



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 109 479.2**  
(22) Anmeldetag: **03.05.2017**  
(43) Offenlegungstag: **08.11.2018**

(51) Int Cl.: **G01L 3/04 (2006.01)**  
**G01L 5/16 (2006.01)**  
**G01L 1/26 (2006.01)**  
**G01L 25/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE; Centro Espanol de Metrologia, Madrid, ES; Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, 52062 Aachen, DE**

(72) Erfinder:  
**Foyer, Gisa, Dr., 38108 Braunschweig, DE; Kahmann, Holger, 38350 Helmstedt, DE; Gnauert, Jonas, 52074 Aachen, DE; Kock, Stefan, 52070 Aachen, DE; Lorente Pedreille, Raquel Maria, Cercedilla, Madrid, ES**

(74) Vertreter:  
**Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2012 024 264	B4
DE	10 2009 014 284	A1
EP	1 074 826	B1

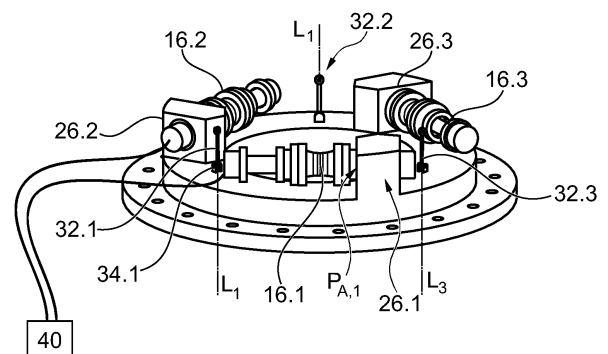
**EMPIR (European Union): Torque measurement in the MN-m range – The project. Last updated 23.03.2017. 1 S. - URL: <https://www.ptb.de/emrp/ind14-project.html> [abgerufen am 11.07.2018]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Drehmoment-Messvorrichtung zur Messung von Drehmomenten von zumindest 2 Meganewtonmeter**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Drehmoment-Messvorrichtung zur Messung von Drehmomenten ( $M$ ) von zumindest 2 Meganewtonmeter, mit einem Antriebsflansch (12) zum Verbinden mit einer Drehmomentquelle, einem Abtriebsflansch (14) zum Verbinden mit einer Drehmomentsenke, der verdrehbar zum Antriebsflansch (12) angeordnet ist, einem ersten Kraftmesser (16.1) zum Messen einer ersten Kraftkomponente ( $F_i$ ) zwischen einem ersten Kräfteinleitpunkt ( $P_{E,i}$ ) auf dem Antriebsflansch (12) und einem ersten Kraftaufnahmepunkt auf dem Abtriebsflansch (14) und einem zweiten Kraftmesser (16.2) zum Messen einer zweiten Kraftkomponente ( $F_i$ ) zwischen einem zweiten Kräfteinleitpunkt ( $P_{E,i}$ ) auf dem Antriebsflansch (12) und einem zweiten Kraftaufnahmepunkt ( $P_{A,i}$ ) auf dem Abtriebsflansch (14). Erfindungsgemäß ist eine Entkopplungsstruktur vorgesehen, die ausgebildet ist zum Übertragen aller Axialkräfte ( $F_a$ ) und Kippmomente vom Antriebsflansch (12) auf den Abtriebsflansch (14) unter Umgehung der Kraftmesser (16).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Drehmoment-Messvorrichtung zur Messung von Drehmomenten von zumindest 2 Meganewtonmeter mit (a) einem Antriebsflansch zum Verbinden mit einer Drehmomentquelle, (b) einem Abtriebsflansch zum Verbinden mit einer Drehmoment-Senke, der verdrehbar zum Antriebsflansch angeordnet ist, (c) einem ersten Kraftmesser zum Messen einer ersten Kraftkomponente zwischen einem ersten Kraftereinleitpunkt auf dem Antriebsflansch und einem ersten Kraftaufnahmepunkt auf dem Abtriebsflansch und (d) einem zweiten Kraftmesser zum Messen einer zweiten Kraftkomponente zwischen einem zweiten Kraftereinleitpunkt auf dem Antriebsflansch und einem zweiten Kraftaufnahmepunkt auf dem Abtriebsflansch.

**[0002]** Derartige Drehmoment-Messvorrichtungen werden beispielsweise in Windkraftanlagen-Messständen zum Messen von Drehmomenten verwendet, die an Windkraftanlagen auftreten, und müssen Drehmomente von zumindest 2 Meganewtonmeter in Wellen messen, an denen zudem eine Axialkraft und/oder Kippmomente anliegen können. Bekannte Drehmoment-Messvorrichtungen führen insbesondere unter einer solchen multiaxialen Belastung bei Drehmomenten oberhalb von 2 Meganewtonmetern zu Messunsicherheit von mehr als 5%. Das ist für die Optimierung von Windkraftanlagen nur schlecht akzeptabel.

**[0003]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Drehmoment-Messvorrichtung vorzuschlagen.

**[0004]** Die Erfindung löst das Problem durch eine gattungsgemäße Drehmoment-Messvorrichtung, die eine Entkopplungsstruktur aufweist, die ausgebildet ist zum Übertragen aller Axialkräfte und Kippmomente vom Antriebsflansch auf den Abtriebsflansch unter Umgehung der genannten Kraftmesser. Vorzugsweise ist die Entkopplungsstruktur zudem ausgebildet zum Übertragen aller Querkräfte vom Antriebsflansch auf den Abtriebsflansch unter Umgehung der genannten Kraftmesser.

**[0005]** Vorteilhaft an einer derartigen Drehmoment-Messvorrichtung ist, dass Schubkräfte und/oder Kippmomente nicht auf die Kraftmesser wirken und somit deren Messergebnis nicht oder weniger verfälschen.

**[0006]** Vorteilhaft ist zudem, dass eine derartige Drehmoment-Messvorrichtung rückführbar kalibrierbar ist. Unter einer rückgeführten Kalibrierung wird verstanden, dass die Größen auf Basis derer das Messergebnis der Drehmoment-Messvorrichtung ermittelt wird, in einer geschlossenen Messkette zumindest mit einem gesetzlichen Primärnormal verglichen

wird. Erst eine derartige rückgeführte Kalibrierung führt dazu, dass eine verlässliche Messunsicherheit angegeben werden kann.

**[0007]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Antriebsflansch insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die formschlüssig, insbesondere mittels Schrauben, mit einem Gegenflansch verbindbar ist, sodass das an eine Welle angreifende Drehmoment aufnehmbar ist.

**[0008]** Insbesondere sind die Kraftmesser so angeordnet, dass die Gesamtheit aller Kraftmesser alle Kräfte zwischen dem Antriebsflansch und dem Abtriebsflansch aufnimmt, die aus dem anliegenden Drehmoment resultieren. In anderen Worten sind die Kraftmesser so ausgebildet und angeordnet, dass aus den Messergebnissen der Kraftmesser direkt auf das anliegende Drehmoment geschlossen werden kann, sofern keine Kippmomente am Antriebsflansch anliegen und keine Schubkraft auf den Antriebsflansch wirkt.

**[0009]** Unter dem Merkmal, dass die Entkopplungsstruktur ausgebildet ist zum Übertragen der Axialkräfte und Kippmomente (sowie gegebenenfalls aller Querkräfte) unter Umgehung der Kraftmesser, wird insbesondere verstanden, dass sich das Messergebnis der Kraftmesser im Rahmen der Messunsicherheit von beispielsweise höchstens 1% nicht ändert, wenn das Drehmoment unveränderlich bleibt und zusätzlich ein Kippmoment anliegt und /oder eine Axialkraft (und gegebenenfalls eine Querkraft) auf den Antriebsflansch wirkt.

**[0010]** Günstig ist es, wenn ein Antriebsflansch einen Durchmesser von zumindest 1,5 m hat, vorzugsweise von zumindest 2 m. Insbesondere ist ein wirkungsvoller Hebelarm der Kraftmesser größer als 0,5m.

**[0011]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt die Entkopplungsstruktur einen ersten Steg, der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch und dem Abtriebsflansch verläuft, einen zweiten Steg, der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch und dem Abtriebsflansch verläuft, und zumindest einen dritten Steg, der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch und dem Abtriebsflansch verläuft. Diese Stege sind so ausgebildet, dass sie Kippmomente, die auf den Antriebsflansch wirken, vollständig auf den Abtriebsflansch übertragen.

**[0012]** Vorzugsweise sind die Stege drehsymmetrisch bezüglich einer Drehachse der Drehmoment-Messvorrichtung angeordnet. Die Drehachse der Drehmoment-Messvorrichtung ist diejenige Achse, um die sich der Antriebsflansch dreht, wenn ein zu messendes Drehmoment angelegt wird, während der Abtriebsflansch sich nicht bewegt. Es ist allerdings auch möglich, dass der Abtriebsflansch sich ebenfalls

in Rotation befindet. Eine Drehsymmetrie bezüglich dieser Drehachse bedeutet, dass eine Drehung um einen Symmetriewinkel (bei gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehenen genau drei Stegen:  $120^\circ$ ) dazu führt, dass ein anderer Steg an der gleichen Stelle angeordnet ist.

**[0013]** Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Drehmoment-Messvorrichtung genau drei Stege aufweist. Es ist auch möglich, dass die Drehmoment-Messvorrichtung vier, fünf oder mehr Stege aufweist. Eine größere Anzahl an Stegen erhöht jedoch den Auswerteaufwand und führt zu einer statischen Überbestimmung.

**[0014]** Alternativ oder zusätzlich kann die Entkopplungsstruktur ein Lager aufweisen, beispielsweise ein Wälzlager oder ein Reiblager, mittels dem der Antriebsflansch am Abtriebsflansch gelagert ist.

**[0015]** Die Kraftmesser weisen vorzugsweise je ein Deformationselement, das insbesondere zumindest abschnittsweise stabförmig ist, und ein Deformationserfassungselement zum Erfassen einer Dehnung des Deformationselements auf. Vorzugsweise ist eine Steifigkeit der Kraftmesser so gewählt, dass ein am Antriebsflansch anliegendes Drehmoment von 2 Meganewtonmeter zu einer Deformation der Deformationselemente (von höchstens 0,2 mm) führt. Die Deformationserfassungselemente können beispielsweise Dehnungsmesselemente sein, insbesondere Dehnungsmessstreifen.

**[0016]** Besonders günstig ist es, wenn Drehmoment-Messvorrichtung eine Störeinfluss-Messvorrichtung aufweist, die zumindest einen Dehnungsmesser zum Messen einer Dehnung zumindest eines Stegs umfasst. Die Störeinfluss-Messvorrichtung ist eine Vorrichtung, mittels der der Einfluss von Kippmomenten von Kippmomenten und/oder einer axialen Kraft, die auf den Antriebsflansch wirkt, erfassbar ist. Sowohl eine axiale Kraft als auch ein Kippmoment, das auf den Antriebsflansch wirkt, führen zu einer elastischen Längenveränderung des Stegs. Es ist möglich und bevorzugt, nicht aber notwendig, dass die Störeinfluss-Messvorrichtung ausgebildet ist zum Messen dieser Dehnung. Insbesondere ist es auch möglich, dass die Störeinfluss-Messvorrichtung ausgebildet ist zum, beispielsweise interferometrischen, Messen eines Abstandes zwischen dem Antriebsflansch und dem Abtriebsflansch an beispielsweise drei oder mehr Stellen. Die Längenänderung der Stege führt nämlich auch zu einer Abstandsänderung von Antriebsflansch zu Abtriebsflansch.

**[0017]** Vorzugsweise umfasst die Störeinfluss-Messvorrichtung einen ersten Dehnungsmesser zum Messen einer Dehnung des ersten Stegs, einen zweiten Dehnungsmesser zum Messen einer Dehnung des zweiten Stegs und zumindest einen dritten Deh-

nungsmesser zum Messen einer Dehnung des zumindest einen dritten Stegs. Beispielsweise umfasst der Dehnungsmesser zumindest einen Dehnungsmessstreifen. Derartige Dehnungsmessstreifen sind - wie auch die Auswertung der von ihnen produzierten Signale - Standardverfahren und werden daher hier nicht weiter erläutert. Der Dehnungsmessstreifen ist insbesondere direkt am jeweiligen Steg befestigt.

**[0018]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Drehmoment-Messvorrichtung eine Auswerteeinheit, die mit den Kraftmessern und mit der Störeinfluss-Messvorrichtung verbunden ist und die ausgebildet ist zum automatischen Berechnen des am Antriebsflansch anliegenden Drehmoments aus Messergebnissen der Kraftmesser und der Störeinfluss-Messvorrichtung.

**[0019]** Günstig ist es, wenn die Stege mittels Festkörpergelenken mit dem Antriebsflansch und/oder dem Abtriebsflansch verbunden sind. Festkörpergelenke zeigen keinen Haftgleiteffekt (Stick-Slip-Effekt). Aus einer Neigung des Stegs relativ zu dem Flansch, an dem der Steg befestigt ist, also dem Antriebsflansch oder dem Abtriebsflansch, lässt sich somit gut auf das Drehmoment schließen, das am Steg anliegt. Je größer dieses Drehmoment ist, desto geringer ist die Kraft, die von den Kraftmessern ermittelt wird. Zur Berechnung des Drehmoments, das am Antriebsflansch anliegt, muss daher das Drehmoment bekannt sein, das von den Stegen aufgenommen wird.

**[0020]** Alternativ können die Stege auch über ein echtes Gelenk mit dem Antriebsflansch oder dem Abtriebsflansch verbunden sein. Unter einem echten Gelenk wird ein Gelenk verstanden, das nach einer Bewegung kein signifikantes Rückstellmoment zeigt. Ein solches echtes Gelenk ist beispielsweise ein Drehgelenk.

**[0021]** Die Stege sind sowohl am Antriebsflansch als auch am Abtriebsflansch befestigt. Dadurch können sowohl Druck- als auch Zugkräfte übertragen werden.

**[0022]** Erfindungsgemäß ist zudem ein Drehmoment-Normal, das aus einer erfindungsgemäßen Drehmoment-Messvorrichtung sowie einem zugehörigen Kalibrierschein besteht. Im Kalibrierschein ist insbesondere die Messunsicherheit angegeben, mit der die Drehmoment-Messvorrichtung behaftet ist.

**[0023]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt **Fig. 1** in einer

**Fig. 1a** eine maßstabsgerechte perspektivische Ansicht auf eine erfindungsgemäße Drehmoment-Messvorrichtung,

**Fig. 1b** den Abtriebsflansch der Drehmoment-Messvorrichtung gemäß **Fig. 1a** und

**Fig. 2** eine Draufsicht von oben auf den Abtriebsflansch gemäß **Fig. 1b**.

**Fig. 3** zeigt eine maßstabsgerechte Schnittansicht durch den Abtriebsflansch gemäß **Fig. 1b**.

**[0024]** **Fig. 1a** zeigt eine erfindungsgemäße Drehmoment-Messvorrichtung **10** mit einem Antriebsflansch **12**, einem Abtriebsflansch **14**, einem ersten Kraftmesser **16.1**, einem zweiten Kraftmesser **16.2** und einem dritten Kraftmesser **16.3**. Es ist zu erkennen, dass der Antriebsflansch **12** einen Flanschkragen **18** aufweist, in den eine Mehrzahl an Löchern **20.1, 20.2, ...** eingebracht sind. Auf diese Weise kann der Antriebsflansch **12** mit einer Drehmomentquelle, beispielsweise einem Rotor eines Windkraftanlagen-Teststands, oder einem Elektromotor, verbunden werden.

**[0025]** Der Abtriebsflansch **14** besitzt ebenfalls einen Flanschkragen **22** mit einer Vielzahl an Löchern **24.1, 24.2, ...** zum Verbinden mit einer Drehmomentensenke. Bei dieser Drehmomentensenke kann es sich beispielsweise um eine starre Aufnahme handeln. Alternativ handelt es sich beispielsweise um einen elektrischen Generator, beispielsweise einer Windkraftanlage, handeln.

**[0026]** **Fig. 1b** zeigt, dass der Abtriebsflansch **14** drei Abtriebsflansch-Gegenlager **26.i** ( $i = 1, 2, 3$ ) aufweist. An jedem Abtriebsflansch-Gegenlager **26.i** ist ein Kraftmesser **16.i** befestigt.

**[0027]** Wie **Fig. 1a** zeigt, besitzt der Antriebsflansch drei Antriebsflansch-Gegenlager **28.i**. Der Abtriebsflansch **14** ist - was einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung entspricht - baugleich zum Abtriebsflansch **14**. Die Kraftmesser **16.i** liegen in jeweils einem Kräfteinleitpunkt  $\mathbf{P}_{E,i}$  an dem Antriebsflansch-Gegenlager **28.i** an und in einem Kraftaufnahme punkt  $\mathbf{P}_{A,i}$  am Abtriebsflansch-Gegenlager **26.i**.

**[0028]** Wird der Antriebsflansch **12** bei stillstehendem Antriebsflansch **14** um eine Drehachse **D** um einen Lastwinkel  $\alpha$  verdreht, wobei ein zu messendes Drehmoment **M** anliegt, so wirkt eine Kraftkomponente  $\mathbf{F}_i$  auf jeden der Kraftmesser **16.i**. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass alle Kraftkomponenten  $\mathbf{F}_i$  gleich sind. Am Antriebsflansch **14** können zudem ein Kippmoment  $M_{\text{kipp}}$  und eine Querkraft  $F_{\text{quer}}$  anliegen.

**[0029]** **Fig. 2** zeigt, dass jeder Kraftmesser **16.i** ein Deformationselement **30.i** aufweist, das vorzugsweise zumindest abschnittsweise zylinderförmig ist.

Die Deformation, nämlich die positive Dehnung oder Stauchung (die auch als negative Dehnung bezeichnet werden könnte), wird von einem jeweiligen Deformationserfassungselement **31.i** erfasst, das mit einer schematisch eingezeichneten Auswerteeinheit **40** verbunden ist. Das Deformationserfassungselement **31.i** ist in der vorliegenden Ausführungsform ein Dehnungsmessstreifen.

**[0030]** Ein Abstand  $d_i$  eines jeden Deformationselements **30.i** von der Drehachse **D** ermöglicht die Berechnung des Drehmoments, das am Antriebsflansch

**12** anliegt, gemäß der Formel  $\vec{M} = \sum_i \vec{d}_i \times \vec{F}_i$ . Die Auswerteeinheit **40** berechnet das Drehmoment  $\vec{M}$  anhand dieser Gleichung automatisch. Diese Gleichung gilt, wenn keine Kraft in axialer Richtung bezüglich der Drehachse **D** gilt und keine Kippmomente anliegen. Der Mittelwert der Abstände  $d_i$  ist der wirksame Hebelarm.

**[0031]** **Fig. 1b** zeigt, dass die Drehmoment-Messvorrichtung **10** drei Stege **32.i** aufweist, die sich in axialer Richtung erstrecken. In anderen Worten besitzen sie jeweils eine Längsachse  $\mathbf{L}_i$ , die mit der Drehachse **D** einen möglichst kleinen Winkel einschließt, der beispielsweise höchstens  $3^\circ$  beträgt. Jeder Steg überträgt eine Axialkraft von einem Flansch, nämlich dem Antriebsflansch **12** oder dem Abtriebsflansch **14** auf den anderen jeweils anderen Flansch nämlich den Abtriebsflansch **14** oder den Antriebsflansch **12**.

**[0032]** Die Stege **32.i** können mittels eines Drehgelenks **34.i** an einem der Flansche **12, 14** befestigt sein. Im vorliegenden Fall sind die Stege **32.i** sowohl am Antriebsflansch **12** als auch am Abtriebsflansch **14** befestigt. In der in **Fig. 1a** gezeigten Darstellung der Drehmoment-Messvorrichtung **10** nehmen die Stege **32.i** die Axialkraft  $\mathbf{F}_a$  vollständig auf. In anderen Worten ist die Summe an den Stegen **32.i** anliegenden Teilkräfte  $\mathbf{F}_{S,i}$  gleich der Axialkraft  $\mathbf{F}_a$ . Es gilt also  $\vec{F}_a = \sum_i \vec{F}_{S,i}$ .

**[0033]** Jeder Steg **32** besitzt, wie am Steg **32.1** exemplarisch gezeigt, einen Dehnungsmesser, im vorliegenden Fall den Dehnungsmesser **36.1**. Mittels dieses Dehnungsmessers **36.i** kann die Axialkraftkomponente  $\mathbf{F}_{S,i}$ , die am Steg **32.i** anliegt, gemessen werden. Dazu ist der Dehnungsmesser **36.i** beispielsweise mit einem Kabel **38.i** mit der schematisch eingezeichneten Auswerteeinheit **40** verbunden.

**[0034]** Wenn der Steg **32** mittels eines Festkörpergelenks **42** mit dem entsprechenden Flansch **12, 14** verbunden ist, ist es günstig, wenn an jedem Steg **32.i** ein zweiter Dehnungsmesser **44** befestigt ist, sodass aus den Messergebnissen der beiden Dehnungsmesser **36.i, 44.i** eine Biegung des entsprechenden Stegs **32.i** berechnet werden kann. Die Deh-

nungsmesser **36.i**, **44.i** bilden in diesem Fall gemeinsam einen Kippmomentmesser **46. i** zum Messen einer Neigung des jeweiligen Stegs.

**[0035]** Alle Dehnungsmesser **36.i**, **44.i** bilden zusammen mit der Auswerteeinheit **40** eine Störeinfluss-Messvorrichtung.

**[0036]** **Fig. 2** ist zu entnehmen, dass die Kraftmesser **16.i** um einen Symmetriewinkel  $\gamma$  von im vorliegenden Fall  $120^\circ$  versetzt zueinander angeordnet sind. Auch die Stege **32.i** sind um den Symmetriewinkel  $\gamma$  versetzt angeordnet.

**[0037]** **Fig. 3** zeigt eine maßstabsgereichte Schnittansicht durch den Abtriebsflansch gemäß **Fig. 1b**.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Drehmoment-Messvorrichtung
<b>12</b>	Antriebsflansch
<b>14</b>	Abtriebsflansch
<b>16</b>	Kraftmesser
<b>18</b>	Flanschkragen
<b>20</b>	Loch
<b>22</b>	Flanschbogen
<b>24</b>	Loch
<b>26</b>	Abtriebsflansch-Gegenlager
<b>28</b>	Antriebsflansch-Gegenlager
<b>30</b>	Deformationselement des Kraftmessers
<b>31</b>	Deformationserfassungselement des Kraftmessers
<b>32</b>	Steg
<b>34</b>	Drehgelenk
<b>36</b>	Dehnungsmesser
<b>38</b>	Kabel
<b>40</b>	Auswerteeinheit
<b>42</b>	Festkörpergelenk
<b>44</b>	Dehnungsmesser
<b>46</b>	Kippmomentmesser
$\alpha$	Lastwinkel
$\gamma$	Symmetriewinkel
<b>D</b>	Drehachse
<b>d</b>	wirksamer Hebelarm
$F_a$	Axialkraft
$F_{s,i}$	Axialkraftkomponente

$F_i$	Kraftkomponente
<b>i</b>	Laufindex (Bezugszeichen ohne Laufindex beziehen sich auf das entsprechende Objekt allgemein)
$L_i$	Längsachse
<b>M</b>	Drehmoment
$P_{E,i}$	Krafteinleitpunkt
$P_{A,i}$	Kraftaufnahmepunkt

#### Patentansprüche

1. Drehmoment-Messvorrichtung zur Messung von Drehmomenten ( $M$ ) von zumindest 2 Meganewtonmeter, mit

(a) einem Antriebsflansch (12) zum Verbinden mit einer Drehmomentquelle,

(b) einem Abtriebsflansch (14) zum Verbinden mit einer Drehmomentsenke, der verdrehbar zum Antriebsflansch (12) angeordnet ist,

(c) einem ersten Kraftmesser (16.1) zum Messen einer ersten Kraftkomponente ( $F_i$ ) zwischen einem ersten Krafteinleitpunkt ( $P_{E,i}$ ) auf dem Antriebsflansch (12) und einem ersten Kraftaufnahmepunkt auf dem Abtriebsflansch (14) und

(d) einem zweiten Kraftmesser (16.2) zum Messen einer zweiten Kraftkomponente ( $F_i$ ) zwischen einem zweiten Krafteinleitpunkt ( $P_{E,i}$ ) auf dem Antriebsflansch (12) und einem zweiten Kraftaufnahmepunkt ( $P_{A,i}$ ) auf dem Abtriebsflansch (14), **gekennzeichnet durch**

(e) eine Entkopplungsstruktur, die ausgebildet ist zum Übertragen aller Axialkräfte ( $F_a$ ) und Kippmomente vom Antriebsflansch (12) auf den Abtriebsflansch (14) unter Umgehung der Kraftmesser (16).

2. Drehmoment-Messvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entkopplungsstruktur

(a) einen ersten Steg (32.1), der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch (12) und dem Abtriebsflansch (14) verläuft,

(b) einen zweiten Steg (32.2), der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch (12) und dem Abtriebsflansch (14) verläuft, und

(c) zumindest einen dritten Steg (32.3), der in axialer Richtung zwischen dem Antriebsflansch (12) und dem Abtriebsflansch (14) verläuft, aufweist.

3. Drehmoment-Messvorrichtung nach Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** eine Störeinfluss-Messvorrichtung, die zumindest einen Dehnungsmesser (36) zum Messen einer Dehnung zumindest eines Stegs (32), aufweist.

4. Drehmoment-Messvorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störeinfluss-Messvorrichtung

(a) einen ersten Dehnungsmesser (36.1) zum Messen einer Dehnung des ersten Stegs (32.1),  
 (b) einen zweiten Dehnungsmesser (36.2) zum Messen einer Dehnung des zweiten Stegs (32.2) und  
 (c) zumindest einen dritten Dehnungsmesser (36.3) zum Messen einer Dehnung des zumindest einen dritten Stegs (32.3) aufweist.

5. Drehmoment-Messvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 2 bis 4, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteeinheit (40), die  
 - mit den Kraftmessern (16) verbunden ist und  
 - mit der Störeinfluss-Messvorrichtung verbunden ist und  
 - ausgebildet ist zum automatischen Berechnen des Drehmoments (M) aus Messergebnissen der Kraftmesser (16) und der Störeinfluss-Messvorrichtung.

6. Drehmoment-Messvorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (40)  
 (i) mit den Dehnungsmessern (36) verbunden ist und  
 (ii) ausgebildet ist zum automatischen Berechnen einer Axialkraft ( $F_a$ ) und/oder eines Kippmoments aus Messergebnissen der Dehnungsmesser (36).

7. Drehmoment-Messvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stege (32) mittels Festkörpergelenken (42) mit dem Antriebsflansch (12) oder dem Abtriebsflansch (14) verbunden sind.

8. Drehmoment-Messvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Störeinflussmesser  
 (a) einen ersten Kippmomentmesser (46.1) zum Messen einer Neigung des ersten Stegs (32.1),  
 (b) einen zweiten Kippmomentmesser (46.2) zum Messen einer Neigung des zweiten Stegs (32.2) und  
 (c) einen dritten Kippmomentmesser (46.3) zum Messen einer Neigung des dritten Stegs (32.3) aufweist.

9. Drehmoment-Messvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kraftmesser (16) drehsymmetrisch, insbesondere um je  $120^\circ$  zueinander, versetzt angeordnet sind.

10. Drehmoment-Normal, bestehend aus  
 (i) einer Drehmoment-Messvorrichtung (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche und  
 (ii) einem zugehörigen Kalibrierschein,  
 (iii) wobei das Drehmoment-Normal bei einem Drehmoment (M) von 2 MNm eine Messunsicherheit von höchstens 1% hat.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

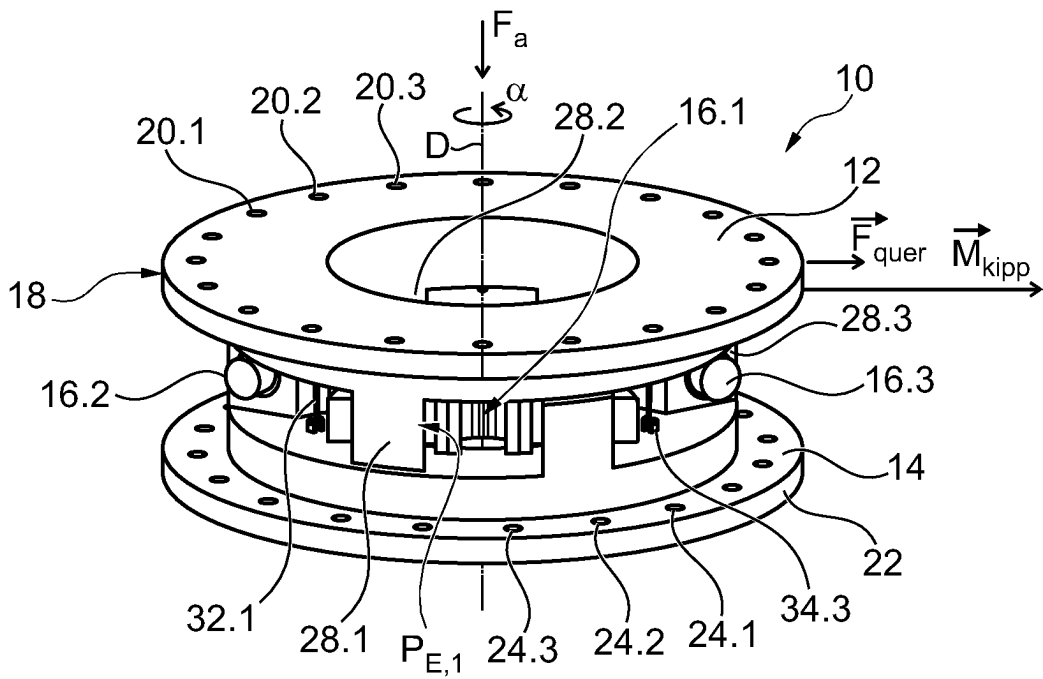


Fig. 1a

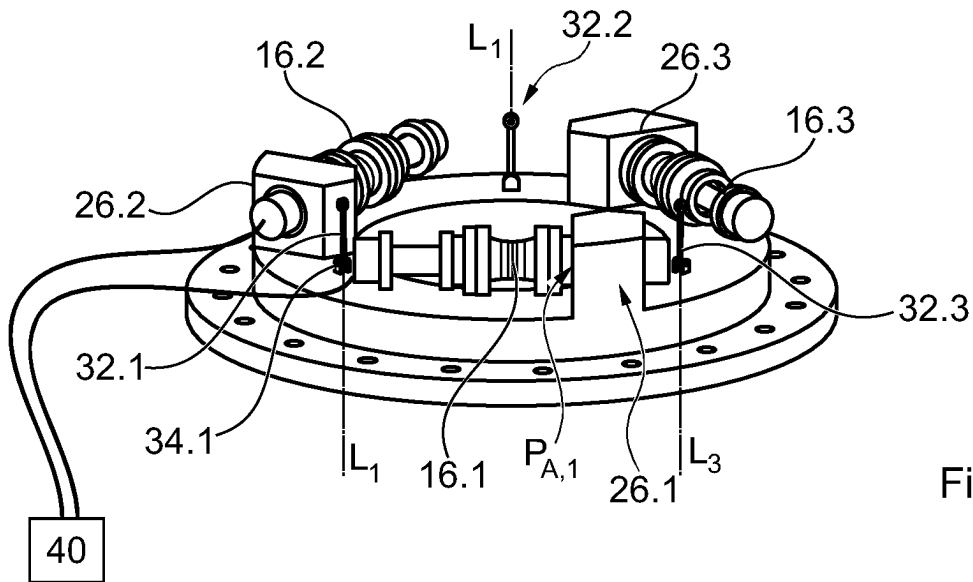


Fig. 1b

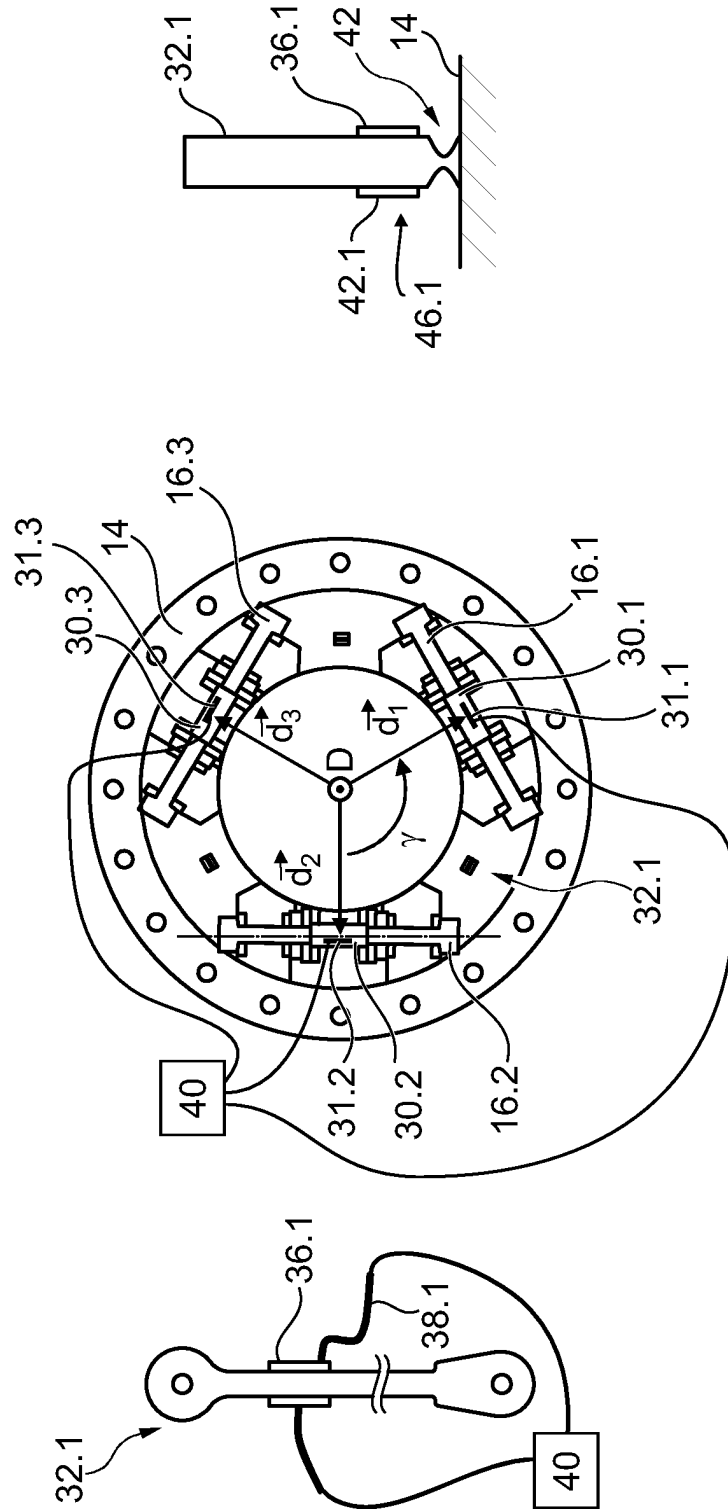


Fig. 2



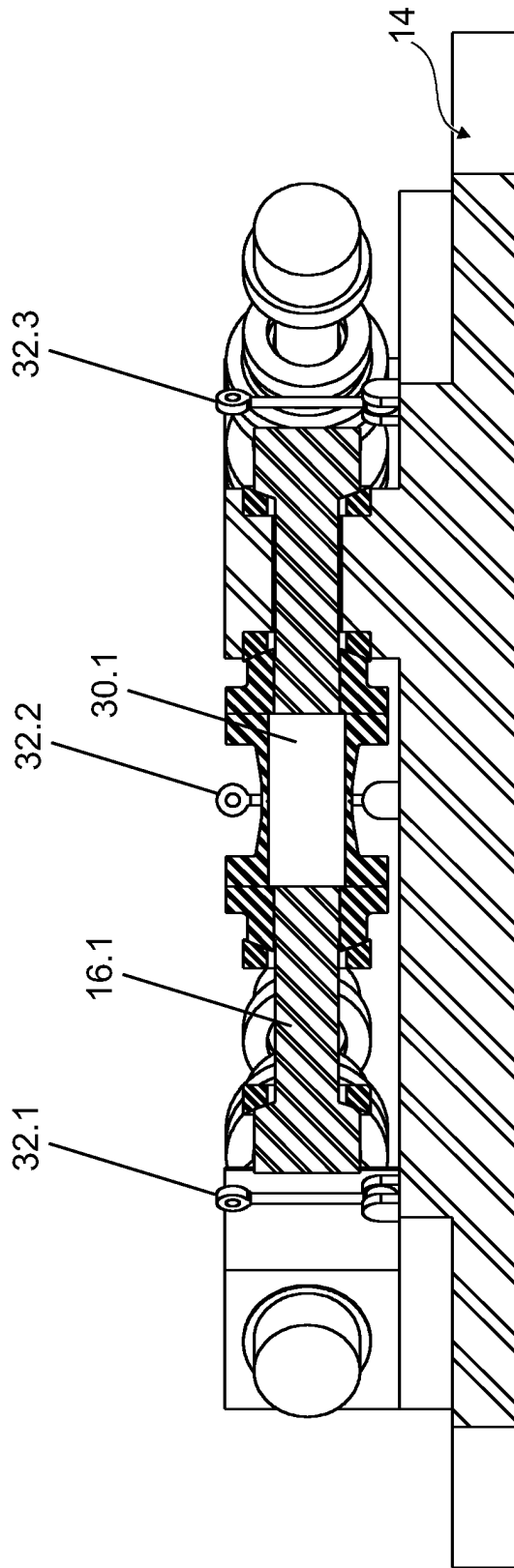


Fig. 3