoresistiven Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71), der zwischen einem Gegenlager (6) des Lagerelements (7) und dem Lagerelement (7) angeordnet ist, und mit einer Drehmomentermittlungseinheit (11) zur Ermittlung des Drehmoments aus dem Ausgangssignal des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) durch Beschichtung wenigstens eines bei der Rotation der ersten und der zweiten Welle kraftbeaufschlagten Bereichs einer bezüglich der Rotation der Wellen statischen Oberfläche (30) des Gegenlagers (6) und/oder des Lagerelements (7) in Dünnschichttechnik hergestellt ist.

3. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) in das Gegenlager (6) und/oder in das Lagerelement (7) integriert angeordnet ist.

4. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) ein Temperaturkompensationselement (10, 72, 73) zugeordnet ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Temperaturkompensationselement (10, 72, 73) als Beschichtung in Dünnschichttechnik stirnseitig am Lagerelement (7) und/oder an der der Stirnseite (31) des Lagerelements gegenüberliegenden Seite des Gegenlagers (6) angeordnet ist.

6. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei bezüglich des Umfangs des Lagerelements einander gegenüberliegende piezoresistive Messwertaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) zur Erhöhung der Messempfindlichkeit zu einer Brückenschaltung (66, 67, 68) verbunden sind.

7. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein elektrischer Anschlusskontakt (13, 70, 71) eines piezoresistiven Messaufnehmers (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) stirnseitig am Lagerelement (7) und/oder an der der Stirnseite (31) des Lagerelements gegenüberliegenden Seite des Gegenlagers (6) angeordnet ist.

8. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der piezoresistive Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) und/oder das Temperaturkompensationselement (10, 72, 73) durch Beschichtung mit folgenden Schichten hergestellt ist:

- a) eine mit dotiertem oder undotiertem Kohlenwasserstoff oder reinem Kohlenstoff gebildete piezoresistive Sensorschicht (14) auf der Oberfläche des Gegenlagers (6) und/oder des Lagerelements (7),
- b) wenigstens eine auf die piezoresistive Sensorschicht (14) aufgebrachte Elektrode (15) und
- c) eine die piezoresistive Sensorschicht (14) und die Elektrode (15) abdeckende Isolations- und Verschleißschutzschicht (16).

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrode (15) eine derartige Struktur hat, dass ein im Kraftfluss liegender länglicher Bereich (12) und ein außerhalb des Kraftflusses liegender viereckiger Bereich (13) angrenzend an den länglichen Bereich (12) vorgesehen ist, wobei die Verkabelung des Messaufnehmers (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) durch elektrisch leitende Verbindungen von Messleitungen mit dem viereckigen Bereich (13) erfolgt.

10. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass über den Umfang des Lagerelements (7) verteilt eine Mehrzahl von piezoresistiven Messaufnehmern (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) angeordnet ist.

11. Verfahren zur Messung des über eine erste Welle (2) übertragenen Drehmoments unter Verwendung einer Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das von wenigstens einem piezoresistiven Messaufnehmer (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) abgegebene Ausgangssignal erfasst wird und aus dem Ausgangssignal mittels eines Umrechnungsfaktors, der durch die geometrischen Verhältnisse der Einrichtung bestimmt ist, das Drehmoment bestimmt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangssignale einer Mehrzahl von über den Umfang des Lagerelements (7) verteilten Messaufnehmern (5, 8, 12, 13, 60, 61, 62, 70, 71) erfasst werden, hieraus wiederkehrende, charakteristische Signalmuster der erfassten Ausgangssignale

bestimmt werden und aus einer Frequenz der Signalmuster die Drehzahl der ersten Welle (2) bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass aus den erfassten Signalmustern die Drehrichtung der ersten Welle (2) bestimmt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

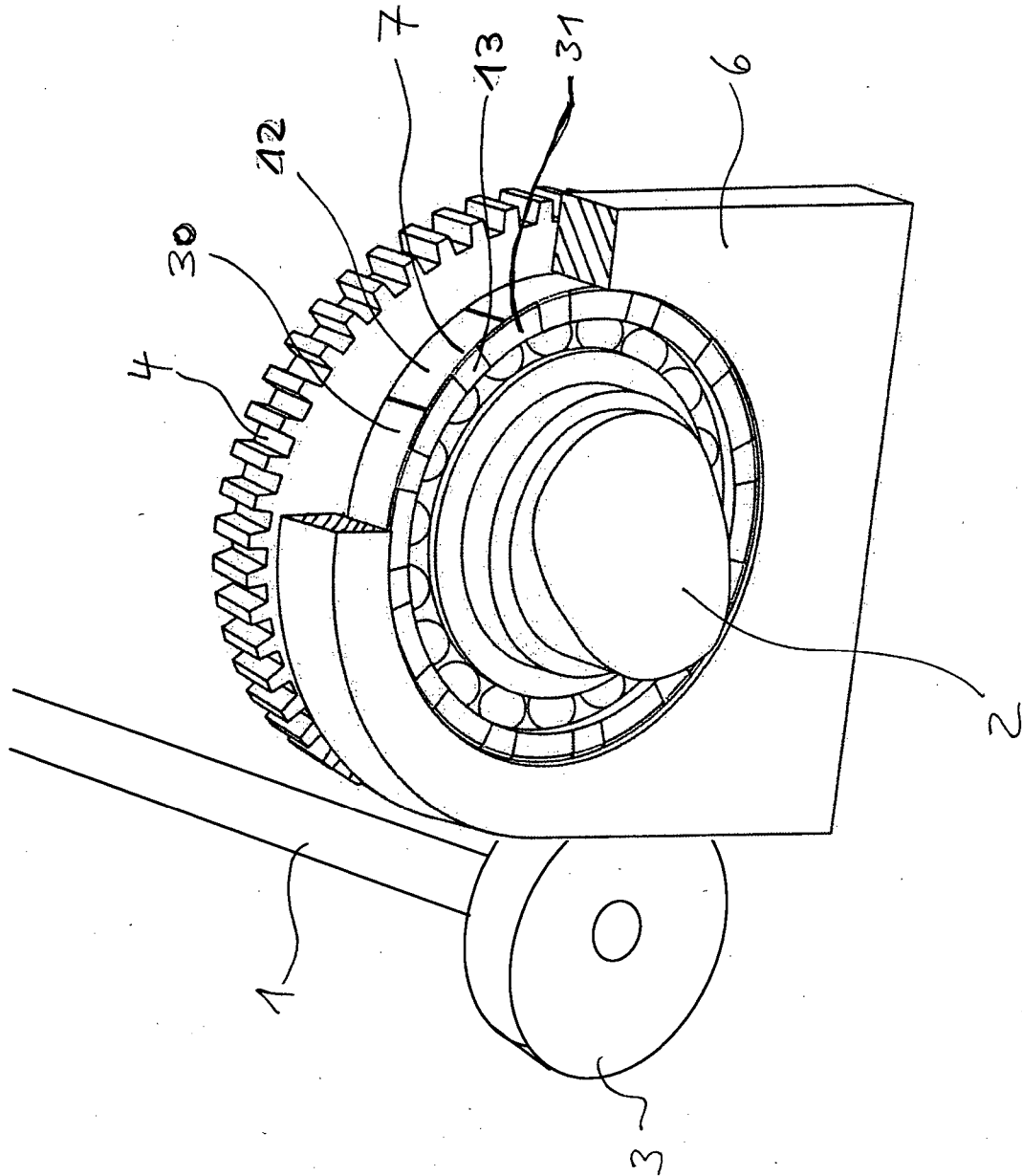


Fig. 1

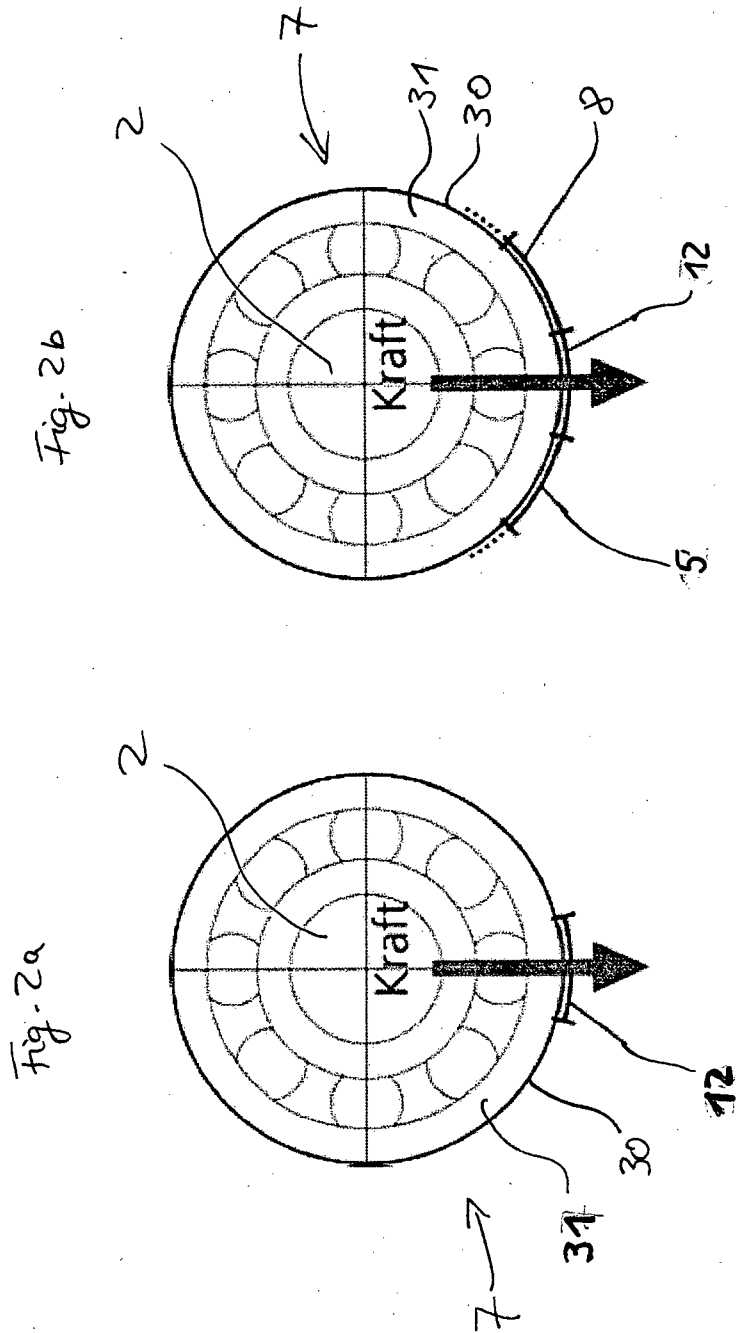


Fig. 2

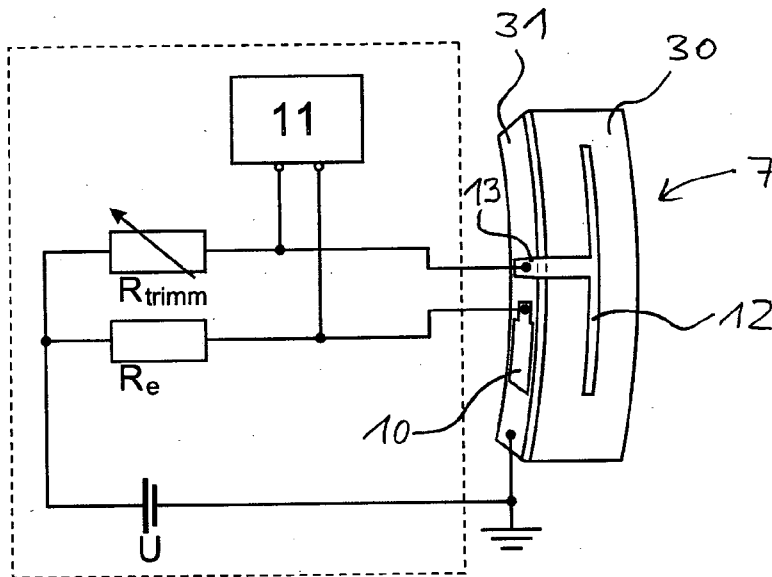


Fig. 3 a

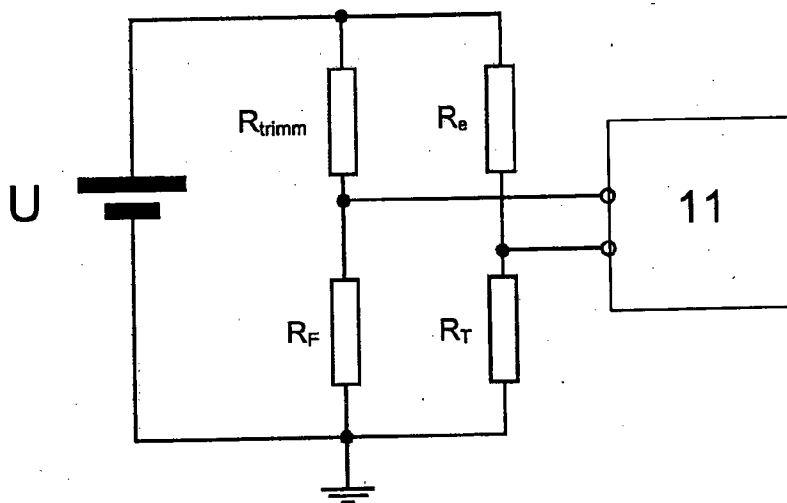


Fig. 3 b

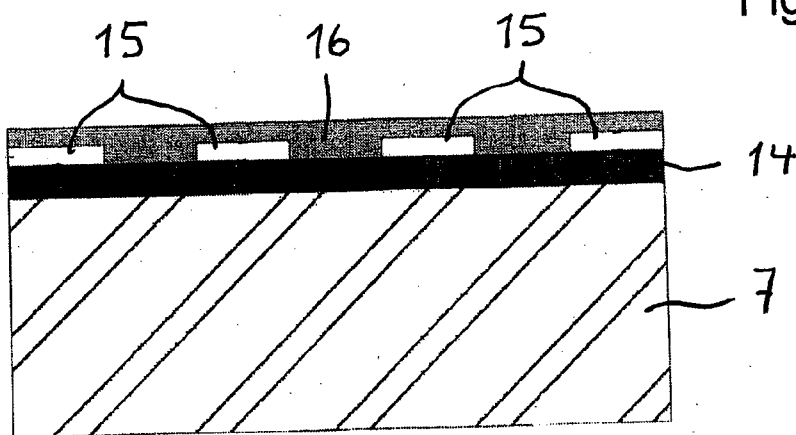


Fig. 4

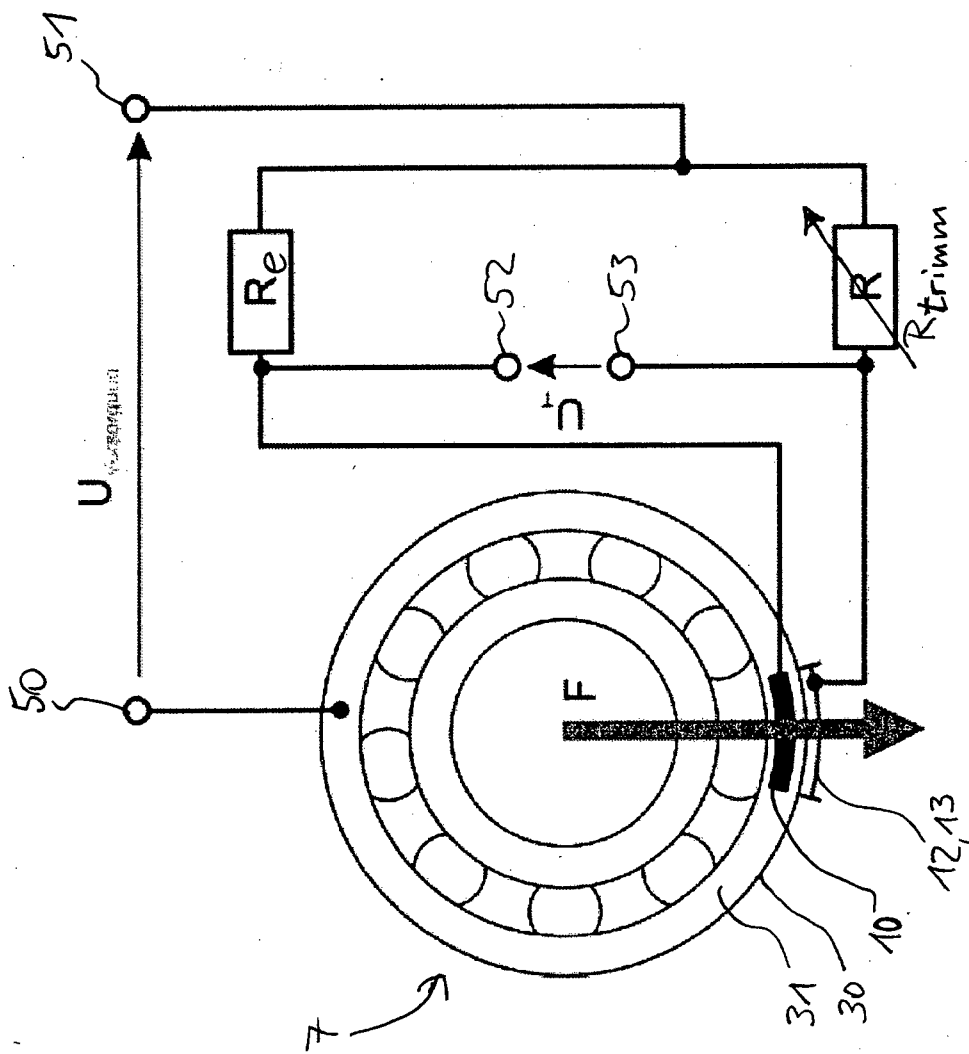


Fig. 5

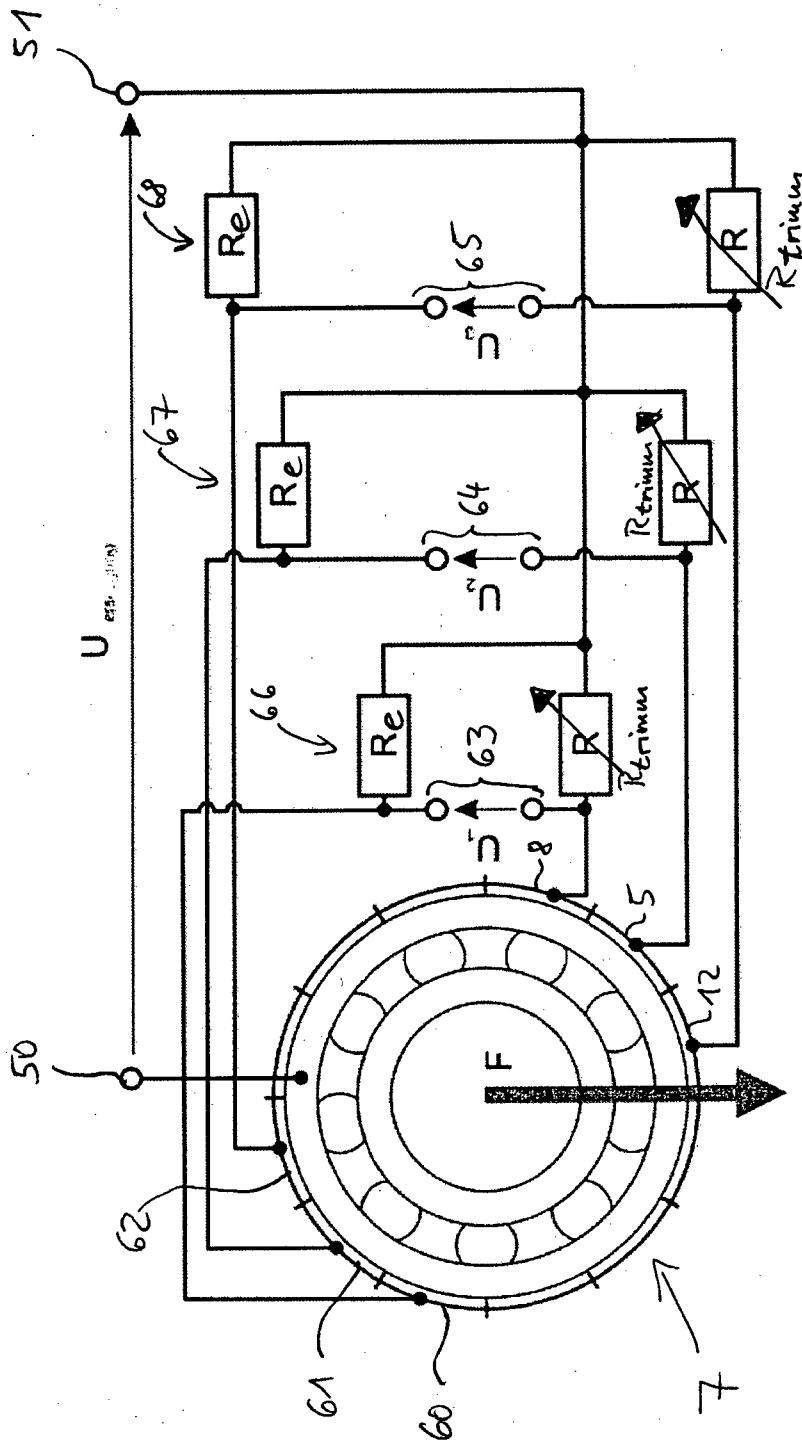


Fig. 6



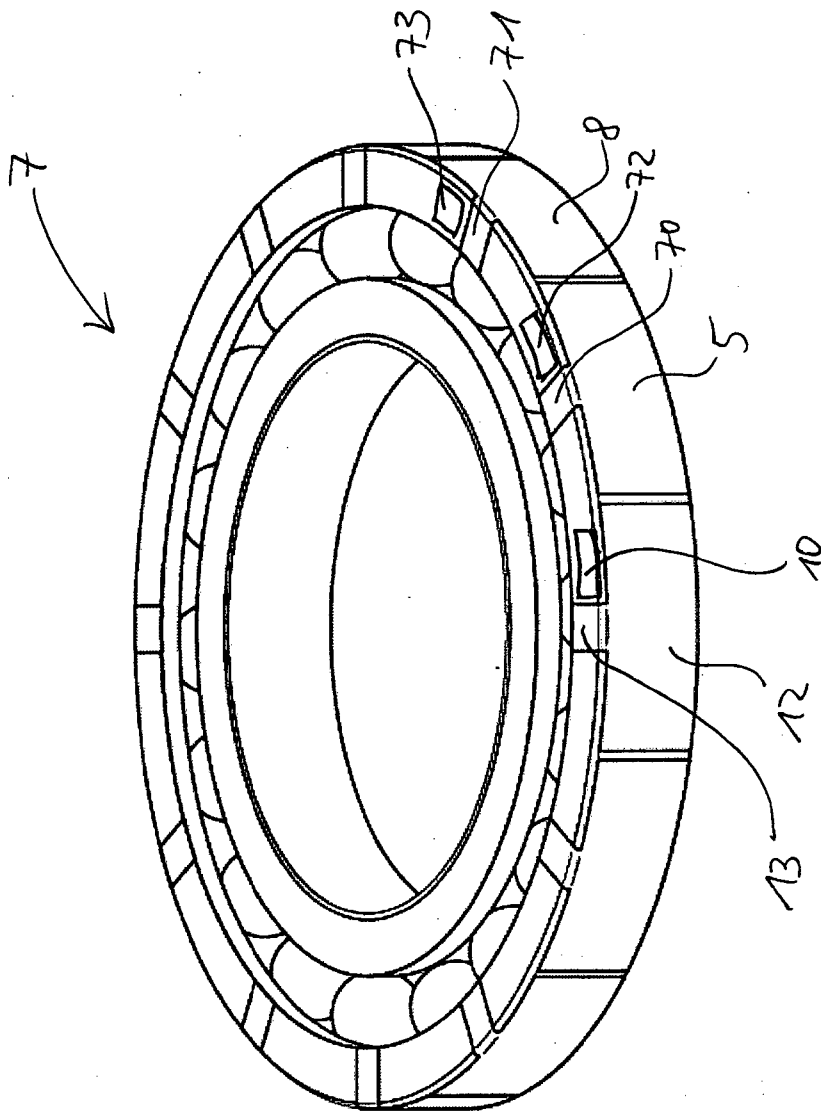


Fig. 7