(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
01. August 2019 (01.08.2019)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/144172 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01L 5/16 (2006.01) *G01L 5/00* (2006.01)
G01L 3/10 (2006.01) *G01L 1/16* (2006.01)
G01L 3/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2019/060028

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Januar 2019 (24.01.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 50064/2018 24. Januar 2018 (24.01.2018) AT

(71) Anmelder: **AVL LIST GMBH** [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, 8020 Graz (AT). **PIEZOCRYST ADVANCED SENSORICS GMBH** [AT/AT]; Hans-List-Platz 1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: **SCHRICKER, Alexander**; Anton-Schwarz-Gasse 17, 8046 Graz (AT). **FALK, Patrick**; Schörgelgasse 68d/5, 8010 Graz (AT). **DREISIEBNER, Franz**; Klosterwiesgasse 3, 8010 Graz (AT). **KOKAL, Helmut**; Fichtestrasse 77/19, 8020 Graz (AT). **PROPST, Mario**; Rosenbachsiedlung 39, 8742 Obdach (AT).

(74) Anwalt: **HAHNER, Ralph**; c/o Wallinger Ricker Schlotter Tostmann Patent- und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Zweibrückenstraße 5-7, 80331 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** MEASURING DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING A FORCE AND/OR TORQUE ON A TORQUE-TRANSMITTING SHAFT

(54) **Bezeichnung:** MESSVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER KRAFT UND/ODER EINES DREHMOMENTS AN EINER DREHMOMENTÜBERTRAGENDEN WELLE

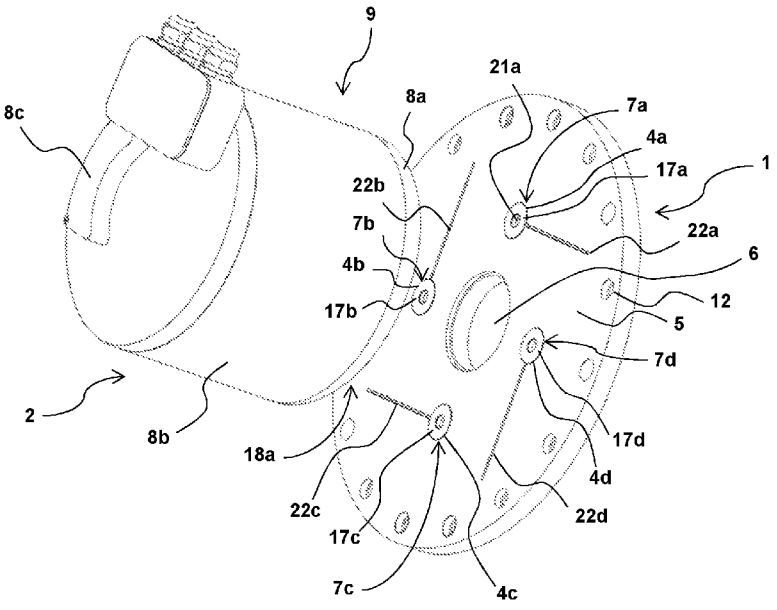


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a measuring device (1) for determining force and/or torque on a torque-transmitting shaft (3) which is supported by a bearing device (2), in particular a machine, the output and/or input shaft of which is formed by the torque-transmitting shaft (3). The measuring device has at least two, preferably three or four, piezoelectric elements (4a, 4b, 4c, 4d) and a fixing device (5), wherein the fixing device (5) supports the piezoelements (4a, 4b, 4c, 4d) and is designed in such a way that a force, in particular shear force, can be measured between the bearing device (2) and a supporting device (10) for supporting the bearing device (2) by means of the piezoelements.

WO 2019/144172 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

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

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung (1) zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle (3), welche durch eine Lagervorrichtung (2), insbesondere eine Maschine, deren Aus- und/oder Eingangswelle durch die drehmomentübertagende Welle (3) gebildet ist, gelagert ist, wobei die Messvorrichtung wenigstens zwei, vorzugsweise drei oder vier Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) und eine Fixierungseinrichtung (5) aufweist, wobei die Fixierungseinrichtung (5) die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) trägt und in der Weise ausgebildet ist, dass mittels der Piezoelemente eine Kraft, insbesondere Scherkraft, zwischen der Lagervorrichtung (2) und einer Abstützvorrichtung (10) zum Abstützen der Lagervorrichtung (2) messbar ist.

Messvorrichtung und Verfahren zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle

Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle, welche durch eine Lagervorrichtung, insbesondere eine Maschine, deren Aus- und/oder Eingangswelle durch die drehmomentübertragende Welle gebildet ist, gelagert ist.

Bei der Regelung von Motoren, insbesondere Brennkraftmaschinen oder Elektromaschinen, ist eine möglichst genaue Kenntnis des Drehmoments an der Welle des Motors wichtig.

Aus dem Stand der Technik ist bekannt, hierfür Messvorrichtungen mit Dehnungsmessstreifen oder auch Piezosensoren einzusetzen.

Dehnungsmessstreifen und ähnliche Messelemente dienen im Allgemeinen dazu, statische Kräfte zu messen. Im Allgemeinen haben Messsysteme mit einer solchen Art von Messelementen jedoch eine zu lange Reaktionszeit, um dynamische Kraftverläufe zu messen. Piezoelektrische Messelemente bzw. Piezoelemente eignen sich dagegen zur Messung dynamischer Zug-, Druck- und Scherkräfte. Diese haben einen breiten Dynamikbereich, sind steif und können auch hochdynamische Kräfte bei gleichzeitig hoher Auflösung messen.

Das Dokument EP 0 266 452 A1 betrifft ein piezoelektrisches Aufnehmerelement für Kraft- und Drehmomentmessungen, welches aus mindestens zwei Piezoelementen sowie mindestens einer dazwischen angeordneten Trägerplatte aus isolierendem Material besteht, wobei die Piezoelemente in Bezug auf das Koordinatensystem der Trägerplatte kristallographisch vororientiert und mit dieser fest verbunden sind.

Das Dokument DE 195 25 22 A1 betrifft eine Kraft- und Momentenmessanordnung, bestehend aus mehreren Kraftmesszellen und Verstärkeranordnungen, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Kraftmesszellen zu einer Messeinheit so zwischen Montageplatten fest verschraubt sind und bezüglich Koordinatenachsen so angeordnet sind, dass Momentenbildung möglich ist, wozu die Signale der Kraftmesszellen zwecks Auswertung zu einer Gruppe von Verstärkern und deren Ausgänge wiederum zu einer

Gruppe von Operationsverstärkern geleitet wird, wodurch sowohl die einzelnen Kraftkomponenten als auch die Kraftmomente messbar sind.

Das Dokument DE 10 2009 014284 B4 betrifft einen Drehmomentsensor, der aus einem ersten und einem zweiten scheibenförmigen Befestigungsflansch besteht, die sich parallel axial gegenüberliegen und durch ein radial innen liegendes Momentübertragungselement starr miteinander verbunden sind, wobei der zweite Befestigungsflansch als Messflansch ausgebildet ist, der auf einem koaxial umlaufenden Bereich zwischen seinem radial äußeren Befestigungsbereich und dem koaxial innen liegenden Momentübertragungselement mehrere durch radiale Versteifungsstege miteinander getrennte Ausnehmungen und Scherkraftaufnehmer aufweist, wobei die Ausnehmungen durch mindestens drei einseitig axial nach außen offene Messtaschen gebildet sind, wobei die Grundfläche der Messtaschen als eine ebene geschlossene Fläche ausgebildet ist, die einen gleichbleibend dünnen, federelastischen Verformungskörper darstellt, und dass auf den Grundflächen oder den axial gegenüberliegenden Außenflächen der Messtaschen die Scherkraftaufnehmer appliziert sind.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Bestimmung eines an einer drehmomentübertragenden Welle anliegenden Drehmoments oder einer anliegenden Kraft bereitzustellen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Messvorrichtung, eine Messanordnung und ein Verfahren bereitzustellen, bei welcher die Messvorrichtung eine Messung an dem zu testenden System möglichst wenig, vorzugsweise nicht, beeinflusst.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Messvorrichtung zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer Lagervorrichtung einer drehmomentübertragenden Welle, einer Messanordnung mit einer solchen Messvorrichtung und einem Verfahren zur Bestimmung eines an einer drehmomentübertragenden Welle anliegenden Drehmoments gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen beansprucht.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft eine Messvorrichtung zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle, welche durch

eine Lagervorrichtung, insbesondere eine Maschine, deren Aus- und/oder Eingangswelle durch die drehmomentübertagende Welle gebildet ist, gelagert ist, wobei die Messvorrichtung wenigstens zwei, vorzugsweise drei oder vier Piezoelemente und eine Fixierungseinrichtung aufweist, wobei die Fixierungseinrichtung die Piezoelemente trägt und in der Weise ausgebildet ist, dass mittels der Piezoelemente eine Kraft, insbesondere Scherkraft, zwischen der Lagervorrichtung und einer Abstützvorrichtung zum Abstützen der Lagervorrichtung messbar ist.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Messanordnung zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle, aufweisend eine auf dem Piezoeffekt beruhende Messvorrichtung, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eine Welle, eine Lagervorrichtung und eine Abstützvorrichtung der Lagervorrichtung, wobei die Lagervorrichtung die Welle lagert, und wobei die Messvorrichtung die rotierende Masse der Welle bzw. eines Wellenverbundes nicht verändert. Insbesondere ist die rotierende Masse der Welle unabhängig von der Messvorrichtung.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines an einer Welle anliegenden Drehmoments und/oder an einer Welle anliegenden Kraft, wobei das Drehmoment und/oder die Kraft mittels Messung von Reaktionskräften einer Lagerung einer Lagervorrichtung der Welle auf die Lagervorrichtung durch wenigstens zwei Piezoelemente bestimmt wird.

Ein vierter und fünfter Aspekt der Erfindung betrifft einen Prüfstand und ein Fahrzeug mit einer Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt oder einer Messanordnung gemäß dem zweiten Aspekt.
Ein sechster und siebter Aspekt der Erfindung betreffen ein Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines solchen Verfahrens auszuführen und ein computer-lesbares Medium, auf dem ein solches Computerprogramm gespeichert ist. Das computer-lesbares Medium umfasst Anweisungen, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen.

Die in Bezug auf die im ersten Aspekt der Erfindung im Weiteren beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten für die weiteren Aspekte der Erfindung entsprechend und umgekehrt.

Eine Fixierungseinrichtung im Sinne der Erfindung dient vorzugsweise zum tragen, insbesondere Befestigen, der Piezoelemente. Weiter vorzugsweise verbindet die Fixierungseinrichtung die einzelnen Piezoelemente, wodurch diese in einer relativen Position zueinander gehalten werden. Vorzugsweise ist die Fixierungseinrichtung eine Adapterplatte, ein Ringelement oder auch ein Befestigungswinkel oder Messflansch. Weiter vorzugsweise kann die Fixierungseinrichtung ein Bestandteil einer bestehenden Vorrichtung sein, beispielsweise eines Gehäuses eines Getriebes oder einer Maschine. Diese wird durch eine Bereitstellung der Piezoelemente zu der Fixierungseinrichtung der Messvorrichtung.

Ein Piezoelement im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Messelement, welches eingerichtet ist, eine Kraft, welche über zwei an das Piezoelement anliegende Flächen wirkt, zu messen. Vorzugsweise besteht ein Piezoelement aus dem Piezokristall sowie einer Ladungsableitung bzw. einer elektrischen Verschaltung.

Eine Messvorrichtung im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Piezosensor. In diesem Fall dient die Messvorrichtung als Gehäuse der Piezoelemente. Alternativ kann die Messvorrichtung aber auch einzelne Piezosensoren aufweisen, bei welchen die Piezoelemente in einem separaten Gehäuse angeordnet sind.

Eine Maschine im Sinne der Erfindung ist eingerichtet zum Umwandeln von Energie, vorzugsweise einer kinetischen Energie, insbesondere einer Rotation, in elektrische Energie oder umgekehrt oder von chemischer Energie in eine kinetische Energie. Eine Maschine im Sinne der Erfindung weist vorzugsweise ein Gehäuse auf.

Eine Lagervorrichtung um Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine Vorrichtung zum drehbaren Lagern einer Welle, insbesondere ein Wälzlager, Kugellager oder Gleitlager. Vorzugsweise weist auch eine Lagervorrichtung ein Gehäuse auf. Die Lagervorrichtung selbst wird vorzugsweise wiederum selbst auch abgestützt oder gelagert. Weiter Vorzugsweise ist die Lagervorrichtung erfindungsgemäße eine Maschine oder Teil einer Maschine.

Eine Abstützvorrichtung im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise eine Vorrichtung zum Abstützen eines Elements gegenüber einer auf dieses Element wirkenden Kraft und/oder Drehmoments. Eine Abstützvorrichtung ist vorzugsweise dazu eingerichtet, eine sogenannte Reaktionskraft bzw. Lagerreaktionskraft bereitzustellen. Eine Abstützvorrichtung im Sinne der Erfindung dient vorzugsweise zum Abstützen der Lagervorrichtung. Vorzugsweise ist die Abstützvorrichtung eine Getriebeglocke, ein Gehäuse des Antriebsstrangs oder auch eine Bodenplatte.

Der Begriff „lagerbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann gelagert werden“ oder „gelagert sein“.

Der Begriff „verbindbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann verbunden werden“ oder „verbunden sein“.

Der Begriff „einleitbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann eingeleitet werden“ oder „eingeleitet sein“. Vorzugsweise ist damit das Übertragen einer Kraft von einem Körper auf einen anderen Körper gemeint.

Der Begriff „abstützbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann abgestützt werden“ oder „abgestützt sein“.

Der Begriff „hindurchführbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann durchgeführt werden“ oder „hindurchgeführt sein“.

Der Begriff „belastbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann belastet werden“ oder „belastet sein“.

Der Begriff „anordenbar“ im Sinne der Erfindung bedeutet „kann angeordnet werden“ oder „angeordnet sein“.

Die Erfindung basiert insbesondere auf dem Ansatz, Kräfte und/oder Drehmomente, welche an einer drehmomentübertragenden Welle anliegen, nicht unmittelbar an dieser drehmomentübertragenden Welle zu messen.

Im Stand der Technik werden zur Messung solcher Kräfte und/oder Drehmomente bisher im Allgemeinen Messvorrichtungen eingesetzt, welche mit der drehmomentübertragenden Welle verschraubt oder in sonstiger Weise befestigt sind, wie beispielsweise in der oben zitierten DE 10 2009 014284 B4 beschrieben wird.

Erfindungsgemäß werden vorzugsweise dagegen jene Kräfte, welche als Reaktionskräfte einer Lagerung an einer Lagervorrichtung der Welle, welche durch die Lagerung gelagert wird, anliegen, gemessen und aus diesen Kräften auf die Kraft geschlossen, welche die Welle ausübt bzw. auf das Drehmoment, welches an der Welle anliegt. Mit anderen Worten werden die Kräfte erfindungsgemäß an anderer Stelle als an der drehmomentübertragenden Welle im Kraftübertragungsweg gemessen, und aus diesen Kräften wird das an der drehmomentübertragenden Welle anliegende Drehmoment bestimmt, insbesondere berechnet.

Zum einen kann die Lagervorrichtung aufgrund der Festigkeit und Steifigkeit der als Messelemente eingesetzten Piezoelemente vorzugsweise vollständig mittels der Piezoelemente abgestützt bzw. gelagert werden. An den Piezoelementen liegt daher vorzugsweise die volle Belastung an oder Kraftnebenflüsse können wenigstens vernachlässigt werden.

Zum anderen können durch die Verwendung von Piezoelementen bei der Messung hochdynamische Kraftänderungen bzw. Drehmomentänderungen registriert werden.

Des Weiteren verfälscht die Messvorrichtung nicht das Messergebnis, da diese kein Bestandteil der rotierenden Welle ist. Mittels der Erfindung wird insbesondere die bewegte Masse bzw. rotierende Masse eines zu vermessenden drehmomentübertragenden Systems, insbesondere eines am Prüfstand zu testenden Systems, nicht verändert. Durch die Messvorrichtung werden auch keine Elastizitäten zu dem drehmomentübertragenden System hinzugefügt, welche als Schwingungsdämpfer wirken würden oder die Eigenfrequenzen des drehmomentübertragenden Systems beeinflussen, insbesondere verfälschen, würden. Dies ist insbesondere ein Vorteil der Piezoelemente gegenüber Systemen mit Dehnungsmessstreifen als Messelemente, die bauartbedingt im Vergleich zu Piezoelementen relativ weich sind und damit das zu testende System daher beeinflussen.

Auch die Gefahr, dass sich eine Messvorrichtung, welche als Messflansch an der drehmomentübertragenden Welle angeordnet ist, bei hohen Drehzahlen von dieser Welle löst, wird durch die erfindungsgemäße Messvorrichtung, die Messanordnung und das Verfahren ausgeschlossen.

Des Weiteren wird es durch die erfindungsgemäße Lösung möglich, die Bewegung der drehmomentübertragenden Welle zu analysieren und Unstetigkeiten und Schwingungen in der Wellenbewegung zu erkennen. Insbesondere kann mit der erfindungsgemäßen Messvorrichtung, der Messanordnung und dem Verfahren eine Taumelbewegung der Welle erkannt und gemessen werden. Mit einer Messvorrichtung, wie einem Messflansch, der an der Welle angeordnet ist, ist dies indes nicht oder nur schwer möglich. Insbesondere kann mit einem solchen Messflansch nicht gewährleistet werden, dass dieser sich an jener Stelle der Welle befindet, welche tatsächlich taumelt. Auch die Kräfte, welche die drehmomentübertragende Welle auf deren Lagervorrichtung bzw. eine Maschine, insbesondere einen Motor, ausüben, können mittels der Erfindung bestimmt werden. Mit einem Messflansch können solche Kräfte nicht gemessen und aus den zur Verfügung stehenden Messungen auch nicht oder wenigstens nicht exakt bestimmt werden.

Mittels der erfindungsgemäßen Lösung können somit ein an der Welle anliegendes dynamisches Drehmoment und auch Schwingungen in vertikaler und horizontaler Richtung der Welle bestimmt werden.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt insbesondere auch darin, dass bei einem Motor, welcher nur durch die Getriebeglocke gelagert wird, wie es beispielsweise oftmals im Rennsport der Fall ist, die Kräfte und Drehmomente an der drehmomentübertragenden Antriebswelle bestimmt werden können, indem die erfindungsgemäße Messvorrichtung zwischen der Getriebeglocke und dem Motor angeordnet wird. Eine weitere Messstelle an dem Motor oder der Welle ist dann nicht nötig. Die Messvorrichtung beeinflusst den Betrieb eines solchen Antriebsstrangs nicht und kann somit sogar während des laufenden Betriebs, beispielsweise während eines Rennens, zur Diagnose des Antriebsstrangs eingesetzt werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist die Fixierungseinrichtung des Weiteren in der Weise ausgebildet, dass die Kraft parallel zu

Stirnflächen der Piezoelemente mittels einer kraftschlüssigen Verbindung einleitbar ist. Diese Ausgestaltung bietet die Möglichkeit, ein piezoelektrisches Scherelement als Piezoelement einzusetzen. Insbesondere können hierdurch Kräfte in zwei entgegengesetzte Richtungen mittels eines einzigen Piezoelements gemessen werden, ohne dass eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den Stirnflächen der Piezoelemente und den jeweils Kraft einleitenden Elementen hergestellt werden muss.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind die Piezoelemente mit der Fixierungseinrichtung und/oder der Lagervorrichtung und/oder der Abstützvorrichtung durch Kraftschluss verbindbar. Hierdurch kann jeweils eine Kraft zwischen der Fixierungseinrichtung und der Lagervorrichtung oder zwischen der Fixierungseinrichtung und der Abstützvorrichtung oder zwischen der Lagervorrichtung und der Abstützvorrichtung mittels piezoelektrischen Scherelementen gemessen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind die Piezoelemente eingerichtet und/oder angeordnet, um Scherkräfte zwischen der Lagervorrichtung und der Abstützvorrichtung zu messen und/oder sind piezoelektrische Scherelemente.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist die Fixierungseinrichtung des Weiteren in der Weise ausgebildet, dass die Kraft wenigstens im Wesentlichen tangential zur Drehrichtung der Welle messbar ist. Dies vereinfacht die Berechnung einer an der Welle anliegenden Kraft und/oder eines an der Welle anliegenden Drehmoments, ohne eine aufwändige Vektorzerlegung der gemessenen Kräfte vornehmen zu müssen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist die Fixierungseinrichtung und/oder sind die Piezoelemente in der Weise ausgebildet, dass die Piezoelemente zwischen der Fixierungseinrichtung und der Lagervorrichtung oder zwischen der Fixierungseinrichtung und Abstützvorrichtung oder zwischen der Abstützvorrichtung und der Lagervorrichtung angeordnet werden können und mit einer Vorspannung belastbar sind. Insbesondere können die Fixierungseinrichtung und/oder die Piezoelemente hierfür eigens dafür vorgesehene Hohlräume aufweisen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist die Fixierungseinrichtung in der Weise ausgestaltet, dass die Lagervorrichtung wenigstens in einer Drehrichtung der Welle gegenüber der Abstützvorrichtung ausschließlich durch die Piezoelemente abgestützt ist. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die gesamte zu messende Kraft in die Piezoelemente eingeleitet wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind die Piezoelemente mehrkomponentige Piezoelemente, welche sowohl eine Scherkraft als auch eine Druckkraft, vorzugsweise wenigstens im Wesentlichen in axialer Richtung der Welle, messen können. Hierdurch können sowohl Kräfte in Drehrichtung der Welle als auch in axialer Richtung der Welle gemessen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind wenigstens zwei der Piezoelemente Scherelemente und wenigstens ein weiteres der Piezoelemente ein Druckelement. Auch hierdurch ist es möglich, sowohl Kräfte normal zur Welle, insbesondere tangential zur Drehrichtung der Welle, als auch in axialer Richtung der Welle zu messen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung weist die Fixierungseinrichtung eine Öffnung auf, durch welche die Welle hindurchführbar ist. Hierdurch ist es möglich, die Lagervorrichtung von jener Seite abzustützen, auf welcher auch die Welle die Lagervorrichtung verlässt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind bei einer Messanordnung mit zwei Piezoelementen ein erstes und ein zweites Piezoelement wenigstens im Wesentlichen gegenüber in Bezug auf die Öffnung angeordnet, oder bei mehr als zwei Piezoelementen sind die Piezoelemente etwa in gleicher Winkelbeziehung zueinander in Bezug auf die Öffnung, vorzugsweise in Bezug auf eine Drehachse einer Welle, welche durch die Öffnung geführt werden kann, angeordnet, wobei vorzugsweise die Piezoelemente alle den gleichen Abstand von dem Mittelpunkt der Öffnung aufweisen. Diese alternativen Ausgestaltungen ermöglichen eine besonders einfache Berechnung einer an der Welle anliegenden Kraft oder eines an der Welle anliegenden Drehmoments.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind die Piezoelemente zu mehr als 50 %, bevorzugter zu mehr als 70 %, noch bevorzugter zu mehr als 90 % in einer Vertiefung, insbesondere einer Sacklochbohrung, an der Fixierungseinrichtung und/oder eines Gehäuseteils der Lagervorrichtung und/oder der Abstützvorrichtung aufgenommen. Hierdurch kann die Fixierungseinrichtung als Gehäuse der Piezoelemente dienen. Insbesondere kann hierdurch das Vorsehen einzelner Gehäuse um jedes Piezoelement vermieden werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung weisen die Piezoelemente jeweils einen Hohlraum, insbesondere einen Hohlzylinder, auf, durch welchen jeweils eine Spannschraube führbar ist, welche eingerichtet ist, um die Lagervorrichtung mit der Abstützvorrichtung zu verbinden. Hierdurch kann insbesondere eine Vorspannung bzw. eine Vorbelastung auf die Piezoelemente aufgebracht werden, wodurch eine kraftschlüssige Verbindung zwischen deren Stirnseiten und einem weiteren Element hergestellt werden kann.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung weist auch die Fixierungseinrichtung einen Hohlraum auf, welcher mit dem Hohlraum des Piezoelements fluchtet und in welchem die Spannschraube lagerbar ist. Hierdurch kann eine Spannschraube auch durch die Fixierungseinrichtung geführt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist die Fixierungseinrichtung eine Adapterplatte oder ein Ringelement, insbesondere zur Befestigung der Lagervorrichtung an Gehäusen verschiedener Komponenten eines Antriebsstrangs. Hierdurch kann die erfindungsgemäße Messvorrichtung besonders universell bei einer Vielzahl von Motoren und/oder Antriebssträngen eingesetzt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist das Ringelement als Dichtung zwischen zwei Komponenten ausgebildet und/oder in der Weise ausgebildet, dass es zusammen mit einer Dichtung zum Einsatz kommen kann. In dieser vorteilhaften Ausgestaltung kann die Messvorrichtung in eine bestehende Dichtungsnut oder Führung eingesetzt werden, in der Weise, dass die umliegenden Komponenten zur Messung der Kräfte nur geringfügig konstruktiv angepasst werden müssen. Insbesondere wird die rotierende Masse des zu testenden Systems dabei nicht beeinflusst.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung weist die Fixierungseinrichtung wenigstens zwei Träger auf, welche auf der Abstützvorrichtung abgestützt sind, wobei die Träger, insbesondere paarweise, auf gegenüberliegenden ersten Seiten eines Gehäuses der Lagervorrichtung anordenbar sind in der Weise, dass jeweils eines der Piezoelemente zwischen den Trägern und dem Gehäuse liegt. Diese vorteilhafte Ausgestaltung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Abstützvorrichtung durch eine Bodenplatte gebildet wird und die Lagervorrichtung ein Motor, insbesondere eine E-Maschine ist, welche auf der Bodenplatte gelagert ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind wenigstens zwei weitere Träger auf gegenüberliegenden Seiten eines Gehäuses der Lagervorrichtung anordenbar, in der Weise, dass jeweils eines der Piezoelemente zwischen dem Träger und dem Gehäuse liegt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sind wenigstens drei Träger jeweils in der Weise auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Gehäuses anordenbar, dass die Lagervorrichtung definiert lagerbar ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messvorrichtung ist jeweils ein weiteres Aufnehmerelement zwischen dem Träger und der Abstützvorrichtung angeordnet, wobei die weiteren Aufnehmerelemente eingerichtet sind, Zug- und Druckkräfte zwischen den Trägern und der Abstützvorrichtung zu messen und vorzugsweise als Piezoelemente oder Dehnungsmessstreifen ausgebildet sind. Hierdurch ist es möglich, weitere Messelemente vorzusehen, mit denen nicht nur dynamische Kräfte, sondern zusätzlich auch statische Kräfte durch die Messvorrichtung messbar werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messanordnung ist die Lagervorrichtung eine Maschine, insbesondere eine Belastungs- und/oder Antriebsmaschine, vorzugsweise eine Elektro- oder Brennkraftmaschine. Die Maschine lagert hierbei die Welle und stellt ein Lastmoment bzw. Gegenmoment für die Welle dar.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Messanordnung ist die Abstützvorrichtung eine Getriebeglocke. Vorzugsweise ist die Messvorrichtung in dieser

Ausgestaltung als Ringelement ausgebildet, welches an eine Dichtungsfläche oder an die Grenzflächen zwischen der Getriebeglocke und der Maschine passt. In dieser besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird die Lagervorrichtung durch die Getriebeglocke abgestützt und benötigt keine weiteren Auflager. Eine solche Ausgestaltung ist insbesondere bei Rennmotoren vorgesehen. Erfindungsgemäß lässt sich die Messvorrichtung hierbei in beliebigen Systemen im Bereich einer üblicherweise zwischen einer Getriebeglocke und der Maschine vorgesehenen Dichtungsnut unterbringen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messanordnung ist zwischen den Piezoelementen und der Fixierungseinrichtung und/oder der Lagervorrichtung und/oder der Abstützvorrichtung eine Paste zur Erhöhung eines Reibungskoeffizienten aufgetragen. Hierdurch kann eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den einzelnen vorgenannten Elementen noch besser gewährleistet werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messanordnung sind die Piezoelemente zwischen der Abstützvorrichtung und der Lagervorrichtung mit einer Vorspannung von etwa 40 kN bis 80 kN, vorzugweise etwa 60 kN, belastet. Mittels dieser Werte kann die kraftschlüssige Verbindung für die zu messenden avisierten Kräfte bzw. Drehmomente besonders gut gewährleistet werden, ohne die durch Vorspannung belasteten Elemente zu stark zu beanspruchen. Insbesondere können Scherkräfte bis zu etwa einem Zehntel dieser Vorspannung gemessen werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messanordnung weist auch ein Gehäuseteil der Lagervorrichtung einen Hohlraum auf, welcher mit dem Hohlraum der Piezoelemente fluchtet und in welchem die Spannschraube gelagert ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Messanordnung sind die Stirnflächen der Piezoelemente wenigstens im Wesentlichen parallel zu einer Oberfläche der Lagervorrichtung und einer Oberfläche der Abstützvorrichtung ausgerichtet. Mittels dieser Ausgestaltung lässt sich eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Elementen besonders gut realisieren.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Prüfstands sind eine erste Messvorrichtung an einer Antriebsmaschine und eine zweite Messvorrichtung an einer

Belastungsmaschine als Lagervorrichtung angeordnet. Mittels einer solchen vorteilhaften Ausgestaltung ist beispielsweise ein sogenanntes Torque Ripple beobachtbar, bei welchem das Ausgangsdrehmoment eines Elektromotors bei sich drehender Motorwelle schwingt. Das Torque Ripple entspricht dabei einer Art Eigenschwingung einer Antriebsmaschine, in dieser Anwendung auch oftmals Prime Mover genannt. Des Weiteren können weitere parasitäre Einflüsse des Prüfstands, insbesondere eines Dynamometers, welche auf einen Prüfling übertragen werden können, bestimmt werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Reaktionskräfte als Scherkräfte an den Piezoelementen gemessen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Messung der Reaktionskräfte vorzugsweise mittels einer Messanordnung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung durchgeführt, wobei das Verfahren folgende Arbeitsschritte aufweist:

- Erfassen wenigstens eines Signals eines ersten Piezoelements und eines Signals eines zweiten Piezoelements; und

- Ableiten eines an dem ersten und dem zweiten Piezoelement anliegenden Drehmoments und/oder eines Auftretens einer Taumelbewegung und/oder einer Torsionsschwingung der Welle aus den Signalen.

Dadurch, dass erfindungsgemäß Kräfte an wenigstens zwei verschiedenen Stellen mittels zweier Piezoelemente der Abstützung der Lagervorrichtung gemessen werden, können außer dem Drehmoment, welches an dieser Stelle wirkt, noch andere Parameter abgeleitet werden. Beispielsweise kann aufgrund der Kräfte bestimmt werden, ob durch eine Biegung in der Welle eine Taumelbewegung der Welle induziert wird, welche auf eine der Lagervorrichtungen wirkt, wenn die Welle drehbar lagert. Anhand möglicher Schwingungen kann darüber hinaus auch eine Torsionsschwingung der Welle aus den Signalen abgeleitet werden. Wie bereits in Bezug auf eine vorteilhafte Ausgestaltung des Prüfstands erläutert, kann somit eine Reihe von parasitären Einflüssen des Prüfstands auf die eigentliche Messaufgabe identifiziert werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Piezoelemente bezüglich der Drehrichtung der Welle mit bekannter Vorzugsrichtung, insbesondere mit gleicher Vorzugsrichtung, ausgerichtet, und das Verfahren weist des Weiteren folgende Arbeitsschritte auf:

- Aufsummieren der Signale entsprechend einer Komponente der Vorzugsrichtung der Piezoelemente; und

- Ableiten eines Auftretens einer Drehschwingung der Welle aus den Signalen.

Um die Signale der Piezoelemente zur Identifikation einer Drehschwingung der Welle sinnvoll auswerten zu können, ist es notwendig, die Vorzugsrichtungsrichtung der einzelnen Piezoelemente in Bezug auf die Drehrichtung der Welle zu kennen. Aus der Überlagerung der dann normierten Komponenten in Bezug auf die Drehrichtung kann das Auftreten einer Drehschwingung abgeleitet werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Piezoelemente in der Weise ausgerichtet, dass deren Vorzugsrichtung bekannt ist, insbesondere, dass deren Vorzugsrichtung parallel zueinander ist, wobei das Verfahren des Weiteren folgende Arbeitsschritte aufweist:

- Aufsummieren der Signale entsprechend einer parallelen Komponente der Vorzugsrichtung der Piezoelemente und

- Ableiten der Reaktionskräfte der Lagerung aus den Signalen.

Aus dem Aufsummieren der normierten parallelen Komponenten der einzelnen Piezoelemente kann auf die dynamische Gesamtbelastung rückgeschlossen werden, welche auf die Lagervorrichtung wirkt. Dies kann insbesondere vorteilhaft sein, um einem möglichen Verschleiß frühzeitig zu erkennen ggf. gegenzusteuern.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine zeitliche Veränderung wenigstens der Werte der abgeleiteten Größen aufgezeichnet. Aus dem zeitlichen Verlauf können weitere Eigenschaften der

Komponenten eines Prüfstands oder auch parasitäre Einflüsse des Prüfstands oder einer sonstigen Messanordnung identifiziert werden.

Daher weist eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wenigstens einen der folgenden Arbeitsschritte auf:

- Prüfen der abgeleiteten Größen auf Unstetigkeiten im Drehmomentverlauf;

- Prüfen der abgeleiteten Größen auf Veränderungen von Eigenschaften des zu prüfenden Systems;

- Projizieren des Verlaufs von abgeleiteten Größen;

- Prüfen eines projizierten Verlaufs auf eine mögliche Überlastung der Lagereinrichtung;

- Reduzieren einer Leistung, falls eine projizierte Überlastung und/oder Unstetigkeiten und/oder Veränderungen der Eigenschaften des zu prüfenden Systems erkannt werden.

Diese vorteilhafte Ausgestaltung betrifft die Analyse des zu prüfenden Systems, insbesondere einer Antriebsmaschine bzw. eines Prime Movers. Vorzugsweise kann die Leistung dann über die Anpassung durch eine Steuerung entsprechend geregelt werden, wenn unerwünschte Eigenschaften in dem zu prüfenden System festgestellt werden. Mithin betrifft diese vorteilhafte Ausgestaltung vorzugsweise einen geschlossenen Regelkreis.

So ist beispielweise bei einem Antriebsstrang möglich, dass Unstetigkeiten im Drehmomentverlauf durch Produktionsfehler eines Zahnrads in einem Getriebe auftreten, so dass ein Teilungsfehler eines kämmenden Zahnrads zu periodischen Drehmomentüberhöhungen führen kann. Auch eine Veränderung von Elastizitäten einer Welle oder eines gesamten Antriebsstrangs kann mittels der Beobachtung von zeitlichen Veränderungen festgestellt werden. Schließlich ermöglicht die schnelle Messreaktion der Piezoelemente, Drehmomentanstiege zu erkennen und einen weiteren möglichen Verlauf in die Zukunft vorauszuberechnen, so dass festgestellt werden kann, ob ein

Drehmoment aufgrund des Anstieges und der Massenträgheit des Systems in einen kritischen Bereich kommen kann. Eine Anpassung der Leistung dient hier zum Maschinenschutz und kann schwere Schäden vermeiden.

Weitere Vorteile und Merkmale gehen aus der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele in Bezug auf die Figuren hervor. Die Figuren zeigen wenigstens teilweise schematisch:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Messanordnung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung mit einem ersten Ausführungsbeispiel einer Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung;

Fig. 2 eine Anordnung von Piezoelementen in einer Messvorrichtung, wie sie beispielsweise bei dem ersten Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung gemäß Fig. 1 vorliegt;

Fig. 3 einen Teil eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Messanordnung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung mit einem zweiten Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung in Draufsichtung und seitlicher Querschnittsansicht;

Fig. 4 eine perspektivische Explosionsansicht des Teils des zweiten Ausführungsbeispiels einer Messanordnung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung mit der Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung;

Fig. 5 eine Draufsicht bzw. seitliche Querschnittsansicht des zweiten Ausführungsbeispiels einer Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung aus den Figuren 3 und 4;

Fig. 6 eine vergrößerte Ansicht des mit A gekennzeichneten Bereichs der seitlichen Querschnittsansicht aus Fig. 5;

Fig. 7 eine perspektivische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels einer Messanordnung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung mit einem dritten

Ausführungsbeispiel einer Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung;

Fig. 8 eine Draufsicht von unten auf einen Prüfstand mit einem Teil des dritten Ausführungsbeispiels einer Messvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung nach Fig. 7 und mit einem zu testenden System;

Fig. 9 eine seitliche Draufsicht auf einen Teil des dritten Ausführungsbeispiels einer Messvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung nach Fig. 8 aus der Richtung der Welle 3;

Fig. 10 eine alternative Ausführung des Teils des dritten Ausführungsbeispiels der Messvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung, wie sie auch in Fig. 9 gezeigt ist;

Fig. 11 eine weitere Ausführung des Teils des dritten Ausführungsbeispiels einer Messvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung, wie sie auch in den Figuren 9 und 10 gezeigt ist;

Fig. 12a einen zeitlichen Verlauf von Messsignalen einer Anordnung von Messelementen nach Fig. 2;

Fig. 12b einen zeitlichen Verlauf einer Auswertung der Messsignale nach Fig. 12a;

Fig. 13a einen weiteren zeitlichen Verlauf von Messsignalen einer Anordnung von Messelementen nach Fig. 2;

Fig. 13b einen zeitlichen Verlauf einer Auswertung der Messsignale nach Fig. 13a;

Fig. 14 einen weiteren zeitlichen Verlauf einer Auswertung der Messsignale nach Fig. 12b;

Fig. 15 eine weitere beispielhafte Anordnung von Messelementen in einer Messvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung; und

Fig. 16 ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens nach dem dritten Aspekt der Erfindung.

Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt einer Messanordnung 9 gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung.

Eine Messvorrichtung 1 der Messanordnung 9, welche als Adapterplatte 5 ausgebildet ist, weist vier Vertiefungen 7a, 7b, 7c, 7d auf, in welche jeweils ein Piezoelement 4a, 4b, 4c, 4d teilweise eingelassen ist. Des Weiteren weist die Adapterplatte 5 Hohlräume 12 auf, welche als Bohrungen ausgeführt sind, sowie eine Öffnung 6.

Des Weiteren zeigt Fig. 1 eine Lagervorrichtung 2, welche als Elektromaschine ausgeführt ist. Diese könnte jedoch auch eine Brennkraftmaschine oder eine andere Art von einer Drehbewegung erzeugenden oder aufnehmenden Maschine sein. Diese weist ein Gehäuse mit stirnseitigen Gehäuseteilen 8a und 8c sowie einem mittleren Gehäuseteil 8b auf.

Die Welle der Elektromaschine 2 verlässt diese axial aus dem stirnseitigen Gehäuseteil 8a und ist daher in der perspektivischen Darstellung nach Fig. 1 nicht sichtbar.

Im montierten Zustand der Messanordnung 9 wird die Adapterplatte 1 mittels Spannschrauben (nicht dargestellt), welche durch Bohrungen 21a in den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d sowie in der Fixierungseinrichtung 5 geführt werden, in entsprechenden, mit Innengewinden versehenen Bohrungen des stirnseitigen Gehäuseteils 8a der Elektromaschine 2 verschraubt.

Des Weiteren wird die Adapterplatte 5 mittels der Hohlräume 12 in entsprechend mit ebenfalls Innengewinden versehenen Bohrungen einer Abstützvorrichtung 10 (nicht dargestellt) verschraubt. Die Abstützvorrichtung 10 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel vorzugsweise eine Getriebeglocke, auch Kupplungsglocke oder Kupplungsgehäuse genannt, welche im Allgemeinen zwischen einem Motor, hier der Elektromaschine 2, und dem Fahrzeuggetriebe im Antriebsstrang eines Fahrzeugs angeordnet ist.

Insbesondere kann die Adapterplatte 5 ein modifizierter Gehäuseteil bzw. eine modifizierte Abdeckung der Getriebeglocke sein.

In dem montierten Zustand ist die Welle 3 (nicht sichtbar) durch die Öffnung 6 in der Adapterplatte geführt, worüber diese in das Getriebe (nicht dargestellt) geführt wird.

Die Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d sind über Stirnflächen 17a, 17b, 17c, 17d durch eine mittels der Spannschrauben (nicht dargestellt) erzeugte Vorspannung kraftschlüssig gegen den stirnseitigen Gehäuseteil 8a der Elektromaschine 2 gedrückt und bilden mithin eine kraftschlüssige Verbindung zu dem Elektromotor 2.

Auf der anderen Seite ist, wie bereits erläutert, die Adapterplatte 5 mit einer Abstützvorrichtung 10, zum Beispiel einer Getriebeglocke, mittels Schrauben durch die Hohlräume 12 verbunden und wird auf diese Weise an der Getriebeglocke 10 abgestützt.

Vorzugsweise weist die Elektromaschine 2 keine weiteren Abstützungen auf.

Im diesem Fall liegen die gesamten Reaktionskräfte der Lagerung der Elektromaschine 2, welche einen Widerstand der Elektromaschine 2 in Bezug auf ein Drehmoment an der Welle 3 (nicht dargestellt) erwidern, an der kraftschlüssigen Verbindung zwischen dem stirnseitigen Gehäuseteil 8a der Elektromaschine 2 und den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d an.

Das durch diesen Widerstand an der Welle 3 (nicht dargestellt) anliegende Drehmoment äußert sich durch eine Krafteinwirkung an der kraftschlüssigen Verbindung auf Stirnflächen 17a, 17b, 17c, 17d der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d. Diese Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d weisen vorzugsweise wenigstens einen piezoelektrischen Schereffekt auf, wodurch elektrische Spannungen in den Piezokristallen der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d in Abhängigkeit von einer anliegenden Scherkraft erzeugt werden.

Vorzugsweise können die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d auch in der Weise ausgebildet sein, um Druckkräfte messen zu können. In einer solchen Ausführungsform können auch dynamische Belastungen in axialer Richtung der Welle (3) (nicht dargestellt) bestimmt werden. Diese können beispielsweise durch eine verbogene Welle während ihrer

Rotation erzeugt werden, da am Bauch einer Biegung der Welle eine Kraft entsteht, welche die Elektromaschine in axialer Richtung mit der Drehzahl umlaufend wegdrückt.

Die anliegenden elektrischen Spannungen werden über Ladungsableitungen 22a, 22b, 22c, 22d zu einer Auswerteinrichtung geführt (nicht dargestellt).

Fig. 2 zeigt eine Anordnung der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d, wie sie auch in Bezug auf die Fixierungseinrichtung 5 der Fig. 1 dargestellt ist.

Zusätzlich ist ein kartesisches Koordinatensystem mit den Achsen X und Y sowie eine jeweilige Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 der in den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d verwendeten Piezokristalle mittels Pfeilen dargestellt.

Die jeweilige Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 gibt hierbei an, in welcher Belastungsrichtung des Piezoelements, insbesondere mittels einer Scherkraft auf die Stirnflächen 17a, 17b, 17c, 17d die stärkste Spannung in dem Piezokristall erzeugt wird.

Des Weiteren ist der Abstand d der Mittelpunkte der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d von dem geometrischen Mittelpunkt M der Anordnung dargestellt.

In dem in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung 1 bildet dieser geometrische Mittelpunkt M auch die Position der Welle 3 (nicht gezeigt) der Elektromaschine 2 in Bezug auf die Anordnung der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d ab. Der Abstand d ist hierbei der Abstand von dem im geometrischen Mittelpunkt, Flächenmittelpunkt oder auch Massenschwerpunkt M zum geometrischen Mittelpunkt, Flächenmittelpunkt oder Massenschwerpunkt der einzelnen Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d.

In diesem Fall entspricht der durch eine strichpunktierte Linie angedeutete Kreis D, welcher konzentrisch zu dem geometrischen Mittelpunkt M und damit zu der Welle 3 in Fig. 1 (nicht dargestellt) angeordnet ist, der Drehrichtung einer Welle 3 (nicht dargestellt). Die Vorzugsrichtung der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d bzw. derer Kristalle sind somit alle tangential zur Drehrichtung D einer Welle 3, welche durch den geometrischen Mittelpunkt M senkrecht zur Ansichtsebene der Fig. 2 verläuft.

Wie in dem in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung 1 weisen die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d jeweils eine Öffnung bzw. eine Bohrung 21a, 21b, 21d, 21c auf, durch welche eine Spannschraube oder ein anderes Spannelement geführt werden kann.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Messanordnung 9 mit einer Messvorrichtung 1 und einer Abstützvorrichtung 10, welche in diesem Fall als Getriebeglocke ausgebildet ist, in Draufsicht und in einer seitlichen Querschnittsansicht.

Die Getriebeglocke 10 weist einen sich zu der Installationsseite des Motors (nicht dargestellt) aufweitenden Konus auf. Mit den Hohlräumen 12 wird die Getriebeglocke 10 mit einem Motor (nicht dargestellt) mittels einer Schraube befestigt. In Draufsicht weist die Getriebeglocke 10 im Bereich eines Flansches, welcher im montierten Zustand an einem Motor (nicht dargestellt) anliegt, in etwa die Form eines geschlossenen Hufeisens auf.

Die Messvorrichtung, welche in diesem Ausführungsbeispiel als eine Art von Unterlegscheibe oder Zwischenelement zur Anordnung zwischen Getriebeglocke 10 und einem Motor (nicht dargestellt) ausgebildet ist, hat dieselbe Form wie der Flansch der Getriebeglocke und weist auch dieselben Hohlräume 12 auf, durch welche Befestigungsschrauben (nicht dargestellt) geführt werden können. Diese Befestigungsschrauben bilden in Bezug auf die Messvorrichtung 1 vorzugsweise Spannschrauben, mit welchen weiter vorzugsweise eine kraftschlüssige Verbindung im Bereich von Piezoelementen 4 realisiert werden kann.

Die Fixierungsvorrichtung 5a, 5b der Messvorrichtung 1 ist in diesem zweiten Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung 1 vorzugsweise zweiteilig ausgeführt, wie weiter unten noch im Detail ausgeführt werden wird. Die Piezoelemente 4 sind vorzugsweise im Bereich jedes der Hohlräume bzw. Bohrungen 12 in den beiden Teilen 5a, 5b der Fixierungseinrichtung 5 angeordnet und werden durch die Fixierungseinrichtung 5a, 5b gestützt. Vorzugsweise sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel daher acht Piezoelemente vorhanden. Es können jedoch auch mehr oder weniger Piezoelemente vorgesehen sein, insbesondere auch zwischen den Positionen der Hohlräume 12 des Zwischenelements.

In dem zweiten Ausführungsbeispiel der Messanordnung 9 wird die Messvorrichtung 1 beim Anbringen der Getriebeglocke 10 vorzugsweise an einem Motor (nicht dargestellt) auf dem Flansch der Getriebeglocke angeordnet und mittels der Verbindungsschrauben (nicht dargestellt) zusammen mit der Getriebeglocke mit dem Gehäuse des Motors (nicht dargestellt) verschraubt.

Die einzelnen Piezoelemente 4 sind in der Fixierungseinrichtung 5 mit elektrischen Leitungen verschaltet und über eine solche elektrische Leitung 22 mit einer Messelektronik, welche vorzugsweise außerhalb der Messvorrichtung 1 angeordnet ist, verbunden. Alternativ könnte eine solche Messelektronik aber auch, wenigstens teilweise, ein Bestandteil der Messvorrichtung 1 sein.

Fig. 4 zeigt nochmals eine perspektivische Explosionsansicht einer teilweisen Messanordnung 9 nach Fig. 3.

Deutlich zu erkennen ist hier Öffnung 6, welche von der Fixierungseinrichtung 5a, 5b gebildet wird, und durch welche eine Welle 3 (nicht dargestellt) einer als Motor ausgebildeten Lagervorrichtung 2 (nicht dargestellt) hindurchgeführt werden kann, um mit dem Getriebe verbunden zu werden.

Fig. 5 zeigt eine Draufsicht sowie eine Querschnittsansicht des zweiten Ausführungsbeispiels der Messvorrichtung 1, welche auch im Zusammenhang mit dem zweiten Ausführungsbeispiel der Messanordnung 9 in Fig. 3 und in Fig. 4 dargestellt ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform dieses zweiten Ausführungsbeispiels weisen die Piezoelemente bzw. deren Piezokristalle 20a, 20b Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8 auf, welche in der Drehrichtung D einer Welle 3 (nicht dargestellt), das heißt tangential zu einem konzentrischen Kreis um eine Drehachse der Welle 3, ausgerichtet sind. Die Drehrichtung D ist in Fig. 5 mittels eines Doppelpfeils angedeutet. Hierbei kann eine Welle 3 (nicht dargestellt) in der Drehrichtung D sowohl im Uhrzeigersinn als auch gegen den Uhrzeigersinn drehen.

Alternativ kann die Vorzugsrichtung V_x der einzelnen Piezoelemente 4 auch beliebig oder anderer definierter Weise ausgerichtet sein. Einige Alternativen werden weiter unten in Bezug auf die nachfolgenden Ausführungsbeispiele beispielhaft aufgezeigt.

Fig. 6 zeigt eine vergrößerte Ansicht des Bereichs A in der Querschnittsansicht der Fig. 5. Das ringförmige Piezoelement 4, welches um den Hohlraum 12 angeordnet ist, weist vorzugsweise zwei Piezokristalle 20a, 20b auf, welche über eine Elektrode 19 miteinander in Kontakt stehen. Die Elektrode 19 dient hierbei zur Ladungsableitung bzw. Spannungsmessung zwischen den beiden Kristallen. Zusätzlich sind vorzugsweise weitere Elektroden an den Stirnflächen 17a, 17b der Piezokristalle angeordnet. Weiter vorzugsweise werden diese Elektroden durch jeweils einen Teil der Fixierungseinrichtung 5a, 5b gebildet.

Der linke Piezokristall 20a ist in einer Vertiefung 7a des linken Teils 5a der Fixierungseinrichtung angeordnet, der rechte Piezokristall 20b ist in einer Vertiefung 7b des rechten Piezokristalls 20b angeordnet. Beide Piezokristalle 20a, 20b stehen hierbei leicht über die Oberfläche des jeweiligen Teils der Fixierungseinrichtung 5a, 5b aus jeweiligen Vertiefungen 7a, 7b heraus, so dass zwischen den beiden Teilen der Fixierungseinrichtung 5a, 5b im montierten Zustand ein Dichtspalt 16 entsteht bzw. verbleibt. Vorzugsweise kann auch nur eine Ausnehmung 7a vorhanden sein.

Wird die Messvorrichtung 1 in einer Messanordnung 9, wie beispielsweise in den Figuren 3 und 4 gezeigt, installiert, so drückt vorzugsweise ein Spannmittel (nicht dargestellt), welches durch den Hohlraum 12 geführt wird, insbesondere eine Spannschraube, die beide Teile der Fixierungseinrichtung 5a, 5b zusammen. Durch die aufgebrachte Vorspannung wird jeweils eine kraftschlüssige Verbindung zwischen dem linken Piezokristall 20a und dem linken Teil der Fixierungseinrichtung 5a und dem rechten Piezokristall 20b und dem rechten Teil der Fixierungseinrichtung 5b hergestellt.

Da die restliche Zwischenfläche des linken Teils 5a und des rechten Teils 5b der Fixierungseinrichtung weiterhin durch den Dichtspalt 16 getrennt sind, werden die beiden Teile 5a, 5b der Fixierungseinrichtung allein über die Stirnflächen 17a, 17b der Piezokristalle 20a, 20b abgestützt. Über diese beiden Stirnflächen wird auch eine Scherkraft und/oder eine weitere dynamische Druckkraft auf die Piezokristalle 20a, 20b des Piezoelements 4 ausgeübt.

In einer alternativen Ausführungsform dieses zweiten Ausführungsbeispiels, welches aber ebenso auf die anderen Ausführungsbeispiele übertragbar ist, kann das Piezoelement 4 auch einen einzigen Piezokristall 20 aufweisen.

Fig. 7 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung 9.

In diesem Ausführungsbeispiel ist die Lagervorrichtung 2 eine Belastungsmaschine und/oder eine Antriebsmaschine, ein sogenannter Prime Mover, eines Antriebsstrang- oder Motorenprüfstands.

Grundsätzlich ist das hier ebenfalls gezeigte dritte Ausführungsbeispiel der Messvorrichtung 5a, 5b, 5c, 5d (nicht sichtbar) aber auch auf andere Arten von Messanordnungen als Prüfstände übertragbar.

Die Elektromaschine 2, welche die Ausgangs- und/oder Eingangswelle 3 aufweist, wird auf einer Bodenplatte 10, welche in diesem Ausführungsbeispiel die Abstützvorrichtung bildet, mittels der Messvorrichtung 1 abgestützt.

Die Messvorrichtung 1 besteht hierfür aus vier Teilen. Diese Teile weisen jeweils ein Piezoelement 4a, 4b, 4c, 4d, eine als Träger ausgebildete Fixierungseinrichtung 5a, 5b, 5c, 5d sowie ein weiteres Aufnehmerelement 11a, 11b, 11c, 11d auf.

Zwei der Trägerelemente 5a, 5b, 5c, 5d sind vorzugsweise jeweils gegenüberliegend am Gehäuse 8 der Elektromaschine 2 angeordnet, im vorliegenden Fall jeweils paarweise ein erster Träger 5a gegenüber eines dritten Trägers 5c und ein zweiter Träger 5b gegenüber eines vierten Trägers 5d (nicht sichtbar).

Beide Trägerpaare können mittels einer geeigneten Einrichtung an der Bodenplatte 10, welche eine gemeinsame Basis bildet, gegen das Gehäuse 8 der Elektromaschine 2 vorgespannt oder vorbelastet werden, so dass sich zwischen den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d, welche zwischen dem Gehäuse und den jeweiligen Trägern 11a, 11b, 11c, 11d angeordnet sind, und dem Gehäuse 8 oder zwischen den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d und dem jeweiligen Träger 11a, 11b, 11c, 11d eine kraftschlüssige Verbindung einstellt, mit welcher die Elektromaschine 2 in einer von der Bodenplatte 10 beabstandeten Position gehalten werden kann. Vorzugsweise ist hierfür auf den

Stirnflächen der Piezokristalle eine Paste aufgetragen, welche den Reibungskoeffizienten zur Verbesserung der kraftschlüssigen Verbindung erhöht.

Beispielsweise kann eine solche Paste zwischen dem ersten Piezoelement 4a und dem zweiten Piezoelement 4b und einer Oberfläche 18a des Gehäuses 8 der Elektromaschine 2 aufgetragen sein. Vorzugsweise ist die Paste zusätzlich auch zwischen dem ersten Piezoelement 4a und dem zweiten Piezoelement 4b in einem jeweiligen Winkel 11a, 11b aufgetragen sein.
Die Träger 11a, 11b, 11c, 11d (nicht sichtbar) stützen sich wiederum auf der Bodenplatte 10 ab. Vorzugsweise sind zwischen den Trägern 11a, 11b, 11c, 11d und der Bodenplatte 10 hierfür jeweils weitere Aufnehmerelemente 11a, 11b, 11c, 11d angeordnet. Weiter vorzugsweise sind diese weiteren Aufnehmerelemente 11a, 11b, 11c, 11d basierend auf Dehnungsmessstreifen oder weitere Piezoelemente.

Diese stützen sich vorzugsweise auf der Oberfläche 18b der Bodenplatte 10 ab.

Die Träger 5a, 5b, 5c, 5d der Messvorrichtung 1 könnten alternativ oder auch zusätzlich auch an den beiden Stirnflächen des Gehäuses 8 der Elektromaschine 2 angeordnet sein und dort mittels der gezeigten Piezoelemente oder weiterer Piezoelemente eine kraftschlüssige Verbindung mit diesen Oberflächen, beispielsweise jener Oberfläche, aus welcher die Welle 3 ragt, eingehen.

Fig. 8 zeigt einen Prüfstand mit der Messanordnung 9 gemäß Fig. 7 nach dem dritten Ausführungsbeispiel, wobei diese Messanordnung über die Welle 3 mit dem Rest eines Antriebsstrangs verbunden ist, welcher eine Gesamtheit aus Getriebe und Differential 13 und zwei Raddynanometer 14a, 14b, aufweist.

Die Bodenplatte 10 aus Fig. 7 wird in Fig. 8 zum Zwecke der Übersichtlichkeit nicht dargestellt, die Anordnung aus Elektromaschine 2 und Messvorrichtung 1 entspricht einer Ansicht von unten in Fig. 7.

Ein Drehmoment, welches an der Welle 3 anliegt, wird über die Elektromaschine 2 und die Messvorrichtung 1 an der Bodenplatte 10 abgestützt. Mithin stellt die Bodenplatte 10 eine Reaktionskraft für ein Drehmoment bereit, welches sich zwischen der

Elektromaschine 2 und dem Widerstand der Raddynanometer 14a, 14b an der Welle 3 einstellt.

Wie bereits in Bezug auf Fig. 7 beschrieben, wird die Elektromaschine 2 zur Ausführung des erfindungsgemäßen Messverfahrens nach dem dritten Aspekt der Erfindung zwischen die Trägerpaare 5a, 5c und 5b, 5d so eingespannt, dass sich zwischen den Oberflächen, insbesondere Stirnflächen, 17a, 17b, 17c, 17d der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d und den Oberflächen 18a der Elektromaschine 2 und/oder den Oberflächen, insbesondere Stirnflächen, 17a, 17b, 17c, 17d der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d und einer jeweiligen Oberfläche der Träger 11a, 11b, 11c, 11d eine kraftschlüssige Verbindung ausbildet. Unter Ausnützung des piezoelektrischen Schereffekts können somit die Kräfte an den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d gemessen werden, welches das an der Welle 3 und damit an der Elektromaschine 2 anliegende Drehmoment auf die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d ausübt.

Des Weiteren können mittels der weiteren Aufnehmerelemente 11a, 11b, 11c, 11d zusätzlich Scherkräfte und/oder Druckkräfte zwischen den Trägern 5a, 5b, 5c, 5d und der Bodenplatte 10 (nicht gezeigt) gemessen werden, insbesondere statische Druckkräfte.

Die **Figuren 9, 10 und 11** stellen jeweils eine Ansicht auf das dritte Ausführungsbeispiel der Messanordnungen 9 der Figuren 7 und 8 auf die Seite mit der Welle 3 dar. Es sind daher lediglich der erste Träger 5a und der dritte Träger 5c sowie die entsprechenden zu der Messvorrichtung 1 anderen gehörenden Elemente sichtbar. Die übrigen Elemente der Messvorrichtung 1 liegen dahinter im Verborgenen.

Die Figuren 9, 10 und 11 dienen dem Zweck, um verschiedene Alternativen von Kraftmessung zu veranschaulichen, welche mit den Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d sowie den weiteren Aufnehmerelementen 11a, 11b, 11c, 11d durchgeführt werden können.

In **Fig. 9** kann mittels der Piezoelemente 4a, 4c jeweils eine dynamische Kraft F_{dyn} parallel zur Oberfläche 18a des Gehäuses 8 der Maschine 2 mittels des piezoelektrischen Schereffekts gemessen werden. Die weiteren Aufnehmerelemente 11a, 11c sind dagegen als Messaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen ausgebildet und können daher eher statische Kräfte F_{stat} messen, welche von den Trägern 5a, 5c auf die

Bodenplatte 10 (nicht dargestellt) ausgeübt werden. Durch die Messung der statischen Kräfte über die Träger 5a, 5c mittels der Aufnehmerelemente 11a, 11c können nicht nur Drehmomentvariationen beobachtet werden. Mittels der Kraftunterschiede an den Aufnehmerelementen 11a, 11c aufgrund eines Drehmoments, welches an der Welle 3 anliegt, kann auch ein absoluter Wert des Drehmoments 3 bestimmt werden.

Fig. 10 unterscheidet sich von der Ausführungsform der Fig. 9 in der Weise, dass die Piezoelemente 4a und 4c nicht nur die dynamischen Kräfte $F_{_dyn}$ parallel zu den Oberflächen 18a des Gehäuses 8 der Maschine 2 messen, sondern zusätzlich auch die dynamischen Kräfte $F_{_dyn'}$ senkrecht zu den Oberflächen 18a.

Hierdurch kann beispielsweise eine Taumelbewegung der Welle 3 in Richtung $F_{_dyn}$, $F_{_dyn'}$ gemessen werden, da diese in Abhängigkeit von der Drehstellung der Welle 3 unterschiedliche Druckkräfte auf die Piezoelemente 4a, 4c verursacht.

Fig. 11 unterscheidet sich von der Ausführungsform der Fig. 9 dadurch, dass die weiteren Aufnehmerelemente 11a, 11c ebenfalls als Piezoelemente ausgeführt sind. Sind diese, wie in Fig. 11 dargestellt, beispielsweise als piezoelektrische Scherelemente ausgeführt, so lässt sich eine dynamische Scherkraft $F_{_dyn'}$, $F_{_dyn'}$ zwischen den Trägern 5a, 5c und der Bodenplatte 10 (nicht dargestellt) messen. Auch hierüber können, wie in der Ausführungsform der Fig. 10 gezeigt, Taumelbewegungen der Welle 3 festgestellt und analysiert werden.

Fig. 12a zeigt ein Diagramm einer Kraftmessung an vier Messelementen 4a, 4b, 4c, 4d über die Zeit t oder einen Drehwinkel rad der Welle in einer Anordnung der Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d, wie sie in Fig. 2 gezeigt ist, wobei die Welle 3 senkrecht zur Darstellungsebene durch den geometrischen Mittelpunkt M verläuft, wie beispielhaft auch in Bezug auf Fig. 2 beschrieben.

Jeder der Messsensoren erzeugt zu jedem dargestellten Zeitpunkt ein Signal, welches einer Kraft in Newton N entspricht. Hierbei bezeichnet F_{4a} das Messsignal des Messelements 4a, F_{4b} das Messsignal des zweiten Messelements 4b, F_{4c} das Messsignal des dritten Messsegments 4c und F_{4d} das vierte Messsignal des vierten Messelements 4d.

Jedes der Messsignale hat bei einer reinen Drehschwingung in Realität die Amplitude 1. Diese Amplitude wurde bei den Messsignalen F_{4b}, F_{4c} und F_{4d} mittels Multiplikation eines Faktors leicht verändert, um eine übersichtlichere Darstellung in Fig. 12a zu gewährleisten.

Die Messsignale F_{4a}, F_{4b}, F_{4c} und F_{4d} sind des Weiteren leicht phasenversetzt zueinander.

Fig. 12b zeigt eine Auswertung der Messsignale F_{4a}, F_{4b}, F_{4c} und F_{4d}. Zum einen wurden die einzelnen, an den jeweiligen Messelementen 4a, 4b, 4c, 4d anliegenden Kräfte F_{4a}, F_{4b}, F_{4c}, F_{4d} aufsummiert und das Gesamte auf eine Fixierungseinrichtung 5, welche die Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d stützt, berechnet, wobei der Abstand d in Fig. 2 vom geometrischen Mittelpunkt M als 1 angenommen wurde.

Dieses Gesamtdrehmoment ist als Kurve Mz in dem Diagramm nach Fig. 12b mit der Einheit Nm über die Zeit t bzw. den Drehwinkel rad der Welle 3 dargestellt.

Anhand der starken Oszillation kann erkannt werden, dass an der Welle starke Drehmomentschwankungen von 4 Nm bis -4 Nm periodisch während des Messzeitraums anlagen.

Die Kurve F_x stellt einen zeitlichen Verlauf der in X-Richtung in Fig. 2 anliegenden Kraft auf die Piezoelemente F_{4a}, F_{4b}, F_{4c}, F_{4d} dar.

Da in der gezeigten Anordnung der Fig. 2 das zweite Messelement 4b und das vierte Messelement 4d mit ihren Vorzugsrichtungen V_2, V_4 jeweils in der X-Richtung des kartesischen Koordinatensystems ausgerichtet sind, werden die Kräfte in dieser Richtung insbesondere durch diese beiden Messelemente 4b, 4d gemessen werden. Bei einer Krafteinwirkung in diese Richtung wird durch das erste Messelement 4a und das dritte Messelement 4c, deren Vorzugsrichtung V_1, V_3 parallel zur Y-Achse des kartesischen Koordinatensystems ausgerichtet sind, keinen wesentlichen oder sogar keinen Beitrag leisten.

Entsprechend verhält es sich in Bezug auf das erste Messelement 4a und das drittletzte Messelement 4c in Bezug auf die Y-Richtung des kartesischen Koordinatensystems, so

dass die gemessene Kraft in Y-Richtung F_Y im Wesentlichen durch diese beiden Messelemente 4a, 4c gemessen wird.

Je nachdem, ob die Vorzugsrichtungen V_2, V_4 des zweiten und vierten Messelements 4b, 4d entgegengesetzt oder parallel sind, müssen zur Bildung der Summenkräfte die gemessenen Messsignale F_{4b}, F_{4d} addiert oder subtrahiert werden. Entsprechendes gilt für die durch den ersten und dritten Messsensor 4a, 4c bestimmten Kräfte bzw. deren Messsignale F_{4a}, F_{4d} in Bezug auf die Summenkraft F_Y in der Y-Richtung des kartesischen Koordinatensystems nach Fig. 2.

Wie in Fig. 12b zu erkennen ist, ergeben sich in X-Richtung und Y-Richtung des kartesischen Koordinatensystems nur geringe Kräfte, welche jeweils um den Nullpunkt oszillieren. Die Welle 3 weist daher nur eine sehr schwache Taumelbewegung auf. Diese wird durch die leichte Phasenverschiebung der Messsignale F_{4a}, F_{4b}, F_{4c}, F_{4d} hervorgerufen.

Für die Bestimmung der Summenkräfte nach Fig. 12b ist es nicht unbedingt notwendig, dass die Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3, V_4 tangential zur Drehrichtung D ausgerichtet sind. Die Ausrichtung der Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 sollte jedoch bekannt sein, damit mittels einer Vektorkomponentenrechnung jeweils auf die Summenkräfte in den einzelnen Richtungen und auf das Drehmoment geschlossen werden kann.

Fig. 13a zeigt ein weiteres Diagramm von Messsignalen F_{4a}, F_{4b}, F_{4c}, F_{4d}, welche mit einer Anordnung von Messelementen 4a, 4b, 4c, 4d aufgenommen wurde, wie sie in Fig. 2 gezeigt ist.

Die jeweiligen Messsignale weisen unterschiedliche Amplituden auf und verlaufen gegenphasig. Daher sind diese gut als separate Kurven zu erkennen. Auch hier wurde wieder eine leichte Phasenverschiebung wie in Fig. 13a zur besseren Veranschaulichung vorgenommen. Eine Multiplikation der Messsignale mit einem Faktor wie in Fig. 13a F_{4a}, F_{4b}, F_{4c}, F_{4d} wurde dagegen nicht vorgenommen.

Fig. 13b zeigt ein Diagramm entsprechend Fig. 12b, bei welchem jeweils eine Aufsummierung der einzelnen an den Messelementen anliegenden Drehmomente sowie zu einem Gesamtdrehmoment Mz und eine Aufsummierung der Kräfte in X-Richtung F_x

und eine Aufsummierung der Kräfte in Y-Richtung F_y vorgenommen wurde. Aus diesem Diagramm wird deutlich, dass während des Messzeitraums nur eine geringfügige Schwankung um den Nullpunkt des Gesamtdrehmoments Mz vorlag. Die Welle 3 führte dagegen Taumelbewegung aus, insbesondere in der X-Richtung, weniger in der Y-Richtung.

Fig. 14 zeigt eine weitere Aufsummierung der Messsignale der Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d einer Anordnung nach Fig. 2 gemäß der Figuren 12b und 13b als Diagramm über die Zeit t oder den Drehwinkel rad der Welle 3.

Aus dem Diagramm wird deutlich, dass sich insbesondere das Gesamtdrehmoment Mz über einen Zeitraum von ungefähr 1000 ms in Oszillation aufschaukelt und dann die Oszillation wieder abrupt abnimmt, um sich über einen Zeitraum von etwa weiteren 1000 ms wiederum aufzuschaukeln.

Ein solcher Verlauf wird in der Fachsprache als sogenanntes Torque Ripple bezeichnet. Dieses Torque Ripple bedeutet eine mangelhafte Regelung einer Elektromaschine, zum Beispiel eines Prime Movers, so dass dieser zu Eigenschwingungen aufgeschaukelt wird.

Mittels der erfindungsgemäßen Messvorrichtung 1, der Messanordnung 9 sowie des erfindungsgemäßen Verfahrens lässt sich eine Vielzahl solcher Eigenschaften eines Motors oder auch eines Prüfstands bestimmen oder analysieren.

Bei den im Vorhergehenden beschriebenen Ausführungsbeispielen handelt es sich lediglich um Beispiele, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau der erfindungsgemäßen Verfahren und Systeme in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung anhand wenigstens eines Ausführungsbeispiels gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und dessen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Insbesondere können die einzelnen Merkmale der dargestellten Ausführungsbeispiele kombiniert werden. Beispielsweise können auch in den ersten Ausführungsbeispielen der Figuren 1 und 2 Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d eingesetzt werden, welche sowohl den piezoelektrischen Schereffekt als auch Druckkräfte mittels des piezoelektrischen Effekts messen können.

Des Weiteren ist es möglich, die erfindungsgemäße Messanordnung auch mit Messelementen 4a, 4b, 4c, 4d in anderer Anordnung zu verwirklichen, in welcher allein der piezoelektrische Effekt zur Messung von Druckkräften ausgenutzt wird. Auch mit Messelementen, welche keine Öffnung 6 aufweisen.

Wie bereits in Bezug auf verschiedene alternative Ausführungsformen bei den einzelnen Ausführungsbeispielen angedeutet, können auch die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d sowie weitere Piezoelemente in verschiedensten vorteilhaften Anordnungen angeordnet werden.

Beispielsweise zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der **Fig. 15** eine Weiterentwicklung der Anordnung von Piezoelementen nach Fig. 2, in welcher vier Messelemente 4a, 4b, 4c, 4d angeordnet sind, welche sich besonders gut zur Messung eines Gesamtdrehmoments Mz bezüglich ihrer Ausrichtung der Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 eignen. Des Weiteren weist das vierte Ausführungsbeispiel vier weitere Messelemente 4e, 4f, 4g, 4h auf, deren Ausrichtung der Vorzugsrichtung V_5, V_6, V_7, V_8 sich besonders gut zur Messung von Scherkräften in der X-Richtung und der Y-Richtung des kartesischen Koordinatensystems eignet.

Des Weiteren kann insbesondere die Messvorrichtung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel nach den Figuren 3 bis 6 als Ringelement ausgeführt sein. Des Weiteren kann dieses so ausgebildet sein, dass es in eine Nut zusammen mit einer Dichtung eingelegt werden kann oder selbst als beidseitig dichtendes Element, insbesondere als Dichtungsring, ausgeführt sein, beispielsweise für eine Getriebeglocke 10, wie sie in den Figuren 3 und 4 dargestellt ist.

In Fig. 8 kann eine Messvorrichtung 1, wie sie bei der Elektromaschine 2 zum Einsatz kommt, auch an den Raddynamometern 14a, 14b zum Einsatz kommen. Grundsätzlich ist es, unabhängig von dem in der Fig. 8 gezeigten dritten Ausführungsbeispiel der

Messvorrichtung 1, möglich, jede erfindungsgemäße Messvorrichtung sowohl an einer Belastungsmaschine als auch an einer Antriebsmaschine eines Prüfstands einzusetzen, um eine Analyse sowohl des Verhaltens der Belastungsmaschine als auch der Antriebsmaschine bzw. deren Wellen 3 zu ermöglichen.

Grundsätzlich ist es auch möglich, die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d formschlüssig im Drehmomentübertragungspfad zwischen der Lagervorrichtung 2 und der Abstützvorrichtung 10 anzuordnen. Die piezoelektrische Messung erfolgt in diesem Fall über Druck- und/oder Zugkräfte auf die Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d.

Wie bereits in Bezug auf die Figuren 12a bis 14 beschrieben, eignet sich die Erfindung für Verfahren zur Bestimmung eines an der Welle anliegenden Drehmoments oder einer an einer Welle anliegenden Kraft zur Analyse verschiedenster Phänomene, welche im Zusammenhang mit drehmomentübertragenden gelagerten Wellen auftreten können.

Ein Ausführungsbeispiel eines solchen Verfahrens ist in **Fig. 16** dargestellt.

Bei einem solchen Verfahren wird vorzugsweise zunächst wenigstens ein Signal eines ersten Piezoelements 4a; 4b und ein Signal eines zweiten Piezoelements 4c; 4b erfasst 101. Aus diesen Signalen wird ein anliegendes Drehmoment Mz und/oder ein Auftreten einer Taumelbewegung in X-Richtung F_x und/oder in Y-Richtung F_y und/oder eine Torsionsschwingung der Welle abgeleitet 102.

Zur Torsionsschwingungsmessung werden vorzugweise sowohl Signale an einer Antriebswelle als auch an einer Abtriebswelle erfasst und die jeweiligen Drehmomentschwingungen auf der Grundlage dieser Messungen berechnet.

Weiter vorzugsweise werden die Signale entsprechend einer Komponente der jeweiligen Ausrichtung der Vorzugsrichtung der Piezoelemente 4a, 4c; 4b, 4d aufsummiert 103. Hierfür kann es notwendig sein, die einzelnen Messsignale mittels einer Vektorzerlegung in ihre Komponenten in verschiedene Raumrichtungen aufzuteilen.

Hieraus kann ein Auftreten einer Drehschwingung der Welle 3 abgeleitet werden 104a. Alternativ oder zusätzlich können Reaktionskräfte einer Lagerung aus den Signalen abgeleitet werden 104b.

Vorzugsweise kann aus einem zeitlichen Verlauf der Signale oder aus abgeleiteten Größen auf Unstetigkeiten im Drehmomentverlauf geschlossen werden 104c. Auch können Veränderungen von Eigenschaften des zu prüfenden Systems bestimmt werden 104d. Des Weiteren kann ein Verlauf in die Zukunft projiziert werden 104e-1 und der projizierte Verlauf einer möglichen Überlastung einer Lagereinrichtung 2 überwacht werden 104e-2. Schließlich kann vorzugsweise eine Leistung einer Elektromaschine 2 oder von Dynamometern eines Prüfstands angepasst werden, falls eine projizierte Überlastung erkannt wird 104e-3.

Um das Drehmoment Mz and der Welle sowie Querkräfte Fx, Fy berechnen zu können wird vorzugsweise eine Vektorzerlegung, insbesondere orthogonale Zerlegung, der jeweiligen Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d, der Messsignale S1, S2, S3, S4 und/oder der gemessenen Kräfte durchgeführt.

Hierbei sind die zu bestimmenden Parameter Mz, Fx, Fy die Lösung eines Gleichungssystems, wobei für jedes Messsignal eine Gleichung wie folgt gilt:

$$S1 = a_{11} \cdot Mz + a_{12} \cdot Fx + a_{13} \cdot Fy$$

$$S2 = a_{21} \cdot Mz + a_{22} \cdot Fx + a_{13} \cdot Fy$$

$$S3 = a_{31} \cdot Mz + a_{32} \cdot Fx + a_{23} \cdot Fy$$

$$\vdots$$

$$SN = a_{N1} \cdot Mz \ldots$$

Jeder Koeffizient a hängt hierbei von mehreren Faktoren ab, wie beispielsweise der jeweiligen Position des Sensors und der Orientierung der Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 im Bezugssystem, einer Empfindlichkeit des jeweiligen Piezoelements 4a, 4b, 4c, 4d und einem möglichen Signalverlust durch einen Kraftnebenschluss über ein Befestigungsmittel.

Um ein solches Gleichungssystem für die Drehmomentkomponente Mz, eine erste Querkraftkomponente Fx und eine zweite Querkraftkomponente Fy aufzulösen, werden

Messsignale von wenigstens drei Piezoelemente 4a, 4b, 4c, deren Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3 in der Weise ausgerichtet sind, dass sie in einer einzigen Ebene liegen, benötigt. Darüber hinaus dürfen wenigstens zwei der Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3 weder parallel noch antiparallel ausgerichtet sein.

Für diesen beschriebenen allgemeinen Fall mit N = 3, d. h. mit drei Piezoelementen 4a, 4b, 4c, ist die Lösung des oben dargestellten Gleichungssystems eindeutig. Werden weitere Piezoelemente zu dem Messsystem 1 hinzugefügt, so ist das Gleichungssystem mit drei zu bestimmenden Parametern Mz, Fx, Fy überbestimmt, die Messgenauigkeit kann jedoch nochmals verbessert werden.

Im Fall von N = 4 können vier verschiedene Gleichungssysteme F (S1, S2, S3), F (S1, S2, S4), F (S1, S3, S4), F (S2, S3, S4) aufgestellt werden. Die für die einzelnen zu bestimmenden Parameter Mz, Fx, Fy bestimmten Werte können dann addiert und gemittelt werden, d. h. in dem Fall von vier Piezoelementen 4a, 4b, 4c, 4d durch vier dividiert werden. In ähnlicher Weise kann ein überbestimmtes Gleichungssystem F (S1, S2 …, SN) aufgestellt werden, welches mittels einer Minimierungsaufgabe gelöst wird.

Ist eine allgemeine Lösung für das Gleichungssystem gefunden, kann die Berechnung der zu bestimmenden Komponenten Fx, Fy, Mz auf eine Matrixmultiplikation reduziert werden. Diese hat drei Zeilen und so viele Spalten, wie Messsignale S1, S2, S3, … SN zur Verfügung stehen. Die Matrixelemente bzw. Koeffizienten bilden die jeweiligen Beiträge der einzelnen Sensoren zu den zu bestimmenden Parametern Fx, Fy, Mz ab.

$$\begin{pmatrix} Fx \\ Fy \\ Mz \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} c11 & c12 & c13 & c14 \\ c21 & c22 & c23 & c24 \\ c31 & c32 & c33 & c34 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s1 \\ s2 \\ s3 \\ s4 \end{pmatrix}$$

Für die Zerlegung der Messsignale S1, S2, S3, S4 in Komponenten, welche zu den jeweiligen zu bestimmenden Parametern Mz, Fx, Fy beitragen, ist es notwendig, dass die Lage der Piezoelemente 4a, 4b, 4c und die Orientierung der Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3, V_4 bekannt ist.

Die geometrischen Parameter können entweder aus einer Konstruktionszeichnung eines Messsystems 1 und aus der Kenntnis der Vorzugsrichtungen der Piezoelemente 4a, 4b, 4d bestimmt werden.

Die Orientierung der Vorzugsrichtungen V_2, V_3, V_4, V_5 der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d kann jedoch auch durch Ausmessen der Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3, V_4 mittels einer Kalibrierungsmessung bestimmt werden. Vorzugsweise wird das Messsystem 1 hierfür zwischen zwei ebene Platten eingespannt. In einem nächsten Schritt werden externe Querkräfte mit bekannter Richtung aufgebracht. Aus der Größe der einzelnen Messsignale S1, S2, S3, S4 im Verhältnis zum Betrag und zu der Richtung der eingeleiteten Querkräfte kann die Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d in der Ebene, welche durch die Vorzugsrichtung V_1, V_2, V_3, V_4 der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d aufgespannt wird, bestimmt werden.

In ähnlicher Weise kann durch das Aufbringen eines definierten Drehmoments Mz und das Messen der einzelnen Messsignale S1, S2, S3, S4 ein jeweiliger Abstand der Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d von einer Drehachse D bestimmt werden, wenn die Vorzugsrichtungen V_1, V_2, V_3, V_4 der einzelnen Piezoelemente 4a, 4b, 4c, 4d bekannt sind.

Bei den beschriebenen Ausführungsbeispielen handelt es sich lediglich um Beispiele, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung mindestens eines Ausführungsbeispiels gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt. Insbesondere können einzelne Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

Messvorrichtung	1
Lagervorrichtung	2
Welle	3
Piezoelement	4, 4a, 4b, 4c, 4d
Fixierungseinrichtung	5, 5a, 5b, 5c, 5d
Öffnung	6
Vertiefung	7a, 7b, 7c, 7d
Gehäuse	8, 8a, 8b, 8c
Messanordnung	9
Abstützvorrichtung	10
Aufnehmerelement	11a, 11b, 11c, 11d
Hohlraum der Fixierungseinrichtung/ Hohlraum der Abstützvorrichtung	12
Getriebe und Differential	13
Raddynamometer	14a, 14b
Prüfstand	15
Dichtspalt	16
Stirnfläche	17a, 17b, 17c, 17d
Oberfläche	18a, 18b
Elektrode	19
Piezokristall	20a, 20b
Bohrung	21a, 21b, 21c, 21d
Ladungsableitung/elektrische Leitung	22, 22a, 22b, 22c, 22d

Patentansprüche

1. Messvorrichtung (1) zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle (3), welche durch eine Lagervorrichtung (2), insbesondere eine Maschine, deren Aus- und/oder Eingangswelle durch die drehmomentübertragende Welle (3) gebildet ist, gelagert ist,
wobei die Messvorrichtung wenigstens zwei, vorzugsweise drei oder vier, Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) und eine Fixierungseinrichtung (5) aufweist, wobei die Fixierungseinrichtung (5) die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) trägt und in der Weise ausgebildet ist, dass mittels der Piezoelemente eine Kraft, insbesondere Scherkraft, zwischen der Lagervorrichtung (2) und einer Abstützvorrichtung (10) zum Abstützen der Lagervorrichtung (2) messbar ist.

2. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die Fixierungseinrichtung (5) des Weiteren in der Weise ausgebildet ist, dass die Kraft parallel zu Stirnflächen (17a, 17b) der Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) mittels einer kraftschlüssigen Verbindung einleitbar ist.

3. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) mit der Fixierungseinrichtung (5) und/oder der Lagervorrichtung (2) und/oder der Abstützvorrichtung (10) durch Kraftschluss verbindbar sind.

4. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Piezoelemente eingerichtet und/oder angeordnet sind, um Scherkräfte zwischen der Lagervorrichtung (2) und der Abstützvorrichtung (10) zu messen und/oder piezoelektrische Scherelemente sind.

5. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Fixierungseinrichtung (5) des Weiteren in der Weise ausgebildet ist, dass die Kraft wenigstens im Wesentlichen tangential zur Drehrichtung (D) der Welle (3) messbar ist.

6. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Fixierungseinrichtung (5) und/oder die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) in der Weise ausgebildet ist bzw. sind, dass die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d)

zwischen der Fixierungseinrichtung (5) und der Lagervorrichtung (2) oder zwischen der Fixierungseinrichtung (5) und der Abstützvorrichtung (10) oder zwischen der Abstützvorrichtung (10) und der Lagervorrichtung (2) angeordnet werden können und mit einer Vorspannung belastbar sind.

7. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Fixierungseinrichtung (5) in der Weise ausgestaltet ist, dass die Lagervorrichtung (2) wenigstens in einer Drehrichtung (D) der Welle (3) gegenüber der Abstützvorrichtung (10) ausschließlich durch die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) abstützbar ist.

8. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Piezoelemente mehrkomponentige Piezosensoren sind und sowohl eine Scherkraft als auch eine Druckkraft, vorzugsweise wenigstens im Wesentlichen in axialer Richtung der Welle (3), messen können.

9. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei wenigstes zwei der Piezoelemente Scherelemente und wenigstens ein weiteres ein Druckelement ist.

10. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Fixierungseinrichtung (5) eine Öffnung (6) aufweist, durch welche die Welle (3) hindurchführbar ist.

11. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 10, wobei
bei einer Messanordnung mit zwei Piezoelementen ein erstes (4a) und zweites Piezoelement (4c) wenigstens im Wesentlichen gegenüber in Bezug auf die Öffnung (6) angeordnet sind, oder,
bei mehr als zwei Piezoelementen, die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) etwa in gleichen Winkelbeziehungen zueinander in Bezug auf einen Mittelpunkt (M) der Öffnung (6) angeordnet sind,
wobei vorzugweise die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) alle den gleichen Abstand (d) von einer Drehachse eines zu messenden Drehmoments und/oder der drehmomentübertragenden Welle (3) aufweisen.

12. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) zu mehr als 50%, bevorzugter zu mehr als 70%, noch bevorzugter zu mehr als 90%, in einer Vertiefung (7a, 7b, 7c, 7d), insbesondere einer Sacklochbohrung, der Fixierungseinrichtung (5) und/oder eines Gehäuseteils (8a) der Lagervorrichtung (2) und/oder der Abstützvorrichtung (10) aufgenommen sind.

13. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) jeweils einen Hohlraum (9a, 9b, 9c, 9d), insbesondere einen Hohlzylinder, aufweisen, durch welchen jeweils eine Spannschraube führbar ist, welche eingerichtet ist, um die Lagervorrichtung (2) mit der Abstützvorrichtung (5) zu verbinden.

14. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 13, wobei auch die Fixierungseinrichtung (5) Hohlräume aufweist, welche mit dem Hohlraum (9a, 9b, 9c, 9d) des Piezoelements (4a, 4b, 4c, 4d) fluchtet und in welcher die Spannschraube lagerbar ist.

15. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Fixierungseinrichtung (5) eine Adapterplatte oder ein Ringelement ist, insbesondere zur Befestigung der Lagervorrichtung (2) an Gehäusen (8) verschiedener Komponenten eines Antriebsstrangs.

16. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 15, wobei das Ringelement als Dichtung zwischen zwei Komponenten ausgeführt ist und/oder in der Weise ausgeführt ist, dass es zusammen mit einer Dichtung zum Einsatz kommen kann.

17. Messvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Fixierungseinrichtung wenigstens zwei Träger (5a, 5b, 5c 5d) aufweist, welche auf der Abstützvorrichtung (10) abgestützt sind, wobei die Träger (5a, 5b, 5c 5d), insbesondere paarweise, auf gegenüberliegenden ersten Seiten eines Gehäuses (8) der Lagervorrichtung (2) anordenbar sind, in der Weise, dass jeweils eines der Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) zwischen den Trägern (5a, 5b) und dem Gehäuse (8) liegt.

18. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 17, wobei wenigstens drei Träger (5a, 5b, 5c 5d) jeweils in der Weise auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Gehäuses (8) anordenbar sind, dass die Lagervorrichtung (2) definiert lagerbar ist.

19. Messvorrichtung (1) nach Anspruch 17 oder 18 wobei jeweils ein weiteres Aufnehmerelement (11a, 11b, 11c, 11d) zwischen den Trägern (5a, 5b, 5c 5d) und der Abstützvorrichtung (10) angeordnet ist, wobei die weiteren Aufnehmerelemente (11a, 11b, 11c, 11d) eingerichtet sind, statische und/oder dynamische Zug- und Druckkräfte zwischen den Trägern (5a, 5b, 5c 5d) und der Abstützvorrichtung (10) zu messen und vorzugsweise als Dehnungmessstreifen und/oder Piezoelemente ausgebildet sind.

20. Messanordnung (9) zur Bestimmung einer Kraft und/oder eines Drehmoments an einer drehmomentübertragenden Welle (3), aufweisend eine auf dem Piezoeffekt beruhende Messvorrichtung (1), insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eine Welle (3), eine Lagervorrichtung (2) und eine Abstützvorrichtung (10) der Lagervorrichtung (2), wobei die Lagervorrichtung (2) die Welle (3) lagert und wobei die Messvorrichtung (1) eine rotierende Masse der Welle (3) und/oder eine rotierende Masse rotierender Teile einer Gesamtheit aus Welle (3) und Lagervorrichtung (2) nicht verändert.

21. Messanordnung (9) nach Anspruch 20, wobei die Lagervorrichtung (2) eine Maschine ist, insbesondere eine Belastungs- und/oder Antriebsmaschine, vorzugsweise eine Elektro- oder Brennkraftmaschine.

22. Messanordnung (9) nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Abstützvorrichtung (10) eine Getriebeglocke ist.

23. Messanordnung (9) nach Anspruch 22, wobei die Messvorrichtung (1) als Ringelement ausgebildet ist, welches an eine Dichtfläche zwischen der Getriebeglocke (10) und der Maschine (2) angepasst ist.

24. Messanordnung (9) nach einem der Ansprüche 20 bis 23, wobei zwischen den Piezoelementen (4a, 4b, 4c, 4d) und der Fixierungseinrichtung (5) und/oder der

Lagervorrichtung (2) und/oder der Abstützvorrichtung (10) eine Paste zur Erhöhung eines Reibkoeffizienten aufgetragen ist.

25. Messanordnung (9) nach einem der Ansprüche 20 bis 24, wobei die Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) zwischen der Abstützvorrichtung (16) und der Lagervorrichtung (2) mit einer Vorspannung von etwa 40 kN bis 80 kN, vorzugsweise etwa 60 kN belastet sind.

26. Messanordnung (9) nach einem der Ansprüche 20 bis 25 mit einer Messvorrichtung (1) nach Anspruch 13 oder 14, wobei auch ein Gehäuseteil (8a) der Lagervorrichtung (2) einen Hohlraum aufweist, welche mit dem Hohlraum der Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) fluchtet und in welcher die Spannschraube gelagert ist.

27. Messanordnung (9) nach einem der Ansprüche 20 bis 26, wobei Stirnflächen der Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) wenigstens im Wesentlichen parallel zu einer Oberfläche (18a) der Lagervorrichtung (2) und einer Oberfläche (18b) der Abstützvorrichtung (10) ausgerichtet sind.

28. Fahrzeug mit einer Messanordnung nach einem der Ansprüche 20 bis 27.

29. Prüfstand mit einer Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19 oder mit einer Messanordnung nach einem der Ansprüche 20 bis 27.

30. Prüfstand nach Anspruch 29, wobei eine erste Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19 mit einer Antriebsmaschine als Lagervorrichtung verbunden ist und eine zweite Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19 mit einer Belastungsmaschine als Lagervorrichtung verbunden ist.

31. Verfahren (100) zur Bestimmung eines an einer Welle (3) anliegenden Drehmoments und/oder einer an einer Welle (3) anliegenden Kraft, wobei das Drehmoment und/oder die Kraft mittels Messungen von Reaktionskräften einer Lagerung einer Lagervorrichtung (2) der Welle (3) auf die Lagervorrichtung (2) durch wenigstens zwei Piezoelemente (4a, 4b, 4c, 4d) bestimmt wird.

32. Verfahren (100) nach Anspruch 31, wobei die Reaktionskräfte als Scherkräfte an den Piezoelementen (4a, 4b, 4c, 4d) gemessen werden.

33. Verfahren (100) nach Anspruch 31 oder 32, wobei die Messung der Reaktionskräfte vorzugsweise mittels einer Messanordnung (19) nach einem der Ansprüche 18 bis 26 durchgeführt wird, folgende Arbeitsschritte aufweisend:
Erfassen (101) wenigstens eines Signals eines ersten Piezoselements (4a) und eines Signals eines zweiten Piezoelements (4c); und
Ableiten (102) eines an dem ersten (4a) und dem zweiten Piezoelement (4c) anliegenden Drehmoments und/oder eines Auftretens einer Taumelbewegung aus den Signalen.

34. Verfahren (100) nach Anspruch 33, wobei die Piezoelemente (4a, 4c) bezüglich der Drehrichtung (D) der Welle (3) mit bekannter Vorzugsrichtung (V_1, V_3) insbesondere mit gleicher Vorzugsrichtung (V_1, V_3), ausgerichtet sind, des Weiteren folgende Arbeitsschritte aufweisend:
Aufsummieren (103) der Signale entsprechend einer Komponente der Vorzugsrichtung (V_1, V_3) der Piezoelemente (4a, 4c) in der Drehrichtung; und
Ableiten (104a) eines Auftretens einer Drehschwingung der Welle (3) aus den Signalen.

35. Verfahren (100) nach Anspruch 33, wobei die Piezoelemente (4a, 4c) in der Weise ausgerichtet sind, dass deren Vorzugsrichtung (V_1, V_3) bekannt ist, insbesondere parallel ist, des Weiteren folgende Arbeitsschritte aufweisend:
Aufsummieren (103) der Signale entsprechend einer parallelen Komponente der Vorzugsrichtung (V_1, V_3) der Piezoelemente (4a, 4c); und
Ableiten (104b) der Reaktionskräfte der Lagerung aus den Signalen.

36. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 31 bis 35, wobei eine zeitliche Veränderung wenigstens der Werte der abgeleiteten Größen aufgezeichnet wird.

37. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 33 bis 36, des Weiteren wenigstens einen der folgenden Arbeitsschritte aufweisend:
Prüfen (104c) der abgeleiteten Größen auf Unstetigkeiten im Drehmomentverlauf, insbesondere eine Drehmomentschwingung oder eine Torsionsschwingung;

Prüfen (104d) der abgeleiteten Größen auf Veränderungen von Eigenschaften des zu prüfenden Systems;
Projizieren (104e-1) des Verlaufs von abgeleiteten Größen;
Prüfen (104e-2) eines projizierten Verlaufs auf mögliche Überlastung der Lagereinrichtung (2);
Anpassen, insbesondere reduzieren, (104e-3) einer Leistung, falls eine projizierte Überlastung und/oder Unstetigkeiten und/oder eine Veränderung der Eigenschaften des zu prüfenden Systems erkannt wird.

38. Computerprogramm, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 31 bis 37 auszuführen.

39. Computer-lesbares Medium, auf dem ein Computerprogramm nach Anspruch 38 gespeichert ist.

40. Computer-lesbares Medium, das Anweisungen umfasst, welche, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, diesen dazu veranlassen, die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 31 bis 37 auszuführen.

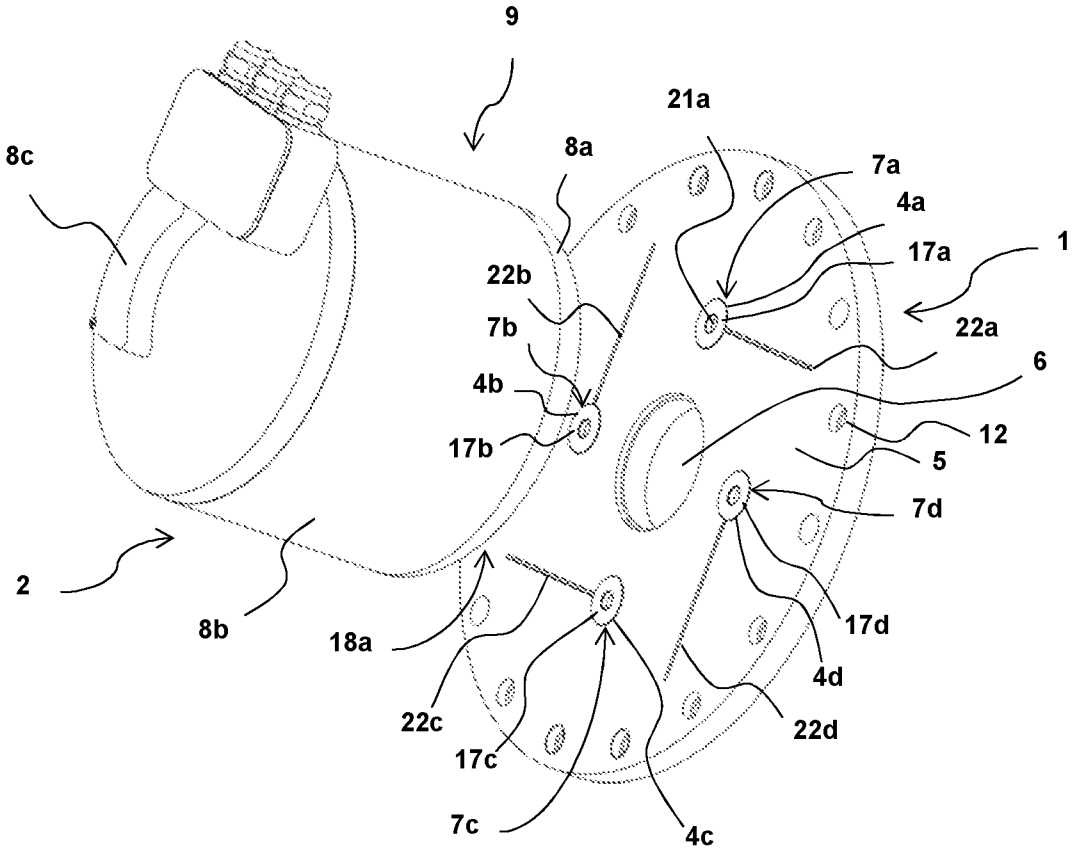

9
21a
8c
8a
7a
4a
17a
1
22b
7b
22a
4b
6
17b
12
5
7d
2
8b
18a
17d
4d
22c
22d
17c
7c
4c

Fig. 1

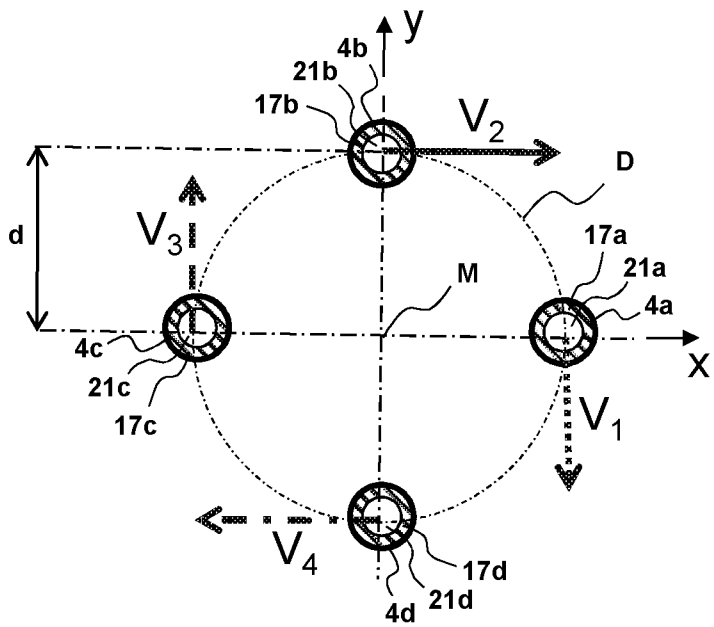

y
4b
21b
17b
V2
D
d
V3
17a
21a
M
4a
4c
21c
17c
x
V1
V4
17d
21d
4d

Fig. 2

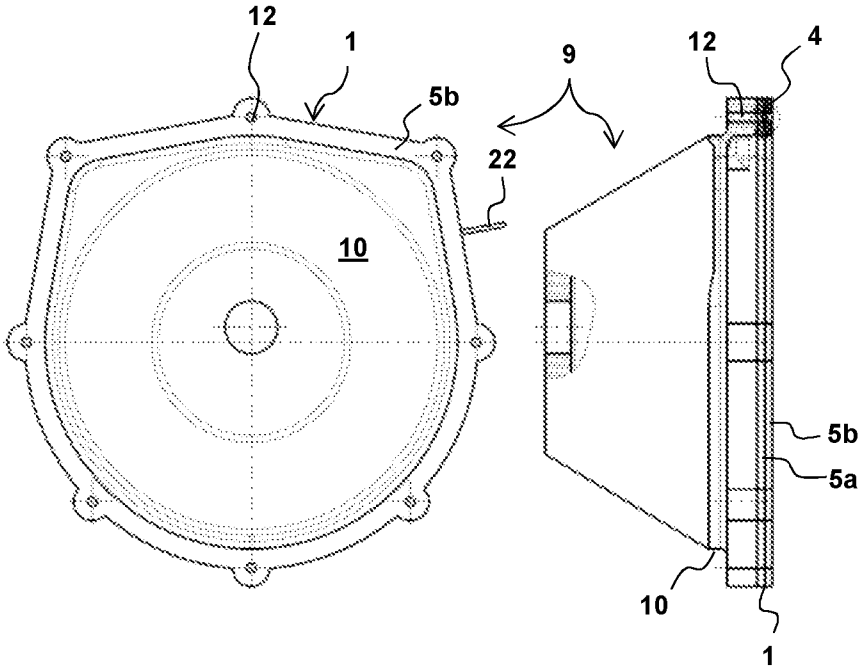


Fig. 3

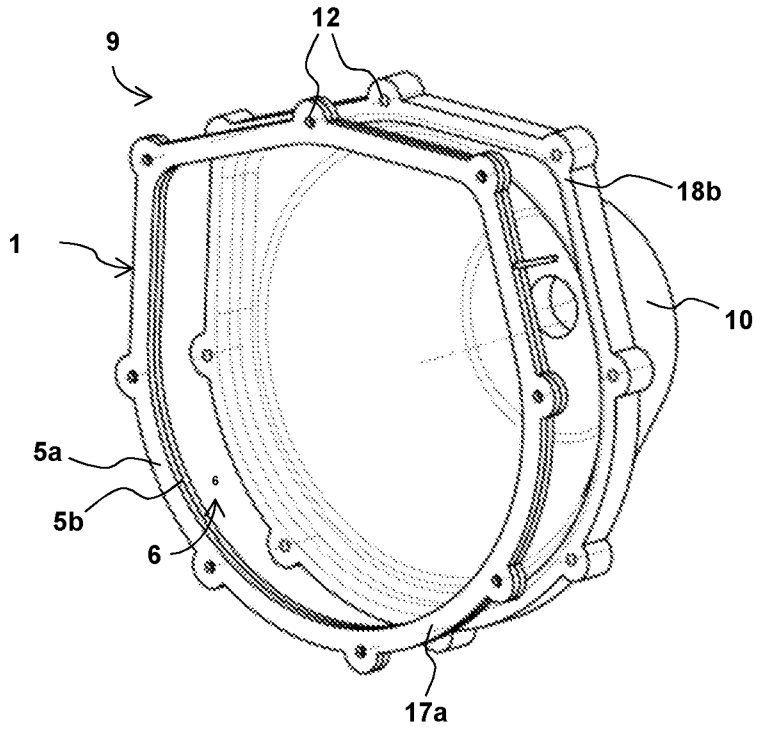


Fig. 4

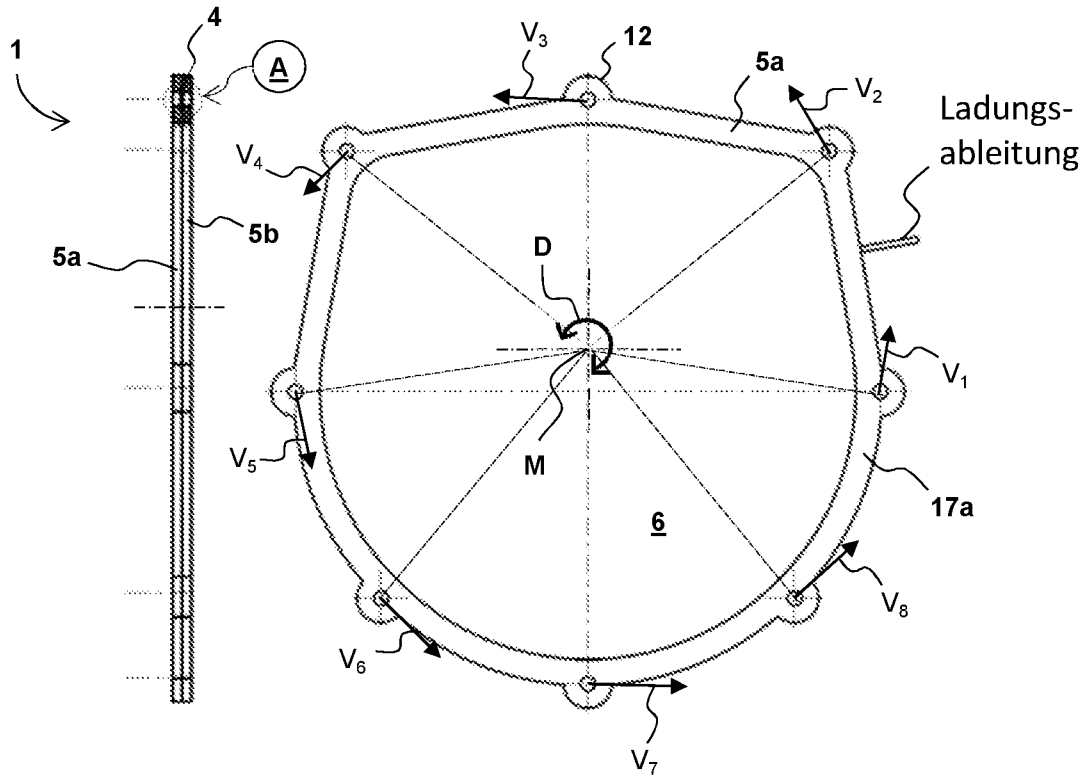

1
4
A
V3
12
5a
V2
Ladungs-
ableitung
V4
5b
5a
D
V1
V5
M
6
17a
V8
V6
V7

Fig. 5

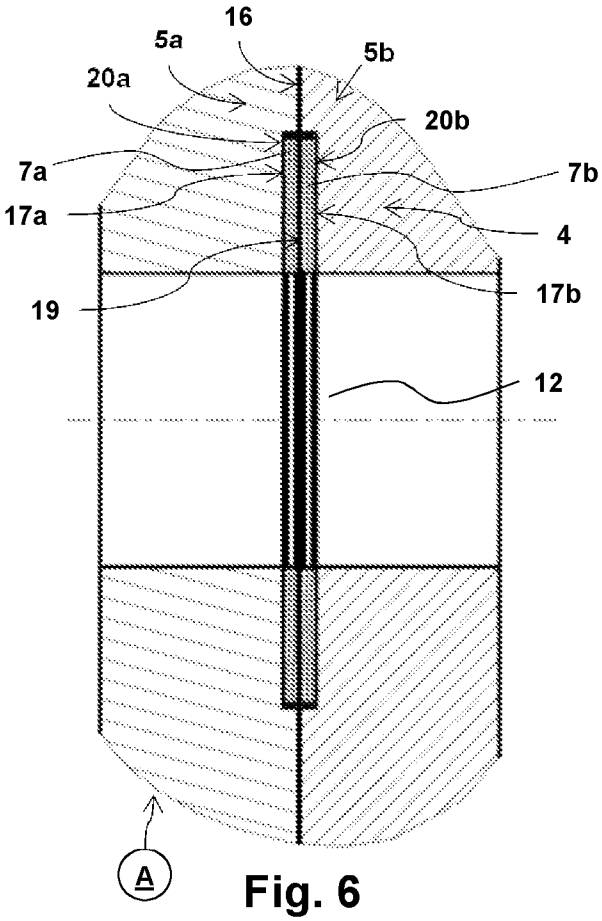

16
5a
5b
20a
20b
7a
7b
17a
4
19
17b
12
A

Fig. 6

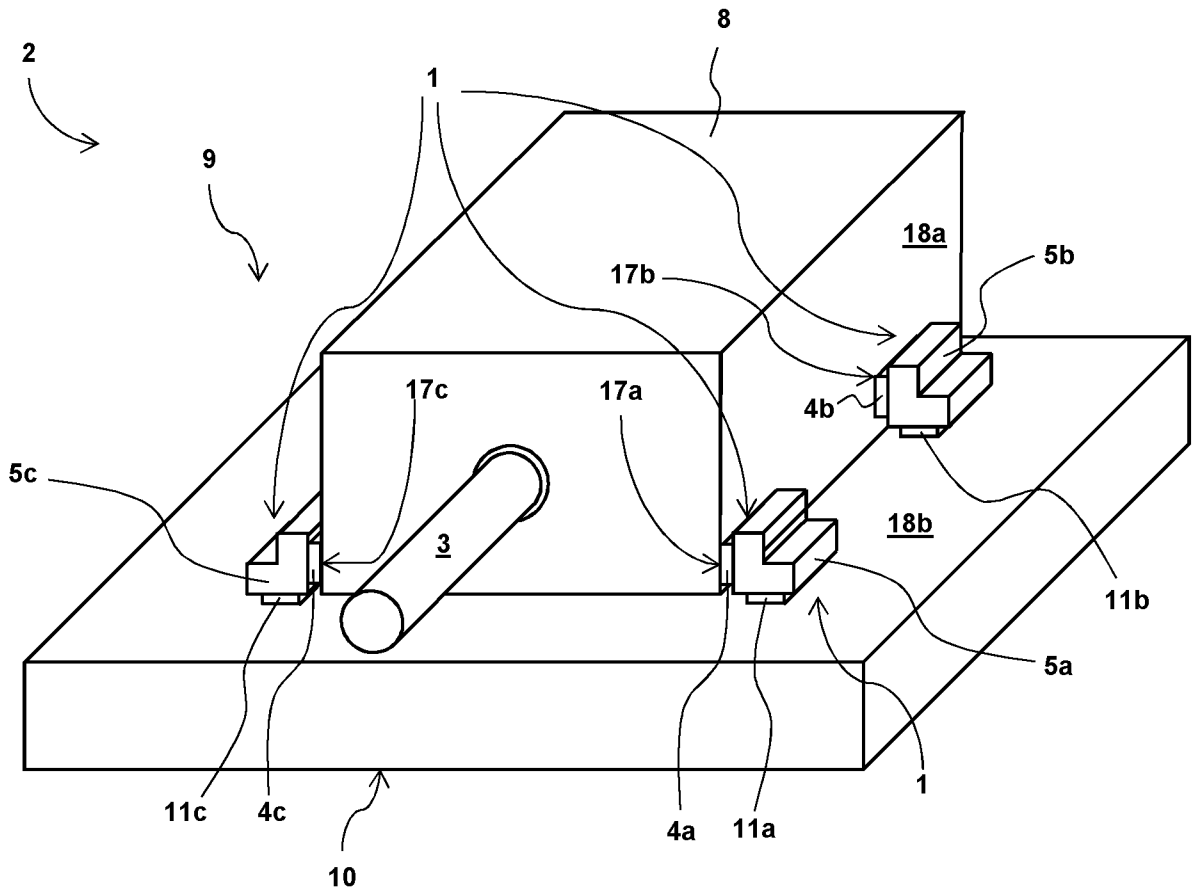


Fig. 7 1

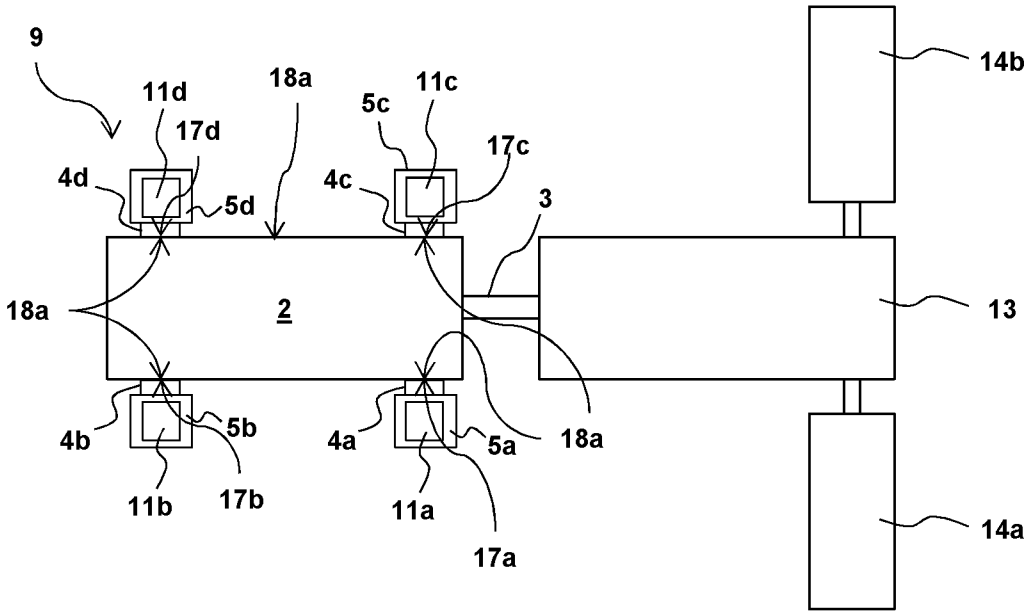

9
11d
17d
18a
5c
11c
17c
4d
5d
4c
3
14b
18a
2
13
4b
5b
4a
5a
18a
11b
17b
11a
17a
14a

Fig. 8

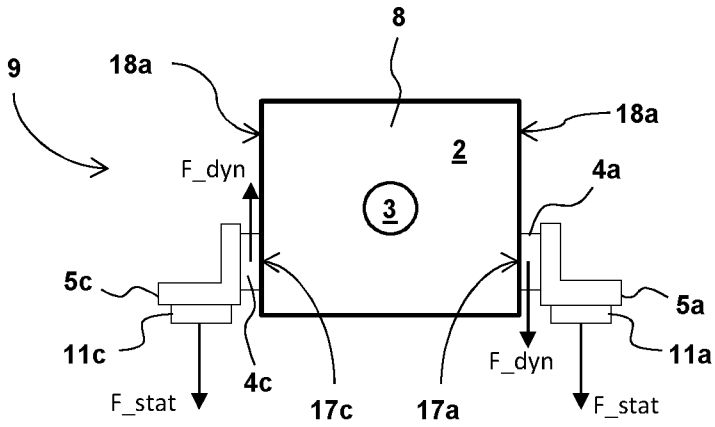

8
9
18a
18a
2
F_dyn
4a
3
5c
5a
11c
11a
F_dyn
4c
F_stat
17c
17a
F_stat

Fig. 9

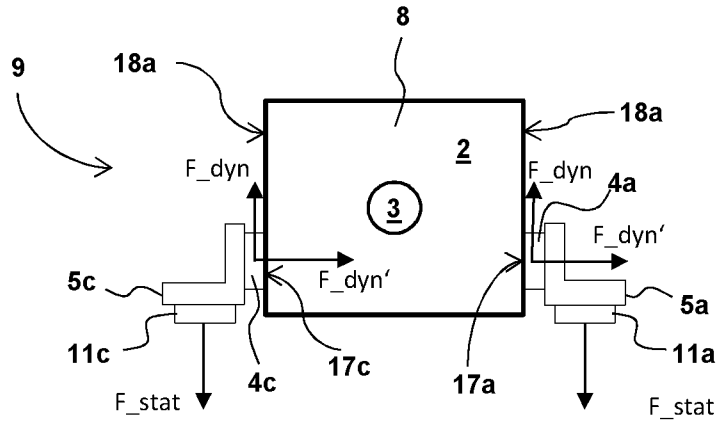

8
9
18a
18a
2
F_dyn
F_dyn
4a
3
F_dyn'
F_dyn'
5c
5a
11c
11a
4c
17c
17a
F_stat
F_stat

Fig. 10

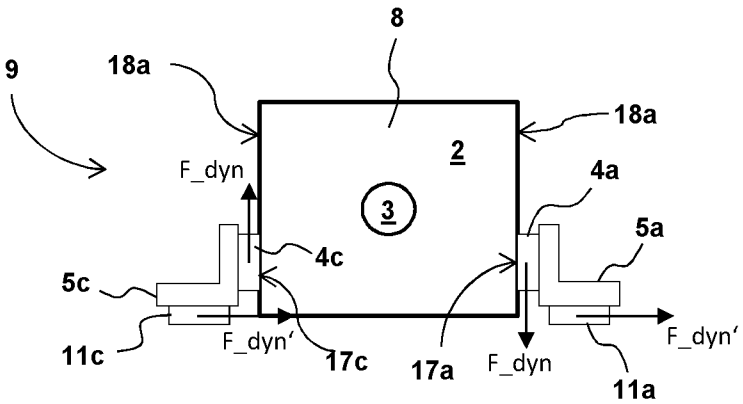

8
9
18a
18a
2
F_dyn
4a
3
5a
4c
5c
11c
F_dyn'
17c
17a
F_dyn
F_dyn'
11a

Fig. 11

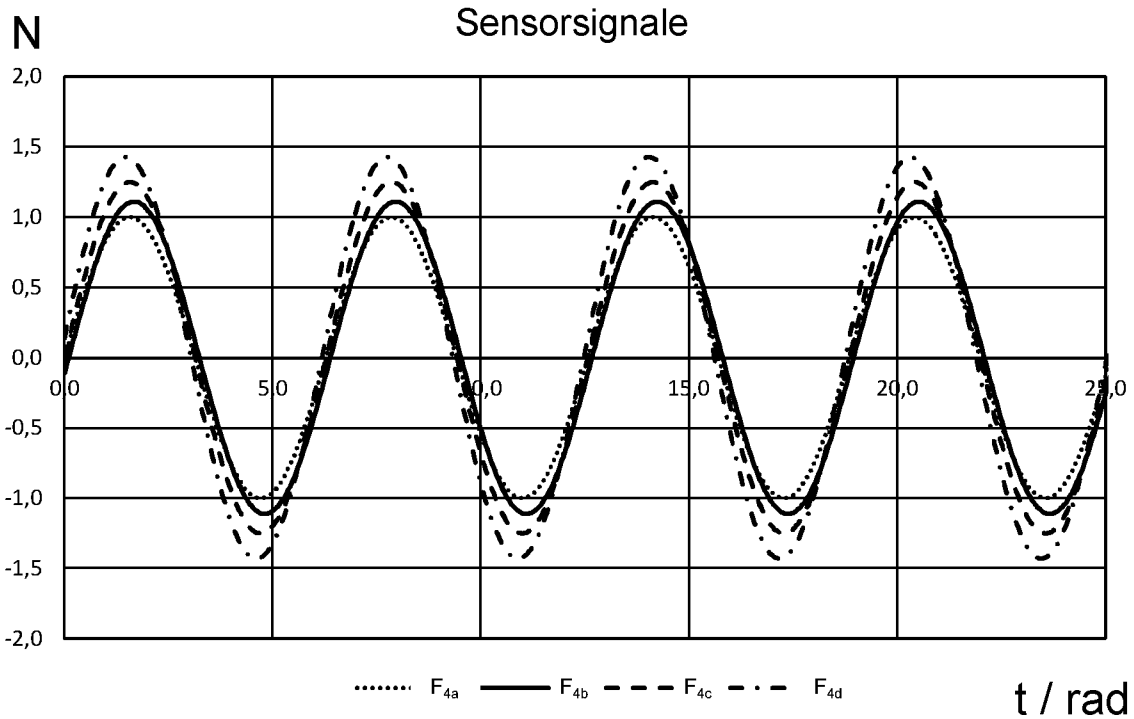


Fig. 12a

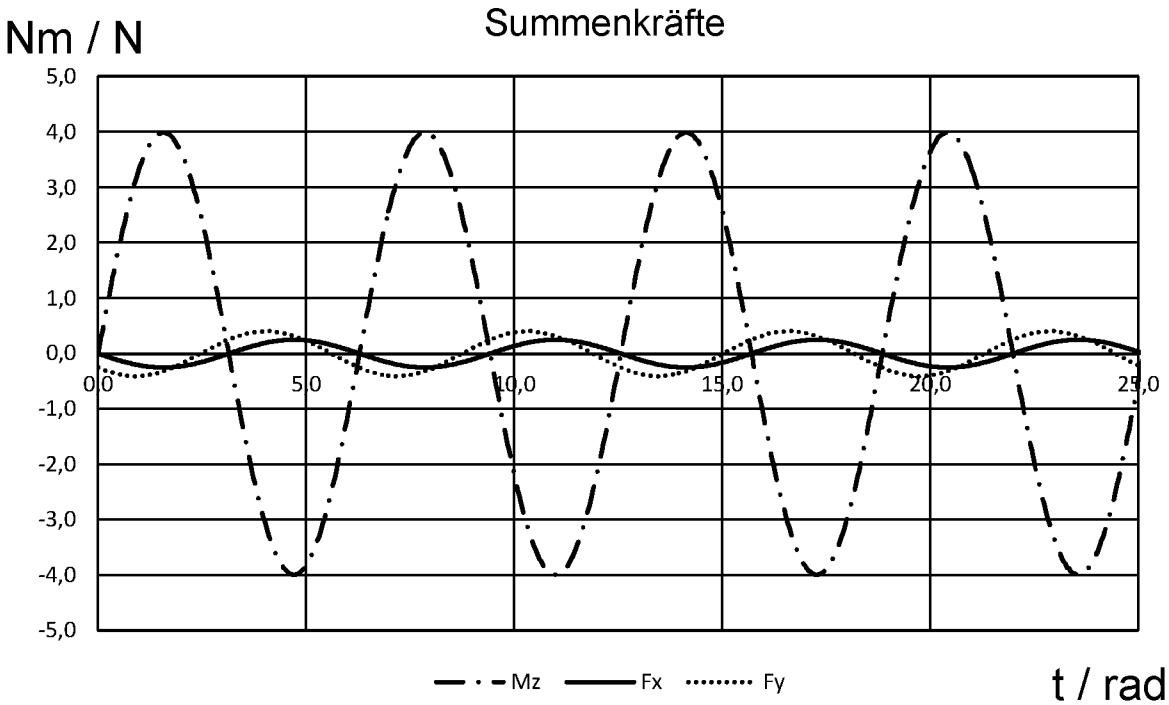


Fig. 12b

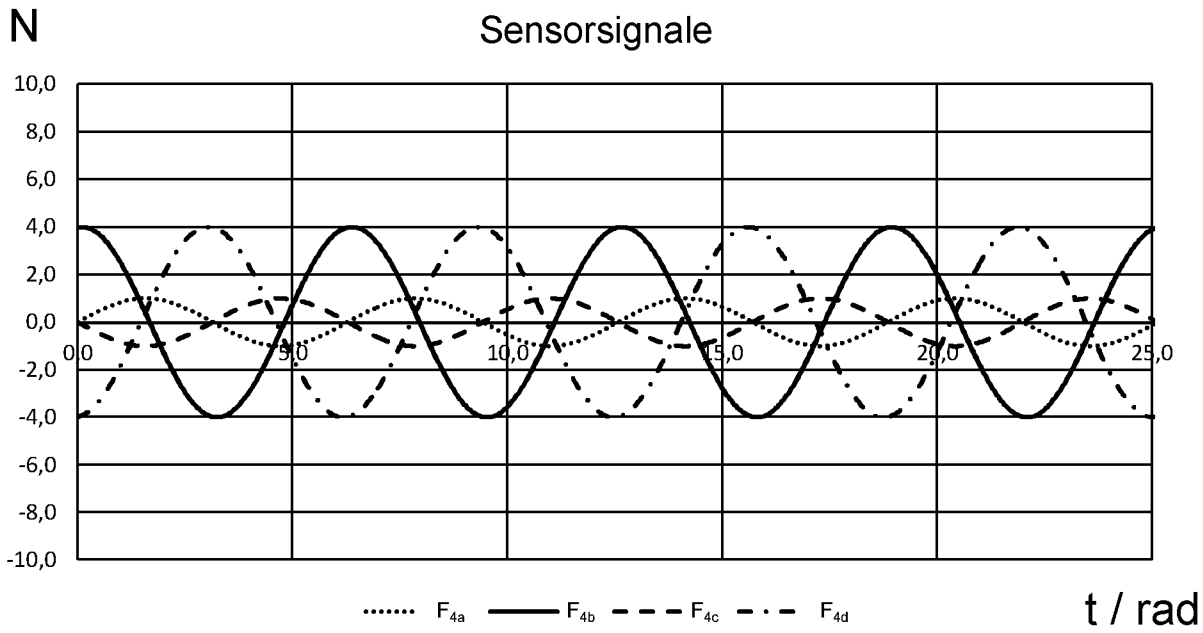


Fig. 13a

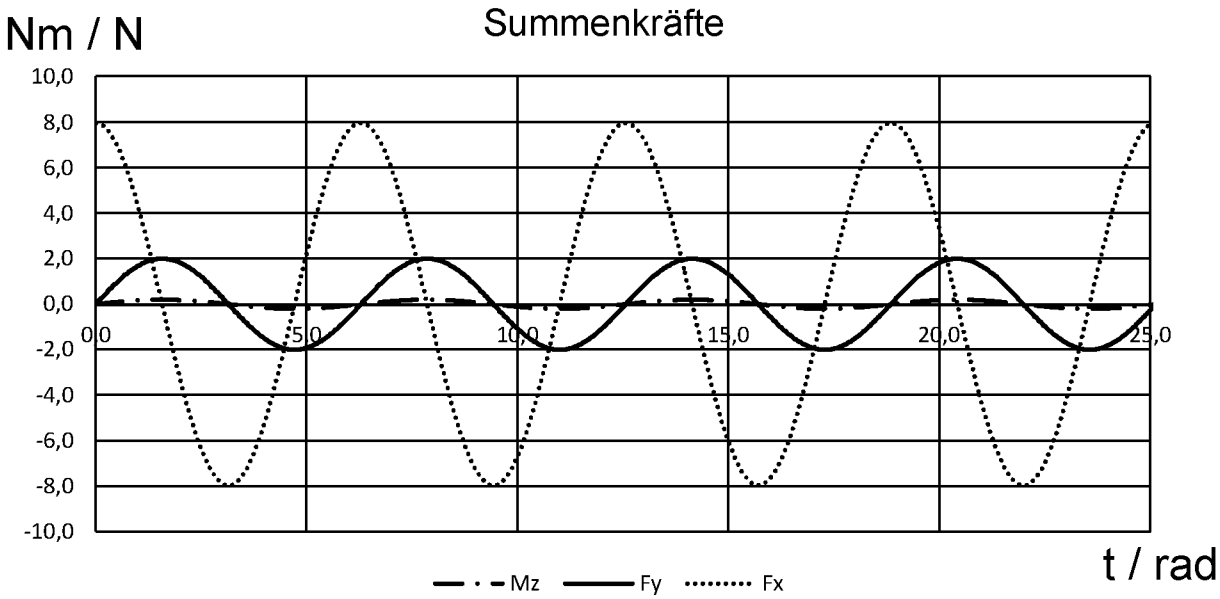


Fig. 13b

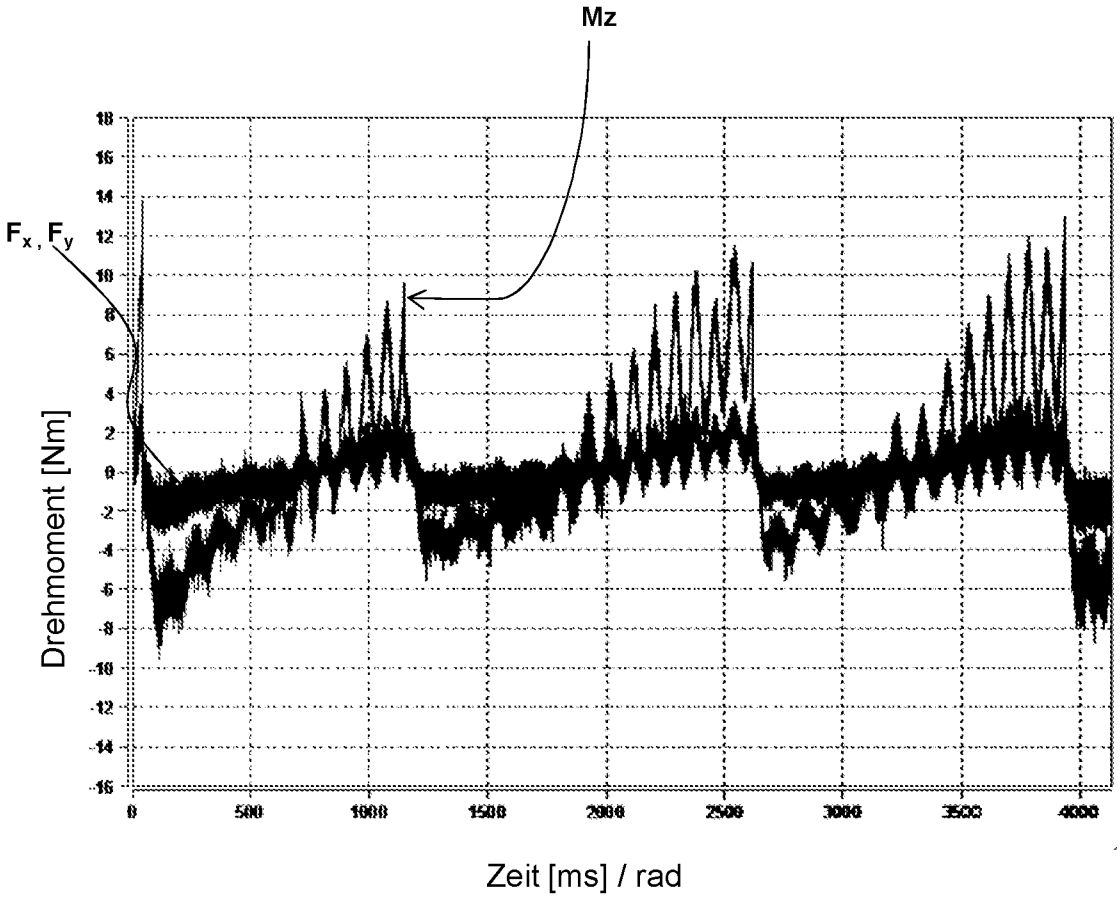

Mz
Fx, Fy
Drehmoment [Nm]
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
Zeit [ms] / rad

Fig. 14

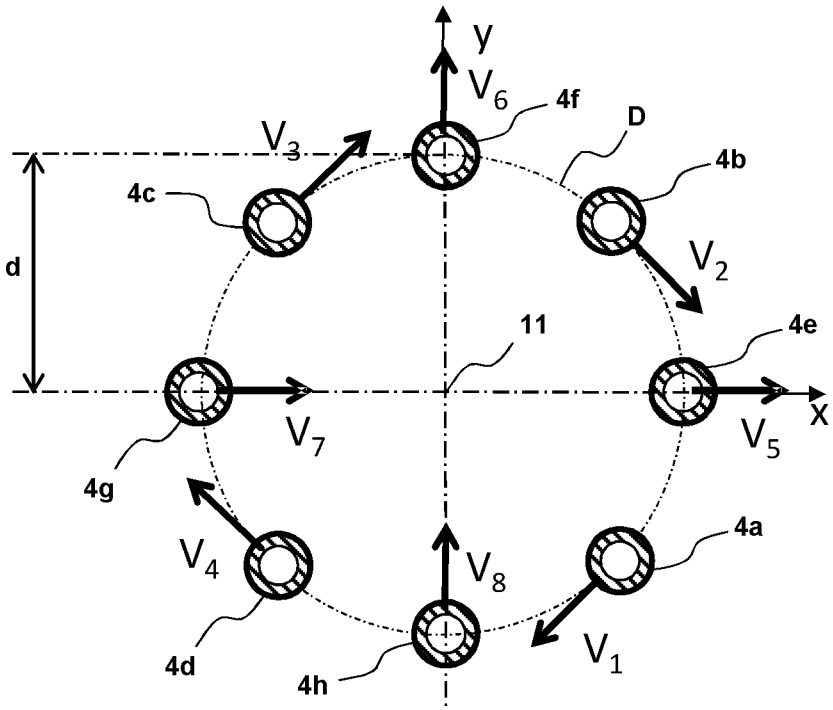


Fig. 15

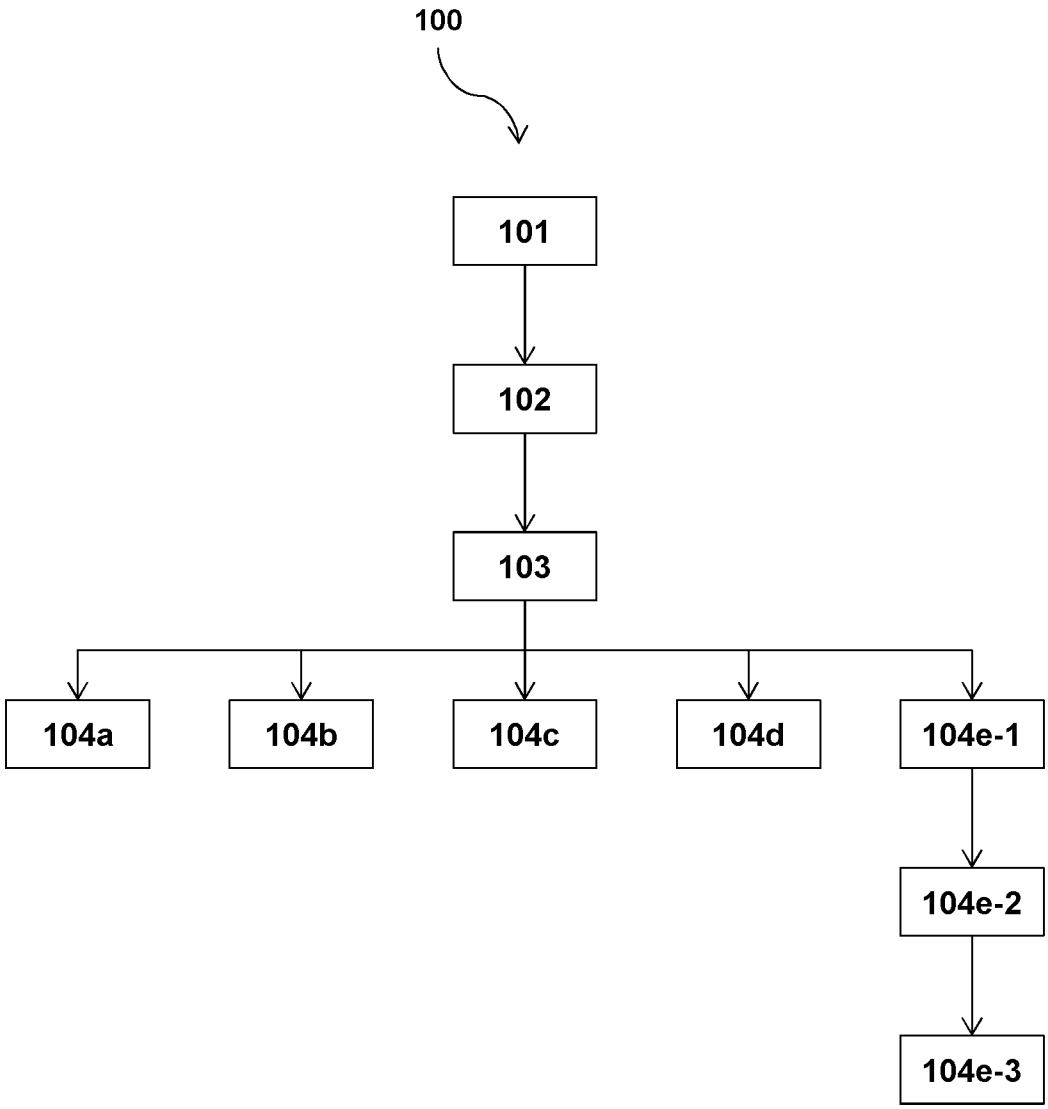


Fig. 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/AT2019/060028

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L 5/16(2006.01)i; ***G01L 3/10***(2006.01)i; ***G01L 3/14***(2006.01)i; ***G01L 5/00***(2006.01)i; ***G01L 1/16***(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01L

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102010024806 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 29 December 2011 (2011-12-29) abstract; paragraphs [0008], [0009], [0044] - [0047], [0060], [0061]; figures 1, 6	1-7, 29-32, 36-40
X	EP 0342253 A1 (KISTLER INSTRUMENTE AG [CH]) 23 November 1989 (1989-11-23) column 1, line 6 - line 8; figures 6, 9 column 8, line 6 - column 8, line 44	1-7, 29-32, 36-40
X A	DE 3019751 A1 (WEISSER SOEHNE J G [DE]) 03 December 1981 (1981-12-03) page 7 - page 9; figures 1, 2	1-7, 31, 32, 36, 38-40 29, 30
X A	JP 2015166706 A (SEIKO EPSON CORP) 24 September 2015 (2015-09-24) paragraphs [0019], [0038]; figures 6, 8, 9, 10	1-7, 29, 31, 32, 38-40 30, 36, 37

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 April 2019	**17 June 2019**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Haenssler, Thedda** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/AT2019/060028

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-7, 31, 32 (in full); 29, 30, 36-40 (in part)
Improving force measurement

2. claims: 8, 9
Selection of a type of sensor

3. claims: 10-12
Compact arrangement of the measuring device.

4. claims: 13, 14
Improving calibration

5. claims: 15-19
Selection of the mounting location

6. claims: 20-28, 33-35 (in full); 29, 30, 36-40 (in part)
Diminishing systematic measuring errors

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☑ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: **1-7, 31, 32 (in full); 29, 30, 36-40 (in part)**

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/AT2019/060028

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102010024806	A1	29 December 2011	NONE			
EP	0342253	A1	23 November 1989	AT	84612	T	15 January 1993
				EP	0342253	A1	23 November 1989
				US	4974454	A	04 December 1990
DE	3019751	A1	03 December 1981	NONE			
JP	2015166706	A	24 September 2015	CN	104897318	A	09 September 2015
				JP	6248709	B2	20 December 2017
				JP	2015166706	A	24 September 2015

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2019/060028

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01L5/16 G01L3/10 G01L3/14 G01L5/00 G01L1/16
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01L

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2010 024806 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 29. Dezember 2011 (2011-12-29) Zusammenfassung; Absätze [0008], [0009], [0044] - [0047], [0060], [0061]; Abbildungen 1,6	1-7, 29-32, 36-40
X	EP 0 342 253 A1 (KISTLER INSTRUMENTE AG [CH]) 23. November 1989 (1989-11-23) Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 8; Abbildungen 6,9 Spalte 8, Zeile 6 - Spalte 8, Zeile 44	1-7, 29-32, 36-40
X	DE 30 19 751 A1 (WEISSER SOEHNE J G [DE]) 3. Dezember 1981 (1981-12-03)	1-7,31, 32,36, 38-40
A	Seite 7 - Seite 9; Abbildungen 1,2	29,30

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
11. April 2019	17/06/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Haenssler, Thedda

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2019/060028

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2015 166706 A (SEIKO EPSON CORP) 24. September 2015 (2015-09-24)	1-7,29, 31,32, 38-40
A	Absätze [0019], [0038]; Abbildungen 6,8,9,10	30,36,37

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2019/060028

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:
1-7, 31, 32(vollständig); 29, 30, 36-40(teilweise)

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchengebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.

☐ Die zusätzlichen Recherchengebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.

☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN **PCT/ISA/** 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-7, 31, 32(vollständig); 29, 30, 36-40(teilweise)

   Verbesserung der Kraftmessung
   ---

2. Ansprüche: 8, 9

   Wahl eines Sensortyps
   ---

3. Ansprüche: 10-12

   Platzsparende Anordnung der Messvorrichtung.
   ---

4. Ansprüche: 13, 14

   Verbesserung der Kalibrierung
   ---

5. Ansprüche: 15-19

   Wahl des Einbauortes
   ---

6. Ansprüche: 20-28, 33-35(vollständig); 29, 30, 36-40(teilweise)

   Verminderung der systematischen Messabweichung

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/AT2019/060028

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010024806 A1	29-12-2011	KEINE	
EP 0342253 A1	23-11-1989	AT 84612 T	15-01-1993
		EP 0342253 A1	23-11-1989
		US 4974454 A	04-12-1990
DE 3019751 A1	03-12-1981	KEINE	
JP 2015166706 A	24-09-2015	CN 104897318 A	09-09-2015
		JP 6248709 B2	20-12-2017
		JP 2015166706 A	24-09-2015