



(10) **DE 10 2010 024 812 A1** 2011.12.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 024 812.6**

(22) Anmeldetag: **23.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **29.12.2011**

(51) Int Cl.: **G01L 3/14 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch  
das Bundesministerium für Wirtschaft und  
Technologie, dieses vertreten durch den  
Präsidenten der Physikalisch-Technischen  
Bundesanstalt, 38116, Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122,  
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

**Röske, Dirk, Dr., 38302, Wolfenbüttel, DE;  
Kumme, Rolf, Dr., 38116, Braunschweig, DE**

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

DE	38 21 262	C2
DE	10 2005 063022	A1
DE	30 45 579	A1
DE	22 61 346	A
DD	2 50 996	A1
DD	1 43 826	A1
AT	005 65 6	U2

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Herstellen eines Drehmomentmessgeräts und Drehmomentmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts (26), mit den Schritten:

(a) Herstellen eines ersten Vor-Drehmomentmessgeräts (10), das zumindest ein erstes Deformationselement (12) umfasst,

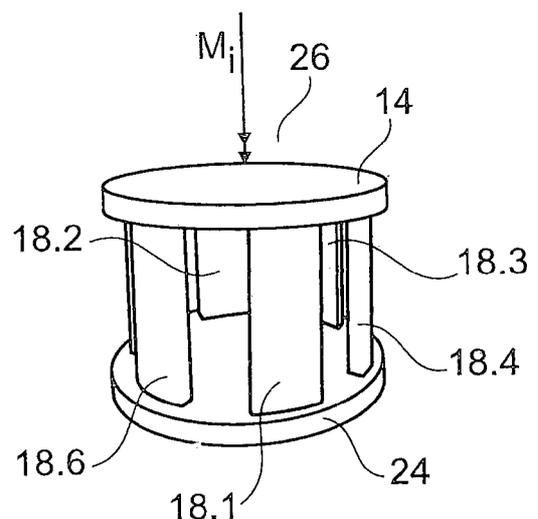
(b) Herstellen zumindest eines zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts (20), das zumindest ein zweites Deformationselement (12) umfasst,

(c) Kalibrieren des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts (10), so dass zumindest ein erster Deformationselement-Parameter erhalten wird, der eine Abhängigkeit einer Dehnung des zumindest einen ersten Deformationselements (12) von einem am ersten Vor-Drehmomentmessgerät (10) angelegten Drehmoment ( $M_1$ ) beschreibt,

(d) Kalibrieren des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts (20), so dass zumindest ein zweites Deformationselement-Parameter erhalten wird, der eine Abhängigkeit einer Dehnung des zumindest einen zweiten Deformationselements (12) von einem am zweiten Vor-Drehmomentmessgerät (20) angelegten Drehmoment ( $M_1$ ) beschreibt, und

(e) Herstellen des Drehmomentmessgeräts (26) aus dem zumindest einen ersten Deformationselement (12), dem zumindest einen zweiten Deformationselement (12) und

zumindest einem Messwertaufnehmer (18), der mit dem zumindest einen ersten Deformationselement (12) zum Messen von dessen Dehnung verbunden ist, so dass aus dem ersten Deformationselement-Parameter und dem zweiten Deformationselement-Parameter ein Kalibrierfaktor berechenbar ist, mittels dessen aus einem Signal des Messwertaufnehmers (18) ein am Drehmomentmessgerät (26) anliegendes Drehmoment ( $M_1$ ) berechenbar ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Drehmomentmessgerät.

**[0002]** Drehmomentmessgeräte sind bekannt und sind ausgebildet zum Messen eines Drehmoments. Insbesondere bei Windkraftanlagen entstehen an der Welle Drehmomente, die oberhalb von einem Meganewtonmeter liegen können. Es besteht daher ein Bedarf an Messgeräten für derart große Drehmomente. Die Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten im Messbereich oberhalb von einem Meganewtonmeter ist derzeit weltweit nicht möglich, da keine Kalibrier- vorrichtung existiert, mit der eine rückführbare Messung des Drehmoments möglich ist. Unter einer rückführbaren Messung wird verstanden, dass das Messergebnis auf die gesetzliche Definition von Basiseinheiten zurückgeführt werden kann. Die Anlage, mit der weltweit bislang die größten Drehmomente rückführbar gemessen werden können, ist bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt aufgebaut und erlaubt Drehmomentmessungen bis zu einem Meganewtonmeter.

**[0003]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts anzugeben, mit dem mit der verfügbaren Kalibriervorrichtung ein Drehmomentmessgerät rückführbar kalibriert werden kann, dessen Messbereich bis oberhalb von einem Meganewtonmeter reichen kann.

**[0004]** Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts, mit den Schritten (a) Herstellen eines ersten Vor-Drehmomentmessgeräts, das zumindest ein erstes Deformationselement umfasst, (b) Herstellen eines zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts, das zumindest ein zweites Deformationselement umfasst, (c) Kalibrieren des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts, so dass zumindest ein erster Deformationselement-Parameter erhalten wird, der eine Abhängigkeit einer Dehnung zumindest eines Teils des zumindest einen ersten Deformationselements von einem am ersten Vor-Drehmomentmessgerät angelegten Drehmoment beschreibt, (d) Kalibrieren des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts, so dass zumindest ein zweiter Deformationselement-Parameter erhalten wird, der in der Abhängigkeit einer Dehnung zumindest eines Teils des zumindest einen zweiten Deformationselement von einem am zweiten Vor-Drehmomentmessgerät angelegten Drehmoment beschreibt, und (e) Herstellen des Drehmomentmessgeräts aus dem zumindest einen ersten Deformationselement, dem zumindest einem zweiten Deformationselement und zumindest einem Messwertaufnehmer, der mit dem zumindest einen ersten Deformati-

onselement zum Messen von dessen Dehnung verbunden ist, so dass aus dem ersten Deformationselement-Parameter und dem zweiten Deformationselement-Parameter ein Kalibrierfaktor berechenbar ist, mittels dem aus einem Signal des Messwertaufnehmers ein am Drehmomentmessgerät anliegendes Drehmoment berechenbar ist.

**[0005]** Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Drehmomentmessgerät, das gemäß einem derartigen Verfahren herstellbar ist und einen Messbereich hat, dessen Obergrenze zumindest 1,2 Meganewtonmeter beträgt.

**[0006]** Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass Drehmomentmessgeräte hergestellt werden können, deren Messbereiche eine obere Grenze haben, die deutlich oberhalb von einem Meganewtonmeter liegt, ohne dass eine neue Anlage zur rückführbaren Kalibrierung für Drehmomente oberhalb von einem Meganewtonmeter gebaut werden müsste. Grundsätzlich kann das entsprechende Verfahren aber auch für Drehmomentmesser angewendet werden, deren Messbereich eine Obergrenze hat, die kleiner ist als der genannte Wert, da für derartige Messbereiche aber eine rückführbare Kalibriervorrichtung existiert, ist der Vorteil für derartige Geräte geringer ausgeprägt.

**[0007]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Vor-Drehmomentmessgerät ein Drehmomentmessgerät verstanden, mittels dem ein anliegendes Drehmoment gemessen werden kann und das eine Vorstufe bei der Herstellung des eigentlichen Drehmomentmessgeräts ist. Das Vor-Drehmomentmessgerät hat in der Regel einen Messbereich, der höchstens bis einen Meganewtonmeter reicht, da es ansonsten nicht mit heutigen Geräten kalibrierbar ist. Es kann in seinem Aufbau bekannten Messgeräten entsprechen und weist beispielsweise einen Drehmomenteinleitelement und Drehmomentausleitelement auf, zwischen dem die Deformationselemente angeordnet sind.

**[0008]** An zumindest einem der Deformationselemente, die als flache Körper ausgebildet sein können, ist vorzugsweise ein Messwertaufnehmer angeordnet, mittels dem die Deformation von zumindest einem der Deformationselemente erfasst werden kann. Aus dieser Deformation kann auf bekannte Art und Weise auf das Drehmoment geschlossen werden. Besonders günstig ist es, wenn sich, wie bei bekannten Drehmomentmessgeräten, die Deformation beim Anlegen eines Drehmoments auf diese Deformationselemente konzentriert. Der Messwertaufnehmer kann ein elektrischer und/oder optischer Sensor sein. Unter dem Deformationselement-Parameter wird insbesondere eine Größe verstanden, die den Torsionswiderstand bzw. die Torsionssteifigkeit beschreibt, al-

so die Abhängigkeit einer Deformation, insbesondere die Scherung, vom angelegten Drehmoment.

**[0009]** Unter dem Herstellen des Drehmomentmessgeräts aus dem zumindest einen ersten Deformationselement und dem zumindest einen zweiten Deformationselement wird insbesondere verstanden, dass zumindest diese Teile des jeweiligen Vor-Drehmomentmessgeräts bei der Montage des Drehmomentmessgeräts verwendet werden. Vorzugsweise werden das zumindest eine erste Deformationselement, insbesondere aber die ersten Deformationselemente und das zumindest eine zweite, insbesondere aber die mehreren zweiten Deformationselemente so in Drehmomentmessgerät verbaut, dass sich ihre Torsionssteifigkeiten addieren.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Drehmessgerät kann als Built-Up-System bezeichnet werden. Built-Up-Systeme sind aus der Kraftmessung bekannt, wo mehrere Kraftmessaufnehmer so angeordnet werden, dass sich deren Federkonstanten addieren. Das Drehmomentmessgerät wird aus den Vor-Drehmomentmessgeräten so hergestellt, dass deren Deformationselemente ineinander verschachtelt werden, so dass die Momente der Wirkungslinien aufeinander liegen. Physikalisch ausgedrückt bedeutet das, dass ein System aus n-Teilkörpern das n-fache Drehmoment aufnehmen kann, weil seine Torsionssteifigkeit das n-fache der entsprechenden Steifigkeit der Vor-Drehmomentmessgeräte beträgt. Anders ausgedrückt führt die n-fache Last zu derselben Torsion, die als Torsionswinkel angegeben werden kann, des erfindungsgemäß hergestellten Drehmomentmessgeräts, wie sie das einfache Drehmoment bei den Vor-Drehmomentmessgeräten hervorrufen würde.

**[0011]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt das Herstellen des Drehmomentmessgeräts so, dass eine Torsionssteifigkeit des Drehmomentmessgeräts einer Summe der Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte entspricht. Da ein rückführbares Kalibrieren des Drehmomentmessgeräts in der Regel mangels Prüfvorrichtung nicht möglich ist, muss das Drehmomentmessgerät dadurch kalibriert werden, dass aus den bekannten Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte auf die Torsionssteifigkeit des Drehmomentmessgeräts geschlossen wird. Das ist mit besonders hoher Genauigkeit möglich, wenn die Deformationselemente der Vor-Drehmomentmessgeräte so im Drehmomentmessgerät verarbeitet werden, dass sich die Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte addieren.

**[0012]** Vorzugsweise entspricht der erste Messbereich des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts einem zweiten Messbereich des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts. Es kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die beiden Vor-Drehmomentmessgerä-

te baugleich sind. Dann kann mit besonders hoher Sicherheit auf den Messbereich und die Messgenauigkeit des fertig montierten Drehmomentmessgeräts geschlossen werden.

**[0013]** Unter dem Messbereich wird insbesondere das Intervall an Drehmomenten verstanden, aus dem Drehmomente angelegt werden können, ohne dass eine plastische Verformung zumindest eines der Deformationselemente erfolgt. Insbesondere ist der Messbereich derjenige Bereich an Drehmomenten, bei denen die Messgenauigkeit besser als 5%, insbesondere besser als 1%, besonders bevorzugt besser als 0,5%, ist. Es hat sich herausgestellt, dass mit erfindungsgemäß hergestellten Drehmomentmessgeräten eine Genauigkeit von unter 0,5% erreicht werden kann.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst ein erfindungsgemäßes Drehmomentmessgerät ein Drehmomenteinleitelement, insbesondere eine Drehmomenteinleitplatte, sechs mit dem Drehmomenteinleitelement verbundene Stege und ein Drehmomentableitelement, insbesondere eine Drehmomentableitplatte, das mit den sechs Stegen verbunden ist, wobei jeweils zumindest drei Stege baugleich sind. Insbesondere sind alle sechs Stege baugleich, das heißt insbesondere, dass sich ihre Torsionssteifigkeit um höchstens 5% von einander unterscheiden. Auf diese Weise ist das Drehmomentmessgerät statisch besonders gut bestimmt beim Kalibrieren der Vor-Drehmomentmessgeräte, so dass sich für das Drehmomentmessgerät eine hohe Messgenauigkeit ergibt.

**[0015]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform bilden zumindest drei baugleiche Stege eine erste Gruppe und sind mit dem Drehmomenteinleitelement formschlüssig verbunden oder zumindest drei baugleiche Stege bilden eine zweite Gruppe, die mit dem Drehmomentableitelement formschlüssig verbunden sind. Stege werden insbesondere dann als baugleich betrachtet, wenn sich ihre Torsionssteifigkeiten um weniger als 5% unterscheiden. Besonders günstig ist es, wenn alle Stege sowohl mit dem Drehmomenteinleitelement als auch mit dem Drehmomentableitelement formschlüssig verbunden sind. Auf diese Weise gelingt eine hochgenaue Montage des Drehmomentmessgeräts, so dass die Messgenauigkeit besonders hoch ist.

**[0016]** Besonders bevorzugt ist die formschlüssige Verbindung durch eine Schraubverbindung und/oder eine Stiftverbindung realisiert. Das trägt zu einer hohen Messgenauigkeit des Drehmomentmessgeräts bei, da derartige formschlüssige Verbindungen hinsichtlich ihrer Drehmomentaufnahmecharakteristika gut bekannt sind.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform sind zumindest zwei, insbesondere drei, der Deformationselemente zumindest paarweise in äquidistanten Winkelschritten entlang eines ersten Kreisrings angeordnet sind. Darunter, dass zumindest zwei Deformationselemente zumindest paarweise angeordnet sind, ist zu verstehen, dass zumindest eine Gruppe an Deformationselementen existiert, die winkelläquidistant angeordnet sind. Beispielsweise sind also zwei Deformationselemente um  $180^\circ$  versetzt angeordnet. Auch ist möglich, dass drei der Deformationselemente in äquidistanten Winkelschritten, also um jeweils  $120^\circ$  versetzt, entlang eines ersten Kreisringes angeordnet sind. Eine weitere Alternative sind vier Deformationselemente, von denen jeweils zwei um  $180^\circ$  versetzt angeordnet sind, wobei zwischen zwei anderen Deformationselementen ein beliebiger Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  liegen kann. Werden drei winkelläquidistant angeordnete Deformationselemente verwendet, ergibt sich so ein statisch stabiles Vor-Drehmomentmessgerät, das gut zu kalibrieren ist.

[0018] Günstig ist es, wenn die Stege der ersten Gruppe alternierend zu den Stegen der zweiten Gruppe angeordnet sind. Ein so aufgebautes Drehmomentmessgerät kann mit einer hohen Genauigkeit hinsichtlich seiner Torsionssteifigkeit anhand der Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte berechnet werden.

[0019] Vorzugsweise hat das Drehmomentmessgerät an der oberen Grenze seines Messbereichs eine relative Genauigkeit von zumindest 5%, insbesondere von zumindest 1%, wobei die relative Genauigkeit besonders bevorzugt bei zumindest 0,5% liegt. Mit dem im Folgenden beschriebenen Verfahren lassen sich prinzipiell Drehmomentmessgeräte beliebiger Größen herstellen. Besonders vorteilhaft ist aber die Herstellung von Drehmomentmessgeräten, die nicht direkt rückführbar kalibriert werden können, da ihr Messbereich nicht vollständig in mit bislang verfügbaren Kalibriergeräten erreichbaren Bereich liegt.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0021] Fig. 1 zwei Vor-Drehmomentmessgeräte, die in einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts hergestellt werden,

[0022] Fig. 2 ein Drehmomentmessgerät, das aus den Vor-Drehmomentmessgeräten gemäß Fig. 1 hergestellt wurde,

[0023] Fig. 3 ein erstes Vor-Drehmomentmessgerät, das in einem alternativen erfindungsgemäßen Verfahren zwischen Drehmomentmessgerät verwendet wird,

[0024] Fig. 4 ein zweites Vor-Drehmomentmessgerät und

[0025] Fig. 5 das fertige Drehmomentmessgerät, das aus den Vor-Drehmomentmessgeräten der Fig. 3 und Fig. 4 hergestellt wurde.

[0026] Fig. 1 zeigt ein erstes Vor-Drehmomentmessgerät **10**, das ein erstes Deformationselement **12.1**, ein zweites Deformationselement **12.2** und ein drittes Deformationselement **12.3** aufweist. Die Deformationselemente **12** können auch als Stege bezeichnet werden, da sie eine Dicke haben, die klein ist im Vergleich zu den beiden anderen Raumausdehnungen. Insbesondere ist eine Dicke der Deformationselemente **12** höchstens ein Fünftel so groß wie die Abmessung in der nächst größeren Raumdimension. (Bezugszeichen ohne Zähler-suffix bezeichnen das Objekt jeweils als solches.) Das erste Vor-Drehmomentmessgerät **10** besitzt zudem ein Drehmomenteinleitelement **14** und ein Drehmomentableitelement **16**.

[0027] Alle Deformationselemente **12** sind sowohl mit dem Drehmomenteinleitelement **14** als auch mit dem Drehmomentableitelement **16** formschlüssig verbunden, im vorliegenden Fall verschraubt und verstiftet.

[0028] In einem ersten Schritt wird dieses erste Vor-Drehmomentmessgerät **10** dadurch kalibriert, dass ein Drehmoment  $M_1$  an das Drehmomenteinleitelement **14** angelegt wird. Dadurch deformieren sich die Deformationselemente elastisch. Messwertnehmer **18.1**, **18.2**, **18.3**, die schematisch eingezeichnet sind, geben daraufhin ein Signal  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), beispielsweise ein elektrisches und/oder ein optisches Signal, an eine nicht eingezeichnete elektrische Auswertereinheit ab. Danach wird ein vom ersten Drehmoment  $M_1$  abweichendes zweites Drehmoment  $M_2$  angelegt und abermals die Messwerte erfasst. Auf diese an sich bekannte Weise wird eine Kalibrierkurve für die Deformationselemente **12** erhalten, in der das angelegte Drehmoment auf der Abszisse und der resultierende Messwert als Ordinate aufgetragen ist. Die Steigung dieser Kurve ist die Inverse der Torsionssteifigkeit  $\tau_i$ , nämlich die Torsionsnachgiebigkeit, für jedes der Deformationselemente **18.i**.

[0029] Die Deformationselemente **12** sind so ausgebildet, dass sich die Verformung beim Anlegen des Drehmoments an das Drehmomenteinleitelement **14** in den Deformationselementen **12** konzentriert, so dass das von den Messwertnehmern **18** erhaltene Messsignal im Wesentlichen unabhängig von der Struktur des Drehmomenteinleitelements **14** und des Drehmomentableitelements **16** ist.

[0030] Im rechten Teilbild ist ein zweites Vor-Drehmomentmessgerät **20** gezeigt, das ein zweites Drehmomenteinleitelement **22** und ein zweites Drehmomentableitelement **24** aufweist, zwischen denen Deformationselemente **12.4**, **12.5** und **12.6** befestigt sind. Auch hier kann die Befestigung formschlüssig erfolgen, beispielsweise über eine Schraub-/Stiftverbindung. Auch das zweite Vor-Drehmomentmessgerät **20** wird die oben beschriebene Art und Weise durch Anlegen von bekannten Drehmomenten  $M_i$  kalibriert, so dass von Messwertaufnehmern **18.4**, **18.5**, **18.6** aufgenommenen Messwerte zum Charakterisieren der Torsionssteifigkeit der Deformationselemente herangezogen werden können.

[0031] Fig. 2 zeigt ein fertiges Drehmomentmessgerät **26**, das aus den Deformationselementen **12.1**, **12.2**, **12.3** des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts **10** (Fig. 1 links) und den Deformationselementen **12.4**, **12.5**, **12.6** des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts **20** aufgebaut ist. Obwohl dies nicht generell notwendig ist, ist das Drehmomenteinleitelement **14** dasjenige des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts **10**, und das Drehmomentableitelement **24** ist das des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts **20**.

[0032] In dem Drehmomentmessgerät **26** addieren sich die Torsionssteifigkeiten  $\tau_i$  der Deformationselemente **12**. Wenn alle Deformationselemente **12.i** baugleich sind, so ist die Torsionssteifigkeit des Drehmomentmessgeräts **26** genau doppelt so groß wie die Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte **10** und **20**.

[0033] In den Fig. 1 und Fig. 2 wurde erläutert, wie aus zwei Vor-Drehmomentmessgeräten **10** und **20** ein Drehmomentmessgerät **26** hergestellt wird. Es ist aber auch möglich, aus 3, 4 oder mehr Vor-Drehmomentmessgeräten ein Drehmomentmessgerät herzustellen, indem die einzelnen Vor-Drehmomentmessgeräte wie oben beschrieben kalibriert werden. Danach werden die Deformationselemente im herzustellenden Drehmomentmessgerät verbaut. Selbstverständlich ist es dafür vorteilhaft, wenn die Deformationselemente bezüglich einer Drehachse auf einem gleichen Abstand im Vor-Drehmomentmessgerät wie auch im späteren Drehmomentmessgerät angeordnet sind.

[0034] In den Fig. 1 und Fig. 2 bilden die Deformationselemente **12.1**, **12.2**, **12.3** eine erste Gruppe G1. Die Deformationselemente **12.4**, **12.5** und **12.6** bilden eine zweite Gruppe G2. Es ist möglich, dass beispielsweise die erste Gruppe G1 an Deformationselementen mit dem Drehmomentableitelement **16** (Fig. 1) fest verbunden ist, beispielsweise stoffschlüssig. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn die Deformationselemente **12.4**, **12.5**, **12.6** der zweiten Gruppe G2 mit dem zweiten Drehmomenteinleitelement **22** formschlüssig verbunden sind. Zum Herstel-

len des Drehmomentmessgeräts werden dann beim ersten Vor-Drehmomentmessgerät **10** das Drehmomenteinleitelement und beim zweiten Vor-Drehmomentmessgerät **20** das zweite Drehmomentableitelement entfernt und die verbleibenden Elemente wie in Fig. 2 gezeigt ineinander greifend miteinander verbunden, beispielsweise verschraubt und/oder verstiftet.

[0035] Fig. 3 zeigt eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem zunächst ein erstes Vor-Drehmomentmessgerät **10** mit den Deformationselementen **12.1**, **12.2** und **12.3** hergestellt wird. Wie oben beschrieben werden dann verschiedene Drehmomente  $M_1$ ,  $M_2$ , ... angelegt und so anhand von Messergebnissen der nicht eingezeichneten Messwertaufnehmer kalibriert.

[0036] Nachfolgend werden die Deformationselemente **12.1**, **12.2**, **12.3**, die die erste Gruppe G1 bilden und formschlüssig mit dem Drehmomenteinleitelement **14** und dem Drehmomentableitelement **16** verbunden sind, entfernt und durch Deformationselemente **12.4**, **12.5**, **12.6**, die die zweite Gruppe G2 bilden, ersetzt. Selbstverständlich können auch mehr oder weniger Deformationselemente verwendet werden, die Zahl drei ist jedoch wegen der statischen Bestimmtheit besonders geeignet. Nachfolgend wird auch dieses zweite Vor-Drehmomentmessgerät **20** wie oben beschrieben kalibriert.

[0037] Fig. 3 zeigt ein erfindungsgemäßes Drehmomentmessgerät **26**, das neben dem Drehmomenteinleitelement **14** und dem Drehmomentableitelement **16** die vorher nur in den Vor-Drehmomentmessgeräten **10**, **20** verwendeten Deformationselemente **12.1**, ..., **12.6** vollständig enthält. Auf diese Weise ergibt sich die Torsionssteifigkeit des Drehmomentmessgeräts **26** als Summe der Torsionssteifigkeiten von erstem Vor-Drehmomentmessgerät **10** und zweitem Vor-Drehmomentmessgerät **20**.

[0038] In allen Figuren sind die Deformationselemente **12** in äquidistanten Winkelschritten entlang eines gemeinsamen Kreisrings R angeordnet. Es ist aber auch möglich, dass die Deformationselemente von einzelnen Vor-Drehmomentmessgeräten auf Kreisringen angeordnet sind, deren Durchmesser sich von dem anderer Kreisringe anderer Vor-Drehmomentmessgeräte unterscheidet.

[0039] In den Fig. 1 und Fig. 2 einerseits und Fig. 3, Fig. 4 und Fig. 5 andererseits wurde die Herstellung jeweils eines Drehmomentmessgeräts aus  $n = 2$  Vor-Drehmomentmessgeräten beschrieben. Selbstverständlich kann auch eine größere Zahl  $n$  an Vor-Drehmomentmessgeräten hergestellt werden, aus deren Deformationselementen dann das Drehmomentmessgerät hergestellt wird. Aus räumlichen Gründen ist es vorteilhaft, wenn dann einzelne

Gruppen von Deformationselementen auf Kreisringen unterschiedlicher Durchmesser angeordnet werden. Beispielsweise können  $n = 3$ ,  $n = 4$ ,  $n = 5$  Vor-Drehmomentmessgeräte hergestellt werden. Auch eine größere Anzahl ist aber möglich. Je größer allerdings die Zahl der  $n$  der Vor-Drehmomentmessgeräte ist, umso aufwendiger wird die Fertigung, da Fertigungstoleranzen bei der Berechnung der Messgenauigkeit bestimmt werden müssen.

**[0040]** Es ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, dass einzelne Deformationselemente oder Gruppen von Deformationselementen in mehreren Vor-Drehmomentmessgeräten verwendet werden. Unter der Annahme eines verschwindenden systematischen Fehlers skaliert die Messgenauigkeit des Drehmomentmessgeräts **26**, bei identisch aufgebauten Deformationselementen erster Näherung mit der Wurzel aus der Anzahl  $n$  an Vor-Drehmomentmessgeräten. Selbst bei der Verwendung von  $n = 9$  Vor-Drehmomentmessgeräten kommt es somit lediglich zu einer Verdreifachung der relativen Messunsicherheit.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	erstes Vor-Drehmomentmessgerät
<b>12</b>	Deformationselement
<b>14</b>	Drehmomenteinleitelement
<b>16</b>	Drehmomentableitelement
<b>18</b>	Messwertaufnehmer
<b>20</b>	zweites Vor-Drehmomentmessgerät
<b>22</b>	zweites Drehmomenteinleitelement
<b>24</b>	zweites Drehmomentableitelement
<b>26</b>	Drehmomentmessgerät
<b><math>M_1</math></b>	Drehmoment
<b>R</b>	Kreisring
<b>n</b>	Zahl der Vor-Drehmomentmessgeräte
<b>i</b>	Zählindex

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Drehmomentmessgeräts (**26**), mit den Schritten:

(a) Herstellen eines ersten Vor-Drehmomentmessgeräts (**10**), das zumindest ein erstes Deformationselement (**12**) umfasst,

(b) Herstellen zumindest eines zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts (**20**), das zumindest ein zweites Deformationselement (**12**) umfasst,

(c) Kalibrieren des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts (**10**), so dass zumindest ein erster Deformationselement-Parameter erhalten wird, der eine Abhängigkeit einer Dehnung des zumindest einen ersten Deformationselements (**12**) von einem am ersten Vor-Drehmomentmessgerät (**10**) angelegten Drehmoment ( $M_1$ ) beschreibt,

(d) Kalibrieren des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts (**20**), so dass zumindest ein zweiter Deformationselement-Parameter erhalten wird, der eine

Abhängigkeit einer Dehnung des zumindest einen zweiten Deformationselements (**12**) von einem am zweiten Vor-Drehmomentmessgerät (**20**) angelegten Drehmoment ( $M_1$ ) beschreibt, und

(e) Herstellen des Drehmomentmessgeräts (**26**) aus – dem zumindest einen ersten Deformationselement (**12**),  
– dem zumindest einen zweiten Deformationselement (**12**) und  
– zumindest einem Messwertaufnehmer (**18**), der mit dem zumindest einen ersten Deformationselement (**12**) zum Messen von dessen Dehnung verbunden ist,  
so dass aus dem ersten Deformationselement-Parameter und dem zweiten Deformationselement-Parameter ein Kalibrierfaktor berechenbar ist, mittels dessen aus einem Signal des Messwertaufnehmers (**18**) ein am Drehmomentmessgerät (**26**) anliegendes Drehmoment ( $M_1$ ) berechenbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Herstellen des Drehmomentmessgeräts (**26**) so erfolgt, dass eine Torsionssteifigkeit des Drehmomentmessgeräts (**26**) einer Summe der Torsionssteifigkeiten der Vor-Drehmomentmessgeräte (**10**, **20**) entspricht.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Messbereich des ersten Vor-Drehmomentmessgeräts (**10**) einem zweiten Messbereich des zweiten Vor-Drehmomentmessgeräts (**20**) entspricht.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Vor-Drehmomentmessgerät (**10**) und das zweite Vor-Drehmomentmessgerät (**20**) baugleich sind.

5. Drehmomentmessgerät (**26**), das gemäß einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche herstellbar ist und einen Messbereich hat, dessen obere Grenze zumindest 1,2 Meganewtonmeter beträgt.

6. Drehmomentmessgerät (**26**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch  
– ein Drehmomenteinleitelement (**14**),  
– eine gerade Anzahl, insbesondere sechs, an mit dem Drehmomenteinleitelement (**14**) verbundene Stegen und  
– ein Drehmomentableitelement (**16**), das mit diesen Stegen verbunden ist,  
– wobei jeweils zumindest zwei, insbesondere drei, Stege baugleich sind.

7. Drehmomentmessgerät (**26**) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass  
– zumindest drei baugleiche Stege eine erste Gruppe bilden und mit dem Drehmomenteinleitelement (**14**), insbesondere formschlüssig, verbunden sind und

– zumindest drei baugleiche Stege eine zweite Gruppe bilden und mit dem Drehmomentableitelement (16), insbesondere formschlüssig, verbunden sind.

8. Drehmomentmessgerät (26) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei, insbesondere drei, der Deformationselemente (12) zumindest paarweise in äquidistanten Winkelschritten entlang eines ersten Kreisrings (R) angeordnet sind.

9. Drehmomentmessgerät (26) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege der ersten Gruppe alternierend zu den Stegen der zweiten Gruppe angeordnet sind.

10. Drehmomentmessgerät (26) nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehmomentmessgerät (26) an einer oberen Grenze seines Messbereichs eine relative Genauigkeit von zumindest 5%, insbesondere von zumindest 1% hat.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

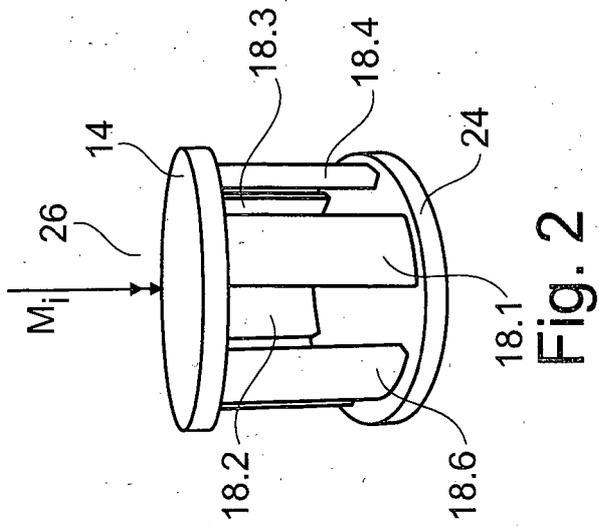


Fig. 2

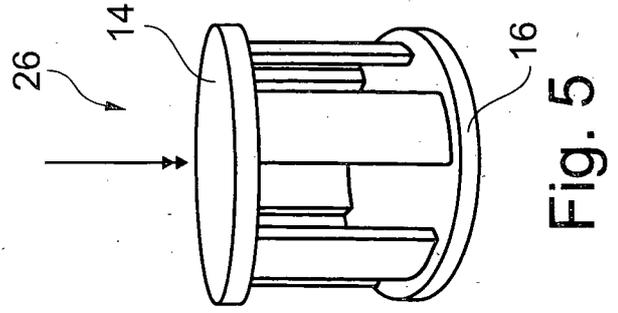


Fig. 5

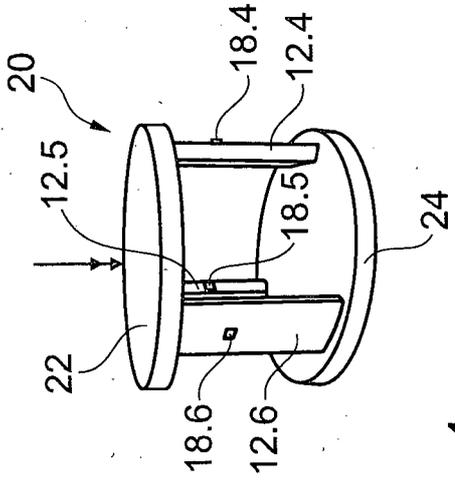


Fig. 1

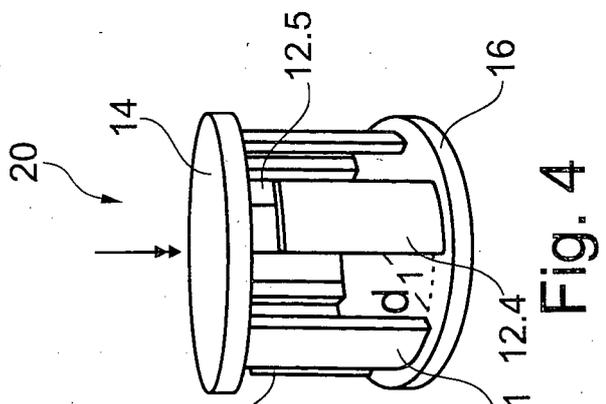


Fig. 4

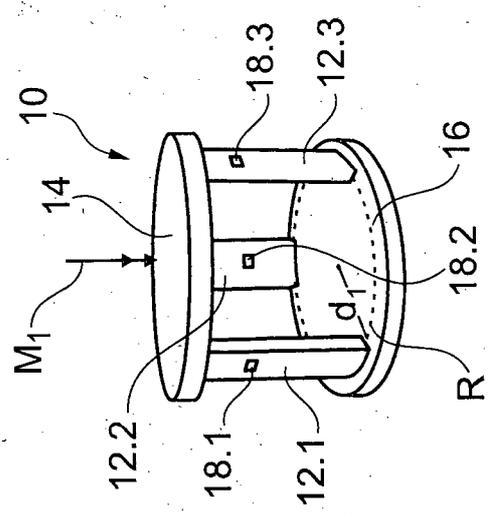


Fig. 3