



(10) **DE 10 2015 209 286 A1** 2016.11.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 209 286.0**

(22) Anmeldetag: **21.05.2015**

(43) Offenlegungstag: **24.11.2016**

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

(71) Anmelder:
**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074
Herzogenaurach, DE**

(72) Erfinder:
**Neuschaefer-Rube, Stephan, 91074
Herzogenaurach, DE; Matysik, Jan, 90480
Nürnberg, DE; Mock, Christian, 97421
Schweinfurt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

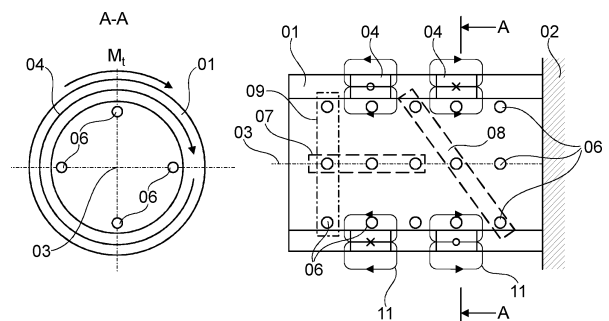
**DE 10 2010 061 851 A1
DE 10 2013 211 000 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Anordnung und Verfahren zum Messen einer Kraft oder eines Momentes mit mindestens zwei beabstandeten Magnetfeldsensoren**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft zunächst eine Anordnung zum Messen einer Kraft und/oder eines Momentes unter Nutzung des invers-magnetostriktiven Effektes. Im Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren für eine auf dem invers-magnetostriktiven Effekt beruhende Messung einer Kraft und/oder eines Momentes. Die Kraft bzw. das Moment wirkt auf ein Maschinenelement (01), welches mindestens einen Magnetisierungsbereich (04) für eine Magnetisierung aufweist und somit einen Primärsensor für die auf dem invers-magnetostriktiven Effekt beruhende Messung bildet. Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren (06) zum Messen eines durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft bzw. durch das Moment bewirkten Magnetfeldes (11), die jeweils einen Sekundärsensor für die auf dem invers-magnetostriktiven Effekt beruhende Messung bilden. Erfindungsgemäß umfasst die Anordnung weiterhin eine Messsignalverarbeitungseinheit, die zur Signalverarbeitung der Messsignale der einzelnen Magnetfeldsensoren (06) ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft zunächst eine Anordnung zum Messen einer Kraft und/oder eines Momentes unter Nutzung des invers-magnetostruktiven Effektes. Die Anordnung umfasst mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren als Sekundärsensoren. Im Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren für eine auf dem invers-magnetostruktiven Effekt beruhende Messung einer Kraft und/oder eines Momentes.

[0002] Die EP 2 365 927 B1 zeigt ein Tretlager mit zwei Tretkurbeln und mit einem Kettenblattträger, der mit einer Welle des Tretlagers verbunden ist. Der Kettenblattträger ist drehfest mit einer Kettenblattwelle verbunden, die wiederum drehfest mit der Welle verbunden ist. Die Kettenblattwelle weist abschnittsweise eine Magnetisierung auf. Es ist ein Sensor vorgesehen, der eine Änderung der Magnetisierung bei einem im Bereich der Magnetisierung vorliegenden Drehmoment erfasst.

[0003] Die US 6,490,934 B2 lehrt einen magnetoelastischen Drehmomentsensor zur Messung eines Drehmomentes, welches auf ein Element mit einem ferromagnetischen, magnetostruktiven und magnetoelastisch aktiven Bereich wirkt. Dieser Bereich ist in einem Messwandler ausgebildet, der als zylindrische Hülse beispielsweise auf einer Welle sitzt. Der Drehmomentsensor steht dem Messwandler gegenüber.

[0004] Aus der EP 0 803 053 B1 ist ein Drehmomentsensor bekannt, der einen magnetoelastischen Messwandler umfasst. Der Messwandler sitzt als zylindrische Hülse auf einer Welle.

[0005] Die US 8,893,562 B2 zeigt ein Verfahren zum Erkennen eines magnetischen Rauschens bei einem magnetoelastischen Drehmomentsensor. Der Drehmomentsensor umfasst einen Drehmomentwandler mit gegensätzlich polarisierten Magnetisierungen und mehrere Magnetfeldsensoren, zwischen denen umgeschaltet werden kann.

[0006] Die US 8,578,794 B2 lehrt einen magnetoelastischen Drehmomentsensor mit einem sich longitudinal erstreckenden Element und mit mehreren magnetoelastisch aktiven Regionen sowie mit primären und sekundären Magnetfeldsensoren, die axial beabstandet sind.

[0007] Aus der US 2014/0360285 A1 ist ein magnetoelastischer Drehmomentsensor bekannt, der ein hohles sich longitudinal erstreckendes Element mit mehreren magnetoelastisch aktiven Regionen umfasst. Im hohlen Element befinden sich primäre und sekundäre Magnetfeldsensoren.

[0008] Die US 2002/0162403 A1 zeigt einen magnetoelastischen Drehmomentsensor mit einer Welle, bei welcher eine Spule auf einem magnetoelastischen Bereich sitzt.

[0009] Aus der US 8,087,304 B2 ist ein magnetoelastischer Drehmomentsensor bekannt, welcher ein sich longitudinal erstreckendes Element mit mehreren magnetoelastisch aktiven Regionen umfasst. Der Drehmomentsensor umfasst primäre und sekundäre Magnetfeldsensoren, die als Wheatstonesche Brücke geschaltet sind.

[0010] Die EP 2 799 827 A1 zeigt einen magnetoelastischen Drehmomentsensor mit einem hohlen sich longitudinal erstreckendes Element, welches mehrere magnetoelastisch aktive Regionen umfasst. Im hohlen Element befinden sich primäre und sekundäre Magnetfeldsensoren, die als Wheatstonesche Brücke geschaltet sind.

[0011] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht ausgehend vom Stand der Technik darin, die Messung von Kräften und/oder Momenten auf der Basis des inversmagnetostruktiven Effektes noch unanfälliger gegen Störungen ausführen zu können.

[0012] Die genannte Aufgabe wird gelöst durch eine Anordnung gemäß dem beigefügten Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß dem beigefügten nebengeordneten Anspruch 10.

[0013] Die erfindungsgemäße Anordnung dient zum Messen mindestens einer Kraft und/oder eines Momentes an einem Maschinenelement. Die mindestens eine Kraft bzw. das mindestens eine Moment wirkt auf das Maschinenelement, wodurch es zu mechanischen Spannungen kommt und sich das Maschinenelement zumeist geringfügig verformt. Das Maschinenelement dient zur Übertragung der genannten Kräfte und Momente.

[0014] Das Maschinenelement weist mindestens einen Magnetisierungsbereich für eine im Maschinenelement ausgebildete Magnetisierung auf. Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche bilden jeweils einen Primärsensor zur Bestimmung der Kraft bzw. des Momentes. Insofern mehrere der Magnetisierungsbereiche ausgebildet sind, weisen diese bevorzugt eine gleiche räumliche Ausdehnung auf und sind beabstandet. Alternativ bevorzugt kann sich der Magnetisierungsbereich über das gesamte Maschinenelement erstrecken.

[0015] Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst weiterhin mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren, welche jeweils einen Sekundärsensor zur Bestimmung der Kraft bzw. des Momentes bilden. Der Primärsensor, d. h. der mindestens eine Magnetisierungsbereich dient zur Wandlung der zu messen-

den Kraft bzw. des zu messenden Momentes in ein entsprechendes Magnetfeld, während die Sekundärsensoren die Wandlung dieses Magnetfeldes in elektrische Signale ermöglichen. Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind jeweils zur Messung eines durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes bzw. Magnetfeldänderung ausgebildet. Das genannte Magnetfeld tritt aufgrund des invers-magnetostriktiven Effektes auf. Somit beruht die mit der erfindungsgemäßen Anordnung mögliche Messung auf dem invers-magnetostriktiven Effekt.

[0016] Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst weiterhin eine Messsignalverarbeitungseinheit, die zur Signalverarbeitung der Messsignale der einzelnen Magnetfeldsensoren ausgebildet ist. Somit sind die Messsignale der mindestens zwei Magnetfeldsensoren separat verarbeitbar. Durch jeden der mindestens zwei Magnetfeldsensoren ist mindestens ein Messsignal ausgebbar, welches einzeln von der Messsignalverarbeitungseinheit verarbeitbar ist. Die Magnetfeldsensoren sind bevorzugt einzeln elektrisch mit der Messsignalverarbeitungseinheit verbunden. Somit sind die Magnetfeldsensoren nicht zusammenschaltet, wie es beispielsweise bei einer Parallelschaltung, bei einer Reihenschaltung oder bei einer Wheatstoneschen Brücke der Fall ist. Innerhalb der erfindungsgemäßen Anordnung ist eine absolute Messung des genannten Magnetfeldes mit jedem der Magnetfeldsensoren ermöglicht.

[0017] Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, dass die Signale der mindestens zwei Magnetfeldsensoren variabel verarbeitbar sind, um beispielsweise bestimmte Störeinflüsse bei der auf dem invers-magnetostriktiven Effekt beruhenden Messung zu messen und eliminieren zu können. Zudem sind eine indirekte Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses und eine Verringerung der Ausfallrate ermöglicht.

[0018] Bevorzugt weist jeder der mindestens zwei Magnetfeldsensoren eine elektrische oder logische Verbindung auf, die einzeln zur Messsignalverarbeitungseinheit geführt ist. Folglich können die Signale der mindestens zwei Magnetfeldsensoren einzeln verarbeitet werden. Die elektrische Verbindung ist bevorzugt durch eine Anschlussleitung gebildet. Die logische Verbindung ist bevorzugt innerhalb eines Busses ausgebildet. Die Verbindung kann für eine analoge oder für eine digitale Signalübertragung ausgebildet sein.

[0019] Die Magnetfeldsensoren können redundant vorhanden sein, d. h. dass mehrere der Magnetfeldsensoren zur Messung der gleichen Komponente bzw. der gleichen Eigenschaft des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes ausgebildet sind.

[0020] Das Maschinenelement erstreckt sich bevorzugt in einer Achse. Die Achse bildet bevorzugt eine Rotationsachse des Maschinenelementes. Das Maschinenelement ist bevorzugt um die Achse rotierbar. Die nachfolgend angegebenen Richtungen, nämlich die axiale Richtung, die radiale Richtung und die tangentielle Richtung sind auf die genannte Achse bezogen.

[0021] Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst bevorzugt mindestens vier, weiter bevorzugt mindestens sechs und nochmals weiter bevorzugt mindestens acht der Magnetfeldsensoren. Je höher die Anzahl der Magnetfeldsensoren, desto besser können Störeinflüsse eliminiert werden.

[0022] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind die Magnetfeldsensoren äquidistant angeordnet, wofür mindestens drei der Magnetfeldsensoren vorhanden sein müssen. Bei weiteren bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind die mindestens zwei Magnetfeldsensoren äquiangular bezogen auf die Achse angeordnet, d. h. dass die Winkelabstände zwischen jeweils zwei benachbarten der Magnetfeldsensoren gleich sind. Wenn mehr als drei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, so sind bevorzugt zumindest die Magnetfeldsensoren von Untermengen der mehreren Magnetfeldsensoren äquidistant angeordnet, sodass die Magnetfeldsensoren gruppenweise äquidistant angeordnet sind. Wenn mehr als zwei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, so sind bevorzugt zumindest die Magnetfeldsensoren von Untermengen der mehreren Magnetfeldsensoren äquiangular angeordnet, sodass die Magnetfeldsensoren gruppenweise äquiangular angeordnet sind.

[0023] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung weisen die Magnetfeldsensoren einen gleichen Abstand zur Achse auf. Wenn mehr als zwei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, so weisen bevorzugt zumindest die Magnetfeldsensoren von Untermengen der mehreren Magnetfeldsensoren einen gleichen Abstand zur Achse auf.

[0024] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind einige der Magnetfeldsensoren in der Achse angeordnet.

[0025] Die Magnetfeldsensoren sind bevorzugt in Form einer Matrix angeordnet, wobei die Matrix in kartesischen Koordinaten oder auch in Polarkoordinaten ausgebildet sein kann.

[0026] Insofern mehr als zwei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, sind diese bevorzugt in einer Ebene angeordnet. Insofern mehr als drei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, so sind bevor-

zugt zumindest die Magnetfeldsensoren von Untermengen der mehreren Magnetfeldsensoren in einer Ebene angeordnet, sodass die Magnetfeldsensoren gruppenweise in jeweils einer Ebene angeordnet sind.

[0027] Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind bevorzugt in einer Ebene angeordnet, die parallel oder senkrecht zur Achse ausgerichtet ist. Insofern mehr als zwei der Magnetfeldsensoren vorhanden sind, so sind bevorzugt zumindest die Magnetfeldsensoren von Untermengen der mehreren Magnetfeldsensoren in einer Ebene angeordnet, die parallel oder senkrecht zur Achse ausgerichtet ist.

[0028] Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind bevorzugt in Zeilen und/oder Spalten angeordnet. Die Zeilen und/oder die Spalten sind bevorzugt senkrecht oder parallel zur Achse angeordnet.

[0029] Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind bevorzugt auf äquiangular angeordneten Radien in Bezug auf die Achse angeordnet. Auf jedem der Radien befindet sich dabei bevorzugt eine Untermenge der Magnetfeldsensoren, die gleich beabstandet auf dem jeweiligen Radius angeordnet sind.

[0030] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind die mindestens zwei Magnetfeldsensoren jeweils zur einzelnen Messung genau einer Richtungskomponente des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes ausgebildet. Bei dieser Richtungskomponente handelt es sich bevorzugt um die axiale, um die radiale oder um die tangentielle Richtungskomponente.

[0031] Bei weiteren bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind die mindestens zwei Magnetfeldsensoren jeweils zur einzelnen Messung mehrerer Richtungskomponenten des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes ausgebildet. Bei diesen Richtungskomponenten handelt es sich bevorzugt um die axiale, die radiale und/oder die tangentielle Richtungskomponente.

[0032] Bei besonders bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung sind die mindestens zwei Magnetfeldsensoren jeweils zur einzelnen Messung von drei Richtungskomponenten des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes ausgebildet. Bei diesen drei Richtungskomponenten handelt es sich bevorzugt um die axiale, die radiale und die tangentielle Richtungskomponente. Zumindest sind bevorzugt mehrere der Magnetfeldsensoren jeweils zur einzelnen Messung von drei Richtungskomponenten des durch die Magnetisierung so-

wie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes ausgebildet.

[0033] Bei weiteren bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung ist mindestens einer der Magnetfeldsensoren weiterhin zur Messung eines Störmagnetfeldes und/oder eines Magnetfeldes der Magnetisierung des Maschinenelementes ausgebildet. Hierdurch kann der Einfluss des Störmagnetfeldes unmittelbar und zeitlich gemessen werden, sodass dieser bei der Messung des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes eliminiert werden kann.

[0034] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung umfassen weitere Magnetfeldsensoren zur Messung des Störmagnetfeldes und/oder des Magnetfeldes der Magnetisierung des Maschinenelementes.

[0035] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung umfassen Temperatursensoren an den Magnetfeldsensoren zur Messung der jeweils dort gegebenen Temperatur. Die Temperatursensoren sind bevorzugt ebenfalls mit der Messsignalverarbeitungseinheit elektrisch verbunden. Die Messsignalverarbeitungseinheit ist bevorzugt dazu konfiguriert, den Einfluss der Temperatur auf die Messsignale der Magnetfeldsensoren zu kompensieren.

[0036] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung weist das Maschinenelement einen Hohlraum auf, sodass das Maschinenelement hohl ist. Der Hohlraum erstreckt sich bevorzugt zumindest teilweise in der Achse. Der Hohlraum ist insbesondere im Bereich der Achse ausgebildet. Bevorzugt erstreckt sich der Hohlraum über die gesamte axiale Länge des Maschinenelementes. Der Hohlraum ist bevorzugt an einem axialen Ende offen. Er weist bevorzugt die Form eines Zylinders auf.

[0037] Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind bevorzugt in dem Hohlraum des Maschinenelementes angeordnet. Dort sind die Magnetfeldsensoren weitestgehend vor äußeren Einflüssen geschützt. Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren können aber auch außerhalb des Maschinenelementes angeordnet sein.

[0038] Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche können permanent oder temporär magnetisiert sein. Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung ist der eine Magnetisierungsbereich bzw. sind die mehreren Magnetisierungsbereiche permanent magnetisiert, sodass die Magnetisierung durch eine Permanentmagnetisierung gebildet ist. Bei alternativ bevorzugten Ausführungsformen der erfin-

zungsgemäßen Anordnung weist diese weiterhin mindestens einen Magneten zum Magnetisieren des mindestens einen Magnetisierungsbereiches auf, sodass die Magnetisierung des mindestens einen Magnetisierungsbereiches grundsätzlich temporär ist. Der mindestens eine Magnet kann durch einen Permanentmagneten oder bevorzugt durch einen Elektromagneten gebildet sein.

[0039] Der eine permanent oder temporär magnetisierte Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren permanent oder temporär magnetisierten Magnetisierungsbereiche sind in einem von einer Kraft bzw. von einem Moment unbelasteten Zustand des Maschinenelementes nach außerhalb des jeweiligen Magnetisierungsbereiches bevorzugt magnetisch neutral, sodass kein technisch relevantes Magnetfeld außerhalb des jeweiligen Magnetisierungsbereiches messbar ist.

[0040] Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche stellen jeweils einen Teil des Volumens des Maschinenelementes dar. Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche sind bevorzugt jeweils ringförmig ausgebildet, wobei die Achse des Maschinenelementes auch eine mittlere Achse der jeweiligen Ringform bildet. Besonders bevorzugt weist der eine Magnetisierungsbereich bzw. weisen die mehreren Magnetisierungsbereiche jeweils die Form eines zur Achse des Maschinenelementes koaxialen Hohlzylinders auf.

[0041] Der mindestens eine Magnetisierungsbereich erstreckt sich bevorzugt umfänglich um die Achse und kann daher auch als Magnetisierungsspur aufgefasst werden. Es handelt sich somit um mindestens einen die Achse umlaufenden Magnetisierungsbereich, wobei die Achse selbst bevorzugt nicht einen Teil des Magnetisierungsbereiches bildet. Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche weisen bevorzugt eine tangentielle Ausrichtung in Bezug auf eine sich um die Achse herum erstreckende Oberfläche des Maschinenelementes auf. Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche weisen bevorzugt ausschließlich eine tangentielle Ausrichtung in Bezug auf eine sich um die Achse herum erstreckende Oberfläche des Maschinenelementes auf. Der eine Magnetisierungsbereich bzw. die mehreren Magnetisierungsbereiche erstrecken sich bevorzugt jeweils entlang eines geschlossenen Pfades um die Achse herum, wobei der Magnetisierungsbereich bzw. die Magnetisierungsbereiche kurze Lücken aufweisen dürfen. Insofern mehrere der Magnetisierungsbereiche ausgebildet sind, weisen diese bevorzugt eine gleiche räumliche Ausdehnung auf und sind axial beabstandet. Insofern mehrere der Magnetisierungsbereiche ausgebildet sind, weisen diese bevorzugt entgegengesetzte Polaritäten auf. Beson-

ders bevorzugt sind mindestens zwei der sich umfänglich erstreckenden Magnetisierungsbereiche in Form von Magnetisierungsspuren ausgebildet.

[0042] Das Maschinenelement besteht zumindest im Magnetisierungsbereich aus einem magnetostriktiven bzw. magnetoelastischen Material. Bevorzugt besteht das Maschinenelement vollständig aus dem magnetostriktiven bzw. magnetoelastischen Material. Bevorzugt besteht das Maschinenelement aus einem Stahl.

[0043] Das Maschinenelement weist bevorzugt die äußere Form eines Prismas oder eines Zylinders auf, wobei das Prisma bzw. der Zylinder bevorzugt koaxial zu der Achse angeordnet ist. Das Prisma bzw. der Zylinder ist bevorzugt gerade. Besonders bevorzugt weist das Maschinenelement die äußere Form eines geraden Kreiszylinders auf, wobei der Kreiszylinder bevorzugt koaxial zu der Achse angeordnet ist. Bei besonderen Ausführungsformen ist das Prisma bzw. der Zylinder konisch ausgebildet.

[0044] Das Maschinenelement weist besonders bevorzugt die Form eines Hohlzylinders auf.

[0045] Das Maschinenelement ist bevorzugt durch eine Welle, durch eine partiell hohle Welle, durch eine Hohlwelle, durch einen Flansch oder durch einen Hohlflansch gebildet. Die Welle, die partiell hohle Welle, die Hohlwelle, der Flansch bzw. der Hohlflansch kann für Belastungen durch unterschiedliche Kräfte und Momente ausgelegt sein und beispielsweise eine Komponente eines Sensortretlagers, eines Wankstabilisators oder eines Düngemittelstreuers sein. Grundsätzlich kann das Maschinenelement auch durch völlig andersartige Maschinenelementtypen gebildet sein, wie z. B. eine Schaltgabel.

[0046] Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind bevorzugt jeweils durch einen Halbleitersensor gebildet. Die mindestens zwei Magnetfeldsensoren sind alternativ bevorzugt jeweils durch einen MR-Sensor, durch einen Hall-Sensor, durch eine Feldplatte, durch einen SQUID, durch ein Spulenelement, durch eine Förstersonde oder durch ein Fluxgate-Magnetometer gebildet. Grundsätzlich können auch andere Sensortypen verwendet werden, insofern sie zur Messung des durch den invers-magnetostriktiven Effekt hervorgerufenen magnetischen Feldes bzw. einer oder mehrerer Richtungskomponenten dieses Magnetfeldes geeignet sind. Bevorzugt sind die Magnetfeldsensoren durch unterschiedliche Sensortypen gebildet, wodurch eine optimale Anpassung an das Maschinenelement und den Magnetisierungsbereich gewährleistet werden kann.

[0047] Die Messsignalverarbeitungseinheit ist bevorzugt durch einen Mikrokontroller gebildet. Im wei-

teren Sinne ist die Messsignalverarbeitungseinheit bevorzugt durch eine Recheneinheit gebildet.

[0048] Die Messsignalverarbeitungseinheit ist bevorzugt weiterhin zur Auswertung der Messsignale der einzelnen Magnetfeldsensoren ausgebildet. Folglich ist nicht lediglich eine Vorverarbeitung der Messsignale der einzelnen Magnetfeldsensoren ermöglicht, sondern die Messsignalverarbeitungseinheit ermöglicht auch die Ausgabe von ausgewerteten Messergebnissen, z. B. die Ausgabe einer vektoriellen Angabe einer magnetischen Flussdichte der durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes, bei welcher ein Störfeld eliminiert wurde. Auch ermöglicht die Messsignalverarbeitungseinheit bevorzugt die Ausgabe der Werte der zu messenden Kraft bzw. des zu messenden Momentes.

[0049] Die Messsignalverarbeitungseinheit umfasst bevorzugt einen Speicher für Sensordaten. Diese Sensordaten bilden eine Informationsdatenbasis zur Interpretation der Messsignale der Magnetfeldsensoren.

[0050] Bei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung ist die Messsignalverarbeitungseinheit dazu ausgebildet, die Messsignale von Gruppen der Magnetfeldsensoren auszuwerten, wobei die Gruppierung der Magnetfeldsensoren veränderbar ist. Die Magnetfeldsensoren können somit unterschiedlich gruppiert werden, um beispielsweise unterschiedliche Komponenten des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes oder auch von Störmagnetfeldern messen zu können. Somit kann z. B. die Messung von Störmagnetfeldern quasi zeitgleich erfolgen.

[0051] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum Messen einer Kraft und/oder eines Momentes an einem Maschinenelement unter Nutzung des inversmagnetostriktiven Effektes. Das Maschinenelement weist mindestens einen Magnetisierungsbereich für eine Magnetisierung auf. Verfahrensgemäß werden mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren zum Messen einer durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes genutzt. Erfindungsgemäß werden die Messsignale der mindestens zwei Magnetfeldsensoren einzeln verarbeitet.

[0052] Das erfindungsgemäße Verfahren weist bevorzugt auch die Schritte und Merkmale auf, die im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Anordnung beschrieben sind.

[0053] Bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der Messsignale der einzelnen Magnet-

feldsensoren. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn die Anzahl der Magnetfeldsensoren deutlich größer als zwei ist, sodass das Magnetfeld mehrfach redundant gemessen wird.

[0054] Bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen ein Erkennen eines Fremdmagnetfeldes und ein Kompensieren des Einflusses dieses Fremdmagnetfeldes auf die Messung der wirkenden Kraft bzw. des wirkenden Momentes.

[0055] Das Fremdmagnetfeld kann durch ein Nahfeld oder durch ein Fernfeld gebildet sein. Das Nahfeld ist ein inhomogenes Magnetfeld an der Anordnung der Magnetfeldsensoren. Die Feldverteilung eines Nahfeldes innerhalb der Anordnung der Magnetfeldsensoren ist erkennbar, da jeder der Magnetfeldsensoren bevorzugt auch die Richtung des individuellen Vektors und die Beträge der gemessenen Magnetfeldrichtungskomponenten bereitstellt. Somit sind eine Richtung, eine Verteilung und eine Intensität des Fremdmagnetfeldes erkennbar. Es ist aber auch eine Art des Fremdmagnetfeldes, d. h. eine bleibende Magnetisierung oder eine zeitliche Veränderung der Störeinwirkung, wie z. B. eine Abschwächung oder eine Wanderung der Störquelle, erkennbar. Es ist aber auch eine Form der Störung, d. h. punktuell oder breitflächig, erkennbar. Ebenso ist ein elektrisches Feld erkennbar, welches in ein magnetisches Feld übergeht. Das Nahfeld wird bevorzugt gemessen und bei der Messung der Kraft bzw. des Momentes kompensiert.

[0056] Das Fernfeld erzeugt einen Offset des Magnetfeldes in eine Vektorrichtung über die gesamte Anordnung der Magnetfeldsensoren hinweg. Es sind ein Betrag und eine Richtung dieses Offsets erkennbar. Bevorzugt werden das Fernfeld und das lineare Nahfeld zeitgleich zur Messung der Kraft bzw. des Momentes gemessen und kompensiert. Ein nicht linearer Anteil des Nahfeldes wird bevorzugt detektiert, um ihn zu kompensieren.

[0057] Bevorzugt werden mit den Magnetfeldsensoren jeweils mehrere Richtungen des Magnetfeldes gemessen. Ausgehend davon wird bevorzugt auch eine Biegung des Maschinenelementes bestimmt. Bei dieser Biegung handelt es sich bevorzugt um eine Torsion um zwei Achsen senkrecht zur Achse des Maschinenelementes. Es werden bevorzugt eine Richtung und ein Betrag der Biegung bestimmt. Weiterhin wird bevorzugt eine Querkraft bestimmt. Die Querkraft ist senkrecht zur Achse des Maschinenelementes ausgerichtet. Es werden bevorzugt eine Richtung und ein Betrag der Querkraft bestimmt. Bevorzugt werden weitere Momente und/oder Kräfte bestimmt.

[0058] Ein weiteres bevorzugt zu bestimmendes Störmagnetfeld ist durch einen Temperaturgradienten am Maschinenelement bedingt. Dieser Temperaturgradient kann beispielsweise auftreten, wenn das Maschinenelement 120 °C heiß ist und Schwall- oder Eiswasser mit einer Temperatur von etwa 0 °C auf das Maschinenelement trifft. Trifft das kalte Wasser auf das heiße Maschinenelement auf, so kühlt es an der Kontaktstelle ab. Die Abkühlung pflanzt sich um den Auftreffbereich des Wassers fort. Gleichzeitig ist das übrige Maschinenelement, insbesondere der gegenüberliegende Bereich des Maschinenelementes, weiterhin heiß. Der Temperaturunterschied zwischen den Temperaturextremen am Umfang des Maschinenelementes beträgt dann beispielhaft 120 K. Diese Temperaturunterschiede bewirken inhomogene thermische Ausdehnungen des Maschinenelementes in Abhängigkeit von der Temperaturverteilung. Die inhomogenen Ausdehnungen bewirken Materialspannungen im Maschinenelement, für welche der invers-magnetostriktive Effekt sensitiv ist, sodass ein Störmagnetfeld resultiert. Dieses Störmagnetfeld wird durch die einzelne Verarbeitung der Messsignale der Magnetfeldsensoren bevorzugt erkannt und kompensiert. Bevorzugt werden ergänzend die Temperaturen an den Magnetfeldsensoren gemessen, um einen Temperaturgang der Magnetfeldsensoren zu kompensieren, sodass auch bei anderen Temperaturen als Raumtemperatur das Magnetfeld mit hoher Genauigkeit gemessen werden kann. Weiterhin werden diese Temperaturinformationen bevorzugt als Indikator für Temperaturgradienten im Maschinenelement genutzt. Ist die Temperaturverteilung im Maschinenelement bekannt, kann deren Einfluss kompensiert werden. Die Temperaturmessung erfolgt bevorzugt mit einer gleichen Messfrequenz wie die Messung des Magnetfeldes.

[0059] Die Messsignalverarbeitungseinheit der erfindungsgemäßen Anordnung ist bevorzugt zur Ausführung der beschriebenen Verfahrensschritte konfiguriert.

[0060] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung, unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

[0061] Fig. 1 eine erste bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung in zwei Ansichten;

[0062] Fig. 2 eine zweite bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht;

[0063] Fig. 3 eine dritte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht;

[0064] Fig. 4 eine vierte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht

[0065] Fig. 5 eine fünfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht;

[0066] Fig. 6 eine sechste bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht;

[0067] Fig. 7 eine siebente bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht;

[0068] Fig. 8 eine achte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht;

[0069] Fig. 9 eine neunte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht;

[0070] Fig. 10 eine zehnte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht;

[0071] Fig. 11 eine elfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht; und

[0072] Fig. 12 eine zwölfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in zwei Ansichten.

[0073] Fig. 1 zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht und in einer Längsschnittansicht. Die Anordnung umfasst ein Maschinenelement aus einem Stahl in Form eines Hohlflansches **01**, welcher an einem Grundkörper **02** befestigt ist und sich in einer Achse **03** erstreckt. Auf den Hohlflansch **01** wirkt ein Torsionsmoment M_t , welches mit der erfindungsgemäßen Anordnung gemessen werden kann.

[0074] Der Hohlflansch **01** weist zwei Magnetisierungsbereiche **04** in Form von umlaufenden Spuren auf. Die beiden Magnetisierungsbereiche **04** sind permanentmagnetisiert und entgegengesetzt gepolt. Die beiden Magnetisierungsbereiche **04** bilden einen Primärsensor für die Messung des Torsionsmomentes M_t unter Nutzung des inversmagnetostriktiven Effektes.

[0075] Die Anordnung umfasst weiterhin zwanzig Magnetfeldsensoren **06**, die sich im Inneren des Hohlflansches **01** befinden. Die zwanzig Magnetfeldsensoren **06** weisen einen gleichen Abstand zur Achse

se **03** auf. Die zwanzig Magnetfeldsensoren **06** sind in Form von fünf Gruppen angeordnet. Jede der fünf Gruppen umfasst vier der Magnetfeldsensoren **06**, die im Winkelabstand von 90° bezogen auf die Achse **03** und gemeinsam in einer senkrecht zur Achse **03** angeordneten Ebene angeordnet sind. Die fünf Gruppen sind bezogen auf die Achse **03** äquidistant angeordnet. Nur zwei der fünf Gruppen der Magnetfeldsensoren **06** sind jeweils an einer axialen Position angeordnet, an welcher auch einer der beiden Magnetisierungsbereiche **04** angeordnet ist. Die Anordnung der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** kann alternativ auch dadurch beschrieben werden, dass sie in Form von vier Gruppen angeordnet sind. Jede der vier Gruppen umfasst fünf der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam auf einer parallel zur Achse **03** angeordneten Geraden liegen und äquidistant angeordnet sind. Die Anordnung der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** kann alternativ auch dadurch beschrieben werden, dass sie in Form von zwei Gruppen angeordnet sind. Jede der beiden Gruppen umfasst zehn der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam in einer die Achse **03** umfassenden Ebene matrixartig angeordnet sind, wobei die beiden Ebenen einen Winkel von 90° zueinander aufweisen.

[0076] Die beschriebene Anordnung der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** führt u. a. zu einer in axialer Richtung ausgerichteten Gruppe **07** der Magnetfeldsensoren **06**, zu einer in diagonaler Richtung ausgerichteten Gruppe **08** der Magnetfeldsensoren **06** und zu einer in tangentialer Richtung ausgerichteten Gruppe **09** der Magnetfeldsensoren **06**.

[0077] Die zwanzig Magnetfeldsensoren **06** sind symbolisch durch jeweils einen Kreis dargestellt.

[0078] Die zwanzig Magnetfeldsensoren **06** erlauben jeweils eine Messung einer oder mehrerer der Richtungskomponenten eines wegen des invers-magnetostriktiven Effektes auftretenden Magnetfeldes **11** sowie möglicher Störmagnetfelder.

[0079] Jeder der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** ist individuell mit einem als eine Messsignalverarbeitungseinheit fungierenden Mikrokontroller (nicht gezeigt) elektrisch verbunden, sodass der Mikrokontroller die Messsignale der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** einzeln oder in variierbaren Gruppen verarbeiten und auswerten kann.

[0080] Der Mikrokontroller steuert die Abfrage der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** und vergleicht deren Messwerte mit einer im Mikrocontroller hinterlegten Datenbasis, welche die Messwerte relativ oder absolut verrechnet und untereinander vergleicht.

[0081] Insofern die zwanzig Magnetfeldsensoren **06** jeweils zur Messung aller drei Richtungskomponenten des wegen des invers-magnetostriktiven Effek-

tes auftretenden Magnetfeldes **11** ausgebildet sind, so wird ein Raumvektor mit Betrag und Richtung des zu messenden, lastabhängigen Magnetfeldes **11** gemessen. Der Raumvektor, darstellbar durch die magnetische Flussdichte mit den drei Richtungskomponenten B_x , B_y und B_z wird aus den Messwerten der Magnetfeldsensoren **06** gebildet.

[0082] Das wegen des invers-magnetostriktiven Effektes entstehende Magnetfeld **11** ist abhängig vom Torsionsmoment M_t . Zwar können ggf. nur einige der zwanzig Magnetfeldsensoren **06** dieses Magnetfeld **11** detektieren, jedoch können diese Magnetfeldsensoren **06** vom Mikrokontroller ausgewählt und gruppiert werden.

[0083] Bei sich ändernder reiner Torsionsbelastung des Hohlflansches **01** und bei einem verschwindenden Störfeld ändert sich an jeder der Positionen der Magnetfeldsensoren **06** der Vektor der magnetischen Flussdichte ausschließlich im Betrag, d. h. jeder der Magnetfeldsensoren **06** erfährt eine Änderung des Vektorbetrages, nicht aber in der Vektorrichtung. Damit steigt der Betrag der magnetischen Flussdichte jeder Vektorkomponente B_x , B_y und B_z gleich, sodass die Vektorrichtung unverändert bleibt.

[0084] Die magnetische Flussdichte des lastabhängigen Magnetfeldes **11** ist für jede der drei Vektorkomponenten B_x , B_y und B_z linear vom Torsionsmoment M_t abhängig, wobei die lineare Steigung negativ oder positiv ist in Abhängigkeit von der Position des jeweiligen Magnetfeldsensors **06** in axialer Richtung. Denkbar ist ebenso eine Steigung von Null für eine oder zwei der drei Vektorkomponenten.

[0085] Das lastabhängige Magnetfeld **11**, welches anhand des Vektors der magnetischen Flussdichte B_x , B_y und B_z gemessen wird, unterscheidet sich an den Positionen der einzelnen Magnetfeldsensoren **06** bei gleichbleibender Torsionsbelastung. Unter der Voraussetzung eines verschwindend kleinen Störmagnetfeldes sind die Richtung und der Betrag des Vektors an denjenigen Magnetfeldsensoren **06** mit einer gleichen axialen Position gleich. Entsprechend unterscheiden sich die Richtung und der Betrag des Vektors zwischen den Positionen der Magnetfeldsensoren **06** innerhalb der axialen Richtung. Dieser Zusammenhang bietet die Möglichkeit, Messsignale einzelner der Magnetfeldsensoren **06** in Gruppierungen zusammenzufassen und entsprechend auszuwerten.

[0086] Fig. 2 zeigt eine zweite bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** gemeinsam in einer die Achse **03** umfassenden Ebene angeordnet. Die Magnetfeldsensoren **06** sind in

zwei Gruppen angeordnet. Jede der beiden Gruppen umfasst mehrere der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam auf einer parallel zur Achse **03** angeordneten Geraden liegen und äquidistant angeordnet sind. Die Magnetfeldsensoren **06** weisen einen gleichen Abstand zur Achse **03** auf.

[0087] Fig. 3 zeigt eine dritte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** in unterschiedlichen Positionen um die Achse **03** herum und auch in der Achse **03** angeordnet. Die Magnetfeldsensoren **06** sind in vier Gruppen angeordnet. Jede der vier Gruppen umfasst mehrere der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam auf einer parallel zur Achse **03** bzw. in der Achse **03** angeordneten Geraden liegen und äquidistant angeordnet sind. Die nicht in der Achse **03** angeordneten Magnetfeldsensoren **06** weisen einen gleichen Abstand zur Achse **03** auf.

[0088] Fig. 4 zeigt eine vierte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** in zwei die Achse **03** umfassenden Ebenen angeordnet. Diese beiden Ebenen weisen einen Winkel von 45° zueinander auf.

[0089] Fig. 5 zeigt eine fünfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** in sieben Gruppen angeordnet. Jede der sieben Gruppen umfasst mehrere der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam auf einer parallel zur Achse **03** bzw. in der Achse **03** angeordneten Geraden liegen und äquidistant angeordnet sind.

[0090] Fig. 6 zeigt eine sechste bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** in acht Gruppen angeordnet. Jede der acht Gruppen umfasst mehrere der Magnetfeldsensoren **06**, die gemeinsam auf einer parallel zur Achse **03** angeordneten Geraden liegen und äquidistant angeordnet sind. Die Geraden von jeweils vier der acht Gruppen weisen einen Winkelabstand von 90° bezogen auf die Achse **03** auf. Die Magnetfeldsensoren **06** von jeweils vier der acht Gruppen weisen einen gleichen Abstand zur Achse **03** auf.

[0091] Fig. 7 zeigt eine siebente bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform sind die Magnetfeldsensoren **06** in zwölf Gruppen angeordnet. Acht der zwölf Gruppen der Magnetfeldsensoren **06** sind auf acht Geraden angeordnet, die einen Winkelabstand von 45° bezogen auf die Achse **03** und einen gleichen Abstand zur Achse **03** aufweisen. Die übrigen vier der zwölf Gruppen der Magnetfeldsensoren **06** sind auf vier Geraden angeordnet, die einen Winkelabstand von 90° bezogen auf die Achse **03** und einen gleichen Abstand zur Achse **03** aufweisen.

[0092] Fig. 8 zeigt eine achte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform fehlen vier der Magnetfeldsensoren **06**, nämlich in zwei der vier auf Geraden angeordneten Gruppen der Magnetfeldsensoren **06**. Es fehlen jeweils diejenigen der Magnetfeldsensoren **06**, die eine gleiche axiale Position wie die Magnetisierungsbereiche **04** aufweisen.

[0093] Fig. 9 zeigt eine neunte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform fehlen weitere zwölf der Magnetfeldsensoren **06**, nämlich diejenigen, die nicht eine gleiche axiale Position wie die Magnetisierungsbereiche **04** aufweisen.

[0094] Fig. 10 zeigt eine zehnte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform fehlen in zwei der vier auf Geraden angeordneten Gruppen der Magnetfeldsensoren **06** jeweils diejenigen Magnetfeldsensoren **06**, die nicht eine gleiche axiale Position wie die Magnetisierungsbereiche **04** aufweisen. Stattdessen sind an den axialen Positionen der Magnetisierungsbereiche **04** jeweils vier weitere der Magnetfeldsensoren **06** mit einem geringeren Abstand zur Achse **03** angeordnet.

[0095] Fig. 11 zeigt eine elfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Längsschnittansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform fehlen diejenigen Magnetfeldsensoren **06**, die eine gleiche axiale Position wie die Magnetisierungsbereiche **04** aufweisen.

[0096] Die Anordnungen der Magnetfeldsensoren **06** der in den **Fig. 2** bis **Fig. 11** gezeigten Ausführungsformen können in axialer Richtung kombiniert werden. Beispielsweise kann die in **Fig. 2** gezeigte Anordnung mit der in **Fig. 9** gezeigten Anordnung kombiniert werden.

[0097] Die in den **Fig. 2** bis **Fig. 11** gezeigten Anordnungen der Magnetfeldsensoren **06** ermöglichen sowohl eine Detektion des lastabhängigen Magnetfeldes **11** als auch eine Detektion eines möglichen Störmagnetfeldes. Es ist insbesondere auch möglich, die Intensität und/oder die Richtung des Störmagnetfeldes zu bestimmen. Mit speziellen Verrechnungsarten der Messsignale der Magnetfeldsensoren **06** und einer entsprechend hinterlegten Datenbasis im Mikrocontroller ist eine Interpretation der Messung und damit die Erkennung von unterschiedlichen Störfällen und Ereignissen möglich.

[0098] **Fig. 12** zeigt eine zwölfte bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Querschnittsansicht und in einer Längsschnittansicht. Diese Ausführungsform gleicht zunächst der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform. Im Unterschied zu der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform sind sämtliche der Magnetfeldsensoren **06** in einer die Achse **03** umfassenden Ebene angeordnet. Die Magnetfeldsensoren **06** sind in Form einer Matrix in Richtungen x und y angeordnet, wobei die Achse **03** in der x-Richtung liegt. Die Matrix umfasst Zeilen 1, 2, 3, 4, 5 und Spalten a, b, c, d, e. Sämtliche Matrixelemente (1a) bis (5e) sind mit Ausnahme der Matrixelemente (2b), (2d), (3a), (3c), (3e), (4b) und (4d) jeweils mit einem der Magnetfeldsensoren **06** belegt.

[0099] Die Zeilen 1 und 5 sind nächstliegend zur Innenwand des Hohlflansches **01** angeordnet. Der Abstand zwischen den Zeilen 1 und 5 betrage D. Folglich beträgt die y-Koordinate der Zeile 1 D/2. Die y-Koordinate der Zeile 5 beträgt -D/2. Die y-Koordinate der Zeile 2 beträgt D/6. Die y-Koordinate der Zeile 4 beträgt -D/6. Die y-Koordinate der Zeile 3 beträgt Null. Die Magnetfeldsensoren **06** in den Zeilen 1 und 5 dienen hauptsächlich der Messung von M_t , während die Magnetfeldsensoren **06** in den Zeilen 2 bis 4 hauptsächlich der Messung des Störmagnetfeldes dienen.

[0100] Das lastabhängige Magnetfeld **11** ist proportional zum Torsionsmoment M_t . Es lässt sich redundant als $M_{t,a}$, $M_{t,b}$, $M_{t,c}$, $M_{t,d}$ und $M_{t,e}$ wie folgt berechnen:

$$M_{t,a} = [Y_{1a} - 3Y_{2a} + 3Y_{4a} - Y_{5a}] \cdot K_1$$

$$M_{t,c} = [-Y_{1c} + 3Y_{2c} + 3Y_{4c} - Y_{5c}] \cdot K_2$$

$$M_{t,e} = [Y_{1e} - 3Y_{2e} + 3Y_{4e} - Y_{5e}] \cdot K_3$$

$$M_{t,b} = [-X_{1b} + 2X_{3b} - X_{5b}] \cdot K_4$$

$$M_{t,d} = [X_{1d} - 2X_{3d} + X_{5d}] \cdot K_5$$

[0101] In diesen Formeln stehen X und Y jeweils für die mit dem jeweils im Index bezeichneten Magnetfeldsensor **06** in die x- bzw. in die y-Richtung gemessene Magnetfeldkomponente. Die Konstanten K_1 bis K_5 werden durch Kalibrierung bestimmt. Es ist zu erwarten, dass sich die Zusammenhänge $K_1 \approx K_3 \approx K_2/2$ und $K_4 \approx K_5$ einstellen.

[0102] Die Terme $M_{t,a}$ bis $M_{t,e}$ verrechnen das Magnetfeld **11** in den Spalten a bis e anhand unterschiedlicher Magnetfeldraumkomponenten. Abhängig von der axialen Position am Hohlflansch **01** ergeben sich zwei unterschiedliche Termstrukturen. Es wird zeitgleich zur Messung der Torsion M_t eine weitestgehend vollständige Kompensation von Störungen anhand der Terme erreicht.

[0103] Durch einen Vergleich von $M_{t,a}$, $M_{t,b}$, $M_{t,c}$, $M_{t,d}$ und $M_{t,e}$ wird eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt. Wenn die Werte $M_{t,a}$, $M_{t,b}$, $M_{t,c}$, $M_{t,d}$ und $M_{t,e}$ bei Berücksichtigung einer zulässigen Toleranz gleich sind, dann ist die Plausibilitätskontrolle erfolgreich und der Messwert kann als Wert für M_t weiterverarbeitet werden. Die Größen können sich im zulässigen Toleranzbereich bewegen. Die zulässige Größe des Toleranzbereiches wird im Vorfeld definiert und im Algorithmus hinterlegt.

[0104] Die Terme $M_{t,a}$, $M_{t,b}$, $M_{t,c}$, $M_{t,d}$ und $M_{t,e}$ beinhalten die Kompensation eines Fernfeldes. Ebenso erfolgt eine Kompensation eines in der durch die Magnetfeldsensoren **06** aufgespannten Ebene linear veränderlichen Nahfeldes in der gemessenen Feldrichtung. Bei einem nicht linearen Nahfeld wird der lineare Anteil des Nahfeldes kompensiert. Je größer der lineare Anteil ist, desto besser ist die Kompensation der Störung. Im Weiteren beinhalten diese Terme eine Kompensation von möglichen Querkräften in die y-Richtung oder in eine z-Richtung. Im Weiteren beinhalten diese Terme eine Kompensation von möglichen Querkräften, die durch mögliche Biegemomente in die z-Richtung oder in die y-Richtung verursacht werden. Die genannten Kompensationen erfolgen quasi-zeitgleich zur Messung.

[0105] Der nicht lineare Anteil eines Nahfeldes kann anhand eines rechnerischen Ansatzes behandelt werden. Hierfür wird der nicht lineare Anteil des Nahfeldes anhand der verfügbaren Messwerte einschl. Richtungskomponenten der individuellen Magnetfeldsensoren **06** bestimmt. Weiterhin erfolgt ein Rückschluss anhand des nicht linearen Anteiles des Nahfeldes auf den dadurch verursachten Messfehler an den Magnetfeldsensoren **06** einschl. Richtungskomponenten bzw. auf den Messfehler der Gruppen der Magnetfeldsensoren **06**. Ausgehend davon erfolgt eine Korrektur der Messwerte der Gruppen der Magnetfeldsensoren **06** und damit eine Erhöhung der

Genauigkeit der mit der erfindungsgemäßen Anordnung durchführbaren Messung.

Bezugszeichenliste

- 01** Maschinenelement in Form eines Hohlflansches
- 02** Grundkörper
- 03** Achse
- 04** Magnetisierungsbereich
- 05**
- 06** Magnetfeldsensor
- 07** Gruppe in axialer Richtung
- 08** Gruppe in diagonaler Richtung
- 09** Gruppe in tangentialer Richtung
- 10**
- 11** Magnetfeld

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

- EP 2365927 B1 [0002]
- US 6490934 B2 [0003]
- EP 0803053 B1 [0004]
- US 8893562 B2 [0005]
- US 8578794 B2 [0006]
- US 2014/0360285 A1 [0007]
- US 2002/0162403 A1 [0008]
- US 8087304 B2 [0009]
- EP 2799827 A1 [0010]

Patentansprüche

1. Anordnung zum Messen einer Kraft und/oder eines Momentes an einem Maschinenelement (01), welches mindestens einen Magnetisierungsbereich (04) für eine Magnetisierung aufweist; wobei die Anordnung mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren (06) zum Messen eines durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes (11) umfasst; und wobei die Anordnung weiterhin eine Messsignalverarbeitungseinheit umfasst, die zur Signalverarbeitung der Messsignale der einzelnen Magnetfeldsensoren (06) ausgebildet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder der Magnetfeldsensoren (06) eine elektrische oder logische Verbindung aufweist, die einzeln zur Messsignalverarbeitungseinheit geführt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldsensoren (06) zumindest gruppenweise äquidistant oder äquiangular angeordnet sind.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldsensoren (06) matrixartig angeordnet sind.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldsensoren (06) zumindest gruppenweise in jeweils einer Ebene angeordnet sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldsensoren (06) auf äquiangularen Radien angeordnet sind.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnetfeldsensoren (06) jeweils zur einzelnen Messung von drei Richtungskomponenten des durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes (11) ausgebildet sind.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einer der Magnetfeldsensoren (11) weiterhin zur Messung eines Störmagnetfeldes ausgebildet ist.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messsignalverarbeitungseinheit dazu ausgebildet ist, die Messsignale von Gruppen der Magnetfeldsensoren (06) auszuwerten, wobei die Gruppierung der Magnetfeldsensoren (06) veränderbar ist.

10. Verfahren zum Messen einer Kraft und/oder eines Momentes an einem Maschinenelement (01), welches mindestens einen Magnetisierungsbereich (04) für eine Magnetisierung aufweist; wobei mindestens zwei beabstandete Magnetfeldsensoren (06) zum Messen eines durch die Magnetisierung sowie durch die Kraft und/oder durch das Moment bewirkten Magnetfeldes (11) genutzt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messsignale der Magnetfeldsensoren (06) einzeln verarbeitet werden.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

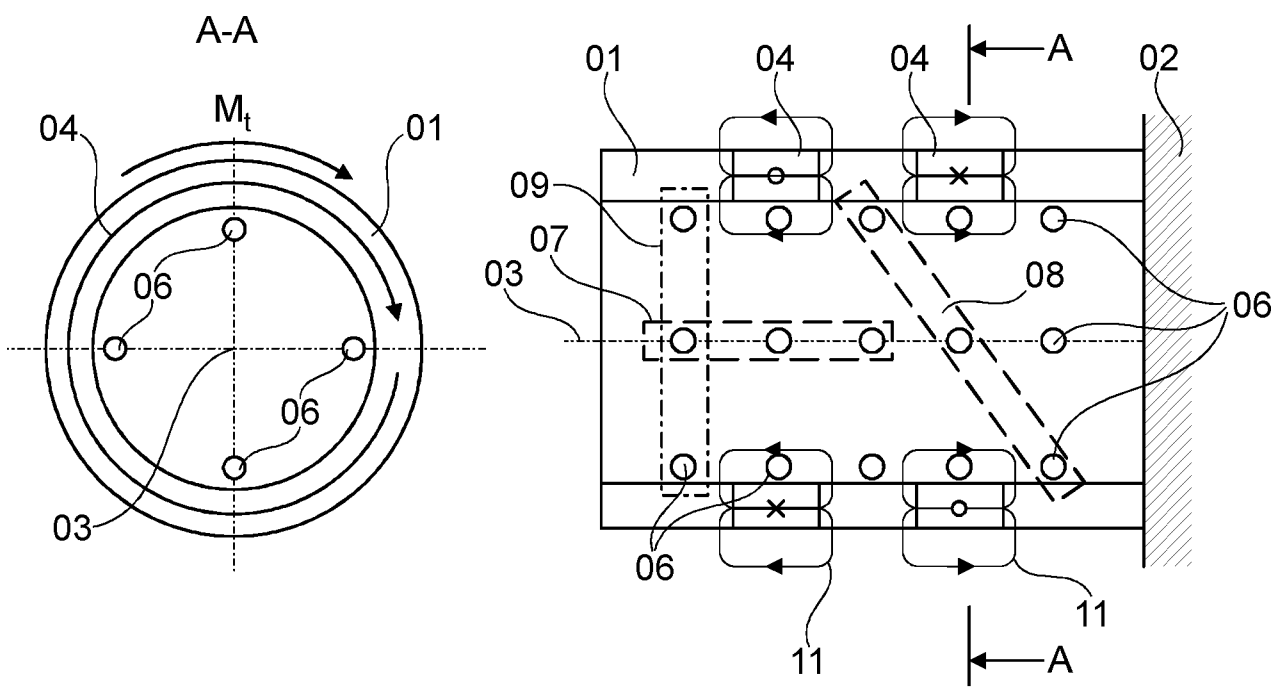


Fig. 1

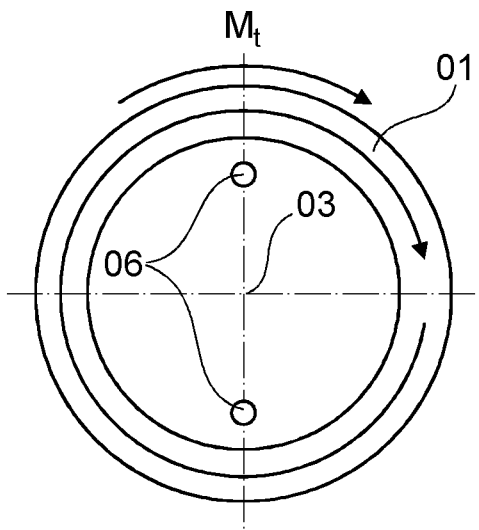


Fig. 2

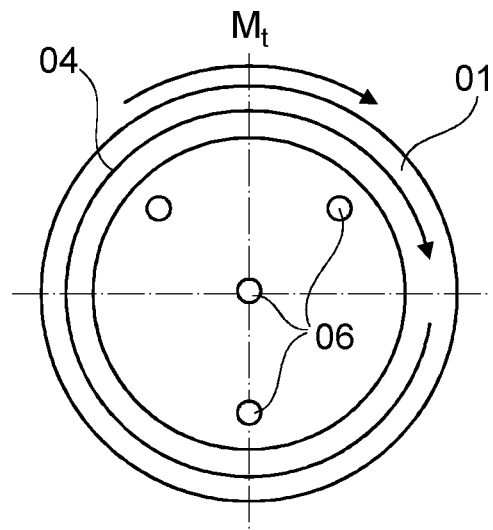


Fig. 3

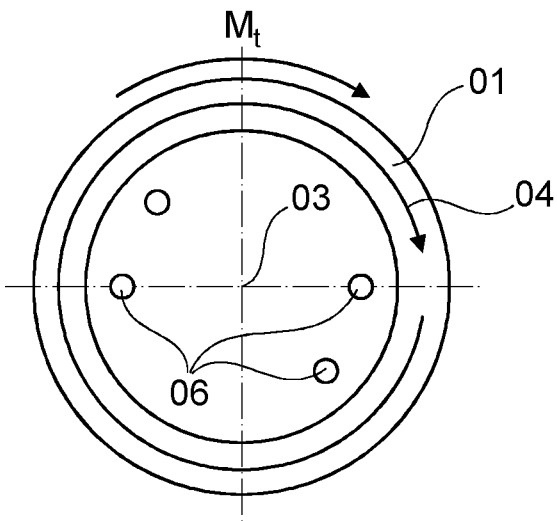


Fig. 4

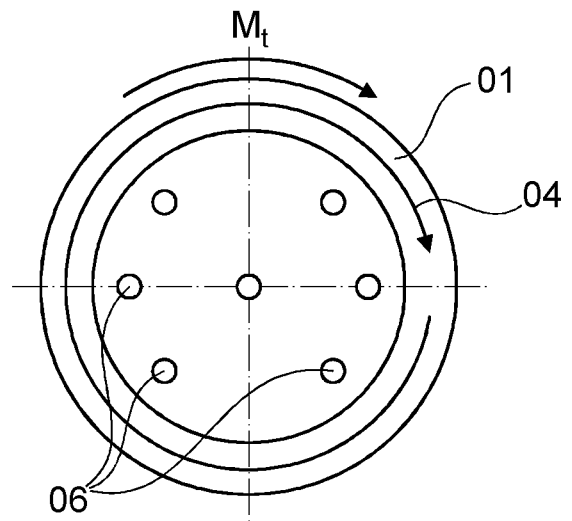


Fig. 5

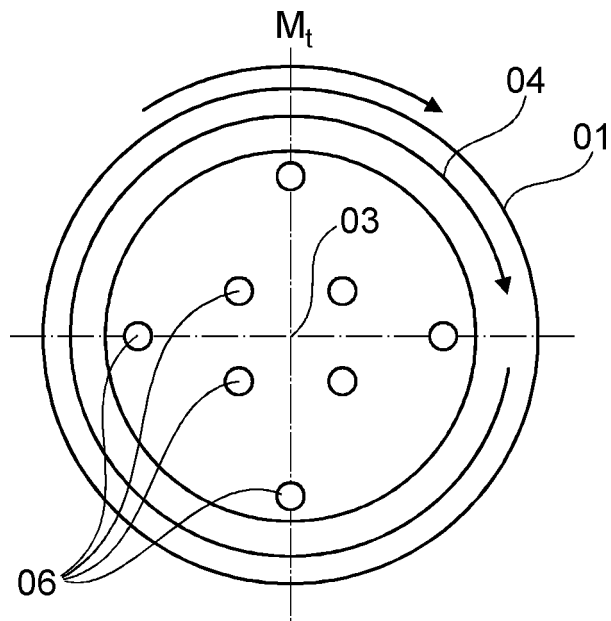


Fig. 6

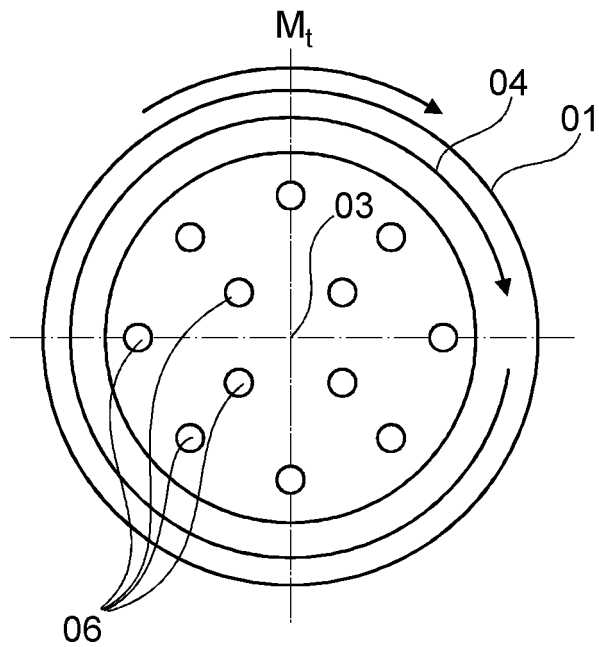


Fig. 7

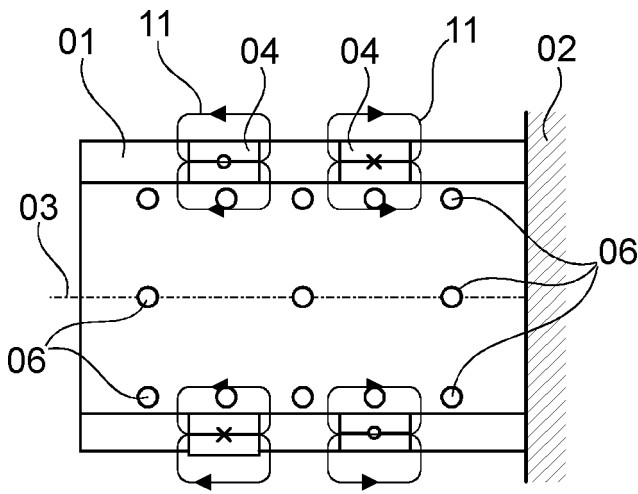


Fig. 8

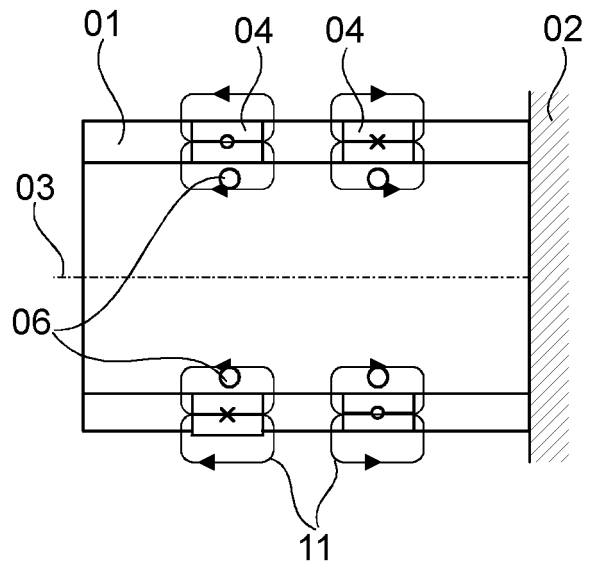


Fig. 9

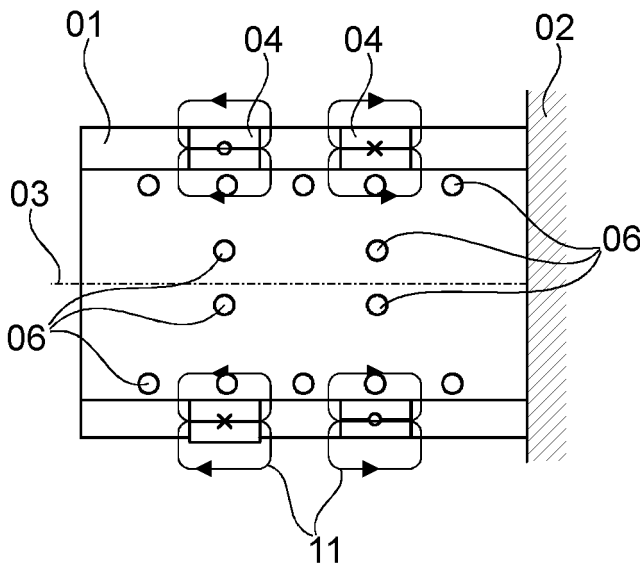


Fig. 10

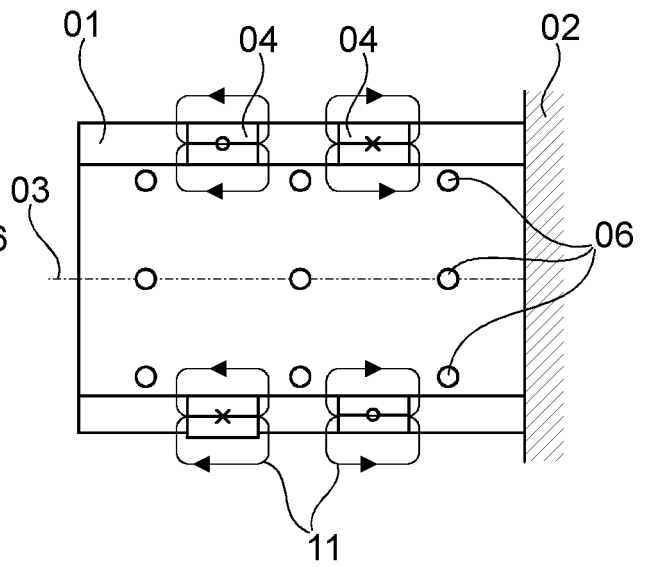


Fig. 11

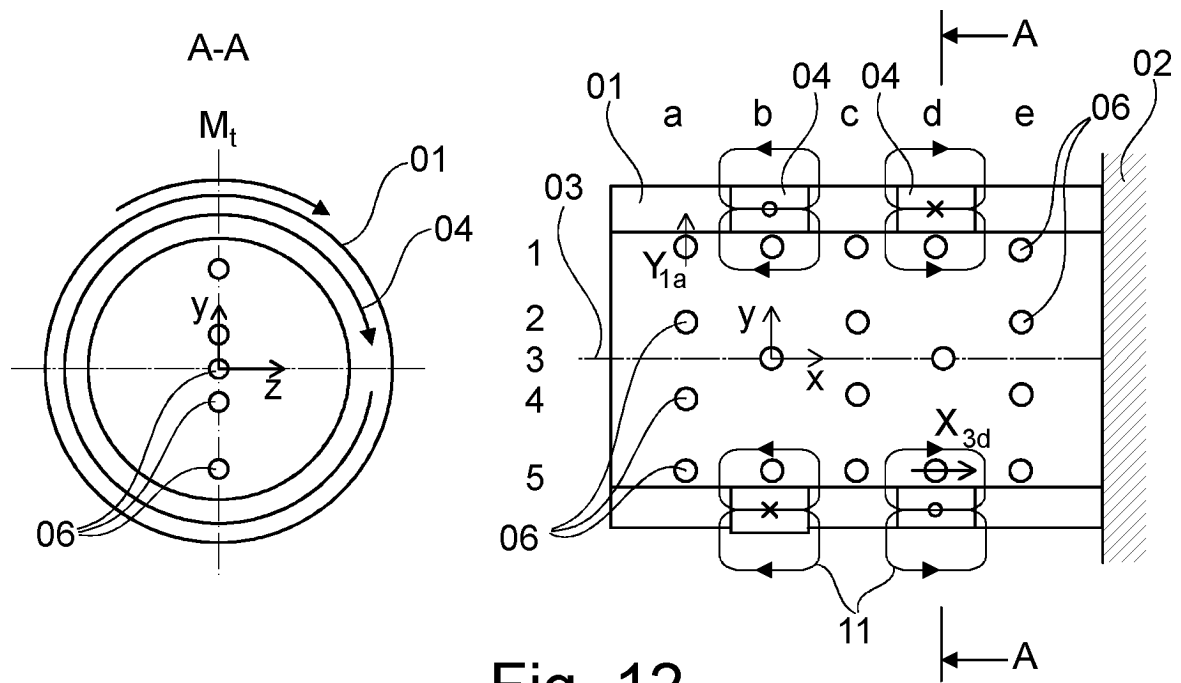


Fig. 12